

Solución a situaciones particulares y frecuentes. Baja Tensión.

Edición 2023



Solución a situaciones particulares y frecuentes. Baja Tensión.

Edición: Mayo 2023

Publicado por PRYSMIAN CABLES SPAIN S.A.U.

Ctra. C-15, km 2 · 08800 Vilanova i la Geltrú (Barcelona)

+34 93 220 14 92

atención.clientes@prysmiangroup.com

www.prysmiangroup.es

www.prysmianclub.es

Reservados todos los derechos.

No se permite la reproducción total o parcial de esta obra ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright.

La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Prysmian Cables Spain, S.A.U. se reserva el derecho de modificar el contenido de este catálogo, en cualquier momento y sin previo aviso.

Solución a situaciones particulares y frecuentes. Baja Tensión.

Índice

1. Agrupaciones de cables en varias capas en bandejas.....	4
2. Agrupaciones de tubos en varias capas	5
3. Agrupaciones de varios circuitos bajo un mismo tubo o conducto (tablas de intensidades para el caso particular de cuadros eléctricos)	5
4. Agrupación de varios circuitos en un mismo tubo o conducto enterrado	9
5. Intensidad máxima para cables de uso provisional enrollados en tambor o bobina	9
6. Cálculo de la reactancia inductiva de circuitos con conductores a tresbolillo o dispuestos en una capa	10
7. Cálculo de la caída de tensión exacta	10
8. Colocación de neutros cuando la instalación necesita varios conductores por fase.....	11
9. Tensiones eléctricas máximas que pueden soportar permanentemente los cables.....	14
10. Marcado de los cables para BT	15
11. Emisión de CO ₂ por kg de cable fabricado	17
12. Intensidades admisibles y caídas de tensión para líneas de corriente continua.....	18
13. Valores de resistencia de conductor a diferentes temperaturas	18
14. Cables rígidos y cables flexibles. Similitudes y diferencias. Ventajas e inconvenientes	20
15. Cálculos para alumbrado.....	22
16. Variación de las condiciones de instalación a lo largo del tendido del cable.....	22
17. Intensidades admisibles para cables con más de 4 conductores cargados.....	23
18. Agrupación adecuada de conductores en instalaciones fotovoltaicas	24
19. Cables expuestos al sol	25
20.Reducción de la potencia perdida por efecto Joule en los conductores, por reducción de la intensidad de corriente respecto al valor máximo admisible.....	26
21. Cálculos de sección a 50 y a 60 Hz en BT.....	26
22. Últimas normas de diseño para cables de BT	27
23. Coloración de los conductores.....	30
24. Cables unipolares y cables multipolares. Cuándo utilizarlos.....	31
25. Designación de los cables para BT.....	32
26. Las unidades del sistema internacional y los cables	32
27. Secciones de conductor ¿de dónde provienen?	33
28. Elección de la tensión asignada de los cables en BT	34
29. Separación entre cables eléctricos de energía y cables de comunicaciones (UTP, FTP...)	36
30. Galga americana AWG de secciones de conductor	40
31. Cálculo de la caída de tensión en una línea con fasores.....	42
32. Conductores aislados y cables con cubierta	43
33. Cálculo de sección de cables resistentes al fuego (AS+)	44
34. Clases de reacción al fuego exigidas por las reglamentaciones	44
35. Capacidad de los tubos y conductos circulares para canalizaciones de BT. Ejemplos de cálculo	45
36. Situación actual del REBT y renovación inminente	48

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.

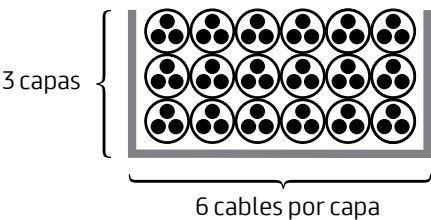


Tabla C.52.3 (UNE-HD 60364-5-52)

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	AaF
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	EyF
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.

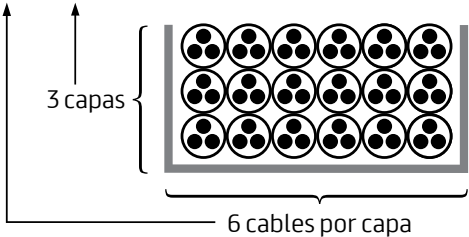
Como se desprende de la tabla, una capa de 6 cables supone aplicar un coeficiente de corrección 0,75. Veamos que coeficiente adicional tenemos que aplicar por tener 2 capas adicionales en contacto.

Recurriendo a la norma francesa NF C 15-100 parte 5-52 vemos que en la tabla 52 0 (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 ó 5	6 a 8	9 o más
Coeficiente	0,8	0,73	0,7	0,68	0,66

Lo que en nuestro ejemplo nos lleva al siguiente factor de corrección:

$F = 0,75 \times 0,73 = 0,5475$

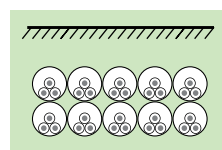
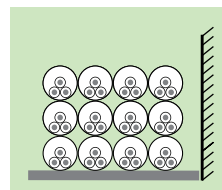


2. Agrupaciones de tubos en varias capas

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.

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) y para tubos enterrados más específicamente en la tabla B-52-19 de la misma norma.

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.

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.

En la tabla C.52.3 sabemos que tenemos coeficientes para agrupamientos pero la terminología utilizada genera dudas (primera fila).

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

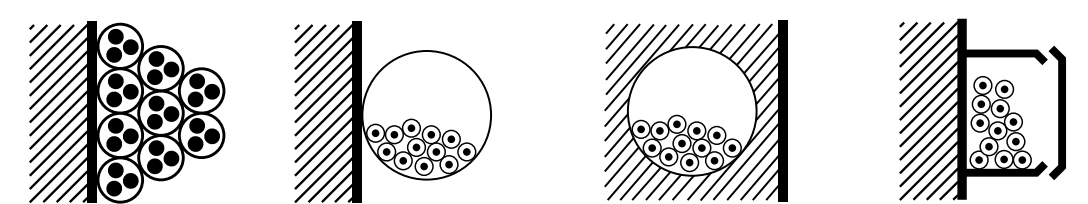


Tabla C.52.3 UNE-HD 60364-5-52

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	AaF
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	EyF
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, C, D1, D2, EyF, es decir todos

los sistemas de instalación, 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 x 1,5 mm² 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 °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 °C del estándar al aire).

Tratándose de conductores unipolares bajo tubo o conducto en el interior de cuadros eléctricos podemos tomar por válido el método de referencia B1. 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 8b con una intensidad admisible de 17,5 A.

Ver tabla en la página siguiente.

Número de conductores con carga y naturaleza de aislamiento																			
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)		
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	mm²	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...

$I = 17,5 \times 0,45 \times 0,9 = 7,1A$
(ver el valor remarcado en la tabla)

Siguiendo lo explicado se han obtenido los valores de las siguientes tablas aplicables a cables instalados en cua-

dro, 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 B1)

Número de conductores	3	6	9	12	15	18	21	24	27	36	48	60
Coefficiente por temperatura 50 °C	0,82											
Coefficiente 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	11,1	8,9	7,8	7,8	6,7	6,1	6,1	5,6	5,6	5,0	4,4	4,4
1x2,5	14,8	11,8	10,4	10,4	8,9	7,5	8,1	7,4	7,4	6,7	5,9	5,9
1x4	19,7	15,8	13,8	13,8	11,8	10,0	10,8	9,9	9,9	8,9	7,9	7,9
1x6	25,4	20,3	17,8	17,8	15,2	14,0	14,0	12,7	12,7	11,4	10,2	10,2
1x10	35,3	28,2	24,7	24,7	21,2	19,4	19,4	17,7	17,7	15,9	14,1	14,1
1x16	48,4	38,7	33,9	33,9	29,0	26,6	26,6	24,2	24,2	21,8	19,4	19,4
1x25	63,1	50,5	44,2	44,2	37,9	34,7	34,7	31,6	31,6	28,4	25,2	25,2
1x35	77,9	62,3	54,5	54,5	46,7	42,8	42,8	39,0	39,0	35,1	31,2	31,2

Al aire (Método C)

Número de conductores	3	6	9	12	15	18	21	24	27	36	48	60
Coeeficiente por temperatura 50 °C	0,82											
Coeeficiente 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: 50° 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 B1)

