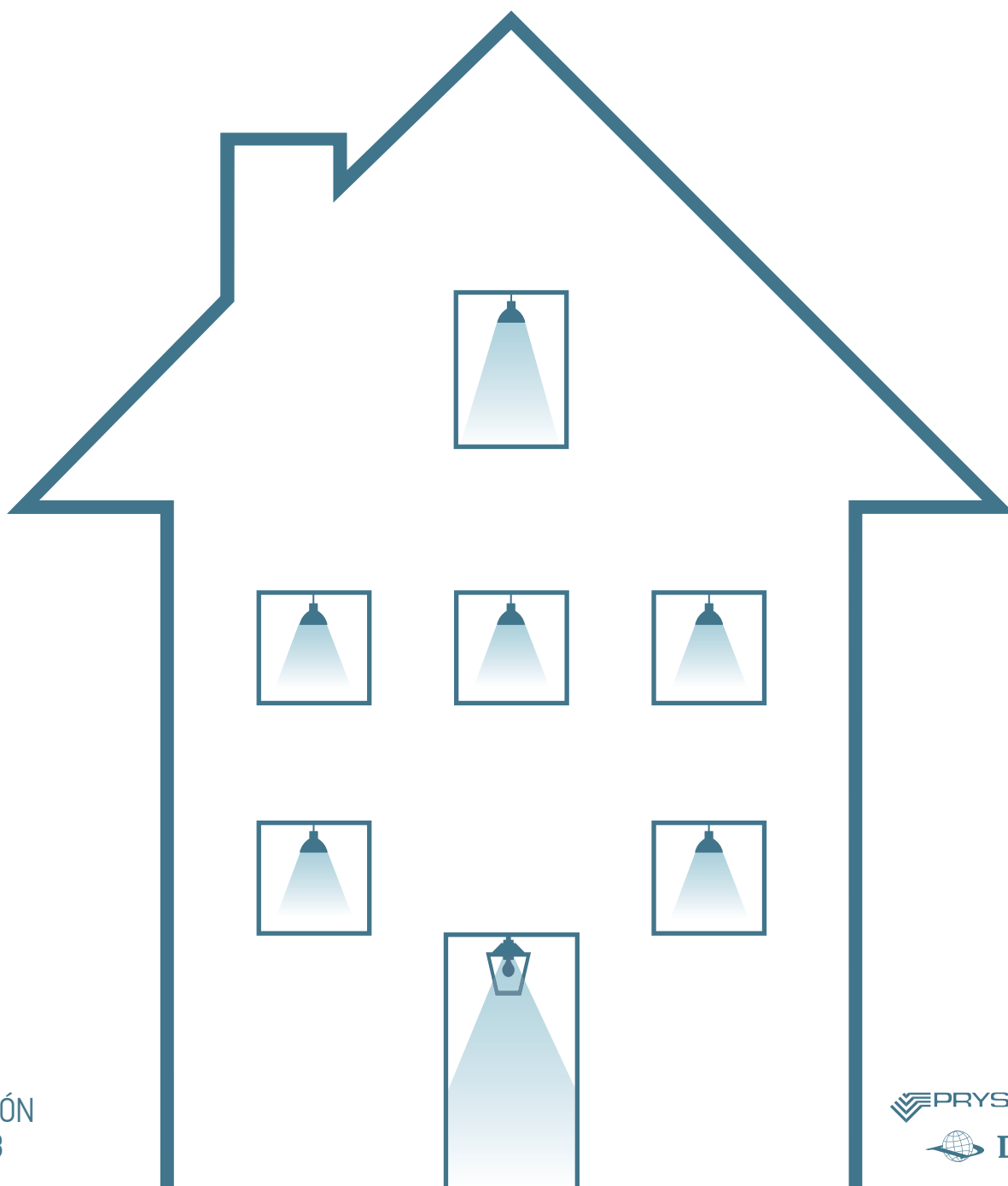


GUÍA TÉCNICA

Disponible en www.prysmianclub.es



EDICIÓN
2018

ÍNDICE

GUÍAS DE UTILIZACIÓN

Guía orientativa de aplicaciones usuales de los cables de Prysmian para Baja Tensión.	8
Soluciones Afumex CPR COMPLIANT al Reglamento Electrónico para Baja Tensión (REBT).	12
Ejemplos de aplicación de Afumex Class Firs (AS+) en locales de pública concurrencia.	14
Tipos de cables Prysmian para Baja Tensión.	16

Reglamento de Productos de Construcción (CPR) y afectación a los cables Nuevo marcado CE (CPR)	20 26
---	----------

INTRODUCCIÓN TÉCNICA 31

A / Instalaciones interiores o receptoras 33

Partes de un cable para Baja Tensión.	33
Intensidades máximas admisibles. Métodos de instalación.	35
Intensidades admisibles en amperios al aire	45
Factores de corrección.	46

B / Redes aéreas para distribución o alumbrado exterior en Baja Tensión 55

Introducción.	55
Intensidades máximas admisibles.	55

C / Redes subterráneas para distribución (criterio de la norma UNE 211435) 59

Introducción.	59
Intensidades máximas admisibles.	59
Factores de corrección.	60

C bis / Redes subterráneas para distribución o alumbrado exterior (criterio del REBT basado en la antigua UNE 20435) 64

Cables directamente enterrados o enterrados bajo tubo (cables soterrados).	64
■ Intensidades máximas admisibles (cables soterrados).	65
■ Canalizaciones entubadas (cables soterrados).	67
Cables instalados en galerías subterráneas.	69
■ Intensidades máximas admisibles (galerías subterráneas).	69
■ Factores de corrección.	70

D / Cálculo de la intensidad de la corriente 73

E / Cálculo de la sección por caída de tensión	75
Formulario.	75
Caídas de tensión máximas admisibles en % según el Reglamento de Baja Tensión.	77
Tablas de caída de tensión.	78
F / Intensidades máximas de cortocircuito	81
G / Ejemplos de cálculos de sección para Baja Tensión	85
Línea general de alimentación en edificio de viviendas.	85
Derivación individual en edificio de viviendas.	87
Ascensor de un centro comercial.	90
Cálculo con resultado de varios conductores por fase.	93
Cálculo de sección por intensidad de cortocircuito.	96
H / Radios de curvatura	101
I / Tensiones máximas de tracción durante los tendidos de los cables	105
J / Errores más frecuentes en el cálculo de secciones y la elección del tipo de cable	107
K / Soluciones a situaciones particulares y frecuentes	137
L / Ensayos de fuego	177
M / Cálculos de sección en líneas abiertas de sección uniforme	185
N / Eficiencia energética: Amortización económica y ecológica de derivaciones individuales de viviendas	189
O / Eficiencia energética: Amortización económica y ecológica de líneas eléctricas. Energía consumida por el sistema y energía perdida en las líneas	193
P / Eficiencia energética. Ejemplo de cálculo de sección económica y “amortización ecológica”	201
Q / Eficiencia energética. Ejemplo de cálculo de sección de los conductores de alimentación a una batería de condensadores	209



Guías de utilización

Guías de Utilización

Guía orientativa de aplicaciones usuales de los cables de Prysmian para Baja Tensión

GAMA	TIPO	CLASE DE REACCIÓN AL FUEGO (CPR)	TENSIÓN ASIGNADA (V)	DESIGNACIÓN GENÉRICA	CONSTRUCCIÓN	U M*	TP TE**
AFUMEX CLASS	500 V (AS)	C _{ca} -s1b,d1,a1	300/500	ES07Z1-K TYPE 2 (AS)	Cu / Afumex	U	TP
	BLINDEX 500 V (AS)			Z1C4Z1-K (AS)	Cu / Afumex / trenza hilos Cu / Afumex	U y M	TP
	750 V (AS)		450/750	H07Z1-K TYPE 2 (AS)	Cu / Afumex	U	TP
	HAZ (AS)			H07Z1-K TYPE 2 (AS)	Cu / Afumex	M	TP
	PANELES Rígido (AS)			H07Z1-R TYPE 2 (AS)	Cu / Afumex	U	TP
	1000 V (AS)		600/1000	RZ1-K (AS)	Cu / XLPE / Afumex	U y M	TE
	MANDO (AS)			RZ1-K (AS)	Cu / XLPE / Afumex	M	TE
	FIRS (AS+)			mRZ1-K (AS+)	Cu / mica / XLPE / Afumex	U y M	TE
	MÚLTIPLE 1000 V (AS)			Z1Z1-K (AS)	Cu / Afumex / Afumex	M	TP
	ATEX (AS)			RZ1MZ1-K (AS)	Cu / XLPE / Afumex / hilos acero / Afumex		TE
	ATEX 2RH (AS)			RZ1MZ1-K 2RH (AS)	Cu / XLPE / Afumex RH / hilos acero / Afumex RH	U y M	TE
	BLINDEX 1000V (AS)			RC4Z1-K (AS)	Cu / XLPE / trenza hilos Cu / Afumex		TE
	AL (AS)			AL RZ1 (AS)	Al / Afumex	U	TE
	AFUMEX		EXPO	--	450/750	H07ZZ-F	Cu / goma Afumex / Afumex 90 °C
PANELES Flex		H05Z-K / H07Z-K	Cu / Afumex 90 °C			U	TE
WIREPOL CPRO	Flex	E _{ca}	450/750	H07V-K	Cu / PVC	U	TP
	Rígido			H07V-U / H07V-R	Cu / PVC		TP
	GAS		300/500	H05VV-F	Cu / PVC / PVC	M	TP

(*) U = unipolar, M = multipolar.

(**) TP = termoplástico (70 °C), TE = termoestable (90 °C).

RESIDENCIAL						TERCIARIO E INDUSTRIA											REDE DE DISTRIBUCIÓN BT		USO SEGÚN ITC-BT				
Acometida	Línea general alimentación	Centralización contadores	Derivaciones individuales	Interiores o receptoras	Aparatos domésticos	Acometida	Línea general de alimentación	Centralización de contadores	Derivaciones individuales	Pública concurrencia (int. o recep.)	Industria (interior o receptora)	Cuadros	Alumbrado exterior	Variadores de frecuencia	Circuitos de serurgidad (no autón.)	Control y datos	Máquinas y equipos móviles	Fotovoltaica		Aéreas	Subterráneas		
																						20	
																							20
																							15, 20, 26, 28 y 29
																							15
																							16
																							14, 15, 20, 26, 28 y 29
																							15
																							28
																							20 y 28
																							20 y 29
																							29
																							20, 28
																							14, 20 y 28
																							34
																							20
																							20 y 26
																							20 y 26
																							33, 43 y 49



GUÍAS DE UTILIZACIÓN

GUÍA ORIENTATIVA DE APLICACIONES USUALES DE LOS CABLES PARA BAJA TENSIÓN

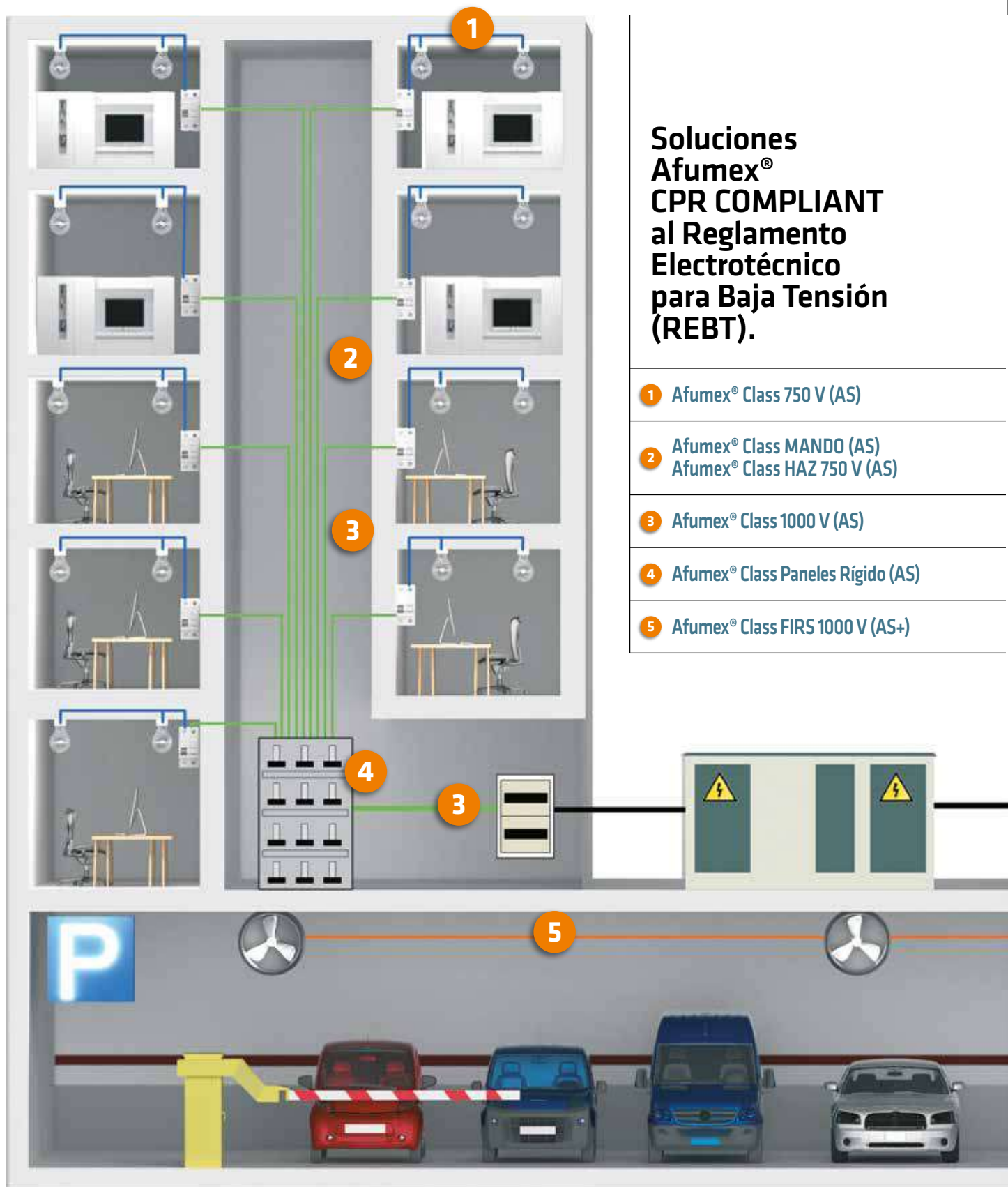


GAMA	TIPO	CLASE DE REACCIÓN AL FUEGO (CPR)	TENSIÓN ASIGNADA (V)	DESIGNACIÓN GENÉRICA	CONSTRUCCIÓN	U M*	TP TE**
RETENAX CPRO	Flex	E _{ca}	600/1000	RV-K	Cu / XLPE / PVC	U y M	TE
	Rígido			RV (XV)	Cu / XLPE / PVC		TE
RETENAX	VARINET	F _{ca}		RVKV-K	Cu / XLPE / PVC / hilos Cu / PVC	M	TE
	FLAM F			RVFV	Cu / XLPE / PVC / flejes acero / PVC	U y M	TE
BLINDEX CPRO	BLINDEX CPRO 500 V	E _{ca}	300/500	VC4V-K	Cu / PVC / trenza hilos Cu / PVC	U y M	TP
	BLINDEX CPRO 1000 V		600/1000	RC4V-K	Cu / XLPE / trenza hilos Cu / PVC		TE
SINTENAX CPRO	SINTENAX CPRO AG	E _{ca}	300/500	H05VV-F	Cu / PVC / PVC	M	TP
	SINTENAX CPRO 1000 V		600/1000	VV-K	Cu / PVC / PVC	M	TP
FLEXTREME		E _{ca}	450/750	H07RN-F	Cu / goma EI4 / PCP	U y M	TP
BUPRENO	CPRO	E _{ca}	600/1000	DN-K	Cu / goma EPR / PCP	U y M	TE
	BOMBAS SUMEGIDAS	F _{ca}		DN-F BOMBAS SUMERGIDAS	Cu / goma EPR / PCP		TE
P-SUN 2.0 CPRO		E _{ca}	600/1000	ZZ-F	Cu / goma EI6 / goma EM5 o EM8	U	TE
TECSUN H1Z2Z2-K		-	600/1000	H1Z2Z2-K	Cu estañado / goma EI6 / goma EM4	U	TE
AL VOLTALENE FLAMEX CPRO		E _{ca}	600/1000	AL XZ1 (S)	Al / XLPE / Flamex	U	TE
POLIRRET CPRO	AL	F _{ca}	600/1000	AL-RZ	Al / XLPE	M	TE
	FERIEX			RZ	Cu / XLPE	M	TE
DATAx LIYCY CPRO		E _{ca}	250	LIYCY	Cu / PVC / trenza hilos Cu estañado / PVC	M	TP

(*) U = unipolar, M = multipolar.

(**) TP = termoplástico (70 °C), TE = termoestable (90 °C).

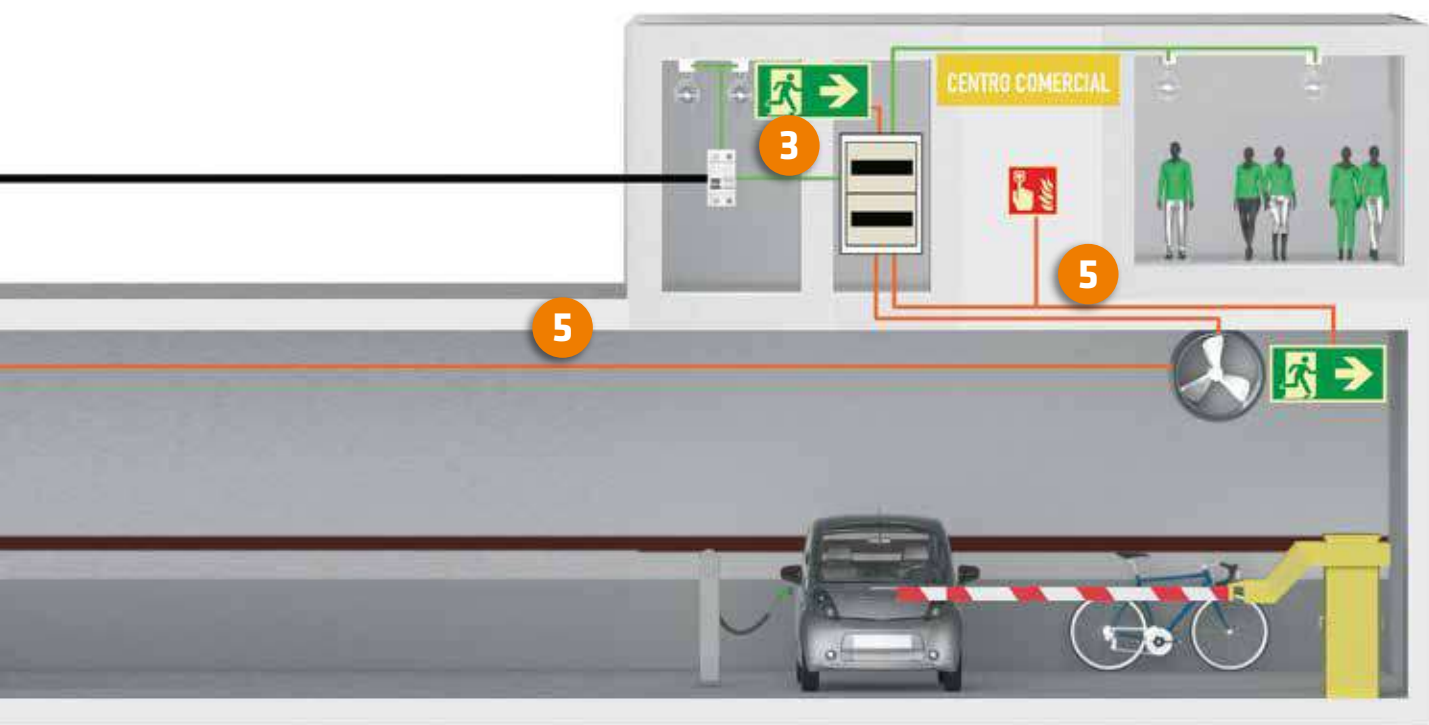
RESIDENCIAL						TERCIARIO E INDUSTRIA											REDE DE DISTRIBUCIÓN BT		USO SEGÚN ITC-BT				
Acometida	Línea general alimentación	Centralización contadores	Derivaciones individuales	Interiores o receptoras	Aparatos domésticos	Acometida	Línea general de alimentación	Centralización de contadores	Derivaciones individuales	Pública concurrencia (int. o recep.)	Industria (interior o receptora)	Cuadros	Alumbrado exterior	Variadores de frecuencia	Circuitos de seruidad (no autón.)	Control y datos	Máquinas y equipos móviles	Fotovoltaica		Aéreas	Subterráneas		
																						09, 20	
																							09, 20
																							20
																							09, 20
																							20
																							20
																							33, 43 y 49
																							20
																							30, 33, 34, 35, 41 y 42
																							20 y 30
																							42
																							40
																							40
																							07 y 20
																							06 y 20
																							09 y 20
																							20



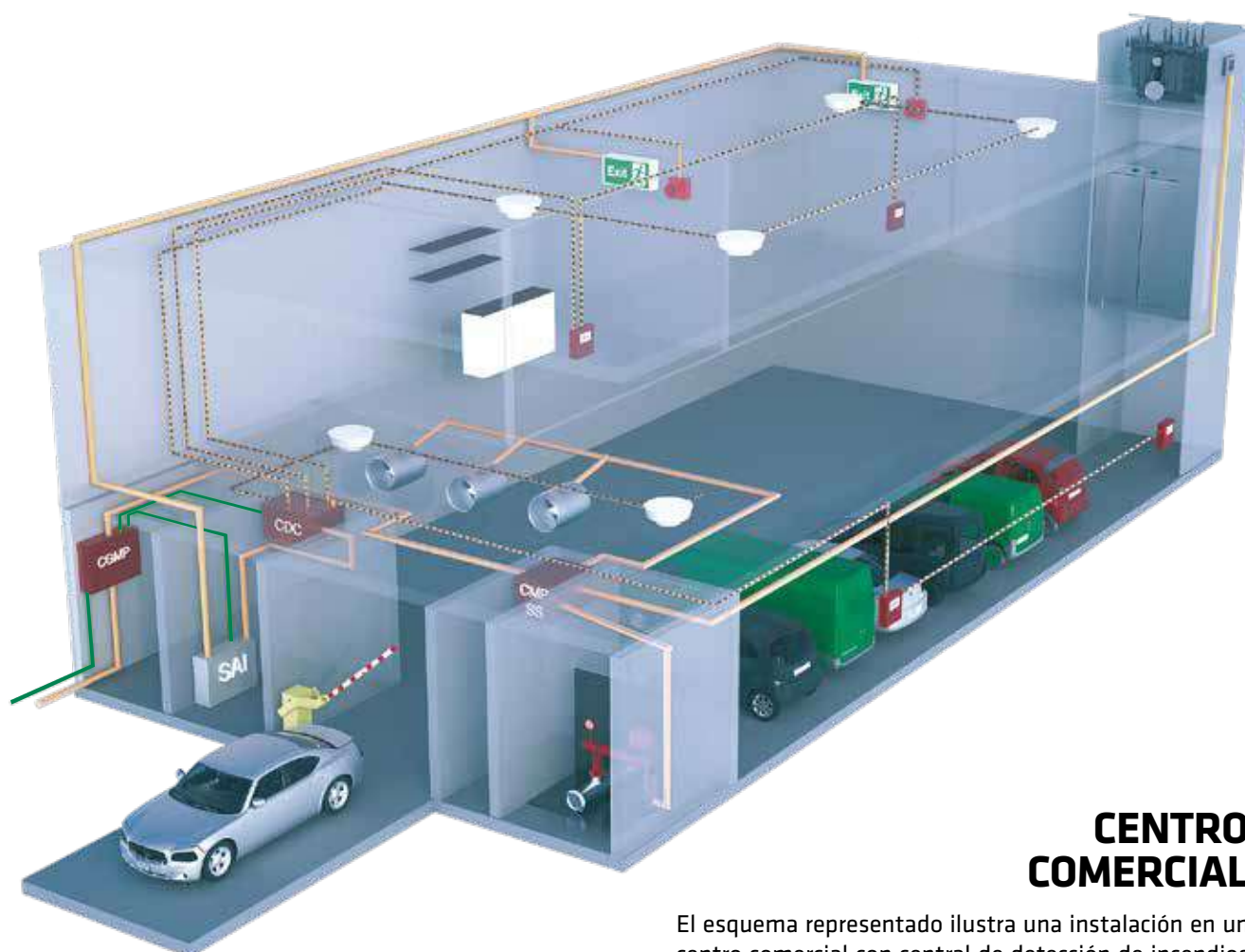
Soluciones Afumex® CPR COMPLIANT al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT).

- 1 Afumex® Class 750 V (AS)
- 2 Afumex® Class MANDO (AS)
Afumex® Class HAZ 750 V (AS)
- 3 Afumex® Class 1000 V (AS)
- 4 Afumex® Class Paneles Rígido (AS)
- 5 Afumex® Class FIRS 1000 V (AS+)

<p>Circuitos de Servicios de Seguridad en Locales de Pública Concurrencia, (ITC-BT 28).</p> <p>Los cables eléctricos destinados a circuitos de servicios de seguridad no autónomos o a servicios con fuentes autónomas centralizadas, deben mantener el servicio durante y después del incendio, siendo conformes a las especificaciones de la norma UNE EN 50200 (cables resistentes al fuego). Los cables serán de la clase de reacción al fuego mínima Cca-s1b,d1,a1. Los cables con características equivalentes a las de la norma UNE 21123, partes 4 ó 5, o a la norma UNE 211002 (según la tensión asignada del cable) cumplen con esta prescripción en cuanto a la reacción al fuego.</p>	<p>Instalaciones interiores en Locales de Pública Concurrencia, (ITC-BT 28)</p> <p>Los cables eléctricos a utilizar en las instalaciones de tipo general y en el conexionado interior de cuadros eléctricos en este tipo de locales, serán de la clase de reacción al fuego mínima Cca-s1b,d1,a1. Los cables con características equivalentes a las de la norma UNE 21123, partes 4 ó 5, o a la norma UNE 211002 (según la tensión asignada del cable) cumplen con esta prescripción.</p>	<p>Línea General de Alimentación, (ITC-BT 14)</p> <p>La Línea General de Alimentación une la CGP (caja general de protección), con la CC (concentración de contadores).</p> <p>Los cables serán de la clase de reacción al fuego mínima Cca-s1b,d1,a1. Los cables con características equivalentes a las de la norma UNE 21123 partes 4 ó 5 cumplen con esta prescripción.</p>	<p>Derivaciones Individuales, (ITC-BT 15)</p> <p>La Derivación Individual une el embarrado general (parte de la Línea General de Alimentación), con la instalación Interior de Abonado.</p> <p>Los cables serán de la clase de reacción al fuego mínima Cca-s1b,d1,a1. Los cables con características equivalentes a los de la norma UNE 21123, partes 4 ó 5, o a la norma UNE 211002 (según la tensión asignada del cable) cumplen con esta prescripción.</p>	<p>Centralización de Contadores (ITC-BT 16)</p> <p>En las Centralizaciones de Contadores, los cables serán de una tensión asignada 450/750 V, y serán de la clase de reacción al fuego mínima Cca-s1b,d1,a1. Los cables con características equivalentes a los de la norma UNE 21027-9, (mezclas termoestables) o de la norma UNE 211002 (mezclas termoplásticas) cumplen con esta prescripción. Los conductores serán rígidos de clase 2.</p>
	●		●	
			●	
	●	●	●	
				●
●				



Ejemplos de aplicación **AFUMEX® CLASS FIRS (AS+)** en locales de pública conurrencia.



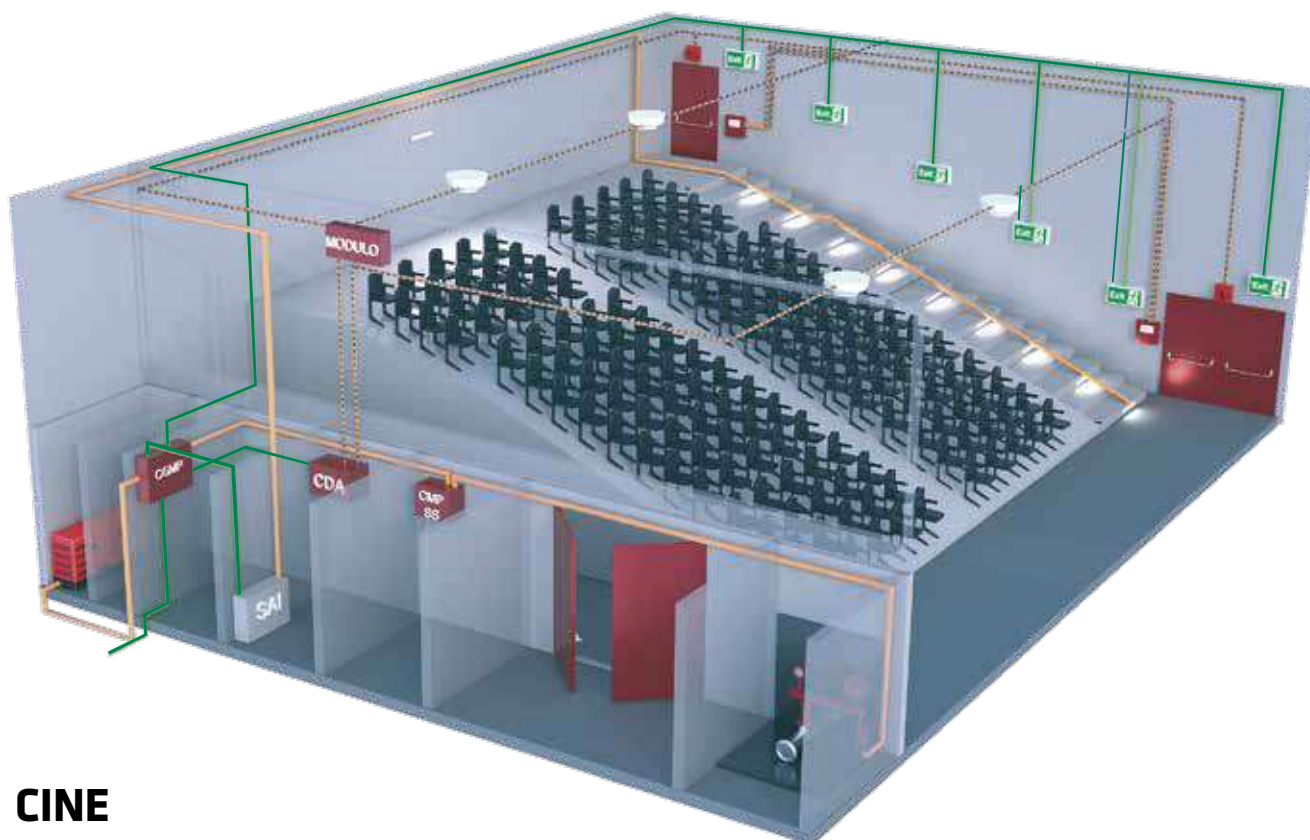
CENTRO COMERCIAL

El esquema representado ilustra una instalación en un centro comercial con central de detección de incendios convencional.

Todos los circuitos que parten de la central están representados con cable **AFUMEX CLASS FIRS Detec-Signal, (AS+)** (naranja con línea negra intermitente).

Los circuitos de color naranja que no parten de la central de detección presentan cable **AFUMEX CLASS FIRS (AS+)** por tratarse de servicios de seguridad no autónomos.

En color verde se encuentran el resto de circuitos, los que no precisan ser resistentes al fuego y, por tanto con cable AS [**AFUMEX CLASS 750 V (AS)** o **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)**], suficiente para realizar estas canalizaciones de acuerdo con la reglamentación.



CINE

Para el caso de instalaciones contra incendios con central de detección analógica podemos ver que tanto el lazo como las alarmas están alimentados con **AFUMEX CLASSS FIRS Detec-Signal, (AS+)**.

El esquema representado ilustra una instalación posible en un cine.

El cable de las balizas de señalización, del equipo de bombeo y del grupo electrógeno es **AFUMEX CLASS FIRS (AS+)** para garantizar la seguridad, y tanto el suministro principal como la alimentación a equipos autónomos (emergencias autónomas, batería y central de detección) se han instalado cables **AFUMEX CLASS 750 V (AS)** o **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)**. En caso de incendio y cortocircuito en estas canalizaciones o rotura de algún conductor, el servicio a los receptores finales está asegurado por la propia autonomía de los elementos que alimentan.

- **CGMP:** Cuadro general de mando y protección.
- **CGMPSS:** Cuadro general de mando y protección de los servicios de seguridad.
- **CDC:** Central de detección convencional.
- **CDA:** Central de detección analógica.
- **SAI:** Sistema de alimentación ininterrumpida.

Guías de Utilización

Tipos de cables Prysmian para Baja Tensión

CABLE	TENSIÓN ASIGNADA	NORMA DISEÑO	DESIGNACIÓN GENÉRICA	APLICACIONES
AFUMEX CLASS 500 V (AS)	300/500 V	UNE 211002	ES05Z1-K TYPE 2 (AS)	Circuitos de señalización o mando, timbres, alarmas domésticas o similares.
AFUMEX CLASS 750 V (AS)	450/750 V	UNE-EN 50525-3-31 / UNE 211002	H07Z1-K TYPE 2 (AS)	Derivaciones individuales, locales de pública concurrencia e industrias, cableado interior de cuadros, locales con riesgo de incendio o explosión (adecuadamente canalizado) y, para todas las instalaciones en las que el riesgo de incendio no sea despreciable. Instalaciones interiores o receptoras.
AFUMEX CLASS HAZ (AS)	450/750 V	UNE-EN 50525-3-31 / UNE 211002	H07Z1-K TYPE 2 (AS)	Derivaciones individuales.
AFUMEX CLASS PANELES Rígido (AS)	450/750 V	UNE-EN 50525-3-31 / UNE 211002	H07Z1-R TYPE 2 (AS)	Centralización de contadores, cableado de cuadros, paneles y bastidores de relés.
AFUMEX PANELES flex	450/750 V	UNE-EN 50525-3-41	H05Z-K / H07Z-K	Cableado de cuadros de máquina.
AFUMEX CLASS 1000 V (AS)	0,6/1 kV	UNE 21123-4	RZ1-K (AS)	Líneas generales de alimentación, derivaciones individuales, locales de pública concurrencia e industrias y aquellas instalaciones en las que el riesgo de incendio no sea despreciable. Instalaciones interiores o receptoras.
AFUMEX CLASS MANDO (AS)	0,6/1 kV	UNE 21123-4	RZ1-K (AS)	Derivaciones individuales.
AFUMEX CLASS FIRS (AS+)	0,6/1 kV	UNE 211025	mRZ1-K (AS+)	Servicios de seguridad no autónomos o servicios con fuentes autónomas centralizadas. Extractores y ventiladores para control del humo de incendio en garajes, aparcamientos, cocinas industriales, establecimientos públicos y atrios.
AFUMEX CLASS MÚLTIPLE 1000 V (AS)	0,6/1 kV	UNE 21123-4	RZ1-K (AS)	Locales de pública concurrencia e industrias y aquellas instalaciones en las que el riesgo de incendio no sea despreciable.
AFUMEX CLASS ATEX (AS)	0,6/1 kV	UNE 21123-4	RZ1MZ1-K (AS)	Locales con riesgo de incendio o explosión, zonas ATEX, instalaciones fijas con riesgo de agresión mecánica (roedores, cizalladuras...), alumbrado exterior subterráneo.

CABLE	TENSIÓN ASIGNADA	NORMA DISEÑO	DESIGNACIÓN GENÉRICA	APLICACIONES
AFUMEX CLASS ATEX 2RH (AS)	0,6/1 kV	UNE 21123-4	RZ1MZ1-K 2RH (AS)	Especialmente diseñado para industria petroquímica. Zonas ATEX.
AFUMEX CLASS BLINDEX 500 V (AS)	300/500 V	IEC 60502-1	Z1C4Z1-K (AS)	Cable de alta seguridad apantallado con trenza de hilos de cobre para instrumentación, control y/o señalización en entornos con influencias electromagnéticas. Regulación de temperatura, de intensidad, de tensión, de válvulas motorizadas, etc. o para control de electroválvulas, arranque de máquinas, arranque de autómatas, telerruptores, etc.
AFUMEX CLASS BLINDEX 1000 V (AS)	0,6/1 kV	IEC 60502-1	Z1C4Z1-K (AS)	Cable de alta seguridad apantallado con trenza de hilos de cobre para suministro de energía en entornos donde se quieran evitar las influencias electromagnéticas y sea obligatorio instalar cables de alta seguridad (AS) o el riesgo de incendio no sea despreciable. Alimentación de motores con variadores de frecuencia hasta 10 mm ² (consultar fabricante de variadores).
AFUMEX EXPO	450/750 V	UNE-EN 50525-3-21	H07ZZ-F	Ferias, servicios provisionales, servicios móviles en locales de pública concurrencia y, para servicios móviles en los que se requiera seguridad adicional en caso de incendio.
AL AFUMEX CLASS (AS)	0,6/1 kV	UNE 21123-4	AL RZ1 (AS)	Líneas generales de alimentación, derivaciones individuales, locales de pública concurrencia e industrias y aquellas instalaciones en las que se requiera seguridad adicional en caso de incendio. Instalaciones interiores o receptoras.
P-SUN 2.0 CPRO	0,6/1 kV	DKE-VDE AK 411.2.3	ZZ-F	Instalaciones solares fotovoltaicas. Verificado Bureau Veritas.
TECSUN H1Z2Z2-K	0,6/1 kV	EN 50618	H1Z2Z2-K	Instalaciones solares fotovoltaicas. Certificación TÜV.
WIREPOL CPRO Flex	450/750 V	UNE-EN 50525-2-31	H07V-K	Instalación en conductos situados sobre superficies o empotrados, o en sistemas cerrados análogos. Instalaciones interiores o receptoras, interiores en viviendas. Instalaciones con recorridos sinuosos.*

(*) Salvo obligación de AFUMEX CLASS (AS).





CABLE	TENSIÓN ASIGNADA	NORMA DISEÑO	DESIGNACIÓN GENÉRICA	APLICACIONES
WIREPOL CPRO Rígido	450/750 V	UNE-EN 50525-2-31	H07V-U / H07V-R	Instalación en conductos situados sobre superficies o empotrados, o en sistemas cerrados análogos. Instalaciones interiores o receptoras, interiores en viviendas.*
RETENAX CPRO Flex	0,6/1 kV	21123-2	RV-K	Instalaciones interiores o receptoras, alumbrado exterior subterráneo o instalaciones con recorridos sinuosos.*
RETENAX CPRO Rígido	0,6/1 kV	21123-2	RV (XV)	Alumbrado exterior subterráneo, instalaciones interiores o receptoras.*
WIREPOL CPRO GAS	300/500 V	UNE-EN 50525-2-11	H05VV-F	En locales domésticos, cocinas, oficinas; para esfuerzos mecánicos medios. Alimentación de aparatos domésticos (lavadoras, frigoríficos...), enrolladores de interior, instalaciones en muebles.
SINTENAX CPRO AG	300/500 V	UNE-EN 50525-2-11	H05VV-F	Para circuitos de instrumentación y control, señalización, alimentación de aparatos portátiles industriales. Para servicios móviles. Resistente a grasas, aceites, hidrocarburos y agentes químicos.
SINTENAX CPRO 1000 V	0,6/1 kV	UNE 21123-1	VV-K	Cable para control de electroválvulas, para arranque de máquinas, arranque de autómatas, etc.*
RETENAX FLAM F	0,6/1 kV	UNE 21123-2	RVFV	Instalaciones fijas con riesgo de agresión mecánica (roedores...), alumbrado exterior subterráneo.*
BLINDEX CPRO 500 V	300/500 V	UNE 21031-13	VC4V-K	Cable apantallado con trenza de hilos de cobre para instrumentación, control y/o señalización en entornos con influencias electromagnéticas. Adecuado para regulación de temperatura, de intensidad, de tensión, de válvulas motorizadas, etc. o para control de electroválvulas, arranque de máquinas, arranque de autómatas, telerruptores, etc.*

(*) Salvo obligación de AFUMEX CLASS (AS).

CABLE	TENSIÓN ASIGNADA	NORMA DISEÑO	DESIGNACIÓN GENÉRICA	APLICACIONES
BLINDEX CPRO 1000 V	0,6/1 kV	UNE 21123-2	RC4V-K	Cable apantallado con trenza de hilos de cobre para suministro de energía en entornos donde se quieran evitar las influencias electromagnéticas. Adecuado para alimentación de motores con variadores de frecuencia hasta 10 mm ² (consultar fabricante de variadores).*
RETENAX VARINET	0,6/1 kV	IEC 60502-1	RVKV-K	Alimentación de motores con variadores de frecuencia.*
FLEXTREME	450/750 V	UNE-EN 50525-2-21	H07RN-F	Provisionales y temporales de obras, ferias y stands (exteriores), establecimientos agrícolas y hortícolas, caravanas, puertos y marinas para barcos de recreo, prolongadores de exterior o en ambientes industriales, locales húmedos, mojados o a muy baja temperatura. Servicios móviles.*
BUPRENO CPRO	0,6/1 kV	IEN 60502-1	DN-K	Instalaciones interiores o receptoras. En locales húmedos, mojados o a muy baja temperatura.*
BUPRENO BOMBAS SUMERGIDAS	0,6/1 kV	UNE 21166	DN-F BOMBAS SUMERGIDAS	Alimentación de bombas sumergidas. Tendidos sumergidos.
AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (S)	0,6/1 kV	UNE-HD 603-5X-1	AL XZ1 (S)	Redes de distribución subterráneas, instalaciones interiores o receptoras.*
AL POLIRRET CPRO	0,6/1 kV	UNE 21030-1	AL RZ	Redes aéreas de distribución, instalaciones posadas sobre fachadas o tensadas sobre apoyos.
POLIRRET FERIEX CPRO	0,6/1 kV	UNE 21030-2	RZ	Instalaciones aéreas de alumbrado exterior. Instalaciones posadas sobre fachadas o tensadas sobre apoyos.
DATAx LiYCY CPRO	250 V	VDE 812	LiYCY	Cable apantallado con trenza de hilos de cobre para transmisión de datos, señales analógicas y/o digitales en plantas industriales, instrumentos de medida y control en entornos con influencias electromagnéticas.

(*) Salvo obligación de AFUMEX CLASS (AS).

Reglamento de Productos de Construcción (CPR) y afectación a los cables

Reglamento de Productos de Construcción (CPR) y afectación a los cables

El 24 de abril de 2011 entró en vigor el Reglamento 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo más conocido como Reglamento de Productos de Construcción (CPR). Posteriormente, el 24 de noviembre de 2013, entró en vigor el Real Decreto 842/2013 por el que se aprobaba la clasificación de los productos de construcción según sus propiedades de reacción y resistencia a fuego ya que el CPR exige que se establezcan clases de prestaciones en relación con las características esenciales de los productos de construcción. Por su idiosincrasia los cables eléctricos merecen una consideración especial. Desde el 1 de julio de 2017 ningún fabricante puede poner en el mercado cables que, estando afectados por el CPR, no cumplan sus exigencias.

La aparición del Reglamento Productos de Construcción (CPR) anuló y sustituyó a la Directiva de Productos de Construcción (R.D. 312/2005) y representa, entre otras cosas, un paso más en la convergencia de criterios en la Unión Europea para clasificar los productos de construcción por su reacción al fuego.

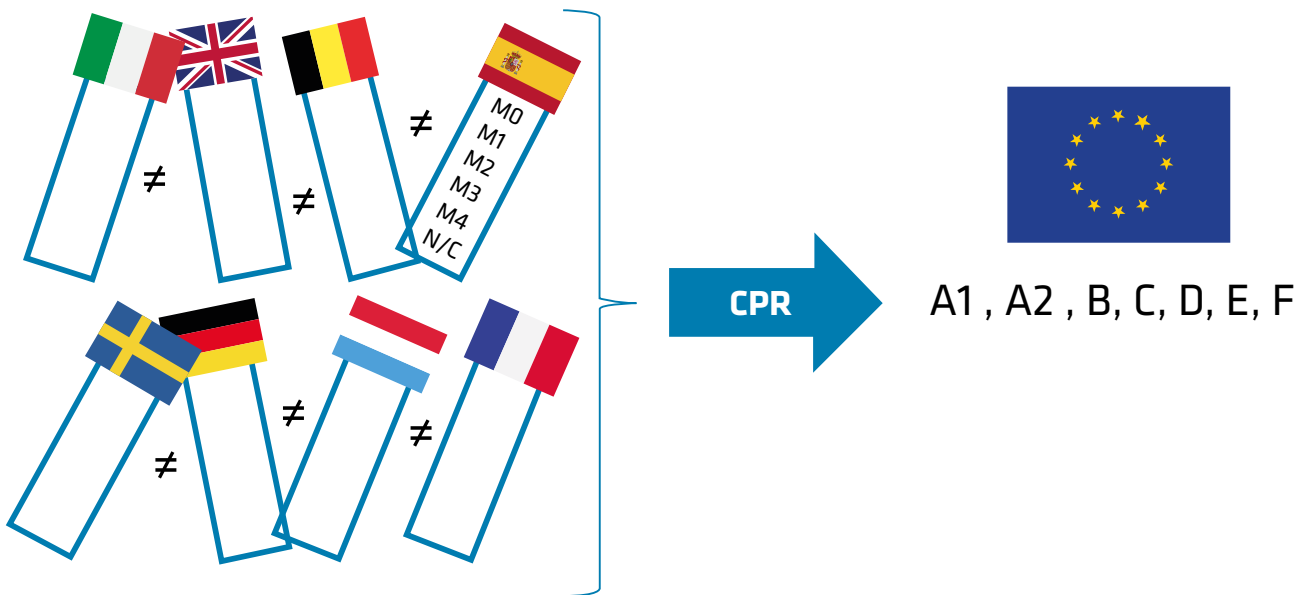
El artículo 2, punto 1 del CPR nos define **producto de construcción** como *cualquier producto o kit fabricado e introducido en el mercado para su incorporación con carácter permanente en las obras de construcción o partes de las mismas y cuyas prestaciones influyan en las prestaciones de las obras de construcción en cuanto a los requisitos básicos de tales obras.*

Parece fácil ver que la gran mayoría de los cables es producto de construcción por tratarse de elementos a incorporar permanentemente a las obras de construcción.

En el punto 3 del mismo artículo leemos que se entiende por **obras de construcción** las *obras de edificación y de ingeniería civil*. Con lo que vemos que el ámbito de aplicación del CPR no está limitado a los edificios solamente sino también a las obras de ingeniería civil como son las infraestructuras (redes de distribución, redes de alumbrado, líneas de ferrocarril, autopistas...).

E igualmente el CPR no está limitado exclusivamente a la baja tensión. Afecta a los cables de energía en general (BT, MT y AT), control o comunicación (incluidos los de fibra óptica). Encajan en la definición de producto de construcción y así están recogidos en el ámbito de aplicación de la norma UNE-EN 50575 que es la referencia actual para la evaluación de la reacción al fuego de los cables según el CPR.

En el RD 842/2013 se contemplan una serie de clases para los diferentes productos de construcción por su reacción al fuego homogeneizando el sistema de clasificación para todos los países de la UE, pasando, en nuestro caso, de las clases nacionales (España) M0, M1, M2, M3, M4 y N/C a las clases (no equivalentes) A1, A2, B, C, D, E y F atendiendo la energía liberada durante el ensayo de fuego con la posibilidad de ensayos adicionales que evalúan el humo y el desprendimiento de gotas o partículas inflamadas.



■ 1. Las clases de los cables eléctricos

El sistema de clasificación del RD 842/2013 recoge una tabla de aplicación general según los criterios explicados en el apartado anterior pero hay 3 tipos de productos cuya reacción al fuego ha sido evaluada de forma particular: los suelos, los productos lineales para aislamiento térmico de tuberías y los cables eléctricos. Por tanto, la clasificación de clases para los cables eléctricos sufre alguna variación respecto al caso general explicado anteriormente.

En el futuro se definirá, para cada aplicación, qué clase deben cumplir los cables. El sistema de ensayo es armonizado pero las características que se pueden requerir a los cables para la misma aplicación en países diferentes pueden variar. Es decir, cada país decidirá de forma independiente que clase se exige para cada tipo de instalación.

Analicemos las diferentes clases para el caso particular de los cables eléctricos:

■ ■ 1.1. Atendiendo a la energía liberada y propagación del fuego:

- **A_{ca}**: cables que no contribuyen al incendio.
- **B1_{ca}, B2_{ca}, C_{ca}, D_{ca} y E_{ca}**: Todos estos cables cumplen el ensayo de **no propagación de la llama** (UNE-EN 60332-1-2) y su grado de **propagación del incendio** y de **liberación de calor** durante la combustión está limitado

siendo inferior en la clase B1_{ca} que en la B2_{ca} y así sucesivamente (UNE-EN 50399).

- **F_{ca}**: cables sin determinación de comportamiento.

■ ■ 1.2. Clasificación adicional de los cables eléctricos

Los cables eléctricos tienen una serie de criterios adicionales a las clases. Estos criterios se aplican a las clases B1_{ca}, B2_{ca}, C_{ca} y D_{ca} y contemplan la información sobre la opacidad de humos emitidos (s0, s1 y s2) y desprendimiento de gotas (d0, d1 y d2) durante la combustión al igual que en el caso de los productos de construcción en general. Además también se evalúa la acidez de los gases emitidos (a1, a2 y a3) para conocer su influencia tóxica y corrosiva.

Por tanto tendríamos que para cables eléctricos:

■ ■ ■ 1.2.1. Cantidad, velocidad de generación y opacidad de humos (UNE-EN 61034-2):

- **s1**: escasa producción y lenta propagación de humo.
- **s1a**: s1 y transparencia de humos superior al 80 %.
- **s1b**: s1 y transparencia de humos superior al 60 % e inferior al 80 %.
- **s2**: valores intermedios de producción y propagación de humo.
- **s3**: ni s1, ni s2

1.2.2. Desprendimiento de gotas durante la combustión (UNE-EN 50399):

- **d0:** sin caída de gotas ni partículas inflamadas durante los 1200 s que dura el ensayo.
- **d1:** las gotas o partículas inflamadas desprendidas se extinguen en menos de 10 s.
- **d2:** ni d0, ni d1.

1.2.3. Acidez de los gases (UNE-EN 60754-2):

- **a1:** baja acidez: conductividad de los gases emanados < 2,5 µS/mm y pH > 4,3).
- **a2:** valor intermedio de acidez: conductividad de los gases emanados < 10 µS/mm y pH > 4,3).
- **a3:** ni a1, ni a2.

CLASE	ENSAYOS						
	CLASIFICATORIOS				ADICIONALES		
	Generación calor combustión	Propagación llama	Propagación incendio	Generación calor	Humos	Gotas / partículas	Acidez
	UNE-EN ISO 1716	UNE-EN 60332-1-2	UNE-EN 50399	UNE-EN 50399	UNE-EN 50399 y UNE-EN 61034-2	UNE-EN 50399	UNE-EN 60754-2
A _{ca}							
B1 _{ca}			-	-	s1	d0	a1
B2 _{ca}					s1a	d1	a2
C _{ca}			+	+	s1b	d2	a3
D _{ca}					s2		
E _{ca}					s3		
F _{ca}							

Así la clase C_{ca}-s1b,d1,a1 que aplica en España a los cables tipo Afumex Class, según la nota de aplicación del CPR al REBT del Ministerio Economía, Industria y Competitividad, nos informaría sobre un cable con las siguientes propiedades:

- C_{ca}: valores limitados de propagación del fuego (UNE-EN 60332-1-2 y UNE-EN 50399) y liberación de calor (UNE-EN 50399).
- s1b: escasa producción y lenta propagación de humo (UNE-EN 50399) y transparencia de humos entre el 60 % y el 80 % (UNE-EN 61034-2).
- d1: las gotas o partículas inflamadas desprendidas se extinguen en menos de 10 s (UNE-EN 50399).
- a1: baja acidez, conductividad de los gases emanados < 10 µS/mm y pH > 4,3 (UNE-EN 60754-2).

La clase de reacción al fuego irá marcada de forma visible en la cubierta o aislamiento de los cables para BT.



El cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** es clase C_{ca}-s1b,d1,a1.

Los cables con clase C_{ca}-s1b,d1,a1 de este catálogo son toda la familia Afumex Class (AS):

- AFUMEX CLASS 500 V (AS)** ES05Z1-K TYPE 2 (AS)
- AFUMEX CLASS 750 V (AS)** H07Z1-K TYPE 2 (AS)
- AFUMEX CLASS HAZ (AS)** H07Z1-K TYPE 2 (AS)
- AFUMEX CLASS PANELES Rígido (AS)** H07Z1-R TYPE 2 (AS)
- AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** RZ1-K (AS)
- AFUMEX CLASS MANDO (AS)** RZ1-K (AS)
- AFUMEX CLASS FIRS (AS+)** mRZ1-K (AS+)
- AFUMEX CLASS MÚLTIPLE 1000 V (AS)** Z1Z1-K (AS)
- AFUMEX CLASS ATEX (AS)** RZ1MZ1-K (AS)
- AFUMEX CLASS ATEX 2RH (AS)** RZ1MZ1-K 2RH (AS)
- AFUMEX CLASS BLINDEX 500 V (AS)** Z1C4Z1-K (AS)
- AFUMEX CLASS BLINDEX 1000 V (AS)** Z1C4Z1-K (AS)
- AL AFUMEX CLASS (AS)** AL RZ1 (AS)

Los cables con clase E_{ca} (no propagadores del incendio según UNE-EN 60332-1-2) son:

- P-SUN 2.0 CPRO** ZZ-F
- WIREPOL CPRO Flex** H05V-K / H07V-K
- WIREPOL CPRO Rígido** H05V-U / H07V-U / H07V-R
- RETENAX CPRO Flex** RV-K
- RETENAX CPRO Rígido** RV (XV)
- WIREPOL CPRO GAS** H05VV-F →

←

SINTENAX CPRO AG	H05VV-F
SINTENAX CPRO 1000 V	VV-K
RETENAX FLAM F	RVFV
BLINDEX CPRO 500 V	VC4V-K
BLINDEX CPRO 1000 V	RC4V-K
FLEXTREME	H07RN-F
BUPRENO CPRO	DN-K
AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (S)	AL XZ1 (S)
DATAx LiYCY CPRO	LiYCY

Los cables sin comportamiento frente al fuego declarado (clase F_{ca}) son:

RETENAX FLAM F	RVFV
RETENAX VARINET	RVKV-K
BUPRENO BOMBAS SUMERGIDAS	DN-F BOMBAS SUMERGIDAS
AL POLIRRET CPRO	AL RZ
POLIRRET FERIECX CPRO	RZ

■ ■ 1.3 Clases mínimas según REBT y CPR

Instalaciones en general: Eca

Locales de pública concurrencia e instalaciones de enlace: C_{ca}-s1b,d1,a1

Redes aéreas tensadas o posadas (cables UNE 21030): Fca

■ ■ 1.4. Cables resistentes al fuego [AFUMEX CLASS FIRS (AS+)] a el

Los cables resistentes al fuego, actualmente conocidos genéricamente como AS+ en España, están pensados para dar continuidad al suministro eléctrico aún en caso de incendio para poder alimentar los servicios de seguridad no autónomos. Este tipo de cables **deben cumplir igualmente con las exigencias mínimas de la clase C_{ca}-s1b,d1,a1** y ser resistentes al fuego según UNE-EN 50200.

Reacción al fuego: C_{ca}-s1b,d1,a1

Resistencia al fuego: UNE-EN 50200 (842 °C, 2 h)



El cable **AFUMEX CLASS FIRS (AS+)** de Prysmian está diseñado bajo las prescripciones del CPR.

*Caso particular al tratarse tradicionalmente de cables no sometidos a ensayos de reacción al fuego por ir esencialmente en exteriores.

La **resistencia** al fuego (no confundir con reacción al fuego explicada en este artículo) evalúa la capacidad de un cable para seguir prestando suministro en las condiciones de un incendio. Se trata de una característica esencial de los cables que se ve afectada por el CPR y, por tanto, se espera aparezca en el futuro una norma que regule dicha prestación unificando los criterios en la UE del mismo modo que se ha hecho con la reacción al fuego. Actualmente, en España, sigue vigente lo que expresamente dice el REBT en la ITC-BT 28 (UNE-EN 50200). El cable **AFUMEX CLASS FIRS (AS+)** permite la continuidad del suministro durante el máximo tiempo contemplado en norma: 2 horas a 842 °C.

Comportamiento frente al fuego mejorado

A efectos técnicos el CPR nos obliga a la instalación de cables más seguros.

Los cables tipo Afumex Class (AS) (clase C_{ca}-s1b,d1,a1) deben superar nuevos ensayos de fuego (control de la generación de calor, cantidad de humos y desprendimiento de gotas o partículas incandescentes) y los que ya le eran de aplicación antes del CPR (no propagación de la llama ni del incendio, opacidad de humos y acidez de los gases emanados) han incrementado sus exigencias. La siguiente tabla pretende resumir las diferencias:

Clase C _{ca} -s1b,d1,a1 (cables Afumex Class (AS))		
	Anterior	CPR
No propagación de la llama	SI*	SI
Caudal del aire para combustión	5000 l	8000 l
Longitud máxima afectada por el fuego	2,5 m	2 m
Generación de calor	NO se mide	SI se mide
Cantidad de humo	NO se mide	SI se mide
Acidez gases	<10 µS/mm	<2,5 µS/mm
Desprendimiento de gotas	NO se mide	<10 s

Los cables de uso general de PVC (Retenax CPRO...) y goma en líneas generales (clase Eca) han de superar el nuevo ensayo de no propagación de la llama (UNE-EN 60332-1-2). Tradicionalmente superaban la versión anterior de este ensayo, el nuevo test ha recortado en 50 mm la máxima longitud de cable afectada por el fuego y además mide la propagación vertical de la llama hacia arriba y hacia abajo, antes sólo se medía en sentido ascendente.

Se recomienda ver el apartado de ensayos de fuego.

NOTA: en las fichas de este catálogo se incluyen también los ensayos de reacción al fuego que, aunque no se correspondan con las clases de referencia siguen teniendo validez para países que no son de la UE por ello figuran en color negro mientras que los propios del CPR (UE) aparecen en azul.

El CPR no permite, en la UE, alusión a normativa de reacción al fuego de los cables no contemplada en la categorización de las clases citadas. No es posible referenciar ensayos de fuego ajenos como exigencia en ninguna reglamentación en ningún país miembro, incluida normativa privada, ni siquiera como complemento a alguna clase (p.e. si un cable supera la clase E_{ca} y además es libre de halógenos y nula emisión de gases corrosivos según UNE-EN 60754 y baja emisión de humos opacos según UNE-EN 61034 a efectos legales sólo se considera la clase E_{ca} (UNE-EN 60332-1-2) ya que la combinación de esta clase con los ensayos citados no se corresponde con otra posible clase CPR. La siguiente posibilidad sería D_{ca} pero para ello es necesario que el cable supere el ensayo de baja emisión de calor, ver tabla de ensayos según clases).

NOTA: Se recomienda ver apartado L/Ensayos de fuego.

Nuevo mercado CE (CPR)

Uno de los objetivos principales del nuevo Reglamento de Productos de Construcción (CPR) es la eliminación de obstáculos para el comercio de productos de construcción en la Unión Europea. Su entrada en vigor supone una serie de cambios en los diferentes aspectos y tareas a realizar por los fabricantes de productos de construcción para la colocación del mercado CE en sus productos, en particular en la documentación a elaborar y, en su caso, entregar a los receptores de dichos productos.

■ 1. Declaración de Prestaciones

Se trata de un nuevo documento que viene a sustituir a la Declaración CE de Conformidad.

La Declaración de Prestaciones (DdP), que expresará las prestaciones del producto en relación con sus **características esenciales**, será emitida por el fabricante cuando el producto se introduzca en el mercado y esté cubierto por una *norma armonizada* o sea conforme a una *evaluación técnica europea*, con lo que asume la responsabilidad de la veracidad de la prestación declarada del producto.

Las características esenciales son las características de un producto de construcción que se refieren a los requisitos básicos de las obras de construcción (pto. 4, artículo 2 del CPR).

Los requisitos básicos son las condiciones que deben cumplir las obras de construcción durante un periodo de vida económicamente razonable (anexo I del CPR):

1. Resistencia mecánica y estabilidad.
2. **Seguridad en caso de incendio.**
3. Higiene, salud y medio ambiente.
4. Seguridad y accesibilidad de utilización.
5. Protección contra el ruido.
6. Ahorro de energía y aislamiento térmico.
7. Utilización sostenible de los recursos naturales.

Los cables se ven afectados por los siguientes requisitos básicos:

2.- Seguridad en caso de incendio.

- *Reacción al fuego.
- *Resistencia al fuego.

3.- Higiene, salud y medio ambiente.

- *Emisión de sustancias peligrosas.

En el caso de los cables eléctricos de energía, control y comunicación así como los cables de fibra óptica la norma europea armonizada UNE-EN 50575 especifica el comportamiento de **reacción al fuego**, métodos de ensayo y evaluación (característica esencial del requisito básico 2) para verificar la **euroclase** (RD 842/2013) correspondiente y poder clasificar el cable por su reacción al fuego en base a los ensayos de la citada UNE-EN 50575 realizados por un organismo notificado (entidad de control de calidad acreditada). Salvo para el caso de la

clase sin comportamiento declarado (F_{ca}) que no precisa de la participación de una tercera parte para certificar la clase.

El sistema de evaluación y verificación de la constancia de la prestación EVCP obliga según la clase a realizar ensayos por parte de un organismo notificado. Como vemos en la tabla el sistema EVCP 1+ afecta a las clases que van desde A_{ca} hasta C_{ca} y obliga al fabricante a superar ensayos de tipo y control permanente de la producción en fábrica por un organismo notificado en la UE.




*Característica esencial.

Todos los cables tipo Afumex Class (AS) son clase C_{ca} -s1-b,d1,a1 y por ello les es de aplicación el sistema EVCP 1+.

Para cables de las clases D_{ca} o E_{ca} es obligatorio superar los ensayos que proceda (ver tabla) en un laboratorio notificado en la UE (sistema EVCP 3). Los cables de tipo

general en España son clase E_{ca} salvo raras excepciones.

Vemos por tanto que el CPR además de una mayor exigencia de reacción al fuego de los cables también trae aparejado un mayor control de calidad no dejando el mismo sólo en manos del fabricante.

EUROCLASE (ca)	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN	CRITERIOS ADICIONALES	SISTEMA EVCP
A_{ca}	EN ISO 1716 Generación de calor de combustión		1+ • Ensayo tipo inicial, auditoría de fábrica y seguimiento continuo y control de la producción en fábrica (CPF) con auditorías y ensayos de seguimiento por un organismo notificado de certificación de producto.
 $B1_{ca}$	- EN 50399 Generación de calor. Índice de propagación del fuego	Producción de humo (s1a, s1b, s2, s3) EN 50399 / EN 61034-2	
$B2_{ca}$		Acidez (a1, a2, a3) EN 60754-2	
 C_{ca}	+ EN 60332-1-2 No propagación de la llama	Partículas inflamadas (d0, d1, d2) EN 50399	3 • Ensayo tipo inicial en laboratorio de notificado de ensayos. • Seguimiento continuo y CPF por parte del fabricante.
D_{ca}			
E_{ca}	EN 60332-1-2 No propagación de la llama		4 • Ensayo tipo inicial y seguimiento y CPF por parte del fabricante
 F_{ca}			

La norma UNE-EN 50575 recoge y asigna los ensayos de fuego citados en esta tabla para cada euroclase. EVCP = Evaluación y Verificación de la constancia de la prestación.

La citada norma UNE-EN 50575 recoge que también sería de aplicación la calificación del cable según la *emisión de sustancias peligrosas*, característica esencial dentro del requisito básico 3, pero actualmente no existen ensayos europeos armonizados por lo que esta calificación depende actualmente de las disposiciones nacionales en el lugar de utilización, es decir, no hay variación de lo que se venía exigiendo al respecto.

Igualmente ocurre con la característica esencial *resistencia al fuego* al no existir norma europea armonizada

sigue siendo de aplicación en España la UNE-EN 50200 que prescribe el REBT.

Por tanto, una vez definida la euroclase de reacción al fuego del cable, el fabricante puede redactar la Declaración de Prestaciones que deberá tener a disposición del cliente antes de introducir el producto en el mercado. Su contenido se ejemplifica a continuación:



DECLARACIÓN DE PRESTACIONES

n° 1003875

1. Código de identificación única del producto tipo:

AFUMEX CLASS 1000V RZ1-K 1kV

2. Usos previstos:

Cable sujeto a requisitos de reacción al fuego para aplicaciones generales en obras de construcción

3. Fabricante:

Prysmian Cables Spain S.A.
Carretera C-15, Km. 2
08800 - Vilanova i la Geltrú (Barcelona)
España

4. Representante autorizado:

-

5. Sistemas de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones (EVCP):

AVCP: 1+

6. Norma armonizada:

EN 50575:2014+A1:2016

Organismos notificados:

0099 AENOR

7. Prestaciones declaradas:

Reacción al fuego: C_{ca}-s1b,d1,a1
Sustancias peligrosas: Sin prestaciones declaradas.

Las prestaciones del producto identificado anteriormente son conformes con el conjunto de prestaciones declaradas. La presente declaración de prestaciones se emite, de conformidad con el Reglamento (UE) no 305/2011, bajo la sola responsabilidad del fabricante arriba identificado.

Firmado por y en nombre del fabricante por Rafael Maza, Spain QHSE Director en lugar Vilanova i la Geltrú (Barcelona) fecha de emisión 27/12/2016

Dirección WEB Buscador DdP: <http://es.prysmiangroup.com/cpr>

La declaración de prestaciones (**DdP**) contiene información sobre el producto, el fabricante y también del organismo notificado de control de calidad según el sistema de evaluación y verificación de la continuidad de la prestación (EVCP) que aplique (*ver tabla de euroclases*).

■ 2. Mercado CE


El mercado CE se colocará únicamente en los productos de construcción respecto de los cuales el fabricante haya emitido una Declaración de Prestaciones.

Con el mercado CE el fabricante, o en su caso el distribuidor o importador, asume la responsabilidad sobre la

conformidad del producto con las prestaciones incluidas en la **DdP**.

El mercado CE significa el cumplimiento de todas las Directivas que afecten al producto y deberá ser colocado por el fabricante antes de la introducción del producto en el mercado.

Contiene tanto la marca CE como un resumen de la Declaración de prestaciones que debe ir acompañándole de tal manera que al no ser ya posible fijar toda la información sobre el aislamiento o la cubierta de un cable, figurará por tanto en el embalaje con un aspecto similar al siguiente o distinto.

 0099	<i>Mercado CE, consistente en el logotipo "CE"</i>
Prysmian Spain, Ctra. C-15, km 2, 08800 Vilanova i la Geltrú, España	<i>Numero identificativo del organismo notificado</i>
16	<i>Nombre y dirección social del fabricante o importador o distribuidor o marca identificativa</i>
1003875	<i>Últimas dos cifras del año en que se fijó el mercado CE por primera vez⁽¹⁾</i>
EN 50575: 2014 + A1: 2016 AFUMEX CLASS 1000 V RZ1-K 1 kV Suministro de electricidad en edificios y en otras obras de ingeniería civil con el objetivo de limitar la generación y propagación de fuego y humo Reacción al fuego: C _{ca} -s1b,d1,a1 Sustancias peligrosas: ninguna	<i>Numero de referencia de la Declaración de Prestaciones</i>
	<i>Numero de la norma armonizada de aplicación, como esta referenciada en el DOUE (con fecha)</i>
	<i>Código de identificación único del producto tipo</i>
	<i>Uso al que está destinado el producto como se refleja en la Norma Europea armonizada aplicada</i>
	<i>Lista de las características esenciales y el nivel o clase de prestación declarada de cada una</i>
	(No se incluirán las características para las que se declare NPD)

El nuevo mercado CE contiene información sobre el producto y el fabricante y muestra el número identificativo del organismo notificado de control de calidad.

Introducción técnica



A/Instalaciones interiores o receptoras

PARTES DE UN CABLE



Los cables para baja tensión tienen unas estructuras características, cada capa sobre los conductores tiene una función específica.

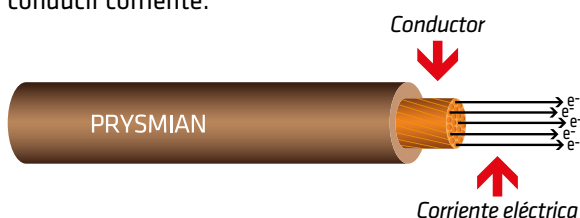
¿Qué es un cable?

Conjunto constituido por uno o varios conductores aislados y sus eventuales revestimientos (cubierta, pantalla, armadura, etc.).

Partes de un cable

■ 1. Conductor

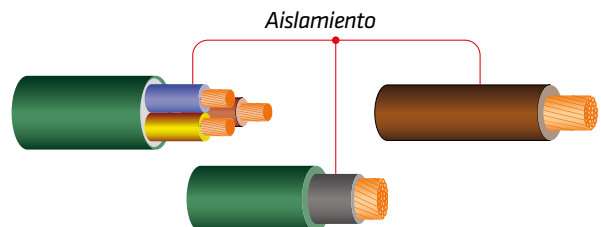
Parte de un cable que tiene la función específica de conducir corriente.



Los metales conductores más empleados son **cobre** y **aluminio**. El cobre presenta algunas ventajas frente al aluminio, como tener menor resistencia eléctrica, mayor resistencia mecánica, puede ser rígido o flexible, se fabrica en secciones pequeñas, menor coeficiente de dilatación lineal...

■ 2. Aislamiento

Conjunto de materiales aislantes (conductividad prácticamente nula) cuya función específica es **soportar la tensión**.



En baja tensión los **niveles de aislamiento** más frecuentes son 450/750 V y 0,6/1 kV. Valores **asignados** que refieren a *tensión entre conductor y tierra / tensión entre conductores*.

Los materiales de aislamiento más frecuentemente empleados son:

■ **Poliolefinas Afumex**: p.e. cables de alta seguridad de 450/750 V como Afumex Class 750 V (AS) (H07Z1-K (AS) TYPE 2).

■ **Polietileno reticulado (XLPE)**: p.e. cables de 0,6/1 kV como Afumex Class 1000 V (AS) (RZ1-K (AS)) o Retenax CPRO Flex (RV-K).

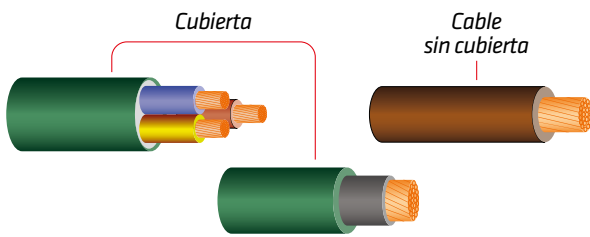
■ **Policloruro de vinilo (PVC)**: p.e. cables de 450/750 V

como Wirepol CPRO Flex (H07V-K) o Wirepol CPRO Rígido (H07V-R).

■ **Goma:** p.e. cables de 450/750 V tipo Flextreme o cables de 0,6/1 kV tipo Bupreno CPRO.

■ 3. Cubierta

Revestimiento tubular continuo y uniforme cuyo fin es **proteger mecánicamente** el cable.



NOTA: el cable sin cubierta es lo que técnicamente se conoce como conductor aislado por estar compuesto de conductor + aislamiento.

Las cubiertas más usuales son:

■ **Poliolefinas Afumex:** p.e. cables de alta seguridad de 0,6/1 kV como Afumex Class 1000 V (AS) (RZ1-K).

■ **PVC:** p.e. cables de 0,6/1 kV tipo Retenax CPRO Flex (RV-K).

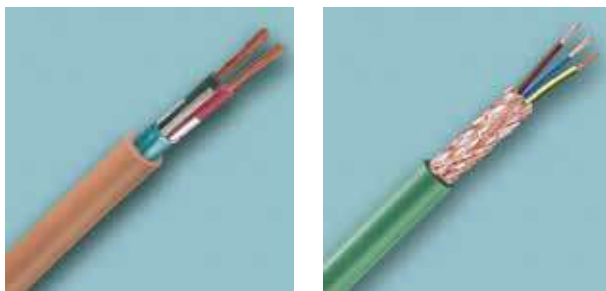
■ **Goma:** p.e. cables de 450/750 V tipo Flextreme o cables tipo Bupreno CPRO.



Afumex Class 1000 V (AS):
aislamiento de XLPE y cubierta de poliolefinas Afumex.
Clase Cca-s1b,d1,a1.
Alta flexibilidad y facilidad de extracción de la cubierta.

■ 4. Pantalla

Revestimiento destinado a asegurar **compatibilidad electromagnética**. (evitar interferencias internas o externas).



Pantalla de cinta de aluminio.

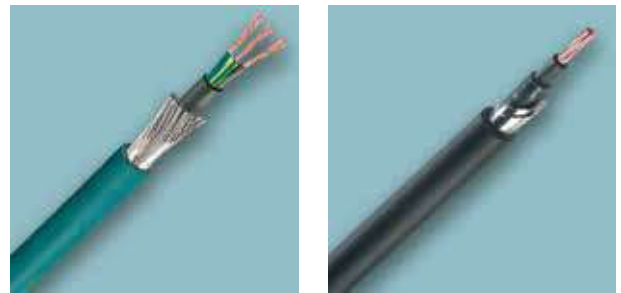
Pantalla de trenza de cobre.