Número de conductores	3	6	9	12	15	18	21	24	27	36	48	60
Coeeficiente por temperatura 50 °C	0,9											
Coeeficiente 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	15,8	12,6	11,1	11,1	9,5	8,7	8,7	7,9	7,9	7,1	6,3	6,3
1 x 2,5	21,6	17,3	15,1	15,1	13,0	11,9	11,9	10,8	10,8	9,7	8,6	8,6
1 x 4	28,8	23,0	20,2	20,2	17,3	15,8	15,8	14,4	14,4	13,0	11,5	11,5
1 x 6	36,9	29,5	25,8	25,8	22,1	20,3	20,3	18,5	18,5	16,6	14,8	14,8
1 x 10	51,3	41,0	35,9	35,9	30,8	28,2	28,2	25,7	25,7	23,1	20,5	20,5
1 x 16	69,3	55,4	48,5	48,5	41,6	38,1	38,1	34,7	34,7	31,2	27,7	27,7
1 x 25	90	72,0	63,0	63,0	54,0	49,5	49,5	45,0	45,0	40,5	36,0	36,0
1 x 35	111,6	89,3	78,1	78,1	67,0	61,4	61,4	55,8	55,8	50,2	44,6	44,6

Al aire (Método C)

Número de conductores	3	6	9	12	15	18	21	24	27	36	48	60
Coeeficiente por temperatura 50 °C	0,9											
Coeeficiente 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	18	14,4	12,6	12,6	10,8	9,9	9,9	9,0	9,0	8,1	7,2	7,2
1 x 2,5	24,3	19,4	17,0	17,0	14,6	13,4	13,4	12,2	12,2	10,9	9,7	9,7
1 x 4	32,4	25,9	22,7	22,7	19,4	17,8	17,8	16,2	16,2	14,6	13,0	13,0
1 x 6	41,4	33,1	29,0	29,0	24,8	22,8	22,8	20,7	20,7	18,6	16,6	16,6
1 x 10	56,7	45,4	39,7	39,7	34,0	31,2	31,2	28,4	28,4	25,5	22,7	22,7
1 x 16	76,5	61,2	53,6	53,6	45,9	42,1	42,1	38,3	38,3	34,4	30,6	30,6
1 x 25	97,2	77,8	68,0	68,0	58,3	53,5	53,5	48,6	48,6	43,7	38,9	38,9
1 x 35	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-EN 61439-1) para el que se suele emplear software específico.

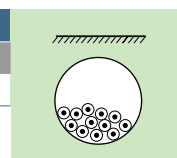
4. Agrupación de varios circuitos en un mismo tubo o conducto enterrado

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 instalaciones fotovoltaicas).

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 recomendamos, al menos cuando sea evitable, la instalación de varios circuitos en un mismo tubo o conducto por varias razones:

- Las interpretaciones legales anteriormente expuestas.
- A efectos de mantenimiento si hubiera que extraer uno o varios cables resulta difícil reponerlos cuando en el conducto ya existen otros cables.
- 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.
- Extrictamente 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.

Nota: Si observamos la tabla de la norma francesa podemos ver que los coeficientes resultan de aplicar la fórmula $1/\sqrt{n}$, siendo n el número de circuitos. Esta fórmula figura en el apartado B.52.5.1 de UNE-HD 60364-5-52 como factor de corrección de seguridad para la aplicación general.

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 sollicitación 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*

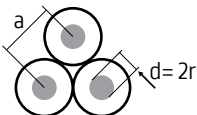
*Valores recomendados por Prysmian (no contemplados en la norma UNE 22585-2).

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 si se trata de circuitos arrollados monofásicos o trifásicos, dado que son circuitos completos y los efectos de cada conductor están compensados entre si con lo que no hay que considerar efecto solenoide. Si se trata de cables unipolares, el efecto inductivo si se tendrá en cuenta.

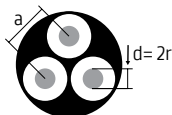
Aconsejamos, siempre que se pueda, desenrollar el cable totalmente. Los cables Protolon de Prysmian están especialmente diseñados para servicios móviles de muchos ciclos en tambores (para BT o MT).

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

Conductores a tresbolillo.



Tres cables unipolares



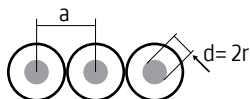
Un cable unipolar

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

En todos los casos las variables son:

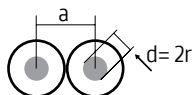
a: distancia entre ejes de los conductores en mm
(= diámetro exterior del cable cuando se trata de unipolares).
r: radio de conductor en mm

Tres conductores en un mismo plano



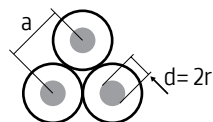
$$\rightarrow L = [4,6 \cdot \log(a/r) + 0,96] \cdot 10^{-4} \text{ [H/km]}$$

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:

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

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 2.13.15. (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 $\rightarrow U = 400 \text{ V}$

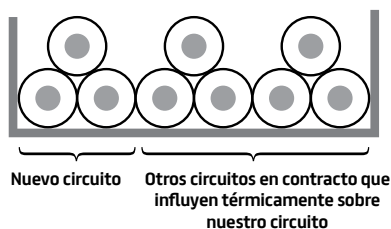
Longitud de la línea $\rightarrow L = 60 \text{ m}$

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 2.6.) de este catálogo:

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

$-\theta$: temperatura real estimada en el conductor.

$-\theta_0$: temperatura ambiente (del conductor sin carga)

$\rightarrow 40 \text{ }^\circ\text{C}$ (temperatura estándar ambiente en España para instalaciones al aire (no enterradas).

$-\theta_{\text{máx}}$: temperatura máxima admisible para el conductor se-

gún su aislamiento → como el cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** es termoestable (ver apartado 2.13.3.) → 90 °C.

– I: intensidad prevista para el conductor → 200 A

– Imáx: 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:

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

Por tanto la resistividad...

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

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

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 2.6.

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 2.6.) 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

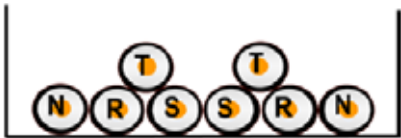
Cuando la corriente a suministrar es superior a la de la máxima sección empleable (sea por ser esta última la más elevada disponible en stock o por su posible manejabilidad para la instalación) se instalan varios conductores por fase, en paralelo. El pto. 523.7 de UNE-HD 60364-5-52 recoge esta situación aunque su redacción es mejorable.

Los conductores deberán ser de la misma naturaleza, sección, longitud (aproximada) y no pueden tener derivaciones.

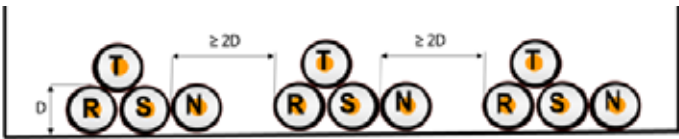
La tendencia podría ser agrupar los conductores de la misma fase pero siendo corriente alterna (no ocurre así con los 2 polos de continua) las inducciones no equilibradas provocarán grandes desequilibrios de impedancias con la lógica consecuencia de desequilibrar igualmente las intensidades. Por ello, debe llevarse especial orden con los conductores en este caso.

El anexo H de UNE-HD 60364-5-52 recoge una serie de colocaciones de conductores para los diferentes casos hasta 4 conductores por fase solamente a modo de ejemplo. Por su interés las reproducimos en la página siguiente.

Cables al tresbolillo en un solo nivel



2 conductores por fase.



3 conductores por fase (al tratarse de numero impar obsérvese que el criterio de agrupamiento cambia las ternas no se compensan 2 a 2).



4 conductores por fase.

Cables en plano en un solo nivel



2 conductores por fase.



3 conductores por fase.

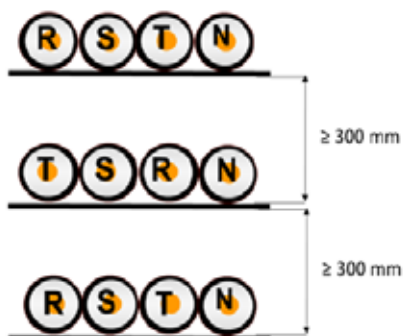


4 conductores por fase.

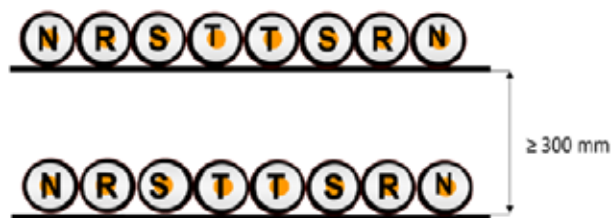
Cables en varios niveles



2 conductores por fase (niveles en contacto).



3 conductores por fase separados en 3 niveles.



4 conductores por fase separados en 2 niveles.

El pto 3.1.2.3. de la norma UNE 20435 (ya anulada) nos pedía 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. Lo consideramos un criterio acertado.

Recomendamos ver el artículo del siguiente enlace:

<https://www.prysmianclub.es/instalacion-de-varios-conductores-por-fase/>

9. Tensiones eléctricas máximas que pueden soportar permanentemente los cables

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

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

Cables hasta 450/750 V (inclusive).

La norma UNE-EN 50565-1 (Guía para la utilización de cables de tensión asignada no superior a 450/750 V (Uo/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

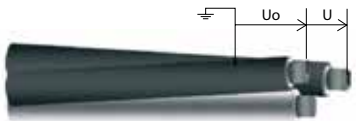
50565-1 o UNE-EN 50525, aunque también puede aplicarse a cables similares bajo recomendación del fabricante.

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 Uo/U, expresados en voltios, donde:

Uo: 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 Uo/U del cable	Tensión máxima permanente permitida para el cable			
	Corriente alterna		Corriente continua	
	Conductor / tierra	Conductor / conductor	Conductor / tierra	Conductor / conductor
V	Uo (V)	U (V)	(V)	(V)
300 / 300	320	320*	410	410
300 / 500	320	550	410	820
450 / 750	480	825	620	1240

*Solamente para sstemas 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:

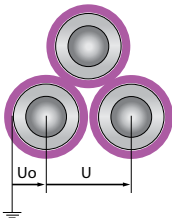
Uo: Tensión asignada eficaz a frecuencia industrial, entre cada conductor y la pantalla o la cubierta, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

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 Uo = 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 Um.

Um: 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 (U_m) en el caso del cable de 12/20 kV es 24 kV. En la siguiente tabla (tabla 2 de ITC-LAT 06) podemos encontrar los valores de U_m que corresponden a cada valor asignado de U_o/U . Reproducimos a continuación los valores más frecuentes:

Tensión asignada de cables y accesorios U_o/U (kV)	Tensión máxima eficaz U_m (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 2.14.28.).

Igualmente para el caso de redes de MT de categoría C la propia tabla 2 de ITC-LAT 06 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 (en categoría A o B) de categoría C se debe elegir cable de al menos 15/25 kV.

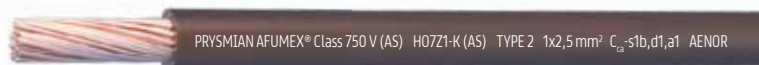
NOTA: para cables de tensión asignada superior encontramos los valores de tensión máxima (U_m) en la tabla 2 de la ITC-LAT 06 del Reglamento de Líneas de AT (RD 223/2008).

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)...) y RETENAX CPRO, UNE 21123-4 y UNE 21123-2 respectivamente, veremos que la tensión máxima entre conductores es 1,8 kV.

NOTA: para tensiones mínimas exigidas por el REBT ver punto 2.14.28.

10. Marcado de los cables para BT

Marcado del cable Afumex Class 750 V (AS)



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 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.

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.

(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 2.15.).

→ **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 resulta 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.

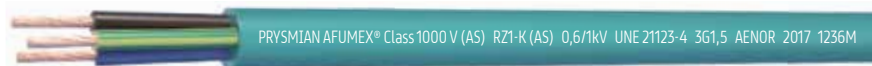
→ **C_{ca}-s1b,d1,a1**: clase de reacción al fuego según el Reglamento de Productos de Construcción (CPR). Esta marca es obligatoria (por su exigencia en la norma de diseño) y nos define el comportamiento del cable frente al fuego.

→ **AENOR**: es opcional y se inscribe cuando el cable está cer-

tificado 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 C_{ca}-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, *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 Regla-

mento 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 C_{ca}-s1b,d1,a1 17**

NOTA: la entrada en vigor del reglamento CPR a llevado a una nueva forma de fijar el marcado CE en etiquetas, embalajes y documentación que acompaña a los cables afectados por el CPR en su expedición. Ya no se debe marcar CE en la cubierta de los cables puesto que la legal implantación del CPR ha obligado a acompañar la marca CE de otra información (ver apartado sobre marcado CE en el comienzo de este libro).

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 apartado 2.19. del Libro Blanco de la instalación para BT.

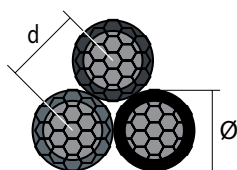
12. Intensidades admisibles y caídas de tensión para líneas de corriente continua

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 53).

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.

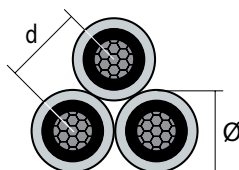
Por tanto a efectos de cálculos de sección en BT por el criterio de la intensidad admisible en corriente continua debemos operar igual que se hace con líneas de corriente alterna monofásica a 50 o 60 Hz con $\cos \varphi = 1$.

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).



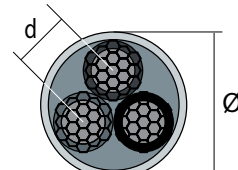
Conductores aislados como **AFUMEX CLASS 750 V (AS)** o **WIREPOL CPRO FLEX** → $d = \varnothing$.

d = diámetro de conductor + 2 x espesor de aislamiento = diámetro exterior ($\varnothing$)



Cables unipolares (con aislamiento y cubierta) como **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** o **RETNAX CPRO FLEX** de 1x... → $d = \varnothing$.

d = diámetro de conductor + 2 x espesor de aislamiento + 2 x espesor de cubierta = diámetro exterior ($\varnothing$)



Cables multipolares (con aislamiento y cubierta) como **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** o **RETNAX CPRO FLEX** de 2x, 3x, 3G, 4x, 4G, 5G... → $d \neq \varnothing$, d = diámetro de conductor + 2 x 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 extraflexible).

Los valores de resistencia de los conductores eléctricos son útiles entre otras cosas, 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 a 145 °C 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° o 90° C en corriente alterna). Ligeras variaciones de estos valores se producirían para otra disposición 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	mm	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	181	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	13,8	0,124			16,2	0,124	0,151	0,16
185	15,4	0,101			18	0,0991	0,121	0,129
240	17,6	0,0775			20,6	0,0753	0,094	0,099
300	19,8	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, clase 5)			
	Diámetro máximo de conductor*	Resistencia (cc, 20 °C)*	Resistencia (ca, 70 °C)	Resistencia (ca, 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 (ca, 90 °C)*
	mm	Ω/km	Ω/km
10	4,0	3,08	3,95
16	5,2	1,91	2,45
25	6,5	1,2	1,54
35	7,5	0,868	1,11
50	8,6	0,641	0,822
70	10,2	0,443	0,569
95	12,0	0,32	0,411
120	13,5	0,253	0,325
150	15,0	0,206	0,265
185	16,8	0,164	0,212
240	19,2	0,125	0,162
300	21,0	0,1	0,131
400	24,6	0,0778	0,1
500	27,6	0,0605	0,078
630	32,5	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 2.19.2. 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 2.14.6.).

Ejemplo de aplicación 1

Calcular las pérdidas por calentamiento en una línea trifásica equilibrada de 83 m realizada con cables unipolares de aluminio **AL 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

$$P = RI^2$$

(siendo P la potencia en W, cuando la resistencia R es en Ω y 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 Ω /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 2.14.7. 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 (XV)** 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 página 169).

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 **AFUMEX CLASS VARINET RZ1C40Z1-K VFD 1 kV (AS)** Cable 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, RZ1MZ1-K (AS) o -F (H07RN-F, DN-F, H05UV-F...).

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 no 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 (según el diámetro del tubo y las curvas del mismo).

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 un amplio abanico de cables 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	+	
Conexionado		+
Orden en la instalación		+
Intensidad admisible	=	
Tensión máxima de tracción	=	
Radio mínimo de curvatura	=	

Tabla orientativa.

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 multi-

tud 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.