Los cables Blindex de Prysmian con pantalla de **trenza de cobre** tienen una cobertura de pantalla superior al 60 % siguiendo exigencias de las normas.

Las pantallas de **cinta de cobre o aluminio** son mejores para reducir interferencias por altas frecuencias, las de trenza de cobre mejor para bajas frecuencias.

■ 5. Armadura

Parte de un cable pensada principalmente para dotarlo de **mayor protección mecánica**



Armadura de de hilos de acero

Armadura de flejes de acero

Tipos de armadura más frecuentes:



De **corona de hilos de acero** (cables Afumex Class Atex (AS)). La mejor protección mecánica (ITC-BT 29, zonas ATEX), flexibilidad y resistencia a la tracción.
Clase Cca-s1b,d1,a1.



De **flejes de acero** (cables Retenax Flam F). Buena protección mecánica.



De **fleje de acero corrugado**. Buena protección mecánica y flexibilidad.



De **trenza de hilos de acero**. Máxima flexibilidad.

Intensidades admisibles

El paso del tiempo ha demostrado que había excesiva simplificación para la diversidad de modos de instalaciones eléctricas en edificios, que se utilizan en la práctica, lo que hacía necesarias unas tablas de cargas más ajustadas a la realidad.

Esta necesidad motivó la publicación de la norma UNE 20460 - “Instalaciones Eléctricas en Edificios”, que es una adaptación del Documento de Armonización del CENELEC HD-384 que, a su vez, se corresponde con la recomendación del Comité Electrotécnico Internacional IEC 364. Las intensidades admisibles para cables en instalaciones en edificios se venían recogiendo en la norma UNE 20460-5-523 hasta que en 2014 fue publicada la UNE-HD 60364-5-52 (IEC 60364-5-52) que es la versión actualmente vigente y de aplicación según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), ITC-BT 19. Las intensidades admisibles de los cables descritos en este apartado se ajustan al contenido de la norma en vigor.

NOTA: En este catálogo figuran tablas en las que se alude a cables tripolares o a tres cables unipolares. Por cable tripolar se entiende cable multiconductor con 3 conductores cargados (típicamente en trifásica). Así por ejemplo un cable 5G16 en una instalación trifásica es un cable tripolar a efectos de las tablas de cargas porque, salvo influencia significativa de los armónicos, sólo llevará cargados los conductores de las 3 fases.

Cuando se habla de tres cables unipolares, análogamente nos referimos a una línea con 3 cables activos de un solo conductor, al margen de que en el circuito haya otros conductores considerados no activos (neutro sin armónicos y/o “tierra”).



Cable unipolar



Cable multipolar (5 conductores) para trifásica 3 conductores activos si la línea esta exenta de armónicos:

■ Modos de instalación

La tabla A.52.3 de la norma UNE HD 60364-5-52 (IEC 60364-5-52), relaciona los “modos de instalación”, haciéndolos corresponder a unas instalaciones “tipo”, cuya capacidad de disipación del calor generado por las pérdidas es similar a aquellos, por lo que se pueden agrupar en una determinada tabla de cargas común (tabla C.52.1 bis) para todos los modos que se adaptan a la misma instalación tipo.

TABLA A.52.3

Métodos de instalación e instalaciones “tipo”

ELEMENTO	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
1		Conductores aislados o cables unipolares en conductos empotrados en paredes térmicamente aislantes.	A1

TABLA A.52.3

Métodos de instalación e instalaciones “tipo” (CONTINUACIÓN)

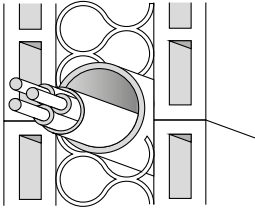
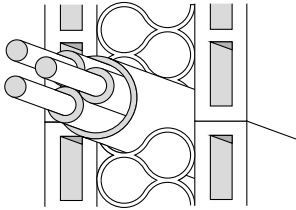
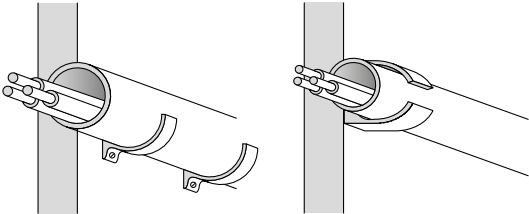
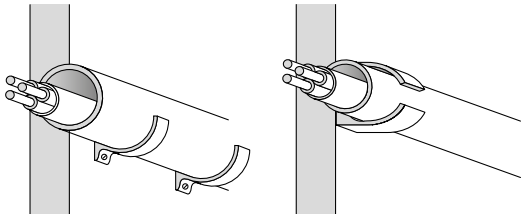
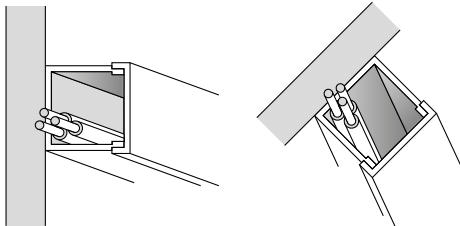
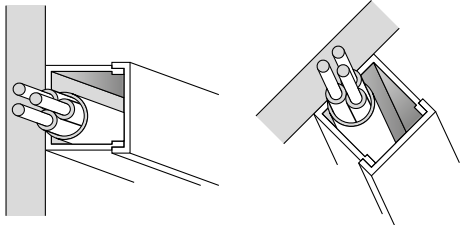
ELEMENTO	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
2		Cable multiconductor en conductos empotrados en una pared térmicamente aislante.	A2
3		Cable multiconductor empotrado directamente en una pared térmicamente aislante.	A1
4		Conductores aislados o cable unipolar en conductos sobre pared de madera o de mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...), no espaciados de ella a una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del tubo.	B1
5		Cable multiconductor en conducto sobre pared de madera o de mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...), no espaciado de ella a una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del conducto.	B2
6 7		Conductores aislados o cables unipolares en canal protectora fijada sobre una pared de madera o de mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...): • En recorrido horizontal • En recorrido vertical.	B1
8 9		Cable multiconductor en canal protectora fijada sobre una pared de madera o de mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...): • En recorrido horizontal. • En recorrido vertical.	B2 B2

TABLA A.52.3

Métodos de instalación e instalaciones “tipo” (CONTINUACIÓN)

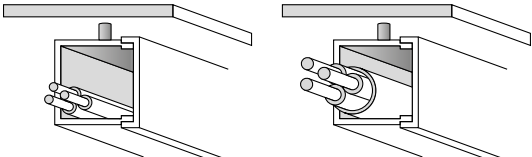
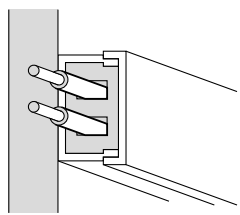
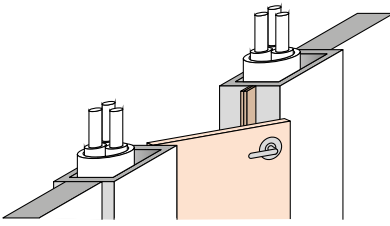
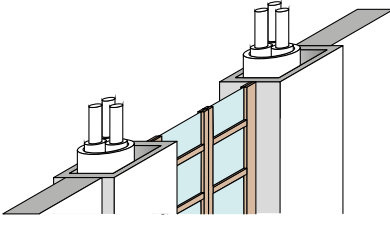
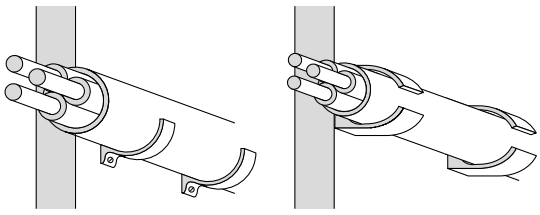
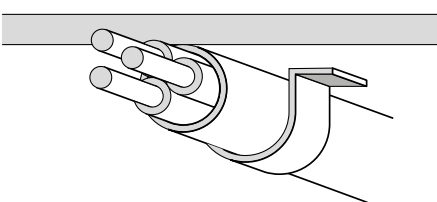
ELEMENTO	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
10 11		Conductores aislados en canal protectora suspendida. Cable multiconductor en canal protectora suspendida.	B1 B2
12		Conductores aislados o cables unipolares en molduras.	A1
15		Conductores aislados en conductos o cables unipolares o multipolares en arquitrave.	A1
16		Conductores aislados en conductos o cables unipolares o multipolares en los marcos de ventana.	A1
20		Cables unipolares o multipolares fijados sobre una pared de madera o espaciados menos de 0,3 veces el diámetro del cable de la pared.	C
21		Cables unipolares o multipolares fijados bajo un techo de madera o mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...).	C

TABLA A.52.3

Métodos de instalación e instalaciones “tipo” (CONTINUACIÓN)

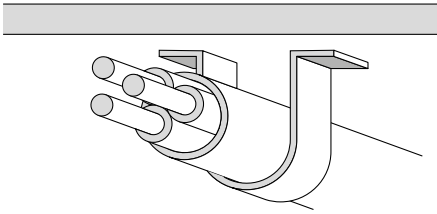
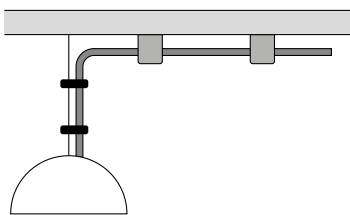
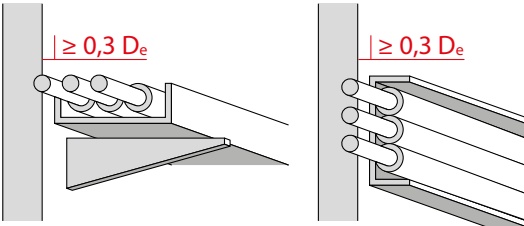
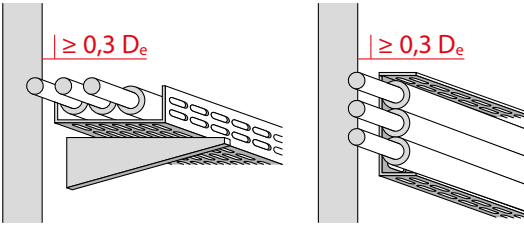
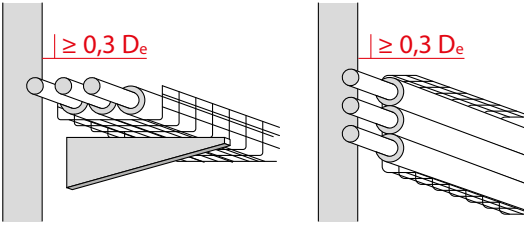
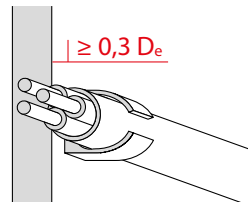
ELEMENTO	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
22		Cables unipolares o multipolares separados del techo.	En estudio, (se recomienda E).
23		Instalación fija de un receptor suspendido.	C
30		Cables unipolares o multipolares sobre bandejas de cables no perforadas: En recorrido horizontal. En recorrido vertical.	C
31		Cables unipolares (F) o multipolares (E) sobre bandejas perforadas: En recorrido horizontal. En recorrido vertical.	E o F
32		Cables unipolares (F) o multipolares (E) sobre soportes o bandeja rejilla: En recorrido horizontal. En recorrido vertical.	E o F
33		Cables unipolares (F) o multipolares (E) separados de la pared más 0,3 veces el diámetro del cable.	E o F

TABLA A.52.3

Métodos de instalación e instalaciones “tipo” (CONTINUACIÓN)

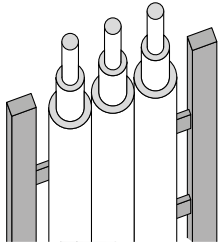
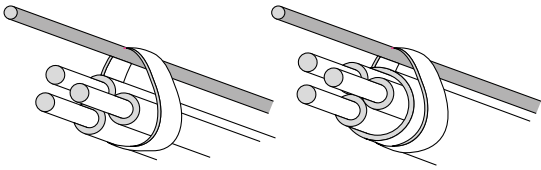
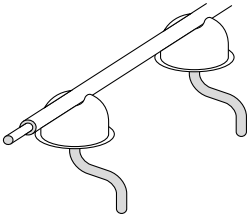
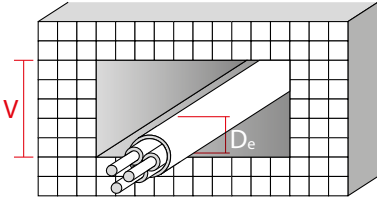
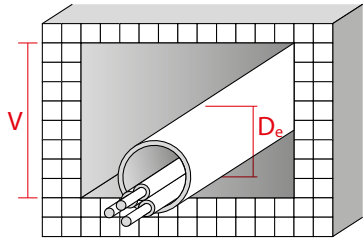
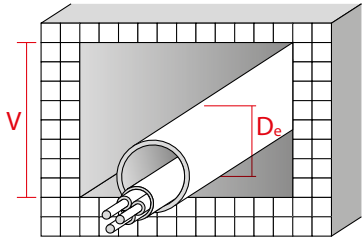
ELEMENTO	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
34		Cables unipolares (F) o multipolares (E) sobre escaleras de cables.	E o F
35		Cables unipolares (F) o multipolar (E) suspendido.	E o F
36		Conductores desnudos o aislados sobre aisladores.	G
40		Cables unipolares o multipolares en hueco de construcción.	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 20 D_e$ B1
41		Conductores aislados en conductos circulares en hueco de construcción.	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
42		Cables unipolares o multipolares en conductos circulares en hueco de construcción.	En estudio. Puede usarse $1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1

TABLA A.52.3

Métodos de instalación e instalaciones “tipo” (CONTINUACIÓN)

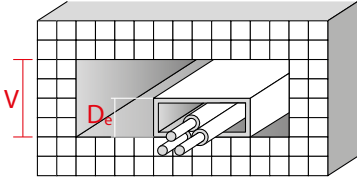
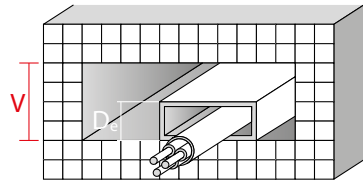
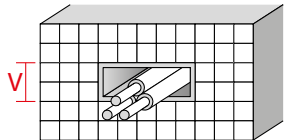
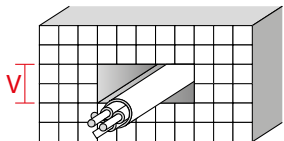
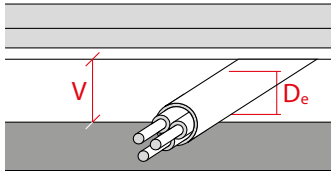
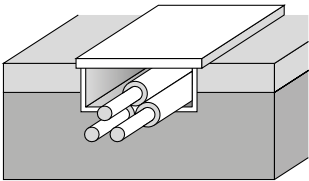
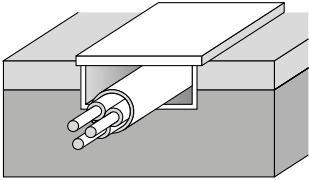
ELEMENTO	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
43		Conductores aislados en conductos no circulares en hueco de construcción.	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
44		Cables unipolares o multipolares en conductos no circulares en vacíos de construcción.	En estudio. Puede usarse $1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
45		Conductores aislados en conductos de sección no circular empotrados en mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...) de resistividad térmica no superior a 2 K·m/W.	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
46		Cables unipolares o multipolares en conductos de sección no circular empotrados en mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...) de resistividad térmica no superior a 2 K·m/W.	En estudio. Puede usarse $1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
47		Cables unipolares o multipolares en hueco en el techo o en los suelos suspendidos.	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
50		Conductores aislados o cables unipolares en canales empotrados en el suelo	B1
51		Cable multiconductor en canales empotrados en el suelo.	B2

TABLA A.52.3

Métodos de instalación e instalaciones “tipo” (CONTINUACIÓN)

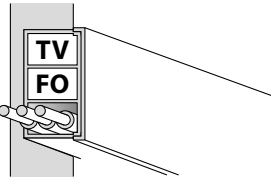
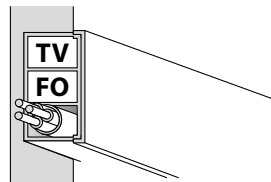
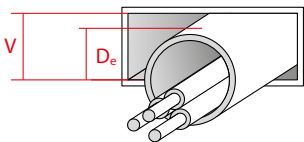
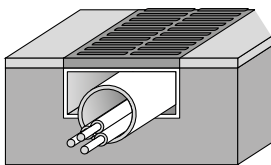
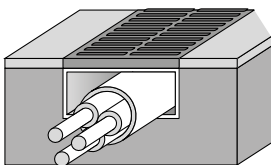
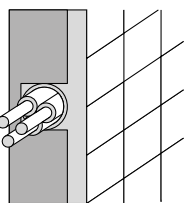
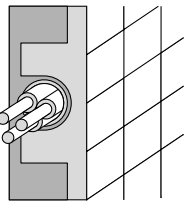
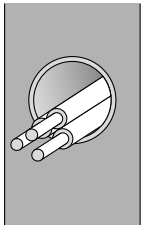
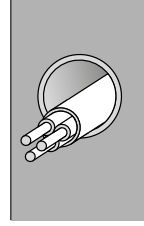
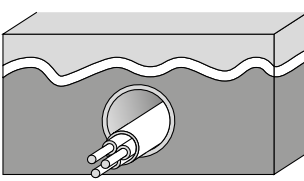
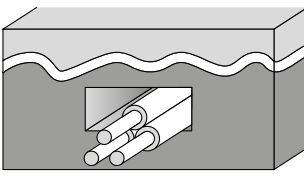
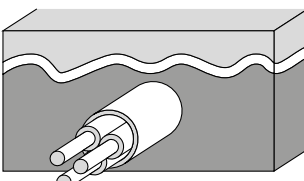
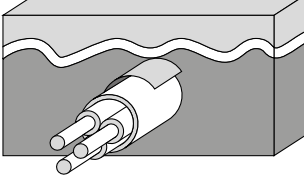
ELEMENTO	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
52		Conductores aislados o cables unipolares en canal empotrada.	B1
53		Cable multiconductor en canal empotrada.	B2
54		Conductores aislados o cables unipolares en tubo en canal de obra, no ventilada, en recorrido horizontal o vertical.	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
55		Conductores aislados en tubo, en canal de obra abierta o ventilada en el suelo.	B1
56		Cables unipolares o multipolares en canal de obra abierta o ventilada de recorrido horizontal o vertical.	B1
57		Cables unipolares o multipolares empotrados directamente en las paredes de mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...) de resistividad inferior a $2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ sin protección mecánica complementaria.	C
58		Cables unipolares o multipolares empotrados directamente en las paredes de mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...) de resistividad inferior a $2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ con protección mecánica complementaria.	C

TABLA A.52.3

Métodos de instalación e instalaciones “tipo”

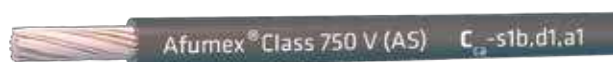
ELEMENTO	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
59		Conductores aislados o cables unipolares en conductos empotrados en pared de mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...).	B1
60		Cables multiconductores en conductos empotrados en pared de mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...).	B2
70		Cable multiconductor en tubo o en conducto enterrado cerrado de sección no circular.	D1
71		Cables unipolares en tubo o en conducto enterrado.	D1
72		Cables unipolares o multipolares enterrados <i>sin</i> protección mecánica complementaria.	D2
73		Cables unipolares o multipolares enterrados <i>con</i> protección mecánica complementaria.	D2

Así pues, sólo habrá que considerar las tablas de carga de las diez instalaciones “tipo” (A1, A2, B1, B2, C, D1, D2, E, F y G) con las que se identificarán los distintos “métodos de instalación” mencionados.

Debe recordarse que el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) denomina “conductores aislados” a los conductores aislados sin cubierta como, por ejemplo, los cables

WIREPOL CPRO RÍGIDO,
WIREPOL CPRO FLEXIBLE ó
AFUMEX CLASS 750 V (AS).

Se trata de cables que, en el mejor de los casos presentan un nivel de aislamiento de 450/750 V y siempre serán unipolares, lo que limita su campo de aplicación a su “instalación en conductos situados sobre superficies o empotrados, o en sistemas cerrados análogos”.



El cable **AFUMEX CLASS 750 V (AS)** es conductor aislado unipolar.

Por otro lado, cuando se alude a los cables, se refiere siempre a conductores aislados con una cubierta adicional como, por ejemplo, los cables

RETENAX CPRO FLEX ó
AFUMEX CLASS 1000 V (AS),

tanto unipolares como multipolares.



Cable **RETENAX CPRO FLEX** unipolar y multipolar.

La posibilidad de empleo de uno u otro tipo de cable lo determinará el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, de acuerdo con las características de la instalación.

Intensidades máximas admisibles

Como se puede observar, la tabla *C.52.1 bis* - Intensidades admisibles (en A) al aire (40 °C) de la norma UNE-HD 60364-5-52 (2014), que se reproduce en la página 51, presenta 18 columnas entre las que, según cual sea el “tipo” de instalación al que se corresponda el “método de instalación” adoptado, el número de

conductores cargados del circuito y la naturaleza del aislamiento, se tomará de la columna de cargas adecuada al caso que se trate.

Estas tablas se han confeccionado para las condiciones estándares de instalaciones al aire: un solo circuito a 40 °C de temperatura ambiente a la sombra y temperaturas máximas en el conductor de 70 °C para los aislamientos tipo termoplásticos, (PVC, poliolefinas Z1...) y de 90 °C para los termoestables, (XLPE, EPR, poliolefinas Z...).

Se observa que para instalaciones en el interior de edificios, no se distingue entre cables de tensión asignada 450/750 V ó 0,6/1 kV, ya que las resistividades térmicas de ambos son comparables y sólo varían de manera notable cuando se compara un “conductor aislado”, que sólo tiene aislamiento, y un “cable” que dispone de aislamiento y cubierta, extremo que ya se ha tenido en cuenta al definir la instalación “tipo”. Por tanto, para una determinada instalación “tipo”, lo que define la tabla de cargas a considerar será el número de conductores activos, dos en monofásico o continua, o tres en trifásico, y la naturaleza del material aislante del conductor, termoplástico (PVC o de similar comportamiento térmico), o termoestable (XLPE o de similar comportamiento térmico), que determina la temperatura máxima admisible en el conductor en régimen permanente.

Para elegir correctamente el tipo de cable en la tabla *C.52.1 bis*, hay que tener en cuenta la siguiente división entre cables termoplásticos (PVC) y termoestables (XLPE):

El número 2 posterior a PVC o XLPE indica que en la instalación hay dos conductores activos (típicamente fase y neutro de instalaciones monofásicas, el conductor de protección no se considera activo).

El número 3 posterior a PVC o XLPE indica que en la instalación hay tres conductores activos (típicamente las 3 fases en suministros trifásicos. El neutro y el conductor de protección no se consideran activos normalmente en este tipo de instalaciones). Existe una consideración especial para neutros cargados por la influencia de los armónicos; este aspecto viene detallado en el anexo E de la UNE-HD 60364-5-52 (2014).

CABLES TERMOPLÁSTICOS

AFUMEX CLASS 500 V (AS)	ES05Z1-K TYPE 2 (AS)
AFUMEX CLASS 750 V (AS)	H07Z1-K TYPE 2 (AS)
AFUMEX CLASS HAZ (AS)	H07Z1-K TYPE 2 (AS)
AFUMEX CLASS Paneles Rígido (AS)	H07Z1-R TYPE 2 (AS)
AFUMEX CLASS MÚLTIPLE 1000 V (AS)	Z1Z1-K (AS)
AFUMEX CLASS BLINDEX 500 V (AS)	Z1C4Z1-K (AS)
AFUMEX CLASS BLINDEX 1000 V (AS)	Z1C4Z1-K (AS)
WIREPOL CPRO Flex	H05V-K / H07V-K
WIREPOL CPRO Rígido	H05V-U / H07V-U / H07V-R
WIREPOL CPRO GAS	H05VV-F
SINTENAX CPRO AG	H05VV-F
SINTENAX CPRO 1000 V	VV-K
BLINDEX CPRO 500 V	VC4V-K
FLEXTREME	H07RN-F
DATAx LiYCY CPRO	LiYCY

CABLES TERMOESTABLES

AFUMEX PANELES Flex	H05Z-K / H07Z-K
AFUMEX CLASS 1000 V (AS)	RZ1-K (AS)
AFUMEX CLASS MANDO (AS)	RZ1-K (AS)
AFUMEX CLASS FIRS (AS+)	mRZ1-K (AS+)
AFUMEX CLASS ATEX (AS)	RZ1MZ1-K (AS)
AFUMEX CLASS ATEX 2RH (AS)	RZ1MZ1-K 2RH (AS)
AFUMEX EXPO	H07ZZ-F
AL AFUMEX CLASS (AS)	AL RZ1 (AS)
P-SUN 2.0 CPRO	ZZ-F
TECSUN H1Z2Z2-K	H1Z2Z2-K
RETENAX CPRO Flex	RV-K
RETENAX CPRO Rígido	RV
RETENAX FLAM F	RVFV
BLINDEX CPRO 1000 V	RC4V-K
RETENAX CPRO VARINET	RVKV-K
BUPRENO CPRO	DN-K
BUPRENO BOMBAS SUMERGIDAS	DN-F BOMBAS SUMERGIDAS
AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (S)	AL XZ1 (S)
AL POLIRRET CPRO	AL RZ
POLIRRET FERIEX CPRO	RZ

Factores de corrección

Cuando las condiciones de la instalación son distintas a las estándares tomadas como base para la confección de la tabla C.52.1bis: temperatura ambiente de 40 °C al aire (a la sombra) o tabla C.52.2 bis: 25 °C enterrado, hay más de un circuito en la misma canalización, hay influencia de los armónicos o se alimenta a receptores concretos, se tomarán los factores de corrección que siguen.

NOTA: Con el objetivo de facilitar la utilización del catálogo, hemos incluido un icono en el margen derecho de las tablas para ayudar a la rápida localización del/los factor/es de corrección a emplear en los cálculos.

Factores de corrección por temperatura

Ya se ha indicado anteriormente que, cuando la temperatura ambiente (θ_a) es distinta a los 40 °C, las intensidades de la tabla C.52.1 bis o de la tabla básica mencionada anteriormente se deberán multiplicar por un factor de corrección que tenga en cuenta el distinto salto térmico a utilizar en:

$$I = \sqrt{(\Delta\theta/n \cdot R_E \cdot R_T)}$$

Fórmula que nos da la intensidad admisible en un conductor a partir de la ley de Ohm eléctrica y la "ley de Ohm térmica".

Según la "ley de Ohm térmica" la potencia disipada en forma de calor en un cable:

$$\Delta\theta = P \cdot R_T \Rightarrow P = \frac{\Delta\theta}{R_T}$$

Según la ley de Ohm eléctrica, la potencia generada en forma de calor en un cable con n conductores activos:

$$P = n \cdot R_E \cdot I^2$$

Donde:

R_E representa la resistencia óhmica del cable [Ω/m];
 R_T la resistencia térmica del ambiente que le rodea [$^{\circ}C/W$];
 $\Delta\theta$ es la diferencia de temperatura entre el conductor ($T_c = 90^{\circ}C$) y el ambiente que le rodea, θ_a [$^{\circ}C$] y
 n es el número de conductores activos con carga en la línea (3 en el caso de circuitos trifásicos y 2 en monofásico).

Igualando los términos tenemos la relación de I con la temperatura del ambiente.

$$\frac{\Delta\theta}{R_T} = n \cdot R_E \cdot I^2 \Rightarrow I = \sqrt{\frac{\Delta\theta}{n \cdot R_E \cdot R_T}}$$

Y con esta fórmula obtenemos el valor del coeficiente a aplicar según la temperatura del ambiente.

$$I' = \sqrt{\frac{\Delta\theta'}{n \cdot R_E \cdot R_T}} \Rightarrow \frac{I'}{I} = \frac{\sqrt{\frac{\Delta\theta'}{n \cdot R_E \cdot R_T}}}{\sqrt{\frac{\Delta\theta}{n \cdot R_E \cdot R_T}}} \Rightarrow \frac{I'}{I} \approx \frac{\sqrt{\Delta\theta'}}{\sqrt{\Delta\theta}}$$

$$I' = K \cdot I \begin{cases} \text{Termoplásticos} & K = \sqrt{\frac{70-\theta'_a}{70-40}} \\ \text{Termoestables} & K = \sqrt{\frac{90-\theta'_a}{90-40}} \end{cases}$$

Por tanto, este factor de corrección por temperatura valdrá, en el caso de cables con aislamiento termoplástico tipo PVC (soportan 70 °C en régimen permanente):

$$K_{PVC} = \sqrt{[(70-\theta'_a)/30]}$$

y en los de aislamiento termoestable tipo XLPE (soportan 90 °C en régimen permanente):

$$K_{XLPE} = \sqrt{[(90-\theta'_a)/50]}$$

Por ejemplo un cable termoestable (temperatura máxima en sus conductores en régimen permanente es de 90 °C (θ_c) de 50 °C (θ'_a) deberá verse afectado del siguiente coeficiente de corrección por temperatura toda vez que el valor estándar de temperatura en España para instalaciones al aire es de 40 °C.

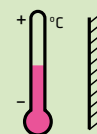
$$\sqrt{\frac{\Delta\theta'}{\Delta\theta}} = \sqrt{\frac{\theta_c - \theta'_a}{\theta_c - \theta_a}} = \sqrt{\frac{90 - 50}{90 - 40}} = \sqrt{\frac{4}{5}} \approx 0,9$$

Valor que coincide con el reflejado para 50 °C y cables termoestables de la tabla B.52.14. Procediendo de forma análoga obtenemos todos los valores:

TABLA B.52.14

Factores de corrección de la intensidad admisible para temperatura ambiente diferente de 40 °C (instalaciones al aire)

AISLAMIENTO	TEMPERATURA AMBIENTE (θ_a) (°C)											
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Tipo PVC (termoplástico)	1,4	1,34	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,70	0,57	
Tipo XLPE o EPR (termoestable)	1,26	1,23	1,19	1,14	1,10	1,05	1,00	0,96	0,90	0,83	0,78	



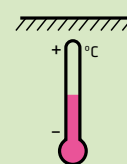
Luego, cuando la temperatura ambiente sea inferior a 40 °C, la mejor refrigeración de los cables les permitirá transportar corrientes superiores. Recíprocamente, temperaturas ambiente más elevadas deben corresponderse con corrientes más reducidas. Esto es especialmente importante cuando en canalizaciones antiguas se añaden nuevos circuitos a los ya existentes. Si no se tiene

en cuenta la mayor temperatura ambiente que suponen estos nuevos cables y se reduce la carga de los circuitos antiguos, se pueden producir sobrecalentamientos peligrosos para la instalación. En estos casos hay que recalculas las intensidades de cada circuito teniendo en cuenta el agrupamiento final resultante.

TABLA B.52.15

Factores de corrección de la intensidad admisible para temperaturas ambiente del terreno diferentes de 25 °C a aplicar para cables (en conductos enterrados)

AISLAMIENTO	TEMPERATURA AMBIENTE (θ_a) (°C)														
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Tipo PVC (termoplástico)	1,16	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,75	0,66	0,58	0,47	-	-	-	-
Tipo XLPE o EPR (termoestable)	1,11	1,08	1,04	1,00	0,97	0,93	0,89	0,83	0,79	0,74	0,68	0,63	0,55	0,48	0,40



Factores de corrección por resistividad térmica del terreno

Una importante novedad desde la versión de 2004 de la norma de intensidades admisibles es considerar la resistividad estándar del terreno de 2,5 K·m/W frente a 1 K·m/W (referencia anterior), lo que supone una drástica reducción de

las intensidades admisibles en cables enterrados en instalaciones interiores o receptoras (las que no son redes de distribución) frente al método que se venía utilizando hasta 2004 proveniente de la ITC-BT-07 que a su vez ha sido redactada basándose en la UNE 20435.

TABLA B.52.16

Factores de corrección de la intensidad admisible para cables soterrados en terrenos de resistividad térmica diferente a 2,5 K·m/W

RESISTIVIDAD TÉRMICA K·m/W	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5	3
Cables en conductos enterrados (D1)	1,28	1,20	1,18	1,1	1,05	1	0,96
Cables enterrados directamente (D2)	1,88	1,62	1,5	1,28	1,12	1	0,90



Factores de corrección por agrupamiento

El calentamiento mutuo de los cables, cuando varios circuitos coinciden en la misma canaliza-

ción, obliga a considerar un factor de corrección adicional para tener en cuenta la mayor dificultad para disipar el calor generado, ya que esta situación equivale a una mayor temperatura ambiente.

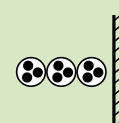
FACTORES DE CORRECCIÓN

Por esta razón, la norma UNE-HD 60364-5-52 incluye la tabla C.52.3 en la que se reseñan los factores de corrección a considerar cuando en una canalización se encuentran juntos varios

circuitos o varios cables multiconductores. Estos factores deben utilizarse para modificar las intensidades indicadas en la tabla C.52.1 bis.

TABLA C.52.3

PUNTO	DISPOSICIÓN	NÚMERO DE CIRCUITOS O CABLES MULTICONDUCTORES										INSTALACIÓN TIPO
		1	2	3	4	6	9	12	16	20		
1	Agrupados al aire, en una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente.	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40	A a F	
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas.	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	C	
3	Capa única fijada al techo.	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60		
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales.	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	E y F	
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, soportes, bridas de amarre, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80		



Cuando los cables vayan dispuestos en varias capas superpuestas, los valores para tales disposiciones deben ser sensiblemente inferiores y han de determinarse por un método adecuado (ver apartado K).

Con el objeto de ayudar a la hora de aplicar esta tabla o de facilitar factores de corrección de agrupamientos que no se incluyen expresamente en la UNE-HD 60364-5-52 recomen-

mos consultar el apartado K de este catálogo.

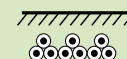
Las tablas B.52.20 y B.52.21, que figuran más adelante, contienen factores de corrección más concretos para diferentes agrupaciones de cables en bandejas, escaleras de cables y similares.

Para agrupamientos de cables enterrados tenemos los siguientes factores:

TABLA B.52.18

Factores de corrección por agrupamiento de varios circuitos, cables directamente enterrados (tipo D2)

NÚMERO DE CIRCUITOS	DISTANCIA ENTRE CONDUCTOS (a)				
	Núla (cables en contacto)	Un diámetro de cable	0,125m	0,25m	0,5m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80
7	0,45	0,51	0,59	0,67	0,76
8	0,43	0,48	0,57	0,65	0,75
9	0,41	0,46	0,55	0,63	0,74
12	0,36	0,42	0,51	0,59	0,71
16	0,32	0,38	0,47	0,56	0,68
20	0,29	0,35	0,44	0,53	0,66



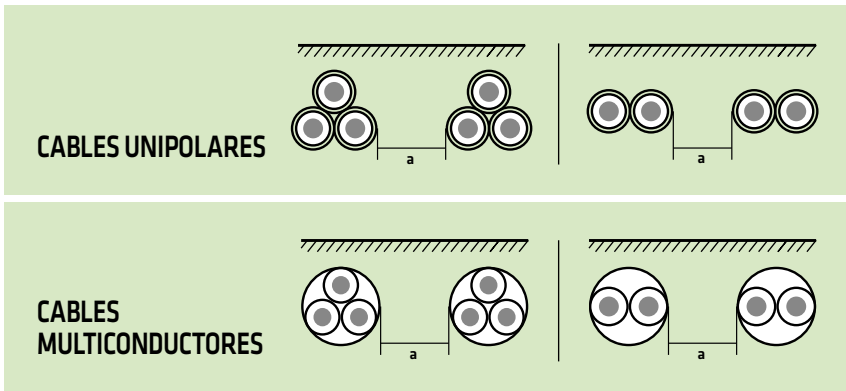
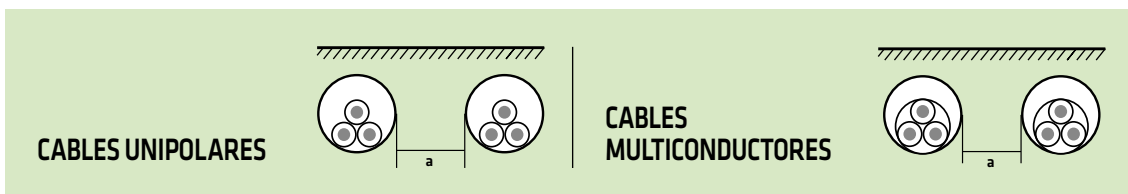
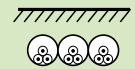


TABLA B.52.19
A-Cables multiconductores en conductos enterrados (tipo D1)
o cables unipolares en un solo conducto

NÚMERO DE CABLES MULTICOLORES O DE GRUPOS DE 2 O 3 CABLES UNIPOLARES (UN CIRCUITO POR CONDUCTO)	DISTANCIA ENTRE CONDUCTOS (a)			
	Núla (tubos en contacto)	0,25m	0,50m	1,0m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90
7	0,57	0,76	0,80	0,88
8	0,54	0,74	0,78	0,88
9	0,52	0,73	0,77	0,87
10	0,49	0,72	0,76	0,86
11	0,47	0,70	0,75	0,86
12	0,45	0,69	0,74	0,85
13	0,44	0,68	0,73	0,85
14	0,42	0,68	0,72	0,84
15	0,41	0,67	0,72	0,84
16	0,39	0,66	0,71	0,83
17	0,38	0,65	0,70	0,83
18	0,37	0,65	0,70	0,83
19	0,35	0,64	0,69	0,82
20	0,34	0,63	0,68	0,82

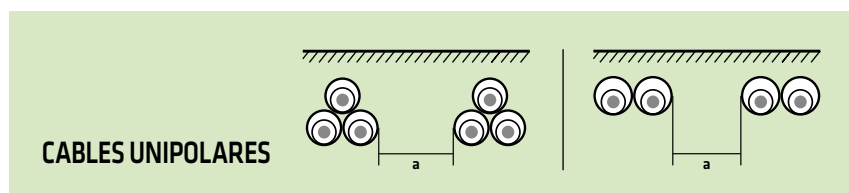
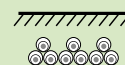


Consideramos suficiente seguridad utilizar éstos valores para circuitos con cables unipolares enterrados bajo tubo o conducto (la norma omite éste frecuente caso).

res enterrados bajo tubo o conducto (la norma omite éste frecuente caso).

B-Cables unipolares, un cable por conducto (tipo D1)

NÚMERO DE CABLES MULTICOLORES O DE GRUPOS DE 2 O 3 CABLES UNIPOLARES (UN CIRCUITO POR CONDUCTO)	DISTANCIA ENTRE CONDUCTOS (a)			
	Núta (tubos en contacto)	0,25m	0,50m	1,0m
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90
7	0,53	0,66	0,76	0,87
8	0,50	0,63	0,74	0,87
9	0,47	0,61	0,73	0,86
10	0,45	0,59	0,72	0,85
11	0,43	0,57	0,70	0,85
12	0,41	0,56	0,69	0,84
13	0,39	0,54	0,68	0,84
14	0,37	0,53	0,68	0,83
15	0,35	0,52	0,67	0,83
16	0,34	0,51	0,66	0,83
17	0,33	0,50	0,65	0,82
18	0,31	0,49	0,65	0,82
19	0,30	0,48	0,64	0,82
20	0,29	0,47	0,63	0,81

**CABLES UNIPOLARES**

NOTA: los valores indicados en estas tablas B.52-18 y B.52-19 se aplican para una profundidad de 0,7 m y una resistividad térmica del terreno de 2,5 K·m/W.

Las siguientes tablas (B.52.20 y B.52.21) recogen coeficientes de corrección por agrupamiento para los métodos de instalación tipo E y F (bandejas perforadas, rejillas o escalera o cables grapados a la pared con una separación de la misma de al menos 0,3 veces el diámetro del cable). Suponen una recopilación de coeficientes más afinada que la tabla C.52-3, que recoge coeficientes para las instalaciones tipo E y F en sus filas 4 y 5.

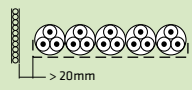
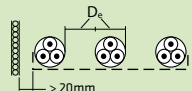
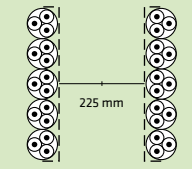
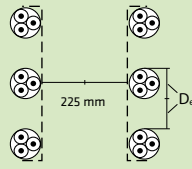
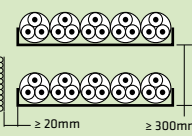
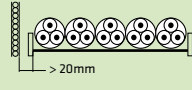
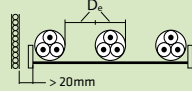
No obstante, decir que hay una gran ausencia en la tabla B.52.21 dado que limita a 3 circuitos el coeficiente mayor para cables unipolares dejando entrever en sus dibujos que además no considera circuitos en contacto con cables unipolares altresbolillo, por ello para tales casos recomen-

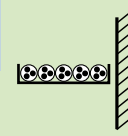
damos las citadas filas de la tabla B.52.20 dado que se puede admitir que se dan coeficientes para casos más desfavorables (un cable multipolar disipa peor el calor generado que 3 unipolares de la misma sección).

Todas las tablas mencionadas se pueden aplicar a los valores de intensidades admisibles recogidas en la tabla C.52.1 bis para los métodos de instalación tipo E y F. Si bien en el caso de las tablas siguientes (B.52.20 y B.52.21) es necesario conocer el tipo de soporte (escalera, bandeja perforada etc.), la disposición de los conductores de los circuitos y el número de circuitos para aplicar la fila adecuada y en el caso de la tabla C.52.3 sólo es necesario saber el número de circuitos.

TABLA B.52.20

Factores de reducción por agrupamiento para aplicar a cables multiconductores instalados al aire (método E)

MÉTODO DE INSTALACIÓN DE LA TABLA A.52.3		NÚMERO DE BANDEJAS	NÚMERO DE CABLES						
			1	2	3	4	6	9	
Bandejas perforadas (NOTA 3) (Instalación referencia 31)	En contacto 	1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73	
		2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68	
		3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66	
		6	1,00	0,84	0,77	0,73	0,65	0,64	
	Separados 	1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	-	
		2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	-	
Bandejas verticales perforadas (NOTA 4) (Instalación referencia 31)	En contacto 	1	1,00	0,8	0,82	0,78	0,73	0,72	
		2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70	
	Separados 	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	-	
		2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	-	
	Sistema de bandejas no perforadas (Instalación referencia 31)	En contacto 	1	0,97	0,84	0,78	0,75	0,71	0,68
			2	0,97	0,83	0,76	0,72	0,68	0,63
3			0,97	0,82	0,75	0,71	0,66	0,61	
6			0,97	0,81	0,73	0,69	0,63	0,58	
Escalera de cables, abrazaderas, etc. (NOTA 3) (Instalaciones referencias 32, 33 y 34)	En contacto 	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,76	0,73	
		2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,73	0,68	
		3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,71	0,66	
		6	1,00	0,84	0,77	0,73	0,65	0,64	
	Separados 	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	
		2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	-	
		3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	-	



NOTA 1: los factores se aplican a capas únicas de cables (o triángulos) pero no pueden aplicarse a cables dispuestos en varias capas

en contacto. Los valores para tales disposiciones pueden ser sensiblemente inferiores y deben ser determinados por un método apropiado (ver apartado K, pto.1).

NOTA 2: para circuitos que incluyen varios cables en paralelo por fase conviene que cada grupo de tres conductores sea considerado como un circuito para la aplicación de esta tabla.


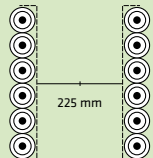

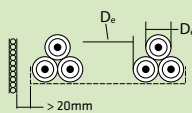
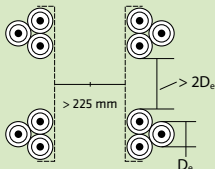
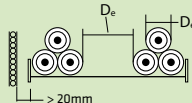
NOTA 3: los valores están indicados para una distancia

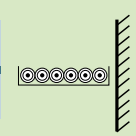
vertical entre bandejas de 300 mm. Para distancias más pequeñas, conviene reducir los factores.

NOTA 4: los valores están indicados para una distancia horizontal entre bandejas de 225 mm, con las bandejas montadas espalda contra espalda y al menos a 20 mm entre la bandeja y el muro. Para distancias más pequeñas, conviene reducir los factores.

NOTA 5: para circuitos que tengan más de un cable en paralelo por fase, conviene considerar cada conjunto de tres cables como un circuito en el sentido de aplicación de esta tabla.

TABLA B.52.21
Factores de reducción por agrupamiento
para aplicar a varios cables unipolares al aire (método F)

MÉTODO DE INSTALACIÓN DE LA TABLA A.52.3		NÚMERO DE BANDEJAS	NÚMERO DE CIRCUITOS TRIFÁSICOS (NOTA 2)		
			1	2	3
Bandejas perforadas (NOTA 3) (Instalación referencia 31)	En contacto 	1	0,98	0,91	0,87
		2	0,96	0,87	0,81
		3	0,95	0,85	0,78
Bandejas perforadas verticales (NOTA 4) (Instalación referencia 31)	En contacto 	1	0,96	0,86	-
		2	0,95	0,84	-
Escalera de cables abrazaderas, etc. (NOTA 3) (Instalación referencia 32, 33 y 34)	En contacto 	1	1,00	0,97	0,96
		2	0,98	0,93	0,89
		3	0,97	0,90	0,86
Bandejas perforadas (NOTA 3) (Instalación referencia 31)		1	1,00	0,98	0,96
		2	0,97	0,93	0,89
		3	0,96	0,92	0,86
Bandejas perforadas verticales (NOTA 3) (Instalación referencia 31)	Separados 	1	1,00	0,91	0,89
		2	1,00	0,90	0,86
Escalera de cables abrazaderas, etc. (NOTA 3) (Instalación referencia 32, 33 y 34)		1	1,00	1,00	1,00
		2	0,97	0,95	0,93
		3	0,96	0,94	0,90



NOTA 1: los factores se aplican a capas únicas de cables (o triángulos) pero no pueden aplicarse a cables dispuestos en varias capas

en contacto. Los valores para tales disposiciones pueden ser sensiblemente inferiores y deben ser determinados por un método apropiado (ver apartado K, pto.1).

NOTA 2: para circuitos que incluyen varios cables en paralelo por fase conviene que cada grupo de tres conductores sea considerado como un circuito para la aplicación de esta tabla.

NOTA 3: los valores están indicados para una distancia

vertical entre bandejas de 300 mm. Para distancias más pequeñas, conviene reducir los factores.

NOTA 4: los valores están indicados para una distancia horizontal entre bandejas de 225 mm, con las bandejas montadas espalda contra espalda y al menos a 20 mm entre la bandeja y el muro. Para distancias más pequeñas, conviene reducir los factores.

NOTA 5: para circuitos que tengan más de un cable en paralelo por fase, conviene considerar cada conjunto de tres cables como un circuito en el sentido de aplicación de esta tabla.

Efectos de las corrientes armónicas

Se deberá aplicar método adecuado cuando la incidencia de las corrientes armónicas sea significativa (ver anexo E en la norma UNE HD 60364-5-52).

Factores de corrección por tipo de receptor o de instalación

Locales con riesgo de incendio o explosión:

“La intensidad admisible en los conductores deberá disminuirse en un 15 % respecto al valor correspondiente a una instalación convencional.” (ITC-BT 29, pto. 9.1., 6º párrafo).

Instalaciones generadoras de baja tensión:

“Los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125 % de la máxima intensidad del generador” (ITC-BT 40, pto. 5).

“Para **receptores con lámparas de descarga**, la carga mínima prevista en voltiamperios será de 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas.” “... será aceptable un coeficiente diferente para el cálculo de la sección de los conductores, siempre y cuando el factor de potencia de cada receptor sea mayor o igual a 0,9 y si se conoce la carga que supone cada uno de los elementos asociados a las lámparas y las corrientes de arranque, que tanto éstas como aquéllos puedan producir. En este caso, el coeficiente será el que resulte.” (ITC-BT 44 pto. 3.1, 4º párrafo).

“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) deben estar dimensionados, asimismo, para al 125% de la intensidad a plena carga del motor. 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 el 85% de la intensidad a plena carga del rotor”. (ITC-BT 47, pto. 3-1).

“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.” (ITC-BT 47, pto. 3.2).

“En los motores de **ascensores, grúas y aparatos de elevación en general**, tanto de corriente continua como de 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”. (ITC-BT 47, pto. 6, 5º párrafo).

NOTA: para caídas de tensión e intensidades de cortocircuito ver apartados E y F.



B/Redes aéreas para distribución o alumbrado exterior en baja tensión

Los cables adecuados para estas instalaciones, deberán ser de una tensión asignada de 0,6/1 kV, aislados y cubiertos con materiales poliméricos termoestables adecuados para soportar la acción de la intemperie, de acuerdo con las especificaciones de la norma UNE 21030

(AL POLIRRET CPRO, POLIRRET FERIEX CPRO)

con una sección adecuada a la corriente que deban transportar.

En el caso de utilizar cables de tensiones asignadas inferiores, se les considerará como si se tratara de conductores desnudos y se deberán adoptar las precauciones de instalación y servicio adecuadas a este tipo de material.

Estos cables, de tensión asignada 0,6/1 kV, se podrán instalar como:

- **Cables posados** directamente sobre los muros mediante abrazaderas sólidamente fijadas a los mismos y resistentes a la acción de la intemperie, o sobre cualquier otro soporte que les proporcione análoga robustez.

- **Cables tensados.**

Los cables con neutro fiador podrán ir tensados entre piezas especiales colocadas sobre apoyos, fachadas o muros, con una tensión mecánica adecuada, sin considerar a estos efectos el aislamiento, como elemento resistente. Para el resto de los cables tensados se utilizan cales fiadores de acero galvanizado, cuya resistencia a la rotura será, como mínimo, de 800 daN, y a los que se fijarán, mediante abrazaderas u otros dispositivos apropiados, los conductores aislados.

La sección mínima será la de 16 mm² en los cables de aluminio y de 10 mm² en los de cobre para redes de distribución aéreas. En el caso de redes aéreas, de alumbrado exterior, la sección mínima será de 4 mm² en cobre

Los tipos de cable a utilizar en función del modo de tendido serán:

- **Redes tensadas:**

- ■ **Autoportantes** con neutro fiador de ALMELEC:

- ■ ■ **AL POLIRRET CPRO** (con fiador incorporado)

- ■ **Sin fiador** (necesario instalar fiador de acero adicional):

- ■ ■ **AL POLIRRET CPRO** (sin fiador)
POLIRRET FERIEX CPRO

- **Redes posadas:**

- ■ ■ **AL POLIRRET CPRO** (no necesario fiador)
POLIRRET FERIEX CPRO

Las características dimensionales, eléctricas y mecánicas de todos estos cables podrán obtenerse en las páginas correspondientes.

Intensidades máximas admisibles

En las tablas que siguen figuran las intensidades máximas admisibles en régimen permanente para los cables objeto de este apartado, en condiciones normales de instalación. Se definen como condiciones normales de instalación las que corresponden a un solo cable, instalado al aire libre y a una temperatura de 40 °C. Para otras condiciones distintas se aplicarán los factores de corrección definidos en los apartados correspondientes.

NOTA: reproducimos a continuación como tabla A.2. las intensidades admisibles para redes de distribución según UNE 211435 (la nueva norma de referencia para circuitos de distribución). Esta norma ha anulado y sustituido a la anterior UNE 20435, por lo que la citada tabla A.2. contiene los valores a aplicar. Seguimos reproduciendo el resto de tablas del criterio anterior (desde B.1 hasta B.5) por contener detalles sobre coeficientes de corrección que no aparecen en la UNE 211435 para redes aéreas de distribución.

Primera opción (UNE 211435)

TABLA A.2.
CABLES AÉREOS DE DISTRIBUCIÓN TIPO RZ DE 0,6/1kV

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN A AISLAMIENTO DE XLPE. CONDUCTOR DE CU O AL CABLES EN TRIANGULO EN CONTACTO				
SECCIÓN mm ²	TRES CONDUCTORES CARGADOS		DOS CONDUCTORES CARGADOS	
	PROTEGIDOS DEL SOL	EXPUESTOS AL SOL	PROTEGIDOS DEL SOL	EXPUESTOS AL SOL
ALUMINIO (AL POLIRRET CPRO)				
16	64	56	78	72
25	90	76	105	95
50	135	115	160	145
95	215	185	-	-
150	300	250	-	-
COBRE (POLIRRET FERIEX CPRO)				
2,5	-	-	32	31
4	35	31	42	40
6	45	39	54	52
10	62	54	76	70
16	84	72	100	94

Segunda opción (REBT Y ANTIGUA UNE 20435)

TABLA 3 DE ITC-BT 06
CABLES DE ALUMINIO TRENZADOS (AL POLIRRET CPRO)

NÚMERO DE CONDUCTORES POR SECCIÓN (mm ²)	INTENSIDAD MÁXIMA (A) (RED TENSADA)
1 x 25 Al/54,6 Alm	110
1 x 50 Al/54,6 Alm	165
3 x 25 Al/29,5 Alm	100
3 x 50 Al/29,5 Alm	150
3 x 95 Al/54,6 Alm	230
3 x 150 Al/80 Alm	305

TABLA 4 DE ITC-BT 06
**CABLES DE ALUMINIO TRENZADOS SIN FIADOR PARA REDES AÉREAS POSADAS,
O TENSADAS CON FIADOR DE ACERO (AL POLIRRET CPRO)**

NÚMERO DE CONDUCTORES POR SECCIÓN (mm ²)	INTENSIDAD MÁXIMA (A)	
	POSADOS SOBRE FACHADA	TENDIDOS CON FIADOR DE ACERO (RED TENSADA)
2 x 16 Al	73	81
2 x 25 Al	101	109
4 x 16 Al	67	72
4 x 25 Al	90	97
4 x 50 Al	133	144
3 x 95/50 Al	207	223
3 x 150/95 Al	277	301

TABLA 5 DE ITC-BT 06 (AMPLIADA)

CABLES DE COBRE TRENZADOS SIN FIADOR PARA REDES AÉREAS POSADAS, O TENSADAS CON FIADOR DE ACERO (POLIRRET FERIEX CPRO)

NÚMERO DE CONDUCTORES POR SECCIÓN (en mm ²)	INTENSIDAD MÁXIMA (A)	
	POSADOS SOBRE FACHADA	TENDIDOS CON FIADOR DE ACERO (RED TENSADA)
2 x 4 o 3 G 4 Cu	45	50
2 x 6 Cu	57	63
2 x 10 Cu	77	85
4 x 4 o 5 G 4 Cu	37	41
4 x 6 o 5 G 6 Cu	47	52
4 x 10 o 5 G 10 Cu	65	72
4 x 16 o 5 G 16 Cu	86	95
4 x 25 Cu	120	132

**Factores de corrección
(válidos para la primera
y segunda opción)**

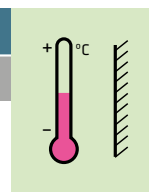
Los factores que figuran a continuación se pueden considerar válidos para las dos opciones (UNE 211435 o REBT y antigua UNE 20435). En lo que se refiere a la corrección por temperatura

ambiente, los valores son coincidentes en ambas normas. En lo que a coeficientes de corrección por agrupamiento se refiere la nueva UNE 211435 no tiene tabla específica para agrupamiento de cables trenzados RZ por lo que se puede aplicar la tabla 6, procedente del REBT, ITC-BT 06.

TABLA 7 DE ITC-BT 06 Y TABLA A.5 DE UNE 211435 (AMPLIADA)

FACTOR DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURA AMBIENTE DISTINTA DE 40°C

TEMPERATURA AMBIENTE (θ _a) (°C)										
10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1,27	1,22	1,18	1,14	1,10	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,77



Este factor de corrección se obtiene de la siguiente expresión:

$$F = \sqrt{[(90 - \theta_a) / 50]}$$

En el caso de que los cables estén expuestos directamente al sol, se aplicará además un factor 0,9 (salvo cuando el valor de la intensidad ya lo considera).

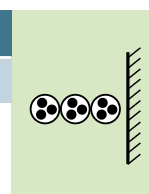
En la tabla que sigue se dan los factores de corrección a aplicar en los agrupamientos de varios circuitos constituidos por cables unipolares o multipolares, de acuerdo con el tipo de instalación.

Para redes aéreas tensadas o posadas, se aplicarán los siguientes factores de corrección:

TABLA 6 DE ITC-BT 06

FACTOR DE CORRECCIÓN PARA AGRUPAMIENTO DE CABLES EN REDES TENSADAS O POSADAS

NÚMERO DE CABLES	1	2	3	MÁS DE 3
Factor de corrección	1,00	0,89	0,80	0,75



Cuando se empleen varios conductores por fase se deberá utilizar un factor de corrección adicional no inferior a 0,9 (UNE 20435 apdo. 3.1.2.3).

NOTA: para caídas de tensión e intensidades de cortocircuito ver apartados E y F.



C/Redes subterráneas para distribución

BAJA TENSIÓN

(Criterio de la norma UNE 211435)

Las redes subterráneas para distribución según el REBT deben realizarse siguiendo las indicaciones de la ITC-BT 07 cuyo contenido está basado en la UNE 20435, norma que ha sido anulada y sustituida por la UNE 211435 (2011). Nos encontramos por tanto ante la situación de un contenido reglamentario que está anulado por la aparición de una nueva norma. Hemos decidido, no obstante, incluir en el apartado C bis todo lo que dice el REBT (basado en la anulada UNE 20435) y priorizar este apartado en el que tratamos el contenido de la norma nueva en vigor.

Los cables a utilizar y las modalidades de instalación siguen siendo los citados al comienzo del apartado C bis, nos centraremos en las tablas de carga máxima admisible y sus coeficientes de corrección.

Intensidades máximas admisibles

■ Cables de Cu

- ■ RETENAX CPRO RÍGIDO,
- ■ RETENAX CPRO FLEX,
- ■ AFUMEX CLASS ATEX (AS),

0

AL XZ1 (S)

- ■ AL VOLTALENE FLAMEX CPRO

de 0,6/1 kV las intensidades admisibles en función del sistema de instalación están recogidas en la siguiente tabla:

TABLA A.1
CABLES DE DISTRIBUCIÓN TIPO RV O AL XZ1 (S) DE 0.6/1 kV
(CABLES SOTERRADOS Y CABLES EN GALERÍAS SUBTERRÁNEAS)

SECCIÓN mm ²	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN A AISLAMIENTO DE XLPE. CONDUCTOR DE Cu O Al CABLES EN TRIÁNGULO EN CONTACTO		
	DIRECTAMENTE SOTERRADOS 	EN TUBULAR SOTERRADOS 	AL AIRE, PROTEGIDOS DEL SOL
ALUMINIO			
25	95	82	88
50	135	115	125
95	200	175	200
150	260	230	290
240	340	305	390
COBRE			
25	125	105	115
50	185	155	185
95	260	225	285
150	340	300	390
240	445	400	540

Temperatura del terreno: 25 °C
Temperatura del aire ambiente: 40 °C
Resistencia térmica del terreno 1,5 K·m/W
Profundidad de soterramiento: 0,7 m

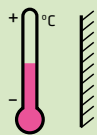
Obsérvese que ahora el estándar considerado para la resistencia térmica del terreno es 1,5 K·m/W en lugar de 1 K·m/W de la UNE 20435 lo que supone una reducción de las intensidades admisibles en canalizaciones soterradas.

Factores de corrección

Si la temperatura ambiente difiere del estándar (40°C para instalaciones al aire en galerías y 25°C para instalaciones enterradas) tenemos los siguientes valores a aplicar a las intensidades de la tabla anterior:

TABLA A.5
Factores de corrección para distintas temperaturas
(cables en galerías subterráneas y cables soterrados)

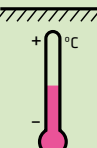
TEMPERATURA MÁXIMA DE CONDUCTOR (°C)	TEMPERATURA AMBIENTE PARA CABLES EN GALERÍAS (°C)									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
90*	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	
105	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	



NOTA: se observa que, en ciertas condiciones de instalación (en canales, galerías, etc.), el calor disipado por los cables no puede difundirse libremente y provoca un aumento de la temperatura del aire. La magnitud de este aumento depende de muchos factores y debe ser determinado en cada caso como estimación

aproximada. Debe tenerse en cuenta que la sobreelevación de temperatura es del orden de 15 °C. La intensidad admisible en las condiciones de régimen deberá, por tanto, reducirse con los coeficientes de la tabla anterior.

TEMPERATURA MÁXIMA DE CONDUCTOR (°C)	TEMPERATURA DEL TERRENO PARA CABLES SOTERRADOS (°C)									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
90*	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	
105	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,94	0,90	0,87	0,83	



* Los cables para redes subterráneas de distribución

(**RETENAX CPRO RÍGIDO**, **RETENAX CPRO FLEX**, **AFUMEX CLASS ATEX (AS)** y **AL VOLTALENE FLAMEX CPRO**),

soportan un máximo de 90 °C en el conductor en régimen permanente.

Cuando la resistividad térmica del terreno sea distinta de 1,5 K·m/W y la instalación sea entubada debemos tener en cuenta los siguientes factores:

TABLA A.6
Factores de corrección para distintas resistividades térmicas del terreno

CABLES INSTALADOS EN TUBOS SOTERRADOS. UN CIRCUITO POR TUBO								
SECCIÓN DEL CONDUCTOR mm ²	RESISTIVIDAD DEL TERRENO							
	0,8 K·m/W	0,9 K·m/W	1 K·m/W	1,5 K·m/W	2 K·m/W	2,5 K·m/W	3 K·m/W	
25	1,12	1,10	1,08	1,00	0,93	0,88	0,83	
35	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,88	0,83	
50	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,83	
70	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82	
95	1,14	1,12	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82	
120	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82	
150	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82	
185	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82	
240	1,15	1,12	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81	
300	1,15	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81	
400	1,16	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81	



FACTORES DE CORRECCIÓN

Si los cables van directamente enterrados tenemos:

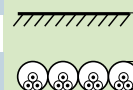
CABLES DIRECTAMENTE SOTERRADOS EN TRIÁNGULO EN CONTACTO							
SECCIÓN DEL CONDUCTOR mm ²	RESISTIVIDAD DEL TERRENO						
	0,8 K·m/W	0,9 K·m/W	1 K·m/W	1,5 K·m/W	2 K·m/W	2,5 K·m/W	3 K·m/W
25	1,25	1,20	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
35	1,25	1,21	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
50	1,26	1,21	1,16	1,00	0,89	0,81	0,74
70	1,27	1,22	1,17	1,00	0,89	0,81	0,74
95	1,28	1,22	1,18	1,00	0,89	0,80	0,74
120	1,28	1,22	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
150	1,28	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
185	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
240	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,73
300	1,30	1,24	1,19	1,00	0,88	0,80	0,73
400	1,30	1,24	1,19	1,00	0,88	0,79	0,73



Para tener en cuenta el efecto de la profundidad de enterramiento de la instalación:

TABLA A.7 (UNE 211435)
Factores de corrección para distintas profundidades de soterramiento (cables soterrados)

CABLES DE 0,6/1 KV		
PROFUNDIDAD m	SOTERRADOS DIRECTAMENTE	SOTERRADOS EN TUBULAR
0,50	1,04	1,03
0,60	1,02	1,01
0,70	1,00	1,00
0,80	0,99	0,99
1,00	0,97	0,97
1,25	0,95	0,96
1,50	0,93	0,95
1,75	0,92	0,94
2,00	0,91	0,93
2,50	0,89	0,91
3,00	0,88	0,90

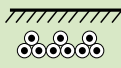


Coefficientes de corrección por agrupamiento para instalaciones enterradas.

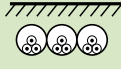
TABLA A.8 (UNE 211435)

Factores de corrección para agrupamiento de cables de 0,6/1 kV (cables soterrados)

CIRCUITOS DE CABLES UNIPOLARES EN TRIÁNGULO EN CONTACTO TERNAS DISPUESTAS EN UN PLANO HORIZONTAL DIRECTAMENTE ENTERRADAS					
CIRCUITOS AGRUPADOS	DISTANCIAS ENTRE TERNAS EN mm				
	CONTACTO	200	400	600	800
2	0,82	0,88	0,92	0,94	0,96
3	0,71	0,79	0,84	0,88	0,91
4	0,64	0,74	0,81	0,85	0,89
5	0,59	0,70	0,78	0,83	0,87
6	0,56	0,67	0,76	0,82	0,86
7	0,53	0,65	0,74	0,80	0,85
8	0,51	0,63	0,73	0,80	-
9	0,49	0,62	0,72	0,79	-
10	0,48	0,61	0,71	-	-

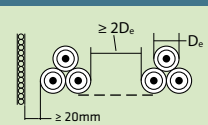
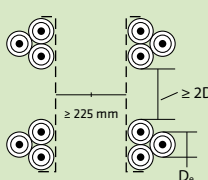
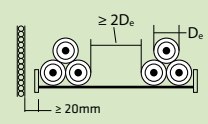


CIRCUITOS DE CABLES UNIPOLARES EN TUBULARES SOTERRADOS TUBOS DISPUESTOS EN UN PLANO HORIZONTAL					
CIRCUITOS AGRUPADOS	DISTANCIAS ENTRE TUBOS EN mm				
	CONTACTO	200	400	600	800
2	0,87	0,90	0,94	0,96	0,97
3	0,77	0,82	0,87	0,90	0,93
4	0,71	0,77	0,84	0,88	0,91
5	0,67	0,74	0,81	0,86	0,89
6	0,64	0,71	0,79	0,85	0,88
7	0,61	0,69	0,78	0,84	-
8	0,59	0,67	0,77	0,83	-
9	0,57	0,66	0,76	0,82	-
10	0,56	0,65	0,75	-	-



Para las instalaciones en galerías, tenemos la siguiente tabla para agrupamiento de cables:

TABLA A.9 (UNE 211435)
Factores de corrección por agrupamiento de cables al aire libre o en galerías (galerías subterráneas)

DISPOSICIÓN		NÚMERO DE BANDEJAS	NÚMERO DE CIRCUITOS O CABLES MULTICONDUCTORES		
			1	2	3
Bandejas perforadas <i>(NOTA 3)</i>	Separados 	1	1,00	0,98	0,96
		2	0,97	0,93	0,89
		3	0,96	0,92	0,86
Bandejas perforadas verticales <i>(NOTA 4)</i>	Separados 	1	1,00	0,91	0,89
		2	1,00	0,90	0,86
Bridas, soportes, ménsulas <i>(NOTA 3)</i>	Separados 	1	1,00	1,00	1,00
		2	0,97	0,95	0,93
		3	0,96	0,94	0,90

NOTA 1: los valores son la media para los tipos de cables y la gama de las secciones consideradas. La dispersión de los valores es inferior al 5% en general.

NOTA 2: los factores se aplican a cables en capas separadas. No se aplican si los cables se instalan en varias capas en contacto. En este caso los factores pueden ser sensiblemente inferiores. *(Ver punto 1 apartado K).*

NOTA 3: los valores están previstos para una separación entre bandejas verticales de 300 mm. Para espacios inferiores hay que reducir los factores.

NOTA 4: los valores están para una separación de las bandejas horizontales de 225 mm con las bandejas montadas de espalda a espalda. Si la separación es menor hay que reducir los factores.

NOTA 5: para circuitos que tengan más de un cable en paralelo por fase, conviene considerar cada conjunto de tres cables como un circuito en el sentido de aplicación de esta tabla.

Cbis/Redes subterráneas para distribución o alumbrado exterior

(Criterio del REBT basado en la antigua UNE 20435)

La ITC-BT 07 del REBT indica cómo se deben realizar las redes subterráneas para distribución basándose en el contenido de la norma UNE 20435 que ha sido anulada y sustituida por la UNE 211435 (2011). En este apartado C bis, continuamos ofreciendo el contenido del REBT y por tanto el de la extinguida UNE 20435. En el apartado C se pueden encontrar las nuevas tablas y criterios para hacer cálculos en base a la norma que hay en vigor actualmente (UNE 211435).

Este tipo de redes puede adoptar las modalidades de:

- Directamente enterrados.
- Enterrados en el interior de tubos.
- En galerías, visitables o no, en bandejas, soportes, con los cables dispuestos sobre palomillas, o directamente sujetos a la pared.

Los tipos de cable de más frecuente utilización son:

■ Redes de distribución (subterráneas)

■ ■ AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (S)

■ Redes de alumbrado exterior (subterráneas):

■ ■ RETENAX CPRO FLEX

■ ■ RETENAX CPRO RÍGIDO

■ ■ AFUMEX CLASS ATEX (AS)

Las características particulares de todos estos tipos de cables, se pueden encontrar en las correspondientes páginas de este catálogo.

NOTA: Para instalaciones enterradas que no sean redes de distribución o de alumbrado ver apartado A.

Cables directamente enterrados o enterrados bajo tubo (cables soterrados)

Los cables adecuados para este modo de instalación podrán ser con conductores de cobre o de aluminio, de

tensión asignada 0,6/1 kV, aislados con materiales poliméricos termoestables (XLPE, EPR o similar), de acuerdo con lo especificado en la norma UNE-HD 603.

Podrán ser de uno o más conductores y su sección será la adecuada a las intensidades a transportar, de acuerdo con la norma UNE 20435, con las caídas de tensión previstas reglamentariamente. La sección en cualquier caso no será inferior a 6 mm² para conductores de cobre y a 16 mm² para los de aluminio.

El tipo de protección, armadura o revestimiento exterior del cable, vendrá determinado por las condiciones de instalación, fundamentalmente por los esfuerzos que deba soportar el cable durante el tendido o en el servicio posterior (roedores, instalaciones clasificadas, etc.).

Por otro lado, dependiendo del número de conductores con que se haga la distribución, la sección mínima del neutro deberá ser:

- Con dos o tres conductores, igual a la de los conductores de fase.
- Con cuatro conductores, la sección del neutro será, como mínimo la que se indica en la tabla que sigue:

TABLA 1 DE ITC-BT-07

CONDUCTORES DE FASE mm ²	SECCIÓN DEL NEUTRO mm ²
6	6
10	10
16 (Cu)	10 (Cu)
16 (Al)	16 (Al)
25	16
35	16
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185
500	240

NOTA: la sección reducida del neutro sólo es admisible para circuitos bien equilibrados y exentos de armónicos. En caso contrario la sección del neutro debería ser igual a la de los conductores de fase o incluso superior.

En cuanto a la intensidad máxima permanente admisible en los conductores, de acuerdo con lo especificado en la norma UNE 20435, dependerá de:

- La profundidad de la instalación.
- La resistividad térmica y naturaleza del terreno.
- Temperatura máxima del terreno a la profundidad de instalación.
- La proximidad de otros cables que transporten energía.

Las tablas de carga que siguen se han previsto para las siguientes condiciones "tipo" de la instalación:

Un cable tripolar o tres unipolares trabajando con corriente alterna, enterrados en toda su longitud en una zanja de 70 cm de profundidad, en un terreno de resistividad media de 1 K·m/W y temperatura ambiente de 25 °C.

Recordamos una vez más que, no se consideran activos los conductores de protección (tierra) ni los neutros (salvo la influencia de los armónicos en éstos últimos). Por ello hablamos siempre de cables tripolares o ternas de unipolares (trifásica) o cables bipolares o 2 cables unipolares (monofásica).

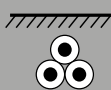
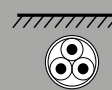
Intensidades máximas admisibles (cables soterrados directamente)

Intensidad máxima admisible, en amperios, para cables con conductores de aluminio de los tipos

AL AFUMEX CLASS (AS) y
AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (S) (aislamiento tipo A),
AL BUPRENO CPRO (aislamiento tipo B)

directamente enterrados (para instalaciones bajo tubo ver también el siguiente apartado de factores de corrección).

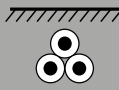
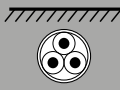
TABLA 4 DE ITC-BT-07
Conductores de aluminio

SECCIÓN NOMINAL mm ²	TERNA DE CABLES UNIPOLARES 		1 CABLE TRIPOLAR 	
	TIPO DE AISLAMIENTO			
ALUMINIO	A	B	A	B
16	97	94	90	86
25	125	120	115	110
35	150	145	140	135
50	180	175	165	160
70	220	215	205	200
95	260	255	240	235
120	295	290	275	270
150	330	325	310	305
185	375	365	350	345
240	430	420	405	395
300	485	475	460	445
400	550	540	520	500

Intensidad máxima admisible, en amperios, para cables con conductores de cobre de los tipos

AFUMEX CLASS 1000 V (AS) y
RETENAX CPRO (aislamiento tipo A),
BUPRENO CPRO (aislamiento tipo B)
directamente enterrados.

TABLA 5 DE ITC-BT-07
Conductores de cobre

SECCIÓN NOMINAL mm ²	TERNA DE CABLES UNIPOLARES 		1 CABLE TRIPOLAR 	
	TIPO DE AISLAMIENTO			
COBRE	A	B	A	B
6	72	70	66	64
10	96	94	88	85
16	125	120	115	110
25	160	155	150	140
35	190	185	180	175
50	230	225	215	205
70	280	270	260	250
95	335	325	310	305
120	380	375	355	350
150	425	415	400	390
185	480	470	450	440
240	550	540	520	505
300	620	610	590	565
400	705	690	665	645

NOTA: Para el caso de dos cables unipolares o cable bipolar (monofásica o continua), la intensidad máxima admisible será la correspondiente a la columna de la terna de cables unipolares o tripolares respectivamente, de la misma sección y tipo de aislamiento, multiplicada por 1,225.