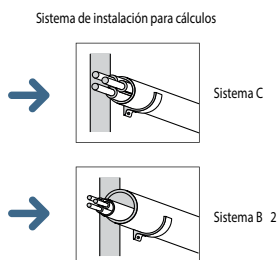
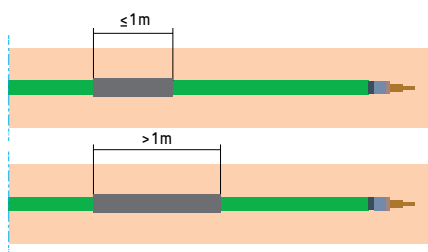
La UNE 20460-5-523 (1994) ya contemplaba 2 situaciones en las que se exime de considerar el sistema de instalación más restrictivo en su punto 7.5, a saber:

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.

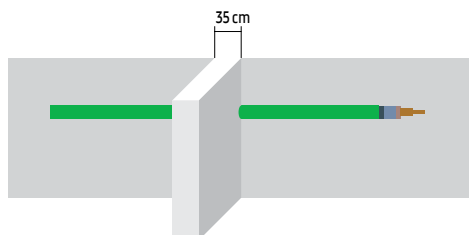
Por ejemplo, si un cable se instala grapado a la pared y en una parte de su recorrido se protege bajo tubo de longitud inferior a un metro no sería necesario tener en cuenta el tubo y por tanto el cable se puede calcular como si fuera solamente grapado a la pared de principio a fin.

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: la norma UNE 20460-5-523 (1994) fue anulada en 2004 por su versión posterior.

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 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.

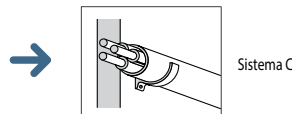
Para redes de distribución enterradas en la ITC-BT 07 (pto. 3.1.3, último párrafo) podemos leer:

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 **SIN-TENAX CPPO 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).

Numero 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



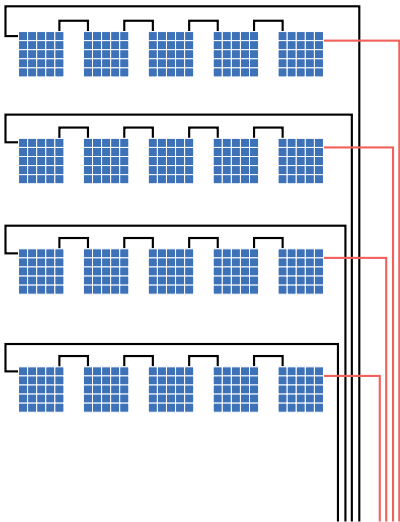
18. Agrupación adecuada de conductores en instalaciones fotovoltaicas

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 elimi-

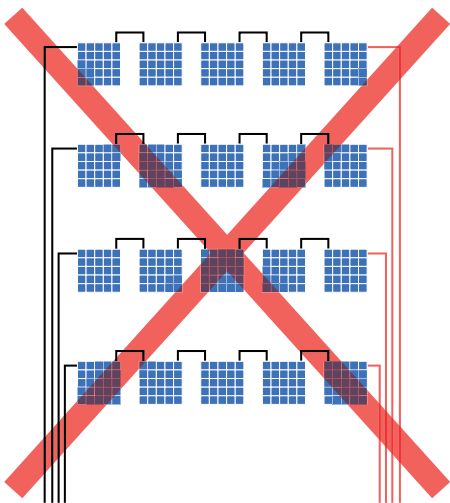
nar, en gran medida, los efectos inductivos.

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.

La correcta disposición de los conductores también debe pensarse reduciendo en lo posible los bucles de string para evitar sobretensiones elevadas por caídas de rayos.



Instalar cables de la misma polaridad juntos en canalizaciones de corriente continua es una buena práctica que previene accidentes eléctricos graves. La colocación correcta de los cables debe reducir al máximo el área de que abarca cada bucle de string.



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 20435 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 FERIECX 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.

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 del cable expuesta 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 FERIECX 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. Si bien la GUÍA-BT 30 (no vinculante) admite bandejas e intemperie en recintos de acceso restringido y a determinadas alturas en otros casos (ver pto. 2.1.2).

- La norma antecesora de la UNE 20435 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*).

- La norma francesa NF C 15-100 establece 0,85 como coeficiente por exposición directa al sol.

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.

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 matizamos 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 **Prysmian PRYSOLAR** o **TECSUN**, especialmente pensados para prestar servicio al menos 25 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 **Prysmian PRYSOLAR** y **TECSUN** están pensados para soportar las exigencias de una instalación fotovoltaica.

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 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 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.



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). 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 Al → $\Delta R_{50 \rightarrow 60 \text{ Hz}} = 0,2 \%$
240 Cu → $\Delta R_{50 \rightarrow 60 \text{ Hz}} = 0,7 \%$
500 Al → $\Delta R_{50 \rightarrow 60 \text{ Hz}} = 1,5 \%$
500 Cu → $\Delta R_{50 \rightarrow 60 \text{ Hz}} = 3,4 \%$

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 2.14.6.).

$$X_{50\text{ Hz}} = 2 \times \pi \times 50 \cdot L$$

$$X_{60\text{ Hz}} = 2 \times \pi \times 60 \cdot L$$

$$X_{60\text{ Hz}}/X_{50\text{ Hz}} = 1,2 \rightarrow \text{incremento del 20 \% en la reactancia}$$

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 2.6.)

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. Últimas 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 **FLEXEXTRE MAX, 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 **WIREPOL CPPO 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, agrupándolos 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 de diseño	Título			Norma de diseño	Título
UNE 21027-4	Cables flexibles.	H07RN-F / DN-F	FLEXTREME MAX	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 de diseño	Título			Norma de diseño	Título
UNE 21031-3	Cables unipolares sin cubierta para instalaciones fijas.	H05V-U H05V-R H07V-U	WIREPOL CPRO RÍGIDO	UNE-EN 50525-2-31	Cables unipolares sin cubierta con aislamiento termoplástico (PVC). Cables de utilización general.
		H05V-K H07V-K	WIREPOL CPRO FLEX		
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 serie UNE 211002

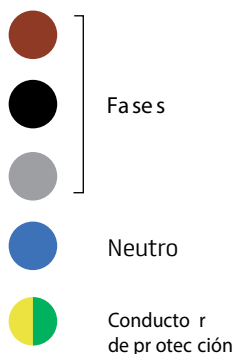
Anterior		Designación del cable	Nombre Prysmian	Actual	
Norma de diseño	Título			Norma de diseño	Título
UNE 211002*	Cables unipolares, no propagadores del incendio, con aislamiento termoplástico libre de halógenos, para instalaciones fijas.	H07Z1-K (AS) TYPE 2	AFUMEX CLASS 750 V (AS)	UNE-EN 50525-3-31	Cables unipolares sin cubierta con aislamiento termoplástico libre de halógenos y baja emisión de humos.
		ES05Z1-K (AS)		Sin correspondencia	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

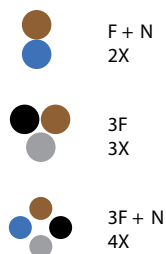
23. Coloración de los conductores

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 multipolares



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 (GUÍA-BT 19, pto. 2.2.4).

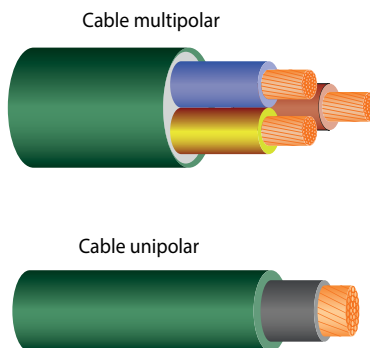


Así un cable 4G16 sabemos que tiene 4 conductores de 16 mm² de sección uno de los cuales es amarillo/verde (y por tanto los otros 3 serán fases: marrón, negro, gris al no tener sentido otra formación pues no es lógico que fueran dos fases + neutro ya que en general los tendidos son trifásicos o monofásicos).

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

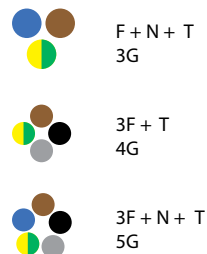
entre 2 y 5 conductores (quedan excluidos algunos tipos concretos como cables para corriente continua o cables trenzados para redes aéreas).

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 el punto 6.2.4. de la norma IEC 60445 encontramos expresamente citado que está especificado en el color rojo para el conductor positivo y el blanco para el negativo, no menciona el color negro que sí figura como color preferente en la norma UNE-EN 50618 de cables fotovoltaicos (pto. 5.3.4). Sí no se emplean 2 colores la norma 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.