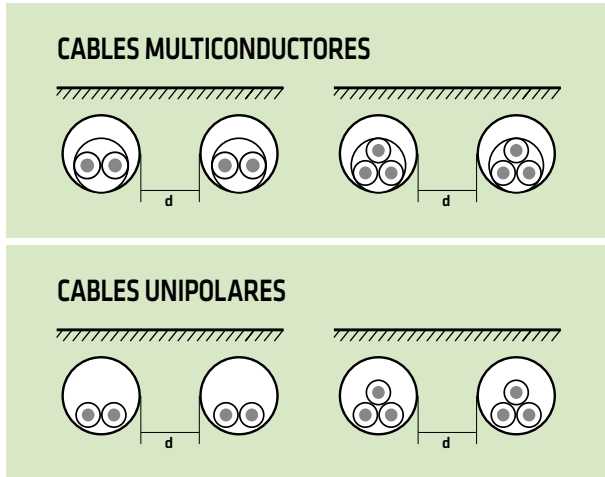
Se advierte que cuando la carga no esté equilibrada, con diferencias superiores al 10% entre las fases, o se prevea la presencia de armónicos en la red, fundamentalmente el tercer armónico, puede ser necesario aumentar la sección del conductor neutro hasta garantizar un calentamiento adecuado de este conductor.

En el supuesto de que las condiciones reales de la instalación sean distintas a las consideradas para la "instalación tipo", los valores de las intensidades indicados en las tablas anteriores deberán modificarse para que, en ningún caso, las temperaturas alcanzadas por los conductores excedan las establecidas para estos tipos de cables en servicio permanente (90 °C).

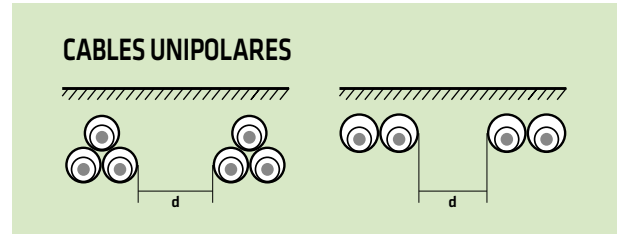
Canalizaciones entubadas (cables soterrados)

a) Canalizaciones entubadas.

Si se trata de un cable trifásico, o una terna de cables unipolares, o bipolar, o un par de cables unipolares en el interior de un mismo tubo, se aplicará un factor de corrección de 0,8.



Si cada cable unipolar va por un tubo distinto, se aplicará un factor de corrección de 0,9. En este caso, los tubos no deberán ser de hierro, para evitar pérdidas magnéticas.



b) Canalizaciones bajo tubo de corta longitud.

Se consideran de corta longitud, aquellas canalizaciones que tienen menos de 15 metros (típicamente cruces con carreteras o vías). En este caso, si el tubo se rellena con aglomerados de baja resistencia térmica (bentonita, etc.), no será necesario aplicar ningún factor de corrección por ir bajo tubo.

Si la temperatura del terreno es distinta a 25 °C, se aplicarán los factores de corrección de la tabla siguiente:

TABLA 6 DE ITC-BT-07

Factores de corrección F, para temperaturas del terreno distintas a 25 °C (cables soterrados)

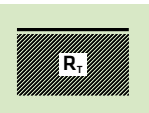
TEMPERATURA MÁXIMA EN EL CONDUCTOR (θ_c) (°C)	TEMPERATURA DEL TERRENO (θ_s) (°C)									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
90	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	



TABLA 7 DE ITC-BT-07

Factor de corrección para una resistividad térmica del terreno distinta de 1 K·m/W (cables soterrados)

CABLE	RESISTIVIDAD TÉRMICA DEL TERRENO (K·m/W)											
	0,80	0,85	0,90	1	1,10	1,20	1,40	1,65	2,00	2,50	2,80	
Unipolar	1,09	1,06	1,04	1,00	0,96	0,93	0,87	0,81	0,75	0,68	0,66	
Tripolar	1,07	1,05	1,03	1,00	0,97	0,94	0,89	0,84	0,78	0,71	0,69	



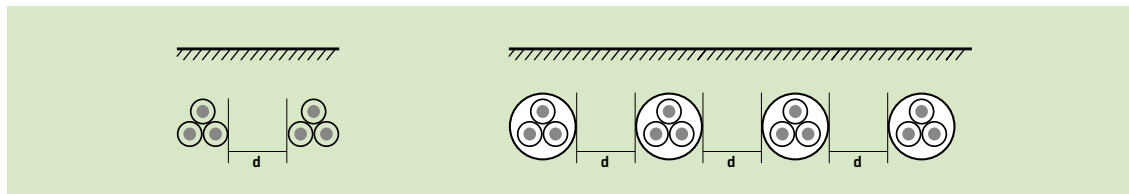
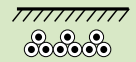
Si en una misma zanja coinciden varios circuitos distintos, el calentamiento mutuo modificará las condiciones “tipo”,

por lo que se deberán considerar los factores de corrección que siguen:

TABLA 8 DE ITC-BT-07

Factores de corrección para agrupaciones de varios cables trifásicos o ternas de cables unipolares enterrados en la misma zanja*.

SEPARACIÓN ENTRE LOS CABLES O TERNAS	NÚMERO DE CABLES O TERNAS EN LA ZANJA							
	2	3	4	5	6	8	10	12
En contacto	0,80	0,70	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47
d = 0,07 m	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50
d = 0,10 m	0,85	0,76	0,69	0,65	0,62	0,58	0,55	0,53
d = 0,15 m	0,87	0,77	0,72	0,68	0,66	0,62	0,59	0,57
d = 0,20 m	0,88	0,79	0,74	0,70	0,68	0,64	0,62	0,60
d = 0,25 m	0,89	0,80	0,76	0,72	0,70	0,66	0,64	0,62

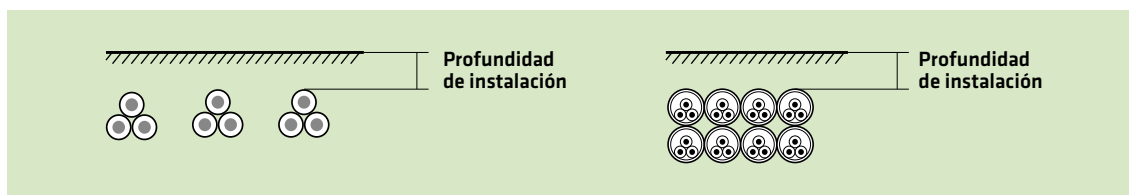


(*) El REBT (ITC-BT 07, pto. 3.1.2.2.3.) no especifica si los valores de la tabla están calculados para cables enterrados directamente o bajo tubo. Del dibujo bajo la tabla parece desprenderse que se trata del primer caso. El RLAT sí que distingue ambas situaciones (ver tabla 10 de ITC-LAT 06).

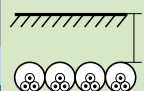
TABLA 9 DE ITC-BT-07

Factores de corrección para diferentes profundidades de tendido (cables soterrados)

Si la profundidad a la que está enterrado el cable es distinta a 70 cm, se considerará el factor de corrección correspondiente:



PROFUNDIDAD m	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20
Factor de corrección	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95



Cables instalados en galerías subterráneas

Este modo de instalación no es exactamente una instalación subterránea, pues tanto en las galerías visitables como en las zanjas o canales revisables se deberá haber previsto una eficaz renovación del aire, que permita una buena disipación del calor generado por las pérdidas en el cable, de tal manera, que la temperatura ambiente no supere los 40 °C.

Según los casos, los cables irán dispuestos en bandejas, soportes, palomillas, o directamente sujetos a la pared mediante abrazaderas u otros dispositivos que proporcionen a la instalación una adecuada seguridad, en particular para soportar los esfuerzos electrodinámicos producidos en un eventual cortocircuito.

Intensidades máximas admisibles (galerías subterráneas)

Las intensidades admisibles y los factores de corrección a considerar, se han tomado de la norma ITC-BT-07 (UNE 20435), para el supuesto de instalaciones al aire en las condiciones “tipo” siguientes:

Un cable trifásico o monofásico, o una terna o un par de cables unipolares agrupados en contacto, con una colocación tal que permitan una eficaz renovación del aire, siendo la temperatura ambiente de 40 °C.





Intensidades máximas admisibles, en amperios en servicio permanente, para cables de Cu de los tipos

AFUMEX CLASS 1000 V (AS) y
RETENAX CPRO (aislamiento tipo A),
BUPRENO CPRO (aislamiento tipo B),

instalados al aire o cables de Al tipo

AL AFUMEX CLASS (AS) y
AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (S) (aislamiento tipo A).

TABLAS 11 y 12 DE ITC-BT-07

SECCIÓN NOMINAL mm ²	CONDUCTORES DE ALUMINIO				CONDUCTORES DE COBRE			
	3 CABLES UNIPOLARES 		1 CABLE TRIFÁSICO 		3 CABLES UNIPOLARES 		1 CABLE TRIFÁSICO 	
	TIPO DE AISLAMIENTO							
	A	B	A	B	A	B	A	B
6	-	-	-	-	46	45	44	43
10	-	-	-	-	64	62	61	60
16	67	65	64	63	86	83	82	80
25	93	90	85	82	120	115	110	105
35	115	110	105	100	145	140	135	130
50	140	135	130	125	180	175	165	160
70	180	175	165	155	230	225	210	200
95	220	215	205	195	285	280	260	250
120	260	255	235	225	335	325	300	290
150	300	290	275	260	385	375	350	335
185	350	345	315	300	450	440	400	385
240	420	400	370	360	535	515	475	460
300	480	465	425	405	615	595	545	520
400	560	545	505	475	720	700	645	610

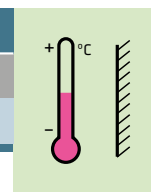
NOTA: Para el caso de dos cables unipolares o un cable bipolar, multiplicar por 1,225 la intensidad correspondiente a tres cables unipolares o un cable tripolar respectivamente. 1,225 procede de $\sqrt{3/2}$ (ver desarrollo en apartado A punto “Factores de corrección por temperatura”).

Factores de corrección

En el caso de que la temperatura ambiente fuera distinta de 40 °C, se aplicaría el factor de corrección correspondiente, tomado de la tabla que sigue:

TABLA 13 DE ITC-BT-07
Factor de corrección F para temperatura ambiente distinta de 40 °C (galerías subterráneas)

TEMPERATURA MÁXIMA EN EL CONDUCTOR (θ _c) (°C)	TEMPERATURA AMBIENTE (θ _a) (°C)										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
90	1,27	1,22	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90	0,84	0,77



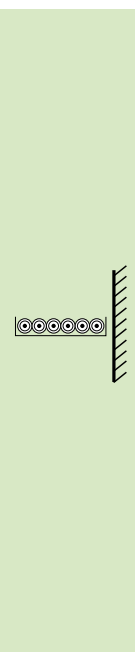
El factor de corrección para otras temperaturas del ambiente, distintas de las tabuladas, será:

$$F = \sqrt{[(90-\theta_a)/50]}$$

En las tablas que siguen se dan los factores de corrección a aplicar en los agrupamientos de varios circuitos constituidos por cables unipolares o multipolares, de acuerdo con el tipo de instalación.

TABLA 14 DE ITC-BT-07
Factor de corrección para agrupaciones de varios circuitos de cables unipolares (galerías subterráneas)

TIPO DE INSTALACIÓN	NÚM. DE CIRCUITOS TRIFÁSICOS (2)				A UTILIZAR PARA (1)
	NÚM. DE BANDEJAS	1	2	3	
Bandejas perforadas en horizontal cables en contacto (3)	1	0,95	0,90	0,85	Tres cables en capa horizontal
	2	0,95	0,85	0,80	
	3	0,90	0,85	0,80	
Bandejas perforadas en vertical cables en contacto (4)	1	0,95	0,85	-	Tres cables en capa horizontal
	2	0,90	0,85	-	
Bandejas escalera, soporte, etc. cables en contacto (3)	1	1,00	0,95	0,95	Tres cables en capa horizontal
	2	0,95	0,90	0,90	
	3	0,95	0,90	0,85	
Bandejas perforadas (3)	1	1,00	1,00	0,95	Tres cables dispuestos a tresbolillo
	2	0,95	0,95	0,90	
	3	0,95	0,90	0,85	
Bandejas perforadas verticales (4)	1	1,00	0,90	0,90	(sep. entre circuitos ≥ 2 D _e) D _e = Ø ext. cable unipolar
	2	1,00	0,90	0,85	
Bandejas escalera, soporte, etc. (3)	1	1,00	1,00	1,00	(sep. entre circuitos ≥ 2 D _e) D _e = Ø ext. cable unipolar
	2	0,95	0,95	0,95	
	3	0,95	0,95	0,90	



NOTA 1: incluye, además, el conductor neutro, si existe.

NOTA 2: para circuitos con varios cables en paralelo, por fase, a los efectos de aplicación de esta tabla, cada grupo de tres conductores se considera como un circuito.

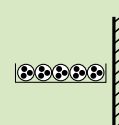
NOTA 3: los valores están indicados para una distancia vertical entre bandejas de 300 mm. Para distancias más pequeñas habrá que reducir los factores.

NOTA 4: los valores están indicados para una distancia horizontal entre bandejas de 225 mm, estando las bandejas montadas dorso con dorso. Para distancias más pequeñas habrá que reducir los factores.

TABLA 15 DE ITC-BT-07

**Factor de corrección para agrupaciones de varios cables trifásicos
(galerías subterráneas)**

TIPO DE INSTALACIÓN	NÚM. DE BANDEJAS	NÚM. DE CIRCUITOS TRIFÁSICOS (1)					
		1	2	3	4	5	6
Bandejas perforadas cables en contacto (2)	1	1,00	0,90	0,80	0,80	0,75	0,75
	2	1,00	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70
	3	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
Bandejas perforadas cables espaciados (2)*	1	1,00	1,00	1,00	0,95	0,90	-
	2	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85	-
	3	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85	-
Bandejas verticales perforadas cables en contacto (3)	1	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70
	2	1,00	0,90	0,80	0,75	0,70	0,70
Bandejas verticales perforadas cables espaciados 1 De (3)*	1	1,00	0,90	0,90	0,90	0,85	-
	2	1,00	0,90	0,90	0,85	0,85	-
Bandejas escalera, soportes, etc. cables en contacto (2)	1	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80
	2	1,00	0,85	0,80	0,80	0,75	0,75
	3	1,00	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70
Bandejas escalera, soportes, etc. cables espaciados 1 De (2)*	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
	2	1,00	1,00	1,00	0,95	0,95	-
	3	1,00	1,00	0,95	0,95	0,75	-



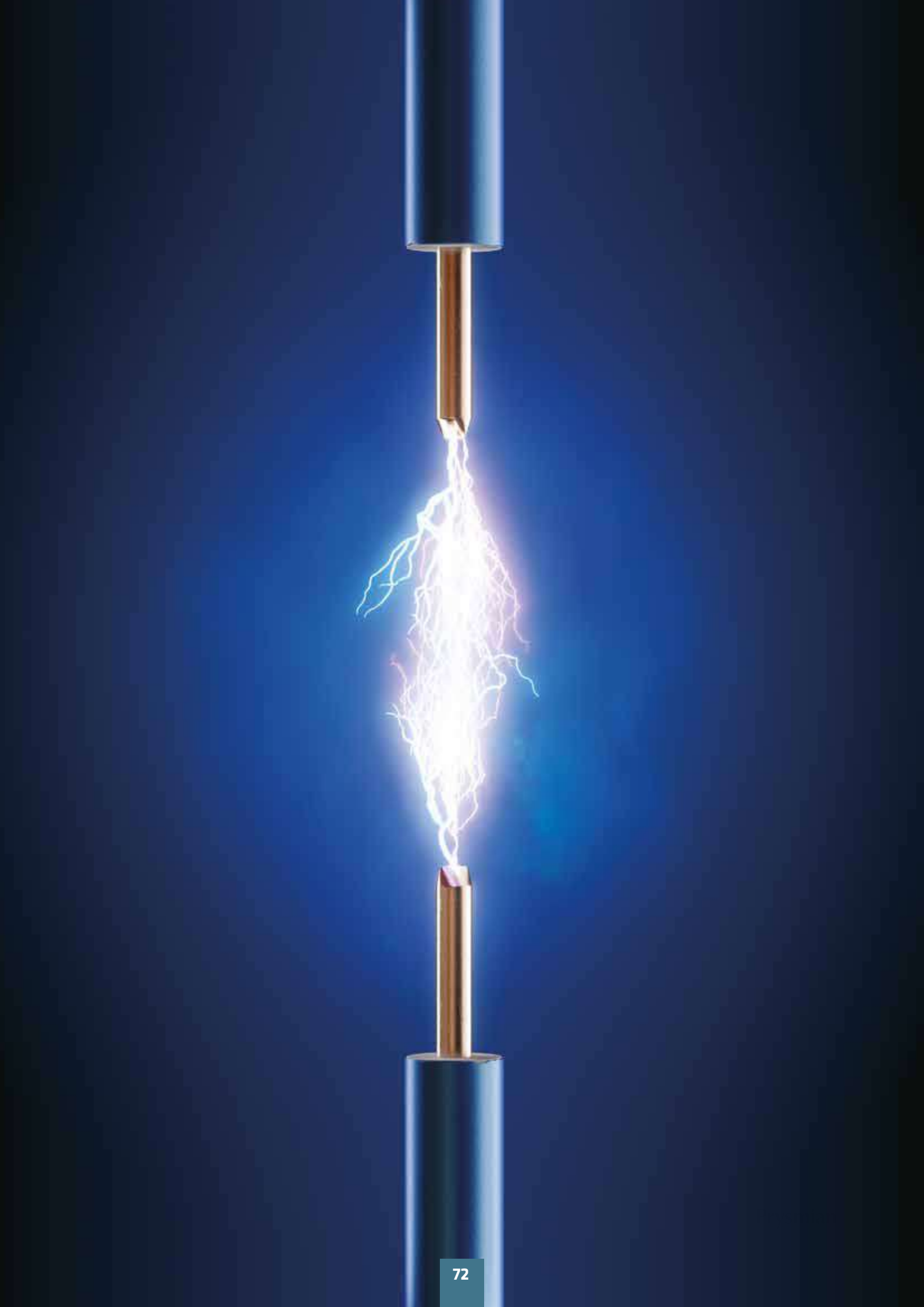
NOTA 1: incluye, además, el conductor neutro, si existiese.

NOTA 2: los valores están indicados para una distancia vertical entre bandejas de 300 mm. Para distancias menores, se reducirán los factores de corrección.

NOTA 3: los valores están indicados para una distancia horizontal entre bandejas de 225 mm, estando las bandejas montadas dorso con dorso. Para distancias más pequeñas se reducirán los factores de corrección.

(*) Espaciado mayor o igual al diámetro exterior del cable.

NOTA: para caídas de tensión e intensidades de cortocircuito ver apartados E y F.



D/Cálculo de la intensidad de corriente

Para obtener las intensidades de corriente podemos aplicar las siguientes fórmulas:

Monofásica

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \quad I = \frac{S}{U}$$

Trifásica

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Donde:

- I: intensidad de corriente de línea en A.
- P: potencia activa en W.
- U: tensión fase neutro (monofásica) o entre fases (trifásica) en V.
- $\cos \varphi$: coseno del ángulo que forman el fasor intensidad y el fasor tensión de fase.
- S: potencia aparente en VA.

Una vez obtenida la intensidad de corriente, para obtener la sección de conductor necesaria para nuestra corriente, debemos considerar los coeficientes de corrección propios (agrupamiento de circuitos, temperatura ambiente...) y seguir la metodología explicada en el apartado A para instalaciones de enlace e instalaciones interiores o receptoras. Para redes de distribución y de alumbrado aéreas, apartado B y para redes de distribución y alumbrado subterráneas, apartados C o C bis.

Para ilustrar el método de cálculo, hemos incluido varios ejemplos en el apartado G que recomendamos leer.



E/Cálculo de de la sección por caída de tensión

Formulario

Para calcular la sección de un cable por el criterio de la caída de tensión es conveniente tener en cuenta el efecto de la reactancia, cuya influencia es significativa, especialmente cuando el resultado es una sección elevada (por ejemplo $S_{Cu} > 25 \text{ mm}^2$ para conductores de Cu y $S_{Al} > 70 \text{ mm}^2$ para conductores de Al).

Se pueden considerar las siguientes fórmulas de cálculo de caída de tensión teniendo en cuenta el efecto de la reactancia:

Monofásica

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot (\Delta U - 2 \cdot 10^{-3} \cdot x/n \cdot L \cdot I \cdot \sin \varphi)}$$

Trifásica

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

Donde:

- S: sección del conductor en mm^2 .
- $\cos \varphi$: coseno del ángulo φ entre la tensión de fase y la intensidad.
- L: longitud de la línea en metros.
- I: intensidad de corriente en A.
- γ : conductividad del conductor en $\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$.
- ΔU : caída de tensión máxima admisible en V.
- x: reactancia de la línea en Ω/km .
- n: número de conductores por fase.

Si en nuestros cálculos pudiéramos despreciar el valor de la reactancia ($x = 0$) las expresiones se simplifican y quedan de la siguiente forma:

Monofásica ($x = 0$)

... en función de la potencia

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot \Delta U} \quad S = \frac{2 \cdot P \cdot L}{\gamma \cdot \Delta U \cdot U}$$

Trifásica ($x = 0$)

... en función de la potencia

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot \Delta U} \quad S = \frac{P \cdot L}{\gamma \cdot \Delta U \cdot U}$$

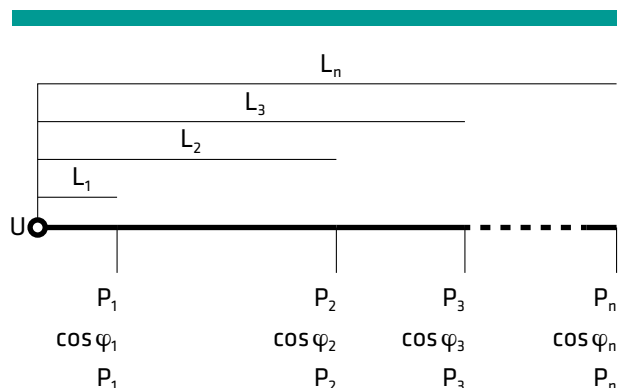
Donde:

- P: potencia en W.
- U: tensión de la línea en V.

Las expresiones últimas son prácticas cuando no se dispone del $\cos \varphi$ como ocurre en numerosas ocasiones.

NOTA: para el efecto de la reactancia (x) y su valor para el cálculo de la caída de tensión. (Ver apartado J, punto 6). Para redes de distribución, ver especificaciones de la empresa suministradora de electricidad.

En el caso de líneas con receptores repartidos a diferentes distancias alimentados con cable de sección uniforme tenemos:



Monofásica

$$S = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot I_i \cdot \cos \varphi_i}{\gamma \cdot (\Delta U - 2 \cdot 10^{-3} \cdot x/n \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot I_i \cdot \sen \varphi_i)}$$

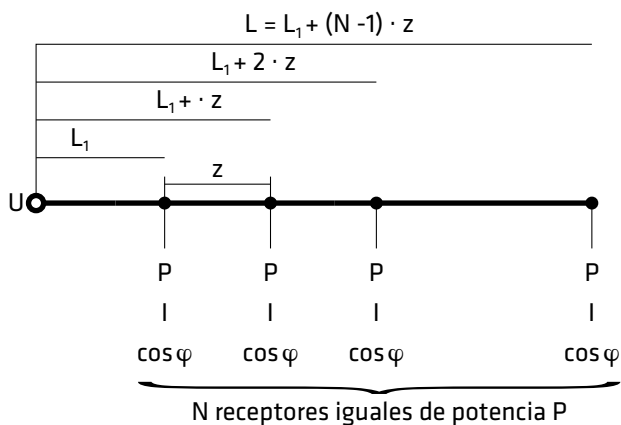
Trifásica

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot I_i \cdot \cos \varphi_i}{\gamma \cdot (\Delta U - 1,732 \cdot 10^{-3} \cdot x/n \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot I_i \cdot \sen \varphi_i)}$$

Donde:

- S: sección del conductor en mm².
- cos φ_i: coseno del φ del receptor i.
- L_i: longitud de la línea en metros hasta el receptor i.
- I_i: intensidad de corriente en A del receptor i.
- γ: conductividad del conductor en m/(Ω · mm²).
- ΔU: caída de tensión máxima admisible en V (al final de la línea).
- x: reactancia de la línea en Ω/km.
- n: número de conductores por fase.

Y particularizando el caso anterior para N receptores iguales repartidos uniformemente (caso frecuente de líneas para iluminación):



Monofásica

$$S = \frac{2 \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot N \cdot \left(\frac{L + L_1}{2}\right)}{\gamma \cdot (\Delta U - 2 \cdot 10^{-3} \cdot x/n \cdot I \cdot \sen \varphi \cdot N \cdot \left(\frac{L + L_1}{2}\right))}$$

Trifásica

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot N \cdot \left(\frac{L + L_1}{2}\right)}{\gamma \cdot (\Delta U - 1,732 \cdot 10^{-3} \cdot x/n \cdot I \cdot \sen \varphi \cdot N \cdot \left(\frac{L + L_1}{2}\right))}$$

Donde:

- S: sección del conductor en mm².
- I: intensidad de corriente en A.
- cos φ: coseno del φ de los receptores (todos iguales).
- N: número de receptores (idénticos).
- L: longitud de la línea en metros.
- L₁: distancia a la que está situado el primer receptor en m.
- γ: conductividad del conductor en m/(Ω · mm²).
- ΔU: caída de tensión máxima admisible al final de la línea en V.
- x: reactancia de la línea en Ω/km.
- n: número de conductores por fase.

NOTA: Ejemplos en apartado M.

Los valores de γ a considerar se encuentran en la tabla siguiente:

TABLA E.1

MATERIAL	DISTANCIA ENTRE CONDUCTOS (a)		
	20 °C	TERMOPLÁSTICOS 70 °C	TERMOESTABLES 90 °C
Cobre	58,0	48,5	45,5
Aluminio	35,7	29,7	27,8

Los cables termoplásticos (ver apartado J, punto 3) soportan 70 °C en régimen permanente y por tanto en ausencia de cálculo real de la temperatura del conductor debe considerarse la conductividad del conductor a 70 °C que como se puede ver es significativamente distinta de la que tenemos a 20 °C y que en muchas ocasiones se aplica por error, asignándole el valor de 56 m/(Ω · mm²).

Igualmente los cables termoestables (ver apartado J, punto 3), soportan hasta 90 °C en régimen permanente y, a esa temperatura, debemos considerar el conductor de nuestra instalación (γ = 45,5 para Cu, γ = 27,8 para Al). Se trata de considerar las condiciones más desfavorables

salvo que se decida a calcular la temperatura a la que realmente se encuentra el conductor. No hay que olvidar que los conductores no permanecen a 20 °C en las instalaciones, pues, al margen de la temperatura ambiente en la que se encuentran, se calientan por efecto joule y podríamos llegar a errores del 28 % si consideramos la conductividad (γ) a 20 °C.

Si quisiéramos obtener valores de la conductividad (γ) a cualquier temperatura (θ)...

$$\gamma_{\theta} = 1 / \rho_{\theta}$$

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

Donde:

- ρ_{θ} : resistividad del conductor a la temperatura θ en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.
- ρ_{20} : resistividad del conductor a 20 °C en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (= 1/58 para Cu y 1/35,7 para Al).
- α : coeficiente de variación de resistencia específica por temperatura del conductor en $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (0,00393 para Cu y 0,00407 para Al).

Y para obtener θ ...

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

Donde:

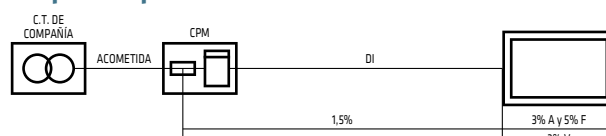
- θ : temperatura real estimada en el conductor.
- θ_0 : temperatura ambiente del conductor sin carga.
- $\theta_{\text{máx}}$: temperatura máxima admisible para el conductor según su tipo de aislamiento. (70 °C para aislamientos termoplásticos y 90 °C para aislamientos termoestables).
- I : intensidad prevista para el conductor.
- $I_{\text{máx}}$: intensidad máxima admisible para el conductor en las condiciones en que se encuentra instalado.

Se recomienda ver la procedencia del valor de conductividad en el apartado J, punto 2, y el ejemplo del apartado K, punto 7.

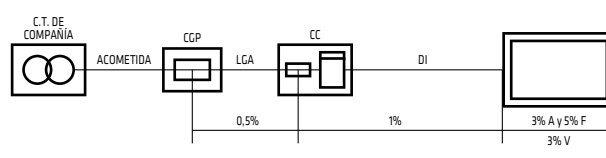
Caídas de tensión máximas admisibles en %, según el reglamento para Baja Tensión

Esquemas resumen de las caídas de tensión admisibles en instalaciones de enlace e instalaciones interiores o receptoras según el vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. (ITC-BT 19, apdo. 2.2.2.).

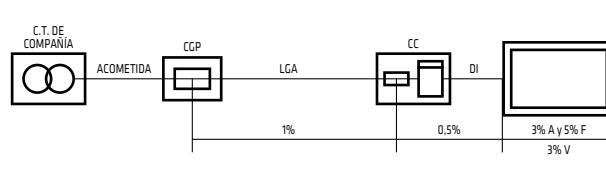
Esquema para un único usuario



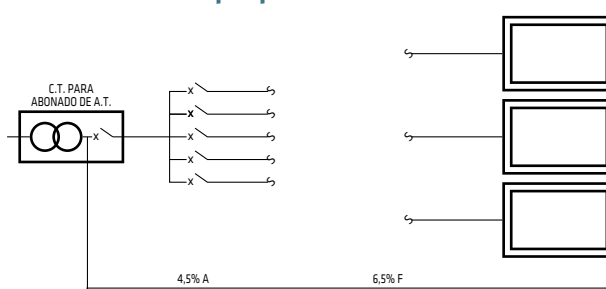
Esquema para una única centralización de contadores



Esquema cuando existen varias centralizaciones de contadores



Esquema de la instalación industrial que se alimenta directamente, en alta tensión, mediante un transformador de distribución propio



Donde:

- A: circuitos de alumbrado.
- F: circuitos de fuerza.
- V: circuitos interiores de viviendas.
- CPM: caja de protección y medida.
- CGP: caja general de protección.
- CC: centralización de contadores.
- LGA: línea general de alimentación.
- DI: derivación individual.

■ **Caída de tensión en instalaciones a muy baja tensión**

“Para las instalaciones de alumbrado, la caída de tensión entre la fuente de energía y los puntos de utilización no será superior al 5%.” (ITC-BT 36, pto. 2.2., último párrafo).

■ **Caída de tensión en instalaciones generadoras de baja tensión:**

“...la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5 %, para la intensidad nominal.” (ITC-BT 40 pto. 5).

■ **Caídas de tensión en redes de distribución:**

La caída de tensión admisible en las redes de distribución viene reflejada en el artículo 104 del Real Decreto que regula las actividades de transporte, distribución, comercialización y autorización de instalaciones de energía eléctrica (R.D. 1955/2000) y en cuyo punto 3 podemos leer: “Los límites máximos de variación de la tensión de alimentación a los consumidores finales serán de $\pm 7\%$ de la tensión de alimentación declarada.” Es decir la tensión a medir en el comienzo de la instalación de enlace caja general de protección, bases

tripolares verticales, caja de protección y medida...) debe permanecer en los límites del $\pm 7\%$.

Por ejemplo para suministros monofásicos a 230 V la medida debe estar entre los valores de 213,9 V y 246,1 V y para suministros trifásicos a 400 V entre 372 y 428 V.

Se recomienda consultar especificaciones particulares de la empresa suministradora de electricidad que corresponda en cada caso.

Tablas de caídas de tensión

A continuación tenemos algunas tablas de cálculo rápido. Para determinar la caída de tensión, en V, se multiplicará el coeficiente de la tabla por la corriente que recorre el cable, en A, y por la longitud de la línea en km. Los valores de la tabla se refieren a c.a. trifásica; para corriente monofásica pueden tomarse los mismos valores resultantes, multiplicados por 1,15 ($\approx 2/\sqrt{3}$)

Las tablas están calculadas considerando el efecto de las resistencias (UNE EN 60228) y de las reactancias con los conductores al tresbolillo.

Para cables termoestables (ver apartado J, punto 3) y considerando su máxima temperatura de régimen permanente ($T_{max} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$).

TABLA E.2
Coefficiente para el cálculo de la caída de tensión [V/(A·km)] para cables termoestables

SECCIÓN NOMINAL mm ²	TRES CABLES UNIPOLARES TERMOESTABLES				UN CABLE MULTIPOLAR TERMOESTABLE			
	cos φ = 1	cos φ = 1	cos φ = 0,8	cos φ = 0,8	cos φ = 1	cos φ = 1	cos φ = 0,8	cos φ = 0,8
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
1,5	26,5	-	21,36	-	26,94	-	21,67	-
2,5	15,92	-	12,88	-	16,23	-	13,1	-
4	9,96	-	8,1	-	10,16	-	8,23	-
6	6,74	-	5,51	-	6,87	-	5,59	-
10	4	-	3,31	-	4,06	-	3,34	-
16	2,51	14,15	2,12	3,42	2,56	4,24	2,13	3,48
25	1,59	2,62	1,37	2,19	1,62	2,66	1,38	2,21
35	1,15	1,89	1,01	1,6	1,17	1,93	1,01	1,62
50	0,85	1,39	0,77	1,21	0,86	1,42	0,77	1,22
70	0,59	0,97	0,56	0,86	0,6	0,98	0,56	0,87
95	0,42	0,7	0,43	0,65	0,43	0,71	0,42	0,65
120	0,34	0,55	0,36	0,53	0,34	0,56	0,35	0,53
150	0,27	0,45	0,31	0,45	0,28	0,46	0,2	0,44
185	0,22	0,36	0,26	0,37	0,22	0,37	0,26	0,37
240	0,17	0,27	0,22	0,3	0,17	0,28	0,21	0,3
300	0,14	0,22	0,19	0,26	0,14	0,22	0,18	0,25
400	0,11	0,17	0,17	0,22	0,11	0,18	0,16	0,21

Para cables termoplásticos de Cu (ver apartado J, punto 3) y considerando su máxima temperatura de régimen permanente ($T_{\text{máx}} = 70 \text{ °C}$).

Es infrecuente encontrar en el mercado cables termoplásticos de Al:

TABLA E.3

Coefficiente para el cálculo de la caída de tensión [V/(A·km)] para cables termoplásticos

S mm ²	CAIDA DE TENSIÓN EN V/A km (CABLES TERMOPLÁSTICOS DE Cu, SISTEMA TRIFÁSICO)	
	cos $\varphi = 1$	cos $\varphi = 0,8$
0,5	74,604	59,787
0,75	50,772	40,725
1	37,509	30,107
1,5	25,075	20,194
2,5	15,356	12,395
4	9,553	7,747
6	9,383	5,205
10	3,792	3,125
16	2,383	1,991
25	1,507	1,288
35	1,086	0,952
50	0,802	0,728
70	0,555	0,529
95	0,400	0,403
120	0,317	0,335
150	0,257	0,288
185	0,205	0,246
240	0,156	0,206

Ejemplo de aplicación de los coeficientes

■ 1. Línea trifásica de 150 m con cables unipolares de 1x240 Cu **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)**. Intensidad de corriente que recorre la línea, 428 A y $\cos \varphi = 0,8$.

Los cables **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** son cables termoestables (90 °C) como dice en su ficha, por lo tanto ya sabemos que al tratarse de sistema trifásico con 3 cables unipolares el coeficiente a aplicar es 0,22 V/A·km en nuestro caso y la caída de tensión en la línea se calcula...

$$\Delta U = 428 \text{ A} \times 0,15 \text{ km} \times 0,22 \text{ V/A} \cdot \text{km} = 14,124 \text{ V}$$

■ 2. Línea de corriente continua con longitud de 33 m realizada con cables **AFUMEX CLASS 750 V (AS)** de 1x6. Intensidad de corriente que recorre la línea, 27 A.

Los cables **AFUMEX CLASS 750 V (AS)** son de Cu y termoplásticos (70 °C). Por otro lado sabemos que para cálculos en corriente continua se procede igual que si fuera alterna monofásica de 50 o 60 Hz con $\cos \varphi = 1$. Por tanto, ya tenemos nuestro coeficiente (6,383 V/A·km), y al tratarse de un cálculo como corriente monofásica debemos multiplicar además el valor obtenido de la tabla (válido para trifásica) por 1x15.

$$\Delta U = 27 \text{ A} \times 0,033 \text{ km} \times 6,383 \text{ V/A} \cdot \text{km} \times 1,15 = 6,54 \text{ V}$$



F/Intensidades máximas de cortocircuito

Siguiendo la norma UNE-HD 60364-4-43 (tabla 43A) podemos calcular la corriente máxima de cortocircuito que puede soportar un cable según la fórmula siguiente:

$$I_{cc} = k \cdot S/\sqrt{t}$$

En la que:

- I_{cc} : corriente de cortocircuito en amperios.
 k : constante que depende de la naturaleza del conductor (Cu o Al) y del tipo de aislamiento

(termoplástico [PVC o poliolefinas Z1] o termoestable [XLPE, EPR, poliolefinas o silicona]).

- S : Sección del conductor en mm².
 t : la duración del cortocircuito en segundos (mínimo 0,1 segundos, máximo 5 segundos)

Aplicando valores a la fórmula se obtienen las siguientes tablas:

TABLA F.1

Intensidad de cortocircuito admisible (A) para conductores de Cu con aislamiento termoplástico (tipo PVC o poliolefinas Z1), máximo 160 °C en cortocircuito. ($I_{cc} = 115 \cdot S/\sqrt{t}$)

SECCIÓN NOMINAL mm ²	DURACIÓN DEL CORTOCIRCUITO EN SEGUNDOS (t)									
	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	2,5	3	
0,5	182	129	105	81	58	47	41	36	33	
0,75	273	193	157	122	86	70	61	55	50	
1	364	257	210	163	115	94	81	73	66	
1,5	545	386	315	244	173	141	122	109	100	
2,5	909	643	525	407	288	235	203	182	166	
4	1455	1029	840	651	460	376	325	291	266	
6	2182	1543	1260	976	690	563	488	436	398	
10	5637	2571	2100	1626	1150	939	813	727	664	
16	5819	4114	3359	2602	1840	1502	1301	1164	1062	
25	9092	6429	5249	4066	2875	2347	2033	1818	1660	
35	12728	9000	7349	5692	4025	3286	2846	2546	2324	
50	18183	12757	10498	8132	5750	4695	4066	3637	3320	
70	25456	18000	14697	11384	8050	6573	5692	5091	4648	
95	34548	24429	19946	15450	10925	8920	7725	6910	6308	
120	43639	30858	25195	19516	13800	11268	9758	8728	7967	
150	54549	38572	31494	24395	17250	14085	12198	10910	9959	
185	67277	47572	38843	30087	21275	17371	15044	13455	12283	
240	87279	61715	50390	39032	27600	22535	19516	17456	15935	
300	109099	77144	62988	48790	34500	28169	24395	21820	19919	

TABLAS

TABLA F.2

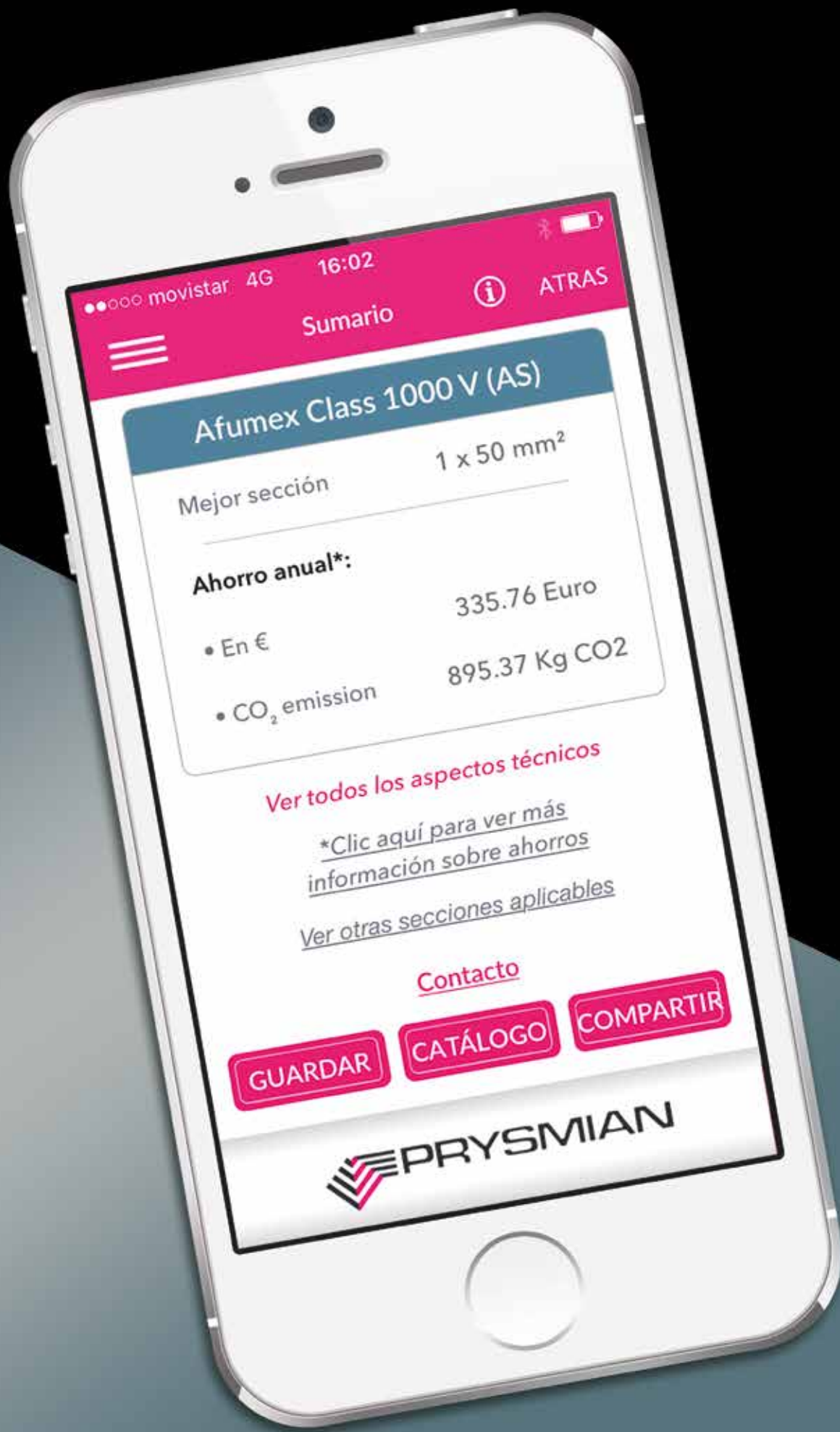
Intensidad de cortocircuito admisible (A) para conductores de **Cu** con aislamiento termoestable (tipo XLPE, EPR o poliolefinas Z o silicona), máximo 250 °C en cortocircuito. ($I_{cc} = 143 \cdot S/\sqrt{t}$)

SECCIÓN NOMINAL mm ²	DURACIÓN DEL CORTOCIRCUITO EN SEGUNDOS (t)								
	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0,5	226	160	131	101	72	58	51	45	41
0,75	339	240	196	152	107	88	76	68	62
1	452	320	261	202	143	117	101	90	83
1,5	678	480	392	303	215	175	152	136	124
2,5	1131	799	653	506	358	292	253	226	206
4	1809	1279	1044	809	572	467	404	362	330
6	2713	1919	1566	1213	858	701	607	543	495
10	4522	3198	2611	2022	1430	1168	1011	904	826
16	7235	5116	4177	3236	2288	1868	1618	1447	1321
25	11305	7994	6527	5056	3575	2919	2528	2261	2064
35	15827	11192	9138	7078	5005	4087	3539	3165	2890
50	22610	15988	13054	10112	7150	5838	5056	4522	4128
70	31654	22383	18276	14156	10010	8173	7078	6331	5779
95	42960	30377	24803	19212	13585	11092	9606	8592	7843
120	54265	38371	31330	24268	17160	14011	12134	10853	9907
150	67831	47964	39162	30335	21450	17514	15167	13566	12384
185	83658	59155	48300	37413	26455	21600	18707	16732	15274
240	108529	76742	62659	48536	34320	28022	24268	21706	19815
300	135662	95927	78324	60670	42900	35028	30335	27132	24768

TABLA F.3

Intensidad de cortocircuito admisible (A) para conductores de **Al** con aislamiento termoestable (tipo XLPE, EPR o poliolefinas Z o silicona), máximo 250 °C en cortocircuito. ($I_{cc} = 94 \cdot S/\sqrt{t}$)

SECCIÓN NOMINAL mm ²	DURACIÓN DEL CORTOCIRCUITO EN SEGUNDOS (t)								
	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	2,5	3
16	4756	3363	2746	2127	1504	1228	1063	951	868
25	7413	5255	4290	3323	2350	1919	1662	1486	1357
35	10404	7357	6007	4653	3290	2686	2326	2081	1899
50	14863	10510	8581	6647	4700	3838	3323	2973	2714
70	20808	14713	12013	9306	6580	5373	4653	4162	3799
95	28239	19968	16304	12629	8930	7291	6314	5648	5156
120	35670	25223	20594	15952	11280	9210	7976	7134	6513
150	44588	31529	25743	19940	14100	11513	9970	8918	8141
185	54992	38885	31750	24593	17390	14199	12287	10998	10040
240	71341	50446	41189	31905	22560	18240	15952	14268	13025
300	89176	63057	51486	39881	28200	23025	19940	17835	16281



Afumex Class 1000 V (AS)

Mejor sección: 1 x 50 mm²

Ahorro anual*:

- En €: 335.76 Euro
- CO₂ emission: 895.37 Kg CO₂

[Ver todos los aspectos técnicos](#)

[*Clic aquí para ver más información sobre ahorros](#)

[Ver otras secciones aplicables](#)

[Contacto](#)

[GUARDAR](#)
[CATÁLOGO](#)
[COMPARTIR](#)

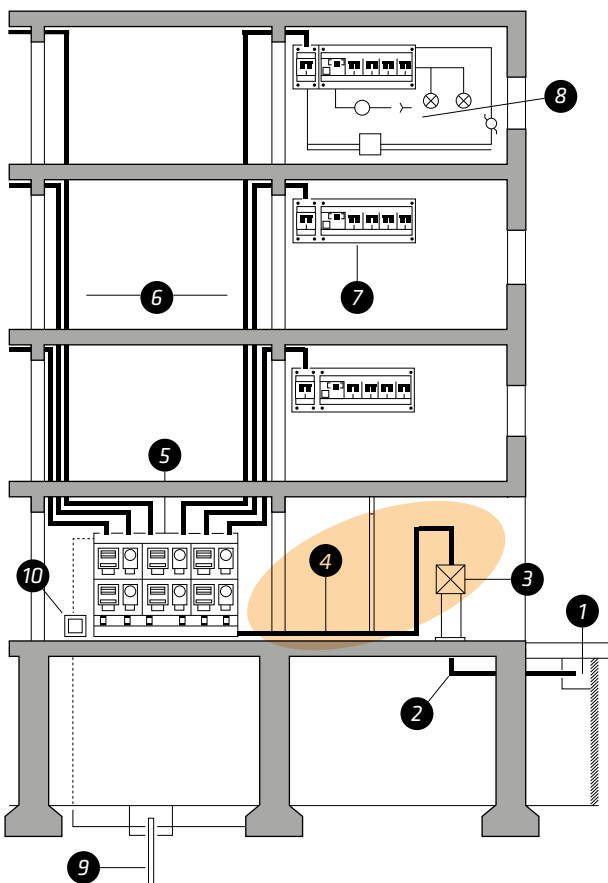


G/Ejemplos de cálculo de sección para Baja Tensión

BAJA TENSIÓN

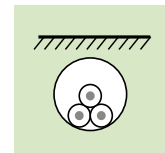
Línea general de alimentación en edificio de viviendas

Todas las fórmulas y tablas utilizadas en este apartado vienen explicadas en los apartados anteriores



Sistema de instalación:

Conductores aislados en el interior de tubos enterrados → método D1.



Cables **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** (RZ1-K) unipolar según ITC-BT 14 (Los cables **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** son termoestables [ver apartado], punto 3]).



Condiciones de instalación:

Estándares

- Temperatura del terreno 25 °C.
- Resistividad térmica del terreno 2,5 K·m/W.

Datos cuantitativos de la instalación:

P = 120 kW
U = 400 V (trifásica)
cos φ = 0,9
U = 32 m



Aplicando la fórmula de la corriente trifásica:

$$I = P (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi) = 120.000 / \sqrt{3} \times 400 \times 0,9) \approx 192 \text{ A}$$

Sección de criterio de la intensidad admisible:

Tomamos el valor inmediato superior al calculado.

MÉTODO D1/D2 - UNE-HD 60364-5-52

	SECCIÓN mm ²	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
Cobre	PVC2	20,5	27,5	36	44	59	76	98	118	140	173	205	233	264	296	342	387
	PVC3	17	22,5	29	37	49	63	81	97	115	143	170	192	218	245	282	319
	XLPE2	24,5	32,5	42	53	70	91	116	140	166	204	241	275	311	348	402	455
Aluminio	XLPE3	21	27,5	35	44	58	75	96	117	138	170	202	230	260	291	336	380
	XLPE2						70	89	107	126	156	185	211	239	267	309	349
	XLPE3						58	74	90	107	132	157	178	201	226	261	295

$S_1 = 95 \text{ mm}^2$

XLPE3 = trifásica con cable termoestable (máximo 90 °C en el conductor).

Sección por el criterio de la caída de tensión:

Según ITC-BT 19 (apartado 2.2.2.) la caída de tensión máxima en una LGA de edificio de viviendas como el que nos ocupa es de un 0,5 %

$$e = 400 \times 0,005 = 2 \text{ V}$$

$$S_{\text{cdt}} = L \cdot P / (\gamma \cdot e \cdot U) = 32 \times 120.000 / (45,5 \times 2 \times 400) \approx 105,5$$

SECCIÓN SOLUCIÓN:
 $S_{\text{cdt}} = 120 \text{ mm}^2$

↑
valor de γ a 90 °C (cables de Cu termoestables como el **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** de nuestro cálculo)

Intensidad de cortocircuito máxima admisible:

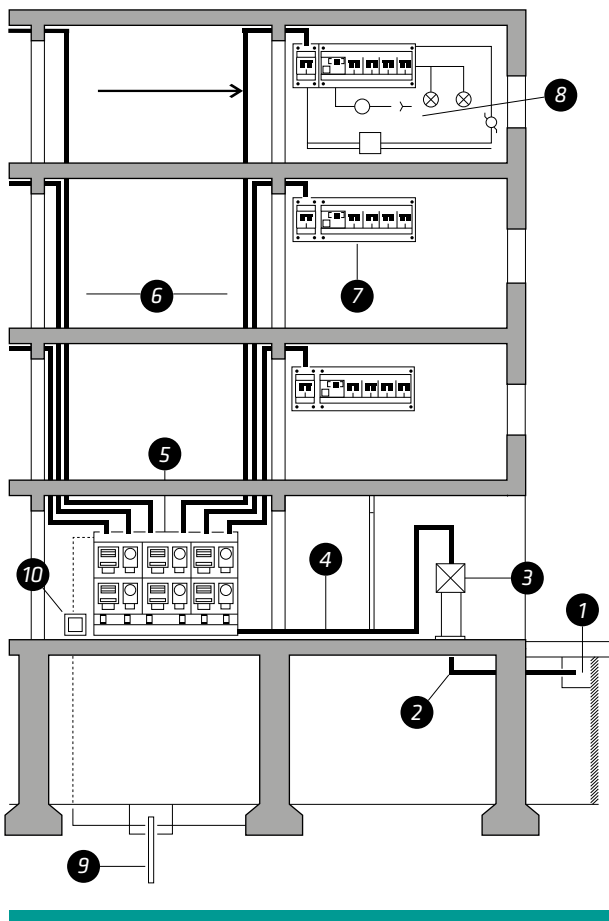
$$I_{\text{cc}} = 143 \cdot S / \sqrt{t} \text{ (p.e. si } t = 1 \text{ s} \rightarrow I_{\text{cc}} = 143 \times 120 / \sqrt{1} = 17160 \text{ A)}$$

S en mm²

t en s (valores entre 0,1 y 5 s)

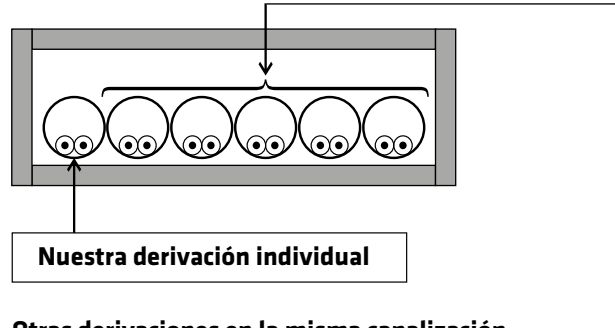
I_{cc} en A

Derivación individual en edificio de viviendas



Sistema de instalación:

Conductores aislados en el interior de tubos en hueco de la construcción → método B2.



Otras derivaciones en la misma canalización

Condiciones de instalación:

- Temperatura 40 °C.
- Agrupamiento de 6 circuitos → C1 = 0,55.

Datos cuantitativos de la instalación:

P = 5750 W (electrificación básica)
 U = 230 V (monofásica)
 cos φ = 1
 L = 14 m

Cable **AFUMEX CLASS HAZ (AS)** según ITC-BT 15



Como la DI es monofásica calculamos la intensidad de corriente con la fórmula para monofásica

$$I = P / (U \cdot \cos \varphi) = 5750 / (230 \times 1) \approx 25 \text{ A}$$

Sección por el criterio de la intensidad admisible:**UNE-HD 60364-5-52 (tabla C.52.3)**

PUNTO	DISPOSICIÓN DE CABLES	NÚMERO DE CIRCUITOS O CABLES MULTICONDUCTORES										INSTALACIÓN TIPO
		1	2	3	4	6	9	12	16	20		
→ 1	Agrupados al aire, en una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente.	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40	A a F	
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas.	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	C	
3	Capa única fijada al techo.	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60		
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales.	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	E y F	
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, soportes, bridas de amarre, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80		

↓

**Coefficiente de corrección
por agrupamiento C1 = 0,55**

Afectamos la intensidad calculada (25 A) del coeficiente de corrección por agrupamiento (0,55). Dividiendo 25 por 0,55 obtenemos I', valor de la intensidad con la que elegir en la tabla de intensidades admisibles. Se puede hacer multiplicando el coeficiente 0,55 por los valores de la tabla y ver qué sección supera el valor 25 A, pero es un proceso menos directo. Por supuesto en ambos casos el resultado es el mismo.

$$I' = I/0,55 = 25/0,55 \approx 45 \text{ A}$$

El cable **AFUMEX CLASS HAZ (AS)** no tiene PVC pero es termoplástico igual que el PVC y por ello se busca así en la tabla. (Ver apartado J, punto 3).

PVC2 = monofásica con cable termoplástico (máximo 70 °C en el conductor) →

NÚMERO DE CONDUCTORES CON CARGA Y NATURALEZA DEL AISLAMIENTO														
A1		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)	XLPE2 (90 °C)					
A2		PVC2 (70 °C)				XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)						
B1					PVC3 (70 °C)		PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)		
B2				PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)		PVC2 (90 °C)		
C							PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)			
D*														
E									PVC3 (70 °C)			PVC2 (70 °C)		
F											PVC3 (70 °C)			
		mm ²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a
		1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19
		2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26
		4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34
		6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44
		10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60
		16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81
		25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103
		35	72	77	86	95	100	101	106	109	114	119	124	127
		50	86	94	103	116	121	122	128	133	139	145	151	155
		70	109	118	130	148	155	155	162	170	178	185	193	199
		95	131	143	156	180	188	187	196	207	216	224	234	241
		120	150	164	179	207	217	216	226	240	251	260	272	280
		150	171	188	196	224	236	247	259	276	289	299	313	322
		185	194	213	222	256	268	281	294	314	329	341	356	368
		240	227	249	258	299	315	330	345	368	385	401	419	435
		300	259	285	295	343	360	398	396	432	414	461	468	516

S_i = 16 mm² ←

Cobre

Sección por el criterio de la caída de tensión:

Según la ITC-BT 19 (apartado 2.2.2.) la caída de la tensión máxima en una derivación individual de edificio de viviendas como el que nos ocupa es del 1%.

$$e = 230 \times 0,01 = 2,3 \text{ V}$$

$$S_{\text{cdt}} = 2 \cdot L \cdot P / (\gamma \cdot e \cdot U) = 2 \times 14 \times 5750 / (48,5 \times 2,3 \times 230) \approx S_{\text{cdt}} = 6,3 \rightarrow S_{\text{cdt}} = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow$$

SECCIÓN SOLUCIÓN:

S_i = 16 mm²

↑
valor de γ a 70 °C (cables de Cu termoplásticos como el **AFUMEX CLASS HAZ (AS)** de nuestro cálculo)

Intensidad de cortocircuito máxima admisible:

$$I_{\text{cc}} = 115 \cdot S / \sqrt{t} \text{ (p.e. si } t = 0,1 \text{ s} \rightarrow I_{\text{cc}} = 115 \times 16 / \sqrt{0,1} = 5819 \text{ A)}$$

S en mm²

t en s (valores entre 0,1 y 5 s)

I_{cc} en A

Ascensor de un centro comercial

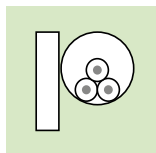
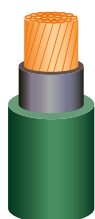


Datos de instalación:

- Capacidad: 13 personas
- Potencia: 46 kW
- Suministro: Trifásico a 400 V
- Línea: 70 m
- $\cos \phi$: 0,92

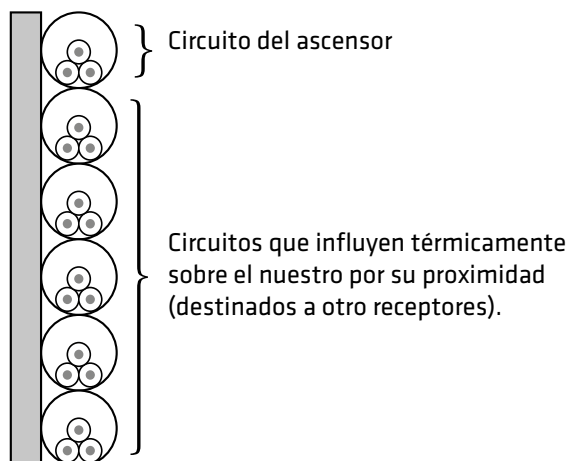
Por tratarse de servicio de seguridad no autónomo en un local de pública concurrencia (ITC-BT 28 pto. 2) elegimos **AFUMEX CLASS FIRS (AS+)** Clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$ y RESISTENTE AL FUEGO (según UNE-EN 50200 e IEC 60331-1) (ITC-BT 28 pto. 4f, 4º párrafo).

De entre los diferentes sistemas de instalación, (ITC-BT-28, pto. 4 e), elegimos cable unipolar bajo tubo grapado en pared en zona no accesible al público.



Datos adicionales de la instalación:

- Temperatura ambiente: 35° C.
- Influencia térmica: 5 circuitos adicionales instalados paralelamente también bajo tubo.



Sección por caída de tensión:

$$I = P / (U \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3}) = 46000 / (400 \times 0,92 \times 1,73) = 72 \text{ A}$$

5% de caída de tensión,
(ITC-BT-19 pto. 2.2.2.)

e = caída de tensión en V,
(5% de 400 V → 20 V)

ITC-BT 47 pto. 3.1. (motor)

$$S = (1,25 \cdot I \cdot L \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3}) / (\gamma \cdot e)$$

$$S = (1,25 \times 72 \times 70 \times 0,92 \times \sqrt{3}) / (45,5 \times 20)$$

$$S = 11,03 \quad \mathbf{S = 16 \text{ mm}^2}$$

El cable **AFUMEX CLASS FIRS (AS+)** tiene aislamiento termoestable.

$\gamma = 45,5 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2 \text{ Cu}$ (a 90 °C T máx. aislamiento termoestable tipo XLPE, EPR, poliolefinas Z, silicona...)

NOTA IMPORTANTE: $\gamma = 58 \text{ Cu}$ (a 20 °C), $\gamma = 48,5 \text{ Cu}$ (a 70 °C T máx. para casos de aislamiento termoplástico tipo PVC o poliolefinas Z1).

Sección por intensidad de corriente admisible:

Coefficiente aplicable por agrupación de circuitos

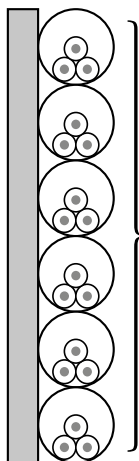


TABLA C-52-3 (UNE-HD 60364-5-52)

PUNTO	DISPOSICIÓN DE CABLES	NÚMERO DE CIRCUITOS O CABLES MULTICONDUCTORES								
		1	2	3	4	6	9	12	16	20
1	Agrupados al aire, en una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente.	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas.	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
3	Capa única fijada al techo.	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales.	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, soportes, bridas de amarre, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Coefficiente aplicable por temperatura ambiente diferente al estándar (40 °C en España para instalaciones al aire).

0,70

TABLA B-52-14 (UNE-HD 60364-5-52)

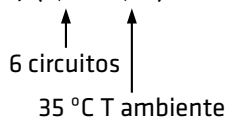
MATERIAL AISLANTE	TEMPERATURA AMBIENTE (t _a) (EN °C)										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
PVC (termoplástico)	1,40	1,34	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,70	0,57
XPLE O EPR (termoestable)	1,26	1,23	1,19	1,14	1,10	1,05	1,00	0,96	0,90	0,83	0,78

... por tanto la intensidad I' a considerar para buscar la sección adecuada

1,05

ITC-BT-47 pto. 3.1. (motor)

$$I' = I \times 1,25 / (0,70 \times 1,05)$$



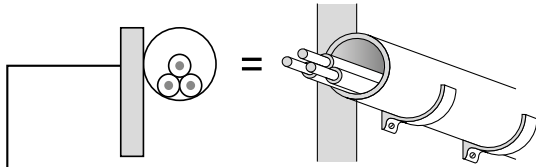
$$I' = 72 \times 1,25 / (0,70 \times 1,05) = 122 \text{ A}$$

I' = 122 A

¡Hemos pasado de 72 A a tener que considerar 122 A por los **COEFICIENTES** de **CORRECCIÓN!**

Buscamos ahora nuestra instalación de referencia:

TABLA A-52-3 (UNE-HD 60364-5-52) Métodos de instalación e instalaciones “tipo”.



3	Cable multiconductor empotrado directamente en una pared térmicamente aislante.	A1
4	Conductores aislados o cable unipolar en conductos sobre pared de madera o de mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...), no espaciados de ella una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del tubo.	B1
5	Cable multiconductor en conducto sobre pared de madera o de mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...), no espaciado una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del conductor.	B2

Instalación de referencia a utilizar para obtener las intensidades admisibles. →

B1

Con la instalación de referencia y el tipo de cable obtenemos la sección.

TABLA C-52-1 bis (tabla de carga según modo de instalación).

		NÚMERO DE CONDUCTORES CON CARGA Y NATURALEZA DEL AISLAMIENTO												
A1			PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)	XLPE2 (90 °C)				
A2			PVC2 (70 °C)				XLPE3 (90 °C)	XLPE2 (90 °C)						
B1		1º	2º		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)						XLPE3 (90 °C)		
B2					PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)	PVC2 (90 °C)		
C								PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)		
D*		VER SIGUIENTE TABLA												
E										PVC3 (70 °C)		PVC2 (70 °C)		
F											PVC3 (70 °C)			
Cobre		mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a
		1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19
		2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26
		4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34
		6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44
		10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60
		16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81
		25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103
		35	72	77	86	95	100	101	106	109	114	119	124	127
		50	86	94	103	116	121	122	128	133	139	145	151	155
		70	109	118	130	148	155	155	162	170	178	185	193	199
		95	131	143	156	180	188	187	196	207	216	224	234	241
		120	150	164	179	207	217	216	226	240	251	260	272	280
		150	171	188	196	224	236	247	259	276	289	299	313	322
	185	194	213	222	256	268	281	294	314	329	341	356	368	
	240	227	249	258	299	315	330	345	368	385	401	419	435	
	300	259	285	295	343	360	398	396	432	414	461	468	516	

B1 → 1º

I' = 122 A

S = 35 mm² *

SOLUCIÓN AFUMEX CLASS FIRS (AS+) 1 x 35 mm²



(*) El cable iría lo que se conoce coloquialmente como “ahorcado” por tener un valor de intensidad máxima admisible muy próximo al valor de intensidad de servicio que va a circular por el cable no haciendo fácil intercalar una protección entre ambos valores. Lo adecuado es elegir la siguiente sección o incluso, realizar los cálculos partiendo la intensidad nominal de la protección del circuito, así aseguramos que la protección queda intercalada entre la intensidad de funcionamiento del receptor y la máxima admisible para el cable.

Cortocircuito admisible

TABLA C-52-3 (UNE-HD 60364-5-52)

SECCIÓN S	DURACIÓN DEL CORTOCIRCUITO EN SEGUNDOS (t)								
	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	2,5	3
25	11 305	7 994	6 527	5 056	3 575	2 919	2 528	2 261	2 064
35	15 827	11 192	9 138	7 078	5 005	4 087	3 539	3 165	2 890
50	22 610	15 988	13 054	10 112	7 150	5 838	5 056	4 522	4 128

RADIO MÍNIMO DE CURVATURA

SECCIÓN NOMINAL mm ²	ESPESOR DE AISLAMIENTO mm	DIÁMETRO EXTERIOR mm
1X35	0,9	13,8
1X50	1	15,4
1X70	1,1	17,3

$$r_{\min} = 4 D = 4 \times 13,8 = 55,2 \text{ mm (ver apartado H)}$$

Cálculo con resultado de varios conductores por fase.

Cálculo por caída de tensión:

Para realizar un cálculo de sección por caída de tensión es necesario considerar la reactancia cuando el resultado excede de 35 mm² (conductores de cobre). Ejemplificamos su aplicación para el caso particular de necesitar varios conductores por fase.

Partamos de los siguientes datos para cálculo:

- Tensión de la línea: U = 400 V (trifásica).
- Longitud: L = 300 m.
- cos φ = 0,9.
- Potencia: P = 500 kW.
- Caída de tensión admisible: 5% (ΔU = 20 V).
- Reactancia aproximada considerada: x = 0,08 Ω/km (recomendación de UNE-HD 60364-5-52 y de la norma francesa UTE-C 15-105 independiente de la sección, naturaleza del conductor (Cu o Al) y sistema de instalación).
- Instalación en bandeja perforada (cables unipolares en capa horizontal).
- Cable utilizado: **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)**.



AFUMEX CLASS 1000 V (AS) unipolar

Recordemos inicialmente la expresión con la que obtenemos la sección (S [mm²]) por caída de tensión para alimentaciones trifásicas considerando la reactancia de la línea.

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cos \varphi}{\gamma \cdot (\Delta U - \sqrt{3} \cdot 10^{-3} \cdot X \cdot L \cdot I \cdot \sin \varphi)}$$

NOTA: X = x/n, siendo x = 0,08 Ω/km y n el número de conductores por fase.

γ es la conductividad del conductor. Tomamos el valor 45,5 m/Ω·mm². Valor a 90 °C, máxima temperatura posible en el conductor (cobre) del cable termoestable **AFUMEX CLAS 1000 V (AS)** elegido.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cdot \cos \varphi} = \frac{500000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,9} = 802 \text{ A}$$

... y aplicamos

$$S = \frac{\sqrt{3} \times 300 \times 802 \times 0,9}{45,5 \times (20 - \sqrt{3} \times 10^{-3} \times 0,08 \times 300 \times 802 \times 0,436)} = 1508 \text{ mm}^2$$

Al resultar una sección elevada, dividimos por 240 mm² (sección más elevada habitual en stock y de común uso)

$$1508/240 = 6,28 \rightarrow 7 \text{ conductores de } 240 \text{ mm}^2 \text{ por fase.}$$

Pero debemos rehacer el cálculo dado que hemos considerado la reactancia para una línea con un conductor ($X = 0,08 \text{ /km} = x/n$ para $n=1$) por fase y nos han resultado 7. Por lo que procedemos a iterar teniendo en cuenta los conductores en paralelo.

■ 1ª iteración

La reactancia para nuestro circuito con 7 conductores por fase es:

$$X_1 = 0,08 \text{ } \Omega/\text{km}/7 = 0,011 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Aplicamos...

$$S = \frac{\sqrt{3} \times 300 \times 802 \times 0,9}{45,5 \times (20 - \sqrt{3} \times 10^{-3} \times 0,011 \times 300 \times 802 \times 0,436)} = 458 \text{ mm}^2$$

...y obtenemos:

$$458/240 = 1,9 \rightarrow 2 \text{ conductores de } 240 \text{ mm}^2 \text{ por fase.}$$

■ 2ª iteración

Procedemos análogamente suponiendo 2 conductores por fase:

$$X_2 = 0,08 \text{ } \Omega/\text{km}/2 = 0,04 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \times 300 \times 802 \times 0,9}{45,5 \times (20 - \sqrt{3} \times 10^{-3} \times 0,04 \times 300 \times 802 \times 0,436)} = 647 \text{ mm}^2$$

$$647/240 = 2,69 \rightarrow 3 \text{ conductores de } 240 \text{ mm}^2 \text{ por fase.}$$

■ 3ª iteración

$$X_3 = 0,08 \text{ } \Omega/\text{km}/3 = 0,027 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \times 300 \times 802 \times 0,9}{45,5 \times (20 - \sqrt{3} \times 10^{-3} \times 0,027 \times 300 \times 802 \times 0,436)} = 546 \text{ mm}^2$$

$$546/240 = 2,28 \rightarrow 3 \text{ conductores de } 240 \text{ mm}^2 \text{ por fase.}$$

Al resultar el mismo número de conductores por fase (3) que el considerado para calcular la reactancia inicialmente, la solución es válida.

Ahora probemos con la sección inferior a 240 normalizada (185 mm²):

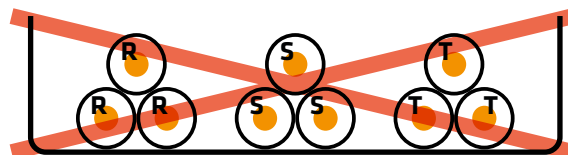
$$546/185 = 2,95 \rightarrow \text{vemos que se pueden utilizar 3 conductores de } 185 \text{ mm}^2 \text{ por fase.}$$

Solución:

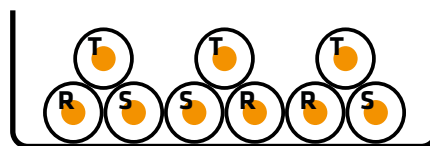
3 conductores de 185 mm² por fase

Recordamos la colocación de los conductores para ahorrar-nos problemas importantes con las inducciones:

■ Colocación incorrecta (agrupando los conductores de cada fase)



■ Colocación correcta (si hubiéramos elegido colocar las ternas a tresbolillo)



■ Colocación correcta en horizontal



Cálculo por intensidad admisible

Calculemos ahora por el criterio de la intensidad admisible para ver las particularidades de un cálculo por este criterio con varios conductores por fase como el que nos ocupa pues la intensidad de corriente I es elevada (802 A).

Según se ha comentado en el texto de este catálogo, la norma UNE 20435 recogía en su apartado 3.2.1.3 la utilización de un factor de corrección no inferior a 0,9 cuando se empleen varios conductores por fase. Además los conductores deberán agruparse en ternas que incluyan cada una de las fases, discurrir en paralelo, ser de la misma sección y naturaleza de conductor.

Y además de este coeficiente de corrección debemos tener presente lo que dice la nota 2 de la tabla B.52.21 de la norma UNE-HD 60364-5-52 reflejada también en este catálogo: Para circuitos que incluyen varios cables en paralelo por fase conviene que cada grupo de tres conductores sea considerado como un circuito para la aplicación de esta tabla.

Es, no obstante, de sentido común que este planteamiento sea trasladable a cualquier otro sistema de instalación con resultado de varios conductores por fase toda vez que las tablas de intensidades admisibles están pensadas para circuitos únicos, si nuestro circuito está rodeado de otros o **está desdoblado en varios conductores** por ser de gran potencia es evidente que va a aparecer una generación de

calor extra que hay que reflejar en los cálculos con un factor de corrección por agrupamiento.

La tabla B.52.21 nos dice que para ternas de cables unipolares **en contacto** en bandeja perforada (sistema de instalación que elegimos inicialmente) los coeficientes de corrección son: 0,91 para dos ternas y 0,87 para 3 ternas.