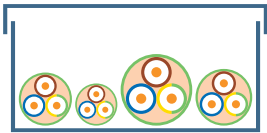
Una vez obtenida la sección de los conductores de una línea eléctrica en muchas ocasiones queda en manos del instalador en obra elegir cables de un solo conductor o no. Hay criterios técnicos que pueden ayudar a quedarnos con la opción más adecuada.

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 “abraz” 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 de 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 2.10.

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 **RETE-NAX 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.
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 **WI-REPOL 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 35 mm².

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	07
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 ini-

cialmente 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*).

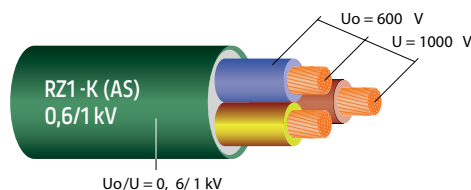
¿Qué es tensión simple (U_0) y tensión compuesta (U)?

Los niveles de aislamiento de los cables de energía también llamados tensión asignada se definen por los valores de tensión simple y tensión compuesta (U_0/U), siendo:

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.

AFUMEX CLASS 1000 V (AS)



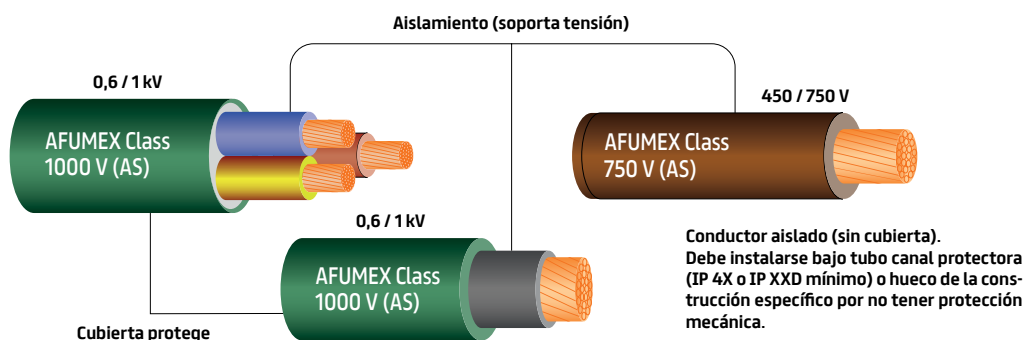
Tensión mínima exigida de 450/750 V

- 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

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

asignada 0,6/1 kV. Al remitir a la ITC-BT 07 está admitiendo 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.

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.

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.

		Canalización aplicable al cableado de tecnología de la información o de suministro eléctrico		
Clasificación de separación	Separación sin barrera electromagnética (mm)	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.

Núm. 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

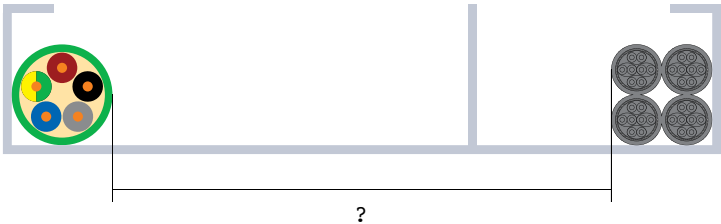
NOTA: Si hubiera requisitos adicionales más restrictivos (mayor separación), contemplados en otras normativas de aplicación, se deberán tener en cuenta.

← (*) 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

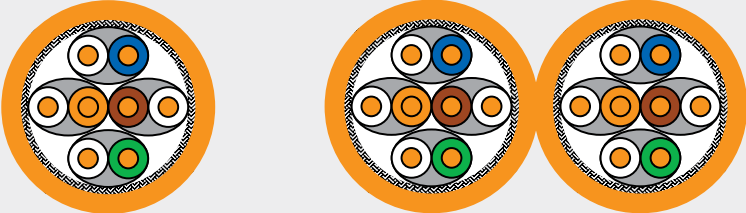
intensidad de línea y un tendido de cables S/FTP UC900 HS23 Cat. 7 de Prysmian. Empleamos para la canalización una bandeja de PVC perforada con separador de cables de energía y comunicaciones.



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·k m
Mutual capacitance	at 800 Hz	Nom. 43 nF/k m
Capacitance unbalance	(pair/ground)	≤ 1500 pF/k m
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		≤ 427 ns/100m
Delay skew		≤ 12 ns/100m
Test 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		
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		

→

Clasificación de separación	Separación sin barrera electromagnética (mm)
d	10
c	50
b	100
a	300

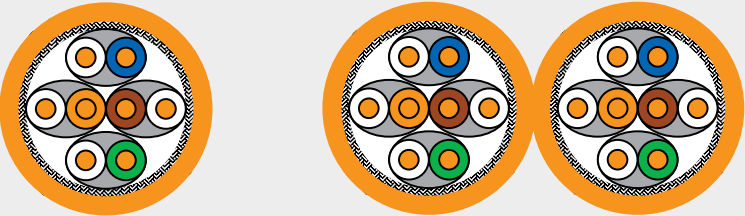
Calculamos P: $25\text{ A}/20\text{ A}=1,25 \cdot 2 \cdot \text{al ser trifásica} \cdot 2 \times 3=6$
En la tabla de factor de cableado vemos que para 6 veces 20 A el factor P es 0,4.
La distancia de separación mínima S x P será: $D = S \times P = 50\text{ mm} \times 0,4 = 20\text{ mm}$

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·k m
Mutual capacitance	at 800 Hz	Nom. 43 nF/k m
Capacitance unbalance	(pair/ground)	≤ 1500 pF/k m
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
Tesys 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/Ω m
	at 100 MHz	20 m/Ω m
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

$$(100 = 1; 100,1 = 1,26; 100,2 = 1,58 \approx \mathbf{1,5}; \\ 100,3 = 1,99; 100,4 \approx \mathbf{2,5} \dots),$$

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:

$$\text{Razón} = \sqrt[39]{\frac{0,46}{0,005}} \approx 1,123$$

Es decir, pasamos de un diámetro al siguiente multiplicando (aproximadamente) por 1,123. Por ejemplo de AWG 12 (0,0808 in) pasamos a AWG 11 (0,0907 in) multiplicando por la razón:

$$0,0808 \times 1,123 \approx 0,0907 \text{ in}$$

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	
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 ($\emptyset = 0,46''$ 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 $\rightarrow S = \pi \times 1^2/4 = 0,7854 \text{ mil}^2$

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 recogía 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

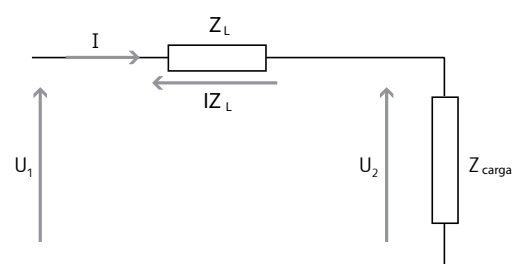
Es lógico recurrir a simplificaciones para trabajar con módulos de valores eficaces cuando se realizan cálculos en corriente alterna. Esta vez vamos a considerar las partes reales e imaginarias de las diferentes magnitudes que entran en juego en un cálculo sencillo de caída de tensión en una línea eléctrica.

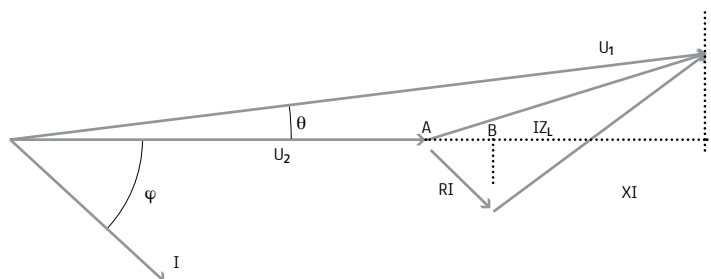
Procedemos a obtener la caída de tensión en una línea de BT empleando fasores que nos ayudarán a obtener un valor más exacto y a comprender con una representación visual los valores calculados.

- 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: $P = 50 \text{ kW}$
- $\cos\varphi = 0,85$



Cable **AFUMEX Class 1000 V (AS)** Classe CPR C_{ca} -s1b,d1,a1.