TABLA C.52.1 bis
Intensidades admisibles en amperios al aire (40 °C)

NÚMERO DE CONDUCTORES CON CARGA Y NATURALEZA DEL AISLAMIENTO																			
A1		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)	XLPE2 (90 °C)										
A2		PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)			XLPE2 (90 °C)											
B1				PVC3 (70 °C)		PVC2 (70 °C)						XLPE3 (90 °C)			XLPE2 (90 °C)				
B2			PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)		PVC2 (90 °C)								
C							PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)		XLPE3 (90 °C)			PVC2 (90 °C)			
D*		VER SIGUIENTE TABLA																	
E								PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)		
F										PVC3 (70 °C)			PVC2 (70 °C)		PVC2 (70 °C)		XLPE3 (90 °C)	XLPE2 (90 °C)	
Cobre	mm ²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	25
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	34
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	46
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	59
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	82
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	110
	25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
	35	72	77	86	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
	50	86	94	103	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
	70	109	118	130	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
	95	131	143	156	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
	120	150	164	179	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
	150	171	188	196	224	236	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458
185	194	213	222	256	268	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523	
240	227	249	258	299	315	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	
300	259	285	295	343	360	398	396	432	414	461	468	516	524	547	549	630	674	713	

Aplicamos los coeficientes de corrección que proceda para obtener las secciones:

mm ²	11	
95	298	$\times 3 \times 0,9 \times 0,87 = 700 \text{ A} < 802 \text{ A} \rightarrow$ no válido
120	350	$\times 3 \times 0,9 \times 0,87 = 822 \text{ A} > 802 \text{ A} \rightarrow$ OK
150	401	$\times 3 \times 0,9 \times 0,87 = 942 \text{ A} > 802 \text{ A} \rightarrow$ OK
185	460	
240	545	
300	630	

de llevar a efecto técnicamente, para limitar problemas con las inducciones).

mm ²	11	
95	298	
120	350	
150	401	
185	460	$\times 2 \times 0,9 \times 0,91 = 753 \text{ A} < 802 \text{ A} \rightarrow$ no válido
240	545	$\times 2 \times 0,9 \times 0,91 = 893 \text{ A} > 802 \text{ A} \rightarrow$ OK
300	630	$\times 2 \times 0,9 \times 0,91 = 1048 \text{ A} > 802 \text{ A} \rightarrow$ OK

Podemos pues, utilizar 3 ternas de cables unipolares de 1x120 mm² de cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** o podemos probar con 2 ternas (mejor solución, si se pue-

Con 2 conductores de 1 x 240 mm² por fase aseguramos holgura entre el valor de servicio (802 A) y el máximo admisible (893 A).

Si probamos a separar una distancia equivalente al doble del diámetro de la envolvente de cada terna los coeficientes de corrección serán superiores pues la disipación del calor generado se verá favorecida por estar más distanciadas las ternas. En la citada tabla 52-E5 encontramos que los valores de factor de corrección por agrupamiento son 0,98 para 2 ternas y 0,96 para tres.

mm ²	11	
95	298	
120	350	$\times 3 \times 0,9 \times 0,96 = 907 \text{ A} < 802 \text{ A} \rightarrow \text{OK}$
150	401	$\times 3 \times 0,9 \times 0,96 = 1039 \text{ A} > 802 \text{ A} \rightarrow \text{OK}$
185	460	$\times 2 \times 0,9 \times 0,96 = 811 \text{ A} > 802 \text{ A} \rightarrow \text{OK}$ (muy ajustado)*
240	545	$\times 2 \times 0,9 \times 0,98 = 961 \text{ A} > 802 \text{ A} \rightarrow \text{OK}$
300	630	$\times 2 \times 0,9 \times 0,98 = 1129 \text{ A} > 802 \text{ A} \rightarrow \text{OK}$

(*) *El cable iría lo que se conoce coloquialmente como "ahorcado" por tener un valor de intensidad máxima admisible muy próximo al valor de intensidad de servicio que va a circular por el cable no haciendo fácil intercalar una protección entre ambos valores. Lo adecuado es elegir la siguiente sección o incluso, realizar los cálculos partiendo la intensidad nominal de la protección del circuito, así aseguramos que la protección queda intercalada entre la intensidad de funcionamiento del receptor y la máxima admisible para el cable.

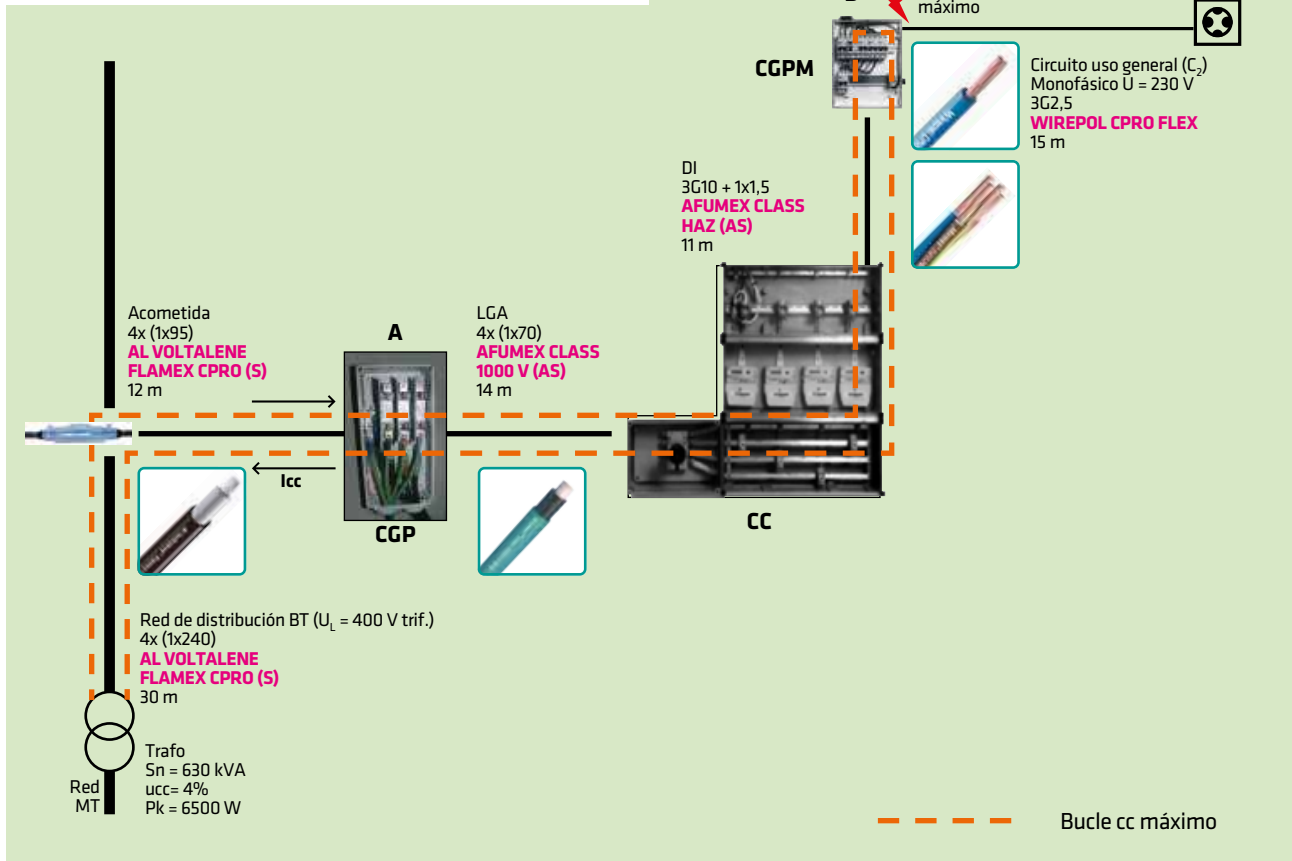
En resumen la sección a elegir por fase, a falta de cálculos de cortocircuito, será de 3 conductores de 1x185 mm² **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)**, ya que cubre las exigencias por caída de tensión y por intensidad admisible. Podemos comprobar en la segunda iteración anterior que ni la sección de 240, ni la de 300 mm² con dos conductores por fase cumplirían el criterio de la caída de tensión.

Cálculo de sección por intensidad de cortocircuito

Cortocircuito máximo (en bornes del cuadro general de mando y protección CGMP)

Queremos obtener el valor de cortocircuito máximo de un circuito para uso general (toma de corriente) de una vivienda para comprobar que no se supera el poder de corte del pequeño interruptor automático de 16 A de intensidad nominal que protege en cabecera dentro del cuadro general de mando y protección (CGMP).

Consideremos el siguiente esquema de suministro desde la red de MT hasta el circuito interior de uso general (C₂, toma de corriente) de una vivienda.



Se toma el defecto fase-neutro como el más desfavorable y se considera despreciable la reactancia inductiva de los cables. La resistencia de los conductores para el cálculo será a 20 °C (menor que a mayores temperaturas de funcionamiento pues como sabemos todo conductor se calienta por la circulación de la corriente y su resistencia aumenta). De esta forma, al emplear valores mínimos de impedancia en las líneas, siempre nos resultará el cortocircuito más elevado posible.

Comenzamos a calcular impedancias considerando el

$$S_{cc} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_{ccl} = \sqrt{3} \cdot U_f \cdot \sqrt{3} \cdot I_{ccf} = 3 \cdot U_f \cdot I_{ccf} = 3 \cdot \frac{U_f^2}{Z_{red}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{U_L}{\sqrt{3}}\right)^2}{Z_{red}} = \frac{U_L^2}{Z_{red}}$$

Teniendo en cuenta que además podemos despreciar el valor de la resistencia de red frente al valor de la reactancia:

$$Z_{red} = \frac{U_L^2}{S_{cc}} \approx X_{red}$$

$$X_{red} \approx \frac{400^2}{400 \times 10^6} = 4 \times 10^{-4} \Omega$$

Ahora debemos calcular la impedancia del transformador partiendo de los datos de su placa de características:

$$S_n = 630 \text{ kVA}$$

$$u_{cc} = 4\%$$

$$P_k = 6500 \text{ W (potencia de cortocircuito)}$$

Calculamos la resistencia del transformador a partir de las pérdidas térmicas por efecto Joule en los arrollamientos obtenidas del ensayo en cortocircuito.

$$P_k = 3 R_{trafo} \cdot I_n^2 \rightarrow R_{trafo} = \frac{P_k}{3I_n^2}$$

I_n se puede obtener con la expresión que la relaciona con la potencia nominal del transformador:

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \rightarrow I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{630000}{\sqrt{3} \times 400} = 909 \text{ A}$$

$$R_{trafo} = R_{cc} = \frac{P_k}{3I_n^2} = \frac{6500}{3 \times 909^2} = 0,0026 \Omega$$

cortocircuito trifásico en bornes del secundario del transformador para obtener el mayor valor del mismo.

Para poder obtener la reactancia de red será necesario que nos faciliten la potencia aparente del cortocircuito (S_{cc}) en el punto considerado, dato que en ocasiones puede proporcionar la compañía eléctrica.

Suponemos en nuestro caso nos proporcionan un valor de S_{cc} es de 400 MVA (en ausencia de datos se suele tomar el valor de 500 MVA).

Sabemos que la caída de tensión porcentual de cortocircuito está relacionada con la impedancia del transformador por la siguiente expresión:

$$Z_{cc} = \frac{u_{cc} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{4 \times 400^2}{100 \times 630000} = 0,0102 \Omega$$

Y aplicando el teorema de Pitágoras obtenemos X_{cc} :

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = \sqrt{0,0102^2 - 0,0026^2} = 0,00986 \Omega$$

Nos falta saber ahora los valores del resto del circuito hasta el cuadro general de mando y protección:

$$R_{RD} = \rho_{Al} \cdot L_{RD} / S_{RD} = 0,028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (30 \times 2 \text{ m} / 240 \text{ mm}^2) = 0,007 \Omega$$

$$R_{Acom} = \rho_{Al} \cdot L_{Acom} / S_{Acom} = 0,028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (12 \times 2 \text{ m} / 95 \text{ mm}^2) = 0,0071 \Omega$$

$$R_{LGA} = \rho_{Cu} \cdot L_{LGA} / S_{LGA} = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (14 \times 2 \text{ m} / 70 \text{ mm}^2) = 0,0068 \Omega$$

$$R_{DI} = \rho_{Cu} \cdot L_{DI} / S_{DI} = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (11 \times 2 \text{ m} / 10 \text{ mm}^2) = 0,0374 \Omega$$

NOTA: $\rho_{Cu} = 1/58 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ es la resistividad del cobre a 20 °C en corriente continua según UNE 20003. $\rho_{Al} = 1/35,71 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} = 0,028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ es la resistividad del aluminio a 20 °C en corriente continua según UNE 21096. Además se puede considerar aproximadamente igual al valor a 20 °C en corriente alterna a 50 Hz.

Recopilamos los datos obtenidos en la siguiente tabla:

	Red dist MT	Trafo	Red dist BT	Acometida	LGA	DI	C ₂	APLICACIÓN
R (Ω/km) (20 °C)	-	0,0026	0,007	0,0071	0,0068	0,0374	-	cc máximo
X (Ω/km)	0,0004	0,00986	-	-	-	-	-	

$$I_{cc} = \frac{Pf}{\sqrt{\vec{Z}_{red} + \vec{Z}_{cc}}} = \frac{230}{\sqrt{(0,0026 + 0,007 + 0,0071 + 0,0068 + 0,0374)^2 + (0,0004 + 0,00986)^2}} = 3724 \text{ A}$$

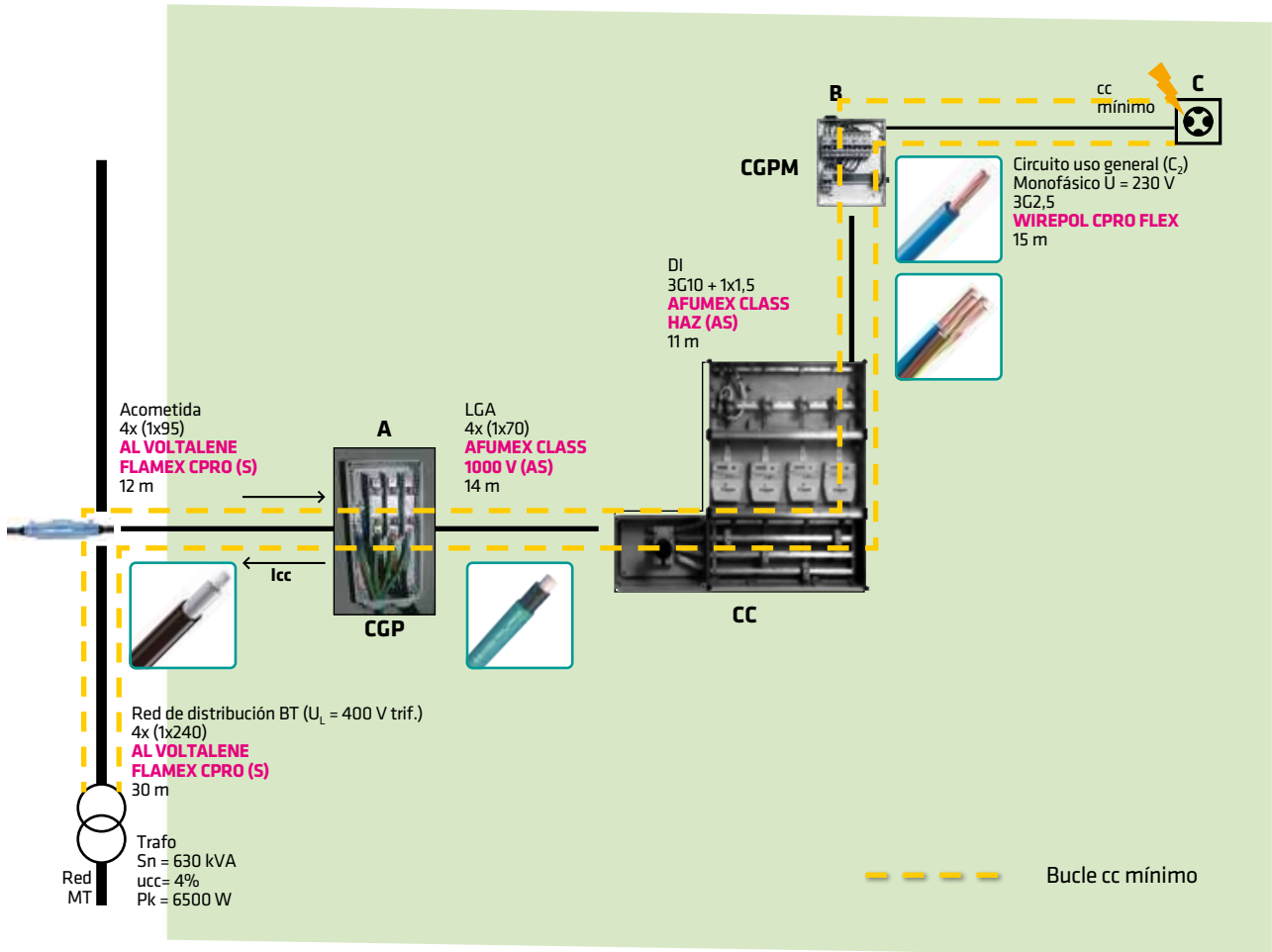
Nuestra protección puede soportar el poder de corte requerido puesto que el REBT exige un mínimo de 4500 A (ITC-BT 17, pto. 1.3.).

Cortocircuito mínimo

En el final de la instalación tendríamos típicamente un cortocircuito fase-neutro por defecto franco en el receptor (ver bucle de cortocircuito mínimo). Al aumentar el recorrido del cortocircuito se aumenta la impedancia y se reduce el cortocircuito. Como además emplearemos los valores más desfavorables de impedancia (resisten-

cias a máxima temperatura del conductor y reactivancias) el resultado de los cálculos será el valor mínimo de cortocircuito que deberá superar el umbral de activación del relé tiempo-independiente del interruptor automático que protege el circuito.

En el esquema del circuito se ha reflejado el bucle del cortocircuito mínimo:



La intensidad del cortocircuito será:

$$I_{cc} = \frac{U_f}{Z_{cc}}$$

Respecto a la fórmula aproximada $0,8 \cdot U_f / \sum R$ ahora no necesitamos simplificar tomando $0,8 \cdot U_f$ en el numerador pues tomaremos los valores de todas las impedancias implicadas. En el denominador se habla de impedancia de cortocircuito (Z_{cc}) porque se consideran no sólo las resistencias sino también las reactivancias de todo el bucle de defecto.

El valor de la impedancia Z_{cc} se obtendrá como suma de las partes resistivas y reactivas de todas las líneas implicadas desde la red de MT hasta el punto de conexión

del receptor en la vivienda (toma de corriente de uso general C_2):

$$Z_{cc} = \sqrt{(\sum R_i)^2 + (\sum X_i)^2}$$

Los valores de la resistividad (ρ) del aluminio a $90 \text{ }^\circ\text{C}$ [cables **AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (S)** de la red de distribución y acometida] se obtienen aplicando la fórmula de la norma UNE 21096 (IEC 121):

$$\rho_{Al(T)} = 1/35,71 \times [1 + 0,00407 \times (T-20)]$$

(donde T es la temperatura de conductor).

$$R_{RD} = \rho_{Al} \cdot L_{RD} / S_{RD} = 0,054 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (30 \times 2 \text{ m} / 240 \text{ mm}^2) = 0,0135 \Omega$$

$$R_{Acom} = \rho_{Al} \cdot L_{Acom} / S_{Acom} = 0,054 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (12 \times 2 \text{ m} / 95 \text{ mm}^2) = 0,0136 \Omega$$

...y para el cobre a 250 °C [cables termoestables como el **AFUMEX CLASS 100 V (AS)** de la LGA] y a 160 °C [cables termoplásticos como el **AFUMEX CLASS HAZ (AS)** de la DI o el **WIREPOL CPRO FLEX** del circuito de uso general] empleamos la fórmula de la UNE 20003 (IEC 28).

$$\rho_{Cu(T)} = 1/58 \times [1 + 0,00393 \times (T-20)]$$

(donde T es la temperatura de conductor).

$$R_{LGA} = \rho_{Cu} \cdot L_{LGA} / S_{LGA} = 0,033 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (14 \times 2 \text{ m}/70 \text{ mm}^2) = 0,0132 \Omega$$

$$R_{DI} = \rho_{Cu} \cdot L_{DI} / S_{DI} = 0,027 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (11 \times 2 \text{ m}/10 \text{ mm}^2) = 0,0594 \Omega$$

$$R_{CIA} = \rho_{Cu} \cdot L_{CIA} / S_{DI} = 0,027 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (15 \times 2 \text{ m}/2,5 \text{ mm}^2) = 0,324 \Omega$$

Los valores de reactancia, salvo indicación más precisa, se pueden considerar en torno a 0,08 Ω/km (valor que avala la norma UNE-HD 60364-5-52 y la norma francesa UTE C 15-105 para tendidos independientemente de la sección, naturaleza del conductor y disposición de los conductores).

$$X_{RD} = 0,08 \Omega/\text{km} \times 30 \times 2 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,0048 \Omega$$

$$X_{Acom} = 0,08 \Omega/\text{km} \times 12 \times 2 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,00192 \Omega$$

$$X_{LGA} = 0,08 \Omega/\text{km} \times 14 \times 2 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,00224 \Omega$$

$$X_{DI} = 0,08 \Omega/\text{km} \times 11 \times 2 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,00176 \Omega$$

$$X_{CIA} = 0,08 \Omega/\text{km} \times 15 \times 2 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,0024 \Omega$$

Resumiendo:

	Red dist MT	Trafo	Red dist BT	Acometida	LGA	DI	C ₂	APLICACIÓN
R (Ω/km) (máx. T)	-	0,0026	0,0135	0,0136	0,0132	0,0594	0,324	cc mínimo
X (Ω/km)	0,0004	0,00986	0,0048	0,00192	0,00224	0,00176	0,0024	

$$\Sigma R_i = R_{trafo} + R_{RD} + R_{Acom} + R_{LGA} + R_{DI} + R_{CIA}$$

$$\Sigma R_i = 0,0026 + 0,0135 + 0,0136 + 0,0132 + 0,0594 + 0,324 = 0,4263 \Omega$$

$$\Sigma X_i = X_{red} + X_{trafo} + X_{RD} + X_{Acom} + X_{LGA} + X_{DI} + X_{CIA}$$

$$\Sigma X_i = 0,0004 + 0,00986 + 0,0048 + 0,00192 + 0,00224 + 0,00176 + 0,0024 = 0,02338 \Omega$$

$$Z_{cc} = \sqrt{(\Sigma R_i)^2 + (\Sigma X_i)^2} = \sqrt{0,4263^2 + 0,02338^2} = 0,427 \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{U_f}{Z_{cc}} = \frac{230}{0,427} = 539 \text{ A}$$

Una protección con curva de tipo C necesita una intensidad de cortocircuito superior a 10 veces su intensidad nominal para actuar adecuadamente. Si el circuito C₂ para uso general está protegido con un interruptor magnetotérmico de 16 A de intensidad no tendremos problemas.

$$16 \text{ A} \times 10 = 160 \text{ A} < 539 \text{ A}$$

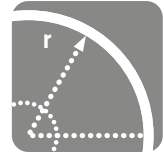
NOTA: cuando no se dispone de datos aguas arriba de la caja general de protección se puede emplear un método más sencillo (GUÍA - BT-ANEXO 3) consistente en suponer una caída del 20 % en la tensión de suministro y considerar las impedancias sólo desde la caja general de protección (CGP) $I_{cc} = 0,8 \rightarrow U_f / \Sigma R$ (con resistencias a 20 °C igualmente) para cortocircuito mínimo y $I_{cc_{cc}} = 0,8 \rightarrow U_f / \Sigma Z$ con resistencia a máxima temperatura y reactancias igualmente) para el valor máximo.

Más ejemplos de cálculo de sección en los apartados M, N, O, P y Q.



H/Radios de curvatura

BAJA TENSIÓN



Tanto durante su tendido como en su posición final, los cables están sometidos a esfuerzos mecánicos. Se indican a continuación los valores límite de los radios de curvatura.

Cables con aislamiento y cubierta para instalaciones fijas (radios de curvatura recogidos en las normas de diseño de la serie UNE 21123).

AFUMEX CLASS 1000 V (AS)
AFUMEX CLASS MANDO (AS)
AFUMEX CLASS FIRS (AS+)
AFUMEX CLASS MÚLTIPLE 1000 V (AS)
AFUMEX CLASS ATEX (AS)*
AFUMEX CLASS ATEX 2RH (AS)*

AFUMEX CLASS BLINDEX 500 V (AS)
AFUMEX CLASS BLINDEX 1000 V (AS)
AL AFUMEX CLASS (AS)
RETENAX CPRO Flex
RETENAX CPRO Rígido
SINTENAX CPRO 1000 V
RETENAX FLAM F*
BLINDEX CPRO 500 V
BLINDEX CPRO 1000 V
RETENAX CPRO VARINET*
BUPRENO CPRO
BUPRENO BOMBAS SUMERGIDAS
AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (S)

CABLES NO ARMADOS		*CABLES ARMADOS O CON TIERRA CONCÉNTRICA
D = DIÁMETRO EXTERIOR DE LOS CABLES (mm)	RADIO DE CURVATURA MÍNIMO	RADIO DE CURVATURA MÍNIMO
D < 25	4 D	10 D
25 ≤ D ≤ 50	5 D	
D > 50	6 D	

NOTA: Los anteriores radios de curvatura son los radios mínimos que el cable puede adoptar en su posición definitiva de servicio. Estos límites no se aplican a las curvaturas a que el cable pueda estar sometido durante su tendido, cuyos radios deben de tener un valor superior a lo indicado.

Conductores aislados de 450/750 V sin cubierta y para instalaciones fijas (radios de curvatura según UNE-EN 50565-1).

AFUMEX CLASS 500 V (AS)
AFUMEX CLASS 750 V (AS)
AFUMEX CLASS HAZ (AS)
AFUMEX PANELES Flex
AFUMEX CLASS 750 V Rígido (AS)
WIREPOL CPRO Flex
WIREPOL CPRO Rígido

	DIÁMETRO EXTERIOR DEL CABLE D (mm)			
	D ≤ 8	8 < D ≤ 12	12 < D ≤ 20	D > 20
USO NORMAL (DURANTE TENDIDO)	4 D	5 D	6 D	6 D
CURVADO CUIDADOSAMENTE (POSICIÓN FINAL)	2 D	3 D	4 D	4 D

P-SUN 2.0 CPRO
TECSUN CPRO

Radio mínimo de curvatura 3D para cables hasta 12 mm de diámetro exterior y 4D para el resto de los casos (posición final).

D = Diámetro exterior del cable.

Cables trenzados (radios de curvatura según UNE 21030).

**AL POLIRRET CPRO
POLIRRET FERIEIX CPRO**

18 D.

D = Diámetro del mayor conductor aislado.

En el caso de tendido con curvatura controlada, o sea enrollándolo sobre un conformador a una temperatura no inferior a 15 °C, el radio de curvatura especificado anteriormente puede reducirse a la mitad.

	PARA UN DIÁMETRO DEL CABLE (mm)			
	D ≤ 8	8 < D ≤ 12	12 < D ≤ 20	D > 20
Instalación fija	3 D	3 D	4 D	4 D
Libre movimiento	5 D	5 D	6 D	6 D
A la entrada de un aparato de un equipo móvil sin esfuerzo mecánico sobre el cable	5 D	5 D	6 D	6 D

D = Diámetro exterior de los cables (mm).

Cables para servicios móviles de 300/500 V (radios de curvatura según UNE-EN 50565-1).

Los cables aptos para servicios móviles tienen tabulados radios de curvatura para diferentes situaciones.

**WIREPOL CPRO GAS
SINTENAX CPRO AG**

Cables para servicios móviles de 450/750 V (radios de curvatura según UNE-EN 50565-1).

**AFUMEX EXPO
FLEXTREME**

	DIÁMETRO EXTERIOR DEL CABLE D (mm)			
	D ≤ 8	8 < D ≤ 12	12 < D ≤ 20	D > 20
Instalación fija	3 D	3 D	4 D	4 D
Libre movimiento	4 D	4 D	5 D	6 D
A la entrada de un aparato de un equipo móvil sin esfuerzo mecánico sobre el cable	4 D	4 D	5 D	6 D

Cable DATAX LIYCY CPRO

15 D.

D = Diámetro exterior.



I/Tensiones máximas de tracción durante los tendidos de los cables



Durante el tendido, los cables suelen estar sometidos a esfuerzos de tracción que nunca deben superar los límites establecidos en las normas. Tales límites dependen del tipo de cable pero sobre todo de la naturaleza del conductor.

Cables con aislamiento y cubierta para instalaciones fijas.

AFUMEX CLASS 1000 V (AS)
AFUMEX CLASS MANDO (AS)
AFUMEX CLASS FIRS (AS+)
AFUMEX CLASS MÚLTIPLE 1000 V (AS)
AFUMEX CLASS ATEX (AS)
AFUMEX CLASS ATEX 2RH (AS)
AFUMEX CLASS BLINDEX 500 V (AS)
AFUMEX CLASS BLINDEX 1000 V (AS)
AL AFUMEX CLASS (AS)
RETENAX CPRO Flex
RETENAX CPRO Rígido
SINTENAX CPRO 1000 V
RETENAX FLAM F
BLINDEX CPRO 500 V
BLINDEX CPRO 1000 V
RETENAX VARINET
BUPRENO CPRO
BUPRENO BOMBAS SUMERGIDAS
AL VOLTALENE FLAMEX CPRO
DATAx LiYCY CPRO

Cuando la tracción se produce sobre los conductores los valores máximos son:

Cables de cobre: $\sigma = 50 \text{ N/mm}^2$.

Cables de aluminio: $\sigma = 30 \text{ N/mm}^2$.

Es decir, que un cable de cobre de 150 mm^2 puede soportar una tracción de $50 \times 150 = 7500 \text{ N}$ cuando se aplica una cabeza de tiro sobre el conductor.

Cuando la tracción es aplicada sobre la cubierta exterior la fuerza de tracción máxima es: $F = 5 D^2$.

Siendo F la fuerza de tracción en N y D el diámetro exterior del cable en mm.

NOTA: Se recomienda reducir al 80% del valor calculado la tensión de tracción para cables con 5 conductores o más.

Conductores aislados 450/750 V sin cubierta y para instalaciones fijas.

AFUMEX CLASS 500 V (AS)
AFUMEX CLASS 750 V (AS)
AFUMEX CLASS HAZ (AS)
AFUMEX PANELES Flex
AFUMEX CLASS PANELES Rígido (AS)
WIREPOL CPRO Flex
WIREPOL CPRO Rígido

La tensión máxima de tracción sobre los conductores será de 50 N/mm^2 durante la instalación y 15 N/mm^2 para cables rígidos en servicio en circuitos fijos.

La fuerza de tracción nunca debe superar los 1000 N por conductor, excepto que se haya convenido otro valor con el fabricante.

Cables para instalaciones fotovoltaicas

P-SUN 2.0 CPRO
TECSUN H1Z2Z2-K

Carga máxima de tracción 15 N/mm^2 en servicio y 50 N/mm^2 durante su instalación.

Cables trenzados

AL POLIRRET CPRO
POLIRRET FERIEIX CPRO

Su norma de diseño (UNE 21030) no contempla valores de tensión de tracción sino pautas generales de tendido.

Cables aptos para servicios móviles

WIREPOL CPRO GAS
SINTENAX CPRO AG
AFUMEX EXPO
FLEXTREME

15 N/mm^2 (esfuerzo de tracción estático para servicio móvil).
Nunca excederá de 1000 N por conductor.

NOTA: los valores de tensión de tracción máxima durante el tendido no deben confundirse con las tensiones máximas de tracción que pueden soportar los cables en su posición final estática. Estos últimos valores son notablemente inferiores (aproximadamente la tercera parte). A tener muy en cuenta en tendidos verticales.



J/Errores más frecuentes en el cálculo de secciones y la elección del tipo de cable

Proponemos ahora una colección de errores que detectamos con frecuencia se producen a través de las consultas que recibimos. Nuestra intención es que lo lea y le ayude a mejorar con alguno de los siguientes apartados.

■ 1. Utilizar el cable **AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (S)** como si fuera de alta seguridad (AS) cuando sólo es libre de halógenos.

El AL RV fue sustituido por el AL XZ1 (S)

[**AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (S)**],

un cable de propiedades mecánicas y frente al fuego mejoradas pero con las mismas aplicaciones. Es libre de halógenos pero no es Afumex, no es de alta seguridad (AS) por no superar el ensayo de no propagación del incendio.

El cable AL XZ1 (S), por tanto, NO es válido para su instalación en locales de pública concurrencia, derivaciones individuales, líneas generales de alimentación o emplazamientos donde se requieran las mejores propiedades frente al fuego, recordemos que, en los emplazamientos e instalaciones citados, la reglamentación no pide cables libres de halógenos sino cables no propagadores del incendio y con emisión de humos y opacidad reducida, y como ya hemos dicho el cable AL XZ1 (S) no supera la primera condición (no propagación del incendio), el cable indicado para estos casos sería el **AL AFUMEX CLASS (AS)** con cubierta verde.

■ 2. No considerar la adecuada conductividad eléctrica en el cálculo de sección por caída de tensión.

Aplicar la fórmula concreta es algo normalmente muy sencillo pero es extraordinariamente usual encontrar cálculos de la caída de tensión considerando valores de la conductividad eléctrica (γ) a unos 30 °C suposición que no sólo es errónea si no que además es una simplificación peligrosa a la hora de obtener la sección del cable por este criterio (el error puede llegar a ser del 28 %).

Es muy fácil ver que tomar $\gamma = 56 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ para el cobre y 35 para el aluminio es un error dado que en la mayoría de los casos ya se parte de una temperatura ambiente estándar de 25 °C para instalaciones enterradas y de 40 °C para

instalaciones al aire, a lo que hay que sumar el correspondiente efecto Joule (calentamiento del conductor por su resistencia eléctrica) para encontrarnos que nuestro cable presenta una conductividad significativamente distinta. De hecho en cables termoestables podemos llegar a 90 °C en régimen permanente y en cables termoplásticos podemos llegar a 70 °C. La siguiente tabla se ha obtenido a partir de las normas UNE 20003 (IEC 28) para cobre y UNE 21096 (IEC 121) para aluminio:

MATERIAL	TEMPERATURA DEL CONDUCTOR		
	20°C	TERMOPLÁSTICOS 70°C	TERMOESTABLES 90°C
COBRE	58,0	48,5	45,5
ALUMINIO	35,7	29,7	27,8

Valores de γ en $\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$.

Estos valores son muy similares a los que ofrece la norma de intensidades admisibles UNE-HD 60364-5-52 en su anexo G.

Para calcular la temperatura del conductor ver apartado E y/o ejemplo en apartado K punto 7.

Para consultar valores de resistencia a diferentes temperaturas consultar apartado K punto 13.

■ 3. Dudar a la hora de interpretar qué significa “PVC2”, “PVC3”, “XLPE2” y “XLPE3” en la tabla de intensidades admisibles de los cables (UNE-HD 60364-5-52).

Primeramente debemos advertir que la tabla 1 de intensidades admisibles para cables en instalaciones interiores o receptoras de la ITC-BT 19 ya no está en vigor. Se corresponde con la versión de 1994 de la UNE 20460-5-523 (IEC 60364-5-523), en noviembre de 2004 se publicó de nuevo esta norma recogiendo cambios sustanciales para ser renovada de nuevo, en diciembre de 2014, con la publicación de la UNE-HD 60364-5-52, que es la versión vigente en la actualidad. Por lo que tenemos numerosas novedades a tener en cuenta, la tabla de intensidades admisibles y la de elección de los sistemas de instalación han variado. El apartado A de este catálogo es un resumen de la citada versión moderna de la norma. No obstante recomendamos leer detenidamente la norma original para poder valorar todos los detalles nuevos.

Teniendo en cuenta lo anterior pasamos a interpretar la nueva tabla de intensidades admisibles que sustituye a la tabla 1 de la ITC-BT 19.

Cuando en una instalación utilizamos cables termoplásticos, su comportamiento térmico es como el del PVC al margen del tipo de aislamiento que presente el cable (típicamente PVC o poliolefinas Z1) por ello la tabla los identifica con la inscripción "PVC". Soportan 70 °C en régimen permanente y 160 °C en cortocircuito.

Los cables Prysmian termoplásticos (70 °C) son:

AFUMEX CLASS 500 V (AS)	ES05Z1-K TYPE 2 (AS)
AFUMEX CLASS 750 V (AS)	H07Z1-K TYPE 2 (AS)
AFUMEX CLASS HAZ (AS)	H07Z1-K TYPE 2 (AS)
AFUMEX CLASS PANELES Rígido (AS)	H07Z1-K TYPE 2 (AS)
AFUMEX CLASS MÚLTIPLE 1000 V (AS)	Z1Z1-K (AS)
AFUMEX CLASS BLINDEX 500 V (AS)	Z1C4Z1-K (AS)
AFUMEX CLASS BLINDEX 1000 V (AS)	Z1C4Z1-K (AS)
WIREPOL CPRO Flex	H05V-K / H07V-K
WIREPOL CPRO Rígido	H05V-U / H07V-U / H07V-R
WIREPOL CPRO GAS	H05VV-F
SINTENAX CPRO AG	H05VV-F
SINTENAX CPRO 1000 V	VV-K
BLINDEX CPRO 500 V	VC4V-K
FLEXTREME	H07RN-F
DATAx LiVCY CPRO	LiVCY

La utilización de cables termoestables (soportan 90 °C en régimen permanente y 250 °C en cortocircuito) supone buscar en la tabla "XLPE" dado que este material es termoestable, al igual que el EPR, poliolefinas Z o silicona.

Los cables Prysmian termoestables (90 °C) son:

AFUMEX PANELES Flex	H05Z-K / H07Z-K
AFUMEX CLASS 1000 V (AS)	RZ1-K (AS)
AFUMEX CLASS MANDO (AS)	RZ1-K (AS)
AFUMEX CLASS FIRS (AS+)	mRZ1-K (AS+)
AFUMEX CLASS ATEX (AS)	RZ1MZ1-K (AS)
AFUMEX CLASS ATEX 2RH (AS)	RZ1MZ1-K 2RH (AS)
AFUMEX EXPO	H07ZZ-F
AL AFUMEX CLASS (AS)	AL RZ1 (AS)
P-SUN 2.0 CPRO	ZZ-F
TECSUN H1Z2Z2-K	H1Z2Z2-K
RETENAX CPRO Flex	RV-K
RETENAX CPRO Rígido	RV
RETENAX FLAM F	RVFV
BLINDEX CPRO 1000 V	VC4V-K
RETENAX CPRO VARINET	RVKV-K
BUPRENO CPRO	DN-K
BUPRENO BOMBAS SUMERGIDAS	DN-F BOMBAS SUMERGIDAS
AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (S)	AL XZ1 (S)
AL POLIRRET CPRO	AL RZ
POLIRRET FERIEX CPRO	RZ

El número 2 posterior a PVC o XLPE indica que en la instalación hay dos conductores activos (típicamente fase y neutro de instalaciones monofásicas. El conductor de protección no se considera activo).

El número 3 posterior a PVC o XLPE indica que en la instalación hay tres conductores activos (típicamente las 3 fases en suministros trifásicos. El neutro y el conductor de protección no se consideran activos normalmente en este tipo de instalaciones, salvo influencia significativa de los armónicos en el neutro).

NATURALEZA TÉRMICA DE AISLAMIENTO + NÚMERO DE CONDUCTORES CON CARGA

		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)																	
A1																				
A2		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)																	
B1				PVC3 (70 °C)		PVC2 (70 °C)														
B2				PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)															
C								PVC3 (70 °C)												
D*		VER SIGUIENTE TABLA																		
E																				
F																				
		mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
Cobre		1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	25
		2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	34
		4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	46
		6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	59
		10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	82
		16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	110
		25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
		35	72	77	86	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
		50	86	94	103	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
		70	109	118	130	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
		95	131	143	156	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
		120	150	164	179	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
		150	171	188	196	224	236	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458
	185	194	213	222	256	268	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523	
	240	227	249	258	299	315	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	
	300	259	285	295	343	360	398	396	432	414	461	468	516	524	547	549	630	674	713	

Por ejemplo en la anterior tabla, si tenemos una instalación monofásica bajo tubo empotrado en pared térmicamente aislante que vamos a realizar con cable

AFUMEX CLASS 750 V (AS).

Se busca el sistema de instalación (UNE-HD 60364-5-52), en la tabla correspondiente C.52.1 bis (Apartado A) y vemos que es la referencia 1 y corresponde al tipo A1.

Con este tipo A1 nos vamos a la tabla de intensidades admisibles (tabla A.52-1 bis) y, como se trata de corriente monofásica con cable **AFUMEX CLASS 750 V (AS)**, debemos elegir la columna de "PVC2". Es decir, en la columna nº 4 tenemos las intensidades admisibles para los cables de nuestra instalación. (Ver tabla).

Todas las tablas referenciadas aparecen en este catálogo.

MUY IMPORTANTE: esta tabla nos da las intensidades en condiciones estándares, el valor deberá ser corregido mediante los correspondientes coeficientes por agrupa-

mientos, temperaturas... o cualquier desviación del estándar (consultar UNE-HD 60364-5-52 o los primeros apartados de este catálogo).

Se ha representado aquí la tabla de intensidades admisibles con temperatura ambiente de 40 °C porque es la temperatura estándar de aplicación en España. Sirva esto para no aplicar sistemáticamente tablas de 30 °C (temperatura ambiente de otros países como Francia) salvo adecuada justificación.

También es un error frecuente generalizar como termoplásticos los cables de 750 V y como termoestables los de 1000 V. Como ejemplo, el cable **SINTENAX CPRO 1000 V (VV-K)** es de 1000 V y es termoplástico (hay que buscarlo en la tabla como PVC) y cables como el **AFUMEX PANELES FLEX (H07Z-K)** son de 750 V termoestables y por lo tanto corresponde buscarlos en la tabla de intensidades admisibles como XLPE.

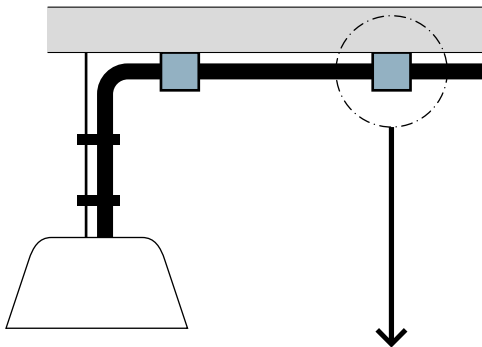
■ 4. No aplicar la versión actual de la norma UNE-HD 60364-5-52 (dic.14) (IEC 60364-5-52) de intensidades admisibles en cables en edificios. 🚫

En diciembre de 2014 se publicó la norma de intensidades admisibles en edificios UNE-HD 60364-5-52 que anuló y sustituyó a la UNE 20460-5-523 (2004) convirtiéndose en el nuevo documento vigente. A continuación repasamos los cambios que ha traído la nueva norma

Novedades para las instalaciones al aire y otros aspectos.

■ a. Sistemas de instalación

La nueva versión recoge un nuevo sistema de instalación, el nº 23, *Instalación fija de un receptor suspendido*. Viendo el dibujo es fácil intuir su sistema de instalación pues muestra un cable de alimentación de lo que parece ser una lámpara que en su recorrido inicial está grapado al techo (sistema de instalación 21 tanto en la norma de 2004 como en la nueva de 2014) para finalmente estar suspendido. Es evidente que el segmento grapado al techo tiene peor disipación calórica que la parte suspendida y por tanto debe ser asimilable al sistema tipo C.



← Nuevo sistema de instalación nº 23 Según UNE-HD 60364-5-52 (2014).

↓ Sistema de instalación nº 21 según UNE 20460-5-523 (2004) y también UNE-HD 60364-5-52 (2014).

REF.	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
21		Cables unipolares o multipolares fijados bajo un techo de madera.	C

Desaparece el sistema de instalación sumergido (nº 80). Que, tras figurar en estudio en la norma de 2004 y después de una década, no parece haber encontrado una solución exponible en norma.

REF.	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
80		Cables unipolares o multipolares con cubierta sumergidos en agua.	(En estudio)

Desde Prysmian recomendamos emplear el sistema de instalación D2 con coeficiente de corrección al alza de 1,4 para cables de hasta 16 mm² de sección y de 1,7 para cables de sección superior. Suponiendo agua a 25 °C, a la sombra

y cable sumergido en toda su longitud. Prysmian dispone de cables especiales para tendidos sumergidos en aguas potables (Hydrofirm), residuales (Tecwater), con productos químicos...

■ ■ **b. Intensidades admisibles para instalaciones al aire.**

Hay valores que no varían respecto a la versión de 2004 (valores en fondo blanco) y otros que cambian, si bien estos están entre el -6 % y el + 10 %. Cuando el nuevo valor es más alto que el anterior es obvio que el resultado es más seguro con la norma de 2004 y por lo tanto cumpliría con las exigencias mínimas según ambas normas (ver celdas verdes).

Por el contrario la reducción de intensidades (valores en celdas rojas) hace que el mismo cable en las mismas condiciones presente algo menos de capacidad de transporte de corriente y por tanto se debería rehacer el cálculo realizado según la norma de 2004 para comprobar si el resultado es el mismo con el criterio de 2014.

Instalaciones al aire (40 °C). UNE-HD 60364-5-52

MÉTODO DE INSTALACIÓN DE LA TABLA 52 - B1	NÚMERO DE CONDUCTORES CARGADOS Y TIPO DE AISLAMIENTO																					
	1 (1)	2 (2)	3 (3)	4 (4)	5a (5)	5b (5)	6a (6)	6b (6)	7a (7)	7b (7)	8a (8)	8b (8)	9a (9)	9b (9)	10a (10)	10b (10)	11 (11)	12 (12)	13 (13)			
A1			PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)											
A2		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)				XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)													
B1					PVC3 (70 °C)		PVC2 (70 °C)						XLPE3 (90 °C)					XLPE2 (90 °C)				
B2					PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)		PVC2 (90 °C)									
C								PVC3 (70 °C)					PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)			XLPE2 (90 °C)			
E									PVC3 (70 °C)					PVC2 (70 °C)				XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)		
F													PVC3 (70 °C)			PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)	
Cobre	mm ²																					
	1,5	11	11,5	12,5 (+0,5)	13,5	14 (-0,5)	14,5 (+0,5)	15,5 (-0,5)	16	16,5 (-0,5)	17 (-0,5)	17,5 (-1)	19	20 (-1)	20	20	21	23 (+1)				
	2,5	15	15,5 (+0,5)	17 (+0,5)	18 (+0,5)	19 (-0,5)	20 (+1)	20 (+1)	21 (+1)	22	23	24 (-1)	26	27 (-1)	27 (-0,5)	28 (-1,5)	30 (-1)	32 (+1)				
	4	20	20 (+1)	22 (+1)	24	25 (-1)	26 (+1)	27 (-1)	29 (+1)	30	31	32 (-1)	34	36 (-2)	36	38 (-2)	40 (-2)	44 (+1)				
	6	25	26 (+1)	29 (+1)	31 (+1)	32	34 (+2)	36	37	39 (-2)	40	41 (-1)	44	46 (-2)	46	49 (-3)	52 (-3)	57				
	10	33 (+1)	36 (+1)	40	43 (+1)	45 (-1)	46 (+4)	49 (+1)	52	54 (-2)	54	57 (-3)	60	63 (-3)	65	68 (-3)	72 (-4)	78 (-2)				
	16	45	48 (+1)	53 (+1)	59	61 (-2)	63 (+3)	66	69 (+1)	72 (-2)	73	77 (-4)	81	85 (-4)	87	91 (-4)	97 (-6)	104 (+1)				
	25	59	63 (+1)	69 (+1)	77	80 (-3)	82 (+2)	86 (-2)	87 (+1)	91 (-3)	95	100 (-5)	103	108 (-5)	110	115 (-5)	122 (-6)	135 (-12)	146 (-6)			
	35				95 (+1)	100 (-4)	101 (+3)	106 (-2)	109 (+1)	114 (-4)	119	124 (-5)	127	133 (-6)	137	143 (-6)	153 (-9)	168 (-14)	182 (-8)			
	50				116 (+1)	121 (-4)	122 (+3)	128 (-3)	133	139 (-6)	145	151 (-6)	155	162 (-7)	167	174 (-7)	188 (-13)	204 (-16)	220 (-10)			
	70				148 (+1)	155 (-6)	155 (+5)	162 (-2)	170 (+1)	178 (-7)	185	193 (-8)	199	208 (-9)	214	223 (-9)	243 (-19)	262 (-18)	282 (-13)			
	95				180	188 (-8)	187 (+7)	198 (-4)	207	216 (-9)	224	234 (-10)	241	252 (-11)	259	271 (-12)	298 (-27)	320 (-24)	343 (-16)			
	120				207 (+1)	217 (-9)	216 (+9)	226 (-1)	240	251 (-11)	260	272 (-12)	280	293 (-13)	301	314 (-13)	346 (-36)	373 (-25)	397 (-17)			
150						247 (+13)	259 (+1)	276 (+2)	287 (-9)	299	313 (-14)	322	337 (-15)	343	359 (-16)	401 (-38)	430 (-26)	458 (-20)				
185						281 (+16)	294 (+3)	314 (+3)	329 (-12)	341	356 (-15)	368	385 (-17)	391	409 (-18)	460 (-45)	493 (-29)	523 (-23)				
240						330 (+20)	345 (+5)	368 (+6)	385 (-11)	401	419 (-18)	435	455 (-20)	468	489 (-21)	545 (-55)	583 (-31)	617 (-27)				

La tabla muestra los nuevos valores según la nueva UNE-HD 60364-5-52 para conductores de cobre. Los valores entre paréntesis reflejan la variación respecto a la UNE 20460-5-523 (2004). Es decir, si una celda refleja **49 (-3)** quiere decir que la nueva norma recoge 49 A y la antigua 49 - 3 = 46 A. Es decir, ahora tenemos un valor mayor de intensidad admisible en tablas. El fondo verde se debe a que sería más seguro instalar esa sección calculada con los criterios de la antigua norma a pesar de estar en vigor la nueva.

Todo lo contrario ocurre con las celdas en rojo. Los valores se han reducido y los mismos conductores en las mismas condiciones soportan legalmente menos intensidad admisible. Como se ha dicho anteriormente las variaciones no superan el 6 % en ningún caso.

Las celdas con fondo blanco presentan idénticos valores en ambas normas.

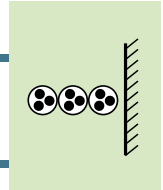
Las columnas están numeradas según la norma actual y entre paréntesis figura la numeración anterior. Como se puede ver hay más columnas que antes, porque se ha afinado más en los cálculos no haciendo coincidir en la misma columna tantos sistemas de instalación distintos. Antes coincidían hasta 4 sistemas distintos y ahora coinciden un máximo de 2.

■ ■ ■ b.1 Coeficientes de corrección.

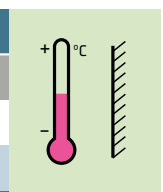
No hay variación de los coeficientes de corrección por agrupamiento ni por temperatura ambiente.

Recordamos que la temperatura ambiente estándar en España es de 40 °C para instalaciones al aire, es decir, aquellas líneas que no están enterradas.

PUNTO	DISPOSICIÓN	NÚMERO DE CIRCUITOS O CABLES MULTICONDUCTORES										INSTALACIÓN TIPO
		1	2	3	4	6	9	12	16	20		
1	Empotrados, embutidos (dentro de un mismo tubo, canal o grapados sobre una superficie al aire).	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40	A a F	
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas.	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	C	
3	Capa única en el techo.	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60		
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales.	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	E y F	
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80		



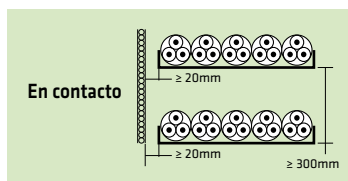
AISLAMIENTO	TEMPERATURA AMBIENTE (θ _a) (°C)											
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Tipo PVC (termoplástico)	1,40	1,34	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,70	0,57	
Tipo XLPE o EPR (termoestable)	1,26	1,23	1,19	1,14	1,10	1,05	1,00	0,96	0,90	0,83	0,78	



Los tablas de coeficientes de corrección por agrupamiento o por temperatura ambiente no han variado para instalaciones al aire.

Sólo en las tablas donde se reflejan los coeficientes de corrección para agrupamiento para cables instalados en bandejas hay una añadidura que no cambio de valores. Ahora se recoge para algunos casos la instalación de 6 niveles de bandejas en

vertical. Y se han añadido coeficientes de corrección para bandejas no perforadas con cables multipolares. En la versión de 2004 no figuraban estos coeficientes específicos y había que recurrir a la tabla global 52 – E1.

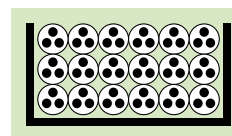


NÚMERO DE BANDEJAS	SISTEMA DE BANDEJAS NO PERFORADAS					
	NÚMERO DE CABLES (EN CONTACTO) POR BANDEJA					
	1	2	3	4	6	9
1	0,97	0,84	0,78	0,75	0,71	0,68
2	0,97	0,83	0,76	0,72	0,68	0,63
3	0,97	0,82	0,75	0,71	0,66	0,61
6	0,97	0,81	0,73	0,69	0,63	0,58

Particularmente se echa de menos no haber ampliado los factores de corrección por agrupamiento para bandejas con cables unipolares, ya que sigue figurando un máximo de 3 circuitos por bandeja dejando al descubierto agrupaciones de más conductores, no infrecuentes. Igualmente no se

recoge tabla que refleje corrección por más de un nivel de cables en bandeja, como si figura desde hace tiempo en la norma francesa UTE C 15-100, en nuestro catálogo de cables y accesorios para BT y posteriormente se publicó en la GUIA-BT 19 (tabla F).

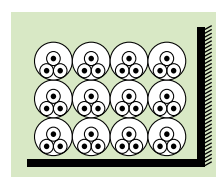
NÚMERO DE CAPAS	2	3	4 ó 5	6 a 8	9 o más
Coefficiente	0,8	0,73	0,7	0,68	0,66



El coeficiente por **3 capas** de cables en la bandeja perforada de la figura es 0,73. A este factor habrá que añadirle el factor por 6 circuitos por capa que viene en las tablas de la norma (0,76). El factor final por agrupación será $0,73 \times 0,76 = 0,55$.

Tampoco se ha recogido coeficiente de corrección por agrupamiento para cables bajo tubo al aire, instalados en varios niveles. Valores que encontramos en las normativas de nuestros vecinos de Francia y Portugal. Y que igualmente reflejamos en los contenidos de las últimas versiones de nuestros catálogos para posteriormente figurar en la GUIA-BT 19 (tabla G).

NÚMERO DE CONDUCTOS COLOCADOS VERTICALMENTE	NÚMERO DE CONDUCTOS COLOCADOS HORIZONTALMENTE					
	1	2	3	4	5	6
CONDUCTOS AL AIRE						
1	-	-	-	-	-	-
2	0,92	0,87	0,84	0,81	0,80	0,79
3	0,85	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74
4	0,82	0,78	0,74	0,73	0,72	0,72
5	0,80	0,76	0,72	0,71	0,70	0,70
6	0,79	0,75	0,71	0,70	0,69	0,68



■ ■ c. Otros aspectos.

Algunas otras novedades que podemos considerar interesantes y acertadas son reflejadas en la nueva UNE-HD 60364-5-52.

■ ■ ■ c.1 Cálculo de caída de tensión.

Se establece un valor de reactancia para los cálculos de caída de tensión. Efectivamente tal y como ya anunciamos desde hace años, se puede demostrar y recoge la norma francesa UTE C 15-105 **la reactancia de una línea se puede considerar igual a 0,08 Ω/km** independientemente de la naturaleza de los conductores (cobre o aluminio), de la longitud de la línea, de si es monofásica o trifásica. Mientras los conductores estén en contacto es un valor fiable que, añadimos debería considerarse al menos en cables de cobre a partir de 35 mm² y de aluminio a partir de 70 mm². No tomar en cuenta lo anterior supone tener mayores caídas de tensión que las calculadas ya que se habrá obviado el efecto de la reactancia inductiva de la línea.

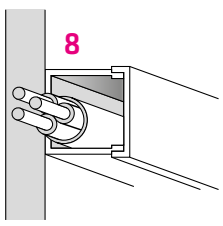
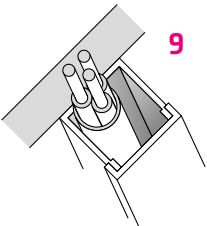
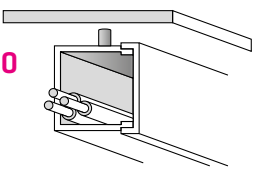
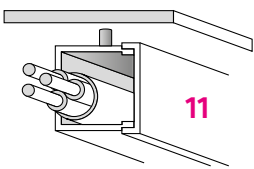
También se incluyen **valores de conductividad eléctrica** para los cálculos de caída de tensión. **44,44 m/Ω·mm² para cobre y 27,78 m/Ω·mm² para aluminio**. Como podemos ver muy lejos de los populares 56 y 35. Recordamos una vez más que la conductividad de un metal depende de su temperatura. Cualquier conductor recorrido por una corriente se calentará por efecto Joule variando su conductividad. Es decir, tal y como justificamos en nuestro catálogo, si no se calcula la temperatura del conductor, lo apropiado es calcular las caídas de tensión con los valores más pesimistas (a 90 °C para cables termoestables y a 70 °C para cables termoplásticos). De no ser así obviamente la caída de tensión real será superior a la teórica calculada.

En el punto 2 de este apartado recogemos los valores calculados según normas UNE e IEC.

■ ■ ■ c.2 Generalidades.

No pasa desapercibida alguna mejora en la traducción que ayuda a la comprensión de los contenidos.

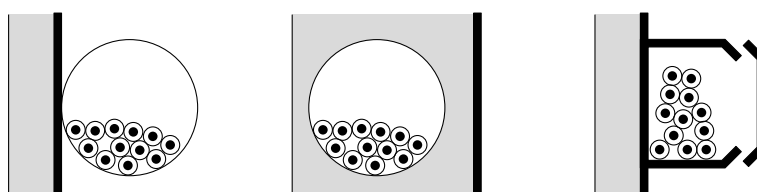
Así para los sistemas de instalación 6 y 7 se deja de nombrar como abrazaderas lo que realmente son canales protectoras, innegable a la vista de los dibujos, pero la desafortunada traducción de la norma UNE 20460-5-523 puede confundir fácilmente al lector.

REF.	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
8 9		Cable multipolar en canales (incluyendo canales de multiples compartimentos) sobre una pared de madera o mampostería: • En recorrido horizontal. • En recorrido vertical.	B2
			B2
10 11		Conductores aislados en abrazaderas (canal protectora) suspendidas. Cable multiconductor en abrazaderas (canal protectora) suspendidas.	B1
			B2

En la tabla de coeficientes de corrección por agrupamiento para instalaciones al aire (ver apartado b.1) ya no figura la palabra *embutidos*, que sin ser tan desafortunada como el caso anterior, al fin y al cabo embutir es encajar una cosa dentro de otra, no es de habitual uso y sin duda se hace

más amigable y claro decir que los cables están *en el interior de una envolvente*.

Si bien se echa de menos seguir sin aportar dibujos, como los expuestos a continuación, que esclarezcan en mayor medida:



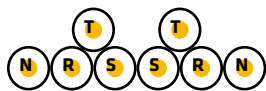
En la norma de 2004 encontrábamos el anexo B que explicaba las fórmulas para el cálculo de las intensidades admisibles. Tal apartado ha desaparecido de nuestra norma UNE-HD pero no de la IEC 60364-5-52 (anexo D actualmente). Realmente es útil, pues permite calcular las intensidades máximas admisibles de las secciones que no figuran en tablas... o incluso obtener las de secciones que se ajustaran a valores no normalizados en España como la galga americana (AWG).

ción cuando se trata de algo muy importante para evitar problemas desde el mismo momento de la energización del circuito.

La nueva norma UNE-HD 60364-5-52 contiene un importante número de ejemplos de colocación de fases y neutro en los citados tendidos, alguno de los cuales reproducimos a continuación si bien ya venían siendo incluidos en nuestro catálogo.

Y sin duda ha sido un gran acierto exponer la colocación de los conductores unipolares cuando es necesario emplear varios por fase. Esta información incomprensiblemente no venía en ediciones anteriores de la norma ni en el REBT, que sólo lo menciona para redes subterráneas de distribu-





Y por último comentar que el anexo ZB recoge las condiciones nacionales especiales como añadidos nacionales para cada país del Cenelec a las disposiciones de la norma. De

esta forma con un solo cuerpo de norma y escasos apuntes para cada país, hay un documento de referencia común en Europa.

Como anécdota comentaremos el error que se refleja en las indicaciones para Suiza donde se acepta una caída de tensión de hasta el 40 % en el anexo ZB si bien en el anexo I se repite el concepto con el valor que entendemos correcto del 4%.

En febrero de 2018 se publicó una modificación de la norma UNE-HD 60364-5-52, si bien sólo contempla anulaciones y añadidos a las condiciones en Dinamarca incluidas en anexos ZB y ZC.

Novedades para las instalaciones enterradas.

■ a. Instalaciones enterradas

El sistema D (instalaciones enterradas en general según UNE 20460-5-523: 2004) se desdobra en D1 (enterradas bajo tubo o conducto) y D2 (enterradas directamente).

ELEMENTO	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
70		Cable multiconductor en conductos o en conductos perfilados enterrados.	D1
71		Cable unipolares en conductos o en conductos perfilados enterrados.	D1
72		Cables unipolares o multipolares enterrados sin protección contra los daños mecánicos complementaria.	D2
73		Cables unipolares o multipolares enterrados con protección contra los daños mecánicos complementaria.	D2

Las intensidades admisibles no han variado. Si bien esto es matizable. Recordemos que las normas tienen unas tablas de intensidades con valores simplificados para consulta rápida, como la expuesta inicialmente. En la tabla simplificada para instalaciones enterradas el valor es igual para D1 y D2 y coincidente también con el que había en la norma de 2004 para el sistema D.

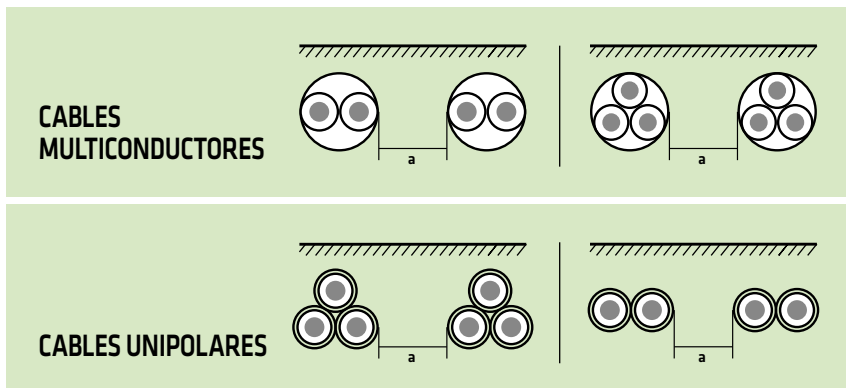
Pero en las tablas detalladas se dan valores ligeramente inferiores a D para D1 y ligeramente superiores a D para D2. Tales variaciones están en el entorno del 4 al 7 %.

■ ■ ■ a.1 Coeficientes de corrección

Igualmente **no varían los coeficientes de corrección por agrupamiento**, pero las tablas se amplían, pasando de un máximo de 6 circuitos en zanja según UNE 20460-5-523 a 20 circuitos según la nueva UNE-HD 60364-5-52. Algo que podemos entender como acertado pues no es demasiado infrecuente que una línea precise más de 6 conductores por fase. Es verdad que siguen quedando sin resolver muchas situaciones reales como cuando los circuitos están agrupados en varios grupos por ejemplo pero la realidad es muy variada y es difícil recogerlo todo en tablas. Ver nuevos factores en fondo naranja en las nuevas tablas a continuación:

Para cables directamente enterrados (sistema D2):

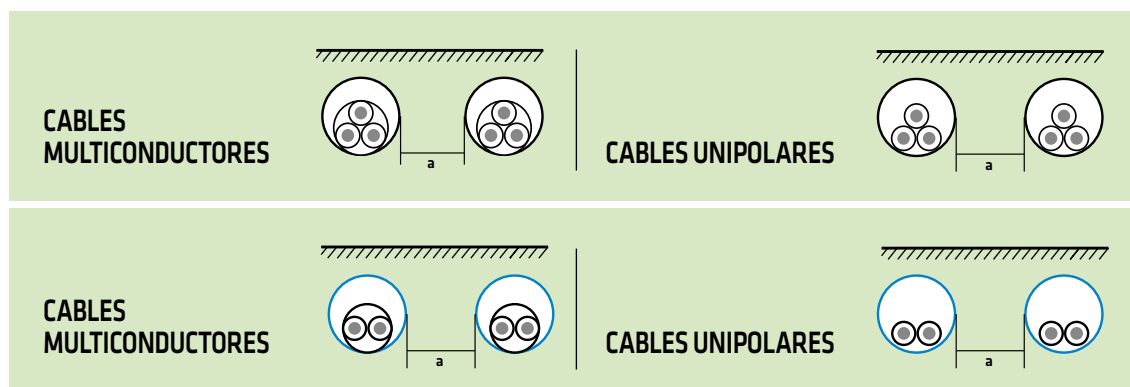
CABLES DIRECTAMENTE ENTERRADOS (D2)						
NÚMERO DE CIRCUITOS	DISTANCIA ENTRE CABLES(a)					
	NULLA (CABLES EN CONTACTO)	UN DIÁMETRO DE CABLE	0,125 m	0,25 m	0,5 m	
2	0,75	0,8	0,85	0,9	0,9	
3	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	
4	0,6	0,6	0,7	0,75	0,8	
5	0,55	0,55	0,65	0,7	0,8	
6	0,5	0,55	0,6	0,7	0,8	
NUEVOS	7	0,45	0,51	0,59	0,67	0,76
	8	0,43	0,48	0,57	0,65	0,75
	9	0,41	0,46	0,55	0,63	0,74
	12	0,36	0,42	0,51	0,59	0,71
	16	0,32	0,38	0,47	0,56	0,68
20	0,29	0,35	0,44	0,53	0,66	



Para cables enterrados bajo tubo o conducto (sistema D1)
con un circuito por tubo o conducto:

CABLES BAJO TUBO O CONDUCTO Y ENTERRADOS (UN CIRCUITO POR TUBO) (D1)				
NÚMERO DE CIRCUITOS DE 2 ó 3 CONDUCTORES ACTIVOS	DISTANCIA ENTRE TUBOS O CONDUCTOS			
	NULA (CONDUCTOS EN CONTACTO)	0,25 m	0,5 m	1 m
2	0,85	0,9	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,9	0,95
4	0,7	0,8	0,85	0,9
5	0,65	0,8	0,85	0,9
6	0,6	0,8	0,8	0,9
7	0,57	0,76	0,8	0,88
8	0,54	0,74	0,78	0,88
9	0,52	0,73	0,77	0,87
10	0,49	0,72	0,76	0,86
11	0,47	0,7	0,75	0,86
12	0,45	0,69	0,74	0,85
13	0,44	0,68	0,73	0,85
14	0,42	0,68	0,72	0,84
15	0,41	0,67	0,72	0,84
16	0,39	0,66	0,71	0,83
17	0,38	0,65	0,7	0,83
18	0,37	0,65	0,7	0,83
19	0,35	0,64	0,69	0,82
20	0,34	0,63	0,68	0,82

NUEVOS

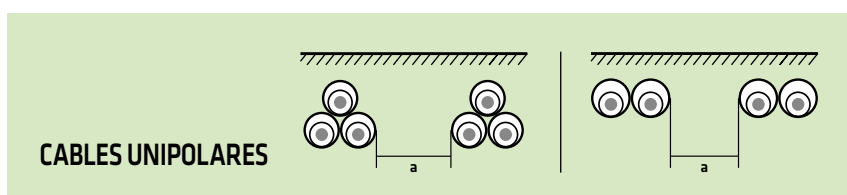


NOTA: las distancias de separación, como dice la tabla, son entre tubos o conductos y no entre circuitos. Es algo que queda claro por el dibujo pero también porque parece imposible que la distancia entre circuitos sea nula y esté contemplada en la tabla ya que los cables siempre tenderán a descansar sobre la cota más baja del tubo.

Y en el caso de cables unipolares enterrados bajo tubo o conducto (sistema D1) con **un conductor por tubo o conducto**:

CABLES BAJO TUBO O CONDUCTO Y ENTERRADOS (UN CABLE UNIPOLAR POR TUBO) (D1)				
NÚMERO DE CIRCUITOS DE 2 ó 3 CONDUCTORES UNIPOLARES ACTIVOS	DISTANCIA ENTRE TUBOS O CONDUCTOS (AMAGNÉTICOS)			
	NULA (CONDUCTOS EN CONTACTO)	0,25 m	0,5 m	1 m
2	0,8	0,9	0,9	0,95
3	0,7	0,8	0,85	0,9
4	0,65	0,75	0,8	0,9
5	0,6	0,7	0,8	0,9
6	0,6	0,7	0,8	0,9
7	0,53	0,66	0,76	0,87
8	0,5	0,63	0,74	0,87
9	0,47	0,61	0,73	0,86
10	0,45	0,59	0,72	0,85
11	0,43	0,57	0,7	0,85
12	0,41	0,56	0,69	0,84
13	0,39	0,54	0,68	0,84
14	0,37	0,53	0,68	0,83
15	0,35	0,52	0,67	0,83
16	0,34	0,51	0,66	0,83
17	0,33	0,5	0,65	0,82
18	0,31	0,49	0,65	0,82
19	0,3	0,48	0,64	0,82
20	0,29	0,47	0,63	0,81

NUEVOS



CABLES UNIPOLARES

Para este último caso, como bien dice la tabla, los tubos deben ser amagnéticos, de lo contrario la no compensación suficiente de las inducciones provocadas por la corriente que recorre cada conductor, al haberse separado, calentaría los tubos y provocaría otros efectos no deseados...

Se recuerda que todos los anteriores factores se aplican para ternas (trifásica) o grupos de dos conductores activos (monofásica o continua) ya sean de diferentes circuitos o del mismo circuito. En este último caso el cálculo, lógicamente,

precisa de iteraciones pues hay que suponer un coeficiente por número de ternas o grupos de 2 conductores activos en el tendido que será aplicado inicialmente para luego comprobar que fue correcta la suposición o repetir el cálculo (ver ejemplo en apartado G).

Igualmente los coeficientes aplican a los grupos de 2 (monofásica o continua) o 3 conductores (trifásica). Se puede pensar que esto no guarda lógica ya que 3 conductores siempre generan mayor calor que 2, pero hay que tener

en cuenta que estos factores multiplicarán a los valores de intensidad admisible en tablas y ahí si se distingue entre 2 y 3 conductores activos, figurando mayor intensidad para el primer caso a igualdad de sección, naturaleza de conductor y aislamiento y sistema de instalación por supuesto.

El **factor de corrección por temperatura también sigue siendo igual**. Recordemos que la temperatura estándar en España para instalaciones enterradas es de 25 °C.

RESISTIVIDAD TÉRMICA (K·m/W)	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5	3
Factor de corrección para cables en conductos enterrados (D1)	1,28	1,2	1,18	1,1	1,05	1	0,96
Factor de corrección para cables enterrados directamente (D2)	1,88	1,62	1,5	1,28	1,12	1	0,9

Tal novedad guarda cierta lógica pues el aire de los conductos es un buen aislante térmico y si el terreno circundante tiene baja resistividad térmica parece correcto tener una diferenciación con los tendidos enterrados directamente. No hay más que comparar el criterio con el de otras normas de intensidades para otros casos distintos, como la UNE 211435 para redes de distribución, para comprobar la discrepancia con lo que existía desde 2004.

■ 5. No aplicar los coeficientes correspondientes en el cálculo de la sección por el criterio de la intensidad máxima admisible.

Al margen de lo que nos dicen las tablas de carga correspondientes en cada caso, no hay que olvidar que se debe afectar el valor extraído de coeficientes de corrección dependiendo del sistema de instalación, de la presencia de otros conductores cargados en el entorno, de la temperatura ambiente, del número de conductores por fase... (todos estos factores aparecen en las tablas de las normas UNE a las que hace alusión el REBT). Es decir, en cada caso hay que tener en cuenta las condiciones de la instalación para saber que sección utilizar. Es algo más laborioso que no complicado que aplicar sólo una fórmula o una tabla.

No aplicar los correspondientes coeficientes puede llevarnos a cometer grandísimos errores. Por ello hacemos especial hincapié en que la sección va más allá de los comunes errores que detectamos en ocasiones, sobre todo:

- No aplicar ningún coeficiente de corrección.
- Aplicar la fórmula y tomar la sección inmediata superior a la obtenida por aplicación directa de la tabla, sin coeficientes.
- Utilizar como coeficiente un 0,8 para todos los casos.

El **factor de corrección por resistividad térmica del terreno sí sufre una variación importante**. De tal forma que si la resistividad térmica del terreno se aleja del estándar 2,5 K·m/W y el tendido está directamente enterrado (D2) los coeficientes suben notablemente para resistividades inferiores respecto a los que teníamos a partir de 2004. Para D1 permanecen idénticos al 2004.