La impedancia de la línea tendrá la siguiente expresión.

$$\vec{Z}_L = R + Xj$$

Para calcular R empleamos el valor de resistencia del cable de cobre de 25 mm² a la máxima temperatura 90 °C, ver apartado 2.14.13.

$$R = 0,995 \, \Omega/\text{km} \times 0,113 \, \text{km} = 0,112 \, \Omega$$

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 y sistema de instalación.

$$X = 0,08 \, \Omega/\text{km} \times 0,113 \, \text{km} = 0,009 \, \Omega$$

$$\vec{Z} = 0,112 + 0,009j \, \Omega$$

$$I = P/(\sqrt{3} \times U \times \cos\phi) = 50000/(\sqrt{3} \times 400 \times 0,85) = 84,904 \, \text{A}$$

Teniendo en cuenta que retrasa el ángulo ϕ a U_2 que está en el origen de fases (ver diagrama fasorial), tenemos:

$$\vec{I} = 72,169 - 44,726j \, \text{A}$$

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 $400/\sqrt{3} \, \text{V}$ (en el origen de fases $\rightarrow$ argumento 0°) y calculando podemos obtener el valor de alimentación que será similar dado que la caída de tensión se entiende menor al 5 %.

$$\vec{U}_2 = 400/\sqrt{3} \, \text{V}$$

Observando el circuito podemos deducir lo siguiente:

$$\begin{aligned} \vec{U}_1 &= \vec{U}_2 + \vec{I} \cdot \vec{Z}_L = \\ 400/\sqrt{3} + (72,169 - 44,726j) \times (0,112 + 0,009j) &= \\ 239,459 - 4,376j \, \text{V} \end{aligned}$$

El argumento de $\vec{U}_1$ es $-1,047^\circ$ ($\vec{U}_1$ 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 $\vec{I} \cdot \vec{Z}_L$ es aproximadamente igual al segmento AC.

La caída de tensión en la línea será:

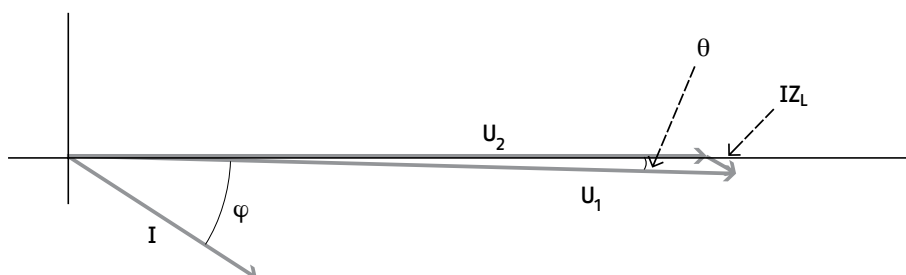
$$\Delta \vec{U} = \vec{U}_1 - \vec{U}_2 = 239,459 - 4,376j - 400/\sqrt{3} = 8,519 - 4,376j \, \text{V}$$

$$\Delta U = \sqrt{(8,519^2 + 4,376^2)} = 9,577 \, \text{V}$$

Lo obtenemos porcentualmente:

$$\vec{U}_1 = 239,459 - 4,376j \, \text{V} \rightarrow \vec{U}_1 = 239,5 \, \text{V} \angle -1,047^\circ$$

$$\Delta U (\%) = 9,577/239,5 \times 100 = 4 \%$$



32. Conductores aislados y cables con cubierta

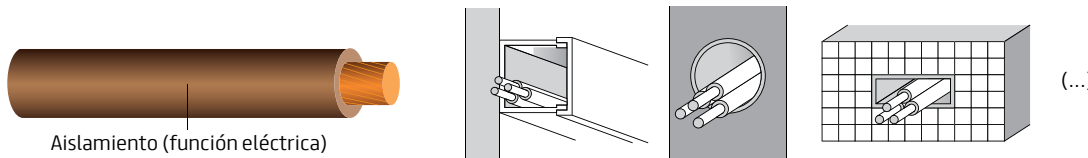
La definición número 36 de la ITC-BT 01 del REBT dice que conductor aislado es un conjunto que incluye el conductor, su aislamiento y sus eventuales pantallas.

A efectos prácticos digamos que en general se trata de cables que se componen de conductor y aislamiento. Re-
currimos 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):

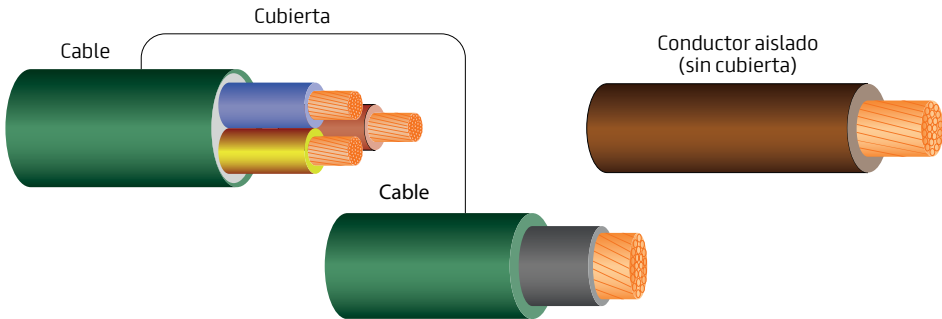
AFUMEX CLASS 750 V (AS)	H07Z1-K TYPE 2 (AS) /
AFUMEX CLASS 500 V (AS)	ES05Z1-K TYPE 2 (AS)
AFUMEX CLASS HAZ (AS)	H07Z1-K TYPE 2 (AS)
AFUMEX CLASS PANELES Rígido (AS)	H07Z1-R (AS)
AFUMEX PANELES Flex	H07Z-K
WIREPOL CPRO Flex	H07V-K
WIREPOL CPRO Rígido	H07V-U / H07V-R

El punto 16 de la ITC-BT 01 del REBT nos define cable como: 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.

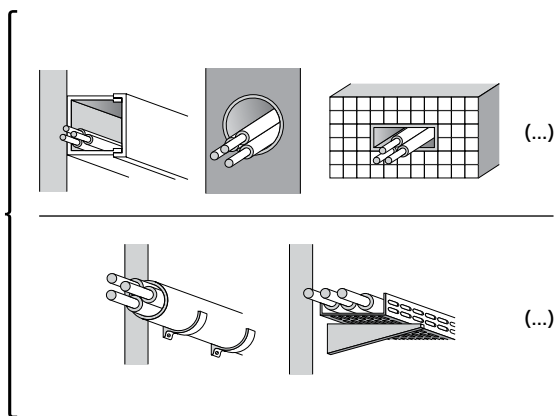
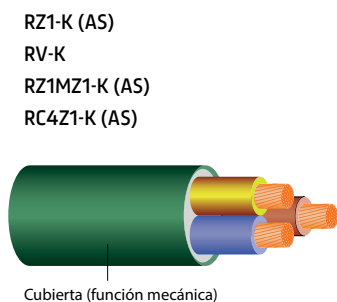
Resumiendo, cuando técnicamente se alude a cables se refiere a conjuntos que al menos tienen conductor/es, su/s aislamiento/s y su cubierta.



* 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 que 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.



33. Cálculo de sección de cables resistentes al fuego (AS+)

En los incendios sabemos que la temperatura ambiente del emplazamiento sube notablemente, lo que afectará a todos los cables. Y no digamos si el fuego afecta directamente a la línea. Es de interés esta subida de temperatura para los cables que deben funcionar también durante el incendio como son los cables resistentes al fuego tipo **Afumex Class Firs (AS+)**, diseñados para prestar servicio en las condiciones de un incendio.

Se está empezando a considerar, y posiblemente sea obligatorio en un futuro no muy lejano, calcular estos cables resistentes al fuego tomando la sección normalizada inmediata superior a la que se obtiene con el cálculo convencional según los criterios de intensidad admisible, caída de tensión y cortocircuito. Es algo claramente razonable que recomendamos se tenga en consideración pues sabemos que el aumento de temperatura afecta a la intensidad admisible de los cables rebajándola, a la caída de tensión aumentándola pues se incrementa la resistividad eléctrica y posiblemente al cortocircuito aunque no debe producirse en una línea resistente al fuego a causa del incendio mientras no se superen 842 °C durante 2 horas.

34. Clases de reacción al fuego exigidas por las reglamentaciones

Como sabemos por aplicación del Reglamento de Productos de Construcción los cables afectados (casi todos) deben tener una clase de reacción al fuego asignada.

Asimismo los diferentes reglamentos deben aludir a las clases mínimas a aplicar cada vez que se exija un grado mínimo de reacción al fuego del cable.