- Aplicar el coeficiente más bajo cuando la instalación está afectada por varios coeficientes. Por ejemplo, si tengo que aplicar 0,7 por agrupación de circuitos y 0,9 por efecto de la temperatura ambiente, tendremos que aplicar $0,7 \times 0,9 = 0,63$. No es válido hacer uso sólo el coeficiente menor (0,7 en este caso). La agrupación de circuitos y el efecto añadido de la temperatura ambiente se superponen y por ello hemos de afectar nuestros cálculos por ambos coeficientes.

- No tener en cuenta el agrupamiento que se produce en circuitos con varios cables por fase.

Quando se utilizan varios cables por fase hay que aplicar también coeficientes de corrección por agrupamiento de circuitos, porque igualmente se trata de grupos de cables que se influyen eléctricamente aunque pertenezcan al mismo circuito. Si por ejemplo la intensidad a canalizar fuera tal que necesitaríamos 3 cables por fase, tenemos que tener en cuenta un coeficiente de corrección para ese agrupamiento de 3 circuitos y rehacer el cálculo (iterar) ya que hasta no saber el resultado no hemos podido saber cuantos cables por fase necesitamos y por tanto no hemos podido elegir correctamente el coeficiente por agrupamiento.

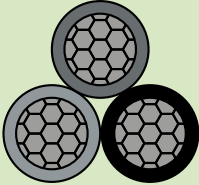
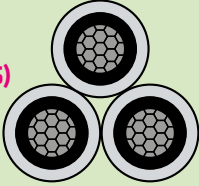
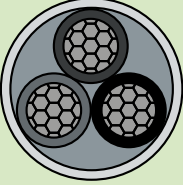
- No apreciar las variaciones de las condiciones a lo largo de un recorrido.

Además de lo anterior, hemos de tener en cuenta también que si se produjeran variaciones de las condiciones de instalación a lo largo de un recorrido, las intensidades admisibles deberán determinarse para la parte del recorrido que presenta las condiciones más desfavorables.

Recomendamos leer los ejemplos de cálculo del apartado G y apartado K, puntos 1, 2, 3, 4, y 5, y el punto 30 de este apartado.

■ **6. No considerar la reactancia en los cálculos de sección por caída de tensión.** 

Existen diversos criterios a la hora de considerar la reactancia en los cables de baja tensión sin pantalla. Con carácter general y salvo una indicación más exacta podemos considerar $x=0,08 \Omega/\text{km}$ para circuitos monofásicos, o trifásicos con conductores aislados sin cubierta o cables con cubierta unipolares. o con cubierta multipolares en los que sus conductores estén **en contacto**, independientemente de la sección, naturaleza del conductor (Cu o Al), disposición y sistema de instalación. Esta aproximación está contemplada en la norma francesa UTE C 15-105.

<p>Conductores aislados como AFUMEX CLASS 750 V (AS) o WIREPOL FLEX CPRO</p>	
<p>Cables unipolares (con aislamiento y cubierta) como AFUMEX CLASS 1000 V (AS) o RETENAX CPRO FLEX de 1x...</p>	
<p>Cables multipolares (con aislamiento y cubierta) como AFUMEX CLASS 1000 V (AS) o WIREPOL FLEX CPRO de 2x, 3x, 3G, 4x, 4G, 5G...</p>	

En muchas ocasiones y a la vista de la fórmula de cálculo la sección por caída de tensión que considera la reactancia (ver apartado E), se puede adivinar que la incidencia de la reactancia suele ser tanto más relevante cuanto mayor sea la sección del conductor (el valor de la reactancia tiene más peso en el valor total de la impedancia dado que la resistencia va disminuyendo a medida que aumenta la sección y la reactancia permanece prácticamente constante). Por eso existen criterios que nos aconsejan tener en cuenta el valor de la reactancia a partir de secciones de 35 mm^2 para cables de cobre y 70 mm^2 para cables de aluminio.

Numéricamente es fácil comprobar que se puede cometer un gran error si se obvia el aspecto que comentamos en este apartado, por ello le recomendamos lo tenga siempre en cuenta o la caída de tensión de la instalación puede ser muy superior a la prevista.

(Ver apartado K, puntos 6 y 7).

(Ver tablas de caídas de tensión al final del apartado E. Estas tablas incluyen el efecto de la reactancia).


Recordamos las dos primeras fórmulas de cálculo de sección de conductor por el criterio de la caída de tensión que aparecen en el apartado E y reproducimos a continuación:

Monofásica Trifásica

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot (\Delta U - 2 \cdot 10^{-3} \cdot x/n \cdot L \cdot I \cdot \sin \varphi)}$$

Trifásica


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

■ **7. No considerar el cortocircuito admisible por el cable.** 

Una vez que se realiza un cálculo, en las tablas del apartado F podemos encontrar la máxima intensidad que puede soportar cada tipo de cable en cortocircuito. Es necesario que las protecciones estén adecuadamente elegidas para evitar daños en la instalación, tal y como nos dice la norma UNE-HD 60364-4-43.

En definitiva se trata de incidir en la necesidad de no banalizar este aspecto y hacer las comprobaciones oportunas para asegurar la correcta protección del cable y el resto de la instalación, si bien recordamos que no suele ser un criterio dominante cuando se calculan secciones del conductor en BT.

Ver ejemplo de cálculo en el apartado G.

■ **8. No considerar la posibilidad de repartir la caída de tensión entre la derivación individual y la instalación interior o receptora.** 

Simplemente se trata de recordar a quien pueda haberle pasado desapercibido o pueda haberlo ignorado porque no es necesario tenerlo en cuenta en todos los cálculos, lo que dice el primer párrafo del apartado 2.2.2 de la ITC-BT 19: "El valor de la caída de tensión podrá compensarse entre la de la instalación interior y la de las derivaciones individuales, de forma que la caída de tensión total sea inferior a la suma de los valores límites especificados para ambas, según el tipo de esquema utilizado".

Este detalle cobra especial relevancia cuando tenemos largas derivaciones individuales en las que el criterio de la caída de tensión prevalezca sobre el de la intensidad admisible y el de la corriente de cortocircuito.

■ 9. Utilizar cables RV-K de 1000 V en provisionales de obras. 


La ITC-BT 33 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) nos dice que debemos utilizar cable **FLEXTREME** (UNE-EN 50525-2-21) que por ser un cable para servicios móviles, con especiales propiedades frente a las agresiones mecánicas y químicas es idóneo para estas aplicaciones. Además la propia denominación RV-K (UNE 21123-2) nos indica que se trata de un cable flexible para instalaciones fijas solamente (-K) por lo que evidentemente no es adecuado para una instalación provisional de obra.

Además, **FLEXTREME** es el cable indicado por el REBT para exteriores de ferias y stands (ITC-BT 34), establecimientos agrícolas y hortícolas (ITC-BT 35), caravanas y parques de caravanas (ITC-BT 41), puertos y marinas para barcos de recreo (ITC-BT 42), alimentación de equipos portátiles de exterior, alimentación de equipos industriales, enrolladores de exterior o industriales. Aparatos en talleres industriales y agrícolas, locales secos, húmedos o mojados, a la intemperie, conexiones de máquinas herramienta...

En definitiva, utilizar cables tipo RV-K, VV-K, RV o RZ1-K (AS) en provisionales de obras va contra el reglamento.



Las instalaciones provisionales de obra deben ser realizadas con cables como **FLEXTREME**, especialmente diseñados para soportar las solicitaciones de estos emplazamientos.

■ 10. Utilizar cables libres de halógenos pensando que siempre tienen características de los nuevos cables de alta seguridad (AS) con clase **C_{ca}-s1b,d1,a1** que exige el REBT y el CPR en locales de pública concurrencia. 

Cuando los cables de alta seguridad tipo Afumex aparecieron en el mercado, su principal novedad era la ausencia de halógenos en su composición frente al tradicional PVC de los cables convencionales (tipo RV, RV-K, VV-K, H07V-K, H07V-R...). En definitiva una de las principales características es la ausencia de gas ácido halógeno (HCl) en los gases emanados en una eventual combustión del cable Afumex, por ello se extendió la expresión “libre de halógenos”.

En el mercado se pueden encontrar en ocasiones cables libres de halógenos, no propagadores de la llama...* pero que pueden no presentar alguna de las características exigibles a los **nuevos cables AS con clase C_{ca}-s1b,d1,a1**. Recordemos que el REBT actualmente afectado por el Reglamento de Productos de Construcción (CPR) en las ITCs 14, 15, 16 y 28 exige que los cables sean “**clase de reacción al fuego mínima C_{ca}-s1b,d1,a1**” y cita unas normas de diseño de cables que actualmente superan los siguientes ensayos de fuego como referentes para las instalaciones de las citadas ITCs, estos ensayos son los que deben cumplir los nuevos cables de alta seguridad Afumex Class (AS):

No propagación de la llama:	UNE-EN 60332-1-2	} Clase C _{ca} -s1b,d1,a1	
No propagación del incendio:	UNE-EN 50399		
Reducida acidez:	Libre de halógenos		} UNE-EN-60754
	Reducida emisión de gases tóxicos		
	Nula emisión de gases corrosivos		
Baja emisión de humos:	UNE-EN 50399		
Baja opacidad de humos:	UNE-EN 61034-2		
Baja emisión de calor:	UNE-EN 50399		
Reducido desprendimiento de gotas/partículas inflamadas:	UNE-EN 50399		

NOTA: *Con motivo de la entrada en vigor del CPR, en la UE no se reconocen los ensayos de forma individual sino por la clase declarada por el fabricante. Cada clase se corresponde con un conjunto de ensayos. Si un cable cumple ensayos concretos que no se corresponden en su conjunto con alguna clase, esos ensayos no tienen validez en la UE. (Ver apartado Reglamento de Productos de Construcción (CPR) y afectación a los cables).

Es decir si por ejemplo adquirimos un cable “libre de halógenos” que no sea no propagador del incendio (cuestión relativamente frecuente en cables para detección de incendios o cables de aluminio) no cumplirá los requisitos reglamentarios, por no ser AS con clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$, para ser instalado en un local de pública concurrencia e instalaciones de enlace.

Por favor cerciórese de que su cable es clase de reacción al

fuego $C_{ca-s1b,d1,a1}$ (y no simplemente “libre de halógenos”) cuando así lo necesite para su instalación. Nuestros cables Afumex Class son todos AS con clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$ en cualquiera de sus versiones.

En resumen, todos los cables AS con clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$ son libres de halógenos, pero no todos los cables libres de halógenos son AS con clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$ como pide el REBT y el CPR.

Afumex Class (AS) → clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$ → libre de halógenos
 Libre de halógenos → ¿AS con clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$?



Los cables **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** y **AFUMEX CLASS 750 V (AS)** son de alta seguridad. Aptos para instalaciones en locales de pública concurrencia e instalaciones de enlace

Los cables con clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$ son fácilmente reconocibles porque llevan esta inscripción en su cubierta o aislamiento.

■ **11. No instalar cables AS+ con Clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$ en servicios de seguridad no autónomos en locales de pública concurrencia.** 🚫

“Los servicios de seguridad no autónomos o servicios con fuentes autónomas centralizadas, deben mantener el servicio durante y después del incendio, siendo conformes a las especificaciones de la norma UNE-EN 50200 (IEC 60331-1) y tendrán emisión de humos y opacidad reducida.” Esto reza el 4º párrafo del apartado f) del punto 4 de la ITC-BT 28. A lo que se refiere esta parte de la reglamentación es a la necesidad de garantizar los servicios de seguridad que no sean autónomos. En definitiva evitar que un incendio pueda cortocircuitar o romper algún conductor destinado a la alimentación de alarmas, bombas de extinción, ascensores, alumbrados de emergencia no autónomos, detectores, equipos de control de humo...

Tenemos que subrayar que los servicios de seguridad no autónomos y los servicios con fuentes autónomas centralizadas han de ser alimentados con cable tipo **AFUMEX CLASS FIRS (AS+)** (resistente al fuego). Este tipo de cable, además de superar los ensayos propios de los cables AS (ver punto anterior) es también resistente al

NOTA: en las fichas de este catálogo se incluyen los ensayos de reacción al fuego que, aunque no se correspondan con las clases de referencia siguen teniendo validez para países que no son de la UE por ello figuran en color negro mientras que los propios del CPR (UE) aparecen en azul.

fuego. Pueden soportar incendios de 842 °C durante 120 minutos (máxima duración) según UNE-EN 50200. Y en caso de una situación de emergencia consecuencia de un siniestro con fuego tendremos cubiertas las necesidades técnicas y legales.

Los cables AS+ son de fácil identificación por su cubierta naranja y es importante tener en cuenta que pueden presentar diferentes composiciones de aislamiento y cubierta, así sus denominaciones genéricas pueden ser SZ1-K, mRZ1-K... porque lo que se pide a estos cables es que superen unos ensayos de fuego concretos y no tener composiciones determinadas y por ello la denominación genérica más acertada es AS+.

Nuestros **AFUMEX CLASS FIRS (AS+)** de stock son mRZ1-K. Esta composición asegura la retirada de la cubierta sin desgarro del aislamiento, problema habitual en cables SZ1-K.



Los cables resistentes al fuego son de color naranja y con la inscripción (AS+)

En este catálogo puede encontrar unos esquemas de aplicación del cable **AFUMEX CLASS FIRS (AS+)** en las páginas iniciales.

Asegúrese que los cables resistentes al fuego que utilice sean clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$, como piden el REBT y el CPR.

AS+ → AS (Clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$) + resistencia al fuego (UNE-EN 50200 e IEC 60331-1)

■ 12. Utilizar cables para servicios de seguridad no autónomos en locales de pública concurrencia que cumplen la norma UNE-EN 50200 (IEC 60331-1) pero no son clase de reacción al fuego $C_{ca-s1b,d1,a1}$. ❌

La reglamentación nos pide cables que cumplan los ensayos de los cables de alta seguridad (AS) con clase mínima $C_{ca-s1b,d1,a1}$ y además sean resistentes al fuego según UNE-EN 50200 (IEC 60331-1). Evidentemente y a la

luz del REBT y el CPR, está claro que sería un contrasentido que no se exigiera a los cables resistentes al fuego los ensayos que se piden a los cables del resto de estas instalaciones siendo, como es, posible técnicamente.

Hacemos esta puntualización para que el lector no olvide comprobar que sus cables para seguridad superan todos los ensayos de los cables AS+ con clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$ que detallamos a continuación:

No propagación de la llama:	UNE-EN 60332-1-2	} Clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$ }	} AS+	
No propagación del incendio:	UNE-EN 50399			
Reducida acidez: {	Libre de halógenos			} UNE-EN-60754
	Reducida emisión de gases tóxicos			
	Nula emisión de gases corrosivos			
Baja emisión de humos:	UNE-EN 50399			
Baja opacidad de humos:	UNE-EN 61034-2			
Baja emisión de calor:	UNE-EN 50399			
Reducido desprendimiento de gotas/partículas inflamadas:	UNE-EN 50399			
Resistencia al fuego:	UNE-EN 50200			

Por favor, fíjese en lo que aquí le contamos. Un cable resistente al fuego según UNE-EN 50200 que, no supere **todos** los ensayos anteriores, no es AS+ y por tanto no es apto para ser instalado en locales de pública concurrencia para alimentación de servicios de seguridad no autónomos. No cumpliría lo que pide la reglamentación. De una forma sencilla se puede comprobar que el cable es el indicado puesto que llevará en la cubierta la marca AS+ y la clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$, como nuestro

AFUMEX CLASS FIRS (AS+).



Los cables resistentes al fuego son de color naranja y con la inscripción (AS+)

■ **13. Pensar que en industrias no es obligatorio instalar cables tipo Afumex Class (AS).** ❌

Al margen de las consideraciones de la ITC-BT 28 del REBT, desde el 17 de enero de 2005 está en vigor el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (RD 2267/2004) en cuyo anexo II, apartado 3.3 podemos leer “Los cables deberán ser no propagadores del incendio y con emisión de humo y opacidad reducida”. Es decir, una vez más nos encontramos con la obligación de utilizar cables tipo Afumex Class (AS), esta vez en los emplazamientos industriales.

Recomendamos consulte el citado Real Decreto.

■ **14. Instalar RV-K en redes aéreas de alumbrado exterior.** ❌

La ITC-BT 09 del presente Reglamento Electrotécnico para BT en su apartado 5.2.2. nos dice que las redes aéreas de alumbrado exterior se deben realizar según los sistemas y materiales contemplados en la ITC-BT 06 (Redes aéreas para distribución en BT). Nos vamos a dicha ITC y en el primer párrafo del apartado 1.1.1. nos dice textualmente “Los conductores aislados serán de tensión asignada no inferior a 0,6/1 kV, tendrán un recubrimiento tal que garantice una buena resistencia a las acciones de la intemperie y deberán satisfacer las exigencias especificadas en la norma UNE 21030.”

Es decir, las redes aéreas de alumbrado exterior se deben realizar con cable RZ de Cu

(ver **POLIRRET FERIEX CPRO**).

No se acepta la utilización para estas instalaciones de intemperie de los cables tipo RV-K, RV, VV-K o RZ1-K (AS) que están diseñados según UNE 21123 y no se someten a los severos ensayos a los que están sometidos los cables **POLIRRET FERIEX CPRO**.



El REBT obliga a la instalación de cables tipo **POLIRRET FERIEX CPRO (RZ)** en redes aéreas para alumbrado exterior.

■ **15. Emplear cables que no sean clase C_{ca}-s1b,d1,a1 en lugares con riesgo de incendio o explosión (zonas ATEX).** ❌

La norma UNE 20432-3 aparece en el apartado 9.2 de la ITC-BT 29. (Requisitos de los cables para locales con riesgo de incendio o explosión).

Esta norma ya no aparece en catálogos modernos de cable porque ha sido anulada y sustituida por las de la serie UNE-EN 60332-3.

Pero además la entrada en vigor del Reglamento de Productos de Construcción (CPR) ha obligado a que los cables no propagadores del incendio deban superar la clase de reacción al fuego C_{ca}-s1b,d1,a1 que cumplen nuestros cables Afumex (AS).



Los cables de stock **AFUMEX CLASS 750 V (AS)**, **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** y **AFUMEX CLASS ATEX (AS)** de Prysmian tienen clase de reacción al fuego C_{ca}-s1b,d1,a1 que exige el REBT para emplazamientos con riesgo de incendio o explosión.

Es importante comprobar que el cable que instalamos en estos locales con riesgo de incendio o explosión es adecuado a esta exigencia del REBT y CPR. Recomendamos se interesen por ello siempre. Prysmian lo garantiza para todas las secciones de nuestro stock en las mencionadas líneas de producto.

Se ruega tener en cuenta el sistema de instalación aceptado para cada tipo de cable (pto.9.2, ITC-BT 29, REBT).

Es posible encontrar cables convencionales que superen el ensayo de no propagación del incendio pero no sean clase C_{ca}-s1b,d1,a1 o superior. Es ilegal la instalación de tales cables en zona ATEX ya que sólo se reconocen en la UE las clases de reacción al fuego y no otros ensayos fuera de tal categorización. Igualmente un cable de clase Eca supera el ensayo de no propagación del incendio UNE-EN 60332-3-24 sólo y no es apto para zona ATEX por tener una clase inferior a la indicada C_{ca}-s1b,d1,a1.

NOTA: la directiva ATEX 137 (99/92/CE) traspuesta al ordenamiento jurídico español a través de RD 681/2003 señala los requerimientos mínimos para la mejora de la protección de la seguridad y salud de los trabajadores expuestos a riesgos derivados de atmósferas explosivas. La clasificación de zonas de la directiva ATEX 137 (RD 681/2003) y la ITC-BT 29 del REBT son coincidentes.

■ **16. Utilizar cables inadecuados para instalaciones permanentemente sumergidas.**

Para servicios permanentemente sumergidos existen varias posibilidades:

- **a)** Para alimentación de bombas sumergidas para elevación de aguas de pozos o sumersión en agua (dulce o salada) en general: cable DN-F BOMBAS SUMERGIDAS (UNE 21166). En caso de aguas fecales, productos químicos, aceites... consultar a Prysmian. ■ **b)** Para agua natural hasta 10 m de profundidad y hasta 40 °C de temperatura: cable H07RN8-F.
- **c)** Para agua potable: consultar cable Hydrofirm.
- **d)** Para aguas residuales: consultar cable Tecwater.



Sólo diseños específicos como el **HYDROFIRM** de Prysmian están garantizados para ser sumergidos en agua potable.

Por consiguiente, NO se pueden utilizar para servicios sumergidos permanentes los siguientes tipos de cable entre otros:

RV-K: el punto 5 de su norma de diseño (UNE 21123-2) contiene su guía de utilización en la que podemos leer que no es apto para alimentación de bombas sumergidas. Es decir, de forma expresa se cita que este cable no está permitido para servicios sumergidos. Lo mismo sucede con los cables tipo RZ1-K (AS) (UNE 21123-4).

DN-K: a pesar de ser un cable de goma no contempla en sus utilizaciones el servicio sumergido permanente. Al ser un cable para servicios fijos (-K) sus espesores de aislamiento (EPR) y cubierta (neopreno) son menores que los de los cables H07RN-F, DN-F, H07RN8-F y DN-F BOMBAS SUMERGIDAS.

H07RN-F: igualmente es un cable de goma con espesores de cubierta y aislamiento superiores a los DN-K pero en la primera modificación de su guía de utilización (UNE 21176/1M: 2003) decía textualmente: "No adecuado para situaciones que impliquen una inmersión permanente en agua." Si bien era adecuado para alimentar bombas sumergibles, es decir, para alimentar las bombas de achique de aguas en las que el cable se sumerge solo temporalmente, actualmente este uso ya no está contemplado entre sus recomendaciones de utilización (ver tabla 3B de UNE-EN 50565-2).

SUMERGIDAS) no tiene contemplado en sus utilizaciones destinarlo a servicios de sumersión permanente. De hecho los cables adecuados para estos destinos lo contemplan en sus guías de utilización.

Las normas lo dejan claro, ni los RV-K, ni los DN-K, ni los H07RN-F ni los DN-F están permitidos en servicios sumergidos permanentes. Por eso existen diseños como el H07RN8-F, DN-F BOMBAS SUMERGIDAS Hydrofirm o Tecwater, destinados a tales ambientes.

■ **17. Agrupar las mismas fases en instalaciones de conductores en paralelo y no tener en cuenta el desequilibrio de impedancias que se produce.** 🙅

Cuando se realiza una instalación con varios conductores por fase no hay que olvidar:

- **1.-** A efectos de cálculo debemos aplicar un coeficiente de corrección no superior a 0,9 para compensar los posibles desequilibrios de intensidades entre los cables conectados a la misma fase. (UNE 20435 aptdo. 3.1.2.3).
- **2.-** A la hora de realizar la instalación debemos emplear conductores del mismo material, sección y longitud, no tener derivaciones a lo largo de su recorrido y además los cables se han de agrupar en ternas al tresbolillo en uno o varios niveles:

En un nivel: RST T^{SR} RST T^{SR} ...

En varios niveles:

- T^{SR}
- RST
- T^{SR}
- ...

La norma UNE-HD 60364-5-52 recoge en su anexo H muchos ejemplos de agrupamiento incluyendo la correcta colocación del neutro.

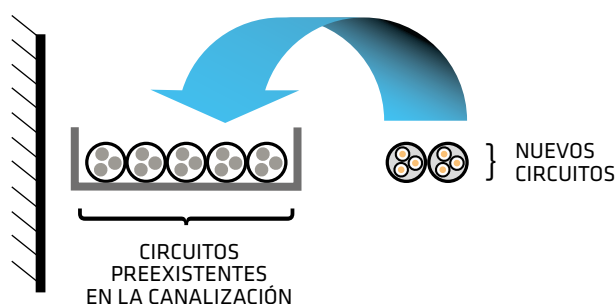
(ITC-BT 07 apartado 2.1.6.). (Ver apartado K, punto 8 sobre colocación de neutros y ver UNE-HD 60364-5-52, anexo H).

■ **18. Instalar cables sobre canalizaciones de cables preexistentes y no reducir las intensidades de los cables ya instalados.** 🙅

En muchas ocasiones se aprovechan canalizaciones de cables en funcionamiento para realizar nuevos tendidos con objeto de alimentar a nuevos receptores. Es evidente que sí, por ejemplo, tenemos circuitos activos por una bandeja, este sea el recorrido más cómodo a seguir para nuevos cables, pero hay que tener en cuenta que el agrupamiento de circuitos debe venir acompañado de

los cables (tanto los de nuevo tendido como los ya instalados con anterioridad). Esto implica realizar comprobaciones numéricas y ser consecuente con ellas u optar por un recorrido de los nuevos cables que no influya en los ya existentes.

(Ver apartado K, puntos 1, 2 y 3).



■ 19. Tomar valores de intensidades directamente de fichas sin advertir las diferentes condiciones estándar de instalación. 🖐️

Como continuación a lo explicado anteriormente reparamos en explicar un caso que es causa de consultas frecuentes en especial en relación a las intensidades admisibles estándares de los cables según diferentes normas.

Lo vemos con un ejemplo:

Obtengamos el valor de intensidad admisible para cable tipo **AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (AS)** 1x240 directamente enterrado en instalación trifásica.



El valor de referencia legal en general (salvo para redes de distribución) el que figura en la norma UNE-HD 60364-5-52:

- Temperatura del terreno: 25 °C
- Profundidad de instalación: 70 cm
- Resistividad térmica del terreno: 1 K·m/W

En la tabla resumida C.52.2 bis encontramos que son 261 A.

Mientras que si vamos a la ITC-BT 07 del REBT (sólo válida para redes de distribución) vemos que el valor es de 430 A. Este valor está extraído de la norma UNE 20435, anulada hace años.

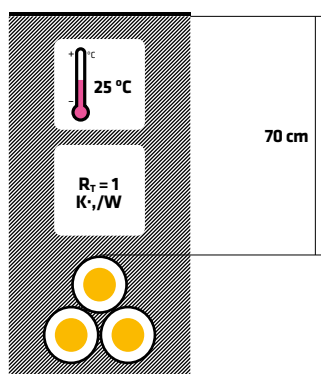
La explicación a esta enorme diferencia está en las condiciones de cálculo de tales valores. La ITC-BT 07 considera como resistividad térmica del terreno estándar 1 K·m/W y la norma UNE-HD 60364-5-52 toma un valor menos optimista y más realista, 2,5 K·m/W como hemos visto.

Mayor resistividad térmica es causa de peor disipación del calor generado por efecto Joule en los conductores, lo que obliga a descargarlos convenientemente. Para ello existe el coeficiente de corrección por resistividad térmica del terreno (en tabla 7 de la ITC-BT 07 y tabla B.52.16 de UNE-HD 60364-5-52).

Aplicando dichos coeficientes podemos obtener valores más “similares” de intensidades admisibles:

■ 1 K·m/W:

UNE-HD 60364-5-52 → 261 A x 1,5 ≈ 392 A
 ITC-BT 07 (UNE 20435, anulada) → 430 A



■ 2,5 K·m/W:

UNE-HD 60364-5-52 → 261 A
 ITC-BT 07 (UNE 20435, anulada) → 430 A x 0,68 = 292 A

Si se tratara de corriente monofásica o continua recurrimos a la tabla C.52.2 bis (XLPE2 por tratarse de 2 conductores cargados) de UNE-HD 60364-5-53 y para los valores de la ITC-BT 07 sólo tenemos que multiplicar por 1,225 (= $\sqrt{3/2}$) y obtenemos...

■ 1 K·m/W:

UNE-HD 60364-5-52 → 309 A x 1,5 = 464 A
 ITC-BT 07 (UNE 20435, anulada) → 430 A x 1,225 = 527 A

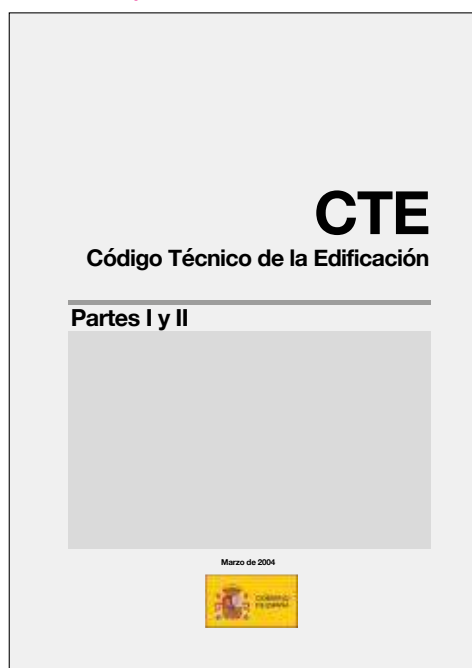
■ 2,5 K·m/W:

UNE-HD 60364-5-52 → 309 A
 ITC-BT 07 (UNE 20435, anulada) → 430 A x 0,68 x 1,225 = 358 A

Por ello, cuando se dan intensidades admisibles en una ficha de cable, y antes de comparar con otras, lo adecuado es que se refleje la norma de referencia para ese valor y las condiciones de instalación, si no, siempre puede haber grandes discrepancias. Vemos que ya las hay incluso en las mismas condiciones.

NOTA: Actualmente el cambio de factor de corrección por resistividad térmica cuando el cable va directamente enterrado hace que las intensidades sean más congruentes entre diferentes normas. Hasta la aparición de la norma UNE-HD 60364-5-52 el factor de corrección, según la norma antecesora de referencia UNE 20460-5-523, por pasar resistividad térmica estándar 2,5 K·m/W a 1 K·m/W era de 1,18, lo que nos llevaba a disparidades del 40 % a pesar de considerar las mismas condiciones de instalación. Actualmente como hemos visto tal coeficiente es de 1,5 lo que aminora la discrepancia a niveles más “razonables”.

■ 20. Olvidar la exigencia de cables Afumex por parte del CTE. 👎



El artículo 11 del Código Técnico de la Edificación (RD 314/2006) contempla las exigencias básicas de seguridad en caso de incendio, según las cuales los edificios se proyectarán, construirán, mantendrán y utilizarán de forma que, en caso de incendio se limite el riesgo de propagación por el interior y exterior del edificio, se garantice la evacuación de ocupantes y se facilite la intervención de los bomberos. Tales exigencias se ven satisfechas mediante la instalación de cables Afumex que por su alta ignifugación y su baja emisión de humos opacos, gases tóxicos y gases corrosivos son el producto adecuado a la normativa. Otros cables tipo RV-K, RV, VV-K, H07V-K, H07V-U... están fuera de las exigencias básicas en caso de incendio.

Por lo tanto, con carácter general, donde el riesgo de incendio no sea despreciable se deben emplear cables de alta seguridad tipo **AFUMEX CLASS (AS)**.

Al tener su propia reglamentación de incendios, las industrias no estarían sometidas a esta exigencia del CTE (*ver ámbito de aplicación del DB-SI*) pero sí a las del Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales (RD 2267/2004) *ver punto 13*.

Industria se considera toda actividad que precise de registro industrial.

■ 21. Pretender utilizar cables resistentes al fuego con conductores de aluminio. 👎

En el apartado 4. f. 4º párrafo de la ITC-BT 28 del Reglamento Electrotécnico para BT (RD 842/2002) se fijan las condiciones que han de cumplir los cables para alimentar servicios de seguridad no autónomos o servicios con fuentes autónomas centralizadas (cables resistentes al fuego). Tal y como refleja el citado párrafo deben superar el ensayo de la norma UNE-EN 50200 (IEC 60331-1) que exige soportar una temperatura de 842 °C sin pérdida de la continuidad de suministro (los cables

AFUMEX CLASS FIRS (AS+) de Prysmian soportan el máximo tiempo contemplado en la norma, 120 minutos). Es decir, sin cortocircuito ni discontinuidad en los conductores.

El aluminio es un metal cuyo punto de fusión se sitúa en torno a los 660 °C, por ello este metal no se emplea como conductor en cables resistentes al fuego. El cobre funde a una temperatura de 1087 °C y es por ello el metal conductor con el que se fabrican los cables con resistencia intrínseca al fuego tipo **AFUMEX CLASS FIRS (AS+)**.



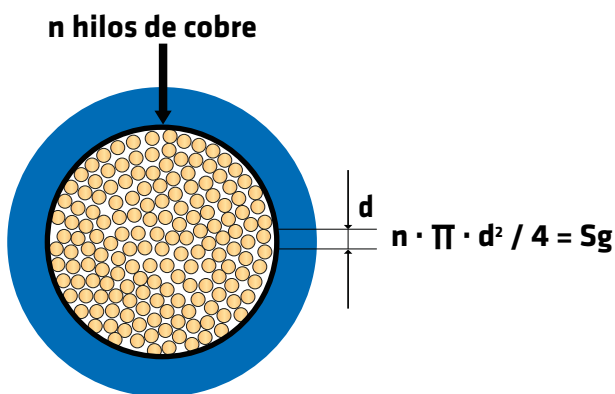
Los conductores de los cables resistentes al fuego deben ser de cobre.

Los cables resistentes al fuego de utilización según el REBT superan además otros ensayos de fuego relativos a la resistencia a la propagación del fuego, baja emisión de gases tóxicos, de calor, de humos y de partículas incandescentes, además de, nula emisión de gases corrosivos. Se caracterizan por la coloración naranja de su cubierta (preferente en su norma de diseño UNE 211025) y por incluir en su marcado las siglas (AS+). Los materiales utilizados en aislamiento y cubierta no quedan fijados en la norma de diseño porque se prioriza la funcionalidad del cable por superar los ensayos propios de los cables resistentes al fuego AS+.

■ **22. Considerar que la sección geométrica de los cables es igual que la sección eléctrica.** ❌

La norma UNE-EN 60228 (Conductores de cables aislados) (IEC 60228) incluye el concepto de sección nominal como “valor que identifica una medida particular del conductor pero que no está sujeto a medida directa”. Añadiendo una nota que dice: “A cada medida particular de conductor de esta norma corresponde una exigencia de valor máximo de la resistencia”.

Es decir, nos debe quedar claro que el valor de la sección que todos conocemos (2,5; 4; 6; 10; etc.) se refiere a un valor máximo de resistencia y no a un valor concreto, y medible con un calibre, de sección geométrica de conductor. De esta forma la normativa nos asegura lo que realmente nos interesa y es que el cable no va a superar un valor de resistencia eléctrica concreto para cada sección, independientemente de que su cobre o aluminio sea de mejor o peor calidad.



Sg = sección geométrica ≠ sección nominal

Ver apartado K, punto 13 para conocer la correspondencia entre sección eléctrica y resistencia máxima admisible según UNE-EN 60228.

■ **23. Utilizar conductores aislados para tendidos en bandejas.** ❌

Si miramos la definición 36 del REBT (ITC-BT 01) nos dice textualmente que un conductor aislado es un conjunto que incluye el conductor, su aislamiento y sus eventuales pantallas. Cuando un conductor aislado no tiene pantalla por tanto es un conductor eléctrico con un forro que hace de aislamiento, como es el caso de los cables tipo

AFUMEX CLASS 750 V (AS) o los **WIREPOL CPRO FLEX**.

En la definición 13 de la misma ITC-BT 01 encontramos que una bandeja es un material de instalación constituido por

un perfil, de paredes perforadas o sin perforar, destinado a soportar cables y **abierto en su parte superior**.

Si ojeamos la tabla 1 de la ITC-BT 20 veremos que no se acepta el sistema de instalación formado por conductores aislados en bandejas. Tal rechazo es entendible puesto que estaríamos exponiendo sin protección conductores que sólo tienen una capa que los “protege”, aunque su función principal es aislar. De hecho en esta misma tabla podemos ver que los cables con cubierta si están aceptados para su instalación en bandeja, porque se trata de cables con aislamiento y además una cubierta adicional para protección mecánica

(tipo **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** o **RETENAX CPRO FLEX** por ejemplo).

De esta forma el conductor está protegido contra eventuales agresiones mecánicas que pudiera sufrir.



Al no tener cubierta de protección mecánica (cubierta), sino solo aislamiento, los conductores aislados no se pueden instalar en bandeja.

■ **24. Instalar cables apantallados con trenza de cobre cuya cobertura es ilegalmente insuficiente.** ❌

Actualmente las normas de diseño de los cables de 0,6/1 kV establecen claramente las exigencias mínimas para las diferentes tipologías de pantallas para garantizar una correcta compatibilidad electromagnética.

Cuando elegimos un cable apantallado para nuestra instalación es recomendable comprobar la calidad de la pantalla. Es especialmente frecuente encontrar en el mercado cables de energía para BT con pantallas de trenza de cobre con coberturas escasas del 40% o inferiores. En este sentido conviene recordar que las normativas actuales exigen ya una cobertura mínima del 60% tanto para los cables tipo **BLINDEX CPRO** (cubierta de PVC) como los tipo **AFUMEX CLASS BLINDEX (AS)** o los resistentes al fuego **AFUMEX CLASS FIRS (AS+)** apantallados.



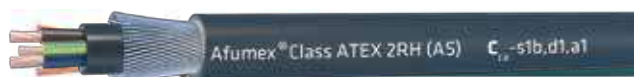
Las normas exigen cobertura mínima del 60% en las pantallas de trenza de cobre.

NOTA: no confundir la cobertura de una pantalla con trenza de cobre con la cobertura de una pantalla con cinta/s de cobre o aluminio. Esta última siempre es del 100%. Un apantallamiento mixto (trenza + cinta/s) tendrá por tanto cobertura del 100% (no confundir con efectividad del 100%, es decir, con cero interferencias) y **en todo caso la trenza deberá cubrir al menos el 60% del espacio como exigen las normas**. Las pantallas de trenza de cobre suelen ser mejor barrera contra las interferencias de baja frecuencia y las pantallas de cinta contra las de alta frecuencia, pero la combinación de ambas, por sí solas, no garantiza el 100% de efectividad (cero interferencias).

■ **25. No emplear cables con cubierta resistente a hidrocarburos en emplazamientos en que es necesario.** ❌

Existen determinados locales con riesgo de incendio o explosión (zonas ATEX) debido a la presencia de sustancias inflamables. En tales casos la ITC-BT 29 del REBT prevé la utilización de unos sistemas de instalación especiales basados en cables que han de ser siempre no propagadores del incendio (clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$) y en caso de no instalarse bajo tubo o canal de características especiales deben, además, ser armados con hilos de acero galvanizado (ver apartado 9.2).

Es muy usual encontrar este tipo de ambientes inflamables en emplazamientos donde se fabrican, procesan, manipulan, tratan, utilizan o almacenan hidrocarburos. Lo que nos lleva a la conclusión de que el cable idóneo para instalar sin protección de canal o tubo especial, deba además, ser armado con hilos de acero galvanizado, resistente a hidrocarburos en su cubierta interior y exterior (2RH). Tal es el caso del cable **AFUMEX CLASS ATEX 2RH (AS)** de stock, que supera el ensayo UIC 895 OR tanto en cubierta exterior como en la interior.



El **AFUMEX CLASS ATEX 2RH (AS)** está pensado para ser instalado en zonas ATEX (atmósferas explosivas) por ser armado con hilos de acero y ser clase $C_{ca-s1b,d1,a1}$. Además su resistencia a hidrocarburos en las cubiertas interna y externa (UIC 895 OR) le convierten en el cable idóneo para la industria petroquímica.

■ **26. Utilizar cables con armadura de flejes en locales con riesgo de incendio o explosión (zonas ATEX).** ❌

En el punto 9.2 de la ITC-BT 29 del REBT se recogen los sistemas de instalación aceptados para locales con riesgo de incendio o explosión.

Los cables a emplear en los sistemas de cableado en los emplazamientos de clase I y clase II serán:

En instalaciones fijas:

- Cables de tensión asignada mínima 450/750V, aislados con mezclas termoplásticas o termoestables; instalados bajo tubo (según 9.3) metálico, rígido o flexible conforme a norma UNE-EN 50086-1.

- Cables construidos de modo que dispongan de una protección mecánica, se considera tales:

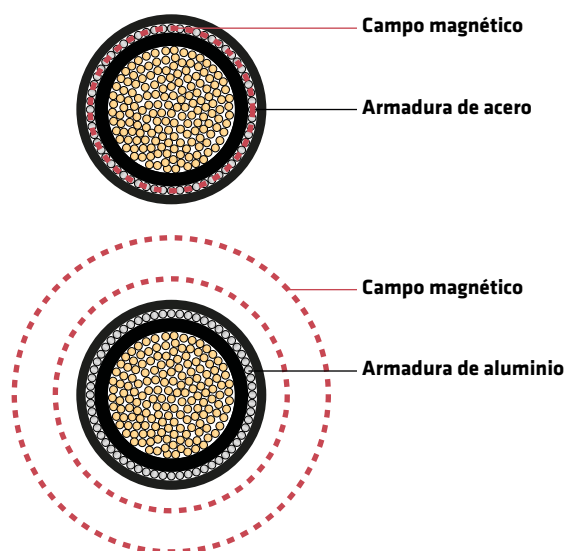
- Los cables con aislamiento mineral y cubierta metálica, según UNE 21157 parte 1*.

- Los cables armados con alambre de acero galvanizado y con cubierta externa no metálica, según la serie UNE 21123.

*Los cables con aislamiento mineral y cubierta metálica no son de común fabricación.

El último párrafo nos dice que si los cables no van a ser protegidos con tubos o canales de propiedades concretas, por ejemplo si se instalan en bandejas o grapados a la pared, deben estar dotados de una armadura de hilos de acero galvanizado [tipo **AFUMEX CLASS ATEX (AS)**] por lo que excluye otros tipos de armadura como los flejes de acero o aluminio o flejes corrugados.

NOTA: Recordamos que los cables unipolares sólo pueden armarse con materiales amagnéticos como el aluminio para evitar que el campo magnético que circulará a su alrededor cuando sea recorrido por la corriente se aloje en la armadura y el cable se recaliente además de provocar otros efectos indeseados como un aumento de la caída de tensión. Además sus intensidades máximas admisibles son inferiores a las de otros cables [ver tabla con intensidades admisibles de los cables unipolares en la ficha técnica del cable **AFUMEX CLASS ATEX (AS)**].



■ **27. No instalar cables adecuados para alimentación de motores con variadores de frecuencia.** ❌

El diseño de los cables tipo Varinet para interconexión entre variadores de frecuencia y motores, recomendación de la norma IEC 60034-25, es fundamentalmente debido a la disposición simétrica de los conductores de fase (y el de protección) y porque el conductor concéntrico que hace la función de protección y pantalla de “generosa” sección reduce la emisión electromagnética y ayuda al retorno de corrientes de alta frecuencia, dado que el efecto piel en corriente alterna aumenta con la frecuencia.

Además con el tendido de un solo cable el circuito se habrá

completado dado que ya no será necesario añadir un conductor de protección por estar destinada la pantalla del Varinet a tal fin. Ahorraremos costes de tendido y espacio en las canalizaciones empleando el cable más adecuado técnicamente.



Los cables tipo **RETENAX VARINET** están diseñados para interconexión de variadores de frecuencia con motores. Su pantalla es también el conductor de protección.

Cuando la potencia del motor sea baja (hasta secciones de 10 mm² para los conductores) se pueden emplear cables apantallados con trenza de cobre con cobertura mínima del 60% o superior como los **AFUMEX CLASS BLINDEX 1000 V (AS)** o los **BLINDEX CPRO**. Es muy importante una buena cobertura de pantalla en el cable, reduciremos las emisiones electromagnéticas de la línea y, por disponer de mayor sección de pantalla, la impedancia de transferencia será reducida. (Las normas de diseño obligan una cobertura mínima del 60%). En este caso el conductor de protección forma también parte del cable de alimentación (3 fases + conductor de protección) pero ya no funciona como pantalla sino que está dispuesto bajo de la cubierta del cable como un conductor más, adyacente a las fases y con su aislamiento amarillo y verde.

NOTA: se recomienda consultar las indicaciones del fabricante del variador. No seguir las indicaciones adecuadas y no instalar el cable necesario puede suponer una desadaptación de impedancias entre el cable y el motor, provocando corrientes vagabundas que erosionen sus superficies de trabajo, acortando vertiginosamente la vida útil del motor.

■ 28. Usar cables sin ensayos bajo normas específicas para instalaciones fotovoltaicas.

Cuando se ejecuta una instalación fotovoltaica no podemos olvidar la decisiva acción de la intemperie. Existen cables como el **P-SUN 2.0 CPRO** y el **TECSUN H1Z222-K** especialmente diseñados para soportar altas y bajas temperaturas, la acción solar, la humedad, la acción del ozono, la acción de sustancias químicas (industrias). Ensayados bajo normas y garantizados por 30 años. Además, el **P-SUN 2.0 CPRO** está diseñado para servicios móviles (seguidores).

A la hora de elegir un cable para instalación fotovoltaica no se deben valorar por igual cables con garantías y ensayos rigurosos o cables convencionales o incluso algún cable que, sin ser convencional, no haya sido adecuadamente testado bajo normas. Rogamos siempre se haga una comparativa de ensayos y garantías del fabricante para decidir el cable que se va a emplear.



El cable **P-SUN 2.0 CPRO** está garantizado por 30 años en las condiciones severas de una instalación fotovoltaica.

■ 29. No emplear el cable con conductor de aluminio correcto cuando se debe instalar en local de pública concurrencia o instalación de enlace.

Actualmente el REBT, una vez adaptado al CPR, exige que los cables para locales de pública concurrencia o instalaciones de enlace sean de la clase de reacción al fuego mínima C_{ca}-s1b,d1,a1. Por ello, si se elige cable con conductor de aluminio debe elegirse el

AL AFUMEX CLASS (AS). La clase se puede leer en la cubierta del cable y además es de color verde, no ofrece dudas.



El cable **AL AFUMEX CLASS (AS)** tiene cubierta verde y la clase C_{ca}-s1b,d1,a1 inscrita

Típicamente en stock podemos encontrar cables tipo AL XZ1 (S) cuya clase de reacción al fuego es E_{ca} (color de cubierta negro) y por lo tanto **no válida** para las líneas de la ITC-BT 28 (pública concurrencia), 14 (líneas generales de alimentación) o 15 (derivaciones individuales).

La aclaración parece obvia pero es necesaria porque la generalizada calificación coloquial a los cables para las instalaciones citados como "libres de halógenos" ha llevado a numerosas equivocaciones puesto que en general se podría decir que los cables libres de halógenos son clase C_{ca},s1b, d1,a1 pero existen excepciones como la comentada.

Para evitar errores es mejor asegurar la clase de reacción al fuego que se va a necesitar en la línea en cuestión. En España es bastante sencillo porque en BT se exige clase mínima E_{ca} para las instalaciones en general (salvo cables trenzados para redes aéreas que vale la clase F_{ca}) y en el resto de casos (locales de pública concurrencia, ITC-BT 28; e instalaciones de enlace, ITC-BTs 14, 15 y 16) se deben instalar cables tipo Afumex Class (AS) con clase C_{ca},s1b, d1,a1. Igualmente corresponde esta última clase a las instalaciones en industrias que discurran por falsos techos y suelos elevados (R.D. 2267/2004).

■ 30. No conocer todos los factores de los que depende la intensidad admisible de un cable.

La intensidad que soporta un cable depende de una serie de factores, sin embargo se suelen obviar muchos de ellos y en consecuencia la sección de conductor elegida puede ser errónea con facilidad.

Tal y como están planteadas las normas que recogen las intensidades admisibles para cables de BT es necesario considerar una serie de detalles de los tendidos ya que influyen en la intensidad máxima que pueden recorrer los conductores. Todos estos detalles tienen influencia en la generación y disipación de calor por el calentamiento producido en los conductores por efecto Joule. En este caso vamos a centrarnos sólo en un factor influyente, el sistema de instalación, que es el que más se suele olvidar cuando alguien se plantea saber la intensidad máxima que puede soportar un cable.

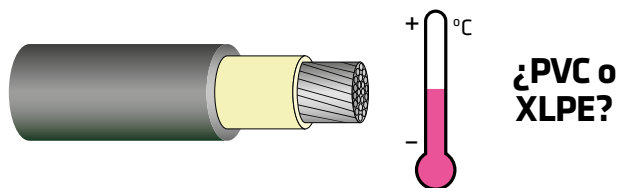
Comencemos repasando fugazmente los factores que influyen en la intensidad que soportan los conductores:

■ **1. Naturaleza del conductor:** un conductor de cobre, por ser menos resistivo, soporta más intensidad en las mismas condiciones que otro de aluminio de la misma sección.

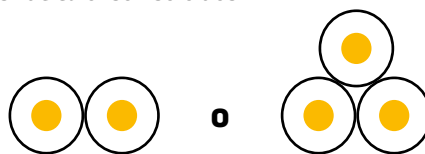


■ **2. Límite térmico del aislamiento en régimen permanente:** si el aislamiento es termoestable (90 °C) soporta más intensidad que si es termoplástico (70 °C). En el

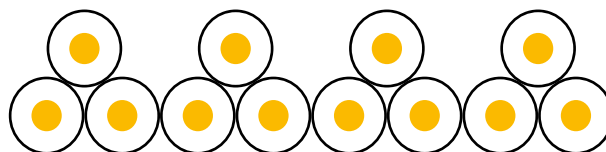
apartado A de este catálogo se recoge una lista que diferencia entre ambos tipos de cables.



■ **3. Corriente trifásica o monofásica/continua:** si una línea tiene 3 conductores activos (trifásica), cada conductor soportará menos intensidad que si es monofásica o continua (dos conductores activos). En este último caso las “fuentes” de calor son sólo dos.



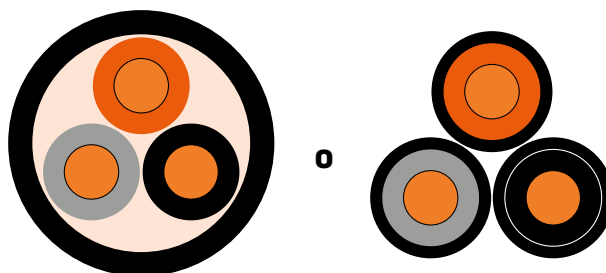
■ **4. Agrupamiento con otros circuitos:** cuando un circuito forma parte de un agrupamiento debe reducir su intensidad admisible por tener focos de calor en su entorno.



■ **5. Temperatura ambiente:** las tablas de intensidad admisible están pensadas para 40 °C a la sombra para instalaciones al aire y 25 °C para instalaciones enterradas (en España). Si la temperatura ambiente es mayor, la intensidad se ha de reducir y viceversa.

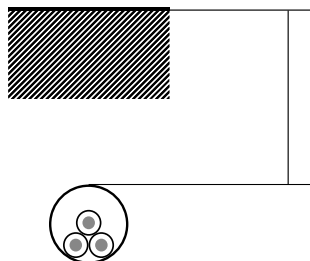


■ **6. Cable unipolar o multiconductor:** algunos sistemas de instalación hacen distinción entre ambos tipos de cables otorgando mayor intensidad de corriente a cables unipolares que a los multiconductores en los mismos tipos de tendidos. Al estar los conductores de estos últimos “abrazados” por una misma cubierta presentan algo peor ventilación del calor generado.



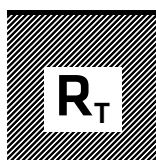
■ ■ 7. Profundidad de soterramiento (solo cables enterrados):

cables más cercanos a la superficie soportan ligeramente mayor intensidad por la mayor cercanía a la superficie de ventilación. Es una influencia muy pequeña, en la norma UNE-HD 60364-5-52 de intensidades admisibles para instalaciones interiores o receptoras en BT no se considera factor de corrección por la profundidad de enterramiento.



■ ■ 8. Resistividad térmica del terreno (solo cables enterrados):

naturaleza del terreno impide una buena conducción del calor penalizará el tendido haciendo aumentar las secciones de conductor. Es decir, la alta resistividad térmica del terreno impide una idonea evacuación del calor y una misma sección de conductor admitirá una corriente menor que si la resistividad fuera más baja.



■ ■ 9. Exposición al sol (solo instalaciones al aire):

la acción solar directa sobre una línea también conlleva la aminoración de la intensidad admisible como cabe suponer.



Como vemos no son pocos los factores de instalación que afectan a la intensidad admisible de un circuito. Muchos de ellos se obvian o se dan por supuestos pero todos entran en juego. Si bien el que suele ser en más ocasiones obviado de inicio es el sistema de instalación.

Es muy habitual ser consultados por intensidades admisibles de cables aportando la potencia, tensión nominal y algún dato más, sirva este artículo para incidir en la relevancia del sistema de instalación. Sin este dato no hay nada que hacer. No podemos emplear tablas para valores que asocien una corriente máxima a una sección de conductor porque dependerá de la situación en que vaya a ser instalado. Lo ilustramos con un ejemplo.

Supongamos cable tipo **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** de 1 x 70 mm² en tendido trifásico con los siguientes sistemas de instalación:

- 1. **Bajo canal protectora fijada a una pared.**
- 2. **Bajo canal protectora pero suspendida** (separada por tanto de cualquier pared, lo que permitirá una mejor evacuación del calor generado). Veremos como influye este matiz.
- 3. **En bandeja perforada.**

Observando la tabla de modos de instalación de la norma de intensidades admisibles UNE-HD 60364-5-52: 2014 vemos que los sistemas tipo a los que corresponden son B2, B1 y F respectivamente.

REF.	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
8 9		Cable multiconductor en abrazaderas (canal protectora) fijadas sobre una pared de madera: • En recorrido horizontal. • En recorrido vertical.	B2
			B2
10 11		Conductores aislados en abrazaderas (canal protectora) suspendidas. Cable multiconductor en abrazaderas (canal protectora) suspendidas.	B1
			B2

REF.	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
31		Cables unipolares (F) o multipolares (E) sobre bandejas de cables perforadas.	E o F

Al tratarse del cable Afumex Easy (AS) y línea trifásica debemos acudir a la tabla de intensidades máximas admisibles entrando por la columna de la izquierda por el sistema tipo y llegando hasta la columna que contemple XLPE3. XLPE por ser **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** cable

termoestable (máxima temperatura admisible en el conductor 90 °C en régimen permanente) y 3 por tener 3 conductores activos al ser tendido trifásico, supuestamente con buen equilibrio en las fases y sin influencia significativa de armónicos.

Instalaciones al aire (40 °C). UNE-HD 60364-5-52

MÉTODO DE INSTALACIÓN DE LA TABLA 52-B1	NÚMERO DE CONDUCTORES CARGADOS Y TIPO DE AISLAMIENTO																			
	mm ²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
A1			PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)				XLPE3 (90 °C)	XLPE2 (90 °C)											
A2		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)				XLPE3 (90 °C)	XLPE2 (90 °C)												
B1					PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)					XLPE2 (90 °C)				
B2					PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)				XLPE3 (90 °C)	PVC2 (90 °C)									
C							PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)		XLPE3 (90 °C)				XLPE2 (90 °C)			
E								PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)				XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)		
F									PVC3 (70 °C)						PVC2 (70 °C)		XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)	
Cobre																				
	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23		
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32		
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44		
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57		
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78		
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104		
	25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146	
	35				95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182	
	50				116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220	
	70				148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282	
	95				180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343	
	120				207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397	
150						247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458		
185						281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523		
240						330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617		

I_{70B2} = 178 A

I_{70B1} = 193 A

I_{70F} = 243 A

Podemos ver que hay significativa diferencia de intensidades admisibles para el mismo cable en función de la facilidad con que se evacua el calor generado en la línea. Así en bandeja perforada la ventilación es mayor que bajo canal protectora sobre pared (**B2** → **F**) y podemos llegar a

tener valores un 36 % superiores a si elegimos instalar el cableado en canal protectora unida a una pared.

El hecho de separar la canal protectora de la pared (B2 → B1) nos permite aumentar la intensidad de corriente que pasa por el cable más de un 8 %.

Esto demuestra que no se puede calcular una sección de conductor correctamente si no conocemos como va instalado ya que su influencia es muy importante en el resultado.

■ 31. Interpretar que el reglamento CPR afecta sólo a los edificios.

Hay El artículo 2, punto 1 del CPR nos define **producto de construcción** como *cualquier producto o kit fabricado e introducido en el mercado para su incorporación con carácter permanente en las obras de construcción o partes de las mismas y cuyas prestaciones influyan en las prestaciones de las obras de construcción en cuanto a los requisitos básicos de tales obras.*

Parece fácil ver que la gran mayoría de los cables es producto de construcción por tratarse de elementos a incorporar permanentemente a las obras de construcción.

En el punto 3 del mismo artículo leemos que se entiende por obras de construcción las **obras de edificación y de ingeniería civil**. Con lo que vemos que el ámbito de aplicación del CPR no está limitado a los edificios solamente sino también a las obras de ingeniería civil como son las infraestructuras (redes de distribución, redes de alumbrado, líneas de ferrocarril, autopistas, túneles...).

En relación a los cables y al ámbito de aplicación del CPR recordar también que la norma europea armonizada UNE-EN 50575 que especifica los requisitos de comportamiento de reacción al fuego cubre cables de energía, cables de control y comunicación y cables de fibra óptica. Es decir, no afecta sólo a cables de energía para Baja Tensión.



K/Solución a situaciones particulares y frecuentes

■ 1. Agrupaciones de cables en varias capas en bandejas.

Con un ejemplo ilustramos la forma de proceder cuando se instalan cables en bandejas en varias capas.

Imaginemos que tenemos una bandeja perforada con 3 capas de 6 cables multiconductores trifásicos cada una. La tabla C.52.3 de la UNE-HD 60364-5-52 sólo nos habla de coeficientes de corrección para una única capa.

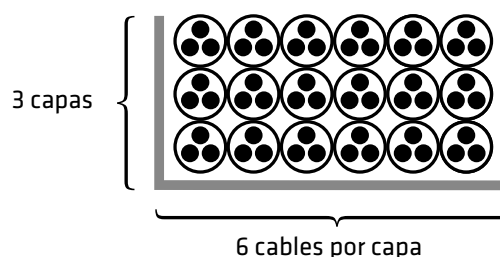


TABLA C.52.3 (UNE-HD 60364-5-52)

PUNTO	DISPOSICIÓN DE CABLES	NÚMERO DE CIRCUITOS O CABLES MULTICONDUCTORES									INSTALACIÓN TIPO
		1	2	3	4	6	9	12	16	20	
1	Agrupados al aire, en una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente.	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40	A a F
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas.	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	C
3	Capa única fijada al techo.	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60	
→ 4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales.	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	E y F
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, soportes, bridas de amarre, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	

Lo más recomendable es utilizar capas únicas en las bandejas, pero a veces se aprovecha la canalización para colocar cables en varios niveles en contacto y conviene saber de que orden de magnitud se ve afectado el agrupamiento.

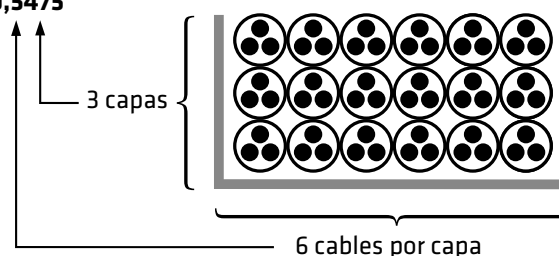
Como se desprende de la tabla, una capa de 6 conductores supone aplicar un coeficiente de corrección de 0,75. Veamos que coeficiente adicional tenemos que aplicar por tener 2 capas adicionales en contacto.

Recurriendo a la norma francesa NF C 15-100 parte 5-52, que se corresponde con el documento de armonización de Cenelec HD 384- 5-523 y la IEC 60364-5-52, vemos que en la tabla 52 O (NF C 15-100 parte 5-52) aparecen los factores de corrección por número de capas de cada sistema de instalación de la tabla C.52.3 nuestra (52N en la norma francesa). La GUIA-BT 19 reproduce actualmente la misma tabla en el apartado 2.2.3.

NÚMERO DE CAPAS	2	3	4 o 5	6 a 8	9 o MÁS
Coefficiente	0,8	0,73	0,7	0,68	0,66

Lo que en nuestro ejemplo nos lleva al siguiente factor de corrección:

$$F = 0,75 \times 0,73 = 0,5475$$

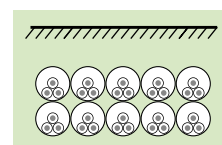
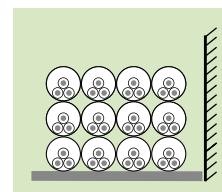


■ **2. Agrupaciones de tubos en varias capas.**

En la norma francesa NF C 15-100 (tablas 52P y 52Q) y en el reglamento portugués (tabla 52-E3, ver a continuación) figuran tablas idénticas, con coeficientes de corrección

para agrupación de tubos con conductores al aire, enterrados o embebidos en hormigón en varias capas horizontales. Posteriormente se incorporaron las mismas tablas a la GUIA-BT 19, pto. 2.2.3.

NÚMERO DE CONDUCTOS COLOCADOS VERTICALMENTE	NÚMERO DE CONDUCTOS COLOCADOS HORIZONTALMENTE					
	1	2	3	4	5	6
Conductos al aire						
1	--	-	-	-	-	-
2	0,92	0,87	0,84	0,81	0,80	0,79
3	0,85	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74
4	0,82	0,78	0,74	0,73	0,72	0,72
5	0,80	0,76	0,72	0,71	0,70	0,70
6	0,79	0,75	0,71	0,70	0,69	0,68
Conductos enterrados o embebidos en hormigón						
1	-	-	-	-	-	-
2	0,87	0,71	0,62	0,57	0,53	0,50
3	0,77	0,62	0,53	0,48	0,45	0,42
4	0,72	0,57	0,48	0,44	0,40	0,38
5	0,68	0,53	0,45	0,40	0,37	0,35
6	0,65	0,50	0,42	0,38	0,35	0,32



En este caso en una sola tabla tenemos el coeficiente apropiado en función del número de circuitos bajo tubo por capa y el número de capas. Hemos eliminado los coeficientes de corrección a aplicar en el caso de capa única porque lo tenemos en la citada tabla C.52.3 (UNE-HD 60364-5-52).

Insistimos en la conveniencia de hacer las canalizaciones con una sola capa de conductos, no obstante en ocasiones las restricciones dimensionales llevan a sistemas de instalación con agrupamientos a los que hay que dar una solución adecuada.

3.- Agrupaciones de varios circuitos bajo un mismo tubo o conducto (tablas de intensidades para el caso particular de cuadros eléctricos).

Sabemos que las normas nos dan los valores de intensidades admisibles cuando hay un circuito en un tubo, canal o conducto en general, pero se suele presentar la duda de que valor de intensidad tomar cuando son 2 o más circuitos los que comparten el mismo tubo o conducto.

Poder dimensionar con cierta seguridad los conductores del interior de los cuadros eléctricos suele ser otro problema por la particularidad de la instalación, (muchos conductores cargados agrupados). En numerosas ocasiones hay agrupamientos de muchos conductores al aire o bajo algún tipo de canalización. Nuestra UNE-HD

60364-5-52 no deja claro que se debe hacer cuando tenemos muchos conductores en una sola canalización o agrupados al aire a modo de un haz o mazo de cables.

En la tabla C.52.3 sabemos que tenemos coeficientes para agrupamientos pero la terminología utilizada genera dudas (primera fila).

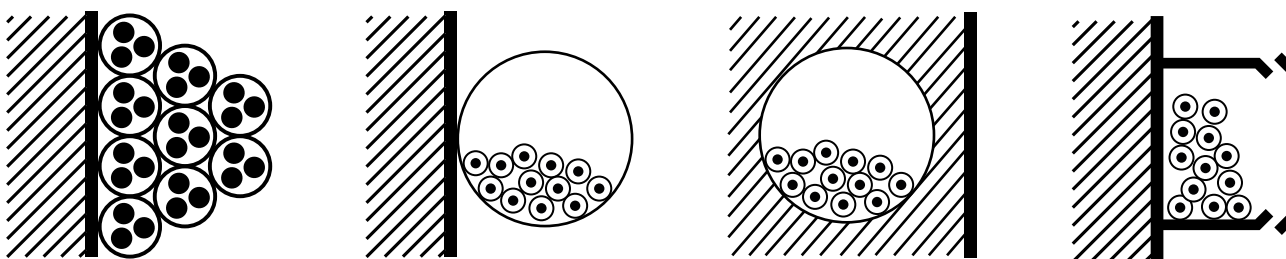


TABLA C.52.3 UNE-HD 60364-5-52

PUNTO	DISPOSICIÓN	NÚMERO DE CIRCUITOS O CABLES MULTICONDUCTORES									INSTALACIÓN TIPO
		1	2	3	4	6	9	12	16	20	
1	Agrupados al aire, en una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente.	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40	A a F
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas.	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	C
3	Capa única fijada al techo.	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60	
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales.	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	E y F
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, soportes, bridas de amarre, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	

En alguna bibliografía de interés se explica más detalladamente que para agrupamientos en general de sistemas de instalación tipo A1, A2, B1, B2 y C, es decir todos los

sistemas de instalación a excepción de instalaciones enterradas (D) y bandejas (E y F), el coeficiente apropiado es el referido al punto 1 (primera fila).



Con esta explicación ya resulta más fácil poder tener valores para diferentes agrupamientos (mazos de cables) como los que se dan típicamente en el interior de los cuadros eléctricos o en agrupamientos de circuitos bajo canal protectora.

Por ejemplo si tenemos un haz de 36 cables **AFUMEX PANELES Flex** de $1 \times 1,5 \text{ mm}^2$ agrupados en contacto bajo tubo o conducto en el interior de un cuadro eléctrico, podemos obtener un orden de magnitud bastante razonable del valor de la máxima intensidad admisible que puede circular por ellos.

El coeficiente de agrupamiento para 36 conductores unipolares es equivalente al de 12 circuitos trifásicos, por tanto de la tabla C.52.3 obtenemos 0,45.

El ambiente estándar que se puede considerar para el interior de los cuadros de $50 \text{ }^\circ\text{C}$, con lo que tomando el coeficiente correspondiente de la UNE-HD 60364-5-52 (tabla B.52.14) tenemos 0,9 (respecto a los $40 \text{ }^\circ\text{C}$ del estándar al aire).

Tratándose de cables bajo tubo o conducto en el interior de cuadros eléctricos podemos tomar por válido el método de referencia B2. Y por haber considerado circuitos trifásicos termoestables [**AFUMEX PANELES Flex**] tenemos XLPE3, que en la tabla de intensidades admisibles C.52-1 bis nos lleva a la columna 7b con una intensidad admisible de 16,5 A.

(Ver tabla en la página siguiente).

NÚMERO DE CONDUCTORES CON CARGA Y NATURALEZA DE AISLAMIENTO

		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)				XLPE3 (90 °C)	XLPE2 (90 °C)											
A1																			
A2		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)				XLPE3 (90 °C)	XLPE2 (90 °C)											
B1					PVC3 (70 °C)							XLPE3 (90 °C)					XLPE2 (90 °C)		
B2				PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)		PVC2 (90 °C)							
C							PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)			XLPE2 (90 °C)		
D*																			
E								PVC3 (70 °C)					PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)	
F											PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)		XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)
Cobre	mm ²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	25
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	34
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	46
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	59
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	82
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	110
	25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
	35				95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
	50				116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
	70				148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
	95				180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
	120				207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
	150						247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458
185						281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523	
240						330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	

Por tanto la intensidad final máxima admisible en cada conductor del mazo será...

$$I = 16,5 \times 0,45 \times 0,9 = \mathbf{6,7 A}$$

(ver el valor remarcado en la tabla)

Siguiendo lo explicado se han obtenido los valores de las siguientes tablas aplicables a cables instalados en

cuadros, termoplásticos y termoestables, al aire y bajo tubo o conducto:

Aplicación de UNE-HD 60364-5-52

Cables **termoplásticos (AFUMEX CLASS 750 V (AS), WIREPOL CPRO RÍGIDO, WIREPOL CPRO FLEX, SINTENAX CPRO 1000 V...)**

Bajo tubo o conducto (Método B2)

NÚMERO DE CONDUCTORES	3	6	9	12	15	18	21	24	27	36	48	60
COEFICIENTE POR TEMPERATURA 50 °C	0,82											
COEFICIENTE POR AGRUPAMIENTO	1	0,8	0,7	0,7	0,6	0,55	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4
1 x 1,5	10,3	8,2	7,2	7,2	6,2	5,7	5,7	5,2	5,2	4,6	4,1	4,1
1 x 2,5	13,9	11,1	9,7	9,7	8,3	7,5	7,5	7,0	7,0	6,3	5,6	5,6
1 x 4	18	14,4	12,6	12,6	10,8	10,0	10	9,0	9,0	8,1	7,2	7,2
1 x 6	23,8	19,0	16,7	16,7	14,3	13,1	13,1	11,9	11,9	10,7	9,5	9,5
1 x 10	32,8	26,2	23,0	23,0	19,7	18,0	18,0	16,4	16,4	14,8	13,1	13,1
1 x 16	43,5	34,8	30,5	30,5	26,1	23,9	23,9	21,8	21,8	19,6	17,4	17,4
1 x 25	56,6	45,3	39,6	39,6	34,0	31,1	31,1	28,3	28,3	25,5	22,6	22,6
1 x 35	70,5	56,4	49,4	49,4	42,3	38,8	38,8	35,3	35,3	31,7	28,2	28,2

Al aire (Método C)

NÚMERO DE CONDUCTORES	3	6	9	12	15	18	21	24	27	36	48	60
COEFICIENTE POR TEMPERATURA 50°C	0,82											
COEFICIENTE POR AGRUPAMIENTO	1	0,8	0,7	0,7	0,6	0,55	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4
1 x 1,5	11,9	9,5	8,3	8,3	7,1	6,5	6,5	6,0	6,0	5,4	4,8	4,8
1 x 2,5	16,4	13,1	11,5	11,5	9,8	9,0	9,0	8,2	8,2	7,4	6,6	6,6
1 x 4	21,3	17,0	14,9	14,9	12,8	11,7	11,7	10,7	10,7	9,6	8,5	8,5
1 x 6	27,9	22,3	19,5	19,5	16,7	15,3	15,3	14,0	14,0	12,6	11,2	11,2
1 x 10	37,8	30,2	26,5	26,5	22,7	20,8	20,8	18,9	18,9	17,0	15,1	15,1
1 x 16	51,7	41,4	36,2	36,2	31,0	28,4	28,4	25,9	25,9	23,3	20,7	20,7
1 x 25	67,2	53,8	47,0	47,0	40,3	37,0	37,0	33,6	33,6	30,2	26,9	26,9
1 x 35	82,8	66,2	58,0	58,0	49,7	45,5	45,5	41,4	41,4	37,3	33,1	33,1

Temperatura ambiente del interior del cuadro: 40° C.

NOTA: las tablas recogen los valores finales (con los coeficientes indicados ya aplicados).

Conductores **termoestables** (**AFUMEX PANELES FLEX**, **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)**, **RETENAX CPRO FLEX...**).

Bajo tubo (Método B2)

NÚMERO DE CONDUCTORES	3	6	9	12	15	18	21	24	27	36	48	60
COEFICIENTE POR TEMPERATURA 50°C	0,9											
COEFICIENTE POR AGRUPAMIENTO	1	0,8	0,7	0,7	0,6	0,55	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4
1x1,5	14,9	11,9	10,4	10,4	8,9	8,2	8,2	7,5	7,5	6,7	6,0	6,0
1x2,5	19,8	15,8	13,9	13,9	11,9	10,9	10,9	9,9	9,9	8,9	7,9	7,9
1x4	27	21,6	18,9	18,9	16,2	14,9	14,9	13,5	13,5	12,2	10,8	10,8
1x6	35,1	28,1	24,6	24,6	21,1	19,3	19,3	17,6	17,6	15,8	14,0	14,0
1x10	48,6	38,9	34,0	34,0	29,2	26,7	26,7	24,3	24,3	21,9	19,4	19,4
1x16	64,8	51,8	45,4	45,4	38,9	35,6	35,6	32,4	32,4	29,2	25,9	25,9
1x25	81,9	65,5	57,3	57,3	49,1	45,0	45,0	41,0	41,0	36,9	32,8	32,8
1x35	102,6	82,1	71,8	71,8	61,6	56,4	56,4	51,3	51,3	46,2	41,0	41,0

Al aire (Método C)

NÚMERO DE CONDUCTORES	3	6	9	12	15	18	21	24	27	36	48	60
COEFICIENTE POR TEMPERATURA 50°C	0,9											
COEFICIENTE POR AGRUPAMIENTO	1	0,8	0,7	0,7	0,6	0,55	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4
1x1,5	18	14,4	12,6	12,6	10,8	9,9	9,9	9,0	9,0	8,1	7,2	7,2
1x2,5	24,3	19,4	17,0	17,0	14,6	13,4	13,4	12,2	12,2	10,9	9,7	9,7
1x4	32,4	25,9	22,7	22,7	19,4	17,8	17,8	16,2	16,2	14,6	13,0	13,0
1x6	41,4	33,1	29,0	29,0	24,8	22,8	22,8	20,7	20,7	18,6	16,6	16,6
1x10	56,7	45,4	39,7	39,7	34,0	31,2	31,2	28,4	28,4	25,5	22,7	22,7
1x16	76,5	61,2	53,6	53,6	45,9	42,1	42,1	38,3	38,3	34,4	30,6	30,6
1x25	97,2	77,8	68,0	68,0	58,3	53,5	53,5	48,6	48,6	43,7	38,9	38,9
1x35	119,7	95,8	83,8	83,8	71,8	65,8	65,8	59,9	59,9	53,9	47,9	47,9

Temperatura ambiente del interior del cuadro: 50° C.

NOTA 1: las tablas recogen los valores finales (con los coeficientes indicados ya aplicados).

NOTA 2: este apartado sólo pretende ser una orientación de intensidades admisibles en diferentes secciones de conductor en función de sus agrupamientos, tipos de aislamiento y sección de los mismos. Recordamos que el cálculo correcto de cuadros eléctricos comporta en general la resolución de un circuito térmico complejo, con fuentes, sumideros y resistencias térmicas, dispuestas en series y paralelos (ver UNE 60439-1) para el que se suele emplear software específico.

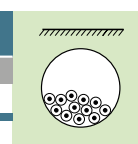
■ **4. Agrupación de varios circuitos en un mismo tubo o conducto enterrado.**

El REBT en su ITC-BT 20 pto. 2.2.3 nos remite a las ITC-BT 07 e ITC-BT 21 para la ejecución de tendidos soterrados. La ITC-BT 07 nos dice expresamente que en tendidos enterrados directamente no se instalará más de un circuito por tubo. No obstante, no debemos olvidar que actualmente las instalaciones soterradas que no son redes de distribución ya que están incluidas en la UNE-HD 60364-5-52, si a esto añadimos que la ITC-BT 21 en su pto. 1.2.4 incluye una

tabla con diámetros de tubos para 6 o más conductores, tenemos algún argumento para justificar el tendido de varios circuitos por una misma canalización enterrada (problema que se suele plantear típicamente el instalador de parques solares fotovoltaicos).

La norma española no contempla expresamente coeficiente de corrección cuando se instalan varios circuitos en un mismo tubo o conducto enterrado pero la tabla 52T de la norma francesa NF C 15-100 nos da los siguientes valores:

NÚMERO DE CIRCUITOS O DE CABLES MULTICONDUCTORES											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1	0,71	0,58	0,5	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,29	0,25	0,22



No obstante, no recomendamos la instalación de varios circuitos en un mismo tubo o conducto por varias razones:

■ **a.** Las interpretaciones legales anteriormente expuestas.

■ **b.** A efectos de mantenimiento si hubiera que extraer uno o varios cables resulta difícil reponerlos cuando en el conducto ya existen otros cables.

■ **c.** Como se puede apreciar en la tabla los coeficientes de corrección por agrupamientos son muy exigentes. Con sólo dos circuitos ya hay que descargar un 29 % los conductores. Es decir, el calentamiento puede ser elevado si no se aplican coeficientes como los expuestos.

■ **d.** Estrictamente se podría decir que, el hecho de que la primera fila de la tabla C.52.3 sea de aplicación a instalaciones tipo de A a F, nos puede dar a entender que al estar todo tipo de agrupamiento considerado, esté también el que es objeto de este apartado.

■ **5. Intensidad máxima para cables de uso provisional enrollados en tambor o bobina.**

Algunos servicios provisionales se prestan a veces con cables en bobinas de las que no se han desenrollado para no extender todo el cable cuando no es necesario. Lo que siempre es necesario es saber si el cable va a soportar la intensidad que se le va a pedir en esa particular situación.

La norma UNE 22585-2 (pto.5.2.4) de cables eléctricos para minas a cielo abierto contempla una tabla con coeficientes de corrección para cables en tambores. Las intensidades admisibles del cable deben ser multiplicadas por los factores de la siguiente tabla con objeto de reducir convenientemente la solicitud del cable. Un tambor con cable presenta un mismo circuito arrollado sobre si mismo de

forma que hay una serie de vueltas de cable que se “abrazan” dificultando la disipación del calor generado por efecto Joule.

NÚMERO DE CAPAS	FACTOR DE CORRECCIÓN
1	0,76
2	0,58
3	0,47
4	0,40
5	0,36*
6	0,27*
7	0,22*

*Valores recomendados por Prysmian (no contemplados en la norma UNE 22585).

Es importante tener en cuenta lo reducidos que son los coeficientes de corrección lo que denota la importancia de considerarlos.

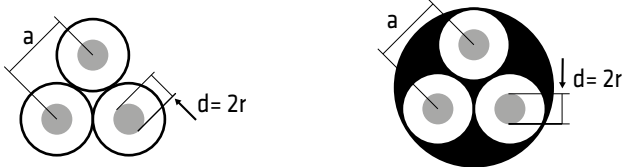
Conviene no olvidar que la tendencia de calcular la reactancia inductiva por efecto bobina para calcular las caídas de tensión en estos casos es un error dado que los circuitos arrollados monofásicos o trifásicos son circuitos completos y los efectos de cada conductor están compensados entre si con lo que no hay que considerar efecto solenoide.

Aconsejamos, siempre que se pueda, desenrollar el cable totalmente.

Los cables Protolon de Prysmian están especialmente diseñados para servicios móviles de muchos ciclos en tambores (para BT o MT).

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

Conductores a tresbolillo.



Tres cables unipolares

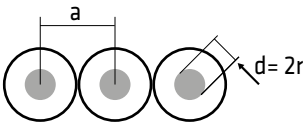
Un cable tripolar

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

En todos los casos las variables son:

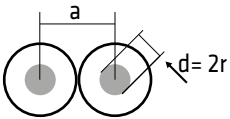
- a = distancia entre ejes de los conductores en mm (= diámetro exterior del cable cuando se trata de unipolares).
- r = radio de conductor en mm

Tres conductores en un mismo plano



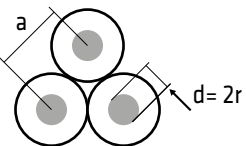
$$\rightarrow L = [4,6 \cdot \log(a/r) + 0,96] \cdot 10^{-4} \text{ [H/km]}$$

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 lo explicado en el apartado J, punto 6 (valor aproximado de $x=0,08 \text{ } \Omega/\text{km}$).

■ **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 $\rightarrow U = 400 \text{ V}$

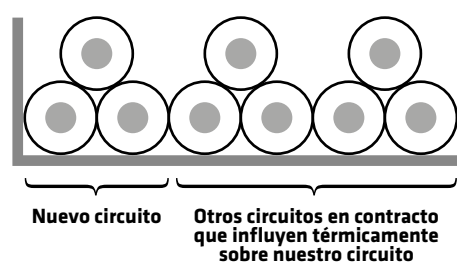
Longitud de la línea $\rightarrow L = 60 \text{ m}$

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 expuesta en el apartado E) de este catálogo:

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

- 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 (ver apartado J, punto 3) → 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 %. Ver otros valores de γ en el apartado E.

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 (apartado E) 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. Ver anexo H de la norma.

■ 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).

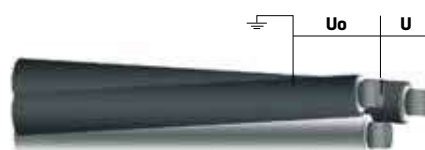
La norma UNE-EN 50565-1 (Guía para la utilización de cables de tensión asignada no superior a 450/750 V (U_0/U)) recoge en su punto 5.2 las condiciones límite de tensión para las que han sido diseñados los cables armonizados hasta 450/750 V, es decir, los cables de más común uso, aquellos cuyo diseño 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:

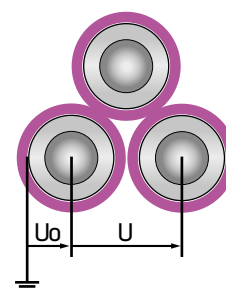
U_0 : Tensión asignada eficaz a frecuencia industrial, entre cada conductor y la pantalla o la cubierta, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

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 Uo/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 asignada no inferior a 0,6/1 kV. (Ver apartado K, punto 28).

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 asignada 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.*

NOTA: para tensiones mínimas exigidas por el REBT ver apartado k, pto.28.

■ 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 (ver apartado L).

→ **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.

→ **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)



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

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.

Ver ejemplos de cálculos ecológicos en apartados N, O, P y Q.

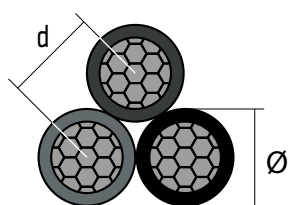
■ 12. Intensidades admisibles y caídas de tensión para líneas de corriente continua.

Para cálculos de sección de conductor en corriente continua la tabla de intensidades admisibles es la misma que para cálculos en alterna monofásica (PVC2 o XLPE2 según se trate de cables termoplásticos o termoestables, Ver página 50).

La norma UNE-HD 60364-5-52 de intensidades admisibles nos lo dice en la nota 1 de su apartado B.52.6.2 textualmente: *Las corrientes admisibles están tabuladas para aquellos tipos de conductores aislados y cables y métodos de instalación que se usan comunmente para instalaciones eléctricas fijas. Las corrientes tabuladas hacen referencia al funcionamiento en régimen permanente (factor de carga del 100 %) para corriente continua o alterna de frecuencia nominal de 50 Hz o 60 Hz.*

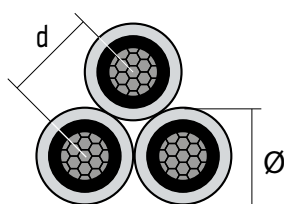
Por tanto a efectos de cálculos de sección en BT por el criterio de la intensidad admisible en corriente continua debemos operar igual que se hace con líneas de corriente alterna monofásica a 50 o 60 Hz con $\cos \varnothing = 1$.

El valor de la resistencia de conductor en continua es ligeramente inferior a sus valores alterna a 50 o 60 Hz, lo que hace que igualmente los cálculos de caída de tensión no supongan variaciones muy relevantes si la reactancia se considera nula en alterna porque la sección solución no sea grande ya que en continua la reactancia siempre es nula (si la sección en corriente alterna es mayor que 35 mm² para cobre o mayor que 70 mm² para aluminio se debe tomar en consideración la reactancia).



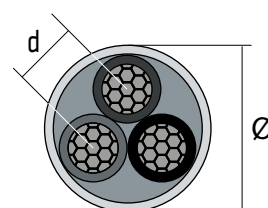
Conductores aislados

Como **AFUMEX CLASS 750 V (AS)** o **WIREPOL CPRO FLEX** → $d = \varnothing$.
 $d = \text{diámetro de conductor} + 2 \times \text{espesor de aislamiento} = \text{diámetro exterior } (\varnothing)$



Cables unipolares

(con aislamiento y cubierta)
 como **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** o **RETENAX CPRO FLEX** de 1x... → $d = \varnothing$.
 $d = \text{diámetro de conductor} + 2 \times \text{espesor de aislamiento} + 2 \times \text{espesor de cubierta} = \text{diámetro exterior } (\varnothing)$



Cables multipolares

(con aislamiento y cubierta)
 como **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** o **RETENAX CPRO FLEX** de 2x, 3x, 3G, 4x, 4G, 5G... → $d \neq \varnothing$,
 $d = \text{diámetro de conductor} + 2 \times \text{espesor de aislamiento} \neq \varnothing$

■ 13. Valores de resistencia de conductor a diferentes temperaturas.

La norma UNE-EN 60228 contempla las resistencias máximas de los conductores eléctricos a 20 °C y en corriente continua teniendo en cuenta la clase de conductor: clase 1 (rígido de hilo único), clase 2 (rígido de varios hilos), clase 5 (flexible) y clase 6 (conocido coloquialmente como extra-flexible).

Los valores de resistencia de los conductores eléctricos son útiles para el cálculo de potencia disipada en las líneas dado que como sabemos la expresión $P = RI^2$ expresa la pérdida de potencia por efecto Joule en un conductor. También sabemos que para el cálculo del poder de corte de las protecciones se emplean normalmente valores de resistencia a 20 °C y para conocer las máximas pérdidas posibles por calentamiento (efecto Joule) se emplean los valores de la citada resistencia a la máxima temperatura admisible en el conductor (70 °C para cables termoplásticos y 90 °C para cables termoestables).

Bien es sabido y comentado en este catálogo que la resistencia eléctrica aumenta con la temperatura y esto afecta a los cálculos. Tomando los datos de partida de la citada norma UNE-EN 60228 (IEC 60228) se pueden obtener valores de resistencias a otras temperaturas y en corriente alterna aplicando los criterios de cálculo de la norma UNE 21144 (IEC 60287), teniendo en cuenta la posición de los cables y afectando los cálculos del efecto piel y proximidad.

Debemos recordar que la distancia entre conductores eléctricos en contacto depende de si se trata de conductor aislado o no y en caso de ser cable (con aislamiento y cubierta) si se trata de cables unipolares o multipolares.

Las tablas siguientes suponen disposición de conductores al tresbolillo en un tendido trifásico (para valores de resistencia a 70° ó 90° C en corriente alterna). Ligeras variaciones de estos valores se producirían para otra dispo-

sición de conductores muy próximos (por ejemplo tres unipolares en un plano en trifásica o dos conductores muy próximos en monofásica sea cable bipolar o dos cables unipolares en contacto)

SECCIÓN	COBRE (RÍGIDO, CLASE 1)				COBRE (RÍGIDO, CLASE 2)			
	DIÁMETRO MÁXIMO DE CONDUCTOR*	RESISTENCIA (cc, 20 °C)*	RESISTENCIA (ca, 70 °C)	RESISTENCIA (ca, 90 °C)	DIÁMETRO MÁXIMO DE CONDUCTOR*	RESISTENCIA (cc, 20 °C)*	RESISTENCIA (ca, 70 °C)	RESISTENCIA (ca, 90 °C)
	mm	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km
0,5	0,9	36	43,07	45,9	1,1	36		
0,75	1	24,5	29,31	31,24	1,2	24,5		
1	1,2	18,1	21,66	23,08	1,4	18,1		
1,5	1,5	12,1	14,48	15,43	1,7	12,1		
2,5	1,9	7,41	8,87	9,45	2,2	7,41		
4	2,4	4,61	5,52	5,88	2,7	4,61		
6	2,9	3,08			3,3	3,08	3,69	3,93
10	3,7	1,83			4,2	1,83	2,19	2,33
16	4,6	1,15			5,3	1,15	1,38	1,47
25	5,7	0,727			6,6	0,727	0,87	0,927
35	6,7	0,524			7,9	0,524	0,627	0,669
50	7,8	0,387			9,1	0,387	0,464	0,494
70	9,4	0,268			11	0,268	0,321	0,343
95	11	0,193			12,9	0,193	0,232	0,247
120	12,4	0,153			14,5	0,153	0,185	0,197
150	15,4	0,124			16,2	0,124	0,151	0,16
185	17,6	0,101			18	0,0991	0,121	0,129
240	19,8	0,0775			20,6	0,0754	0,094	0,099
300	22,2	0,062			23,1	0,0601	0,076	0,081

* Valores obtenidos directamente de UNE-EN 60228.

Con fondo naranja figuran valores que no son de aplicación a los cables rígidos que se comercializan normalmente. Es decir, los conductores rígidos son de clase 1 (hilo único) hasta 4 mm² y de clase 2 (varios hilos) desde 6 mm² inclusive.

SECCIÓN	COBRE (FLEXIBLE, CLASES 5 ó 6)			
	DIÁMETRO MÁXIMO DE CONDUCTOR*	RESISTENCIA (cc, 20 °C)*	RESISTENCIA (cc, 70 °C)	RESISTENCIA (cc, 90 °C)
	mm	Ω/km	Ω/km	Ω/km
0,5	1,1	39	46,66	49,73
0,75	1,3	26	31,11	33,15
1	1,5	19,5	23,33	24,86
1,5	1,8	13,3	15,91	16,96
2,5	2,4	7,98	9,55	10,18
4	3	4,95	5,92	6,31
6	3,9	3,3	3,95	4,21
10	5,1	1,91	2,29	2,44
16	6,3	1,21	1,48	1,54
25	7,8	0,78	0,934	0,995
35	9,2	0,554	0,663	0,707
50	11	0,386	0,463	0,493
70	13,1	0,272	0,326	0,348
95	15,1	0,206	0,248	0,264
120	17	0,161	0,195	0,207
150	19	0,129	0,157	0,167
185	21	0,106	0,13	0,138
240	24	0,0801	0,1	0,106
300	27	0,0641	0,082	0,086

* Valores obtenidos directamente de UNE-EN 60228.

SECCIÓN	ALUMINIO (RÍGIDO, CLASE 2)		
	DIÁMETRO MÁXIMO DE CONDUCTOR*	RESISTENCIA (cc, 20 °C)*	RESISTENCIA (cc, 90 °C)
	mm	Ω/km	Ω/km
10	3,6	3,08	3,95
16	4,6	1,91	2,45
25	5,6	1,2	1,54
35	6,6	0,868	1,11
50	7,7	0,641	0,822
70	9,3	0,443	0,569
95	11	0,32	0,411
120	12,3	0,253	0,325
150	13,7	0,206	0,265
185	15,3	0,164	0,212
240	17,6	0,125	0,162
300	19,7	0,1	0,131
400	22,3	0,0778	0,1
500	25,3	0,0605	0,078
630	28,7	0,0469	0,061

* Valores obtenidos directamente de UNE-EN 60228.

Los cables de aluminio normalmente comercializados son rígidos de clase 2 y con secciones iguales o mayores de 10 mm².

Los valores de resistencia a 70 y 90 °C expuestos en este apartado están calculados para unas distancias entre conductores que pueden variar mínimamente en función del espesor de aislamiento y/o de cubierta.

El apartado P está dedicado a un ejemplo en el que, entre otros cálculos, se obtiene de forma más simplificada pero aceptablemente exacta para corriente alterna a 50 o 60 Hz (sin considerar efecto piel ni proximidad) la resistencia de un conductor a cualquier temperatura que se encuentre debido a la intensidad de corriente que lo recorre y a las condiciones de instalación.

En este apartado se han reflejado también los valores de diámetro máximo de conductor, útiles para cálculos de resistencia afectando el efecto piel y proximidad y para cálculos de reactancias inductivas (ver apartado K, punto 6).

■ ■ Ejemplo de aplicación 1

Calcular las pérdidas por calentamiento en una línea trifásica equilibrada de 83 m realizada con cables unipolares de aluminio **AI VOLTALENE FLAMEX CPRO (S)** de 1x50 mm² por la que circulan 116 A de intensidad de línea.

Como sabemos que la potencia perdida en una línea por efecto Joule (calentamiento) responde a la expresión

$$P = 3RI^2$$

(siendo P la potencia en W, cuando la resistencia R es en Ω en la intensidad I en A). Al tratarse de una línea trifásica debemos lógicamente multiplicar por 3 ($P = 3RI^2$) teniendo el valor de I, sólo tenemos que buscar en la tabla correspondiente el valor de R a 90 °C. Para cable de 50 mm² de aluminio $R = 0,822 \Omega/\text{km}$ (al multiplicarlo por la longitud de la línea en km obtendremos el valor de la resistencia en Ω).

$$P = 3RI^2 = 3 \times 0,822 \Omega/\text{km} \times 0,083 \text{ km} \times 116^2 \text{ A}^2 \\ = 2754 \text{ W} \approx 2,75 \text{ kW}$$

Si queremos saber la energía perdida en kWh durante 8 horas por ejemplo no hay más que multiplicar la potencia en kW por el tiempo en h:

$$E = Pt = 2,75 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 22 \text{ kWh}$$

Y si queremos saber cuanto nos cuesta lo que perdemos en la línea, simplemente habrá que multiplicar la energía en kWh por la tarifa en €/kWh:

Supongamos una tarifa de 0,15 €/kWh

$$\text{Coste} = 22 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €/kWh} = 3,3 \text{ € (en sólo 8 h)}$$

Se puede observar que sobredimensionar los cables cuando por cálculo domina el criterio de la intensidad máxima, no es nada a despreciar, 2,75 kW de pérdidas en

una línea de menos de 100 m es una potencia perdida considerable que vamos a tener que asumir en forma de coste y además se trata de un peaje que sin ser energía útil para los receptores también provoca emisiones al medio ambiente. Se recomienda, en general, considerar el aumento de sección para reducir la resistencia.

■ ■ Ejemplo de aplicación 2

Se desea conocer las pérdidas por calentamiento de una línea monofásica de 28 m realizada con cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** de 3G16 (cable de cobre flexible, clase 5) por la que circulan 94 A.

Al tratarse de tendido monofásico la potencia perdida será:

$$P = 2RI^2 = 2 \times 1,54 \Omega/\text{km} \times 0,028 \text{ km} \times 94^2 \text{ A}^2 \\ = 762 \text{ W} \approx 0,76 \text{ kW}$$

Hemos tomado de nuevo el valor a máxima temperatura de la resistencia. Para obtener el valor de resistencia a la temperatura real del cable ver ejemplo del apartado K, punto 7 del catálogo. El resultado no diferirá mucho del obtenido.

Para este caso si entendemos que el cable estaba instalado en bandeja perforada, la temperatura estándar al aire es de 40 °C y a esto debemos añadir el calentamiento del cable por efecto Joule que aumenta la resistencia, es decir, el cable estará cerca del valor de 90 °C. Para que esto no sea así, debe dominar el criterio de la caída de tensión o del cortocircuito en nuestros cálculos (y en ese caso el cable se calentará menos, ya que por el criterio de la intensidad máxima la sección será holgada).

Veamos si hubiéramos supuesto 70 °C en el conductor que valor obtendríamos:

$$P = 2RI^2 = 2 \times 1,48 \Omega/\text{km} \times 0,028 \text{ km} \times 94^2 \text{ A}^2 \\ = 732 \text{ W} \approx 0,73 \text{ kW}$$

Ligeramente inferior al anterior resultado con la resistencia a 90 °C.

■ 14. Cables rígidos y cables flexibles.

Similitudes y diferencias. Ventajas e inconvenientes.

Técnicamente se habla de cables flexibles o rígidos atendiendo a la flexibilidad de su cuerda conductora y no del cable completo. Entremos en detalle para conocer el porqué de los tipos de conductor y que aportan a las instalaciones.

■ ■ Cables rígidos

Se habla de cables rígidos cuando sus conductores están formados por 1 o varios hilos de metal conductor (típicamente cobre o aluminio). Es fácil imaginar que un conductor de hilo único será más rígido que uno de varios hilos a igualdad de sección.

La norma UNE EN 60228 (IEC 60228) recoge las características de los conductores de cables aislados. En ella se reflejan las clases de conductor en función de su flexibilidad

■ ■ ■ **Clase 1:** rígido de un solo hilo. En España habitualmente se emplea esta clase para los cables rígidos de hasta 4 mm² de sección incluida.



Conductor rígido de hilo único (clase 1).



Cable **RETENAX CPRO RÍGIDO (RV)** de 1x4. Conductor rígido de hilo único (clase 1).

■ ■ ■ **Clase 2:** rígido de varios hilos. Para conductores rígidos de secciones superiores a 4 mm² habitualmente.



Conductor rígido de varios hilos (clase 2).



Cable **WIREPOL CPRO RÍGIDO (H07V-R)** de 1x6 Conductor rígido de varios hilos (clase 2).

La norma UNE EN 60228 también recoge los valores de resistencia máxima a 20 °C en corriente continua (ver apartado K, pto. 13).

■ ■ Cables flexibles

■ ■ ■ **Clase 5:** es la clase asignada a los conductores flexibles. En este caso, para garantizar un nivel de flexibilidad adecuado y siempre muy claramente superior a las clases 1 y 2. La norma UNE EN 60228 fija el diámetro máximo de los alambres que forma la cuerda conductora en función de la sección. Así por ejemplo el diámetro máximo de los hilos de un conductor flexible de 2,5 mm² es 0,26 mm y el de la cuerda de 240 mm² flexible es de 0,51 mm. Con estas limitaciones es intuible pensar que un conductor será más flexible si presenta mayor número de hilos a igualdad de sección.



Conductor flexible (clase 5).

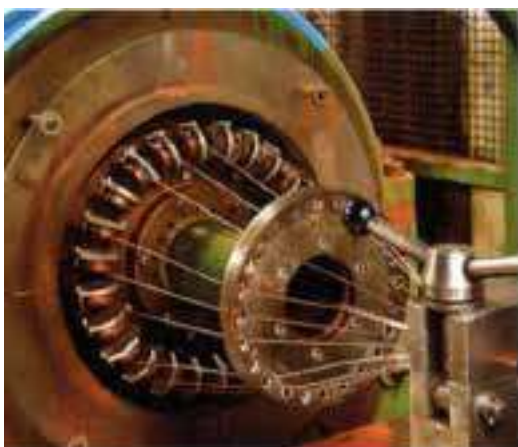


Cable **RETENAX VARINET (RVKV-K)** para alimentación de motores con variadores de frecuencia. Conductores flexibles (clase 5).

En las designaciones genéricas se indica la clase 5 con la notación -K (RV-K, RZ1-K (AS), H07Z1-K, RVMV-K...).

La norma UNE EN 60228 plasma también la clase 6, comúnmente conocida como "extraflexible" pero se utiliza para aplicaciones especiales.

Las clases 3 y 4 no existen. Debieron existir en un pasado pero ya no figuran en las normas actuales.



Formación de cuerda conductora de clase 5 a partir de hilos de cobre.

Recordamos una vez más que la sección de un conductor o está sujeta a medida directa (UNE EN 60228, pto. 2.2.). Es decir no se puede obtener sumando el área de sección de cada uno de los hilos que forman su cuerda conductora. Se habla por tanto de sección eléctrica y no geométrica, asociando cada valor de sección normalizada a una resistencia máxima en corriente continua a 20 °C y no a un área de sección geométrica.

■ Principales ventajas e inconvenientes

Los cables con conductores de clase 5 por su flexibilidad son más manejables y se adaptan mejor a las sinuosidades de los recorridos a la hora de su tendido. Especialmente apreciado cuando se insertan conductores aislados en tubos.

Los conductores rígidos en cambio tienen la ventaja de ser conectados correctamente con mayor facilidad si bien el REBT obliga al empleo de terminales adecuados para conductores rígidos o flexibles de sección superior a 6 mm² (ITC-BT 19, pto. 2.11.).

También son idóneos para realizar puentes en cuadros eléctricos dado que una vez se les da el curvado requerido, este no varía. Así como a la hora de pretender claridad en las cajas de registro de las instalaciones, pues la rigidez del conductor favorece la inmovilidad de la conexión.

Los instaladores en general reconocen insertar bajo tubo sin grandes dificultades los circuitos de 1,5 mm² o 2,5 mm² con conductores aislados rígidos, especialmente frecuentes en el interior de viviendas. Con secciones superiores por lo general se encuentran con las dificultades suficientes como para sólo pensar en conductores flexibles.

A la hora de hacer cálculos, las tablas de intensidades admisibles no distinguen entre conductores rígidos o flexibles, es decir, ambas formaciones admiten las mismas cargas de corriente a igualdad de sección y sistema de instalación. Igual ocurre con los cálculos de caída de tensión, no se ven afectados por la flexibilidad del conductor.

El REBT igualmente deja libre la instalación de cables rígidos o flexibles salvo para las centralizaciones de contadores donde se obliga que el cable sea rígido. También se exige para redes de tierra (cobre desnudo) y en algún sistema de instalación infrecuente como pueden ser cables en ranuras o cables armados para montaje superficial en locales de pública concurrencia.

La tendencia del mercado en España, para no duplicar costosos stocks no sólo de fabricante sino también de distribuidor o instalador, es la fabricación de cables con conductores flexibles cuando se trata de cobre y rígidos de clase 2 cuando se trata de cables con conductor de aluminio (es un metal menos dúctil que el cobre y con menor resistencia a la tracción). Si bien existe stock en conductor rígido de varias líneas de producto y Prysmian puede fabricar bajo demanda cualquier tipo de cable con cuerda conductora rígida.

Por último añadir que los cables rígidos y flexibles tienen las mismas tensiones máximas de tracción durante el tendido y los mismos radios mínimos de curvatura a igualdad de sección.

	FLEXIBLE	RÍGIDO
Disponibilidad (stock)	+	
Facilidad de manejo y tendido	+	
Conexión		+
Orden en la instalación		+
Intensidad admisible	=	
Tensión máxima de tracción	=	
Radio mínimo de curvatura	=	

■ 15. Cálculos para alumbrado

La ITC-BT 44 del REBT en su punto 3.1., 4º párrafo explica que, para lámparas de descarga, la carga mínima prevista en voltiamperios será de 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas. Y este coeficiente es el que se debe aplicar en ausencia de datos más concretos por parte del fabricante de las lámparas a instalar pues los circuitos de alimentación deben estar previstos para transportar la carga de los receptores, de sus elementos asociados y de sus corrientes armónicas y de arranque.

Las lámparas de descarga pueden ser: fluorescentes (vapor de mercurio a baja presión), vapor de mercurio a alta presión, de halogenuros metálicos, de vapor de sodio de alta o de baja presión, de luz mezcla o mixtas...

En el caso de lámparas de incandescencia la potencia de cálculo será la nominal pues no es necesario provocar una descarga para el encendido.

Si la instalación se realiza con lámparas de tecnología LED recordar que se debe tomar la potencia nominal sin necesidad de aplicar coeficiente alguno, salvo otra indicación del fabricante.

■ 16. Variación de las condiciones de instalación a lo largo del tendido del cable

La norma UNE-HD 60364-5-52 dice escuetamente en el punto 523.8 lo siguiente:

Si las condiciones de disipación de calor varían de una parte del recorrido a otra, las intensidades admisibles deberán determinarse para la parte del recorrido que presenta las condiciones más desfavorables.

Es una afirmación que no dejando de ser clara parece muy directa y simplificadora sin tener en consideración la

multitud de situaciones en las que de forma transitoria varían las condiciones a lo largo del recorrido de un tendido de cable.

Si retrocedemos a 1994 nos encontramos que la versión de la citada norma sí contempla excepciones que ayudan a entender cuándo se puede considerar variación de condiciones de instalación relevante y cuando no.

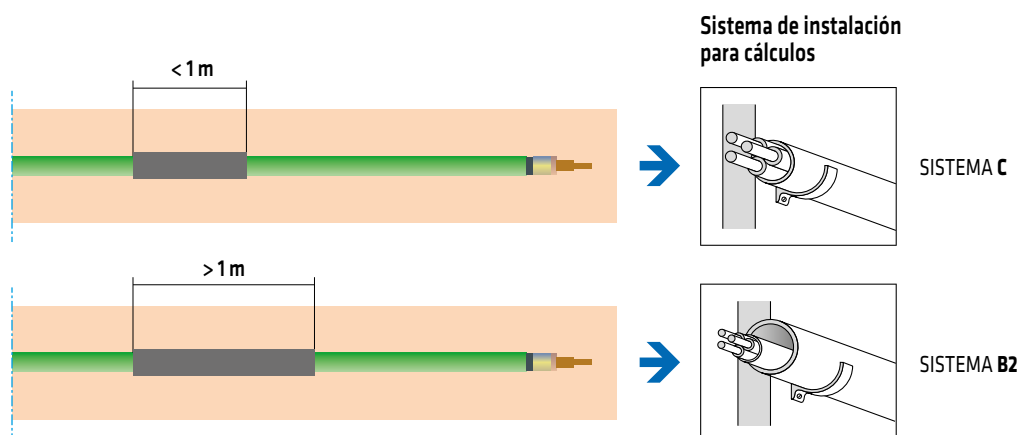
La UNE 20460-5-523 (1994) ya contemplaba 2 situaciones en las que se exime de considerar el sistema de instalación más restrictivo en su punto 7.5, a saber:

■ ■ 1. *Cuando por razones de protección mecánica se dispone un cable en un conducto o canal para instalaciones (canaleta), en una longitud no superior a un metro, no será necesaria la reducción de corrientes admisibles, siempre que el conducto o canal para instalaciones (canaleta) esté al aire o instalado sobre una superficie vertical.*

Es una situación frecuente y resulta interesante que esté contemplada en una norma para alejar dudas y para dejar claro dónde estaría el límite de acumulación térmica por protección parcial del recorrido de un cable. Límite que permite considerar sólo el sistema de instalación dominante para calcular el cable

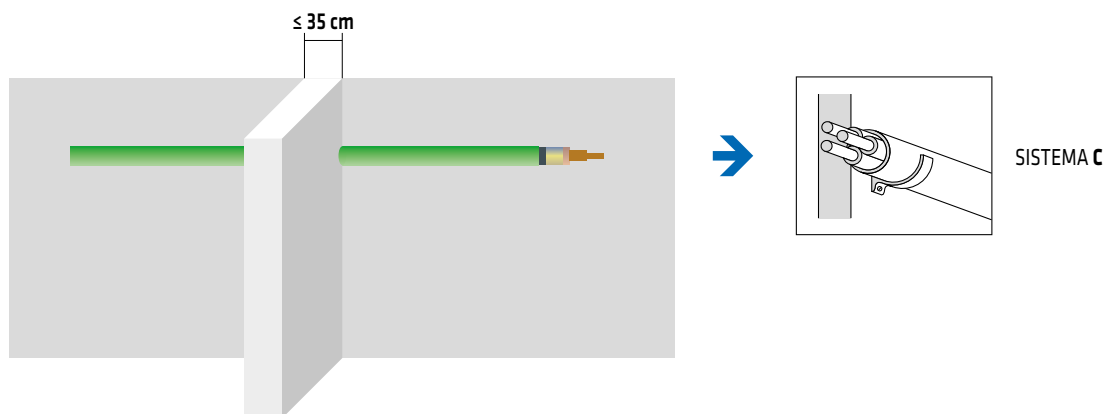
Por ejemplo, si un cable se instala grapado a la pared y en una parte de su recorrido se protege bajo tubo de longitud inferior a un metro no sería necesario tener en cuenta el tubo y por tanto el cable se puede calcular como si fuera solamente grapado a la pared de principio a fin.

Pero si extendemos la protección del cable hasta por ejemplo dos metros todo el tendido debería ser considerado bajo tubo y grapado a la pared, sistema de instalación más restrictivo que el anterior por dificultar la evacuación del calor y, por tanto, obligar a recurrir a secciones superiores de conductor.



NOTA 2: la norma UNE 20460-5-523 (1994) fue anulada en 2004.

■ 2. Cuando una canalización está empotrada o instalada sobre un material de resistencia térmica superior a $2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$, no será necesaria una reducción de corriente admisible, siempre que su longitud no supere los $0,20 \text{ m}$. La versión actual de la norma (UNE-HD 60364-5-52) ha ampliado esa longitud a 35 mm .



En ocasiones no cambia el sistema de instalación pero la disipación térmica se ve afectada por una agrupación de circuitos que no está presente todo el recorrido de la canalización eléctrica. En tal caso, el punto 2.2.3 de la GUÍA-BT-19* del REBT nos dice textualmente:

No se considerarán los factores de reducción (por agrupamiento) cuando la distancia en la que discurren paralelos los circuitos sea inferior a 2 m , por ejemplo en la salida de varios circuitos de un cuadro de mando y protección.

Recomendamos en cualquier caso intentar evitar la concentración de circuitos sin consideración en el cálculo de secciones, aunque sea por una longitud inferior a los 2 metros .

Para redes de distribución enterradas en la ITC-BT 07 (pto. 3.1.3, último párrafo) podemos leer:

En el caso de canalizaciones bajo tubos que no superen los 15 m , si el tubo se rellena con aglomerados especiales no será necesario aplicar factor de corrección de intensidad por este motivo.

El apartado se refiere a canalizaciones directamente enterradas en las que en un segmento de hasta 15 m se debe entubar el tendido. Eximiendo de consideraciones de cálculo especiales el hecho de cambiar transitoriamente el sistema de instalación. Tal circunstancia venía siendo habitual en los cruces de carreteras.

El texto no se refiere a **casos de agrupamientos que sí deberán venir afectados del correspondiente coeficiente de corrección.**

La mampostería (ladrillo, hormigón, yeso o análogo) tiene en general resistividad térmica no superior a $2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$. Es fácil imaginar una situación así cuando una instalación atraviesa un muro.

■ 17. Intensidades admisibles para cables con más de 4 conductores cargados.

Algunos cables como el

AFUMEX CLASS MÚLTIPLE 1000 V (AS) o el **SINTENAX CPRO 1000 V**

están diseñados para alimentación de varios receptores de baja potencia o para transmisión de muchas señales de mando. Por esta razón se fabrican en composiciones tales como 6G1,5; 10G1,5; 14G1,5; 24G1,5; 30G1,5 y también con secciones superiores (2,5; 4, etc.).

La norma UNE-HD 60364-5-52 de intensidades admisibles no contempla valores para este tipo de formaciones y tampoco ofrece información alguna sobre como poder calcular un cable de este tipo correctamente. Permite obtener intensidades admisibles para cables con 2 conductores cargados (sistemas monofásicos o para corriente continua), 3 conductores cargados (sistemas trifásicos) y hasta 4 conductores cargados (sistemas trifásicos con influencia importante de corrientes armónicas, ver UNE-HD 60364-5-52, anexo E) pero no para cables de 5 o más conductores.

La siguiente tabla recoge coeficientes de corrección a aplicar a los valores de las tablas de intensidades de la UNE-HD 60364-5-52 para poder conocer cuál es la intensidad máxima que puede circular por los conductores de estos cables particulares. Es **de aplicación para cables hasta 10 mm^2 y para valores de intensidades trifásicas.**

(*) La GUÍA-BT no es vinculante (artículo 29 del REBT).

NÚMERO DE CONDUCTORES CARGADOS	ENTERRADOS	AL AIRE
5	0,70	0,75
7	0,60	0,65
10	0,50	0,55
14	0,45	0,50
19	0,40	0,45
24	0,35	0,40
40	0,30	0,35
61	0,25	0,30

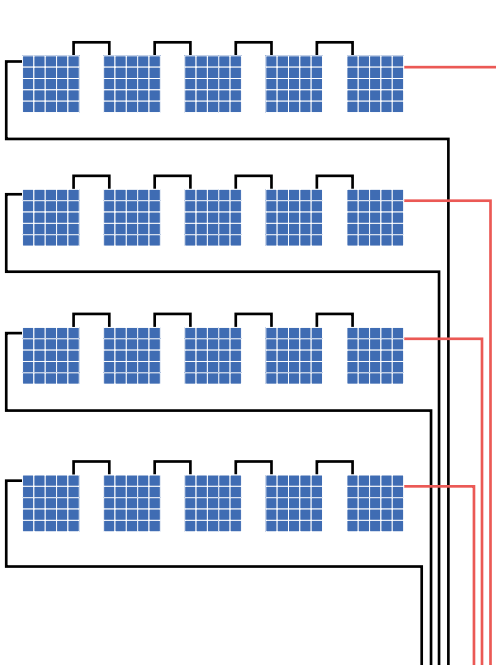


■ 18. Agrupación adecuada de conductores en instalaciones fotovoltaicas

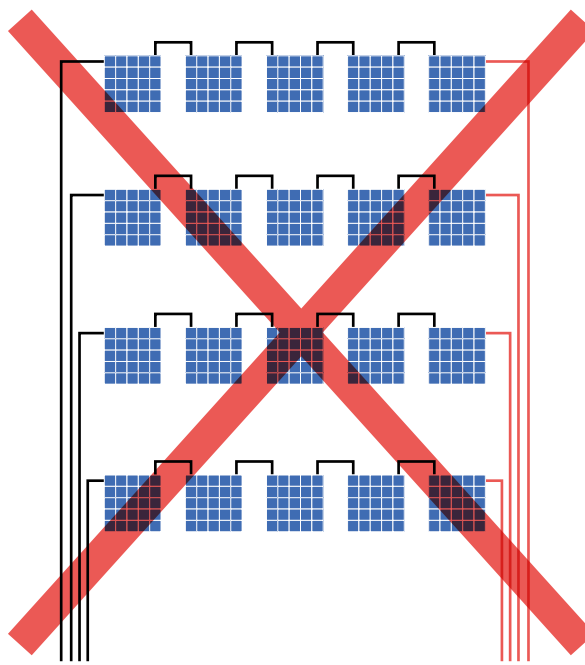
Como sabemos los paneles fotovoltaicos captan la radiación solar y la transforman en energía eléctrica generando corriente continua. La corriente continua lleva aparejada un campo magnético también continuo, al no variar prácticamente en el tiempo o variar muy lentamente no produce inducciones por lo que no es inconveniente agrupar conductores de la misma polaridad ya que a diferencia de

los sistemas eléctricos de corriente alterna no es necesario compensar los campos electromagnéticos para eliminar, en gran medida, los efectos inductivos.

Si instalamos juntos conductores de la misma polaridad sabemos que en caso de un defecto de aislamiento, la diferencia de potencial entre los conductores en cortocircuito será por lo general muy pequeña o inexistente lo que redundará en mayor seguridad en la instalación. De ahí, la utilidad de agrupar los cables con la misma polaridad.



Instalar cables de la misma polaridad juntos en canalizaciones de corriente continua es una buena práctica que previene accidentes eléctricos graves.



Esta forma de agrupación es incorrecta ya que los grandes bucles favorecen la aparición de sobretensiones por caídas de rayos...

■ 19. Cables expuestos al sol

No existe una orientación clara en la normativa en cuanto a la consideración cuantitativa de la acción directa del sol sobre los tendidos de cable:

■ ■ La norma de intensidades admisibles en cables para instalaciones en edificios (UNE-HD 60364-5-52) nos remite a calcular la acción solar empleando la IEC 60287 (UNE 21144).

■ ■ La norma UNE 211435 para elección de cables de tensión superior o igual a 1 kV orientada a distribución (no edificación) tanto en BT como en MT ofrece valores para cables trenzados tipo RZ de cobre (**POLIRRET FERIEX CPRO**) o AL RZ de aluminio (**AL POLIRRET CPRO**) para cuando se prevé la acción solar directa sobre el tendido, pero sólo para estos tipos de cable. Los coeficientes aplicados varían entre 0,85 y 0,95 según la sección.

■ ■ La norma antecesora de la UNE 211435 fue la UNE

20435 (ya anulada) y en ella sí que se encontraba una orientación para reducir las intensidades admisibles en el apartado 3.1.2.1.4. *(El coeficiente de corrección que deberá aplicarse en un cable expuesto al sol es muy variable. Se recomienda 0,9).*

Cuando no se tiene idea del nivel de afección del sol al tendido es bueno disponer de un coeficiente que al menos nos orienta, aunque su aplicación general sea para distribución y la norma esté anulada. Al menos, invita a no obviar en los cálculos esta influencia térmica.

Quizá más importante puede ser saber la sobreelevación de temperatura estimada en los cables por su exposición al sol. En la siguiente tabla podemos encontrar los incrementos de temperatura estimados en el cable en función de su diámetro exterior, respecto al estándar de temperatura ambiente en España a la sombra (40 °C) para cálculos de conductores en instalaciones al aire.

DIÁMETRO DEL CABLE (mm)	20	40	60	80
SOBREELEVACIÓN DE TEMPERATURA (°C)	10	18	24	28

En la tabla se observa como el incremento de temperatura depende fuertemente de la superficie de exposición al sol.

Por tanto para la mayoría de los cables de BT cuyo diámetro suele ser inferior a 20 mm en las condiciones estándares de temperatura (40 °C) deberemos corregir la intensidad admisible según el coeficiente correspondiente a 50 °C. En el caso de cables para MT o multipolares de elevada sección para BT, el diámetro exterior de los cables más habituales ronda los 40 o 60 mm lo que nos lleva a calcular la intensidad máxima admisible para una temperatura de 58 °C o 64 °C respectivamente.

Al respecto de la exposición de los cables al sol no debe perderse de vista lo que dice el REBT en su ITC-BT 30 pto. 2 donde se asemeja la intemperie a un local mojado y se exige la instalación de los cables bajo canalización estanca. Lo que llevaría a pensar que en BT sólo se admite expresamente el empleo en intemperie de los cables trenzados RZ (tipo **POLIRRET FERIEX CPRO**) y AL RZ (tipo **AL POLIRRET CPRO**) por estar expresamente admitidos (cables diseñados bajo norma UNE 21030 en ITC-BT 06) para redes tensadas o posadas en el exterior sin necesidad de conducto.

Igualmente recordamos que los cables de más habitual uso en BT (**AFUMEX CLASS 1000 (AS)** → RZ1-K (AS),

RETENAX CPRO FLEX → RV-K...) están expresamente admitidos para instalaciones exteriores sin tubo o conducto según refleja la guía de utilización de sus respectivas normas de diseño. En resumen son técnicamente aptos para la intemperie pero **expresamente no lo admite la reglamentación española**. Aunque maticemos que a estas alturas alguna disposición regional racionalmente admite cables con cubierta en bandeja a la intemperie en determinadas zonas sin acceso al público en general.

Un caso especial de exposición al sol son cables tipo **P-SUN 2.0 CPRO** o **TECSUN H12222-K**, especialmente pensados y garantizados para prestar servicio 30 años en las condiciones de una instalación fotovoltaica. Estos tendidos de intemperie rara vez se instalan bajo tubo o canal protectora cuando la canalización discurre por la superficie. Se encarece la instalación y se dificulta la ventilación de la misma cuando el producto instalado está ideado para soportar las condiciones ambientales de una instalación cuya exposición a la radiación del sol y a otros agentes atmosféricos está fuera de toda duda.



Los cables **P-SUN 2.0 CPRO** y **TECSUN H12222-K** están pensados para soportar las exigencias de una instalación fotovoltaica durante 30 años.

■ **20. Reducción de la potencia perdida por efecto Joule en los conductores, por reducción de la intensidad de corriente respecto al valor máximo admisible.**

Sabemos que no podemos pensar que un conductor transporte el 100 % de la intensidad máxima admisible para su sistema de instalación porque es necesario intercalar una protección entre el valor de intensidad de funcionamiento del cable y el máximo admisible, de esta forma si superamos los valores calculados el circuito quedará interrumpido sin peligrar la integridad del cable y de la instalación.

En la siguiente tabla observamos el importante efecto de la reducción de potencia perdida en los conductores de una línea por limitación de la intensidad de corriente que circula por la misma. Una reducción del 20 % respecto al valor máximo admitido para el conductor en su sistema de instalación lleva aparejado una reducción de pérdidas térmicas del 40 % y si la intensidad admisible se rebaja en un 30 % las pérdidas bajarán hasta el 55 %. No existe proporcionalidad lineal puesto que como sabemos el efecto Joule es función cuadrática de la intensidad que recorre el conductor ($P = R \cdot I^2$).

Es importante tener presentes estos valores para extraer la moraleja de que la generosidad con las secciones de



■ **Criterio de la intensidad admisible.**

Si observamos la norma de referencia para las intensidades admisibles en instalaciones en edificios (instalaciones interiores o receptoras en general) UNE-HD 60364-5-52 que adopta la norma internacional IEC 60364-5-52, tras el punto B.52.6.2 encontramos la NOTA 1 del apartado Notas generales para las tablas que dice textualmente: ... *Las corrientes tabuladas hacen referencia al funcionamiento en régimen permanente (factor de carga 100 %) en corriente continua o en corriente alterna de frecuencia nominal 50 o 60 Hz.*

Es decir, el cálculo por el criterio de la intensidad admisible no varía porque la instalación sea para una frecuencia de 50 o 60 Hz para las secciones habituales de conductor (los valores tabulados llegan hasta un máximo de 630 mm² en algún sistema de instalación concreto si bien las secciones de conductor más comunes en stock no suelen superar los 300 mm² y sólo en algunos tipos de cable).

conductor no es sinónimo de gasto innecesario en un entorno de tarifas crecientes desenganchadas del IPC.

REDUCCIÓN DE LA INTENSIDAD QUE CIRCULA POR LOS CONDUCTORES, EN % RESPECTO A LA INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE	REDUCCIÓN DE POTENCIA PERDIDA EN LOS CONDUCTORES (%)
0	0
10	21
20	40
30	55
40	68
50	78
60	86
70	92
80	97
90	99
100	100

■ **21. Cálculos de sección a 50 y a 60 Hz en BT.**

En los tiempos que corren es fácil encontrarse con proyectos para instalaciones eléctricas que funcionan a 60 Hz de frecuencia en lugar de 50 Hz (frecuencia industrial en España). Estudiemos si hay mucha diferencia para nuestros cálculos de sección de conductor.

Estrictamente sabemos que la intensidad admisible depende de la resistencia del conductor y de la resistencia térmica del entorno. Y al depender la resistencia en corriente alterna de la frecuencia (efectos piel y proximidad, ver UNE 21144 o IEC 60287) hay una variación de la misma al alza al aumentar la frecuencia pero como vemos la norma lo considera despreciable para este salto pequeño de sólo 10 Hz.

Como ejemplo tenemos los siguientes incrementos de resistencia por aumentar la frecuencia de 50 a 60 Hz:

$$240 \text{ Al} \rightarrow \Delta R_{50 \rightarrow 60 \text{ Hz}} = 0,2 \%$$

$$240 \text{ Cu} \rightarrow \Delta R_{50 \rightarrow 60 \text{ Hz}} = 0,7 \%$$

$$500 \text{ Al} \rightarrow \Delta R_{50 \rightarrow 60 \text{ Hz}} = 1,5 \%$$

$$500 \text{ Cu} \rightarrow \Delta R_{50 \rightarrow 60 \text{ Hz}} = 3,4 \%$$

NOTA: se recuerda que las intensidades admisibles son las mismas si el conductor es rígido como si es flexible. La norma UNE-HD 60364-5-52 (e IEC 60364-5-52) no ofrece valores distintos.

■ Criterio de la caída de tensión.

La caída de tensión en una línea depende esencialmente de la resistencia eléctrica de la misma y a partir de cierta sección (que puede ser 35 mm² para conductores de cobre y 70 mm² para conductores de aluminio) la reactancia de la línea empieza a tener su influencia en la misma.

Cómo hemos visto en el apartado anterior el paso de 50 a 60 Hz no implica una elevación significativa de la resistencia para las secciones de habitual uso.

La variación de la reactancia si es fácilmente cuantificable dado que como sabemos la reactancia se puede expresar:

$$X = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

Dónde L es el coeficiente de inducción mutua y es un valor que depende de la geometría de los conductores del tendido y de su disposición no de la frecuencia. (Ver apartado K, pto. 6).

$$X_{50 \text{ Hz}} = 2 \times \pi \times 50 \cdot L$$

$$X_{60 \text{ Hz}} = 2 \times \pi \times 60 \cdot L$$

$$X_{60 \text{ Hz}}/X_{50 \text{ Hz}} = 1,2 \rightarrow \text{incremento del 20 \% en la reactancia}$$

Si tenemos en cuenta que, según leemos en la norma UNE-HD 60364-5-52 y la norma francesa UTE C 15-105 y cómo se puede demostrar con cálculos, con carácter general podemos tomar como valor para la reactancia de una línea 0,08 Ω/km independientemente de la sección del conductor, disposición (tresbolillo o en el mismo plano) y sistema de instalación, tendremos el valor de 0,096 Ω/km como valor generalmente admisible para cálculos de líneas en BT a 60 Hz. (Ver fórmulas de cálculo de sección con influencia de la reactancia en el apartado E)

■ Criterio del cortocircuito.

La fórmula del calentamiento adiabático es:

$$I_{cc}^2 \cdot t_{cc} = K^2 \cdot S^2 \cdot \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)$$

Ni la intensidad de cortocircuito (I_{cc}), ni el tiempo de actuación de las protecciones (t_{cc}) varían con la frecuencia. Tampoco la sección del conductor (S), las temperaturas inicial (θ_i) o final (θ_f) ni la inversa del coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura (β). Finalmente K, que es una constante que depende del material conductor utilizado y del aislamiento, tampoco se ve alterada por la frecuencia por lo que los resultados del cálculo no se verán afectados por el cambio de frecuencia de 50 a 60 Hz. Cuando se calculan conductores por el criterio de cortocircuito debemos tener en cuenta que las reactancias de los mismos aumentan un 20 % (60/50 = 1,2) por pasar de 50 a

60 Hz. La reactancia de referencia en las líneas será pues 0,096 Ω/km en ausencia de datos más precisos (0,08 Ω/km x 1,2 = 0,096 Ω/km).

Al aumentar la reactancia y por tanto las impedancias del circuito los valores de intensidad de cortocircuito para los que se considere la reactancia en su cálculo tendrán a 60 Hz un valor inferior al de 50 Hz.

■ Conclusiones

Vemos que si estamos acostumbrados a hacer cálculos en corriente alterna a 50 Hz, para obtener secciones de conductor a 60 Hz sólo debemos considerar el aumento de la reactancia cuando esta influye al calcular por el criterio de la caída de tensión (recomendamos que así sea para $S_{Cu} \geq 35 \text{ mm}^2$ y $S_{Al} \geq 70 \text{ mm}^2$) o a la hora de calcular el cortocircuito en la línea donde las reactancias aumentan un 20 %. Tal incremento de reactancia inductiva influye además poco para los cálculos de las secciones de conductor convencionales de uso siempre bajo el supuesto de líneas en las que los armónicos no tengan mucha presencia.

NOTA: la norma UNE HD 60364-5-52 es la versión oficial, en español, de la norma internacional IEC 60364-5-52 (2009), por lo que también tiene correspondencia con esta norma de referencia internacional.

Asimismo, recordar que los valores de intensidades en estas normas se derivan de acuerdo con los métodos dados en la norma IEC 60287, utilizando las dimensiones especificadas en la norma IEC 60502, con las resistencias de conductor dadas en la norma IEC 60228.

■ 22. Nuevas normas de diseño para cables de BT.

Se publicó en el 2012 la nueva norma UNE-EN 50525 "Cables eléctricos de baja tensión. Cables de tensión asignada inferior o igual a 450/750 V (Uo/U)", que es la trasposición de la norma europea EN 50525 y que comporta la anulación de las siguientes normas de referencia para cables armonizados:

UNE 21027 – Cables aislados con goma de tensiones asignadas Uo/U inferiores o iguales a 450/750 V. (Cables tipo **FLEXTREME**, **AFUMEX CLASS PANELES**, **AFUMEX EXPO...**)

UNE 21031 – Cables aislados con policloruro de vinilo de tensiones asignadas Uo/U inferiores o iguales a 450/750 V. (Cables tipo **WIROPOL CPRO RÍGIDO**, FLEXIBLE Y GAS).

Además de su actualización técnica, esta norma supone una racionalización de la estructura normativa para los cables de baja tensión armonizados, agrupando por su utilización prevista en lugar del material de aislamiento los cables.

La norma UNE-EN 50525 consta de las siguientes partes:

Parte 1: Requisitos generales.

Parte 2: Cables de utilización general.

Parte 3: Cables con propiedades especiales ante el fuego.

Cada una de estas partes se subdivide teniendo en cuenta su utilización según sean cables flexibles, unipolares con o

sin cubierta para instalaciones fijas y cables para aplicaciones especiales.

Como caso particular se encuentra la norma UNE 211002 (cables tipo **AFUMEX CLASS 750 V (AS)**), las características constructivas de los tipos de cable armonizados incluidos en ella se encuentran también en la mencionada serie UNE-EN 50525.

CABLES DE LA SERIE UNE 21027 (ANULADA)

ANTERIOR		DESIGNACIÓN DEL CABLE	NOMBRE PRYSMIAN	ACTUAL	
NORMA DISEÑO	TÍTULO			NORMA DISEÑO	TÍTULO
UNE 21027-4	Cables flexibles	H07RN-F	FLEXTREME	UNE-EN 50525-2-21	Cables flexibles con aislamiento de elastómero reticulado. Cables de utilización general
UNE 21027-9	Cables unipolares sin cubierta libres de halógenos para instalación fija, no propagadores del incendio y con baja emisión de humos	H05Z-K H07Z-K	AFUMEX PANELES FLEXIBLE	UNE-EN 50525-3-41	Cables unipolares sin cubierta con aislamiento reticulado libre de halógenos y baja emisión de humos.
UNE 21027-13	Cables flexibles libres de halógenos y baja emisión de humos.	H07ZZ-F	AFUMEX EXPO	UNE-EN 50525-3-21	Cables flexibles con aislamiento reticulado libre de halógenos y baja emisión de humos. Cables resistentes al calor (90°C)

CABLES DE LA SERIE UNE 21031 (ANULADA)

ANTERIOR		DESIGNACIÓN DEL CABLE	NOMBRE PRYSMIAN	ACTUAL	
NORMA DISEÑO	TÍTULO			NORMA DISEÑO	TÍTULO
UNE 21031-3	Cables unipolares sin cubierta para instalaciones fijas	H05V-U H05V-R H07V-U H05V-K H07V-K	WIREPOL CPRO RÍGIDO WIREPOL CPRO FLEX	UNE-EN 50525-2-31	Cables unipolares sin cubierta con aislamiento termoplástico (PVC). Cables de utilización general.
UNE 21031-5	Cables flexibles	H05VV-F	WIREPOL CPRO GAS	UNE-EN 50525-2-11	Cables flexibles con aislamiento termoplástico (PVC). Cables de utilización general.

CABLES DE LA NORMA UNE 211002

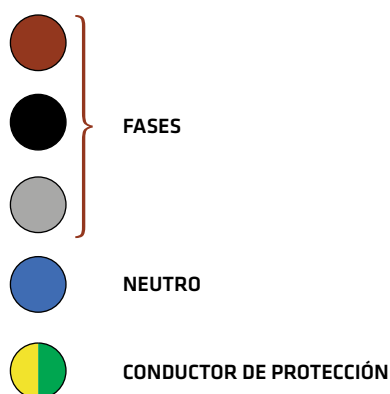
ANTERIOR		DESIGNACIÓN DEL CABLE	NOMBRE PRYSMIAN	ACTUAL	
NORMA DISEÑO	TÍTULO			NORMA DISEÑO	TÍTULO
UNE 211002*	Cables unipolares, no propagadores del incendio, con aislamiento termoplástico libre de halógenos, para instalaciones fijas	H07Z1-K (AS) TYPE 2 ES05Z1-K (AS)	AFUMEX CLASS 750 V (AS)	UNE-EN 50525-3-31 Sin correspondencia	Cables unipolares sin cubierta con aislamiento termoplástico libre de halógenos y baja emisión de humos. Cables para instalaciones fijas

* A diferencia de la serie de normas UNE 21031 y UNE 21027, esta norma UNE no ha sido anulada por la edición de la serie de normas UNE-EN 50525.

NOTA: los cables de la norma UNE- EN 50525 que proceden de las normas anuladas UNE 21027 y UNE 21031 tienen las normas UNE-EN 50565-1 y UNE-EN 50565-2 como guía de utilización

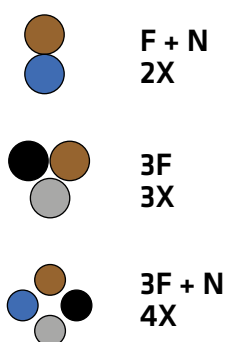
23. Coloración de los conductores.

El apartado 2.2.4 de la ITC-BT 19 del REBT establece la identificación por color de los conductores según su función (fases, neutro o conductor de protección). También la norma UNE 21089-1 (HD 308 S2) contempla las coloraciones de los aislamientos para los cables eléctricos multi-



El color marrón adquiere prioridad como conductor de fase y por ello es el color de fase que aparece en los cables para circuitos monofásicos.

Los cables unipolares con cubierta no tienen diferentes coloraciones de aislamiento asignadas. Debe identificarlos el instalador con señalizadores en la cubierta (GUIA-BT 19).

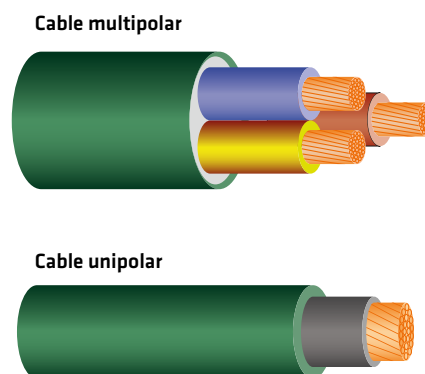


Así un cable 4G16 sabemos que tiene 4 conductores de 16 mm² de sección uno de los cuales es amarillo/verde (y por tanto los otros 3 serán fases: marrón, negro, gris al no tener sentido otra formación pues no es lógico que fueran dos fases + neutro ya que en general los tendidos son trifásicos o monofásicos).

Un cable de 3x25 presenta 3 conductores de 25 mm² de sección. Los colores serán marrón, negro y gris (3 fases). En manos del proyectista o instalador queda incluir un

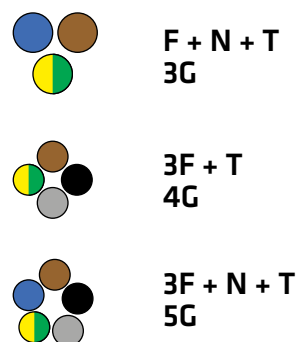
polares entre 2 y 5 conductores (quedan excluidos algunos tipos concretos como cables para corriente continua o cables trenzados para redes aéreas).

Los colores se asignan según la función que va a desempeñar ese conductor en el circuito:



La existencia o no del conductor de protección amarillo/verde va a condicionar la designación del número de conductores y la sección nominal del cable (UNE 20434, tabla 3). Así un cable con conductor amarillo/verde sustituirá el símbolo X por G (Ground = tierra).

Las designaciones quedarán pues como sigue:



conductor unipolar de protección adicional para el circuito en que aplique el cable.

En la tabla A.1. de la norma UNE-EN 60446 (IEC 60446) encontramos expresamente citado que *no es necesaria ninguna recomendación* para las coloraciones de conductores en tendidos de corriente **continua**. Es decir, queda abierta la identificación por color. Sí nos habla de un código alfanumérico para identificar el conductor positivo y el negativo (L+ y L-).

■ **24. Cables unipolares y cables multipolares. Cuándo utilizarlos.**

Más allá del cálculo de la sección de los conductores de una línea tenemos la elección de cables unipolares o cables multiconductores para ejecutar los tendidos. Veamos consideraciones a tener en cuenta para facilitar la tarea del instalador.

Una vez obtenida la sección de los conductores de una línea eléctrica en muchas ocasiones queda en manos del instalador en obra elegir cables de un solo conductor o no. Hay criterios técnicos que pueden ayudar a quedarnos con la opción más adecuada.

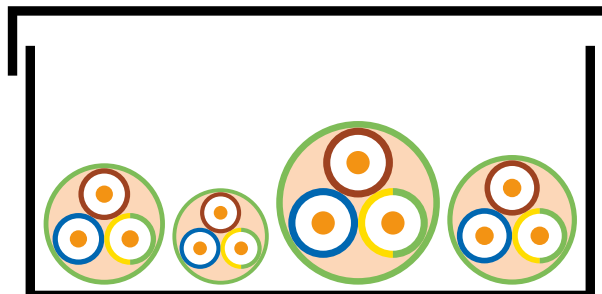
Para empezar señalaremos lo más importante, y es que si una línea está calculada para cable multiconductor, se pueden utilizar cables unipolares puesto que los circuitos constituidos por agrupación de cables unipolares soportan mayor intensidad admisible que si se utiliza cable multiconductor. La disipación térmica se ve perjudicada cuando una cubierta “abraza” varios conductores aislados (ver *UNE-HD 60364-5-52*) aunque poco cuantitativamente.

Por ejemplo, si en una bandeja perforada disponemos 4 conductores unipolares (3 fases + neutro) **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** de 1x70 para alimentación trifásica la máxima intensidad admisible que soportará será de 243 A (XLPE3, instalación tipo F) mientras que si se opta por instalar el mismo tipo de cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** pero de 4x70 la intensidad máxima se reduce hasta los 223 A (XLPE3, instalación tipo E).

De todo esto se deduce que a efectos técnicos se puede pasar de cables multipolares a unipolares, pero no al revés (salvo que se hagan las comprobaciones necesarias).

Cuando existe la posibilidad de confundir conductores de un circuito con los de otro se recomienda el uso de cables multiconductores, así, cada cable contendrá todos los

conductores de un solo circuito. Por ejemplo, en las canaladuras de difícil acceso a lo largo de su recorrido que contienen dos o más circuitos como canalizaciones verticales que contengan varias derivaciones individuales en edificios.



En canales protectoras lo idóneo es instalar cables multipolares para no confundir conductores de diferentes circuitos.

Teniendo en cuenta todo lo anterior la manejabilidad del cable es el factor crítico para decidir. Los cables multiconductores precisan de bobinas más voluminosas y pesadas y su tendido exige radios de curvatura muy superiores a cables unipolares, dado que este es función del diámetro exterior del cable.

¿Dónde estaría el límite en el que empezar a pensar en cables unipolares en lugar de multipolares? Podríamos decir que cuando se trata de tendidos interiores con las lógicas limitaciones de espacios y radios de curvaturas, se suele pensar en cables unipolares cuando las secciones superan los 35 mm². Este valor podría ser una referencia orientativa.

Por supuesto si disponemos de espacio y medios necesarios para manejo de grandes bobinas se pueden instalar cables de hasta 4x240. Puede ser el caso de instalaciones directamente enterradas o tendidos cortos poco sinuosos. (Ver tabla comparativa de datos del cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** de 4x240 y la alternativa unipolar de 1x240).

CABLE	PESO	DIÁMETRO EXTERIOR	RADIO DE CURVATURA	DIÁMETRO DE BOBINA	CAPACIDAD BOBINA
	kg/m	mm	mm	mm	m
AFUMEX CLASS 1000 V (AS) 4x240	10,6	64,4	386	2200	250
AFUMEX CLASS 1000 V (AS) 1x240	2,4	28,6	143	1400	800

(Valores aproximados)

NOTA: para conocer los radios de curvatura de los cables de BT se ruega consultar el apartado H.

Los cables multipolares permiten agrupar todos los conductores de un circuito bajo una misma cubierta con la correcta coloración de cada aislamiento para identificar fácilmente la función del conductor (marrón, negro y gris para las fases, azul para el neutro y amarillo/ verde para el conductor de protección). Los cables unipolares de 0,6/1

kV no tienen diferentes coloraciones asignadas, los cables tipo **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** tienen cubierta verde, los **RETENAX CPRO FLEX** de color negro, etc. Por ello, precisan de una identificación a instalación acabada que corre por cuenta del instalador.

La GUIA-BT 19 nos sugiere como identificar los conductores unipolares de 0,6/1 kV en el punto 2.2.4: *Los cables unipolares de tensión asignada 0,6/1 kV con aislamiento y cubierta no tienen aplicadas diferentes coloraciones, en este caso el instalador debe identificar los conductores mediante medios apropiados, por ejemplo mediante un señalizador o argolla, una etiqueta, etc.. en cada extremo del cable.*

No es una solución inteligente siempre pensar en cables unipolares de 0,6/1 kV con diferentes coloraciones de aislamiento. Nos olvidaríamos del problema de la identificación pero se multiplicarían los stocks y deberíamos ir provistos de una voluminosa bobina para cada color en la mayoría de los casos cuando en la situación actual con un solo color tenemos para todos los conductores del tendido salvo el conductor de protección que en secciones superiores a 16 mm² sabemos que puede ser de la mitad del valor de las fases. El neutro debe ser igual a las fases salvo justificación por cálculo (ITC-BT 19, pto. 2.2.2 último párrafo).

■ 25. Designación de los cables para BT.

Los cables eléctricos aislados de tensión asignada hasta 450/750 V se designan según las especificaciones de la norma UNE 20434 (Sistema de designación de los cables). Esta norma corresponde a un sistema armonizado (Documento de armonización HD 361 de CENELEC) y por lo tanto estas especificaciones son de aplicación en todos los países de la Unión Europea.

El sistema utilizado es una secuencia de símbolos en el que cada uno de ellos, según su posición, tiene un significado previamente establecido en la norma.

Los cables de tensión asignada 0,6/1 kV no están armonizados, por lo que este sistema de designación no les es de aplicación. Existen discrepancias y contradicciones entre ambos sistemas de designación, ya que el mismo símbolo puede tener significados distintos según se trate de un cable 450/750 V o un cable 0,6/1 kV. Si bien existen muchos paralelismos. En la tabla siguiente se han incluido los símbolos de más frecuente utilización:

REFERENCIA A:	SÍMBOLO	SIGNIFICADO
Correspondencia con la normalización	H ES	Cable según normas armonizadas. Cable de tipo nacional (no existe norma armonizada).
Tensión asignada	05 07	300/500 V 450/750 V
Aislamiento	Z1 Z V R	Mezcla termoplástica a base de poliolefina con baja emisión de gases corrosivos y humos. Mezcla reticulada a base de poliolefina con baja emisión de gases corrosivos y humos. Policloruro de vinilo. Goma natural o goma de estireno-butadieno.
Revestimientos metálicos	C4	Pantalla de cobre en forma de trenza, sobre el conjunto de los conductores aislados reunidos.
Cubierta	Z1 Z V N	Mezcla termoplástica a base de poliolefina con baja emisión de gases corrosivos y humos. Mezcla reticulada a base de poliolefina con baja emisión de gases corrosivos y humos. Policloruro de vinilo. Policloropreno (o material equivalente).
Tipo de conductor	-K -R -U -F	Flexible para instalaciones fijas (clase 5 de UNE-EN 60228). Rígido, de sección circular, de varios alambres cableados (Clase 2 de UNE-EN 60228). Rígido, de sección circular, de un solo alambre (Clase 1 de UNE-EN 60228). Flexible para servicios móviles (Clase 5 de UNE-EN 60228).

A modo de ejemplo podemos ver que el cable tipo **WIREPOL CPRO RÍGIDO** (H07V-R) es cable según normas armonizadas (H) de tensión asignada 450/750 V (07) con aislamiento de PVC (V) y con conductor rígido de varios hilos (-R).

El cable tipo **AFUMEX EXPO** (H07ZZ-F) es también cable según normas armonizadas (H) con tensión asignada 450/750 V (07) con aislamiento de mezcla reticulada (termoestable) con baja emisión de gases corrosivos y humos (Z), cubierta del mismo tipo de material (Z) y flexible para servicios móviles (-F).

■ 26. Las unidades del sistema internacional y los cables.

Las unidades del sistema internacional están muy presentes tanto en los cálculos como en las designaciones de los cables, como sabemos afectan a casi todos los ámbitos de nuestra vida. Quizá sea conveniente recordar la convención oficial acerca de la escritura de las unidades y los valores numéricos, es muy posible que se encuentre con sorpresas.

Si, por ejemplo, alguien solicitara una partida de cable escribiendo en un papel o en un mail: 180 M.

AFUMEX CLASS 1000 V (AS) 3G16, 0'6/1KV, se entiende lo que se ha escrito, pero asimismo existen errores en la expresión de los símbolos de las unidades.

La escritura correcta sería:

180 m **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** 3G16, 0,6/1 kV

El RD 2032/2009 establece el Sistema Legal de Unidades de Medida. Ojeando su contenido nos encontramos interesantes detalles, toda vez que cualquier profesional del campo de la técnica va a manejar algún tipo de unidad sea cual sea la disciplina a la que se dedique y en general cualquier persona se va a encontrar con las unidades de medida en el día a día.

Es frecuente error encontrarse mal escritos los símbolos de las unidades del sistema internacional (SI). Añadir una s en el plural, escribirlos seguidos de punto o utilizar arbitrariamente las mayúsculas son algunas de las incorrecciones más usuales.

Recurrimos al capítulo I del RD 2032/2009 para recordar que el símbolo de metro es m, y el de segundo s. El producto de dos o más unidades se indica con preferencia por medio de un punto, que es suprimible si no se puede confundir con otro símbolo unidad múltiplo o submúltiplo. Así, un N·m se puede escribir como N m pero no como mN (milinewton). Por cierto que este producto de símbolos es el newton metro, siendo N/m newton por metro.

Los símbolos que corresponden a unidades derivadas de nombres propios, se escriben con mayúscula en su letra inicial. Por ejemplo T para el tesla o Hz para el hercio y también los símbolos de prefijos de múltiplos, como mega (M), tera (T), giga (G), salvo deca (da), hecto (h) y kilo (k). El nombre de la unidad es con inicial minúscula. Por ejemplo: julio (J), vatio (W), voltio (V), ohmio (Ω), etc.

Las comas que separan los decimales de la parte entera de las cantidades, deben ir siempre abajo (en la línea de

escritura). Y curiosamente no se debe utilizar el punto para separar las unidades de mil de las centenas, ni los millones de las centenas de millar, se debe hacer mediante un espacio o sin utilizar separador alguno, p.e.: sería correcto escribir 7478,2 o 7 478,2 pero no está aceptado oficialmente 7.478,2.

Nos encontramos otro error frecuente de escritura cuando la cantidad y el símbolo de la unidad se encuentra unidos, así 35 mm² es correcto y no 35mm².

Recomendamos la lectura del RD 2032/2009 para más detalles interesantes sobre las unidades legales de medida.

■ 27.- Secciones de conductor ¿de dónde provienen?

Los números normalizados sirven para unificar valores de sección de conductor y con ello limitar las referencias de productos para racionalizar tanto la gestión de fabricaciones o de stocks o simplificar los cálculos entre otras ventajas.



Las secciones de conductor se obtienen a partir de potencias decimales.

La serie de números que se emplea para las secciones eléctricas de conductor es también referencia para otros componentes como por ejemplo para las intensidades nominales de los interruptores automáticos.

Si obtenemos la potencia de base diez (antilogaritmo) de los números a partir de cero con intervalos de una décima y tomamos valores alternos, por redondeo conseguiremos la serie de los primeros números normales que aplican a los cables eléctricos. Lo entenderemos fácilmente observando la siguiente tabla.

x	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
10 ^x	1	1,26	1,58	2	2,51	3,16	3,98	5,01
SECCIÓN	1		1,5		2,5		4	

x	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
10 ^x	6,31	7,94	10	12,59	15,85	19,95	25,11	31,62
SECCIÓN	6		10		16		25	

Las secciones superiores a 25 mm² actuales se obtuvieron por ajuste posterior de los números de la serie si bien

inicialmente siguieron la misma lógica dejando de ser alternos a partir de 25 mm².

x	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3
10 ^x	39,81	50,12	63,10	79,43	100,00	125,89	158,49	199,53
SECCIÓN INICIAL	40		63		100		160	
SECCIÓN EN USO	35	50	70		95	120	150	185

x	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1
10 ^x	251,19	316,23	398,11	501,19	630,96	794,33	1000,00	1258,93
SECCIÓN INICIAL	250	300	400	500	630	800	1000	
SECCIÓN EN USO	240	300	400	500	630	800	1000	

■ 28. Elección de la tensión asignada de los cables en BT.