En el momento de publicación del presente catálogo, las clases mínimas exigidas por las reglamentaciones son las siguientes:

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, RD 842/2002 (y nota del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del 3-4-17):

Clase mínima Cca-s1b,d1,a1:

- ITC-BT 14: líneas generales de alimentación
- ITC-BT 15: derivaciones individuales
- ITC-BT 16: centralizaciones de contadores
- ITC-BT 28: locales de pública concurrencia

- ITC-BT 29: locales con riesgo de incendio o explosión

Clase mínima Eca:

- ITC-BT 20: cables instalados en huecos de la construcción

NOTA: esta clase es la mínima que suele fabricarse en general para interiores de edificios al menos.

Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales, RD 2267/2004 (y nota del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del 3-4-17):

Clase mínima Cca-s1b,d1,a1:

- Cables en el interior de falsos techos o suelos elevados (afecta a todo tipo de cables, energía, comunicaciones, control... dado que el texto del RD no cita más que la palabra cables).

Decreto 17/2019 de la Comunidad Autónoma de Madrid:

Clase mínima Cca-s1b,d1,a1:

- Edificios de viviendas en todas sus dependencias
- Locales con presencia de público (con independencia del aforo)

Orden ECE/983/2019 (cables de comunicaciones):

Clase mínima Dca-s2,d2,a2*:

- Cables ICT y en edificios, fincas y conjuntos inmobiliarios de propiedad horizontal

*Si los cables comparten canalización o están en contacto con otros cables de clase superior deberán igualar la clase al menos.

Reglamento de Líneas de Alta Tensión, RD 223/2008 (cables de alta tensión):

- No establece clase mínima en ningún caso. Si bien, las compañías eléctricas tienen normalizadas las clases F_{ca} , Eca y C_{ca} -s1b,d2,a1 para diferentes tipos de instalación.

Reglamento 1303/2014 de la Comisión Europea:

Clase mínima B2ca-s1a,d1,a1:

- Túneles ferroviarios de más de un kilómetro.

35. Capacidad de los tubos y conductos circulares para canalizaciones de BT. Ejemplos de cálculo

La ITC-BT 21 del REBT establece el número máximo de conductores que se pueden alojar en tubos por medio de tablas y de criterios generales. Explicamos en este punto la aplicación práctica de este contenido.

En ocasiones se insertan varios circuitos en un tubo o conducto de sección circular y surge la duda de la capacidad legal máxima y también la posibilidad técnica razonable de alojamiento de los circuitos. Si bien con carácter general sabemos que los tubos deberán tener un diámetro tal que permita un fácil alojamiento y extracción de los cables o conductores aislados, como nos indica hasta 4 veces la ITC-BT 21, parece lógico que se estableciera alguna regla o tabla que nos permita calcular la capacidad de los tubos dentro de este criterio.

Y efectivamente disponemos de tablas para diferentes casos de instalación de cables bajo tubo. Las tablas 2, 5 y 9 de la ITC-BT 21 nos facilitan los diámetros exteriores mínimos de los tubos a emplear cuando van fijados en superficie, empotrados o enterrados respectivamente. Pero en ocasiones se supera el número y/o sección de los conductores que contienen las tablas o se emplean conductores de secciones diferentes y para tal caso nos facilita una relación mínima entre la sección del tubo y la sección transversal ocupada por los conductores. Siendo tales valores:

Tubos en canalizaciones fijas en superficie: 2,5 (hasta 5 conductores ver tabla 2 de la ITC-BT 21)

Tubos en canalizaciones empotradas: 3 (hasta 5 conductores ver tabla 5 de la ITC-BT 21)

Tubos enterrados: 4 (hasta 10 conductores ver tabla 9 de la ITC-BT 21)

Si llamamos f a esta relación entre la sección interior del tubo y la ocupada por los cables y D al diámetro interior de tubo a emplear tendremos que con carácter general:

$$S_{\text{int,tub}} = \pi \cdot D^2 / 4 \geq f \cdot (n_1 \cdot \pi \cdot d_1^2 / 4 + n_2 \cdot \pi \cdot d_2^2 / 4 + \dots + n_n \cdot \pi \cdot d_n^2 / 4)$$

Siendo:

D : diámetro interior del tubo

f : coeficiente según sistema de instalación del tubo (2,5 superficial, 3 empotrado, 4 enterrado)

n_i : número de conductores de sección i^*

d_i : diámetro del cable de sección i

*Cuando hablamos de número de conductores de sección i puede tratarse de conductores unipolares o cables multipolares y así la sección i puede ser de cable 1x50 o 4x35 por ejemplo.

La fórmula se simplifica multiplicando ambos términos por 4 y dividiéndolos por π .

$$D^2 \geq f \cdot (n_1 \cdot d_1^2 + n_2 \cdot d_2^2 + \dots + n_n \cdot d_n^2)$$

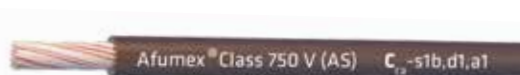
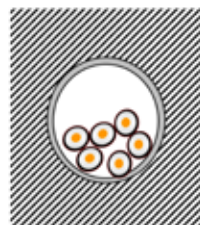
Y extrayendo la raíz cuadrada en ambos términos y generalizando:

$$D \geq \sqrt{f \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2}$$

Si queremos obtener el diámetro mínimo exterior simplemente debemos sumar el doble del espesor del tubo al segundo término de la inecuación.

Ejemplo 1

Cálculo del tubo corrugado necesario para la instalación de 2 circuitos monofásicos con conductor de protección utilizando cable **Afumex Class 750 V (AS)** de 1x2,5 mm². La canalización irá empotrada.



Cable Afumex Class 750 V (AS). Clase de reacción al fuego CPR C_{ca}-s1b,d1,a1

Se trata del alojamiento de 6 conductores aislados y por tanto fuera de la tabla 5 de la ITC-BT 21 que sólo nos ofrece diámetros exteriores de tubo hasta 5 conductores.

Por tanto, aplicamos la fórmula que hemos desarrollado con $f = 3$ (canalización empotrada).

Obtenemos el diámetro exterior del **Afumex Class 750 V (AS)** de 1x2,5 consultado sus datos técnicos en este catálogo → 4,1 mm.

$$D \geq \sqrt{f \cdot \sum_{i=1}^n (n_i \cdot d_i^2)} = \sqrt{3 \times (6 \times 4,1^2)} = \sqrt{302,58} = 17,39 \text{ mm}$$

Observando la tabla vemos que el tubo normalizado a emplear será de diámetro exterior mínimo 32 mm

Diámetro interior (mm)	10,5	14	17	23	30	40
Diámetro exterior (mm)	16	20	25	32	40	50

Recordamos que el coeficiente de corrección por agrupamiento que se ha debido de tener en cuenta para el cálculo de la sección de los conductores ha de ser el que corresponde a la fila 1 de la tabla C.52.3 de la UNE-HD 60364-5-52. En este caso al tratarse de 2 circuitos vemos que el coeficiente de corrección es 0,8.

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	0,65	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	

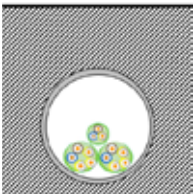
Ejemplo 2

Cálculo del tubo necesario para instalación enterrada de 2 cables de 5G16 y un cable de 3G6 tipo **Afumex Class 1000 V (AS)**.



Cable Afumex Class 750 V (AS). Clase de reacción al fuego CPR C_{ca}-s1b,d1,a1

La tabla 9 de la ITC-BT 21 del REBT recoge diámetros de tubos hasta 10 conductores pero el apartado 1.2.4. nos dice que para conductores o cables de secciones diferentes la sección interior del tubo será como mínimo igual a 4 veces la sección ocupada por los conductores. O lo que es igual, utilizar la fórmula desarrollada en este artículo con $f = 4$.



Obtenemos los diámetros exteriores de este catálogo:

$$\begin{aligned} \varnothing_{5G16} &= 22,2 \text{ mm} \\ \varnothing_{3G6} &= 13,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$D \geq \sqrt{f \cdot \sum_{i=1}^n (n_i \cdot d_i^2)} = \sqrt{4 \times (2 \times 22,2^2 + 1 \times 13,6^2)} = \sqrt{4681,12} = 68,41 \text{ mm}$$

En este caso el tubo normalizado mínimo a emplear será de 90 mm de diámetro exterior.