Calcular la sección de un conductor es algo bastante conocido, pero hay otro parámetro a tener en cuenta cuando se calcula un tendido, el nivel de aislamiento o tensión asignada que no se obtiene sólo conociendo la tensión eléctrica del tendido, sino que viene fijado por la ITC-BT 20 que contiene, con carácter general, valores mínimos obligatorios para cada sistema de instalación.

Si sabemos que una instalación de vivienda funcionará a 230 V de tensión no hacemos lo correcto si instalamos un cable de 300 V de tensión asignada* compuesta dado que el REBT exige valores mínimos de tensión asignada según el sistema de instalación. Tales valores suelen ser bastante mayores que las tensiones de común uso. Repasemos de forma breve las tensiones mínimas exigidas en los diferentes apartados de la ITC-BT 20 (*Instalaciones interiores o receptoras: sistemas de instalación*).

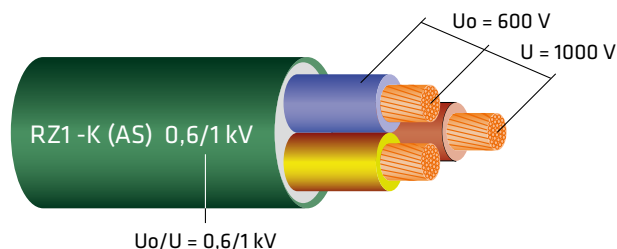
■ ■ ¿Qué es tensión simple (U₀) y tensión compuesta (U)?

Los niveles de aislamiento de los cables de energía también llamados tensión asignada se definen por los valores de tensión simple y tensión compuesta (U₀/U), siendo:

U₀: 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.

AFUMEX CLASS 1000 V (AS)



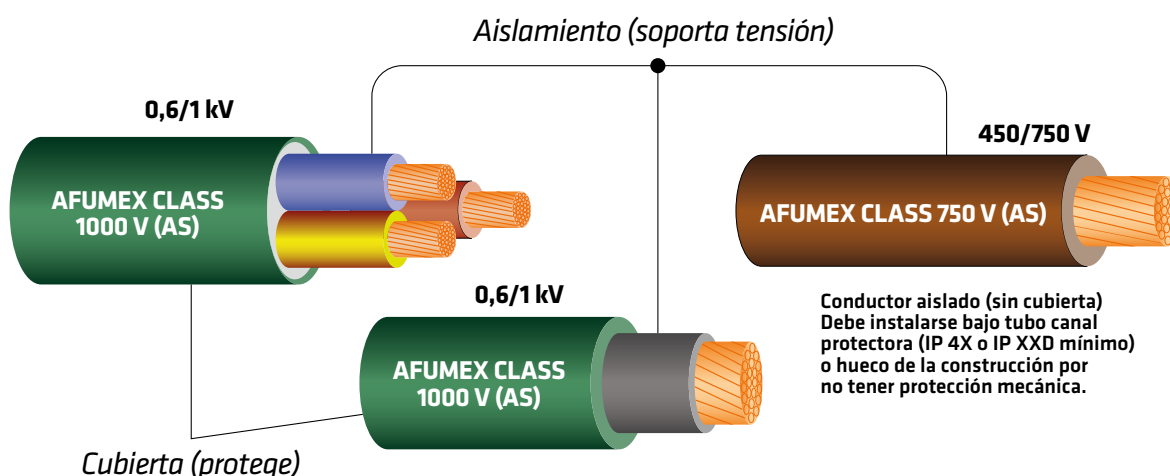
■ ■ Tensión mínima exigida de 450/750 V

- ■ ■ Conductores aislados bajo tubos protectores (*apartado 2.2.1 de ITC-BT 20*).
- ■ ■ Conductores aislados en el interior de huecos de la construcción (*apartado 2.2.6*).
- ■ ■ Conductores aislados bajo canales protectoras de grado IP4X o superior (*apartado 2.2.7*).
- ■ ■ Conductores aislados bajo molduras (*apartado 2.2.7*).

■ ■ Tensión mínima exigida de 0,6/1 kV

- ■ ■ Conductores aislados fijados directamente sobre las paredes (*apartado 2.2.2*)

Se trata de cables a la vista sin protección extra, por lo que el cable debe ir dotado de su propia protección (la cubierta) como exige este apartado de la ITC-BT 20 al prescribir que los cables vayan provistos de aislamiento y cubierta.



Las cubiertas dotan de protección mecánica a los cables.

*Antes conocida como tensión nominal.

■ ■ ■ Conductores aislados enterrados (*apartado 2.2.3*)

La redacción de este apartado es algo ambigua ya que admite que los cables puedan no tener cubierta y tensión asignada 0,6/1 kV. Al remitir a la ITC-BT 07 está admitien-

Cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** con aislamientos en cada conductor y cubierta. Tensión asignada 0,6/1 kV.



La cubierta se exige en estos cables pues al enterrarlos directamente podrían ver dañados sus aislamientos sin esta protección mecánica. Cuando se soterran bajo tubo ya están protegidos por este pero se debe admitir que la fase de tendido puede dañar los aislamientos si se tratara de simples conductores aislados. Además se trata de canalizaciones susceptibles de verse afectados por las filtraciones de agua lo que hace pensar lógica una protección mecánica del cable desde su fabricación dotándole de cubierta y el nivel de aislamiento máximo dentro de la BT (0,6/1 kV).

■ ■ ■ Conductores aéreos (*apartado 2.2.5*)

Este apartado remite a la ITC-BT 06 donde se explica que

do implícitamente ser cables con cubierta y tensión asignada 0,6/1 kV. En esta misma línea se prescriben los cables enterrados en otras ITC-BT como la número 15.

los cables deben ser de tensión asignada no inferior a 0,6/1 kV y cumplir la UNE 21030. Se trata de cables trenzados para redes aéreas tensadas sobre apoyos o posadas sobre fachadas típicamente a la intemperie.



Cables trenzados de cobre **POLIRRET FERIECX CPRO** (UNE 21030-2) y de aluminio **AL POLIRRET CPRO** (UNE 21030-1).



Cables trenzados tipo **AL POLIRRET CPRO** en redes posadas sobre fachada.

Este punto 2.2.5 aplica a los cables que no están dentro del punto 2.2.2, según se lee. Podemos decir que en tal apartado 2.2.2 estarían incluidos los cables grapados en paredes interiores (ver ITC-BT 30 pto. 2) siendo los cables tipo Polirret Feriex CPRO y AL Polirret CPRO aptos para interiores o exteriores.

■ ■ ■ Sin tensión mínima exigida

■ ■ ■ Conductores aislados directamente empotrados en estructuras (*apartado 2.2.4.*)

No se exige un nivel de tensión asignada mínimo pero sí que los cables tengan aislamiento y cubierta. Ver apartado siguiente.

■ ■ ■ Conductores aislados en bandeja o soporte de bandejas (*apartado 2.2.9*).

Los cables instalados en bandeja deben ser aislados y con cubierta. No se exige un nivel de tensión mínimo concreto, si bien es evidente que la tensión compuesta asignada del cable deberá ser igual o superior a la tensión del circuito. Típicamente se emplean los cables de 0,6/1 kV de común uso tipo RV-K (**RETENAX CPRO Flex**) o RZ1-K (AS) (**AFUMEX CLASS 1000 V (AS)**) puesto que responden a la exigencia. Pensar en cables con aislamiento y cubierta y menor nivel de tensión no es práctico puesto que se trataría de pedidos especiales sujetos a mínimos y plazos de fabricación y el coste sería más elevado por fabricarse en menos cantidad.

que los cables de alta rotación de stock como los comentados. Pensar en incorporarlos en stock entrañaría una duplicidad de stocks cuando los cables de 0,6/1 kV son aptos para muchos usos.

Parece lógico pensar en la exigencia de cubierta para los

cables en bandeja o soporte de bandeja dado que se trata de una canal sin tapa y por tanto de deja a la vista el cable con el peligro de que alguna agresión mecánica pueda afectarle. Para ello las cubiertas de los cables protegen conductores y aislamientos.



En las bandejas deben instalarse cables con aislamiento (función eléctrica de soportar tensión) y cubierta (función mecánica de proteger el aislamiento y conductor).

NOTA: a pesar de que en el apartado se dice que no se exige tensión mínima compuesta asignada (U) del cable con carácter genérico, esta debe ser al menos igual o superior a la tensión nominal de la red en todos los casos. Es decir para un tendido en bandeja de 690 V de tensión nominal de red no podemos emplear cualquier cable con cubierta, deberá además ser de una tensión asignada (U) igual o superior a esos 690 V.

■ ■ ■ Otros casos

■ ■ ■ Conductores aislados bajo canales protectoras de grado inferior a IP4X (*apartado 2.2.7*).

Se exigen cables con aislamiento y cubierta de tensión asignada mínima 300/500 V.

■ ■ ■ Instalaciones a tensiones especiales (ITC-BT 37).

Se entienden como tensiones especiales las instalaciones que superan 500 V de valor eficaz en corriente alterna o 750 V de valor medio aritmético en corriente continua. En este caso la tensión asignada exigida al cable no será inferior a 0,6/1 kV.

■ 29. Separación entre cables eléctricos de energía y cables de comunicaciones (UTP, FTP..)

Es sabido que se deben tomar medidas para que los cables de suministros eléctricos no perturben las comunicaciones pues estos últimos transmiten señales débiles, fáciles de alterar por las inducciones electromagnéticas procedentes de las líneas de potencia. Conozcamos las distancias a emplear en los tendidos para asegurar el correcto funcionamiento de las comunicaciones.

El apartado 6 de la norma UNE-EN 50174-2 establece las condiciones para el cálculo de la separación entre los cables de acuerdo con la serie de normas UNE EN 50288 (redes LAN (UTP, FTP..)) y los cables de energía para asegurar que los primeros no se ven afectados por los campos electromagnéticos generados por los últimos afectando a la transmisión de las señales débiles que conducen.

Primeramente se debe conocer la clasificación de separación de los cables de tecnologías de la información (redes LAN) y esta se establece en función del tipo de cable (apantallado, no apantallado, coaxial/doble axial) y de un parámetro de transmisión particular de ese tipo de cable que nos debe facilitar el fabricante en su ficha técnica.

CABLE DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN			
APANTALLADO	NO APANTALLADO	COAXIAL/DOBLE AXIAL	
Atenuación de acoplamiento desde 30 MHz hasta 100 MHz (dB)	Pérdida de conversión transversal (TCL) desde 30 MHz a 100 MHz (dB)	Atenuación de apantallamiento desde 30 a 100 MHz (dB)	Clasificación de separación
≥ 80	≥ 70 - 10 x lg f	≥ 85	d
≥ 55	≥ 60 - 10 x lg f	≥ 55	c
≥ 40	≥ 50 - 10 x lg f	≥ 40	b
< 40	< 50 - 10 x lg f	< 40	a

De acuerdo a la clasificación de separación obtenemos unos valores de base (S) para calcular la distancia mínima

que es necesario prever entre las los tendidos de tecnologías de la información y los de energía.

Clasificación de separación	Separación sin barrera electromagnética (mm)	CANALIZACIÓN APLICABLE AL CABLEADO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN O DE SUMINISTRO ELÉCTRICO		
		Canalización metálica abierta (bandeja rejilla o perforada) (mm)	Canalización metálica perforada (bandeja lisa o perforada menos de 20 % de su superficie) (mm)	Canalización metálica sólida (canal o conducto de acero sin perforar de espesor mínimo 1,5 mm) (mm)
d	10	8	5	0
c	50	38	25	0
b	100	75	50	0
a	300	225	150	0

Estos valores de base han de ser multiplicados por un factor de cableado de suministro eléctrico (P) para obtener la distancia de separación.

La distancia de separación será el producto S x P.

Se recomienda leer la norma UNE EN 50174-2 para ampliar información.

Nº DE VECES CON 20 A EN LA CANALIZACIÓN*	Factor P
1 a 3	0,2
4 a 6	0,4
7 a 9	0,6
10 a 12	0,8
13 a 15	1
16 a 30	2
31 a 45	3
46 a 60	4
61 a 75	5
> 75	6

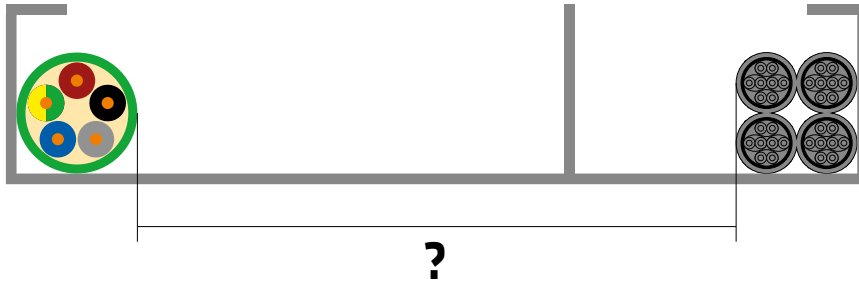
NOTA: Si hubiera requisitos adicionales más restrictivos (mayor separación), contemplados en otras normativas de aplicación, se deberán tener en cuenta.

← (*) Representa el número de veces que hay 20 A en la canalización de energía. Es decir, una línea trifásica con 140 A de intensidad de línea corresponde a 21 veces 20 A (140 A/20 A = 7; 7 x 3 = 21). El factor P en este caso sería 2.

■ ■ Ejemplo

Queremos saber la distancia de separación que debe respetarse entre un tendido de BT con un cable trifásico de

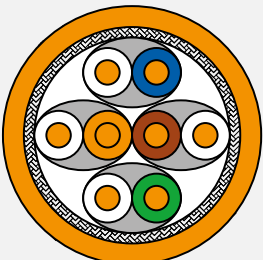
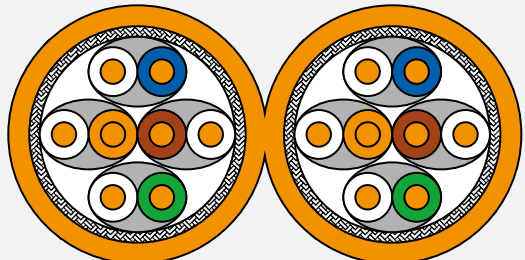
25 A de intensidad de línea y un tendido de cables S/FTP UC900 HS23 Cat. 7 de Prysmian. Empleamos para la canalización una bandeja de PVC perforada con separador de cables de energía y comunicaciones.



Vemos que el cable S/FTP es apantallado por lo que debemos conocer su atenuación de acoplamiento (coupling attenuation) para obtener la clasificación de separación de la primera tabla (ver primera columna).

UC900 HS23 Cat.7

S/FTP

Electrical properties at 20°C ± 5 °C

Loop resistance		≤ 165 Ω/km
Resistance unbalance		≤ 2%
Insulation resistance	(500)	≤ 2000 MΩ*km
Mutual capacitance	at 800 Hz	Nom. 43 nF/km
Capacitance unbalance	(pair/ground)	≤ 1500 pF/km
Characteristic impedance	(1-100) MHz	(100 ± 5) Ω
	(100-250) MHz	(100 ± 10) Ω
	(250-600) MHz	(100 ± 15) Ω
Nominal velocity of propagation		ca. 79∞
Propagación delay		≤ 427 ns/100m
Delay skew		≤ 12 ns/100m
Tesy voltage	(DC, 1 min) core/core and core/screen	1000 V
Transfer impedance	at 1 MHz	20 m/Ωm
	at 10 MHz	30 m/Ωm
	at 30 MHz	40 m/Ωm
	at 100 MHz	200 m/Ωm
Coupling attenuation		75 dB

Vemos en la ficha técnica que la atenuación de acoplamiento es de 75 dB lo que se corresponde con la clasificación de separación c. Al tratarse de una canalización en bandeja de PVC no hay barrera electromagnética de

separación y en la segunda tabla vemos que la separación S de base será de 50 mm. Valor que debemos multiplicar por P para obtener el valor real de separación entre tendidos.

CABLE DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN

APANTALLADO	NO APANTALLADO	COAXIAL/DOBLE AXIAL	Clasificación de separación	Clasificación de separación	Separación sin barrera electromagnética (mm)
Atenuación de acoplamiento desde 30 MHz hasta 100 MHz (dB)	Pérdida de conversión transversal (TCL) desde 30 MHz a 100 MHz (dB)	Atenuación de apantallamiento desde 30 a 100 MHz (dB)			
≥ 80	≥ 70 - 10 x lg f	≥ 85	d	d	10
≥ 55	≥ 60 - 10 x lg f	≥ 55	c	c	50
≥ 40	≥ 50 - 10 x lg f	≥ 40	b	b	100
< 40	< 50 - 10 x lg f	< 40	a	a	300

Calculamos P: $25 A / 20 A = 1,25 \rightarrow 2 \rightarrow$ al ser trifásica $\rightarrow 2 \times 3 = 6$

En la tabla de factor de cableado vemos que para 6 veces 20 A el factor P es 0,4.

La distancia de separación mínima S x P será: $D = S \times P = 50 \text{ mm} \times 0,4 = 20 \text{ mm}$

Si hubiéramos elegido la versión SS (Superscreened) del cable S/FTP UC900 en lugar de HS (High screened) anterior para nuestro tendido de comunicaciones vemos que la ficha técnica nos refleja un valor de atenuación de acoplamiento de 85 dB (ver ficha). Esto nos llevaría a la mejor clasificación de separación (d) y nos permitiría reducir las distancias.

$S = 10 \text{ mm}$
 $P = 0,4$

$D = 10 \text{ mm} \times 0,4 = 4 \text{ mm}$

UC900 SS23 Cat.7

S/FTP

Electrical properties

at 20°C ± 5 °C

Loop resistance		≤ 150 Ω/km
Resistance unbalance		≤ 2%
Insulation resistance	(500)	≤ 5000 MΩ*km
Mutual capacitance	at 800 Hz	Nom. 43 nF/km
Capacitance unbalance	(pair/ground)	≤ 1500 pF/km
Characteristic impedance	(1-100) MHz	(100 ± 5) Ω
	(100-250) MHz	(100 ± 10) Ω
	(250-600) MHz	(100 ± 15) Ω
Nominal velocity of propagation		ca. 79%
Propagation delay		≤ 425 ns/100m
Delay skew		≤ 9 ns/100m
Tesyt voltage	(DC, 1 min) core/core and core/screen	1000 V
Transfer impedance	at 1 MHz	5 m/Ωm
	at 10 MHz	5 m/Ωm
	at 30 MHz	10 m/Ωm
	at 100 MHz	20 m/Ωm
Coupling attenuation		85 dB

■ 30. Galga americana AWG de secciones de conductor.

Las secciones de conductor normalizadas que utilizamos en España están recogidas en la norma IEC 60228 (UNE EN 60228), pero esta norma no es el único referente de uso en el mundo.

El calibre de alambre estadounidense (American Wire Gauge → AWG) está formado por una serie de diámetros cuyo área de círculo se toma como referencia para la fabricación de conductores eléctricos siendo el estándar tanto en Estados Unidos como en muchos países del continente americano.

Las normas estadounidenses ASTM B 496 y ASTM B 400 recogen las características de los conductores de cobre y aluminio respectivamente siguiendo los calibres AWG.

Al igual que ocurre con la serie de números normales de la que obtenemos las secciones de conductor de uso en nuestro país

$$(10^0 = 1; 10^{0,1} = 1,26; 10^{0,2} = 1,58 \approx \mathbf{1,5}; 10^{0,3} = 1,99; 10^{0,4} \approx \mathbf{2,5} \dots),$$

recogidas en la norma UNE EN 60228 (IEC 60228), existe una regla matemática para el cálculo de la serie AWG siguiendo una progresión geométrica aproximada que contiene 40 calibres desde el más pequeño 0,005 pulgadas de diámetro hasta el más grande 0,46 pulgadas y cuya razón es como sigue:

$$Razón = \sqrt[39]{\frac{0,46}{0,005}} \approx 1,123$$

Es decir, pasamos de un diámetro al siguiente multiplicando (aproximadamente) por 1,123. Por ejemplo de AWG 12 (0,808 in) pasamos a AWG 11 (0,0907 in) multiplicando por la razón:

$$0,808 \text{ in} \times 1,123 \approx 0,0907 \text{ in}$$

Y cada diámetro se corresponderá con un área de sección de círculo cuyo valor se recoge en la siguiente tabla:

AWG	DIÁMETRO DEL CONDUCTOR		SECCIÓN DEL CONDUCTOR		SECCIÓN DEL CONDUCTOR NORMALIZADA INMEDIATA SUPERIOR SEGÚN UNE-EN 60228 (IEC 60228)
	Pulgadas (in)	mm	kcmil = MCM = KCM	mm ²	mm ²
1000	10,000	25,40	1000	507	630
900	0,9487	24,10	900	456	500
750	0,8660	22,00	750	380	400
600	0,7746	19,57	600	304	400
500	0,7071	17,96	500	253	300
400	0,6325	16,06	400	203	240
350	0,5916	15,03	350	177,3	185
250	0,5000	12,70	250	126,7	150
0000(4/0)	0,4600	11,68	211,6	107	120
000(3/0)	0,4096	10,40	167,8	85	95
00(2/0)	0,3648	9,266	133,1	67,4	70
0(1/0)	0,3249	8,251	105,5	53,5	70
1	0,2893	7,348	83,69	42,4	50
2	0,2576	6,544	66,37	33,6	35
3	0,2294	6,827	52,63	26,7	35
4	0,2043	5,189	41,74	21,2	25
5	0,1819	4,621	33,10	16,8	25
6	0,1620	4,116	26,25	13,3	16
7	0,1443	3,665	20,72	10,5	16
8	0,1285	3,264	15,52	8,37	10
9	0,1144	2,906	13,08	6,63	10
10	0,1019	2,588	10,38	5,26	6
11	0,0907	2,305	8,23	4,17	6
12	0,0808	2,053	6,53	3,31	4
13	0,0720	1,828	5,17	2,62	4
14	0,0641	1,628	4,10	2,08	2,5
15	0,0571	1,450	3,26	1,65	2,5
16	0,0508	1,291	2,59	1,31	1,5
17	0,0453	1,15	2,05	1,04	1,5
18	0,0403	102,362	1,62	0,823	1
19	0,0359	0,9116	1,29	0,653	1
20	0,0320	0,8128	1,02	0,518	0,75
21	0,0285	0,7119	0,81	0,410	0,5
22	0,0253	0,6438	0,64	0,326	0,5
23	0,0226	0,5733	0,51	0,258	0,5
24	0,0215	0,5461		0,205	
25	0,0179	0,4547		0,162	
26	0,0159	0,4049		0,129	
27	0,0142	0,3606		0,102	
28	0,0126	0,3211		0,081	
29	0,0113	0,2859		0,0642	
30	0,0100	0,2546		0,0509	
31	0,0089	0,2268		0,0404	
32	0,0080	0,2019		0,0320	
33	0,0071	0,1798		0,0254	
34	0,0063	0,1601		0,0201	
35	0,0056	0,1426		0,0160	
36	0,0050	0,1270		0,0127	

Si observamos la tabla contiene valores mayores (con fondo naranja) al correspondiente al mayor calibre comentado ($\varnothing = 0,46''$ que corresponde a AWG (4/0) o 0000):

$$0,46 \text{ in} \times 2,54 \text{ cm/in} = 1,1684 \text{ cm} \rightarrow$$

$$S = \pi \cdot D^2/4 = \pi \times 1,1684^2/4 = 1,0722 \text{ cm}^2 = 107,22 \text{ mm}^2$$

107 mm² como valor de sección máxima sabemos que es pequeño para uso como conductor eléctrico de energía, por ello se optó por ampliar la serie cambiando el criterio de cálculo de los valores de referencia.

Empleando el sistema inglés de medida tenemos:

Mil: para longitudes \rightarrow milésima de pulgada
Circular mil (cmil): para áreas \rightarrow área del círculo de un *mil* de diámetro $\rightarrow S = \pi \times 1/4 = 0,7854 \text{ mil}^2$

Multiplicando el valor anterior por 1000 tendremos el *kcmil* (también conocido como MCM o KCM) $\rightarrow 785,4 \text{ mil}^2$

Si este último valor lo pasamos a mm², teniendo en cuenta que una pulgada es igual a 25,4 mm obtenemos:

$$1 \text{ kcmil} = 785,4 \text{ mil}^2 \times (25,4 \times 10^{-3} \text{ mm/mil})^2 = 0,5067 \text{ mm}^2$$

En la tabla podemos ver que el valor correspondiente al mayor calibre calculado según la progresión geométrica (0,46'') equivale a 211,6 *kcmil*. Para completarla se han tomado valores superiores en *kcmil* redondeados a múltiplos de 50 dejando algunos valores sin tabular.

$$250 \text{ kcmil} \times 0,5067 \text{ mm}^2/\text{kcmil} = 126,7 \text{ mm}^2$$

$$350 \text{ kcmil} \times 0,5067 \text{ mm}^2/\text{kcmil} = 177,3 \text{ mm}^2$$

En la columna derecha se puede observar la sección normalizada según UNE EN 60228 (IEC 60228) inmediata superior a la sección AWG para cuando sea necesario acogerse conductores de fabricación española o de otro país que siga nuestro mismo criterio.

Por ejemplo si necesitamos conductor AWG 2 vemos que su sección es de 33,6 mm² por lo que la sección de conductor a elegir de los stocks Prysmian en España sería 35 mm². Si bien se puede fabricar bajo demanda siguiendo la galga americana AWG.

A la hora de obtener intensidades máximas admisibles para cables según AWG decir que, a falta de otras indicaciones y por si era necesario, la norma UNE 20460-5-523 en su anexo B recoge la fórmula de cálculo de las intensidades admisibles para secciones de conductor indicando que la expresión genera curvas **continuas**, lo que nos facilitaría la obtención de los valores conociendo la sección del conductor en mm², el sistema de instalación, la

naturaleza del conductor (cobre o aluminio) y el comportamiento térmico de su aislamiento (termoplástico (tipo PVC) o termoestable (tipo XLPE)).

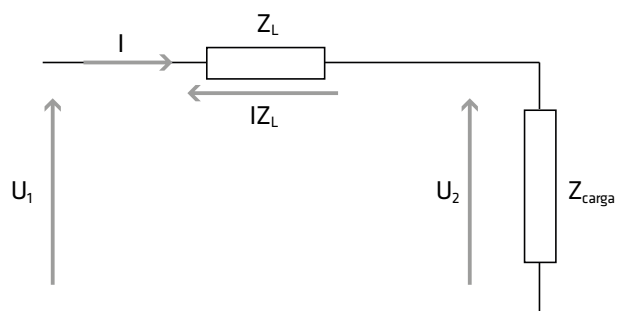
La versión actual de la norma de intensidades admisibles (UNE-HD 60364-5-52) no contiene ya dicho anexo que curiosamente si que figura en su versión matriz, la internacional IEC 60364-5-52 en su anexo D.

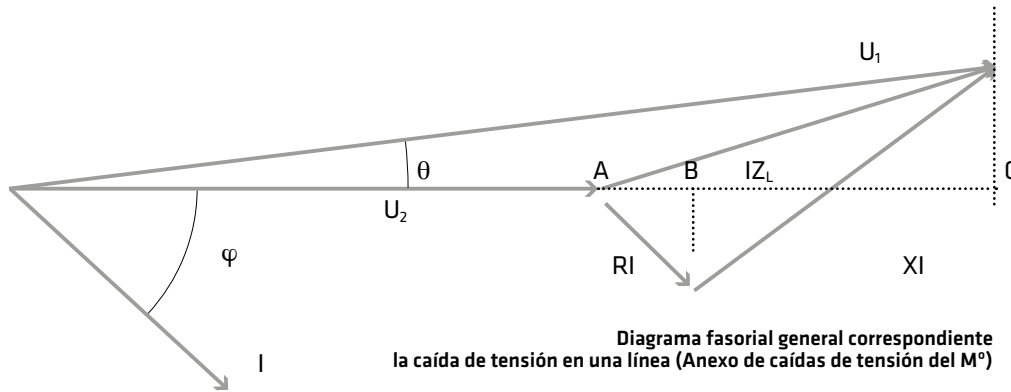
■ 31. Cálculo de la caída de tensión en una línea con fasores.

Es lógico recurrir a simplificaciones para trabajar con módulos de valores eficaces cuando se realizan cálculos en corriente alterna. Esta vez vamos a considerar las partes reales e imaginarias de las diferentes magnitudes que entran en juego en un cálculo sencillo de caída de tensión en una línea eléctrica.

Procedemos a obtener la caída de tensión en una línea de BT empleando fasores que nos ayudarán a obtener un valor más exacto y a comprender con una representación visual los valores calculados.

- Circuito trifásico formado por conductores de fase unipolares **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** de 1x25
- Tensión de línea: $U = 400 \text{ V}$
- Longitud de la línea: $L = 113 \text{ m}$
- Receptor: $P = 50 \text{ kW}$
- $\cos\phi = 0,85$





La impedancia de la línea tendrá la siguiente expresión.

$$Z_L = R + Xj$$

Para calcular R empleamos el valor de resistencia del cable de cobre de 25 mm² a la máxima temperatura 90 °C, ver apartado K, pto. 13.

$$R = 0,995 \Omega/\text{km} \times 0,113 \text{ km} = 0,112 \Omega$$

Recordamos ahora que la norma UNE-HD 60364-5-52 así como la francesa UTE C 15-105 refleja que el valor de 0,08 Ω/km se puede aceptar como reactancia de conductores para cables de BT independientemente de la naturaleza, sección, sistema de instalación y disposición.

$$X = 0,08 \Omega/\text{km} \times 0,113 \text{ km} = 0,009 \Omega$$

$$Z = 0,112 + 0,009j \Omega$$

$$I = P/(\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi) = 50000/(\sqrt{3} \times 400 \times 0,85) = 84,904 \text{ A}$$

Teniendo en cuenta que retrasa el ángulo φ a U_2 que está en el origen de fases (ver *diagrama fasorial*), tenemos:

$$I = 72,169 - 44,726j \text{ A}$$

Es importante recordar trabajamos con valores de tensión de fase dado que el ángulo φ es el formado por el fasor intensidad y el fasor tensión de fase (los valores de tensión de línea adelantan a los de fase en 30°).

Tomaremos, por tanto, como valor de tensión en la carga $400/\sqrt{3}$ V y calculando podemos obtener el valor de alimentación que será similar dado que la caída de tensión se entiende menor al 5%.

$$U_2 = 400/\sqrt{3} \text{ V}$$

Observando el circuito podemos deducir lo siguiente:

$$U_1 = U_2 + IZ_L = 400/\sqrt{3} + (72,169 - 44,726j) \times (0,112 + 0,009j) = 239,459 - 4,376j \text{ V}$$

El argumento de U_1 es $-1,047^\circ$ (U_1 queda en nuestro cálculo ligeramente bajo el eje real, ver diagrama a continuación). Lo que demuestra que el ángulo θ es muy pequeño, suposición inicial cuando se realiza el desarrollo de las fórmulas para el cálculo de la caída de tensión en las líneas. Y en consecuencia refuerza la hipótesis de que IZ_L es aproximadamente igual al segmento AC.

La caída de tensión en la línea será:

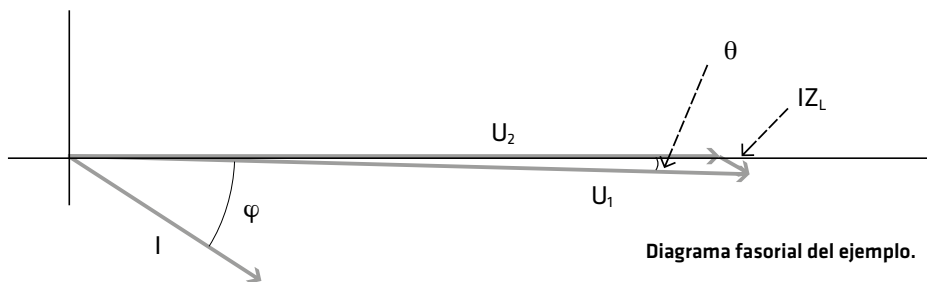
$$\Delta U = U_1 - U_2 = 239,459 - 4,376j - 400/\sqrt{3} = 8,519 - 4,376j \text{ V}$$

$$\Delta U = \sqrt{8,519^2 + 4,376^2} = 9,577 \text{ V}$$

Lo obtenemos porcentualmente:

$$U_1 = 239,459 - 4,376j \text{ V} \rightarrow U_1 = 239,5 \angle -1,047^\circ$$

$$\Delta U (\%) = 9,577/239,5 \times 100 = 4 \%$$



■ 32. Conductores aislados y cables con cubierta.

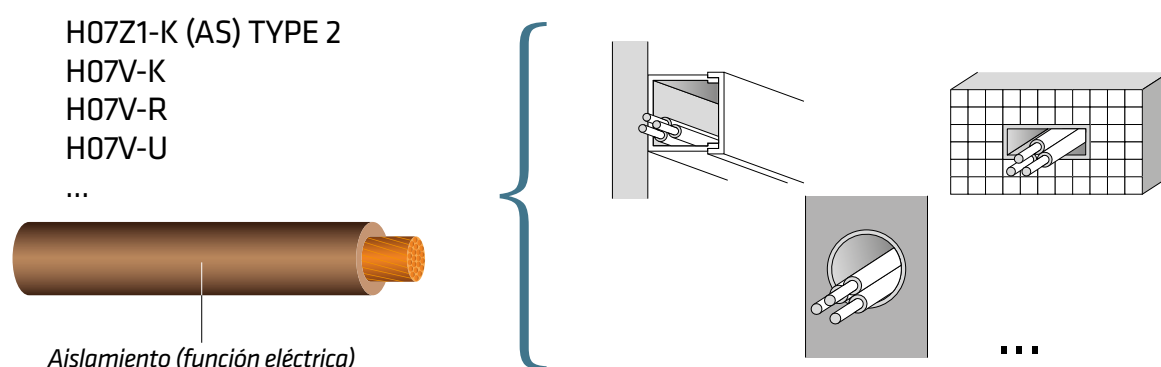
La definición número 36 de la ITC-BT 01 del REBT dice que *conductor aislado* es un conjunto que incluye el conductor, su aislamiento y sus eventuales pantallas.

A efectos prácticos digamos que en general se trata de cables que se componen de conductor y aislamiento. Recurrimos de nuevo a la ITC-BT 01 para definir oficialmente estos componentes:

■ ■ *Conductor de un cable: parte de un cable que tiene la función específica de conducir corriente.*

■ ■ *Aislamiento de un cable: conjunto de materiales aislantes que forman parte de un cable y cuya función específica es soportar la tensión.*

Los conductores aislados no están dotados de una cubierta que les proporcione protección mecánica ya que el aislamiento sólo tiene la función eléctrica de soportar la tensión, y por ello, han de ser instalados bajo tubo o conducto de sección no circular (ver tabla 1 de ITC-BT 20)*. Si se tratara de canal protectora, dado que estas pueden ser perforadas la canal ha de ser grado de protección mínimo IP4X o IP XXD.



Los conductores aislados Prysmian son los siguientes (el resto son cables con cubierta):

AFUMEX CLASS 750 V (AS)	H07Z1-K TYPE 2 (AS) / H05Z1-K (AS)
AFUMEX CLASS HAZ (AS)	H07Z1-K TYPE 2 (AS)
AFUMEX CLASS PANELES Rígido (AS)	H07Z1-R (AS)
AFUMEX PANELES Flex	H07Z1-K
WIREPOL CPRO Flex	H07V-K
WIREPOL CPRO Rígido	H07V-U / H07V-R

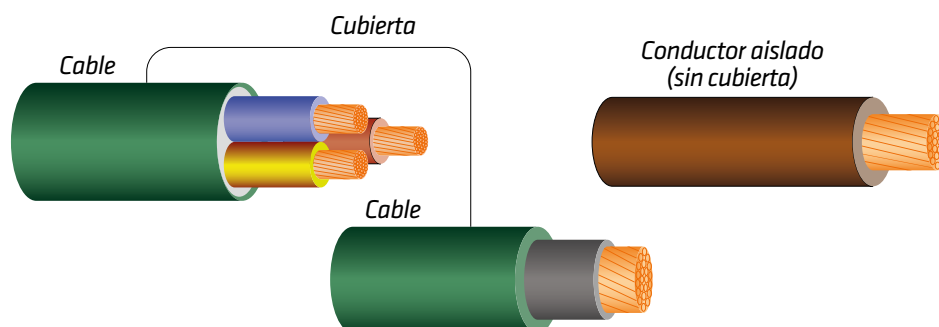
Conjunto constituido por:

- ■ Uno o varios conductores aislados.
- ■ Su eventual revestimiento individual.
- ■ La eventual protección del conjunto.
- ■ El o los eventuales revestimientos de protección que se dispongan.

Puede tener, además, uno o varios conductores no aislados.

Resumiendo, cuando técnicamente se alude a cables se refiere a conjuntos que al menos tienen conductor/es, su/s aislamiento/s y su cubierta.

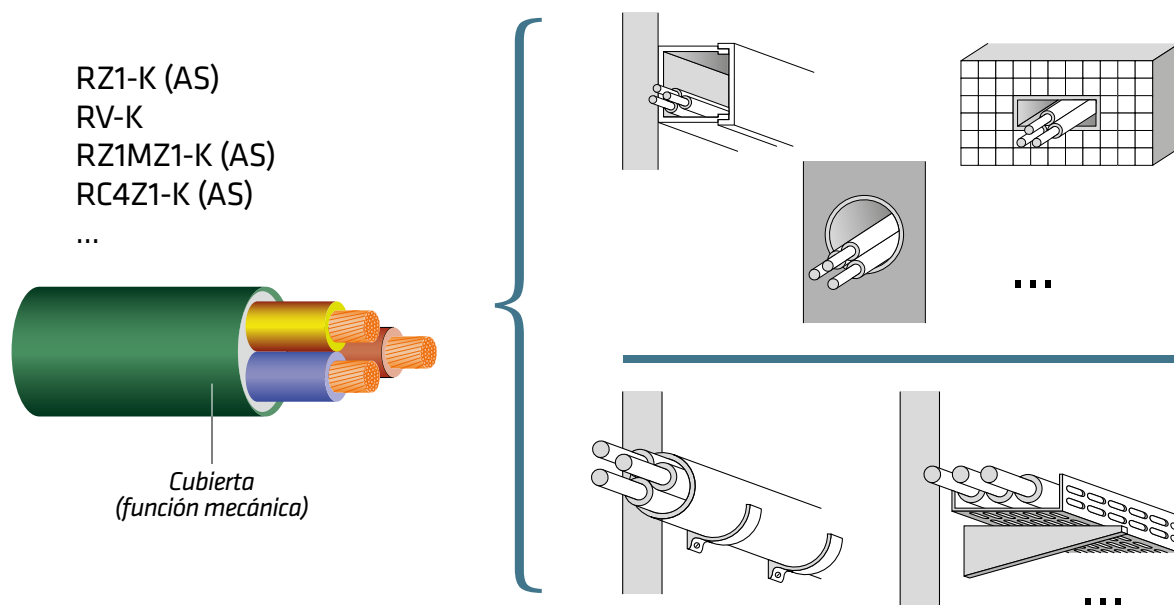
El punto 16 de la ITC-BT 01 del REBT nos define cable como:



(*) También pueden instalarse como conductores desnudos porque el conductor aislado siempre es más seguro que el conductor desnudo.

Como ya hemos avanzado anteriormente, la cubierta dota a los cables de protección mecánica y esto amplía el abanico de sistemas de instalación técnicamente posibles para ese cable, siempre que sea además aceptado por la ITC-BT concreta del REBT le aplique (p.e. un cable con cubierta

puede ser instalado en bandeja pero las bandejas no están permitidas en viviendas por el REBT). Puede así ser instalado en soportes que no supongan una protección mecánica total del cable como puede ser bandeja o abrazaderas.







■ **NO PROPAGACIÓN DE LA LLAMA**

El ensayo de no propagación de la llama (UNE-EN 60332-1-2 e IEC 60332-1-2) consiste en comprobar la ignifugación de una muestra única de cable en posición vertical. En función del diámetro exterior del cable se aplica la llama entre 1 y 8 minutos. El ensayo se considera

superado si el cable no es afectado por el fuego en una longitud superior a 42,5 cm. Actualmente el ensayo controla tanto la propagación vertical hacia arriba como hacia abajo y se ha acotado la longitud máxima afectada en 5 cm respecto a la versión anterior de la reforma.

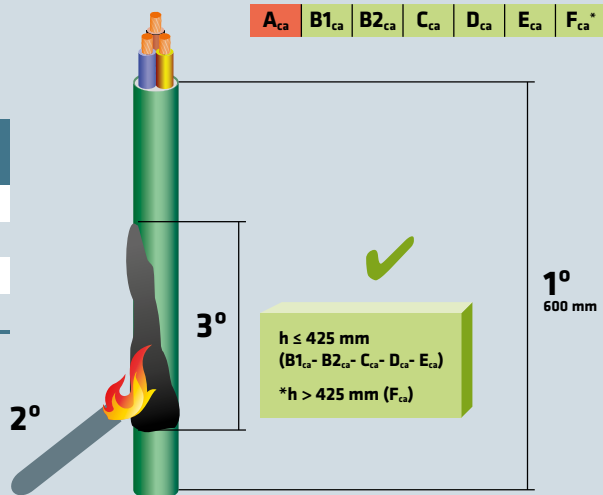


NO PROPAGACIÓN DE LA LLAMA

**UNE-EN 60332-1-2
IEC 60332-1-2**

A_{ca} B1_{ca} B2_{ca} C_{ca} D_{ca} E_{ca} F_{ca}*

DIÁMETRO (mm)	t (s)
D ≤ 25	60
25 < D ≤ 50	120
50 < D ≤ 75	240
D > 75	480



La norma UNE-EN 50399 agrupa la realización de 4 medidas durante el mismo ensayo. Tales pruebas se realizan sobre agrupaciones concretas de cables según su material combustible, disponiendo longitudes de 3,5 m en posición vertical y sometiéndolas a una potencia de llama determinada (20,5 kW salvo para clase B1_{ca} que será de 30 kW) durante 20 minutos y con ello se medirán parámetros de propagación, energía liberada, humos emanados y desprendimiento de partículas incandescentes.

Los valores establecidos para los parámetros a medir según cada clase de reacción al fuego se encuentran recogidos en el R.D. 842/2013 (cuadro 1.1-4).

■ NO PROPAGACIÓN DEL INCENDIO (UNE-EN 50399)



NO PROPAGACIÓN DEL INCENDIO

El ensayo de no propagación del incendio trata de medir el avance de las llamas cuando estos van agrupados ya que es así como suelen disponerse en las canalizaciones y no de forma aislada como en el ensayo anterior.

En función de la clase de reacción al fuego CPR se limita tal propagación entre 1,5 y 2 m (ver dibujo).

La clase C_{ca}-s1b,d1,a1 de referencia para los Afumex Class (AS) limita a 2 m el avance vertical de las llamas. Antes de la entrada en vigor del CPR era de 2,5 m y el caudal de aire era muy inferior. Por lo que es fácil entender que se ha mayorado el nivel de seguridad con los diseños actuales.

■ BAJA EMISIÓN DE CALOR (UNE-EN 50399)

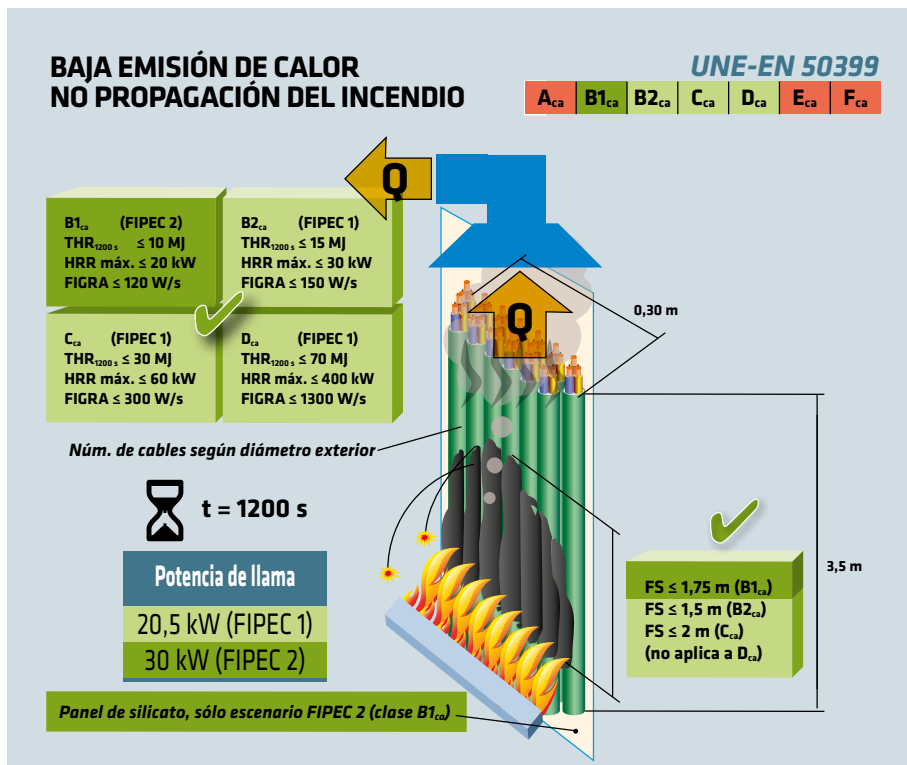


BAJA EMISIÓN DE CALOR

Una de las novedades surgidas con la CPR es someter a los cables a la medición de la energía liberada durante su combustión, estableciendo límites según la euroclase de aplicación (ver dibujo).

En el ensayo se miden 3 parámetros:

- ■ **THR:** desprendimiento total de calor (Total Heat Released).
- ■ **HRR máx.:** máxima velocidad de desprendimiento de calor (Heat Released Rate).
- ■ **FIGRA:** índice de propagación del fuego (Fire Growth Rate).



Lore



BAJA EMISIÓN DE HUMOS

■ BAJA EMISIÓN DE HUMOS (s) (UNE-EN 50399) **NUEVO**

La medición de la opacidad de humos venía siendo habitual para los cables de alta seguridad (AS) pero no su cantidad y velocidad de propagación.

Se trata de un ensayo adicional de aplicación establecen 3 categorías para la medición del humo:

- ■ **s1:** escasa producción y lenta propagación de humo. $TSP_{1200} \leq 50 \text{ m}^2$ y $SPR \text{ máx. } 0,25 \text{ m}^2/\text{s}$.
- ■ **s2:** valores intermedios de producción y propagación de humo: $TSP_{1200} \leq 400 \text{ m}^2$ y $SPR \text{ máx. } = 1,5 \text{ m}^2/\text{s}$.
- ■ **s3:** ni s1, ni s2.

Siendo:

- ■ **TSP₁₂₀₀:** producción total de humo (Total Smoke Production) durante los 20 min (1200 s) que dura el ensayo.

- ■ **SPR máx.:** máxima velocidad de producción de humo (Smoke Production Rate).



REDUCIDO DESPRENDIMIENTO DE GOTAS / PARTICULAS INFLAMADAS

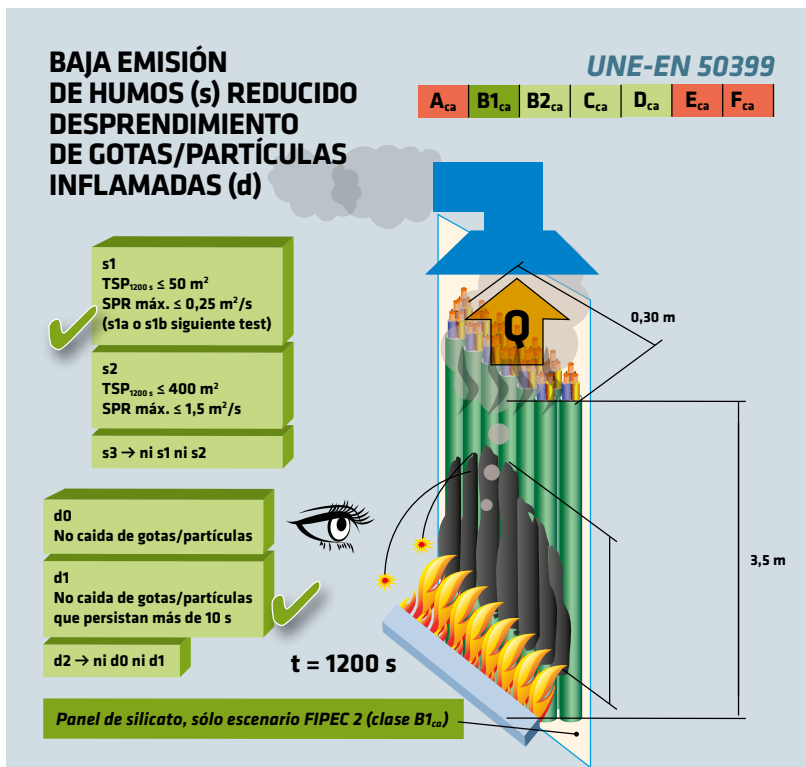
■ REDUCIDO DESPRENDIMIENTO DE GOTAS/PARTÍCULAS INFLAMADAS (d) (UNE-EN 50399) **NUEVO**

Controlar que no se originen nuevos focos de incendio como consecuencia del desprendimiento de partículas inflamadas es sin duda una interesante mejora de la seguridad. Para ello durante el ensayo se vigila si el cable desprende material incandescente estableciendo 3 categorías:

- ■ **d0:** sin caída de gotas y partículas inflamadas durante los 1200 s que dura el ensayo.
- ■ **d1:** las gotas o partículas inflamadas desprendidas se extinguen en menos de 10 s.
- ■ **d2:** ni d0, ni d1.



Cámara de ensayos CPR (EN 50399).





LIBRE DE HALÓGENOS



REDUCIDA EMISIÓN DE GASES TÓXICOS



NULA EMISIÓN DE GASES CORROSIVOS

■ **LIBRE DE HALÓGENOS, NULA EMISIÓN DE GASES CORROSIVOS Y REDUCIDA EMISIÓN DE GASES TÓXICOS (a)**

Con estos dos test similares se demuestra que el cable ensayado es libre de halógenos (no emite HCl ni otros compuestos halogenados en su combustión) y los gases emitidos son de nula corrosividad con objeto de proteger a las personas y los bienes en caso de incendio.

Los ensayos se realizan quemando muestras muy troceadas de material combustible del cable en un horno con temperaturas entre 800 y 900 grados y analizando los gases emitidos con unos frascos lavadores.

Los ensayos de las normas UNE-EN 60754-1 (IEC 60754-1) y UNE-EN 60754-2 (IEC 60754-2) nos confirman que el cable es libre de halógenos y sus productos de combustión son de nula corrosividad.

Existen 3 categorías para valorar la acidez de los gases de acuerdo con el CPR:

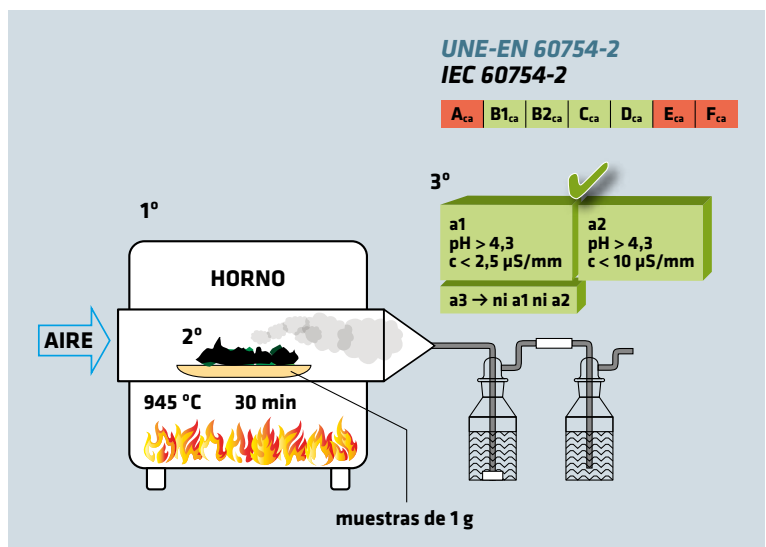
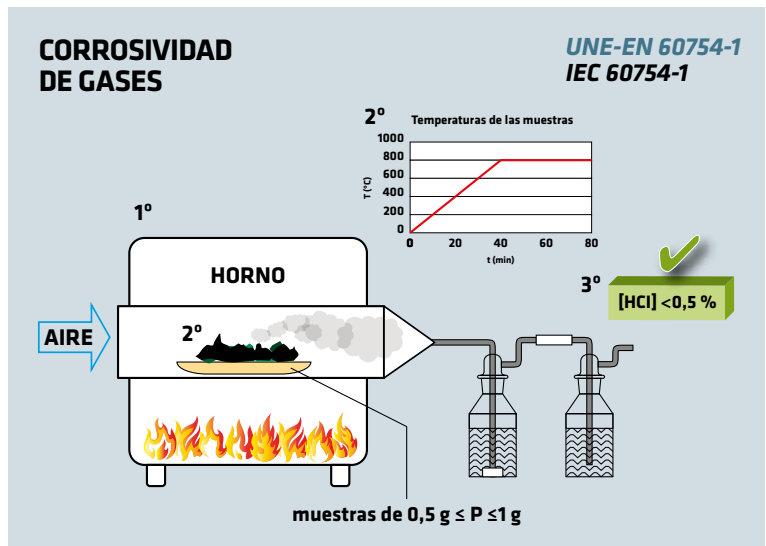
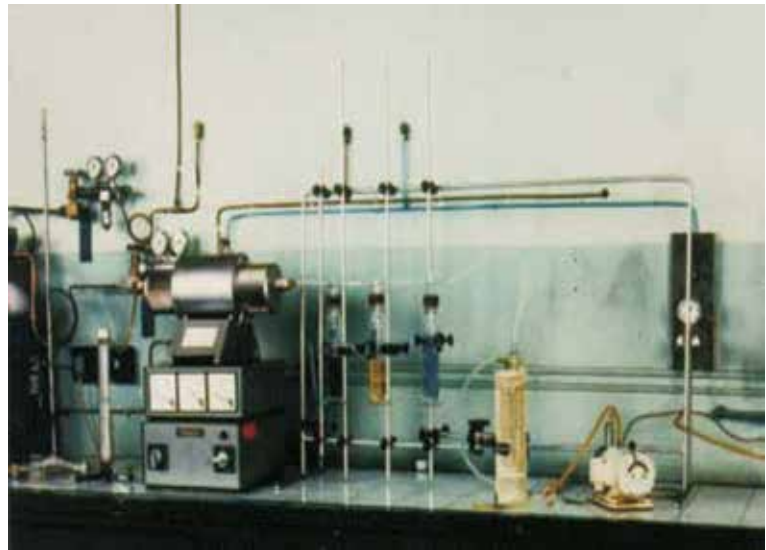
■ **a1:** baja acidez: conductividad de los gases emanados $< 2,5 \mu\text{S}/\text{mm}$ y $\text{pH} > 4,3$.

■ **a2:** valor intermedio de acidez: conductividad de los gases emanados $< 10 \mu\text{S}/\text{mm}$ y $\text{pH} > 4,3$.

■ **a3:** ni a1, ni a2.

Es una medida indirecta de la ausencia de halógenos. Los cables tipo Afumex Class (AS) cumplen con la mayor exigencia (a1) lo que supone una mejora respecto a diseños anteriores (a2).

Con las prescripciones de la norma UNE-EN 60754-1 detectamos además una concentración inferior al 0,5 % de HCl.





BAJA OPACIDAD DE HUMOS

■ BAJA OPACIDAD DE HUMOS

La opacidad de los humos producidos en los incendios es un importante factor a tener en cuenta, cuando los ocupantes de un emplazamiento afectado por el fuego, deben evacuarlo en los primeros instantes, incluso cuando algunos minutos más tarde los equipos de extinción y rescate han de actuar en el local siniestrado.

Para el ensayo de baja opacidad de humos (UNE- EN 61034-2 e IEC 61034-2) se utiliza una cabina de 3 x 3 x 3 m³ en la que se queman muestras de 1 m de cable. El número de muestras depende del diámetro exterior (*ver dibujo*). Se considera el ensayo finalizado cuando no haya decremento en la transmitancia de luz durante cinco minutos, después de que la fuente de fuego se haya extinguido o cuando la duración del ensayo alcance los 40 minutos.

Este ensayo sólo es de aplicación a los cables que han superado las exigencias de humo generado s1 (como son los Afumex Class (AS)). Ver ensayo de baja emisión de humos.

Se establecen dos valores de transparencia de humos (a y b):

■ **s1a:** transparencia de humos superior al 80 %.

■ **s1b:** transparencia de humos superior al 60 % e inferior al 80 %.

Recordamos que los cables tipo Afumex Class (AS) cumplen con la clase de reacción al fuego C_{ca}-s1b,d1,a1.



BAJA OPACIDAD DE HUMOS (s1)

(Sólo para cables s1)

$t \leq 40 \text{ min}$

UNE-EN 61034-2
IEC 61034-2

A_{ca} B1_{ca} B2_{ca} C_{ca} D_{ca} E_{ca} F_{ca}

Transparencia $\geq 80\%$ (s1a)
Transparencia $\geq 60\% < 80\%$ (s1b)

DIÁMETRO (mm)	Núm. cables
D > 40	1
20 < D ≤ 40	2
10 < D ≤ 20	3
5 < D ≤ 10	45/D
2 < D ≤ 5	45/30



RESISTENCIA
AL FUEGO

RESISTENCIA AL FUEGO

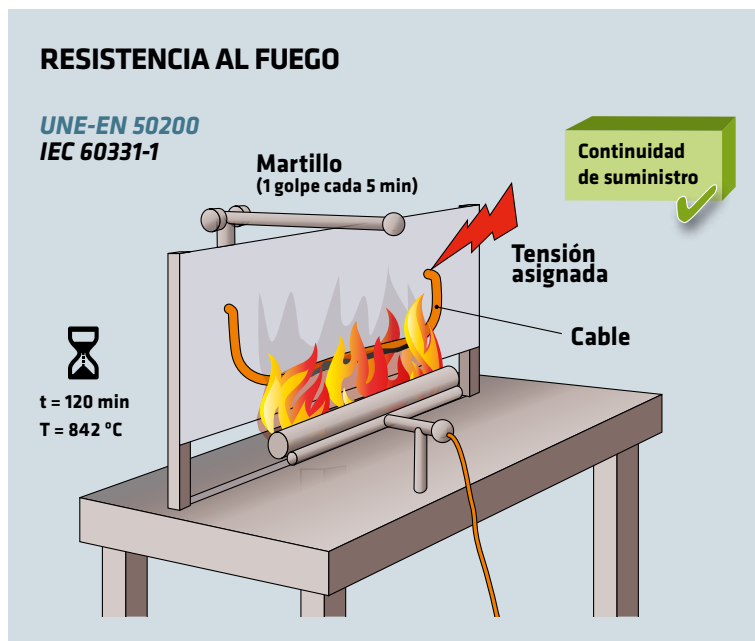
La resistencia al fuego trata de poner de manifiesto la aptitud del cable para dar servicio en condiciones extremas de un incendio. Los cables resistentes al fuego están destinados a aquellos servicios que se pretende no dejen de funcionar en un eventual siniestro confuego (servicios de seguridad, servicios indispensables...).

El ensayo UNE-EN 50200 (IEC 60331-1) consiste en someter una muestra de cable a 842 °C durante un tiempo entre 15 y 120 minutos. El test se considera superado si no tiene lugar ni rotura de conductores ni contacto entre los mismos. Los cables Afumex Firs 1000 V (AS) de Prysmian soportan el máximo tiempo prestando servicio 120 minutos (PH120).

Para aproximar al máximo el ensayo a las condiciones reales más desfavorables, durante el ensayo el equipo que sujeta el cable es sometido a un golpe de martillo cada 5 minutos (con la vibración se desprenden las cenizas).

Como se observa en el dibujo, el cable se ensaya doblado para simular la sollicitación mecánica del mismo en las curvas del tendido. Es más fácil un cortocircuito en las zonas de curvado cuando el fuego ataca la canalización.

NOTA: si se requiere se pueden realizar otros ensayos o variantes de los expuestos.





Lorem ipsum

M/Cálculos de sección en líneas abiertas de sección uniforme.

EJEMPLOS

■ Ejemplo 1:

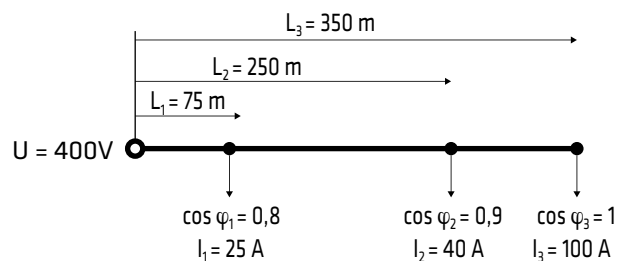
Caso de receptores diferentes (fórmulas de aplicación en apartado E)

Datos:

U: 400 V (tensión entre fases).

γ : conductividad eléctrica del cobre $45,5 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ (a 90°C , temperatura máxima para cables termoestables como el **RETENAX CPRO FLEX** que utilizamos en este caso).

ΔU : 5% de caída de tensión máxima admisible en V en la



$$S = \frac{\sqrt{3} \times (75 \times 25 \times 0,8 + 250 \times 40 \times 0,9 + 350 \times 100 \times 1)}{45,5 \times (20 - 1,732 \times 10^{-3} \times 0,08 \times (75 \times 25 \times 0,6 + 250 \times 40 \times 0,436 + 350 \times 100 \times 0))}$$

$$S = 90,02 \rightarrow$$

$\rightarrow S = 95 \text{ mm}^2$ (sección por el criterio de la caída de tensión).

Por el criterio de la intensidad admisible, considerando el cable de cobre unipolar **RETENAX CPRO FLEX** enterrado bajo tubo (\rightarrow instalación tipo D1 y XLPE3).

Suponiendo la intensidad final que sale de la fuente de alimentación como suma de intensidades de los receptores tendríamos $I = 25 + 40 + 100 = 165 \text{ A}$. Si bien no hay que olvidar que el valor real debe obtenerse teniendo en cuenta las componentes activas y reactivas:

$$I = \sqrt{(25 \times 0,8 + 40 \times 0,9 + 100 \times 1)^2 + (25 \times 0,6 + 40 \times 0,436 + 100 \times 0)^2} = 159,33 \text{ A} \rightarrow$$

$$\rightarrow S = 70 \text{ mm}^2 \text{ (ver tabla en página 50)}$$

Vemos que para nuestro caso domina el criterio de la caída de tensión y por tanto y a falta de comprobar valores de cortocircuito, la sección uniforme a utilizar es de 95 mm^2 .

NOTA: utilizar cambios de sección en la línea (línea telescópica) es factible pero es necesario tener en cuenta que no sólo hay que rehacer cálculos sino también, entre otras razones, todo cambio de sección implica protecciones adicionales.

■ Ejemplo 2

Caso de receptores iguales

Cálculo de la sección por caída de tensión de una línea trifásica de 400 V de tensión entre fases despreciando la reactancia de la línea ($x = 0$). La línea alimenta a 30 lámparas de vapor de sodio de 100 W dispuestas cada 15 m.

La distancia de la primera lámpara respecto al punto de alimentación es de 22 m.

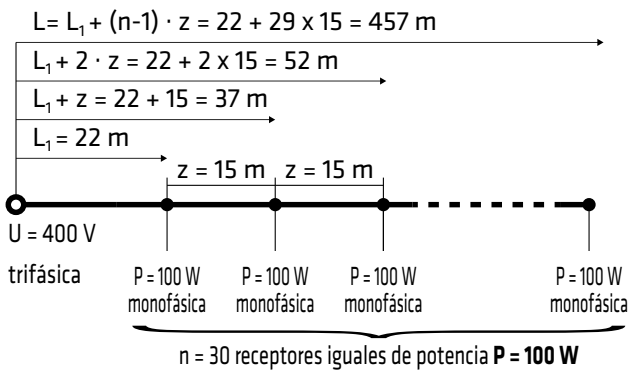
El cable a utilizar será **AFUMEX CLASS 750 V (AS)** bajo canal protectora grapado en pared.

Datos:

γ : conductividad eléctrica del cobre $48,5 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ (a 70°C , temperatura máxima para cables termoplásticos como el **AFUMEX CLASS 750 V (AS)**)

ΔU : 3% de caída de tensión máxima admisible en V en la línea (3 % de 400 V = 12 V).

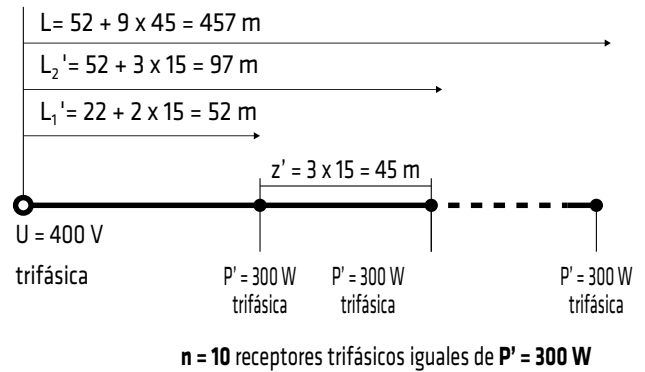
EJEMPLOS



A la hora resolver debemos tener en cuenta que estamos tratando con receptores monofásicos en una red trifásica lo que nos lleva a considerar como si cada 3 receptores, que se entiende se han conectado ordenadamente entre cada fase y neutro, se convierten en uno trifásico colocado en el lugar del último del grupo, así a efectos de nuestro cálculo de sección tenemos 10 receptores de 300 W colocados el primero a $22 + 2 \times 15 = 52$ m del punto de alimentación, el segundo a $52 + 3 \times 15 = 97$ m... Por tanto:

$$\begin{aligned} P' &= 300 \text{ W} \\ L_1' &= 52 \text{ m} \\ z' &= 45 \text{ m} \end{aligned}$$

Esquema equivalente:



Aplicamos la fórmula para redes trifásicas, teniendo en cuenta el coeficiente 1,8, en ausencia de datos más precisos del fabricante, por el que debemos multiplicar la potencia de cada receptor por ser lámparas de descarga (ITC-BT 44, pto. 3.1, 4º párrafo):

$$S = \frac{P \cdot n' \cdot \left(\frac{L + L_1'}{2}\right)}{U \cdot \gamma \cdot \Delta U} = \frac{300 \times 1,8 \times 10 \times \left(\frac{457 + 52}{2}\right)}{400 \times 48,5 \times 12} = 5,9 \rightarrow 6 \text{ mm}^2$$

Por intensidad admisible, considerando un $\cos \varphi = 0,9$, tendremos...

$$I = \frac{n' \cdot P'}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{10 \times 300 \times 1,8}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,9} = 8,66 \text{ A} \rightarrow S = 1,5 \text{ mm}^2$$

Por ser cables unipolares **AFUMEX CLASS 750 V (AS)** en canal protectora grapada en pared nos corresponde el sistema de instalación tipo B2 y PVC3, trifásica cable termoplástico (ver página 42) lo que nos lleva a la sección

por el criterio de la intensidad admisible de 1,5 (ver página 51), por lo que la sección dominante es 6 mm² que es el resultado del criterio de la caída de tensión a falta de comprobar cortocircuitos.



N/Eficiencia energética: Amortización económica y ecológica de derivaciones individuales de viviendas.

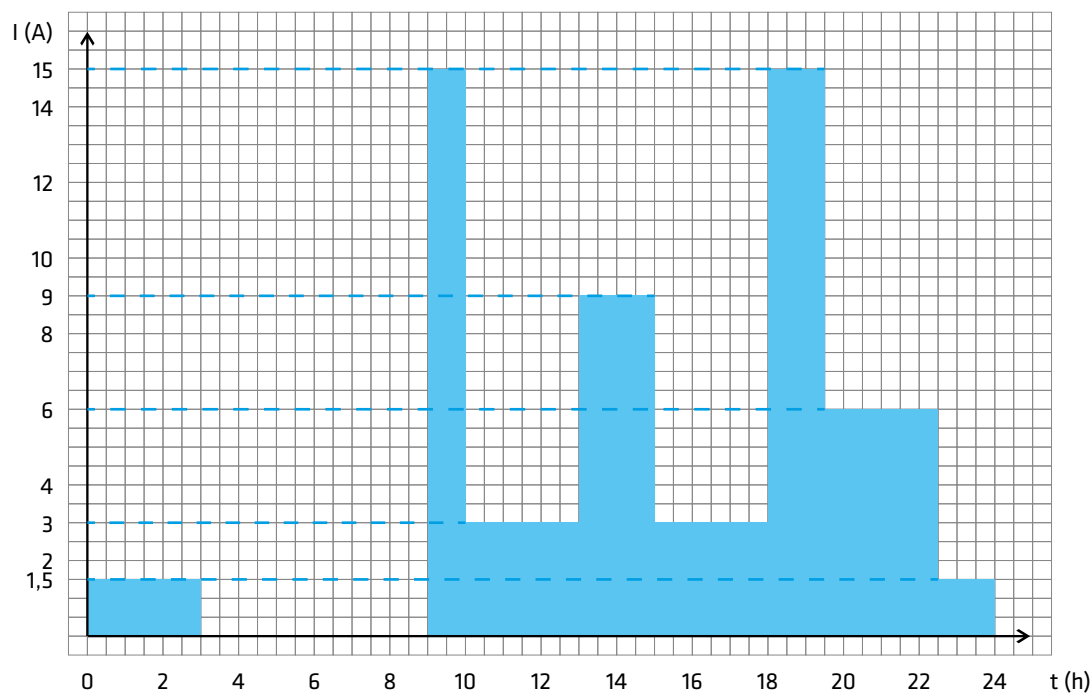
EJEMPLO DE CÁLCULO

El razonamiento explicado a continuación es ejemplo general para cualquier caso en el que se conozca el patrón de consumo aproximado o su variación proporcional.

■ 1. Derivación individual (DI) de vivienda

■ 1.1. Caso particular (DI vivienda)

El consumo medio diario de una vivienda podría verse reflejado en una gráfica simplificada I-t similar a la siguiente. El área pintada de azul es proporcional al consumo energético ya que $E = P \cdot t = U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot t$ es la expresión de la energía consumida por un receptor monofásico. Tomaremos para viviendas $\cos\varphi = 1$ (ver pto. 3, GUIA-BT 25) y la tensión (monofásica) en España es en general $U = 230$ V.



A partir de esta suposición vamos a obtener una sencilla fórmula para cálculo de las pérdidas en la derivación individual (DI) de la vivienda **sea cual sea su consumo anual** y con ello podremos obtener la sección económica y calcular su amortización ecológica fácilmente.

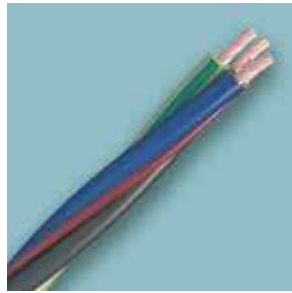
Hemos aproximado la curva de consumo a valores discretos para poder operar con facilidad. Se ha pensado poner valores que se aproximen a la realidad en cada intervalo horario.

$$E_{\text{día}} = U \cdot \sum_{i=1}^9 I_i \cdot t_i = 230 \times (1,5 \times 3 + 0 \times 6 + 15 \times 1 + 3 \times 3 + 9 \times 2 + 3 \times 3 + 15 \times 1,5 + 6 \times 3 + 1,5 \times 1,5) = 22598,5 \text{ Wh} \approx 22,6 \text{ kWh}$$

Comenzamos primero calculando numéricamente nuestro caso particular para luego obtener una fórmula sencilla para cálculo general.

La energía consumida en la vivienda cada día será igual a la suma de la energía consumida en cada tramo de intensidad constante:

Supongamos que toda esta energía es recibida en la vivienda a través de una derivación individual monofásica de 12 m realizada con cable de 450/750 V **AFUMEX CLASS HAZ (AS)** (clase CPR C_{ca}-s1b,d1,a1) de 3G10 mm².



La resistencia aproximada del conductor de cobre de 10 mm² es de 2,21 Ω/km para una temperatura media de funcionamiento (ver apartado K, pto. 13).

La resistencia total (ida y vuelta) de la derivación individual será:

$$R_{D10} = 2,21 \Omega/\text{km} \times 2 \times 0,012 \text{ km} = 0,053 \Omega$$

Por lo que ya podemos calcular la energía perdida en la derivación individual cada día:

$$E_{\text{Pdia } 10} = \sum_{i=1}^9 R_{D10} \cdot I_i^2 \cdot t_i = R_{D10} \cdot \sum_{i=1}^9 I_i^2 \cdot t_i = 0,053 \times (1,5^2 \times 3 + 0^2 \times 6 + 15^2 \times 1 + 3^2 \times 3 + 9^2 \times 2 + 3^2 \times 3 + 15^2 \times 1,5 + 6^2 \times 3 + 1,5^2 \times 1,5) = 47,52 \text{ Wh} = 0,04752 \text{ kWh}$$

En un año habremos perdido en la derivación individual:

$$E_{\text{Paño } 10} = 365 \times 0,04752 = 17,35 \text{ kWh}$$

Con una tarifa constante estimada de aproximadamente 0,15 €/kWh tendremos un coste de las pérdidas anuales según el siguiente cálculo:

$$C_{\text{Paño } 10} = 0,15 \text{ €/kWh} \times 17,35 \text{ kWh} = 2,6 \text{ €}$$

Si empleáramos la sección inmediata superior de 16 mm² haciendo los mismos cálculos tendríamos:

$$R_{D16} = 1,41 \Omega/\text{km} \times 2 \times 0,012 \text{ km} = 0,034 \Omega$$

$$E_{\text{Paño } 16} = 365 \times 0,03048 = 11,13 \text{ kWh}$$

$$C_{\text{Paño } 16} = 0,15 \text{ €/kWh} \times 11,13 \text{ kWh} = 1,67 \text{ €}$$

Es decir el ahorro anual por emplear una sección mayor sería de: 2,6 - 1,67 = 0,93 €/año.

Teniendo en cuenta que el cable **AFUMEX CLASS HAZ (AS)** de 3G16 es aproximadamente 1,26 €/m más caro que el de 3G10 podemos calcular el plazo de amortización por el dinero gastado de más en emplear la sección de 3G16 en lugar de la de 3G10.

$$12 \text{ m} \times 1,26 \text{ €/m} = 15,12 \text{ € (incremento del coste del cable)}$$

15,12 € / (0,93 €/año) = 16,25 años de amortización del incremento de sección (supuesta tarifa eléctrica constante de 0,15 €/kWh). Vemos que a pesar de ir el cable muy descargado por lo tanto no tener pérdidas elevadas es interesante considerar el incremento de sección desde el punto de vista económico.

Cálculamos cuando se produce la "amortización ecológica" del incremento de sección.

Pesos de cable **AFUMEX CLASS HAZ (AS)**:

$$3G10 + 1 \times 1,5 \rightarrow 347 \text{ kg/km}$$

$$3G16 + 1 \times 1,5 \rightarrow 502 \text{ kg/km}$$

Por tanto el incremento de peso de cable es:

$$\Delta_{\text{Peso } 10 \rightarrow 16} = (502 - 347) \text{ kg/km} \times 0,012 \text{ km} = 1,86 \text{ kg}$$

La tabla de Facel (Asociación de Fabricantes de Conductores Eléctricos y Fibra Óptica) sobre emisiones de CO₂ por kg de cable fabricado nos da un valor de 6,422 kg CO₂ por kg de conductor aislado tipo **AFUMEX CLASS HAZ (AS)** (LSOH = Low Smoke Zero Halogen) fabricado, incluido su transporte.

TIPOLOGÍA DE CABLE	DETALLE EMISIÓN (kgCO ₂ /kg conductor)
	TOTAL PROCESO FABRICACIÓN DEL CABLE
Cables de energía hasta 750 V de cobre (LSOH)	6,352
Cables de energía hasta 750 V de cobre (no LSOH)	6,353
Cables de energía de 1000 V de cobre (LSOH)	6,379
Cables de energía de 1000 V de cobre (no LSOH)	6,380
Resto de cables de energía y/o cables especiales	6,437
Cables de energía baja tensión de aluminio	14,087
Cables de energía media tensión de aluminio	14,144
Cables de telecomunicaciones (fibra óptica)	0,274
Cables de telecomunicaciones (metálicos)	0,286
Hilos esmaltados	6,539

En todo caso, la Emisiones por tipo de cable correspondientes al transporte del producto final, serían de 0,07 kgCO₂/kg conductor.

Tabla de emisiones de CO₂ por kg de cable fabricado según tipo de cable.

El incremento de emisiones por fabricar un cable de sección superior será:

$$\Delta \text{Emisiones}_{10 \rightarrow 16} = 1,86 \text{ kg cable} \times 6,422 \text{ kg CO}_2/\text{kg cable} = 11,94 \text{ kg CO}_2$$

Ya tenemos cuantificado lo emitido a la atmósfera por fabricar un cable de mayor sección, ahora calculamos las emisiones que se pueden ahorrar por tener menor resistencia en la derivación individual suponiendo un valor aproximado de 0,39 kg CO₂/kWh generado. Para ello recordamos los valores de energía perdida obtenidos anteriormente:

$$E_{\text{Paño10}} = 17,35 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{Paño16}} = 11,13 \text{ kWh}$$

$$\text{Ahorro } E_{\text{Paño10} \rightarrow 16} = 17,35 - 11,13 = 6,22 \text{ kWh}$$

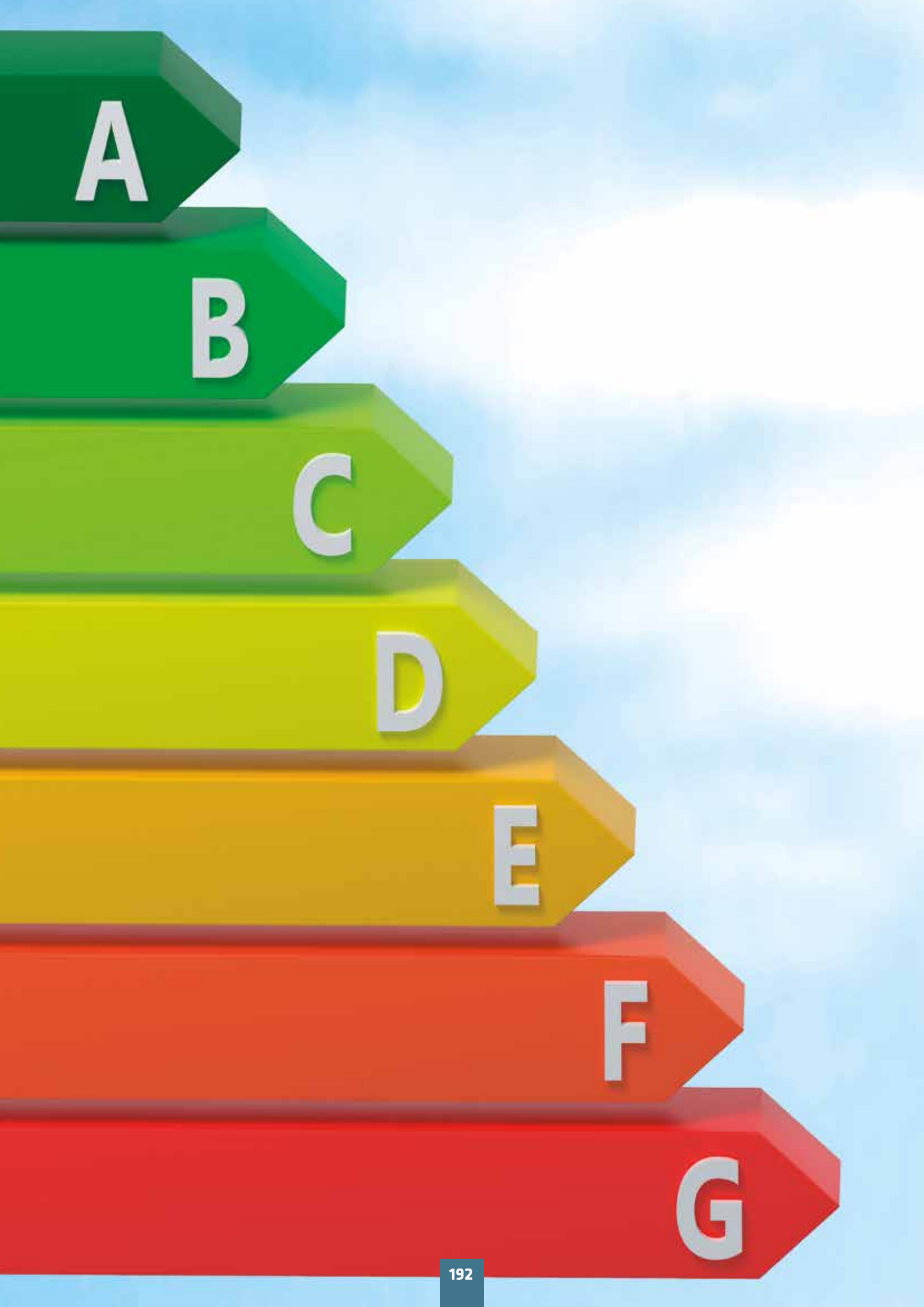
$$\text{Ahorro emisiones}_{10 \rightarrow 16} = 6,22 \text{ kWh} \times 0,39 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 2,43 \text{ kg CO}_2$$

La amortización ecológica tendrá lugar entonces...

$$11,94 \text{ kg/CO}_2 / 2,43 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 4,91 \text{ años}$$

Es decir, se extrae la conclusión de que aumentar la sección de la derivación individual es también interesante desde el punto de vista ecológico ya que en menos de 5 años conseguimos compensar las emisiones de CO₂ ocasionadas por aumentar la sección del cable y a partir de entonces se produce un ahorro a razón de 2,43 kg CO₂ por año.

Se recomienda ver apartado siguiente.



A

B

C

D

E

F

G

0/Eficiencia energética: Amortización económica y ecológica de líneas eléctricas. Energía consumida por el sistema y energía perdida en las líneas. EJEMPLO Y CASO GENERAL

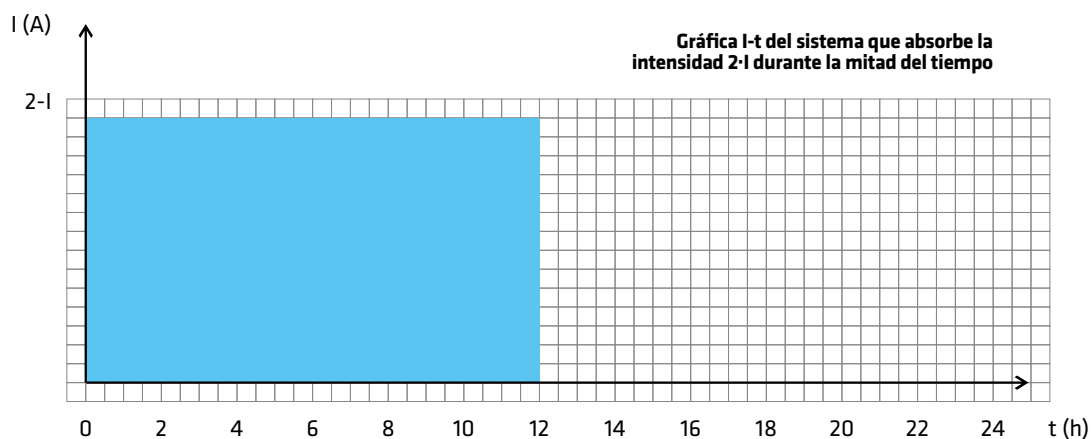
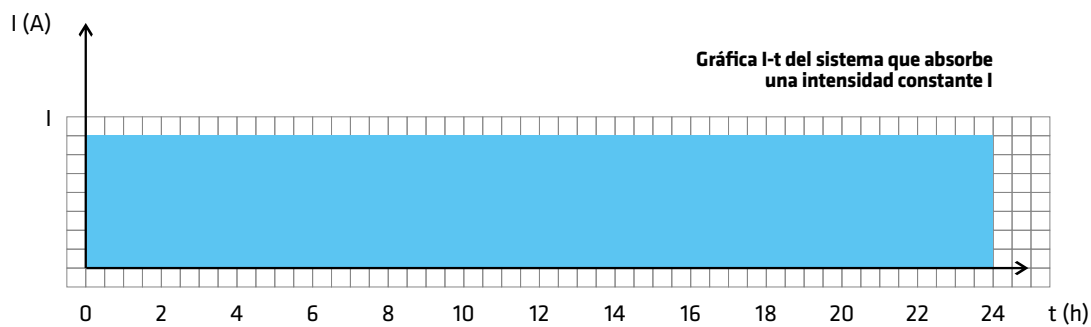
Tras los cálculos económicos y ecológicos generalizados para el caso de las derivaciones individuales en viviendas procedemos a obtener las expresiones correspondientes al caso de instalaciones con mayor carga media como podría ser una industria.

■ 1. Modelos de consumo y pérdidas en las líneas.

Un inciso para mostrar de forma gráfica y numérica como

un sistema puede registrar la misma potencia consumida en los receptores y sin embargo ser mucho más altas sus pérdidas en las líneas.

Supongamos un sistema trifásico que funciona con una intensidad constante I durante las 24 horas del día y el mismo sistema en el que hemos concentrado el consumo en la mitad del día y por tanto funciona al doble de intensidad ($2 \cdot I$) durante la mitad del tiempo.



Vamos a definir como intensidad media de consumo (\bar{I}_E) aquella tal que si fuera constante en el tiempo produciría el mismo consumo.

$$E = U \cdot \sum_{i=1}^n I_i \cdot t_i = U \cdot \bar{I}_E \cdot t$$

Donde:

E: energía consumida en la vivienda en el tiempo t (Wh).

U: tensión nominal (230 V).

I_i : Intensidad de corriente que pasa por la DI en el intervalo de tiempo i .

t_i : Intervalo de tiempo i (h).

Es fácil comprobar que ambos sistemas consumen la misma energía:

$$E = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \sum_{i=1}^n I_i \cdot t_i = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \bar{I}_E \cdot t$$

Para ambos casos está claro que a lo largo del tiempo es igual a I y tenemos:

$$\bar{I}_E = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \cdot t_i}{t} = \frac{24 \cdot I}{24} = \frac{12 \cdot 2 \cdot I}{24} = I$$

$$E_i = E_{2i} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot I \cdot t$$

Veamos que ocurre con las pérdidas en la línea de suministro. Calculamos la intensidad de valor constante para las pérdidas en el caso de intensidad constante I , cuya expresión es el valor cuadrático medio (valor eficaz) (I'_R) dado que en la fórmula de las pérdidas por efecto Joule la intensidad es cuadrática.

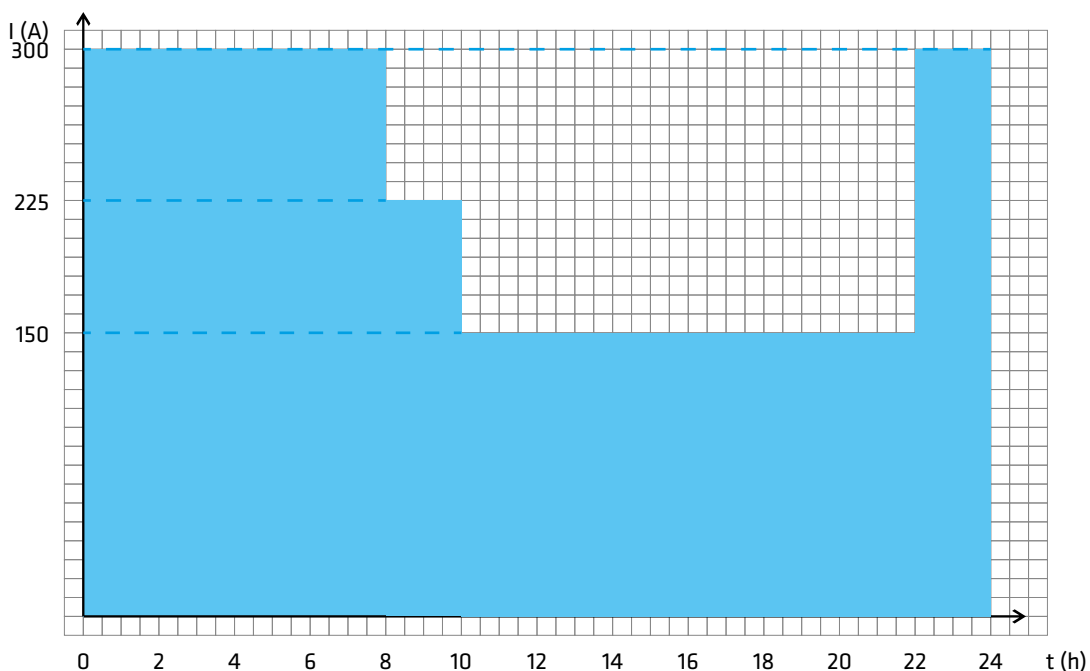
I'_R es, por tanto, el valor de la intensidad que debería pasar continuamente por la línea para que se produjeran las mismas pérdidas en el tiempo t que con el patrón de consumo que proceda con intensidades I_i cada intervalo de tiempo t_i . Al fin y al cabo la utilización de valores eficaces en corriente alterna es debido a esto.

$$I'_{RI} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot t_i}{t}} = \sqrt{\frac{I^2 \cdot t}{t}} = I$$

$$E_{pi} = 3 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

Y para el caso de 12 horas diarias con intensidad de corriente 2·I:

$$I'_{R2I,12h} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot t_i}{t}} = \sqrt{\frac{(2 \cdot I)^2 \cdot t/2}{t}} = \sqrt{\frac{2 \cdot I^2 \cdot t}{t}} = \sqrt{2} \cdot I$$



$$E_{p2I,12h} = 3 \cdot R \cdot (\sqrt{2} \cdot I)^2 \cdot t = 6 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

Vemos que la energía perdida es el doble por ese efecto del cuadrado de la intensidad en el cálculo de las pérdidas térmicas:

$$E_{p2I,12h} = 2 \cdot E_{pi}$$

Idénticos resultados se obtienen para sistemas monofásicos. Dejamos al lector la comprobación.

La consecuencia de esta demostración es evidenciar que **se ahorra energía secuenciando los consumos en lo posible**. Con este ahorro de energía se produce un ahorro económico (considerando la tarifa aplicable en cada horario) y se ahorran emisiones de CO₂ al aminorar la energía generada.

Vemos que cuanto más se parece I'_R a \bar{I}_E mejor secuenciado está el consumo. De tal forma que se puede valorar como mejor secuenciación cuanto más se aproxime a 1 el cociente I'_R/\bar{I}_E .

NOTA: es cierto que con la gráfica de intensidad constante I se puede emplear una sección menor de conductor que con la de intensidad 2·I durante 12 horas dada la menor sollicitación térmica permanente. Esto conlleva ahorro en el cable pero aumenta las pérdidas. No obstante en este caso se pretendió mostrar por qué es positivo secuenciar los consumos en lo posible en una instalación.

■ 2. Ejemplo de aplicación.

Cálculo de la energía perdida en una línea.

Como aplicación de lo expuesto anteriormente podemos estudiar el caso particular y el general de una línea eléctrica de una industria cuyo patrón de consumo pueda ser el siguiente.

Vamos a suponer que este consumo sólo se produce de lunes a viernes durante todo el año estando **desconectada la instalación los fines de semana**.

Los datos particulares de la línea son los siguientes:

- Instalación en bandeja perforada
- Cables **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** (RZ1-K (AS)) de 0,6/1 kV. 3 fases de 1x150 + neutro de 1x150 y conductor de protección de 1x95.
- Longitud, L = 110 m
- $\cos\varphi = 0,9$
- Tensión de línea, U = 400 V



La energía consumida por la instalación que alimenta la línea en cuestión al tratarse de un sistema trifásico será:

$$E = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \sum_{i=1}^4 I_i \cdot t_i = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \bar{I}_E \cdot t$$

$$\bar{I}_E = \frac{\sum_{i=1}^4 I_i \cdot t_i}{t} = \frac{5 \times (300 \times 8 + 225 \times 2 + 150 \times 12 + 300 \times 2)}{7 \times 24} = 156,25 \text{ A}$$

$$I'_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 I_i^2 \cdot t_i}{t}} = \sqrt{\frac{5 \times (300^2 \times 8 + 225^2 \times 2 + 150^2 \times 12 + 300^2 \times 2)}{7 \times 24}} = 194,5 \text{ A}$$

Por tanto, según lo explicado podemos decir que con carácter general para un modelo de consumo como el de la gráfica expuesta:

$$I'_R = 1,245 \cdot \bar{I}_E$$

$$E_{\text{año}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \bar{I}_E \cdot t = \sqrt{3} \times 400 \times 0,9 \times 156,25 \times 365 \times 24 = 853443000 \text{ Wh} = 853443 \text{ kWh}$$

Las pérdidas anuales por efecto Joule en la línea se calcularán tomando el valor de resistencia del conductor de fase, que es el que produce las pérdidas térmicas en líneas sin carga de armónicos, de cobre flexible de 150 mm² a 70 °C

$$E_{\text{pérdida}} = 3 \cdot R \cdot I_R^2 \cdot t = 3 \times 0,157 \times 0,11 \times 194,5^2 \times 365 \times 24 = 17169471 \text{ Wh} = 17169 \text{ kWh}$$

Podemos también calcular una fórmula para cálculo general de la energía perdida en la línea para cualquier

$$\frac{E_P}{E} = \frac{3 \cdot R \cdot I_R^2 \cdot t}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \bar{I}_E \cdot \cos\varphi \cdot t} = \frac{\sqrt{3} \cdot R \cdot I_R^2}{U \cdot \bar{I}_E \cdot \cos\varphi} = \frac{\sqrt{3} \cdot R \cdot (1,245 \cdot \bar{I}_E)^2}{400 \cdot \bar{I}_E \cdot \cos\varphi} = \frac{2,685 \cdot \bar{I}_E \cdot R}{400 \cdot \cos\varphi}$$

Donde \bar{I}_E recordemos es la intensidad media de la línea de tal forma que si sustituimos los valores de intensidad real por este valor constante, el consumo es el mismo (ver apartados anteriores).

Y la energía perdida en la línea tomara la siguiente expresión:

$$E_P = 3 \cdot R \cdot \sum_{i=1}^4 I_i^2 \cdot t_i = 3 \cdot R \cdot I_R^2 \cdot t$$

I'_R sabemos que es el valor ficticio de intensidad que se puede pensar recorre constantemente la línea ocasionando las mismas pérdidas resistivas (valor eficaz).

Calculamos los valores de \bar{I}_E e I'_R (considerando lógicamente el ciclo completo que dura en este caso una semana por desconectar la instalación los fines de semana mientras que de lunes a viernes la evolución intensidad de corriente es según muestra la gráfica):

Calculemos a modo particular la energía consumida por la instalación al año, teniendo en cuenta que la instalación está activa 260 días por estar desconectada sábados y domingos:

que puede ser un valor de temperatura de conductor aproximado (0,157 Ω/km) aunque como cable termoestable ya sabemos que el valor máximo que puede alcanzar es de 90 °C:

caso donde el patrón de consumo sea igual o proporcional al dado en este ejemplo:

Como $I_E = \frac{E}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot t}$ (de la expresión inicial de la energía E, consumida en la instalación alimentada por la línea). Despejando además E_p en la fórmula anterior:

$$E_p = \frac{2,685 \cdot \frac{E}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot t} \cdot R}{400 \cdot \cos\varphi} \cdot E = \frac{R \cdot E^2}{103210 \cdot \cos^2\varphi \cdot t}$$

$$E_{paño} = \frac{R \cdot E_{año}^2 \cdot 10^3}{103210 \cdot \cos^2\varphi \cdot t} = 7,68 \times 10^{-3} \frac{R \cdot E_{año}^2}{\cos^2\varphi \cdot 24 \cdot 365} = 1,106 \times 10^{-6} \cdot \frac{R \cdot E_{año}^2}{\cos^2\varphi}$$

$$E_{paño} = 1,106 \times 10^{-6} \cdot \frac{R \cdot E_{año}^2}{\cos^2\varphi}$$

Donde R es la resistencia de la línea, E la energía consumida en Wh y t el tiempo en horas.

Si queremos particularizar la fórmula para que el resultado sea en kWh e introduciendo E en kWh también, acotando a un año:

Dónde:

$E_{paño}$: energía perdida anualmente en la línea [kWh].

$E_{año}$: energía consumida en la instalación que alimenta la línea [kWh].

R: resistencia de la línea [Ω].

NOTA: el suministro debe responder a la evolución del consumo expuesto en la gráfica inicial o ser proporcional. Para otros casos seguir el mismo razonamiento.

Comprobamos que el resultado aplicando la fórmula concuerda con el obtenido para nuestro caso:

$$E_{paño} = 1,106 \times 10^{-6} \cdot \frac{R \cdot E_{año}^2}{\cos^2\varphi} = 1,106 \times 10^{-6} \times \frac{0,11 \times 0,157 \times 853443^2}{0,9^2} \approx 17169 \text{ kWh}$$

■ 3. Amortización económica

Calculemos el plazo de amortización económica del incremento de sección de la línea pasando de 4 conductores (3 fases + neutro) de 1x150 mm² y uno de 1x95 mm² (protección) **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** a 4 conductores de

1x185 mm² y uno de 1x95 mm² que corresponderían a la sección inmediata superior normalizada para la red (en este caso el conductor de protección no varía ya que la sección 95 sigue siendo el valor normalizado inmediato superior a la mitad de las fases).

AFUMEX CLASS 1000 V (AS) 1x95	→ 7577 €/km
1x150	→ 12074 €/km (0,157 Ω /km)
1x185	→ 14637 €/km (0,248 Ω /km)

El plazo de amortización económica se producirá cuando se compense con el ahorro en factura el sobre coste de instalar cables de sección 185 en lugar de 150.

la sección S (150 mm²) menos la pérdida con la sección S+1 (185 mm²).

Para ello dividimos el coste del incremento de sección por el coste de la diferencia de energía perdida durante un año con

Suponemos para nuestro caso una tarifa industrial media de 0,10 €/kWh.

$$E_{pañoS+1} = 1,106 \times 10^{-6} \cdot \frac{R_{S+1} \cdot E_{año}^2}{\cos^2\varphi} = 1,106 \times 10^{-6} \times \frac{0,11 \times 0,13 \times 853443^2}{0,9^2} = 14222 \text{ kWh}$$

$$T_{amort-econ} = \frac{C_{S+1} - C_S}{0,10 \cdot (E_{pañoS} - E_{pañoS+1})} = \frac{0,11 \times [(4 \times 14637 + 1 \times 7577) - (4 \times 12074 + 1 \times 7577)]}{0,10 \times (17169 - 14222)} = 3,83 \text{ años}$$

Un tiempo realmente corto que nos lleva a pensar que debemos pensar en al menos incrementar la sección de 150 a 185 mm².

Obtengamos la expresión general empleando valores unitarios de coste y resistencia para que la fórmula no dependa de la longitud L:

$$T_{\text{amort-econ}} = \frac{C_{S+1} - C_S}{0,10 \cdot (E_{\text{Paño}S} - E_{\text{Paño}S+1})} = \frac{L \cdot (C_{S+1\text{unit}} - C_{S\text{unit}})}{0,10 \times 1,106 \times 10^{-6} \frac{E_{\text{año}}^2 \cdot L \cdot (R_{S\text{unit}} - R_{S+1\text{unit}})}{\cos^2 \varphi}}$$

$$E_{\text{amort-econ}} = 9,04 \times 10^6 \cdot \frac{(C_{S+1\text{unit}} - C_{S\text{unit}}) \cdot \cos^2 \varphi}{E_{\text{año}}^2 \cdot L \cdot (R_{S\text{unit}} - R_{S+1\text{unit}})}$$

Dónde:

- $T_{\text{amort-econ}}$: plazo de amortización económica del incremento de sección (años).
- $C_{S\text{unit}}$: coste por km del cable [AFUMEX CLASS 1000 V (AS)] de sección S (€/km).
- $C_{S+1\text{unit}}$: coste por km del cable [AFUMEX CLASS 1000 V (AS)] de sección normalizada inmediata superior a S (€/km).
- $R_{S\text{unit}}$: resistencia por km de la sección S (Ω/km).
- $R_{S+1\text{unit}}$: resistencia por km de la sección normalizada inmediata superior a S (Ω/km).
- $E_{\text{año}}$: energía consumida por la instalación en un año (kWh).

NOTA: S+1 puede ser sustituido por S+n cuando en lugar de la sección normalizada inmediata superior a S se quiera calcular para la sección normalizada que resulta de n incrementos al alza.

NOTA 2: el suministro debe responder a la evolución del consumo expuesto en la gráfica inicial o ser proporcional. Para otros casos seguir el mismo razonamiento.

Aplicamos a nuestro ejemplo y comprobamos:

$$E_{\text{amort-econ}} = 9,04 \times 10^6 \times \frac{[(4 \times 14637 + 1 \times 7577) - (4 \times 12074 + 1 \times 7577)] \times 0,9^2}{851105^2 \cdot (0,157 - 0,130)} \approx 3,8 \text{ años}$$

■ 4. Amortización ecológica

Amortizaremos ecológicamente el cable cuando con la energía ahorrada por emplear una sección superior compensemos las emisiones excedidas por fabricar esa sección superior.

La tabla de Facel sobre emisiones de CO₂ por kg de cable fabricado recoge que para cables de cobre LSOH (Low Smoke Zero Halogen) como el AFUMEX CLASS 1000 V (AS) [RZ1-K (AS)] las emisiones por kg fabricado ascienden a 6,449 kg CO₂/kg cable (incluido transporte). Con lo que conociendo el exceso de peso por emplear fases y neutro de 1x185 en lugar de 1x150 podemos saber el CO₂ arrojado a la atmósfera en exceso.

Por otro lado como sabemos el ahorro de energía perdida en la línea por la reducción de resistencia eléctrica al incrementar la sección (150 → 185), aplicando el dato de 0,39 kg CO₂/kWh generado (dato aproximado según el mix español) tendremos también el ahorro de CO₂ para comparar con el exceso explicado en el párrafo anterior y saber en cuanto tiempo habremos compensado las emisiones producidas en exceso en la fabricación.

$$T_{\text{amort-ecol}} = \frac{6,449 \cdot (P_{S+1} - P_S)}{0,39 \cdot (E_{\text{Paño}S} - E_{\text{Paño}S+1})}$$

$$T_{\text{amort-ecol}} = \frac{6,449 \text{ kg CO}_2 / \text{kg cable} \times 0,11 \text{ km} \times 1544 \text{ kg cable/km}}{0,39 \text{ kg CO}_2 \times (17169 - 14222) \text{ kWh}} = 0,95 \text{ años}$$

La amortización ecológica vuelve a ser corta y anterior a la económica. En menos de un año hemos compensado las emisiones. Lo que es otro punto a favor del incremento de sección en la instalación.

Operamos para obtener el caso general para una instalación cuyo patrón de consumo sea el expuesto o proporcional.

$$T_{amort-ecol} = \frac{6,449 \cdot (P_{S+1} - P_S)}{0,39 \cdot (E_{PañoS} - E_{PañoS+1})} = \frac{6,449 \cdot L \cdot (P_{S+1unit} - P_{Sunit})}{0,39 \times 1,106 \times 10^{-6} \cdot \frac{E_{año}^2 \cdot L \cdot (R_{Sunit} - R_{S+1unit})}{\cos^2 \varphi}}$$

$$E_{amort-ecol} = 1,495 \times 10^7 \cdot \frac{(P_{S+1unit} - P_{Sunit}) \cdot \cos^2 \varphi}{E_{año}^2 \cdot (R_{Sunit} - R_{S+1unit})}$$

Dónde:

- $T_{amort-ecol}$: plazo de amortización ecológica del incremento de sección (años).
- P_{Sunit} : peso por km del cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** [RZ1-K (AS)] de sección S (€/km).
- $P_{S+1unit}$: peso por km del cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** [RZ1-K (AS)] de sección normalizada inmediata superior a S (€/km).
- R_{Sunit} : resistencia de la sección S (Ω /km).
- $R_{S+1unit}$: resistencia de la sección normalizada inmediata superior a S (Ω /km).
- $E_{año}$: energía consumida en un año (kWh).

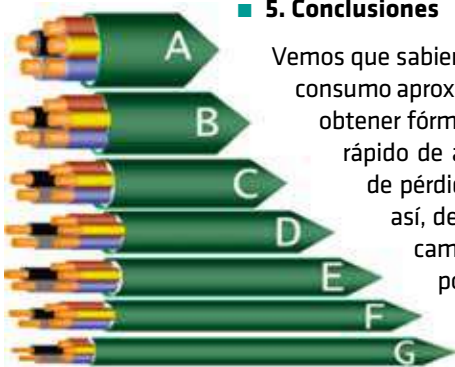
NOTA: S+1 puede ser sustituido por S+n cuando en lugar de la sección normalizada inmediata superior a S se quiera calcular para la sección normalizada que resulta de n incrementos al alza.

NOTA 2: el suministro debe responder a la evolución del consumo expuesto en la gráfica inicial o ser proporcional. Para otros casos seguir el mismo razonamiento.

Aplicamos a nuestro ejemplo y comprobamos:

$$E_{amort-ecol} = 1,495 \times 10^7 \cdot \frac{(1544) \cdot 0,9^2}{853443^2 \cdot (0,157 - 0,130)} \approx 0,95 \text{ años}$$

5. Conclusiones



Vemos que sabiendo el modelo de consumo aproximado se pueden obtener fórmulas para cálculo rápido de amortizaciones y de pérdidas de energía y, así, demostrar numéricamente el interés por la elección de secciones superiores a las obtenidas por criterios técnicos (calentamiento, caída de tensión y cortocircuito).

Recordamos una vez más que los incrementos de sección en general además de ahorros económicos y de emisiones contaminantes tienen algunas ventajas añadidas como reducir la caída de tensión, prolongar la vida útil de la línea, permitir incrementos de potencia futuros, mejora de respuesta a fenómenos transitorios...

Vemos que cuanto más se parece I'_R (intensidad eficaz de valor constante a efectos de pérdidas por efecto Joule en la línea) a \bar{I}_E (intensidad media ficticia de valor constante a efectos de consumo) mejor secuenciado está el consumo, lo que reduce las pérdidas energéticas en las líneas. De tal forma que se puede hablar de un **factor de secuenciación** ($FS = I'_R / \bar{I}_E$) mayor o igual a la unidad que será mejor cuanto más se aproxime a 1.

La decisión de instalar secciones superiores a las que resultan de criterios técnicos desde el punto de vista económico no es algo nuevo, lo que es más actual es poder justificar ecológicamente la subida de sección para la línea por ahorro de emisiones de CO₂. La valoración del impacto ambiental es algo que va imponiéndose día a día en la redacción de proyectos. Por otro lado la amortización económica de cables de mayor sección cobra peso en un escenario de tarifas eléctricas desenganchadas del IPC. No estamos pues en una situación igual que hace años. Invitamos a la reflexión.



P/Eficiencia energética.

BAJA TENSIÓN

EJEMPLO DE CÁLCULO DE SECCIÓN ECONÓMICA Y “AMORTIZACIÓN ECOLÓGICA”

Ahora que ya existen cifras publicadas sobre las emisiones de CO2 por kg de cable fabricado podemos cuantificar la importante reducción de las mismas por instalar secciones de cable superiores a las obtenidas por criterios técnicos al reducirse las pérdidas resistivas en los conductores. En la mayoría de los casos esto lleva aparejado un importante ahorro económico. Lo explicamos con un ejemplo.

SECCIÓN TÉCNICA

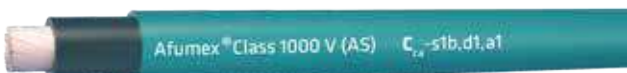
Realizamos inicialmente el cálculo de la sección por los criterios técnicos de la máxima intensidad admisible y la máxima caída de tensión.

Datos de la instalación:

P = 130 kW
 U = 400 V (trifásica)
 cos φ = 0,9
 L = 175 m
 ΔU = 5 % (caída de tensión admitida en %).
 Instalación en bandeja perforada.
 Temperatura ambiente = 40 °C
 Circuito acompañado de otro similar en su bandeja a 2 veces el diámetro aparente de la terna de cables activos y en agrupación de 3 bandejas → coeficiente de corrección por agrupamiento 0,92. (Ver tabla B.52.21 de UNE-HD 60364-5-52 o en el apartado A de este catálogo).

Sistemas de bandejas perforadas <small>(NOTA 3)</small>	31		1	1,00	0,98	0,96
			2	0,97	0,93	0,89
3	0,96	0,92	0,86			

Cable utilizado: **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** unipolar (cable de cobre termoestable, máxima temperatura en el conductor 90 °C).



Cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** unipolar.

este criterio, podríamos calcular la temperatura del conductor para saber si podemos utilizar una sección inferior.

Calculamos la intensidad que va a circular por la línea:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{130000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,9} \approx 208 \text{ A}$$

El valor de la sección por caída de tensión en una instalación trifásica con influencia de la reactancia ($S_{Cu} > 35 \text{ mm}^2$; $S_{Al} > 70 \text{ mm}^2$) se obtiene según la siguiente expresión (ver apartado E):

SECCIÓN POR CAÍDA DE TENSIÓN

Suponemos la conductividad más desfavorable para el cobre [a 90 °C → $\gamma = 45,5 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$] y si nos dominara

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot (\Delta U - 1,732 \cdot 10^{-3} \cdot x/n \cdot L \cdot I \cdot \sin \varphi)} = \frac{\sqrt{3} \times 175 \times 208 \times 0,9}{45,5 \times (20 - 1,732 \times 10^{-3} \times 0,08/1 \times 175 \times 208 \times 0,436)} = 70 \text{ mm}^2 \rightarrow 70 \text{ mm}^2$$

SECCIÓN POR INTENSIDAD ADMISIBLE

Inicialmente tenemos que ver a que sistema de instalación tipo corresponde la bandeja perforada con cables unipolares.

En la página 44 de este catálogo se puede encontrar la correspondencia entre el sistema de instalación de cables unipolares en bandeja perforada y el método tipo.

REF.	MÉTODOS DE INSTALACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
31		Cables unipolares (F) o multipolares (E) sobre bandejas perforadas.	E o F

Tenemos una intensidad de 208 A en una instalación trifásica en bandeja con cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** que es termoestable y por tanto soporta 90 °C en el conductor y se debe buscar en la tabla de intensidades admisibles de la UNE-HD 60364-5-52 como XLPE3 la primera intensidad que supera la corriente de nuestra línea para el método tipo F.

XLPE3) vemos que el primer valor que supera los 208 A es 243, el correspondiente a la sección de 70 mm² pero este valor debe ser afectado del coeficiente de corrección por agrupamiento 0,92 por lo que la máxima intensidad admisible para conductores **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** de 1x70 en el tendido será de 243 A x 0,92 = 224 A (redondeando bajo el mismo criterio empleado en la norma UNE-HD 60364-5-52).

En la columna 11 de la tabla de intensidades admisibles (F +

NÚMERO DE CONDUCTORES CON CARGA Y NATURALEZA DEL AISLAMIENTO																			
A1		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)	XLPE2 (90 °C)										
A2		PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)	XLPE2 (90 °C)											
B1				PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)							XLPE3 (90 °C)				XLPE2 (90 °C)			
B2				PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)	PVC2 (90 °C)								
C							PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)		XLPE3 (90 °C)			PVC2 (90 °C)			
D*		VER SIGUIENTE TABLA																	
E									PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)	
F											PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)		XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)
Cobre	mm ²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	25
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	34
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	46
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	59
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	82
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	110
	25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
	35	72	77	86	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
	50	86	94	103	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
	70	109	118	130	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
	95	131	143	156	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
	120	150	164	179	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
	150	171	188	196	224	236	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458
185	194	213	222	256	268	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523	
240	227	249	258	299	315	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	
300	259	285	295	343	360	398	396	432	414	461	468	516	524	547	549	630	674	713	

Tabla de intensidades admisibles para instalaciones al aire. UNE-HD 60364-5-52.

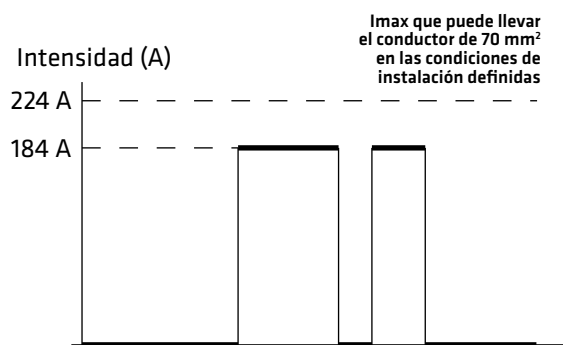
Vemos por tanto que 70 mm² es la sección por el criterio de la intensidad admisible y que coincide con el valor de la sección por caída de tensión, por tanto trabajaremos con este valor de sección técnica mínima suponiendo que satisface también las exigencias de cortocircuito.

Si no seguimos haciendo cálculos podríamos utilizar 3 cables unipolares de 1x70 mm² **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** para las fases, un cable del mismo tipo de 1x70 mm² para el neutro (misma sección que las fases según el último párrafo del punto 2.2.2 de la ITC-BT 19) y 1x35 para el conductor de protección. Como los cables de 0,6/1 kV no tienen asignadas diferentes coloraciones en sus aislamientos, ni en sus cubiertas conviene que su función (fase, neutro o protección) sea identificada adecuadamente con algún señalizador, argolla, etiqueta, etc. según recomienda la GUÍA-BT 19 en su apartado 2.2.4.

■ SECCIÓN ECONÓMICA Y ECOLÓGICA

Partiendo de la sección técnica vamos a ver cuanto nos podemos ahorrar si aumentamos la sección teniendo en cuenta que gastaremos más dinero en el cable pero ahorraremos en pérdidas resistivas.

Consideremos que aproximadamente nuestra línea es recorrida por los siguientes valores de intensidad en función de la hora de cada día laborable, entendidos como laborables 228 días/año y el resto (137 días) no laborables (vacaciones, fines de semana y fiestas).



Es decir, la línea es recorrida por una intensidad aprox. de unos 184 A (~ 115 kW, algo menos del valor máximo previsto en el cálculo inicial) de 8 a 13 horas y de 15 a 18 horas los días laborables y el resto del tiempo está desconectada.

Por tanto, cada año tenemos un periodo de actividad aproximado de...

$$8 \text{ horas/día laborable} \times 228 \text{ días laborables/año} = 1824 \text{ horas/año}$$

La energía perdida en la resistencia eléctrica en una línea trifásica (siendo optimistas y suponiendo el neutro totalmente descargado) respondería a la siguiente expresión:

$$E_p = 3 \cdot R \cdot I^2 \cdot t \cdot L \cdot 1/1000 \text{ [kW}\cdot\text{h]}$$

Siendo

- R: resistencia de la línea en W/km
- I: intensidad que recorre la línea en A
- t: tiempo en h
- L: longitud de la línea en km

Por tanto, sabiendo la resistencia de la línea para cada sección concreta tendremos los valores de energía perdida en la línea para cada sección.

Como sabemos la resistencia de un conductor depende de su temperatura, con lo que calculando la temperatura del conductor podremos saber su resistencia real en cada caso y así cuantificar las pérdidas con más exactitud.

NOTA: se puede simplificar el cálculo tomando valores de resistencia a 20 °C (UNE-EN 60228), los resultados serán menos exactos pero pueden valer para hacerse una idea inicial más rápida, toda vez que el resultado real será más favorable al ser la resistencia real superior a la tabulada a 20 °C.

Sabemos que la temperatura de un conductor recorrido por una corriente I se puede obtener con la siguiente expresión:

$$T = T_{amb} + (T_{max} - T_{amb}) (I/I_{max})^2$$

Donde:

- T_{amb}: temperatura ambiente de la instalación (40 °C en nuestro caso).
- T_{máx}: temperatura máxima que puede soportar el conductor [90 °C para el cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** de nuestro ejemplo].
- I: intensidad que recorre el conductor (184 A durante 8 horas cada día laborable).
- I_{máx}: intensidad máxima que puede recorrer el conductor en las condiciones de la instalación (224 A)

Sustituyendo:

$$T_{70 \text{ a } 184 \text{ A}} = 40 + (90 - 40) (184/224)^2 = 73,73 \text{ °C}$$

Una vez que hemos calculado la temperatura, podemos obtener la resistencia del cable...

$$R_T = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (T - 20)]$$

Donde:

- R_T: valor de la resistencia del conductor en Ω/km a la temperatura T.
- R₂₀: valor de la resistencia del conductor a 20 °C (valor típicamente tabulado). Al cable de 70 mm² de aluminio corresponde una resistencia de 0,272 Ω/km (UNE-EN 60228).
- α: coeficiente de variación de resistencia específica por temperatura del conductor en °C⁻¹ (0,00392 para Cu y 0,00403 para Al).
- T: temperatura real del conductor (°C).

EJEMPLO DE CÁLCULO DE SECCIÓN ECONÓMICA Y "AMORTIZACIÓN ECOLÓGICA"

$$R_{70 \text{ a } 73,73}^{\circ\text{C}} = 0,272 \times [1 + 0,00392 \times (73,73 - 20)] = 0,329 \Omega/\text{km}$$

Por tanto la energía perdida en un año en la línea será de:

$$E_{P70} = 3 \times 0,329 \times 184^2 \times 0,175 \times 1824/1000 = 10666 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

Y el coste de la energía suponiendo una tarifa aproximada de 0,09 €/kW·h

$$C_{P70} = 10660 \text{ kW}\cdot\text{h} \times 0,09 \text{ €/kW}\cdot\text{h} = 960 \text{ €}$$

Y en unos 25 años de vida útil mínima que pudiéramos estimar:

$$C_{P70, 25 \text{ años}} = 24000 \text{ €}$$

Procedemos análogamente con el resto de secciones superiores hasta 240 (95, 120, 150, 185 y 240). Teniendo en cuenta que para calcular la temperatura del conductor en estos casos la I max. será respectivamente: 274, 322, 369, 423 y 501 A (ver columna 11 de la tabla de intensidades admisibles) y multiplicar los valores por el coeficiente de corrección por agrupamiento 0,92.

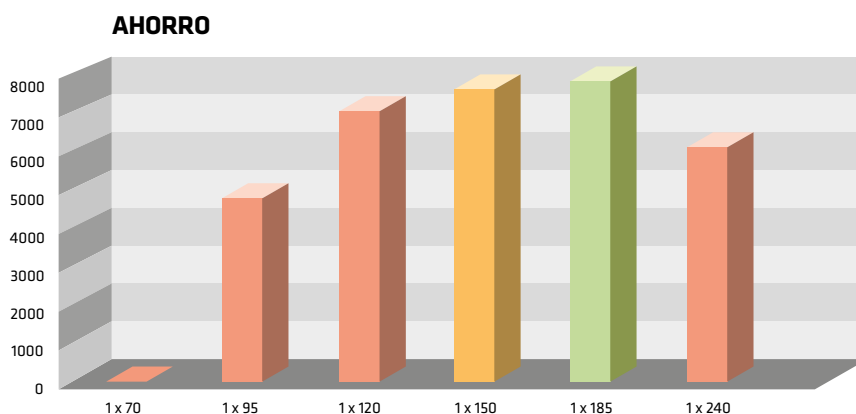
Operando, obtendremos los datos resumidos en la siguiente tabla:

SECCIÓN	COSTE APROX.	R A 20 °C (UNE-EN 60228)	R CON I = 184 A	T CONDUCTOR CON I = 184 A	PESO CABLE	COSTE APROX. LÍNEA (3 FASES) + NEUTRO* + PROTECCIÓN	ΔCOSTE CABLE RESPECTO A 70 mm ²	PÉRDIDAS RESISTIVAS (25 AÑOS)	COSTE DE LAS PÉRDIDAS RESISTIVAS (25 AÑOS)	AHORRO ELÉCTRICO RESPECTO SECCIÓN 70 mm ² (25 AÑOS)	DIFERENCIA ENTRE EL AHORRO ELÉCTRICO E ΔCOSTE CABLE RESPECTO A 70mm ²	AMORTIZACIÓN ECONÓMICA	CO ₂ EMITIDO POR LA FABRICACIÓN DEL CABLE DE LA LÍNEA	CO ₂ EMITIDO POR PÉRDIDAS RESISTIVAS (25 AÑOS) RESPECTO A 70 mm ²	AMORTIZACIÓN ECOLÓGICA
mm ²	€/m	Ω/km	Ω/km	°C	kg/ km	€	€	kW·h	€	€	€	años	kg	kg	años
1x35	3,3	0,554	-	-	395	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1x50	4,7	0,386	-	-	550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1x70	6,7	0,272	0,329	73,73	750	5267	0	266650	24000	0	0	-	3790	0	-
1x95	8,6	0,206	0,241	63,05	970	6842	1575	195325	17579	6421	4846	6,13	4495	-27817	0,43
1x120	10,7	0,161	0,184	57,17	1200	8662	3395	149125	13422	10578	7183	8,02	6196	-45835	0,91
1x150	13,3	0,129	0,146	52,85	1480	10815	5548	106750	10621	13379	7831	10,37	7691	-62361	1,44
1x185 ⁽³⁾	16,0	0,106	0,118	49,82	1866	12705	7438 ⁽²⁾	95975	8637	15363 ⁽²⁾	7925 ⁽³⁾	12,10	9415	-66563	2,11
1x240 ⁽³⁾	21,0	0,0801	0,0886	47,05	2350	16572	11805	71800	6463	17537	6232	16,12	11833	-75992	3,05

*Neutro igual sección que las fases y conductor de protección, sección mitad.

NOTA: tanto la tarifa eléctrica como los precios de cable están sujetos a oscilaciones.

Como vemos la sección económica (185 mm²) nos reportaría 7925 € dado que esta es la diferencia entre el ahorro eléctrico y el incremento de coste del cable respecto a la sección de 70 mm². (15363 - 7438 = 7925 €).



El plazo de amortización la sección económica sería:

$$15363 \text{ €} / 25 \text{ años} = 614,52 \text{ €/año}$$

$$7438 \text{ €} / 614,52 \text{ €/año} = 12,1 \text{ años}$$

Es decir a los 12,1 años hemos pagado el incremento de precio del cable de sección 185 mm² respecto a 70 mm² con el ahorro de energía eléctrica no perdida. A partir de ese momento el saldo empieza a ser positivo y comenzamos el ahorro que llegará a ser de 7925 € al cabo de los 25 años estimados aproximadamente de vida de la línea.

Las pérdidas resistivas con la sección de 240 mm² son lógicamente menores pero al amortizarse más tarde el incremento de sección, hay menos tiempo para saldo positivo y por ello el resultado económico sería de 6232 € a favor. Eso si, el ahorro ecológico es superior toda vez que es prácticamente insignificante la comparación entre las emisiones por fabricar el cable y las emisiones por ahorro del "peaje" resistivo en la línea.

Recientemente la Asociación española de fabricante de cables y conductores eléctricos y de fibra óptica (FACEL) publicado una tabla con los valores de emisiones de CO₂ por kg de cable fabricado. Para cables de energía de baja tensión con conductor/es de cobre de alta seguridad (AS) cuantifica en 6,379* kg de CO₂ emitidos por kg de cable fabricado.

Con los datos de que disponemos ya podemos poner

*Dato de la última tabla publicada.

$$\text{Peso con fases de 70} \rightarrow 4 \times 0,175 \text{ km} \times 750 \text{ kg/km} + 0,175 \text{ km} \times 395 \text{ kg/km} = 594 \text{ kg cable}$$

$$\text{Peso con fases de 185} \rightarrow 4 \times 0,175 \text{ km} \times 1866 \text{ kg/km} + 0,175 \text{ km} \times 970 \text{ kg/km} = 1476 \text{ kg cable}$$

$$\Delta \text{Peso cable} = 1476 - 594 = 882 \text{ kg cable}$$

$$\text{Emisiones CO}_2 = 882 \text{ kg cable} \times 6,379 \text{ kg CO}_2/\text{kg cable} = \mathbf{5626 \text{ kg CO}_2}$$

¡12 veces menos emisiones! por utilizar la sección económica (185 mm²) y no la sección técnica (70 mm²). Por lo que la sección económica se revela como un aliado del medio

números a las emisiones por fabricación del cable y por pérdidas resistivas. En este último caso algunas fuentes apuntan a un valor en torno a 0,39 kg CO₂/kW·h eléctrico, teniendo en cuenta el mix nacional.

Con las operaciones realizadas y los datos tabulados tenemos la energía que perderíamos en la línea con cable de 70 mm² y con la sección económica de 185 mm².

$$E_{P70} = 10666 \text{ kW}\cdot\text{h/año} \rightarrow \text{en 25 años: } 266650 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

$$E_{P185} = 3839 \text{ kW}\cdot\text{h/año} \rightarrow \text{en 25 años: } 95975 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

Y la diferencia será la energía eléctrica que ahorramos:

$$E_{PA} = E_{P185} - E_{P70} = 266650 - 95975 = 170675 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

Y por tanto las emisiones de CO₂ ahorradas con la sección económica quedarían en...

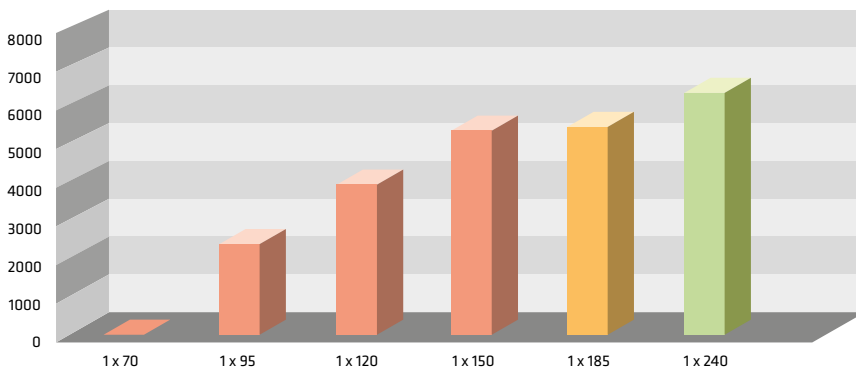
$$\text{Emisiones CO}_2 = 170675 \text{ kW}\cdot\text{h} \times 0,39 \text{ kg CO}_2/\text{kW}\cdot\text{h} = \mathbf{66563 \text{ kg CO}_2}$$

Ahora comparemos con las emisiones por fabricación de cable más pesado (185 mm² frente a 70 mm² en las fases y neutro y sección mitad en el conductor de protección).

Por lo que las emisiones por fabricación de 882 kg más de cable para satisfacer la sección económica de 185 mm² serán:

ambiente por las importantes reducciones de emisiones que hemos podido valorar.

REDUCCIÓN EMISIONES CO₂ (kg)



Reducción de emisiones de CO₂ respecto a la utilización de la sección mínima por criterios técnicos (70 mm²).

Vamos a ver cuando amortizaríamos ecológicamente el paso de la sección de 70 a 185 mm²:

$$5626 \text{ kg CO}_2 / 66563 \text{ kg CO}_2 \times 25 \text{ años} \times 365 \text{ días/año} = 771 \text{ días}$$

La "amortización ecológica" se produce por tanto en **sólo unos 2 años**. Es decir, en 2 años habremos ahorrado tantas emisiones de CO₂ como las que nos hemos gastado de más por la fabricación del cable de la sección económica 185 mm² frente a la sección técnica de 70 mm². No obstante, podemos ver en la tabla de resultados que incluso sólo un salto de sección, pasando a 95 mm², conlleva un ahorro económico y una importante reducción del impacto ambiental.

Expresando el "ahorro ecológico" en otras unidades de uso frecuente y más directamente perceptibles podemos tradu-

cir en árboles el CO₂ que ahorramos al medio ambiente.

Algunas fuentes cifran en 20 kg de CO₂ la retención neta media por árbol cada año, igualmente hay datos aproximados de emisiones en torno a 2305 kg de CO₂ estimados producidos por coches de entre 60 y 90 CV que recorren una media de 15000 km anuales (60% carretera y 40% ciudad).

Sabemos que el paso de sección de 70 a 185 mm² reduce el consumo energético en la línea de 10666 kWh/año a 3839 kWh/año y operando obtenemos el número de árboles que habría que plantar para conseguir el mismo ahorro de CO₂:

$$[(10666 - 3839 \text{ kWh/año}) \times 0,39 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}] / 20 \text{ kg CO}_2/\text{árbol año} = 133 \text{ árboles}$$

$$5626 \text{ kg CO}_2/25 \text{ años} = 225 \text{ kg CO}_2/\text{año} \rightarrow 225/20 = 11 \text{ árboles}$$

$$133 - 11 = 122 \text{ árboles}$$

E igualmente podemos comprobar a cuantos km de coche anuales equivaldría la emisión de CO₂ por utilizar la sección de 70 en lugar de 185 mm²:

$$2305 \text{ kg CO}_2 / 15000 \text{ km} = 0,154 \text{ kg CO}_2/\text{km}$$

$$[(10666 - 3839 \text{ kWh}) \times 0,39 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}] - 5626 / 25 \text{ kg CO}_2] / 0,154 \text{ km} = 15828 \text{ kg CO}_2/\text{km} \rightarrow \text{y en 25 años } 395700 \text{ km}$$

(lo que emitirían aproximadamente casi 3 coches a lo largo de su vida útil, suponiendo una vida media de 10 años por coche)

En el ejemplo desarrollado no se han considerado los posibles incrementos de coste de componentes ajenos al cable como conectores, tendido, bandeja, protecciones... como tampoco se ha considerado el retorno al cabo de los 25 años del interesante valor residual chatarra) de la mayor cantidad de cobre utilizada en los cables de sección económica 185 frente a 70 mm². El peso de cobre incrementado es de 724 kg.

Igualmente hay que considerar que el nivel medio de carga de la línea es bajo al estar todos los días no laborables desconectada y funcionando sólo 1/3 del tiempo de los días laborables. Con niveles de carga superior, los resultados obviamente habrían sido más favorables todavía (más ahorro económico y ecológico).

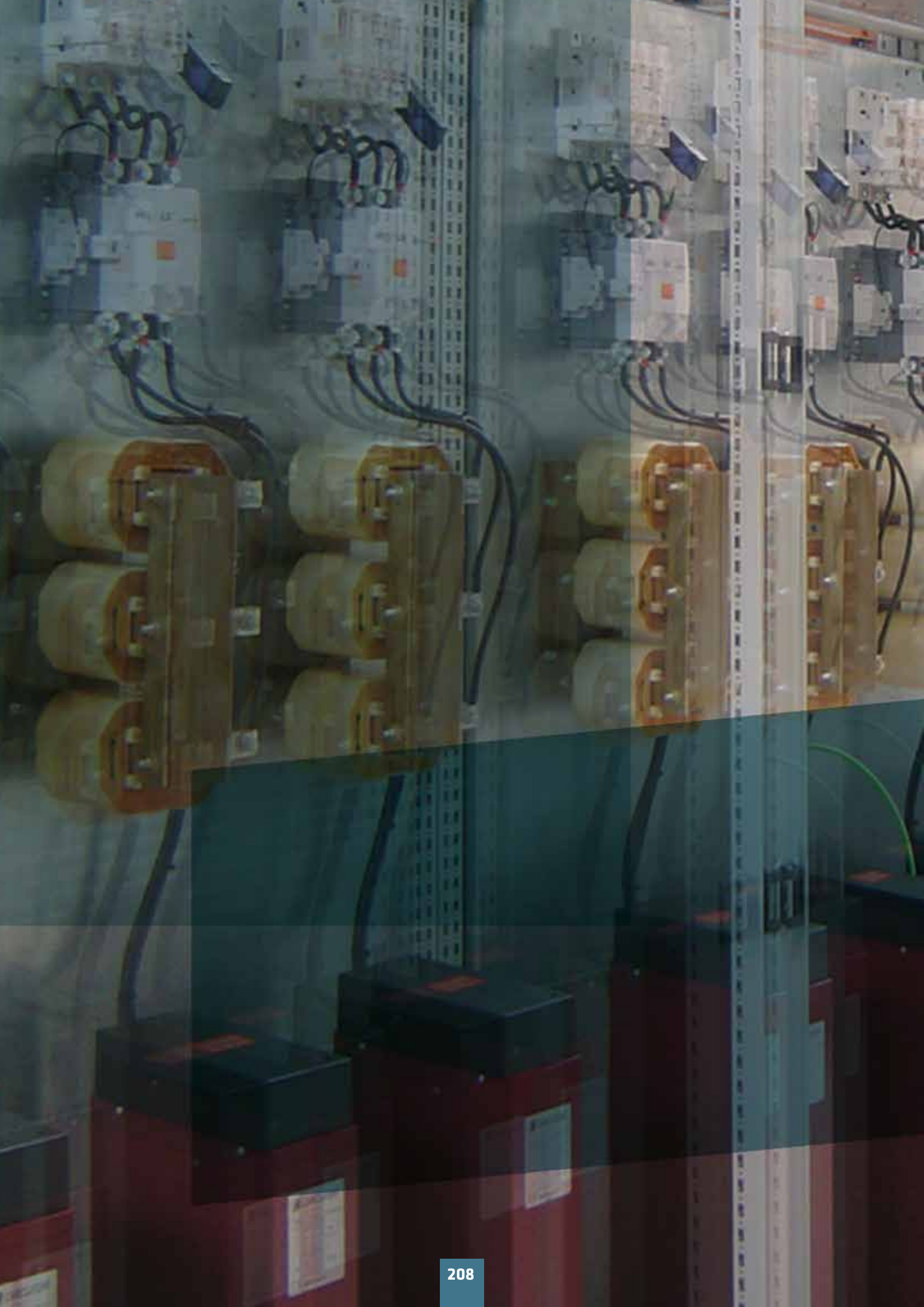
Se ha supuesto tarifa constante en 25 años, sin actualizar el valor de los futuros ingresos (en forma de ahorro). Implícitamente, por tanto, se ha estimado que la tarifa eléctrica fuera a aumentar según el tipo de interés oficial.

Se simplificaría mucho el cálculo considerando desde el inicio las resistencias a 90 °C, ahorrándonos los cálculos de resistencia de conductor a la temperatura a la que realmente está. Los valores a 90 °C se pueden tomar de las tablas del punto 13 del apartado K. Los resultados sufrirán variaciones respecto al cálculo desarrollado en este ejemplo pero servirán para tener un orden de magnitud.

Con la sección económica nos hemos ahorrado no sólo bastante dinero sino muchas emisiones al medio ambiente y además conseguimos otros beneficios como:

- Mayor vida útil de la línea al ir más descargada.
- Mejor respuesta a fenómenos transitorios.
- Posibilidad de ampliación de potencia sin cambiar el cable.
- ...

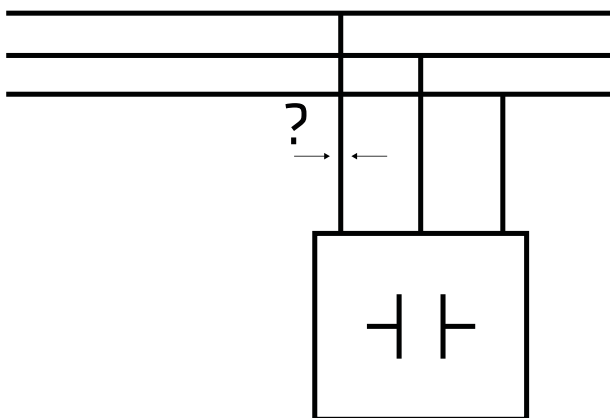
Le proponemos que tenga en cuenta la sección económica y el ahorro ecológico en los estudios de líneas que realice, su economía y el medio ambiente se lo agradecerán.



Q/Eficiencia energética.

EJEMPLO DE CÁLCULO DE SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES DE ALIMENTACIÓN A UNA BATERÍA DE CONDENSADORES.

La corrección del factor de potencia con baterías de condensadores es una forma de mejorar la eficiencia energética de una instalación porque reducimos la intensidad eficaz al elevar el $\cos \varphi$. La idiosincrasia de estos receptores aconseja tener en cuenta varios factores a la hora de dimensionar las secciones de los conductores que los alimentan.



A diferencia de la gran mayoría de aparatos eléctricos los condensadores de compensación de Energía Reactiva, ER, una vez que están conectados a una red de alimentación de nivel de tensión eficaz apreciablemente constante, funcionan a plena carga de forma permanente.

Las baterías de compensación de la ER pueden instalarse de forma centralizada, descentralizada o mixta. En este artículo nos ceñiremos a los sistemas de corrección del factor de potencia, suministrados en forma de conjuntos equipados completos, para instalar sin ninguna modificación en un punto concreto de la red de distribución interior del usuario interesado en tal mejora del mencionado factor de potencia.

Dejamos a un lado, por lo tanto, el cálculo del cableado interior de dichos cuadros, cuyos criterios se detallan en el ANEXO A de la Norma UNE-EN 60439-1 (IEC 60439-1), para centrarnos en la canalización eléctrica que une el citado cuadro con el punto en el que se va a inyectar la compensación.

Como no se trata de diseñar la canalización sino simplemente de calcular su sección, partimos de la base de que

todas las partes de diseño están ya realizadas y solamente resta realizar el cálculo bajo los tres puntos de vista, o hipótesis habituales:

- ■ Equilibrio térmico en régimen permanente, o 1ª hipótesis (intensidad máxima admisible).
- ■ Caída de tensión máxima en el extremo de la canalización, o 2ª hipótesis.
- ■ Temperatura máxima de aislante después de la intervención de las protecciones tiempo-independiente, o 3ª hipótesis (intensidad máxima de cortocircuito admisible).

Es bien conocido que el peso relativo de estas hipótesis, es decir la sección resultante obtenida por la aplicación de los criterios de cálculo bajo cada uno de los puntos de vista, es variable. En el caso que nos ocupa es bastante evidente que tanto la segunda como la tercera son, en la práctica totalidad de los casos de canalizaciones eléctricas a baterías de condensadores, irrelevantes.

En el caso del cálculo por 3ª hipótesis, por ejemplo, la razón es que el tiempo corte total de la corriente de cortocircuito es del orden de los 10 ms, debido a la gran rapidez de actuación de las protecciones en baja tensión, que asegura el corte de la intensidad de la corriente en su primer paso por cero.

En el caso del cálculo por caída de tensión, o 2ª hipótesis, porque en la práctica totalidad de los casos la batería de condensadores está situada en las inmediaciones del Cuadro General de BT, o por lo menos de un gran cuadro secundario, unidas a las barras generales por una canalización eléctrica que muy raramente superará los 15 m.

Si a esto añadimos que el efecto que la instalación de una batería de condensadores provoca es realmente una elevación de la tensión y no una caída, llegaremos a la conclusión antes enunciada.

Esta elevación de tensión se recoge en el punto 5.3.5 de la Norma UNE-EN 61921, con la redacción siguiente:

a) Los condensadores en paralelo pueden causar un incremento de la tensión desde la fuente al punto donde están colocados (véase el anexo D); este incremento de tensión puede ser mayor debido a la presencia de armónicos.

En el punto 3 del citado Anexo D, se recoge la expresión para el cálculo práctico de la elevación de tensión en régimen permanente:

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S}$$

En la que:

ΔU es el incremento de la tensión en voltios (V).

U es la tensión antes de la conexión del condensador (V).

Q es la potencia de la batería de condensadores, en MVAR para hacer la expresión coherente.

S es la potencia de cortocircuito en el punto donde se conecta la batería de condensadores, en MVA.

La misma expresión figura en la norma IEC 60871-1, para el cálculo del incremento de tensión que supone la conexión de una batería de condensadores en alta tensión, en la forma siguiente:

$$\Delta U\% = \frac{Q_{bat}}{S_{cc}}$$

En la que:

ΔU es el incremento de la tensión en tanto por ciento;

Q_{bat} es la potencia de la batería de condensadores,

S_{cc} es la potencia de cortocircuito en el punto donde se introduce la batería de condensadores.

Para el cálculo, por primera hipótesis, hemos de tener en cuenta en primer lugar que el comportamiento como carga de los condensadores difiere ligeramente de otros tipos de cargas. En general los fabricantes de condensadores indican que la intensidad de la corriente para la cual debe dimensionarse la canalización eléctrica de la batería de condensadores, de 3L+PE, será de 1,4 a 1,5 veces la corriente asignada de la misma. La explicación es que la norma UNE 60831 establece que los condensadores deben soportar una sobrecarga de 1,3 veces la asignada. Además, el punto 7.3 de la misma norma establece las tolerancias de capacidad siguientes:

■ -5% a +10% para los condensadores unitarios y las baterías hasta 100 kVAR.

■ -5% a +5% para los condensadores unitarios y las baterías superiores a 100 kVAR.

Por lo que la sobrecarga conjunta máxima sería $1,3 \cdot 1,10 = 1,4$, en el primer caso, baterías hasta 100 kVAR, y $1,3 \cdot 1,05 = 1,365$ para las mayores de 100 kVAR.

Algunos fabricantes aconsejan aplicar un coeficiente de 1,5, por mayor seguridad. Probablemente se pretende englobar en este coeficiente la minoración de la capacidad de carga provocada por el incremento del efecto pelicular debido a la presencia de armónicos.

Recordemos que el efecto pelicular crece con el cuadrado de la frecuencia, por lo que los armónicos producen el efecto de una reducción de la sección efectiva. La norma UNE 21144-1-1 (IEC 60287-1-1) en su apartado 2 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS, indica que la resistencia de un conductor por unidad de longitud, en corriente alterna y a la temperatura máxima de servicio, se calcula aplicando:

$$R = R' (1 + \lambda_s + \lambda_p)$$

En la que:

R es la resistencia del conductor con corriente alterna a la máxima temperatura de servicio, (Ω/m).

R' es la resistencia del conductor con corriente continua a la máxima temperatura de servicio, (Ω/m).

λ_s es el factor de efecto pelicular.

λ_p es el factor de efecto proximidad.

La norma citada dedica los dos puntos siguientes al cálculo de estos factores de efecto pelicular, λ_s , y de proximidad, λ_p , cálculo prolijo y complejo que, en resumen, puede llegar a añadir por ambos efectos hasta un 56% más a la resistencia. Dado que la relación entre resistencia y capacidad de carga, a igualdad del resto de factores, es cuadrática inversa esta capacidad podría llegar a disminuir hasta un 25%, aunque la Guía técnica de aplicación del REBT en su Anexo 2, en un alarde de optimismo, evalúa este efecto en solamente un 2%.

Resumiendo: en caso de fuertes secciones y altas tasas de distorsión armónica, THD, podríamos llegar a un factor, por el cual multiplicar la intensidad asignada de la batería de condensadores de:

$$1,3 \cdot 1,05 \cdot 1,25 = 1,7$$

En el caso contrario, secciones pequeñas y pequeñas tasas de distorsión armónica, el factor a aplicar podría ser de:

$$1,3 \cdot 1,10 \cdot 1,02 \sim 1,5$$

Finalmente para el dimensionado del conductor de protección PE, nos remitimos a lo indicado en UNE-HD 60364-5-52

■ EJEMPLO

Tensión de línea: $U = 690$ V

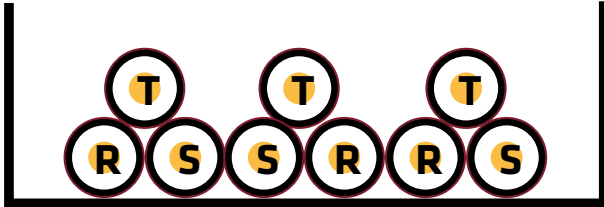
Potencia de la batería de condensadores: $Q = 720$ kVAR

Se puede aproximar que la intensidad es puramente capacitiva y que el módulo de I que circula por el cable se obtendrá por tanto:

$$I = Q/(\sqrt{3}U) = 720\ 000/(\sqrt{3} \times 690) = 602$$
 A

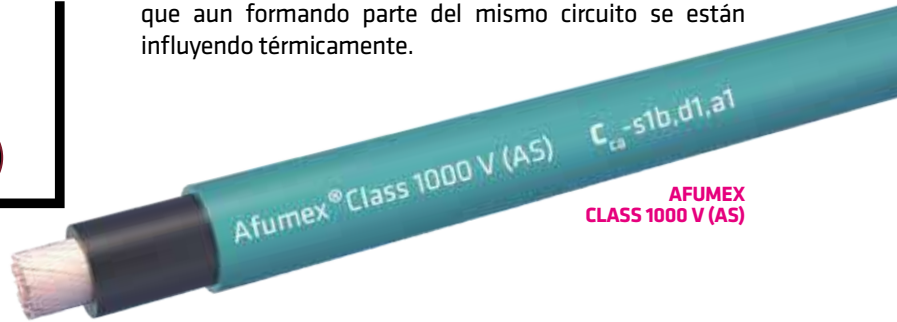
Aplicamos el coeficiente 1,7 en ausencia de datos más concretos y dado que se trata de una batería de potencia superior a 100 kVAr.

$$I' = 1,7 \times 602 \text{ A} = 1023 \text{ A}$$



Esquema de colocación de las fases.

Instalamos **3 cables AFUMEX CLASS 1000 V (AS) de cobre de 1x185** en bandeja perforada en contacto (ordenando adecuadamente las fases de cada terna, *ver dibujo*). Su intensidad admisible es de 460 A en condiciones estándar (UNE-HD 60364-5-52) pero tenemos que considerar el efecto de la agrupación por tratarse de 3 ternas de cables que aun formando parte del mismo circuito se están influyendo térmicamente.



AFUMEX
CLASS 1000 V (AS)

El coeficiente de corrección por agrupamiento de las 3 ternas en contacto es 0,8 (tabla C.52.3, fila 4 de UNE- HD 60364-5-52 y en este catálogo...)

Verificamos que los cables soportarán la intensidad necesaria I' .

$$3 \times 460 \times 0,8 = 1104 \text{ A} > 1023 \text{ A}$$

Prysmian Group

PRYSMIAN CABLES SPAIN, S.A.U.
Ctra. C-15, km 2
08800 Vilanova i la Geltrú, Spain
Tel. Atención cliente: 938 116 006
atencion.clientes@prysmiangroup.com

FOLLOW US



www.prysmianclub.es