Diámetro interior mínimo (mm)	30	37	47	58,5	74	90	102
Diámetro exterior (mm)	40	50	63	75	90	110	125

Para el cálculo de las secciones de los conductores previamente se ha debido de tener en cuenta el coeficiente de corrección por agrupamiento de 3 circuitos (0,70) que igualmente se puede tomar de la primera fila de la tabla C.52.3 de la UNE-HD 60364-5-52 reproducida anteriormente ya que como vemos a la derecha abarca todas las instalaciones tipo (de la A a la F). La instalación de cables bajo tubo enterrado se corresponde con el sistema tipo D1.

Si bien por su interés recordamos que la norma francesa NF C 15-100 recoge en su tabla 52T coeficientes de corrección específicos para cables enterrados bajo tubo que además son más restrictivos que los de la tabla C.52.3. Por su interés se reproduce a continuación:

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



NOTA: tomamos el coeficiente de corrección por agrupamiento de 3 circuitos dado que aunque se trata de secciones distintas en el agrupamiento el apartado B.52.5 de la UNE-HD 60364-5-52 se refleja que se pueden considerar diferentes tamaños a efectos de los factores de reducción a grupos que contengan cables de secciones normalizadas de más de tres tamaños adyacentes. Es decir, como para pasar de 6 mm² a 16 mm² sólo damos 2 saltos de sección se pueden considerar por igual en el grupo a efectos del coeficiente de corrección por agrupamiento.

Igualmente recordamos que el REBT recoge posibilidades de varios circuitos por tubo en canalizaciones enterradas lo que se desprende de la posibilidad de instalar 10 o más conductores en el mismo tubo, algo que también es técnicamente posible. Si bien y para evitar problemas no hay que olvidar que la ITC-BT 07, a la que nos remite la ITC-BT 20 para instalaciones enterradas (pto. 2.2.3.), dice expresamente en el punto 2.1.2.: *No se instalará más de un circuito por tubo.*

El criterio del NEC (USA)

El National Electrical Code (NEC) es la reglamentación eléctrica estadounidense. En la tabla 1 del capítulo 9 encontramos el criterio que emplean para calcular la capacidad de los tubos y conductos de sección circular. Por sus particularidades merece la pena ser comentado, sin olvidar que el criterio a seguir en nuestro país ha de ser el explicado anteriormente.

La citada tabla establece el porcentaje máximo de llenado del tubo o conducto en función del número de cables (sean unipolares o multipolares) y no del sistema de instalación como se hace en España.

Número de conductores	1	2	3 o más
Porcentaje máx. de llenado (%)	53	31	40

Estos porcentajes asumen no más de dos curvas de 90° entre puntos de tiro (en España el RETB establece un máximo de 3 curvas, ITC-BT 20 pto. 2.1. 6° párrafo). Aplicando una reducción del 15 % del área total del tubo por cada singularidad de 90° extra, o lo que sería igual, incrementar un 17,6 % el área del tubo por cada ángulo recto del trazado extra.

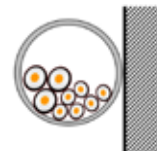
Ejemplo de cálculo según el NEC

Canalización superficial bajo tubo con cables **Afumex Class 750 V (AS)**. 2 circuitos monofásicos de 1,5 mm² con conductor de protección y uno también monofásico de 6 mm² con conductor de protección.

El trazado tiene 3 ángulos de 90°.

$$\varnothing_{1,5} = 3,4 \text{ mm}$$

$$\varnothing_6 = 5,3 \text{ mm}$$



La sección ocupada por los conductores será:

$$A_c = \pi \times (6 \times (3,4/2)^2 + 3 \times (5,3/2)^2) = 120,66 \text{ mm}^2$$

Al ser más de 2 conductores en la canalización aplicaría un coeficiente de llenado del 40 %. Pero como tenemos 3 ángulos rectos en el tendido debemos reducir la sección del tubo en un 15 %.

$100 - 15 = 85 \rightarrow$ debemos extraer el 85 % del 40 % de llenado máximo admisible $\rightarrow$

$0,85 \times 40 = 34 \%$ (coeficiente de llenado a aplicar)

$120,66 / 0,34 = 354,88 \text{ mm}^2$ (área de sección interior mínima del tubo a emplear) $\rightarrow$

$$\pi \cdot D^2 / 4 \geq 354,88 \rightarrow D \geq \sqrt{\frac{4 \times 354,88}{\pi}} = 21,25 \text{ mm}$$

$\pi \cdot D^2 / 4 \geq 354,88 \rightarrow D \geq \sqrt{\frac{4 \times 354,88}{\pi}} = 21,25 \text{ mm}$
Observando la tabla de tubo adecuado para montaje superficial vemos que la solución es instalar tubo de 32 mm de diámetro exterior.

Diámetro interior (mm)	12,5	16	20	27	34,5	44
Diámetro exterior (mm)	16	20	25	32	40	50

Con el criterio del REBT que no considera las curvaturas de la canalización aunque las limita a 3, el resultado habría sido tubo de 25 mm.

$$D \geq \sqrt{f \cdot \sum_{i=1}^n (n_i \cdot d_i^2)} = \sqrt{2,5 \times (6 \times 3,4^2 + 3 \times 5,3^2)} = 19,6 \text{ mm}$$

Dado que el REBT es un reglamento de mínimos, como criterio técnico es bueno tener en cuenta el criterio NEC para evitar problemas con canalizaciones sinuosas a la hora del tendido de los cables. Siempre que el resultado sea tubo de igual o mayor diámetro que el criterio REBT así como que se empleen cables extradeslizantes como los **AFumex Class 750 V (AS)**.

La publicación On Site Guide que facilita la aplicación de la norma británica BS7671 (Requisitos para instalaciones eléctricas) provee en su apéndice 5 una guía para calcular las capacidades de tubos y conductos de sección circular y canales protectoras. Sigue un criterio distinto a los 2 anteriormente explicados considerando sólo conductores aislados termoplásticos (70 °C) y diferenciando 2 casos posibles: tendidos rectos de hasta 3 m y tendidos rectos de más de 3 m o con curvas. Para el resto de posibilidades necesarias dirige al fabricante.

36. Situación actual del REBT y renovación inminente

El actual Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) está en vías de ser renovado, si bien dicha renovación está prevista sea realizada en varios bloques que se irán aprobando tras superar todos los trámites legales. Entre otras novedades de importancia cabe resaltar la incorporación de la nueva ITC BT-53 sobre sistemas de corriente continua con especial dedicación a sistemas fotovoltaicos. Llegados a este punto recordamos que el REBT original (RD 842/2002) ha venido siendo objeto de modificaciones en diferentes textos legales que recordamos a continuación

con objeto de adaptarse a nuevas leyes o recoger modificaciones o ampliaciones:

- RD 560/2010 (adaptación a la Ley Omnibús).
- RD 1053/2014 (nueva ITC-BT 52 sobre recarga del vehículo eléctrico y modificación de las ITC-BTs 02, 04, 05, 10, 16 y 25).
- RD 244/2019 (autoconsumo).
- Resolución del Mº de Industria de 9-1-20 (renovación de la ITC-BT 02 sobre normas de referencia).
- RD 542/2020 (modificación del artículo 14, la ITC-BTs 04 y 52).
- RD 298/2021 (modificación del artículo 2 y la ITC-BT 03).

El texto del REBT consolidado tras estas modificaciones está disponible en el siguiente enlace: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2002/BOE-A-2002-18099-consolidado.pdf>

En nuestro Prysmian Club (www.prysmianclub.es) pueden encontrar diversos artículos comentado las novedades que afectan a los cables en los borradores de las futuras ITC BTs. En el siguiente enlace pueden encontrar el borrador de las nuevas ITC BTs sometidas a información pública en el momento de publicación de este catálogo: <https://industria.gob.es/es-es/participacion-publica/paginas/detalleparticipacionpublica.aspx?k=546>

A todo lo anterior hay que añadirle la afectación del Reglamento de Productos de Construcción (CPR) (Reglamento (UE) nº 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo) a los cables eléctricos que se hizo constar en Nota aclaratoria del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad el 3-4-17: <https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-tension/Documents/2002/29-rpc-reaccion-fuego-rebt-3abril2017.pdf>

Prysmian



PRYSMIAN CABLES SPAIN, S.A.U.

Ctra. C-15, km 2

08800 Vilanova i la Geltrú (Barcelona)

+34 93 220 14 92

atencion.clientes@prysmiangroup.com

www.prysmiangroup.es

www.prysmianclub.es

Síguenos en:

