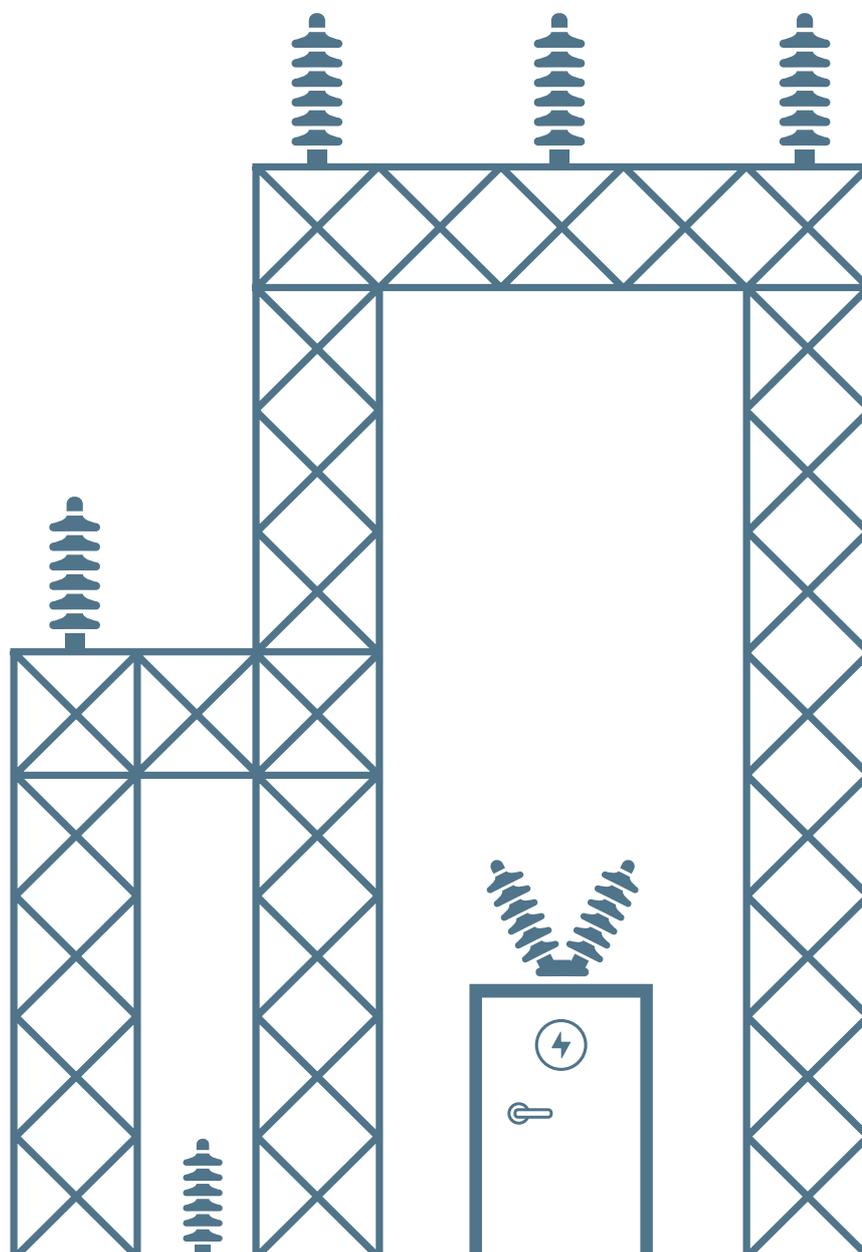


## GUÍA TÉCNICA

Disponible en [www.prysmianclub.es](http://www.prysmianclub.es)



EDICIÓN  
2018

## GUÍA TÉCNICA

<b>A) Generalidades</b> .....	4
<b>B) Guía para la selección de cables y recomendaciones</b> .....	5
-Introducción .....	5
-Tensión asignada al cable .....	6
-Criterio de la sección por intensidad máxima admisible .....	7
-Criterio de la sección por caída de tensión.....	12
-Criterio de la sección por intensidad de cortocircuito .....	12
-Accesorios.....	12
-Recomendaciones para el tendido y montaje .....	13
-Cables especiales para Media Tensión.....	14
<b>C) Características estructurales</b> .....	15
-Normativa .....	15
-Definiciones y descripciones.....	15
<b>D) Nuevos cables de MT con propiedades frente al fuego mejoradas, Clases E<sub>ca</sub> (Seguridad) y C<sub>ca</sub>-s1b,d2,a1 (Alta Seguridad)</b> .....	20
-Las clases de los cables eléctricos .....	20
<b>E) Cables P-Laser, hito tecnológico de PRYSMIAN</b> .....	25
-Los nuevos materiales .....	25
-Diseño de los cables .....	26
-Ventajas de los cables P-Laser .....	26
<b>F) Ensayos</b> .....	28
-Pruebas sobre cables en fábrica .....	28
<b>G) Sistema exclusivo PRY-CAM, comprobación de aislamientos para MT y AT sin interrupción de suministro</b> ...	29
-Características del sistema .....	29
-Ventajas.....	29
-Aplicaciones .....	29
<b>H) Ejemplos de cálculo de sección</b> .....	30

**Guía  
Técnica**

A brand of the

**Prysmian**  
Group

### A) GENERALIDADES

En esta publicación se hace frecuentemente referencia, cuando proceda, al Reglamento de Líneas para Alta Tensión (R.D. 223/2008), a las Normas UNE, a los Documentos del CENELEC o a los Documentos de la IEC y, cuando no estén disponibles documentos oficiales, a datos e información interna propia.

Para definir el empleo de los cables tratados en este catálogo, se transcribe parte del contenido del RLAT (artículo 3 y tabla 1 de la ITC-LAT 06) donde se establecen diferentes categorías para las líneas en función de su tensión nominal:

#### REDES TRIFÁSICAS DE CORRIENTE ALTERNA CON TENSIÓN NOMINAL SUPERIOR A 1 kV Y SIN EXCEDER DE 30 kV (TERCERA CATEGORÍA)

Tensión nominal (U) kV	Tensión máxima (Um) kV
3	3,6
6	7,2
10	12
15	17,5
20	24
25	30
30	36

**NOTA:** las redes de tercera categoría se corresponden con lo que se conoce como media tensión (MT).

#### REDES TRIFÁSICAS DE CORRIENTE ALTERNA CON TENSIÓN NOMINAL SUPERIOR A 30 kV Y SIN EXCEDER DE 220 kV (SEGUNDA Y PRIMERA CATEGORÍA)

Tensión nominal (U) kV	Tensión máxima (Um) kV
45	52 (2ª CAT)
66	66 (2ª CAT)
132	132 (1ª CAT)
220	220 (1ª CAT)

En esta publicación no se incluyen los datos correspondientes a los cables de tensión asignada superior a los 18/30 kV, salvo el anexo final sobre cables y accesorios para 26/45 kV y 36/66 kV.

#### NORMAS INTERNACIONALES

Prysmian Spain acumula gran experiencia en el diseño de cables para MT o AT a medida de las exigencias de proyectos nacionales o foráneos. En particular son frecuentes los diseños según normas de acusada referencia internacional como la norma británica BS 7870-4.10, la estadounidense ICEA S-93-639 (de amplia influencia en el continente americano), la sudafricana SANS 1339 (importante referente africano) o la mexicana NMX-J-142-ANCE. Consúltenos para ampliar información.

## B) GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE CABLES Y RECOMENDACIONES

### INTRODUCCIÓN

A continuación se exponen algunos criterios para la elección del tipo de cable más adecuado a cada instalación. Dichos criterios tienen un carácter orientativo y no deberán, en ningún caso, sustituir a la evaluación responsable que deberá efectuarse teniendo en cuenta la seguridad del servicio y la conveniencia económica adecuada a las condiciones efectivas o previsibles de cada instalación en particular.

Los cables EPROTENAX H COMPACT y VOLTALENE H para media tensión están concebidos para ser utilizados en el transporte de energía, cualquiera que sea la forma de instalación.

En instalaciones aéreas a la intemperie, en comparación con las líneas de conductores desnudos sobre aisladores, proporcionan, entre otras ventajas, la supresión del peligro de contactos accidentales, una mayor garantía de continuidad en el servicio, entre otras muchas que justifican la creciente aceptación de estos cables en la mencionada aplicación.

Para instalaciones subterráneas, se emplean principalmente, en redes de distribución, en las factorías industriales, centrales eléctricas y subestaciones de transformación y, en general, en todos aquellos casos en que la adaptabilidad de este tipo de cables a las más diversas condiciones de instalación y su versatilidad característica pueda representar una ventaja.

Recomendamos la utilización de cables unipolares, a la hora de ejecutar una instalación, son más manejables, son más prácticos para la confección de terminales, empalmes o conectores...

Las características de los dos tipos de cable descritos en este catálogo son:

#### CABLES AISLADOS CON ETILENO PROPILENO DE ALTO MÓDULO (HEPR), EPROTENAX H COMPACT:

Se trata de un material que resiste perfectamente la acción de la humedad y además posee la estructura de una goma. Es un cable idóneo para instalaciones subterráneas en suelos húmedos, incluso por debajo del nivel freático.

Debido a su reducido diámetro y a la mejor manejabilidad de la goma HEPR, es un cable adecuado para instalaciones en las que el recorrido sea muy sinuoso.

La conjunción entre la alta tecnología empleada en la elaboración de los cables de Alta Tensión y la larga experiencia de PRYSMIAN SPAIN, S.A. en la formulación de mezclas especiales de EPR han permitido la creación de un aislamiento a base de etileno-propileno de alto módulo HEPR capaz de trabajar a un alto gradiente (lo que significa menores espesores de aislamiento) y, además, no sólo mantener todas las cualidades inherentes a los tradicionales aislamientos de EPR, sino superarlas. Al poder trabajar a una temperatura de servicio de 105 °C, estos cables tienen la posibilidad de transmitir **más potencia** que cualquier otro cable actual de la misma sección. Además, sus menores dimensiones hacen de él un cable más manejable, menos pesado y más fácil de transportar.

Ventajas de los cables EPROTENAX H COMPACT frente a los cables VOLTALENE H:

- **Mayor intensidad admisible a igualdad de sección, por incremento de la temperatura de servicio de 90 °C a 105 °C.**

intensidad de corriente* (A)	Sección (en mm <sup>2</sup> )							
	70	95	120	150	185	240	300	400
AL EPROTENAX H COMPACT 12/20 kV	180	215	245	275	315	365	410	470
AL VOLTALENE H 12/20 kV	170	205	235	260	295	345	390	445

\* Instalación directamente enterrada a un metro de profundidad, temperatura máxima del suelo 25 °C, resistividad térmica del terreno 1,5 K m/W para tensiones de 1,8/3 a 18/30 kV. Cables con conductor de aluminio unipolar no armado dispuestos a tresbolillo y en contacto.

- **Menor diámetro exterior del cable**, por incremento del gradiente de trabajo, reducción del espesor de aislamiento y por su posible reducción de sección del conductor.
- **Mayor facilidad de instalación**, por su mayor flexibilidad y menor radio de curvatura.
- **Menor coste de la línea eléctrica.**
- **Mejor respuesta a la acción del agua;** por su aislamiento de goma formulación Prysmian.

#### CABLES AISLADOS CON POLIETILENO RETICULADO (XLPE), VOLTALENE H:

Se trata de un cable de características muy notables, tanto de pérdidas en el dieléctrico, resistividad térmica y eléctrica como rigidez dieléctrica. La aparición de arborescencias en presencia de humedad obliga a utilizar diseños de cables con protecciones adicionales frente al agua, Hydro-catcher, Composite...

Los cables tipo AL VOLTALENE H (AL RHZ1-0L) y AL VOLTALENE H COMPACT (AL RH5Z1) homologados por las compañías del grupo Endesa tienen una barrera (bajo sus pantallas) contra la propagación longitudinal de la humedad.

Los cables tipo TAP AL VOLTALENE H (AL RHZ1-20L) homologados por Gas Natural Fenosa presentan doble obturación longitudinal contra la humedad, en el conductor y bajo la pantalla.

## B) GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE CABLES Y RECOMENDACIONES

### TENSIÓN ASIGNADA DEL CABLE

La Tensión asignada del cable (antes llamada tensión nominal\*) debe ser apropiada para las condiciones de operación de la red en la que el cable va a ser instalado. Para facilitar la selección del cable las redes de sistemas trifásicos se clasifican en tres categorías:

#### CATEGORÍA A:

Esta categoría comprende aquellos sistemas en los que el conductor de cualquier fase que pueda entrar en contacto con tierra, o con un conductor de tierra, es desconectado del sistema en un tiempo inferior a un minuto.

#### CATEGORÍA B:

Comprende las redes que, en caso de defecto, solo funcionan con una fase a tierra durante un tiempo limitado pero, para los cables que nos ocupan, podrá admitirse una duración mayor cuando así se especifique en la norma particular del tipo de cable y accesorios considerados.

(Los esfuerzos suplementarios soportados por el aislamiento de los cables durante la duración del defecto, reducen la vida de estos. Si se prevé que una red va a funcionar frecuentemente con un defecto permanente, puede ser económico clasificar dicha red dentro de la categoría C).

#### CATEGORÍA C:

Comprende todas las redes no incluidas en las categorías A o B.

Para la elección de la tensión asignada del cable se utilizará la tabla siguiente, que figura en la norma UNE 211435 y en la tabla 2 de la ITC-LAT 06. Para ello se considerará, en primer lugar, cual es la tensión más elevada de la red ( $U_m$ ), es decir, cual es la tensión máxima a que puede quedar sometido el cable durante un periodo relativamente largo, excluyendo los regímenes transitorios tales como los originados por maniobras, etc. Después se determina cuál es la categoría de la red, según los criterios indicados anteriormente. Con estos datos la tabla muestra la tensión asignada del cable a utilizar.

Como puede observarse, la elección de la tensión asignada de un cable se efectúa en relación con la duración máxima del eventual funcionamiento con una fase a tierra, prescindiendo de que el sistema sea con neutro directamente a tierra, con neutro aislado o con neutro a tierra a través de una impedancia.

Red sistema trifásico			Cable a utilizar tensión asignada del cable $U_0/U$ (kV)
Tensión nominal* $U$ (kV)	Tensión más elevada de la red $U_M$ (KV)	Categoría de la red	
3	3.6	A-B	1.8/3
		C	
6	7.2	A-B	3.6/6
		C	
10	12	A-B	6/10
		C	
15	17.5	A-B	8.7/15
		C	
20	24	A-B	12/20
		C	
25	30	A-B	15/25
		C	
30	36	A-B	18/30
		C	
		C	26/45

\*El concepto tensión nominal sigue estando vigente pero se emplea para la tensión de red.

### CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN DE CABLES PARA MEDIA TENSIÓN (HASTA 18/30 kV)

Para la determinación de la sección de los conductores, se precisa realizar un cálculo en base a tres consideraciones:

- 1) Intensidad máxima admisible por el cable en servicio permanente.
- 2) Intensidad máxima admisible en cortocircuito durante un tiempo determinado.
- 3) Caída de tensión.

Ante todo, ha de calcularse la corriente máxima permanente que el cable debe transportar, teniendo en cuenta la potencia a transmitir y la tensión de trabajo nominal.

## B) GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE CABLES Y RECOMENDACIONES

En el caso de existir fluctuaciones de carga importantes, se deberá disponer del diagrama de cargas correspondiente, esto es, la curva de variación de la corriente en función del tiempo. Con este dato y las condiciones de instalación, se determina la corriente máxima permanente que se debe tener en cuenta.

### CRITERIO DE LA SECCIÓN POR INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

Determinación de la sección por intensidad máxima admisible por calentamiento.

Calculada la corriente máxima permanente a transportar y conocidas las condiciones de instalación, la sección se determina mediante la tabla IX (tabla IX bis para cables armados). Esta tabla permite elegir la sección de los conductores en base a la corriente máxima admisible. Se han tenido en cuenta los dos casos de instalación más corrientes: la instalación al aire y la instalación enterrada, y en base a las siguientes consideraciones:

a) Instalación al aire:

- Temperatura del aire, 40 °C.
- Una terna de cables unipolares agrupados en contacto mutuo, o un cable tripolar a la sombra.
- Disposición que consienta una eficaz renovación del aire.

b) Instalación enterrada (directamente o bajo tubo):

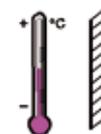
- Temperatura del terreno, 25 °C
- Una terna de cables unipolares agrupados en contacto mutuo, o un cable tripolar.
- Terreno de resistividad térmica normal (1,5 K · m/W).
- Profundidad de la instalación: 1 m.

La temperatura máxima de trabajo de los cables está prevista en 90 °C para cables Voltalene H y 105 °C para Eprotenax H Compact y la temperatura ambiente que rodea al cable ha sido supuesta en 40 °C para la instalación al aire y de 25 °C para la instalación enterrada, tal como ya se ha expresado. Por instalación al aire se entiende una disposición en la que el aire pueda circular libremente por ventilación natural alrededor de los cables. En el caso de que la temperatura del aire ambiente o del terreno sea distinta de los valores supuestos, las intensidades admisibles por los cables deben corregirse mediante los coeficientes que se indican.

En el caso de que se deba instalar más de un cable tripolar o más de una terna de cables unipolares, a lo largo del recorrido, es preciso tener en cuenta el calentamiento mutuo y reducir la intensidad admisible de los cables mediante la aplicación de los coeficientes de reducción que figuran en las tablas. Dichas tablas están en correspondencia con el Reglamento de Líneas de Alta Tensión (R.D. 223/2008).

### INSTALACIÓN AL AIRE:

#### 1 - Cables instalados al aire en ambiente de temperatura distinta de 40 °C:



#### COEFICIENTES DE CORRECCIÓN

Temperatura máxima en el conductor $\Theta_s$ , en °C	Temperatura ambiente $\Theta_a$ , en °C										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
105 (Eprotenax H Compact)	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83
90 (Voltalene H)	1,27	1,23	1,18	1,14	1,10	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,78

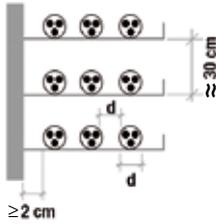
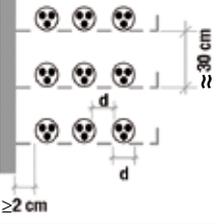
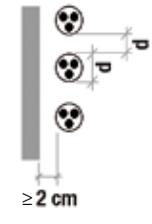
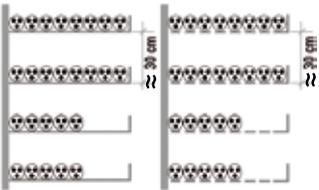
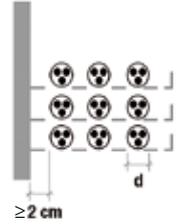
#### 2 - Cables instalados al aire en canales o galerías:

Se observa que en ciertas condiciones de instalación (canalizaciones, galerías, etc.) el calor disipado por los cables no puede difundirse libremente y provoca un aumento de la temperatura del aire.

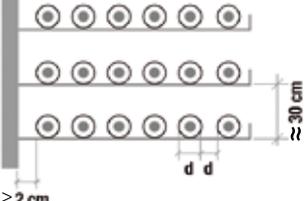
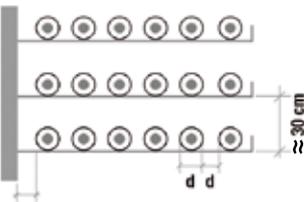
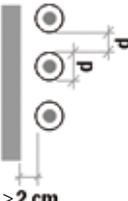
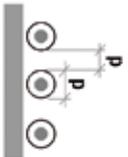
La magnitud de este aumento depende de diversos factores y debe ser determinado en cada caso. Para una valoración aproximada, debe tenerse presente que la sobreelevación de temperatura es del orden de 15 °C. La intensidad admisible en las condiciones de régimen deberá, por lo tanto, reducirse con los coeficientes de la tabla anterior.

## B) GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE CABLES Y RECOMENDACIONES

### 3 - Cables trifásicos o ternas de cables instalados al aire en canales o galerías:

Montaje	Instalación	Bandejas	Factor de corrección según número de cables o ternas				
			1	2	3	6	9
	<p>Cables trifásicos o ternas de cables unipolares tendidos sobre bandejas continuas, la circulación del aire es restringida, con una separación entre los cables igual a un diámetro <math>d</math>. Distancia de la pared = <math>\delta &gt; a &gt; 2\text{cm}</math>.</p>	1	0,95	0,90	0,88	0,85	0,84
		2	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80
		3	0,88	0,83	0,81	0,79	0,78
		6	0,86	0,81	0,79	0,77	0,76
	<p>Cables trifásicos o ternas de cables unipolares tendidos sobre bandejas perforadas con separación de cables a un diámetro <math>d</math>. Distancia de la pared = <math>\delta &gt; 2\text{cm}</math>.</p>	1	1	0,98	0,96	0,93	0,92
		2	1	0,95	0,93	0,90	0,89
		3	1	0,94	0,92	0,89	0,88
		6	1	0,93	0,90	0,87	0,86
	<p>Cables trifásicos o ternas de cable unipolares tendidos sobre estructuras o sobre la pared, con separación de cables igual a un diámetro <math>d</math>. Distancia de la pared = <math>\delta &gt; 2\text{cm}</math>.</p>	1	1	0,93	0,90	0,87	0,86
	<p>Cables trifásicos o ternas de cables unipolares, en contacto entre sí y con la pared, tendidos sobre bandejas continuas o perforadas (la circulación del aire es restringida).</p>	1	1	0,84	0,80	0,75	0,73
		2	1	0,80	0,76	0,71	0,69
		3	1	0,78	0,74	0,70	0,68
		6	1	0,76	0,72	0,68	0,66
	<p>Cables trifásicos o ternas de cables unipolares, en contacto entre sí, dispuestos sobre estructuras o sobre la pared.</p>	1	0,95	0,78	0,73	0,68	0,66
	<p>Agrupación de cables trifásicos o ternas de cables unipolares, con una separación inferior a un diámetro y superior a un cuarto de diámetro, suponiendo su instalación sobre bandeja perforada, es decir, de forma que el aire pueda circular libremente entre los cables.</p>		1	2	3	>3	
		1	1,00	0,93	0,87	0,83	
		2	0,89	0,83	0,79	0,75	
		3	0,80	0,76	0,72	0,69	
	>3	0,75	0,70	0,66	0,64		

## B) GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE CABLES Y RECOMENDACIONES

Montaje	Instalación	Bandejas	Factor de corrección según número de cables o ternas		
			1	2	3
 <p>Cables unipolares, tendidos sobre bandejas continuas (la circulación de aire es restringida) con separación entre cables igual a un diámetro d.</p>	1	0,92	0,89	0,88	
	2	0,87	0,84	0,83	
	3	0,84	0,82	0,81	
	6	0,82	0,80	0,79	
 <p>Cables unipolares sobre bandejas perforadas con separación entre cables igual a un diámetro d.</p>	1	1	0,97	0,96	
	2	0,97	0,94	0,93	
	3	0,96	0,93	0,92	
	6	0,94	0,91	0,90	
 <p>Cables unipolares tendidos sobre estructura o sobre pared, unos sobre otros, con separación entre cables igual a un diámetro d.</p>	Número de ternos		Factor de corrección		
	2	0,91			
 <p>Cables unipolares tendidos sobre estructura o sobre pared, unos sobre otros, con separación entre cables igual a un diámetro d.</p>	Número de ternos		Factor de corrección		
	2	0,86			
		3	0,84		

### 4 - Cables expuestos directamente al sol:

El coeficiente de corrección que deberá aplicarse en un cable expuesto al sol es muy variable. Orientativamente se puede tomar 0,90, pero, en función del diámetro exterior del cable, se pueden considerar las siguientes elevaciones de temperatura sobre 40 °C de referencia a la sombra.

Diámetro de cable (mm)	20	40	60	80
Sobreelevación de temperatura (°C)	10	18	24	28

## B) GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE CABLES Y RECOMENDACIONES

### INSTALACIÓN ENTERRADA:

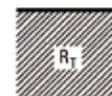
#### 1 - Cables enterrados en terrenos con temperatura del mismo distinta de 25 °C:



##### COEFICIENTES DE CORRECCIÓN

Temperatura máxima en el conductor $\Theta_s$ , en °C	Temperatura ambiente $\Theta_t$ , en °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
105 (Eprotenax H Compact)	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,94	0,90	0,87	0,83
90 (Voltalene H)	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

#### 2 - Cables enterrados directamente o en conducciones en terrenos de resistencia térmica diferente a 1,5 K·m/W.



##### COEFICIENTES DE CORRECCIÓN

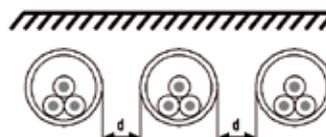
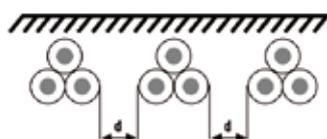
Tipo de instalación	Sección del conductor mm <sup>2</sup>	Resistividad térmica del terreno, K·m/W						
		0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5	3
Cables directamente enterrados 	25	1,25	1,20	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
	35	1,25	1,21	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
	50	1,26	1,21	1,16	1,00	0,89	0,81	0,74
	70	1,27	1,22	1,17	1,00	0,89	0,81	0,74
	95	1,28	1,22	1,18	1,00	0,89	0,80	0,74
	120	1,28	1,22	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	150	1,28	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	185	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	240	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,73
	300	1,30	1,24	1,19	1,00	0,88	0,80	0,73
Cables en interior de tubos enterrados 	25	1,12	1,10	1,08	1,00	0,93	0,88	0,83
	35	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,88	0,83
	50	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,83
	70	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
	95	1,14	1,12	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
	120	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	150	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	185	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	240	1,15	1,12	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81
	300	1,15	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81
400	1,16	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81	

## B) GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE CABLES Y RECOMENDACIONES

### 3 - Cables trifásicos o ternas de cables agrupados bajo tierra.

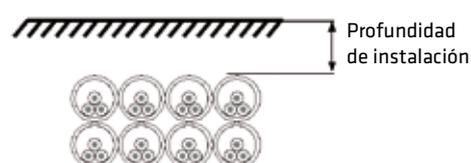
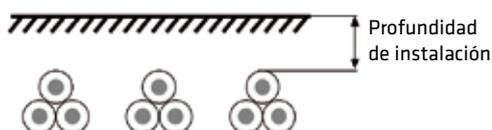
#### COEFICIENTES DE CORRECCIÓN

Tipo de instalación	Separación de los ternos	Factor de corrección								
		Número de ternos en la zanja								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Cables directamente enterrados</b> 	En contacto (d = 0 cm)	0,76	0,65	0,58	0,53	0,50	0,47	0,45	0,43	0,42
	d = 0,2 m	0,82	0,73	0,68	0,64	0,61	0,59	0,57	0,56	0,55
	d = 0,4 m	0,86	0,78	0,75	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65
	d = 0,6 m	0,88	0,82	0,79	0,77	0,76	0,74	0,74	0,73	-
	d = 0,8 m	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80	0,79	-	-	-
<b>Cables bajo tubo</b> 	En contacto (d = 0 cm)	0,80	0,70	0,64	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,49
	d = 0,2 m	0,83	0,75	0,70	0,67	0,64	0,62	0,60	0,59	0,58
	d = 0,4 m	0,87	0,80	0,77	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68
	d = 0,6 m	0,89	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	-
	d = 0,8 m	0,90	0,86	0,84	0,82	0,81	-	-	-	-



### 4 - Cables enterrados en zanja a diferentes profundidades:

La profundidad de instalación se mide como la distancia vertical entre la superficie del terreno y la parte más alta de la canalización (sea cable o conducto) (ver dibujos):



#### COEFICIENTES DE CORRECCIÓN

Profundidad (m)	Cables directamente enterrados de sección		Cables bajo tubo de sección	
	≤ 185 mm <sup>2</sup>	> 185 mm <sup>2</sup>	≤ 185 mm <sup>2</sup>	> 185 mm <sup>2</sup>
0,50	1,06	1,09	1,06	1,08
0,60	1,04	1,07	1,04	1,06
0,80	1,02	1,03	1,02	1,03
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,25	0,98	0,98	0,98	0,98
1,50	0,97	0,96	0,97	0,96
1,75	0,96	0,94	0,96	0,95
2,00	0,95	0,93	0,95	0,94
2,50	0,93	0,91	0,93	0,92
3,00	0,92	0,89	0,92	0,91

## B) GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE CABLES Y RECOMENDACIONES

### 5 - Cables enterrados en una zanja en el interior de tubos o similares:

1º - Cables enterrados en una zanja, en el interior de tubos o similares, de corta longitud. Se entiende por corta longitud, instalaciones tubulares que no superen longitudes de 15 metros (cruzamientos de caminos, carreteras, etc.). En este caso, si el tubo se rellena con aglomerados especiales, no será necesario aplicar un coeficiente corrector de intensidad, por cambio de sistema de instalación, si que se aplicaría por agrupamiento con otros circuitos si los hubiera.

2º - Cables enterrados en una zanja en el interior de tubos o similares de gran longitud. El coeficiente de corrección que deberá aplicarse a estos cables, dependerá del tipo de agrupación empleado (ver tablas). Se recomienda que se instale un cable unipolar o tripolar por tubo. La relación del diámetro interior del tubo respecto al del cable, no inferior a 1,5. Cuando sea necesario instalar una terna por tubo, la relación entre el diámetro del tubo y el diámetro envolvente de la terna deberá ser igual. Se recuerdan los inconvenientes que puede presentar el empleo de un tubo de hierro o de otro material ferromagnético, para la protección de un cable unipolar, por los calentamientos que podrían presentarse debido a fenómenos de histéresis y otros, por lo que se evitará esta forma de instalación.

Las tablas IX y IX bis contemplan directamente, entre otras, las intensidades de los cables enterrados bajo tubo.

### CABLES CONECTADOS EN PARALELO

Cuando se prevean líneas constituidas por dos o más ternas en paralelo se aplicará un factor de corrección no superior a 0,9 para compensar el posible desequilibrio de intensidades entre los cables conectados a la misma fase. Además se deberá aplicar el correspondiente factor de corrección por agrupamiento.

### CRITERIO DE LA SECCIÓN POR CAÍDA DE TENSIÓN

#### Control de la caída de tensión.

La caída de tensión en el caso de los cables de media tensión, tiene poca importancia, a menos que se trate de líneas de gran longitud. Para determinarla, se pueden utilizar los datos aproximados de las tablas VII y VIII. (Ver ejemplo de cálculo nº 3).

### CRITERIO DE LA SECCIÓN POR INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO

#### Control de calentamiento en cortocircuito.

Para verificar si la sección elegida es suficiente para soportar la corriente de cortocircuito, conocido el valor esta última (I, en amperios) y su duración (t, en segundos), debe cumplirse la condición:

$$I \cdot \sqrt{t} = K S$$

donde: K es un coeficiente que depende de la naturaleza del conductor y de sus temperaturas al principio y al final del cortocircuito.  
S es la sección del conductor en mm<sup>2</sup>.

En la hipótesis de que los conductores se hallaran inicialmente a la temperatura máxima de régimen y alcancen al final del cortocircuito la admisible en tal caso, el valor de K para cables Voltalene H (aislamiento de XLPE), es de 143 y 94, según se trate de cables con conductores de cobre o de aluminio y 135 y 85 para cables Eprotenax H Compact (aislamiento de HEPR) y conductores de cobre o aluminio respectivamente. En el supuesto de que las condiciones de servicio permitieran considerar una temperatura de régimen más reducida, aumenta el salto de temperatura y la corriente de cortocircuito admisible sería por lo tanto más elevada.

- Las corrientes máximas de cortocircuito admisibles en los conductores vienen dadas en los gráficos I y II.
- Las corrientes de cortocircuito máximas tolerables en las pantallas se reflejan en las tablas XI y XII (cables Eprotenax H Compact) y tablas X y XI (cables Voltalene H). (Ver ejemplo de cálculo nº4).

### ACCESORIOS

La confección de los accesorios (empalmes, terminales, conectores, pasatapas...) de los cables EPROTENAX H COMPACT y VOLTALENE H se simplifica notablemente con el empleo de accesorios normalizados y kits preparados con tal propósito. Ver apartado accesorios.

Como un empalme o un terminal deben tratar de conservar todo lo posible las características físicas del cable al que se aplican, los empalmes o terminales de los cables EPROTENAX H COMPACT y VOLTALENE H se realizan con la máxima simplicidad y fiabilidad, empleando materiales suministrados por PRYSMIAN SPAIN, S.A. elaborados con materiales similares a los utilizados en la fabricación de los cables.

Para los cables apantallados es necesario mantener la continuidad de la pantalla en los empalmes y elaborar deflectores de campo adecuados en los terminales, a fin de evitar sollicitaciones eléctricas excesivas localizadas.

Durante el montaje de estos accesorios es de fundamental importancia eliminar la capa semiconductor aplicada sobre el aislamiento sin afectar lo más mínimo a este último con las herramientas de corte y/o extracción (ver apartado accesorios).

En los cables clásicos, de capa conductora extrusionada, para facilitar su retiro se puede calentar suave y cuidadosamente con una llama. Después deberá lijarse la superficie del aislante hasta eliminar completamente la capa de sustancia semiconductor que queda. Los cables Prysmian de hasta 30 kV, al ser fabricados en triple extrusión separable en frío, **no es necesario emplear calor para retirar la capa extrusionada conductora, ya que esta se retira con facilidad.** En todos los casos se limpiará cuidadosamente la superficie del aislamiento hasta asegurarse que se ha eliminado toda traza de material conductor.

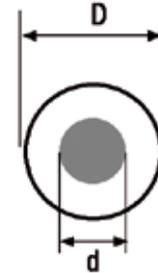
## B) GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE CABLES Y RECOMENDACIONES

### RECOMENDACIONES PARA EL TENDIDO Y MONTAJE

Los radios mínimos de curvatura que el cable puede adoptar se pueden calcular en función del diámetro exterior del cable (D):



- 15D, para los cables unipolares apantallados (con o sin armadura) en posición final definitiva. 20D durante el tendido
- 12D, para los cables multipolares apantallados (con o sin armadura) en posición final definitiva. 17D durante el tendido
- 16D para cables de 26/45 kV y 36/66 kV en posición final definitiva.



Los esfuerzos de tracción pueden aplicarse a los revestimientos de protección (con manga de tiro), o a los conductores de cobre o de aluminio, recomendándose que las solicitaciones no superen los 6 kg/(mm<sup>2</sup> de sección del conductor) para cables unipolares y de 5 kg/mm<sup>2</sup> para cables tripolares de cobre.

Para conductores de aluminio se aplicará un esfuerzo de 3 kg/mm<sup>2</sup> tanto para conductores unipolares como tripolares. Cuando el esfuerzo previsto exceda de los valores admisibles mencionados, se deberá recurrir al empleo de cables armados con alambres (tipo M o MA); en este caso se aplicará el esfuerzo a la armadura, sin superar del 25 al 30 % de la carga de rotura teórica de la misma.

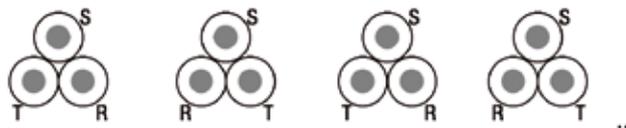
Los valores de tensión de tracción expuestos son de aplicación para tendidos pero no para la posición final estática del cable (recorridos verticales) en cuyo caso los valores máximos son muy inferiores.

Durante el tendido es conveniente detener el tiro del cable lo menos posible, es mejor mantener una baja velocidad de tiro que tener que arrancar de parado porque los rozamientos estáticos son superiores a los dinámicos.

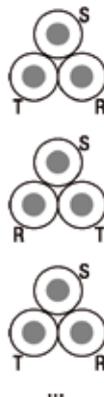
Cuando la intensidad a transportar sea superior a la admisible por un solo conductor se podrá instalar más de un conductor por fase, según los siguientes criterios:

- Emplear conductores del mismo material, sección y longitud.
- Los cables se agruparán al tresbolillo, en ternas dispuestas en uno o varios niveles, siguiendo el esquema de colocación de fases siguiente:

- Ternas en un nivel:



- Ternas apiladas en diferentes niveles:



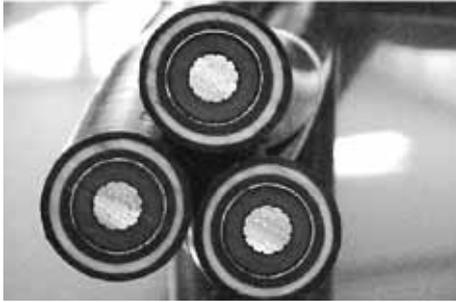
La temperatura del cable durante la operación de tendido, en una instalación fija, en toda su longitud y durante todo el tiempo de la instalación, en que está sometido a curvaturas y enderezamientos, no debe ser inferior a 0 °C. Esta temperatura se refiere a la del propio cable, no a la temperatura ambiente. Si el cable ha estado almacenado a baja temperatura durante cierto tiempo, antes del tendido deberá llevarse a una temperatura superior a 0 °C manteniéndolo en recinto caldeado durante varias horas inmediatamente antes del tendido.

## B) GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE CABLES Y RECOMENDACIONES

### CABLES ESPECIALES PARA MEDIA TENSIÓN

En PRYSMIAN SPAIN, S.A., le ofrecemos soluciones especiales en media y alta tensión a medida de la industria y las infraestructuras en general:

#### TRENZADOS AÉREOS



(Ver anexo A)

#### INTERIOR AEROGENERADORES



#### CONDUCTORES DESNUDOS O RECUBIERTOS AÉREOS



(Ver anexo A)

#### AFUMEX - MEDIA TENSIÓN

Aeropuertos



Túneles



Minas



#### TUNELADORAS Y ROZADORAS



#### OFF-SHORE



#### INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS



## C) CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

### NORMATIVA

Tal como se ha indicado, los cables relacionados en el presente catálogo satisfacen la Norma IEC 60502-2 para "Cables de transporte de energía aislados con dieléctricos secos extruídos para tensiones nominales de 1 kV a 30 kV", lo que incluye cualidades de los materiales que configuran cada uno de los componentes del cable, criterios de diseño, características dimensionales, así como los requisitos eléctricos que se les exige.

Además, PRYSMIAN SPAIN, S.A., tiene concedida la homologación de AENOR, correspondiente a cables unipolares con conductores de aluminio y aislamiento seco, para redes de media tensión de 12/20 kV y 18/30 kV. Esta especificación, adoptada por las Compañías Eléctricas, recoge las características constructivas y de ensayo exigibles al material a incorporar en sus redes de distribución. Estos cables están también recogidos en la norma UNE HD 620 y UNE 211620.

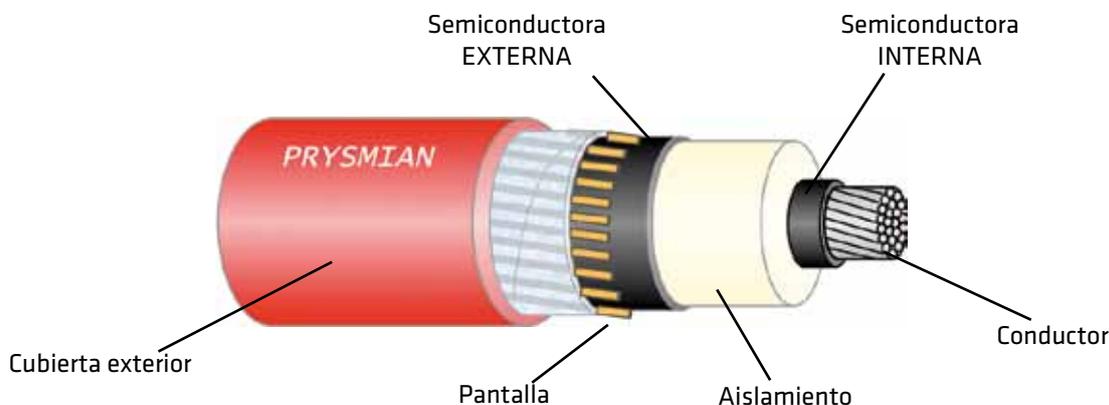
Los tipos de cables considerados son, como se ha dicho, con conductor de aluminio en las tensiones y secciones siguientes:

Sección del conductor mm <sup>2</sup>	Tensión asignada kV
50	6/10
95	8,7/15
150	12/20
240	18/30
400	

Estos cables se construyen mediante el proceso denominado de triple extrusión, con **la capa semiconductor externa separable en frío**, tipo TESF. Incorporan una pantalla metálica de alambres de cobre de sección total 16 mm<sup>2</sup> y la cubierta exterior es de un material de poliolefina especial con el espesor incrementado para mejorar la resistencia mecánica del cable y dificultar la penetración de humedad.

A continuación se indican las características generales de los diversos constituyentes que pueden conformar un cable EPROTENAX H COMPACT (aislamiento de HEPR) o VOLTALENE H (aislamiento de XLPE), así como los ensayos finales a que se someten los cables terminados.

### DEFINICIONES Y DESCRIPCIONES



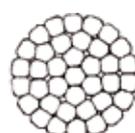
#### 1- CONDUCTOR

Los conductores de los cables están constituidos por cuerdas redondas compactas de cobre recocido o de aluminio. La compactación se efectúa por un método patentado que permite obtener superficies más lisas y diámetros de cuerdas menores que los de las cuerdas normales de igual sección.

Si eventualmente entra agua en el interior del cable durante su instalación, o por causa accidental, y se desea evitar su propagación a lo largo de los huecos existentes entre los alambres que forman el conductor, estos alambres pueden fabricarse rellenos con un material obturador que impide dicha propagación. Los conductores satisfacen las especificaciones de las normas, tanto nacionales (UNE EN 60228), como internacionales (IEC 60228). En la tabla III se dan los valores de las resistencias eléctricas para las distintas secciones de los conductores.



Conductor, cuerda redonda normal



Conductor, cuerda redonda compacta

## C) CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

### 2 - CAPA SEMICONDUCTORA INTERNA

En los cables EPROTENAX H COMPACT y VOLTALENE H, el conductor va recubierto de una capa semiconductora, cuya función es doble:

- Impedir la ionización del aire que, en otro caso, se encontraría entre el conductor metálico y el material aislante. La capa semiconductora forma cuerpo único con el aislante y no se separa del mismo ni aún con las dobladuras a que el cable pueda someterse, constituyendo la verdadera superficie equipotencial del conductor. Los eventuales espacios de aire quedan bajo esta superficie y, por lo tanto, fuera de la acción del campo eléctrico.
- Mejorar la distribución del campo eléctrico en la superficie del conductor. Dicha capa, gracias a su conductividad, convierte en cilíndrica y lisa la superficie del conductor, ya que puede concebirse como parte integrante del mismo, eliminando así los posibles focos de gran sollicitación eléctrica en el aislamiento.

### 3 - AISLAMIENTO

El aislamiento de los cables EPROTENAX H COMPACT es una mezcla a base del polímero sintético “etileno-propileno de alto módulo” (designado con HEPR).

Sus características mecánicas, físicas, eléctricas, etc. son iguales o superan a las de las mejores gomas aislantes para cables empleadas hasta el momento, pero lo que la distingue particularmente es su mayor resistencia al envejecimiento térmico y su elevadísima resistencia al fenómeno de las “descargas parciales”, especialmente crítico en terrenos húmedos en ambientes contaminados, cuando se emplean otros aislamientos “secos”. Esta extraordinaria resistencia al efecto corona o a las descargas parciales, unida a sus excelentes características eléctricas, permite elevar el límite de seguridad del dieléctrico y elaborar, por tanto, con plena seguridad, cables aislados con goma, no sólo para las tensiones citadas en este catálogo de hasta 30 kV, sino también hasta 150 kV, sin tener que recurrir a protecciones especiales contra la penetración de humedad en el cable.

Las características y prescripciones de prueba de la mezcla de etileno-propileno utilizada, responden a las mayores exigencias que se especifican en las principales normas en uso, tanto nacionales como extranjeras. En la tabla I figura un resumen de tales características.

El aislamiento de los cables VOLTALENE H está constituido por polietileno químicamente reticulado. Dicho aislamiento es un material termoestable que presenta buena rigidez dieléctrica, bajo factor de pérdidas y una excelente resistencia de aislamiento.

La excelente estabilidad térmica del polietileno reticulado le capacita para admitir en régimen permanente temperaturas de trabajo en el conductor de hasta 90 °C, tolerando temperaturas de cortocircuito de 250 °C. La marcada estabilidad al envejecimiento, la elevada resistencia a los agentes químicos y la tenacidad mecánica y eléctrica, son las propiedades más destacadas que hacen del polietileno químicamente reticulado un material apropiado para el aislamiento de cables.

El polietileno reticulado empleado por PRYSMIAN, responde a todas las exigencias que se especifican en las principales normas de uso, en particular, la norma internacional IEC 60502. En la tabla I figura un resumen de sus características.

### 4 - CAPA SEMICONDUCTORA EXTERNA

La capa semiconductora externa está formada por una mezcla extrusionada y reticulada de características químicas semejantes a la del aislamiento pero de baja resistencia eléctrica, por tanto, conductora.

La íntima unión que debe existir entre el aislamiento y la capa semiconductora externa puede ocasionar serias dificultades de despegue tras la confección empalmes o terminales. Los cables PRYSMIAN se fabrican con una **capa semiconductora especial** que se separa fácilmente del aislamiento sin tener que recurrir a ningún útil, dejando el aislamiento completamente limpio, lo que redundará en una mayor fiabilidad de la instalación, ahorrando además mucho tiempo al instalador. Esta mezcla semiconductora externa separable en frío, denominada también como “easy stripping”, se emplea en los cables de hasta 30 kV.

### 5 - PANTALLA SOBRE EL AISLAMIENTO:

Los cables EPROTENAX H COMPACT de tensión superior a 3,6/6 kV deben ir apantallados y los cables VOLTALENE H a partir de 1,8/3 kV. En los cables trifásicos se aplica una pantalla sobre cada uno de los conductores aislados.

Los cables EPROTENAX H COMPACT de tensión 1,8/3 kV y 3,6/6 kV y VOLTALENE H de tensión 1,8/3 kV pueden fabricarse en las dos versiones: apantallados o sin apantallar.

La pantalla está normalmente constituida por una envolvente metálica (hilos de cobre, cinta de aluminio, cintas de cobre...) aplicada sobre una capa semiconductora externa, la cual, a su vez, se ha colocado previamente sobre el aislamiento con el mismo propósito con que se coloca la capa semiconductora interna sobre el conductor.

### • TRIPLE EXTRUSIÓN:

Respecto al proceso de fabricación, cabe indicar que la aplicación de la capa semiconductora sobre el conductor, el aislamiento y la capa semiconductora sobre el aislamiento, se realiza en una sola operación. Dicho proceso de fabricación se denomina triple extrusión. Este procedimiento es el más adecuado ya que **impide la incrustación de cuerpos extraños entre el aislamiento y capas semiconductoras**, y dadas las características de los materiales utilizados en la confección de dichas mezclas, se suprime el riesgo de ionización en las interfases. Esta tecnología confiere una calidad añadida a los cables PRYSMIAN, prolongando la vida útil de la instalación.

## C) CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

### • PANTALLA METÁLICA:

Las pantallas desempeñan distintas misiones, entre las que destacan:

- Confinar el campo eléctrico en el interior del cable.
- Lograr una distribución simétrica y radial del esfuerzo eléctrico en el seno del aislamiento.
- Limitar la influencia mutua entre cables eléctricos.
- Evitar, o al menos reducir, el peligro de electrocuciones.

Las corrientes de cortocircuito que pueden soportar las partes metálicas de las pantallas, vienen dadas en la tabla XI, para las pantallas de cintas de cobre, en función del diámetro medio de la pantalla, y en la tabla XII, para las pantallas constituidas por hilos de cobre, en función de la sección total de los hilos (para cables EPROTENAX H COMPACT y cables VOLTALENE H ver tablas X y XI de su apartado). Bajo demanda se pueden fabricar cables con pantallas de mayor sección.

### PROTECCIONES CONTRA LA HUMEDAD (SÓLO CABLES TIPO VOLTALENE H)

Los cables con aislamiento XLPE deben ser protegidos frente a la acción del agua para evitar un deterioro prematuro cuando el cable se encuentre en tensión. Una eventual perforación de la cubierta no impedirá la penetración de agua, pero sí la propagación libre entre huecos de la pantalla a lo largo de toda la línea multiplicando el riesgo de fallo eléctrico por el fenómeno de las arborescencias en el aislamiento de polietileno reticulado (XLPE). Para evitarlo lo más habitual es la utilización de barreras hinchantes en forma de cintas o hilos que bloqueen la propagación del agua a lo largo del cable por huecos de la pantalla o de la cuerda conductora. Los cables homologados por las compañías del grupo Endesa son obturados frente al agua en su pantalla (obtención longitudinal → AL RHZ1-OL, antiguo diseño y AL RHZ1, diseño actual) y los homologados por Gas Natural Fenosa en su pantalla y en su conductor (doble obtención longitudinal → AL RHZ1-2OL).

En el caso de la obtención en el conductor evitaremos que las puntas del cable puedan verse inundadas por no haber sido adecuadamente taponadas durante el proceso de tendido de la línea (importante no olvidar este detalle). Los hilos hinchantes entre los hilos del conductor se expansionarán limitando la acción acuosa sólo a la punta del cable, estando protegida el resto de la línea.

**Los cables tipo EPROTENAX H COMPACT no necesitan protección frente a la acción del agua porque su aislamiento de HEPR soporta sin apenas variación de sus buenas propiedades las eventuales filtraciones de agua en su pantalla o cuerda conductora.**

En cables donde se desee evitar la penetración de humedad en el aislamiento también puede sustituirse la pantalla de cintas en hélice o hilos de cobre por una cubierta extrusionada de plomo, que además de impermeabilizar el cable, realiza las funciones eléctricas propias de las pantallas metálicas.

Otra posibilidad para impedir la penetración del agua consiste en aplicar una cinta de cobre o aluminio longitudinalmente, solapada y sellada. Esta cinta se adhiere fuertemente a la cubierta exterior. Si la sección de cobre que proporciona esta cinta no es suficiente para transportar la intensidad de cortocircuito requerida, la cinta se coloca sobre una corona de hilos de cobre de sección adecuada.

Tanto las cubiertas de plomo como las protecciones de cinta de cobre longitudinal sellada, que configuran la protección radial del cable a la penetración del agua, se complementan, generalmente con cintas hinchantes de material higroscópico.

### IDENTIFICACIÓN DE LAS ALMAS

El etileno-propileno de alto módulo empleado en el aislamiento de los cables EPROTENAX H COMPACT ó el polietileno químicamente reticulado empleado en el aislamiento de los cables VOLTALENE H es de un solo color. Para la identificación de las almas en los cables tripolares se utilizan tiras de distinto color (amarillo, verde y marrón) aplicadas en sentido longitudinal entre la capa conductora externa y la pantalla metálica.

### 6 - RELLENOS (SÓLO PARA CABLES TRIPOLARES)

En los cables tripolares, los conductores aislados y apantallados se cablean. Para dar forma cilíndrica al conjunto se aplica un relleno, y eventualmente una capa, extruídos, de un material apropiado que pueda ser fácilmente eliminado cuando hay que confeccionar empalmes o terminales.

### 7 - PROTECCIONES EXTERNAS

#### • CUBIERTA DE SEPARACIÓN (SÓLO PARA CABLES ARMADOS)

De acuerdo con las prescripciones de la norma IEC 60502, cuando la pantalla y la armadura están constituidas por materiales diferentes, deberán estar separadas por una cubierta estanca extruída. La calidad del material debe ser adecuada para la temperatura de trabajo del cable y sus características quedan definidas en la norma citada.

#### • ARMADURA (SÓLO PARA CABLES ARMADOS)

Las armaduras de los cables EPROTENAX H COMPACT y VOLTALENE H han sido estudiadas de forma que se conserve la ligereza y manejabilidad que caracteriza a este tipo de cables. Están constituidas por flejes o alambres metálicos dispuestos sobre un asiento apropiado y bajo la cubierta exterior, con lo que la armadura queda protegida de las corrosiones químicas o electrolíticas. Generalmente las armaduras de alambres se sujetan mediante una contraespira.

La armadura asume diversas funciones entre las que cabe distinguir:

- Refuerzo mecánico, aconsejable según la forma de instalación y utilización.
- Pantalla eléctrica antiaccidentística.
- Barrera de protección contra roedores, insectos o larvas.

## C) CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

Los tipos de armadura utilizados en los cables de las series EPROTENAX H COMPACT y VOLTALENE H son los siguientes:

Para cables tripolares:

- dos flejes de hierro solapados ( tipo F).
- una corona de alambres de acero (tipo M).

Para cables unipolares:

- dos flejes de aluminio solapados y sus aleaciones (tipo FA).
- una corona de alambres de aluminio y sus aleaciones (tipo MA).

### • CUBIERTA EXTERIOR

Al ser las cubiertas una mezcla termoplástica, tienden a endurecerse a temperaturas inferiores a los 0 °C, aún cuando conservan cierta flexibilidad a temperaturas entre -10 °C y -15 °C las de PVC y hasta -30 °C la VEMEX y las AFUMEX. La única precaución a considerar es que las operaciones de tendido de los cables no deben realizarse a temperaturas inferiores a los 0 °C. Si un cable está fijo y no está sometido a golpes y vibraciones, puede soportar sin daño temperaturas de -50 °C.

#### A) Cubierta Vemex (DMZ1)

Para cables unipolares no armados sin mayor protección mecánica que la cubierta exterior, se utiliza la cubierta especial termoplástica VEMEX, desarrollada por PRYSMIAN. Este tipo de material conjuga una gran resistencia y flexibilidad en frío, con una elevada resistencia al desgarro a temperatura ambiente, a la vez que una muy alta resistencia a la deformación en caliente y una muy baja permeabilidad al agua. El equilibrio conseguido con una adecuada formulación y las propiedades intrínsecas del polímero utilizado, se traducen en que el nuevo compuesto termoplástico tiene características mecánicas y resistencia al medio ambiente activo excepcionales, permitiendo un mayor abanico de aplicaciones. Los cables EPROTENAX H COMPACT y VOLTALENE H con cubierta VEMEX presentan, respecto a los cables convencionales:

- Mayor resistencia a la absorción del agua.
- Mayor resistencia al rozamiento y a la abrasión.
- Mayor resistencia a los golpes.
- Mayor resistencia al desgarro.
- Mayor facilidad de instalación en tramos tubulares.
- Mayor seguridad en el montaje.

Todo ello hace que sea un cable idóneo para el tendido mecanizado. La tabla II indica las propiedades mínimas exigibles a la cubierta.

#### B) Cubierta de PVC

Las cubiertas de PVC corresponden a la norma IEC 60502, tipo ST2, y sus características se indican en la tabla II, permitiendo mantener en los cables armados la flexibilidad necesaria para su instalación.

Cabe destacar que con formulaciones adecuadas se obtienen mezclas de PVC de gran resistencia a los aceites y a los hidrocarburos a condición de que su acción no sea permanente. En casos muy particulares de utilización en industrias petroquímicas o donde pueda darse la circunstancia de una posible inmersión del cable en hidrocarburos, es aconsejable la utilización de una cubierta especial resistente a estos agentes.

Se recomienda muy especialmente que en las instalaciones en refinerías e industrias petroquímicas en general se utilicen estos cables con funda de plomo (protección P), bajo la cubierta, o bajo la armadura, en los casos en que el cable precise también de esta protección mecánica. La versatilidad de instalación de estos cables ofrece una solución satisfactoria a múltiples problemas al proyectista y al instalador.

El empleo de una cubierta de PVC ignifugado permite conferir la característica de no propagador del incendio al cable, propiedad aconsejable cuando deban prevenirse las graves consecuencias de un posible incendio.

#### C) Cubiertas AFUMEX (AS) (Cables clase C<sub>ca</sub> -s1b, d2, a1)

Cuando por razones del emplazamiento del cable, instalación en edificios, galerías, etc... se precise disponer de cables con nula emisión de halógenos y reducida opacidad deben emplearse cubiertas tipo Afumex (AS) que confieren a los cables las propiedades necesarias para superar ensayos específicos de fuego:

El Reglamento de Productos de Construcción (CPR) ha establecido nuevos criterios para la evaluación de la reacción al fuego de los cables en la UE (Ver apartado D). El referente de alta seguridad (AS) en MT se corresponde con la clase C<sub>ca</sub> -s1b, d2, a1, lo que representa superar los siguientes ensayos:

-C<sub>ca</sub>

- No propagación de la llama: UNE-EN 60332-1-2
- No propagación del incendio: UNE-EN 50399
- Baja emisión de calor: UNE-EN 50399

### C) CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

---

#### -s1b

- Baja emisión de humos: UNE-EN 50399
- Baja opacidad de humos: UNE-EN 61034-2

#### -d2

- Sin comportamiento declarado para la extinción de gotas o partículas inflamadas que se desprenden durante el ensayo UNE-EN 50399

#### -a1

- Libre de halógenos, baja emisión de gases tóxicos y nula emisión de gases corrosivos: UNE-EN 60754-2

Estas cubiertas presentan un excelente comportamiento frente al fuego mejorando las de los diseños Afumex tradicionales, pues ahora se miden nuevos parámetros como la emisión de calor o la emisión de humo (cantidad) y se ha incrementado la exigencia de los ensayos habituales, aminorando la propagación del fuego y la acidez de los gases emanados aún más.

### D) Cubiertas AFUMEX (otros diseños para países que no pertenecen a la Unión Europea)

- No propagadores de la llama: UNE EN 60332-1-2; IEC 60332-1-2
- No propagadores del incendio: UNE EN 60332-3-24; IEC 60332-3-24 (si aplica la categoría C)
- Baja emisión de humos opacos: UNE EN 61034-2; IEC 61034-2
- Baja emisión de gases tóxicos: NES 713 y NFC 20454.
- Libre de halógenos: UNE EN 60754-2; IEC 60754-1
- Nula emisión de gases corrosivos: UNE EN 60754-2 ; IEC 60754-2

## D) NUEVOS CABLES DE MT CON PROPIEDADES FRENTE AL FUEGO MEJORADAS, CLASES E<sub>ca</sub> (SEGURIDAD) Y C<sub>ca</sub>-s1b,d2,a1 (ALTA SEGURIDAD)

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

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

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

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

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

### LAS CLASES DE LOS CABLES ELÉCTRICOS

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

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

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

#### 1- Atendiendo a la energía liberada y propagación del fuego:

- **A<sub>ca</sub>** : cables que no contribuyen al incendio
- **B1<sub>ca</sub>, B2<sub>ca</sub>, C<sub>ca</sub>, D<sub>ca</sub> y E<sub>ca</sub>** : Todos estos cables cumplen el ensayo de no propagación de la llama (UNE-EN 60332-1-2) y su grado de propagación del incendio y de liberación de calor durante la combustión está limitado siendo inferior en la clase B1<sub>ca</sub> que en la B2<sub>ca</sub> y así sucesivamente (UNE-EN 50399).
- **F<sub>ca</sub>** : cables sin determinación de comportamiento

#### 2- Clasificación adicional de los cables eléctricos

Los cables eléctricos tienen una serie de criterios adicionales a las clases. Estos criterios se aplican a las clases B1<sub>ca</sub>, B2<sub>ca</sub>, C<sub>ca</sub> y D<sub>ca</sub> y contemplan la información sobre la opacidad de humos emitidos (s0, s1 y s2) y desprendimiento de gotas (d0, d1 y d2) durante la combustión al igual que en el caso de los productos de construcción en general. Además también se evalúa la acidez de los gases emitidos (a1, a2 y a3) para conocer su influencia tóxica y corrosiva.

Por tanto tendríamos que para cables eléctricos:

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

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

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

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

## D) NUEVOS CABLES DE MT CON PROPIEDADES FRENTE AL FUEGO MEJORADAS, CLASES E<sub>ca</sub> (SEGURIDAD) Y C<sub>ca</sub>-s1b, d2, a1 (ALTA SEGURIDAD)

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

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

Clase	Ensayos						
	Clasificatorios				Adicionales		
	Generación calor combustión	Propagación llama	Propagación incendio	Generación calor	Humos	Gotas/partículas	Acidez
	UNE-EN ISO 1716	UNE-EN 60332-1-2	UNE-EN 50399	UNE-EN 50399	UNE-EN 50399 UNE-EN 61034-2	UNE-EN 50399	UNE-EN 60754-2
A <sub>ca</sub>							
B1 <sub>ca</sub>			-	-	s1 -	d0 -	a1 -
B2 <sub>ca</sub>					s1a	d1	a2
C <sub>ca</sub>			+		s1b	d2	a3
D <sub>ca</sub>				+	s2		
E <sub>ca</sub>					s3 +		
F <sub>ca</sub>							

### 3- Los nuevos cables para MT

Además de los tradicionales cables para MT con cubiertas de poliolefinas DMZ1 (clase: F<sub>ca</sub>: RH5Z1, RHZ1-OL, RHZ1-2OL o HEPRZ1) existe una nueva gama de cables de seguridad (S) (clase E<sub>ca</sub>) y de alta seguridad (AS) (clase C<sub>ca</sub>-s1b,d2,a1).

En busca de mejorar la reacción al fuego de las instalaciones, se diseñó en su día la cubierta VEMEX (DMZ1) a base de poliolefinas. Esta cubierta permite al cable superar el ensayo de baja opacidad de humos, ser libre de halógenos, tener baja emisión de gases tóxicos y corrosivos, y excelentes propiedades mecánicas. Es la cubierta que presentan los cables convencionales para MT homologados por las principales compañías eléctricas (clase F<sub>ca</sub>).

Actualmente, se dispone de dos tipos de cable adicionales que superan los ensayos comentados anteriormente sin perder las buenas propiedades mecánicas, son no propagadores de la llama (clase E<sub>ca</sub>), o no propagadores del incendio y con reducida emisión de calor y humos (clase C<sub>ca</sub>-s1b,d2,a1).

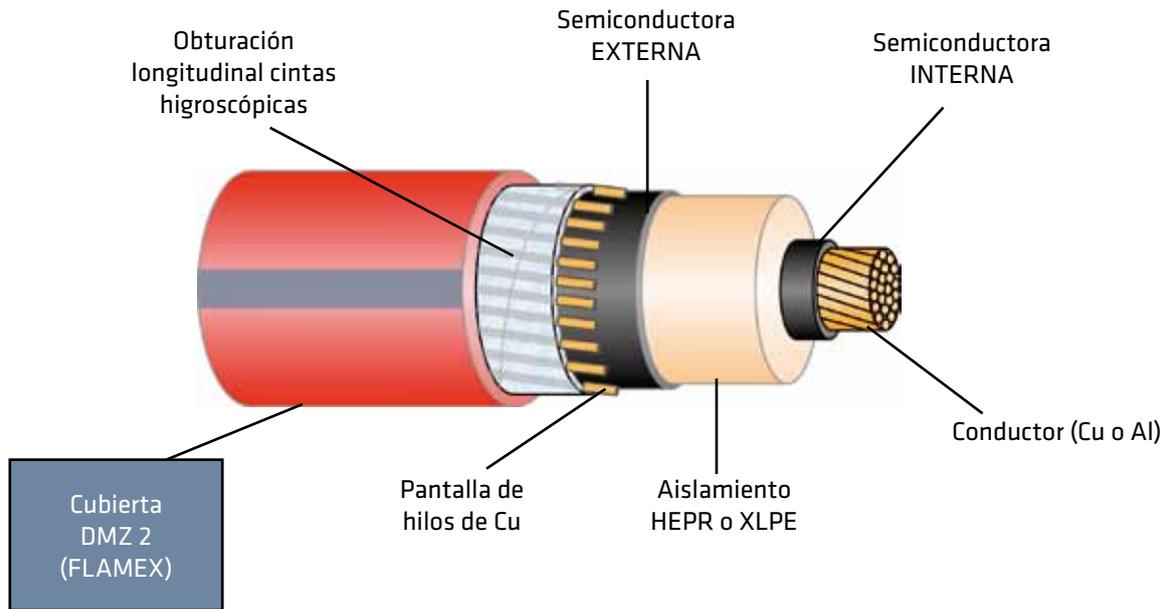
Estos nuevos diseños están siendo incorporados por las compañías eléctricas para determinadas aplicaciones en las que el riesgo de incendio no se considera despreciable.

#### 3.1. Comportamiento frente al fuego mejorado

Los nuevos ensayos de fuego establecidos por el CPR mejoran el comportamiento de los cables en condiciones de incendio.

Los cables S (seguridad) se corresponden ahora con la clase E<sub>ca</sub> y deben superar el nuevo ensayo de no propagación de la llama. Respecto a la anterior versión, propia de los cables S, actualmente se recorta la máxima longitud afectada por la llama en el ensayo, pasa de 475 mm a 425 mm y se mide también su propagación vertical hacia abajo, no sólo hacia arriba.

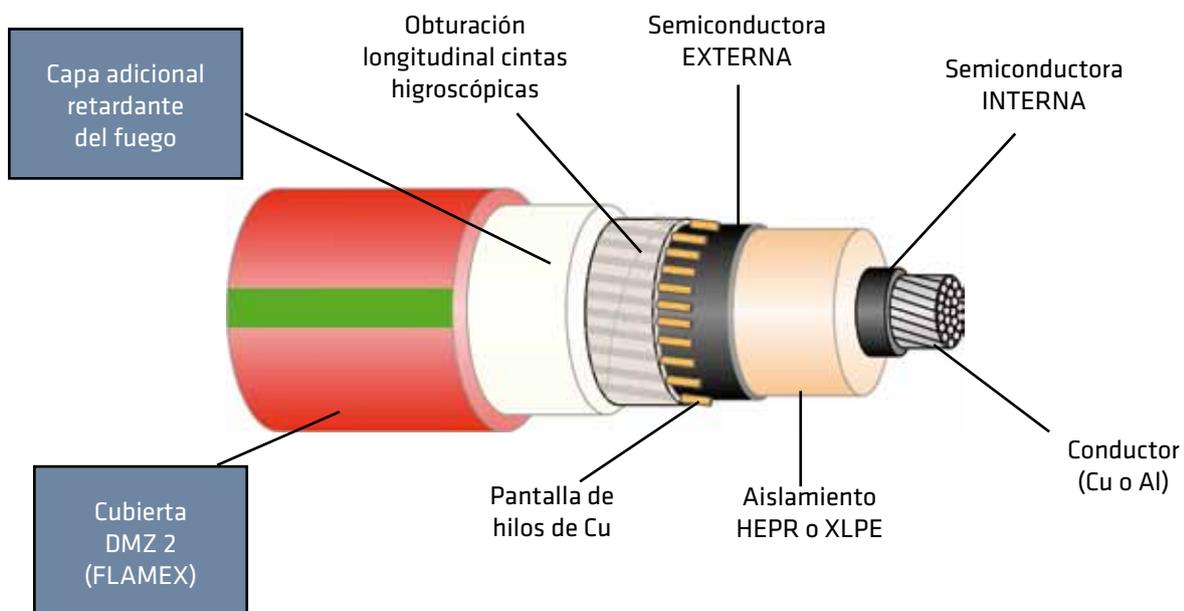
### D) NUEVOS CABLES DE MT CON PROPIEDADES FRENTE AL FUEGO MEJORADAS, CLASES $E_{ca}$ (SEGURIDAD) Y $C_{ca}$ -s1b, d2, a1 (ALTA SEGURIDAD)



Estructura de cable para MT clase  $E_{ca}$ . Visualmente distinguible por sus franjas grises a 180 °.

Los cables AS (alta seguridad) se corresponden con la clase  $C_{ca}$ -s1b,d2,a1 y las mejoras respecto a la tipología AS anterior a la entrada en vigor del CPR son bastante notables.

El nuevo diseño, además de cumplir el nuevo ensayo más estricto de no propagación de la llama explicado anteriormente debe también superar los nuevos ensayos de no propagación del incendio y de acidez de gases (más exigentes que antes) y la generación de calor y de cantidad de humo no podrá superar unos determinados niveles. Estos dos últimos ensayos no se realizaban anteriormente, son también debidos a la implantación del CPR y su esquema de clases de reacción al fuego.



Resumiendo, los cables AS (clase  $C_{ca}$ -s1b,d2,a1) para MT incorporan las siguientes mejoras en su reacción al fuego respecto a la versión AS anterior. Presenta 2 franjas verdes a 180 °.

### D) NUEVOS CABLES DE MT CON PROPIEDADES FRENTE AL FUEGO MEJORADAS, CLASES E<sub>ca</sub> (SEGURIDAD) Y C<sub>ca</sub>-s1b, d2, a1 (ALTA SEGURIDAD)

	Anterior	CPR
No propagación de la llama	Sí*	Sí
Caudal del aire para combustión	5000 l	8000 l
Longitud máxima afectada por fuego	2,5 m	2 m
Generación de calor	No se mide	Sí se mide
Cantidad de humo	No se mide	Sí se mide
Acidez gases	<10 µS/mm	<2,5 µS/mm

\*El actual ensayo es más estricto ha acertado en 50 mm la máxima longitud afectada por el fuego y mide la propagación vertical de la llama no sólo hacia arriba sino también hacia abajo (goteo).

Vemos por tanto que los nuevos diseños de cable representan un salto cualitativo en favor de la seguridad fruto de la apuesta de Prysmian por la mejora de los productos con soluciones de última tecnología.

Tabla comparativa de los cables para MT según sus ensayos de reacción al fuego. En azul figuran los ensayos que el CPR exige y en negro otros ensayos válidos también para países fuera de la UE.

Propiedades	Cables cubierta VEMEX (DMZ1)	Cables (S) cubierta FLAMEX (DMZ2)	Cables (AS) capa retardante + cubierta FLAMEX (DMZ2)
	 <b>(SIN FRANJA)</b>	 <b>FRANJA GRIS</b>	 <b>FRANJA VERDE</b>
<b>Clase (CPR)</b>	F <sub>ca</sub>	E <sub>ca</sub>	C <sub>ca</sub> -s1b, d2, a1
<b>Ensayos de fuego</b>			
No propagación de la llama	NO	EN 60332-1-2 IEC 60332-1-2	EN 60332-1-2 IEC 60332-1-2
No propagación del incendio	NO	NO	EN 50399 EN 60332-3-24 IEC 60332-3-24
Libre de halógenos	EN 60754-1 IEC 60754-1	EN 60754-1 IEC 60754-1	EN 60754-2 EN 60754-1 IEC 60754-2 IEC 60754-1
Reducida emisión de gases tóxicos	EN 60754-2 IEC 60754-2	EN 60754-2 IEC 60754-2	EN 60754-2 NFC 20454 DEF-STAN 02-713
Baja emisión de humos	NO	NO	EN 50399
Baja opacidad de humos	EN 61034-2 IEC 61034-2	EN 61034-2 IEC 61034-2	EN 61034-2 IEC 61034-2
Nula emisión de gases corrosivos	NO	NO	EN 60754-2 IEC 60754-2 NFC 20453
Baja emisión de calor	NO	NO	EN 50399
	<b>DISEÑO ESTÁNDAR DE CABLES MT</b>	<b>CABLES CON PROPIEDADES FRENTE AL FUEGO MEJORADAS</b>	

### D) NUEVOS CABLES DE MT CON PROPIEDADES FRENTE AL FUEGO MEJORADAS, CLASES E<sub>ca</sub> (SEGURIDAD) Y C<sub>ca</sub>-s1b, d2, a1 (ALTA SEGURIDAD)

Clase	Ensayos						
	Clasificatorios				Adicionales		
	Generación calor combustión	Propagación llama	Propagación incendio	Generación calor	Humos	Gotas/partículas	Acidez
	UNE-EN ISO 1716	UNE-EN 60332-1-2	UNE-EN 50399	UNE-EN 50399	UNE-EN 50399 UNE-EN 61034-2	UNE-EN 50399	UNE-EN 60754-2
A <sub>ca</sub>							
B1 <sub>ca</sub>					s1		
B2 <sub>ca</sub>					s1a	d0	a1
C <sub>ca</sub>					s1b	d1	a2
D <sub>ca</sub>					s2	d2	a3
E <sub>ca</sub>					s3		
F <sub>ca</sub>							

Ensayos de fuego aplicables a los cables AS (clase C<sub>ca</sub>-s1b, d2, a1) recuadrados en verde y a los cables S (clase E<sub>ca</sub>) recuadrado en gris. Los cables convencionales (clase F<sub>ca</sub>) no tienen comportamiento declarado y por tanto no les es de aplicación ningún ensayo de fuego de los considerados por el CPR.

El sistema de evaluación y verificación de la constancia de la prestación (EVCP) aplica de diferente forma según la clase de reacción al fuego de los cables (ver tabla anterior). Así...

- Cables con clase C<sub>ca</sub> o superior (como los AS) han de seguir el sistema 1+ que obliga al fabricante a solicitar a un organismo independiente notificado en la UE (Aenor, Bureau Veritas).
- Ensayos **de tipo** de reacción al fuego realizado por un organismo notificado en la UE (Aenor, Bureau Veritas...).
- Control permanente de la producción en fábrica.
- Cables con clase E<sub>ca</sub> (como los S) deberán cumplir con el sistema 3 que obliga al fabricante a someter su producto al control de un laboratorio notificado (Ceis) para obtener un informe de ensayos de reacción al fuego.
- Los cables F<sub>ca</sub> pueden seguir el sistema 4, que deja en manos del fabricante el control de la reacción al fuego de su producto al tratarse de cables sin comportamiento declarado.

## E) CABLES P-LASER, HITO TECNOLÓGICO DE PRYSMIAN

**Los cables para MT del futuro ya están aquí. Producto de una apuesta decidida de Prysmian por la mejora continua, años de trabajo e inversión en I+D+i han dado como resultado una nueva generación de cables que mejoran notablemente las características de los cables convencionales con aislamiento de XLPE o HEPR en todas las dimensiones imaginables.**

En la búsqueda de una mejor respuesta a las necesidades de la sociedad, Prysmian revoluciona de nuevo el mundo de los cables de energía con una mejora generalizada de las propiedades de los cables para MT.

A finales de la década de los 90, Pirelli (hoy Prysmian) comenzó a estudiar materiales alternativos a los tradicionales extruidos con el objetivo de **mejorar tanto las características del material aislante** y del **proceso completo de producción** como de desarrollar un **material eco-compatible y reciclable**.

En el año 2003 se centró el desarrollo de la nueva tecnología en compuestos basados en polipropileno, en los laboratorios centrales de Milán. En 2005 ya se había fabricado el primer prototipo, un año después tuvo lugar la primera instalación para la compañía Enel (Italia).

Posteriormente el cable P-Laser fue conectado a la red de distribución holandesa y ya en el año 2008 se aprobó la primera edición de la norma italiana que lo contempla. En años posteriores se ha ampliado la gama de producto a otras tensiones y a otros diseños como los cables AIRBAG.



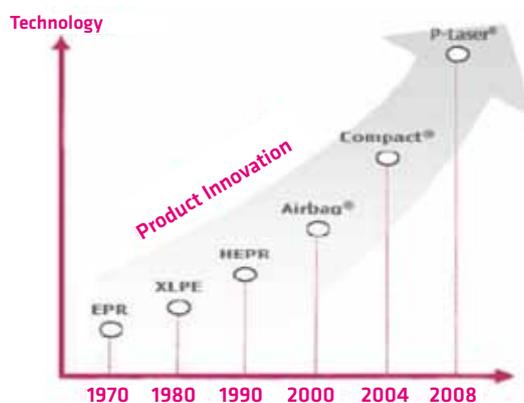
Cable P-Laser MT



Cable P-Laser Airbag MT

La revolucionaria tecnología P-Laser ha sido aplicada a todo tipo de cables para MT

Actualmente el cable P-Laser ya ha sido incorporado a los estándares europeos para cables de MT (**Cenelec HD 620**) y **más de 17000 km prestan servicio** desde el año 2006, incluyendo tendidos para Iberdrola en España.



### LOS NUEVOS MATERIALES

Los numerosos estudios realizados en laboratorio con diferentes polímeros arrojaron la conclusión de que ciertas mezclas basadas en polipropileno (PP) presentaban un comportamiento y unas características que permitían pensar en una mejora global de los cables para MT.

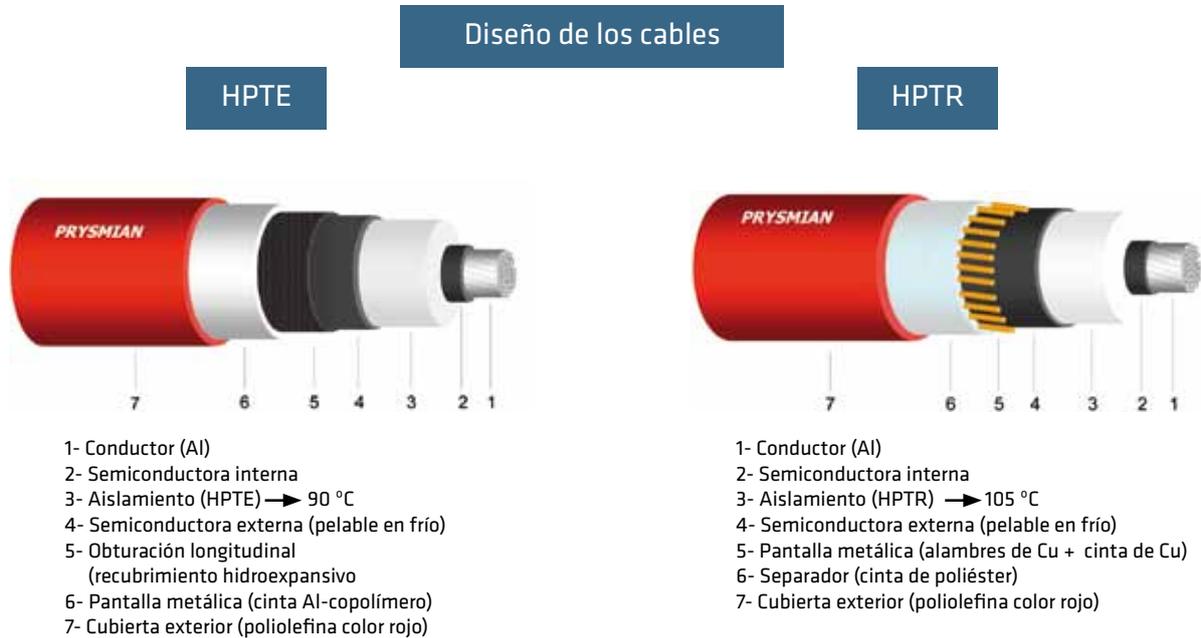
Los dos compuestos resultantes de la investigación poseen extraordinarias mejoras en el campo de los aislantes eléctricos superando las ya buenas propiedades de los tradicionales XLPE y HEPR:

- **HPTE** (High performing Polypropylene Thermoplastic Elastomer) como material alternativo al XLPE de MT para temperatura de servicio **90°C**.
- **HPTR** (High performing Propylene Thermoplastic Rubberlike) como material alternativo al HEPR de MT para temperatura de servicio **105°C**.

Estos nuevos materiales han sido sometidos a los rigurosos ensayos eléctricos y no eléctricos aplicables a los aislamientos XLPE o HEPR.

## E) CABLES P-LASER, HITO TECNOLÓGICO DE PRYSMIAN

### DISEÑO DE LOS CABLES



Estructura de los dos tipos de cable P-Laser

Los cables P-Laser son totalmente compatibles con las líneas de empalmes, conectores separables y terminales convencionales.

Respecto a los ensayos tipo no eléctricos, estos tratan principalmente de poner a prueba las características mecánicas, físicas y químicas de todos los elementos del cable para asegurar su correspondencia con las especificadas en la norma.

### VENTAJAS DE LOS CABLES P-LASER

Los cables P-Laser son el resultado de la aplicación de los nuevos aislantes HPTE y HEPT a los cables para MT.

Tres importantes ventajas explican el avance que representa la nueva tecnología de polímeros en el mundo de los cables eléctricos de energía:

#### 1.- Mejor respuesta en servicio. Incremento de temperatura de operación de hasta el 20 %

Los cables P-Laser pueden soportar temperaturas de hasta 130 °C sin perder sus buenas propiedades por lo que en caso de ser necesaria una sobresolicitación temporal en la red responden adecuadamente sin deterioro irreversible.

Todos sabemos que las congestiones de red o la generación eléctrica proveniente de energías renovables pueden ser difícil de predecir. Los cables P-Laser son la mejor respuesta a estas necesidades gracias a su mayor capacidad de transporte por su temperatura de emergencia hasta un 20 % superior a los cables convencionales de XLPE.

	XLPE	HEPR	P-LASER
Temperatura de servicio	hasta 90 °C	hasta 105 °C	hasta 110 °C
Temperatura de emergencia	105 °C	130 °C	130 °C
Rigidez dieléctrica	Excelente	Bueno	Excelente
Avería eléctrica	Muy bueno	Bueno	Excelente
Pérdidas dieléctricas	Excelente	Bueno	Excelente
Resistencia a la termopresión	105 °C	130 °C	130 °C
Manipulación	Buena	Excelente	Excelente

Tabla comparativa de las tecnologías convencionales de aislamiento seco y el revolucionario P-Laser.

Los valores de tangente de delta ( $\tan \delta$ ) de los nuevos P-Laser de Prysmian son muy cercanos a los cables con aislamiento convencional de XLPE y notablemente inferiores a los de aislamiento HEPR lo que se traduce en reducidas pérdidas en el aislamiento cuando el cable está en servicio. Este importante parámetro técnico tampoco ha sido descuidado en el diseño de los nuevos P-Laser.

### E) CABLES P-LASER, HITO TECNOLÓGICO DE PRYSMIAN

#### 2.- Ecológico. Reducción del 80 % de las emisiones de CO<sub>2</sub>

El cuidado del medio ambiente, como no podía ser de otra manera, fue uno de los objetivos de los nuevos diseños. P-Laser es un importante salto cualitativo por la enorme aminoración de su impacto ecológico. Está fabricado con material termoplástico **100 % reciclable**. Su innovador proceso de fabricación y tecnología cero gas incrementan notablemente la **eficiencia energética** y la **reducción de emisiones de gases contaminantes**.



**De 1 km de cable P-Laser de 1x185 mm<sup>2</sup> podemos recuperar 500 kg de plástico de alta calidad.**

#### 3.- Mayor disponibilidad

El proceso de fabricación de los cables P-Laser ha sido simplificado, los aislamientos termoplásticos no necesitan desgasificación y se puede fabricar el cable en una sola línea de producción ininterrumpidamente.

Se han conseguido integrar las fases de fabricación, lo que también ha racionalizado la cadena de suministro con importantes ahorros de tiempo de fabricación por eliminarse horas de espera y manipulación de producto semielaborado. Todo ello redundando en una interesante mejora del servicio al cliente y notables reducciones de plazos de entrega.

	Fabricación convencional		Fabricación P-Laser	
	Duración	Temperatura (°C)	Duración	Temperatura (°C)
Aislamiento	11 horas	130-300		
Desgasificación	48+24 horas	80	5 horas	200
Cubierta	8 horas	200		
<b>Total</b>	<b>91 horas (4 días)</b>	<b>-</b>	<b>5 horas (-94 %)</b>	<b>-</b>

La simplificación de procesos que permiten los cables P-Laser reducen notablemente incertidumbres de fabricación y suministro

## F) ENSAYOS

### PRUEBAS SOBRE CABLES EN FÁBRICA

Una vez finalizado el proceso de fabricación, durante el cual el producto ha sido sometido a controles intermedios, se realizan sobre los cables una serie de ensayos destinados a comprobar el buen funcionamiento del cable y la calidad de sus componentes.

Los ensayos a realizar están definidos en la Norma IEC 60502 para los cables desde 1 a 30 kV, y en la Norma UNE HD 632 e IEC 840 para los cables de tensión superior a 30 kV.

Estas normas dividen los ensayos a realizar en tres grupos denominándolos ensayos individuales, especiales y tipo.

- Los ensayos individuales se efectúan sobre todas las piezas de cable terminado. Tienen por finalidad comprobar que el conductor y el aislamiento están en buen estado.
- Los ensayos especiales se realizan sobre un número determinado de muestras extraídas de las piezas de cable fabricadas. Su finalidad es la de comprobar que el cable responde a las especificaciones de su diseño.
- Los ensayos tipo se realizan sobre el cable antes de su comercialización con el fin de comprobar que las características de servicio sean satisfactorias para la utilización prevista. Una vez realizados, no es necesario repetirlos a menos que se introduzcan modificaciones en los materiales o en la construcción del cable.

### ENSAYOS INDIVIDUALES

Los ensayos individuales para cables de tensión asignada desde 1 kV hasta 30 kV son los siguientes:

- Medida de la resistencia eléctrica del conductor. Se admiten como valores máximos los indicados en la tabla III.
- Ensayo de tensión. Se aplica el valor eficaz que corresponda de acuerdo con la tabla V, durante 5 minutos. La tensión se aplica entre conductor y pantalla.
- Ensayo de descargas parciales. Este ensayo debe realizarse, para cables aislados con polietileno reticulado, cuya tensión nominal sea superior a 1,8/3 kV y para cables aislados con goma de etileno-propileno, cuya tensión nominal sea superior a 3,6/6 kV.  
La magnitud de las descargas parciales a la tensión indicada en la tabla V (la tensión se aplica entre conductor y pantalla) no debe ser superior a 10 pC.

Para cables de tensión asignada superior a 30 kV, los ensayos individuales a realizar son los siguientes:

- Ensayo de tensión.
- Ensayo de descargas parciales.
- Ensayo eléctrico de la cubierta exterior.

### ENSAYOS ESPECIALES

Los ensayos especiales para cables de hasta 30 kV son los siguientes:

- Examen del conductor. Se verifica que el conductor cumple lo indicado en la Norma UNE EN 60228.
- Verificaciones dimensionales. Se comprueban las medidas de los espesores de aislamiento, cubiertas, alambres, flejes, etc. de los distintos constituyentes del cable.
- Ensayo eléctrico. Para cables de tensión nominal superior a 3,6/6 kV consiste en un ensayo de tensión de 4 horas de duración.

Los ensayos especiales para cables de más de 30 kV son:

- Examen del conductor.
- Medida de la resistencia eléctrica del conductor.
- Medida de los espesores de aislamiento y cubiertas.
- Ensayo de alargamiento en caliente del aislamiento.
- Medida de la capacidad.

### ENSAYOS TIPO

Estos ensayos se dividen en dos grupos según sean eléctricos, o no.

Los ensayos tipo eléctricos, para cables de media tensión o alta tensión, consisten en una serie de pruebas a realizar consecutivamente sobre una muestra de cable, entre las que destacan el ensayo de doblado, la medida de la  $\tan \delta$  en función de la temperatura y de la tensión, el ensayo de ciclos de calentamiento y el ensayo de tensión a impulsos.

Respecto a los ensayos tipo no eléctricos, estos tratan principalmente de poner a prueba las características mecánicas, físicas y químicas de todos los elementos del cable para asegurar su correspondencia con las especificadas en la norma.

## G) SISTEMA EXCLUSIVO PRY-CAM. COMPROBACIÓN DE AISLAMIENTOS PARA MT Y AT SIN INTERRUPCIÓN DE SUMINISTRO

El Grupo Prysmian ha desarrollado una nueva tecnología con sensor wireless que permite medir las descargas parciales en los aislamientos de una red, sin necesidad de manipular el sistema de cable, ni interferir en el régimen de explotación de la línea. Este sistema está especialmente diseñado para proporcionar diagnóstico preciso del estado del aislamiento de líneas de media o alta tensión, así como de transformadores y otro tipo de componentes.



El sistema Pry Cam es una solución portátil y de fácil manejo, que permite detectar, procesar y clasificar las señales emitidas mediante un sistema wireless (sin hilos). Este proceso de medición de descargas parciales permite evaluar el estado en el que se encuentra el aislamiento de los sistemas eléctricos sometidos a un campo eléctrico de valor elevado.

**Este sistema permite tanto la realización de un diagnóstico preciso del estado de la red eléctrica para evitar o minimizar los cortes de suministro por fallo de componentes, así como su continua monitorización para planificar con antelación la sustitución de los mismos. Al mismo tiempo permite realizar un mantenimiento preventivo/predictivo de las líneas, garantizando en todo momento la seguridad de los operarios.**

### CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

- Detecta la onda completa, no sólo los pulsos.
- El diseño innovador del sensor permite la detección remota de pequeñas señales emitidas por las descargas parciales y la sincronización directa con la onda de tensión.
- El sincronismo inalámbrico no requiere de un sensor externo.
- El sistema de adquisición de datos permite captar con precisión, grabar y procesar la forma de onda de cada pulso.
- Gran potencia de filtrado de ruidos y mecanismos de detección.
- Software innovador para el análisis y procesado de los datos obtenidos.

### VENTAJAS

La tecnología tradicional requiere la desconexión de la línea para poder conectar los equipos de medida y realizar el diagnóstico. El innovador sistema PRY-CAM realiza las medidas con la línea en servicio.

Ello comporta:

- Grandes ahorros en costes.
- Mejora en la prevención de averías (posibilidad de más chequeos).
- Garantiza la seguridad de sus operarios (medida no invasiva).

Además:

- Se trata de un equipo de dimensiones muy reducidas que permite realizar medidas en cualquier ubicación y no requiere de grandes recursos para su transporte.
- Información precisa y diagnóstico claro: localización exacta del defecto.

### APLICACIONES

El sistema PRY-CAM es exclusivo de Prysmian. Está especialmente diseñado para determinar un diagnóstico ajustado en líneas de media y alta tensión, así como transformadores y otro tipo de componentes en redes de transporte y distribución de energía, parques eólicos y fotovoltaicos, industrias, líneas férreas, etc...

**Contacte con Prysmian si desea ampliar información sobre el sistema PRY-CAM o solicitar oferta para hacer un diagnóstico del estado de aislamiento de un sistema de media o alta tensión.**

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

### EJEMPLO DE CÁLCULO DE SECCIÓN EN MT (utilización de datos del catálogo)

$S = 8,5$  MVA Potencia aparente  
 $U = 20$  kV Tensión entre fases  $\rightarrow$  Tensión asignada del cable 12/20 kV  
 $\cos \varnothing = 0,8$   
 $L = 200$  m Longitud de la línea  
 Una terna de cables AL EPROTENAX H COMPACT soterrados bajo tubo en condiciones estándar (profundidad 1 m, temperatura de terreno 25 °C y resistividad térmica del terreno, 1,5 K·m/W).



#### Intensidad de corriente:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \rightarrow I = S / (\sqrt{3} \cdot U)$$

$$I = 8500 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 20000) \approx 245 \text{ A}$$

#### SECCIÓN POR CALENTAMIENTO ( $I_{\max}$ ADMISIBLE)

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Tensión nominal					
	105 °C 1,8/3 kV a 18/30 kV					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
120	320	280	245	230	235	215
<b>150</b>	<b>360</b>	315	275	<b>255</b>	265	240
185	415	360	315	290	295	275

Sección por calentamiento = 1 x 150 (Al)

#### Caída de tensión:

$$\Delta U = L \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot ((R \cdot \cos \varnothing) + (X \cdot \sin \varnothing))$$

$L$ : Longitud de la línea en km = 0,2 km  
 $I$ : Intensidad en A = 245 A  
 $R$ : Resistencia de la línea en  $\Omega$  /km = 0,277 W /km  
 $\cos \varnothing = 0,8 \rightarrow \sin \varnothing = 0,6$

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Resistencia máxima en c.a. y a 105 °C en $\Omega$ /km			
	Cables Unipolares		Cables Tripolares	
	Cu	Al	Cu	Al
120	0.206	0.340	0.209	0.343
<b>150</b>	0.168	<b>0.277</b>	0.170	0.281
185	0.134	0.221	0.137	0.224

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

X : reactancia de la línea en  $\Omega / \text{km} = 0,110 \Omega / \text{km}$

Sección nominal $\text{mm}^2$	Reactancia X en $\Omega / \text{km}$ por fase Tensión nominal del cable						
	1,8/3 kV	3,6/6 kV	6/10 kV	8,7/15 kV	12/20 kV	12/25 kV	18/30 kV
120	0.095	0.098	0.106	0.111	0.112	0.118	0.123
<b>150</b>	0.093	0.096	0.102	0.108	<b>0.110</b>	0.115	<b>0.118</b>
185	0.089	0.093	0.100	0.104	0.106	0.110	0.113

Por tanto...

$$\Delta U = 0,2 \times 245 \times \sqrt{3} \times ((0,277 \times 0,8) + (0,110 \times 0,6))$$

$$\Delta U = 24,41 \text{ V}$$

### Intensidad de cortocircuito admisible:

1. Cortocircuito monofásico (entre fase y pantalla)

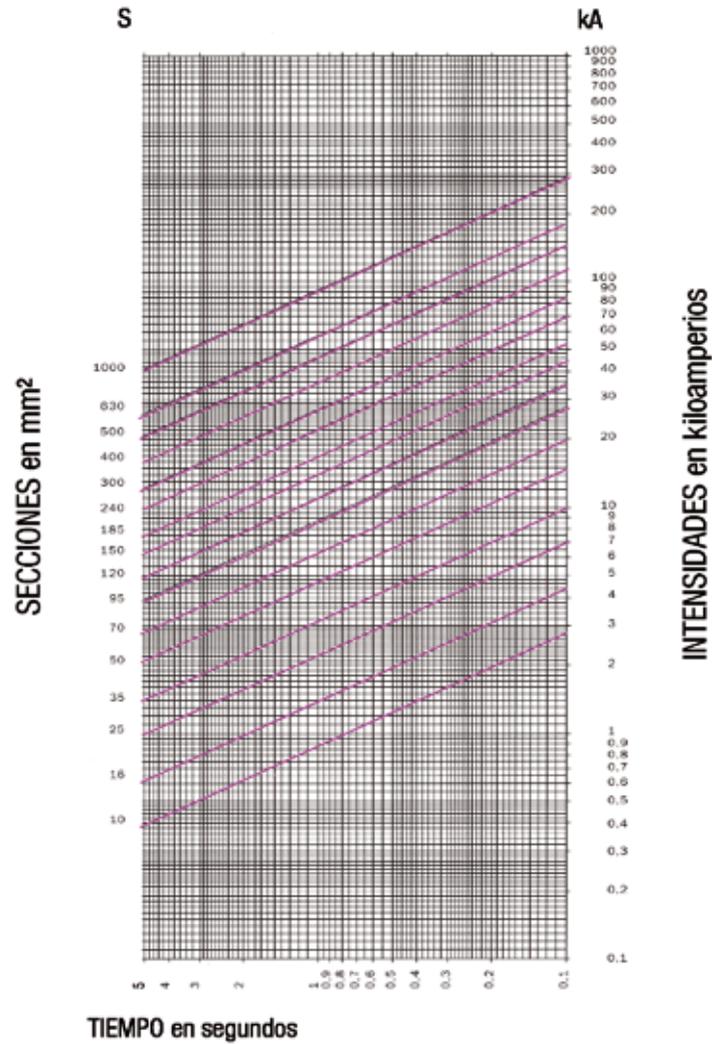
Como nuestro cable tiene pantalla de  $16 \text{ mm}^2$  de alambres de Cu:

Diámetro medio de pantalla mm	Duración del cortocircuito, en seg.								
	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	2,5	3
10	5300	3880	3250	2620	1990	1720	1560	1450	1370
<b>16</b>	<b>8320</b>	<b>6080</b>	<b>5090</b>	<b>4110</b>	<b>3130</b>	<b>2700</b>	<b>2440</b>	<b>2270</b>	<b>2150</b>
25	12700	9230	7700	6160	4630	3960	3560	3290	3100

$$I_{cc} = 3130 \text{ A en 1s}$$

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

### 2. Cortocircuito polifásico (entre fases)



#### Radio de curvatura mínimo



- 15D, para los cables unipolares apantallados y para los armados o con conductor concéntrico en posición definitiva
- 20D durante el tendido

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Ø exterior mm	Peso kg/km
Tipo H (no armado)		
1 x 120	30	1093
<b>1 x 150</b>	<b>32</b>	<b>1200</b>
1 x 185	33,2	1369

Radio de curvatura = 15D = 15 x 32 = 480 mm (estático)  
 20D = 20 x 32 = 640 mm (dinámico)

### H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

#### CÁLCULO DE SECCIÓN POR INTENSIDAD ADMISIBLE. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE COEFICIENTES DE CORRECCIÓN

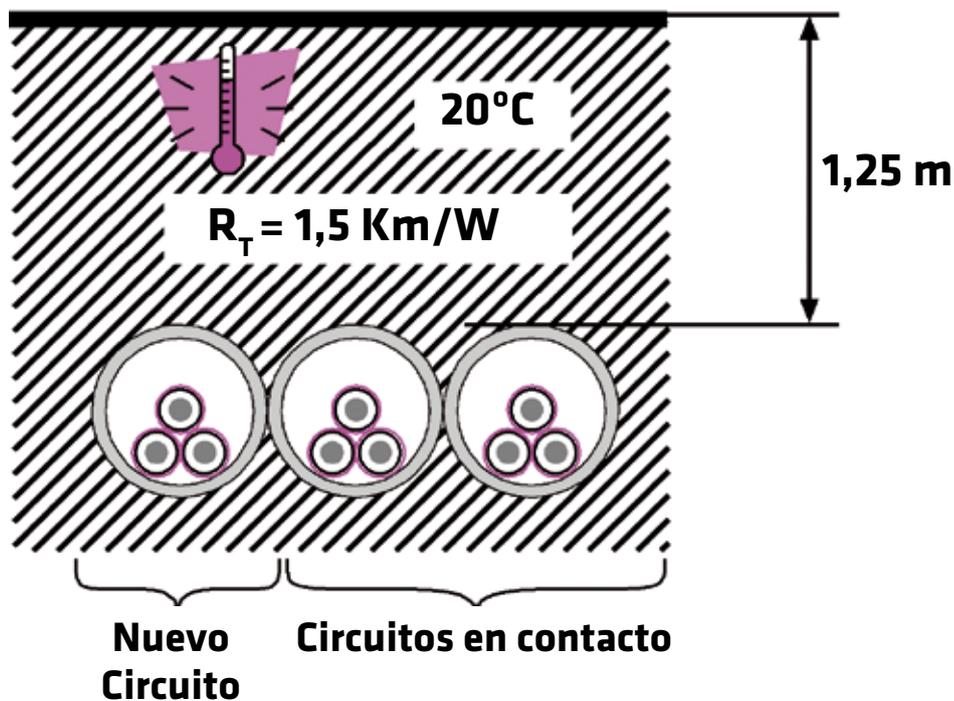
El cálculo de sección por el criterio de la máxima intensidad admisible es algo bastante sencillo, lo explicamos con un ejemplo de instalación cuyas condiciones se desvían del estándar de las tablas de la ITC-LAT 06.

Supongamos una instalación con las siguientes características:

- Intensidad de la línea: 280 A
- Cables unipolares Al Voltalene H (aislamiento XLPE) enterrados bajo tubo (los tres cables en un tubo)
- Temperatura del terreno 20 °C
- Resistividad térmica del terreno 1,5 K·m/W
- Agrupación con otros 2 circuitos adicionales en cto.
- Instalación enterrada a 1,25 m



Cable Al Voltalene H



El RLAT fija como estándares para tendidos subterráneos de media tensión bajo tubo las siguientes condiciones:

- Terno de cables unipolares enterrados bajo tubo
- Temperatura del terreno: 25 °C
- Resistividad térmica del terreno: 1,5 K·m/W
- Circuito único (sin influencia térmica de otros cables en el entorno)
- Profundidad de instalación: 1 m

Por tanto, éstas son las condiciones para las que se han calculado las intensidades máximas admisibles para cables hasta 18/30 kV en instalaciones enterradas bajo tubo (tabla 12 de la ITC-LAT 06 o tabla IX de los cables tipo Voltalene H).

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Tensión nominal					
	90 °C 1,8/3 kV a 18/30 kV					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<b>Conductores de Al</b>						
16	92	80	78	74	76	70
25	120	110	100	94	95	90
35	145	130	120	110	115	105
50	170	155	140	130	135	125
70	210	195	170	160	165	155
<b>95</b>	<b>255</b>	235	<b>205</b>	<b>190</b>	200	180
120	295	270	235	215	225	205
<b>150</b>	<b>335</b>	305	<b>260</b>	<b>245</b>	255	230
185	385	345	295	280	285	260
<b>240</b>	<b>455</b>	405	<b>345</b>	<b>320</b>	330	305
300	520	465	390	365	375	345
<b>400</b>	<b>610</b>	-	<b>445</b>	<b>415</b>	-	-
500	715	-	505	480	-	-
630	830	-	575	545	-	-

Cualquier desviación de las condiciones estándares, como es el caso que nos ocupa, debe ser afectada de los coeficientes de corrección que figuran en las tablas 7, 8, 10 y 11 de la citada ITC-LAT 06 (o tablas 1 y 2 de la página 10 y 3 y 4 de la página 11).

De la tabla 7 del RLAT (o tabla 1, página 7) obtenemos el coeficiente de corrección por temperatura distinta del estándar de 25 °C. Al ser de 20 °C la temperatura del terreno en nuestro ejemplo, como vemos el coeficiente de corrección por temperatura será de 1,04. Al tratarse de una temperatura inferior a 25 °C el coeficiente es superior a 1 pues el cable disipará mejor a temperatura más baja el calor generado por efecto Joule.

Temperatura de servicio, $\Theta_s$ , en °C	Temperatura ambiente $\Theta_v$ , en °C									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
105 (Eprotenax H Compact)	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,94	0,90	0,87	0,83	
90 (Voltalene)	1,11	1,07	<b>1,04</b>	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	

$$K_T = 1,04$$

En la tabla 8 (o tabla 2, página 10) tenemos los factores de corrección para resistividad térmica. Como la resistividad de nuestro caso coincide con la estándar, el coeficiente será lógicamente 1.

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

Tipo de instalación	Sección del conductor mm <sup>2</sup>	Resistividad térmica del terreno, K·m/W						
		0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5	3
Cables directamente enterrados	25	1,25	1,20	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
	35	1,25	1,21	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
	50	1,26	1,21	1,16	1,00	0,89	0,81	0,74
	70	1,27	1,22	1,17	1,00	0,89	0,81	0,74
	95	1,28	1,22	1,18	1,00	0,89	0,80	0,74
	120	1,28	1,22	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	150	1,28	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	185	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	240	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,73
	300	1,30	1,24	1,19	1,00	0,88	0,80	0,73
Cables en interior de tubos enterrados	25	1,12	1,10	1,08	1,00	0,93	0,88	0,83
	35	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,88	0,83
	50	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,83
	70	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
	95	1,14	1,12	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
	120	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	150	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	185	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	240	1,15	1,12	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81
	300	1,15	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81
400	1,16	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81	

$K_R = 1$

Al estar influido nuestro circuito por otros 2 en contacto, deberemos aplicar el correspondiente coeficiente por agrupamiento de la tabla 10 del RLAT (o tabla 3 de la página 11). Y vemos la importancia de esta proximidad de circuitos (fuentes de calor), el coeficiente a aplicar es 0,7.

Tipo de instalación	Separación de los ternos	Factor de corrección								
		Número de ternos en la zanja								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cables directamente enterrados	En contacto (d = 0 cm)	0,76	0,65	0,58	0,53	0,50	0,47	0,45	0,43	0,42
	d = 0,2 m	0,82	0,73	0,68	0,64	0,61	0,59	0,57	0,56	0,55
	d = 0,4 m	0,86	0,78	0,75	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65
	d = 0,6 m	0,88	0,82	0,79	0,77	0,76	0,74	0,74	0,73	-
	d = 0,8 m	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80	0,79	-	-	-
Cables bajo tubo	En contacto (d = 0 cm)	0,80	0,70	0,64	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,49
	d = 0,2 m	0,83	0,75	0,70	0,67	0,64	0,62	0,60	0,59	0,58
	d = 0,4 m	0,87	0,80	0,77	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68
	d = 0,6 m	0,89	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	-
	d = 0,8 m	0,90	0,86	0,84	0,82	0,81	-	-	-	-

$K_A = 0,70$

Y por último la profundidad también debe ser considerada al ser distinta al valor de referencia de 1 m. 1,25 m de profundidad nos aportan un coeficiente de 0,98 en la tabla 11 del RLAT (o tabla 4 de la página 11) suponiendo de inicio que la sección resultado será superior a 185 mm<sup>2</sup>, algo previsible pues partimos de una intensidad de 280 A.

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

Profundidad (m)	Cables enterrados en sección		Cables bajo tubo de sección	
	≤ 185 mm <sup>2</sup>	> 185 mm <sup>2</sup>	≤ 185 mm <sup>2</sup>	> 185 mm <sup>2</sup>
0,50	1,06	1,09	1,06	1,08
0,60	1,04	1,07	1,04	1,06
0,80	1,02	1,03	1,02	1,03
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,25	0,98	0,98	0,98	0,98
1,50	0,97	0,96	0,97	0,96
1,75	0,96	0,94	0,96	0,95
2,00	0,95	0,93	0,95	0,94
2,50	0,93	0,91	0,93	0,92
3,00	0,92	0,89	0,92	0,91

$K_p = 0,98$

Resumiendo:

$K_T = 1,04$  (temperatura)  
 $K_R = 1,00$  (resistividad térmica)  
 $K_A = 0,70$  (agrupamiento)  
 $K_p = 0,98$  (profundidad)

$$I' = I_{\text{tabla 12}} \cdot K_T \cdot K_R \cdot K_A \cdot K_p$$

$$I' \geq 280 \text{ A}$$

La sección cuya intensidad corregida  $I'$  sea mayor que  $I = 280 \text{ A}$  (dato inicial) será la adecuada.

Probamos con el cable de 300 mm<sup>2</sup> para ver si cumple la condición. Tomamos el valor de intensidad de la tabla 12 y aplicamos los coeficientes.

Se corresponde con la tabla IX de los cables Voltalene de este catálogo.

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Tensión nominal					
	90 °C					
	1,8/3 kV a 18/30 kV					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<b>Conductores de Al</b>					
16	92	80	78	74	76	70
25	120	110	100	94	95	90
35	145	130	120	110	115	105
50	170	155	140	130	135	125
70	210	195	170	160	165	155
<b>95</b>	<b>255</b>	235	<b>205</b>	<b>190</b>	200	180
120	295	270	235	215	225	205
<b>150</b>	<b>335</b>	305	<b>260</b>	<b>245</b>	255	230
185	385	345	295	280	285	260
<b>240</b>	<b>455</b>	405	<b>345</b>	<b>320</b>	330	305
300	520	465	390	<b>365</b>	375	345
<b>400</b>	<b>610</b>	-	<b>445</b>	<b>415</b>	-	-
500	715	-	505	480	-	-
630	830	-	575	545	-	-

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

$I' = 365 \times K_T \cdot K_R \cdot K_A \cdot K_p = 365 \times 1,04 \times 1,00 \times 0,70 \times 0,98 = 260,4 \text{ A} < 280 \text{ A}$  y por tanto la sección de  $300 \text{ mm}^2$  no satisface la intensidad admisible que necesitamos.

Probamos con la siguiente sección,  $400 \text{ mm}^2$ :

Sección nominal $\text{mm}^2$	Tensión nominal					
	90 °C 1,8/3 kV a 18/30 kV					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<b>Conductores de Al</b>					
16	92	80	78	74	76	70
25	120	110	100	94	95	90
35	145	130	120	110	115	105
50	170	155	140	130	135	125
70	210	195	170	160	165	155
<b>95</b>	<b>255</b>	235	<b>205</b>	<b>190</b>	200	180
120	295	270	235	215	225	205
<b>150</b>	<b>335</b>	305	<b>260</b>	<b>245</b>	255	230
185	385	345	295	280	285	260
<b>240</b>	<b>455</b>	405	<b>345</b>	<b>320</b>	330	305
300	520	465	390	365	375	345
<b>400</b>	<b>610</b>	-	<b>445</b>	<b>415</b>	-	-
500	715	-	505	480	-	-
630	830	-	575	545	-	-

$I' = 415 \times K_T \cdot K_R \cdot K_A \cdot K_p = 415 \times 1,04 \times 1,00 \times 0,70 \times 0,98 = 296,1 \text{ A} > 280 \text{ A}$ . La sección de  **$400 \text{ mm}^2$**  sería la sección a instalar.

Ahora procedería comprobar si se cumple el criterio de la caída de tensión y del cortocircuito máximo admisible para saber si la sección de  $400 \text{ mm}^2$  es la mínima que cumple los requisitos técnicos.

Recomendamos, que una vez se sepa el valor de la sección mínima admisible técnicamente se haga el cálculo de la sección económica y se tengan en cuenta las reducciones de emisiones de  $\text{CO}_2$  que puede conseguir con secciones superiores por reducción de las pérdidas resistivas. Con secciones superiores conseguirá además: prolongar la vida útil de la línea al ir más descargada, mejorar la respuesta a fenómenos transitorios y tener la posibilidad de aumentar la potencia en un futuro sin cambiar de cable.

### EJEMPLO DE CÁLCULO DE CAÍDA DE TENSIÓN

El cálculo de sección por el criterio de la máxima intensidad admisible es algo bastante sencillo, lo explicamos con un ejemplo de instalación cuyas condiciones se desvían del estándar de las tablas de la ITC-LAT 06.

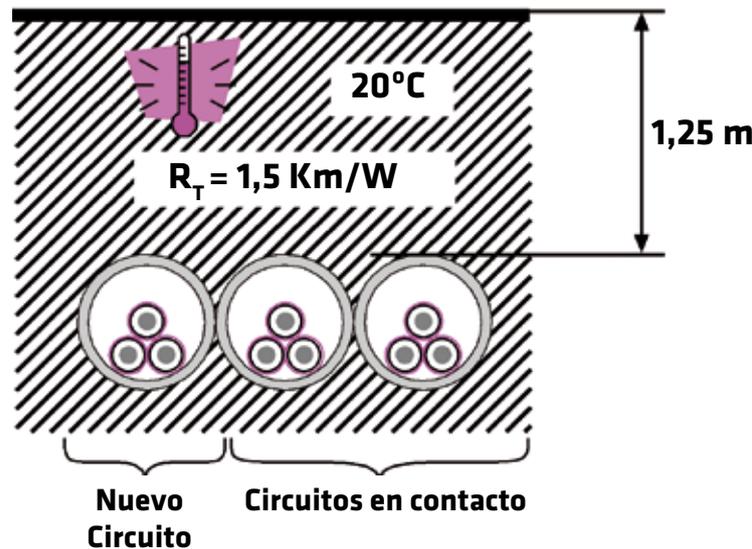
Supongamos una instalación con las siguientes características:

Partiremos de los datos de la línea utilizada en el anterior artículo técnico sobre aplicación de coeficientes de corrección.

- Intensidad de la línea: 280 A
- Cables unipolares Al Voltalene H de 12/20 kV (aislamiento XLPE) enterrados bajo tubo (los tres cables en un tubo)
- Temperatura del terreno 20 °C
- Resistividad térmica del terreno 1,5 K·m/W
- Agrupación con otros 2 circuitos adicionales en cto.
- Instalación enterrada a 1,25 m
- Longitud de la línea: 800 m
- Tensión de línea 20 kV
- $\cos\varphi = 0,9$



Cable Al Voltalene H



En estas condiciones recordemos que la sección por el criterio de la intensidad admisible es de 400 mm<sup>2</sup> dado que al aplicar los coeficientes de corrección (ya que las condiciones de la línea se desvían del estándar) al valor de la intensidad tabulada para cable con aislamiento de XLPE de aluminio nos satisfacía la condición siguiente (ver ejemplo anterior):

$$I' = 415 \times K_T \cdot K_R \cdot K_A \cdot K_p = 415 \times 1,04 \times 1,00 \times 0,70 \times 0,98 = 296,1 \text{ A} > 280 \text{ A (ver ejemplo anterior)}$$

Siendo 415 A la intensidad máxima admisible para cable de 400 mm<sup>2</sup> en condiciones estándares (ver tabla 12, ITC-LAT 06) y  $K_T$ ,  $K_R$ ,  $K_A$  y  $K_p$  los coeficientes de corrección por temperatura, resistividad térmica del terreno, agrupamiento y profundidad de nuestra instalación respectivamente.

Con un simple cálculo podemos saber la caída de tensión máxima en la línea. Toda vez que sabemos que el valor aproximado de la caída de tensión en un sistema trifásico se obtiene con la fórmula:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)$$

Donde:

$\Delta U$ : es la caída de tensión en V

L: longitud de la línea en km

I: intensidad de corriente que recorre la línea en A

R: resistencia del conductor en  $\Omega/\text{km}$  (valores reflejados en este catálogo)

X: reactancia de la línea en  $\Omega/\text{km}$  (valores reflejados en este catálogo)

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

Tomando los valores de R y X que, para cable Al Voltalene H de 1x400 de 12/20 kV

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 0,8 \times 280 \times (0,105 \times 0,9 + 0,101 \times 0,436) = 53,75 \text{ V}$$

Expresado porcentualmente, sabiendo que la tensión de línea es de 20 kV:

$$\Delta U = 51,66/20000 \times 100 \approx 0,27 \%$$

Los valores calculados parten de la suposición de tener el cable a máxima sollicitación térmica, pues la resistencia introducida en la fórmula (0,105  $\Omega$ /km) está calculada a 90 °C (máxima temperatura en cables con aislamiento de XLPE) tal y como dice la tabla del catálogo.

Si queremos saber la caída de tensión a la temperatura real del conductor, debemos calcular la resistencia a esa temperatura real y por tanto conocer su valor.

Para ello recurrimos a la fórmula de cálculo de la temperatura del conductor:

$$T = T_{amb} + (T_{max} - T_{amb}) \left( I/I_{max} \right)^2$$

Donde:

$T_{amb}$ : temperatura ambiente de la instalación (20 °C en nuestro caso)

$T_{max}$ : temperatura máxima que puede soportar el conductor (90 °C para el cable Al Voltalene H de nuestro ejemplo)

I: intensidad que recorre el conductor (280 A)

$I_{max}$ : intensidad máxima que puede recorrer el conductor en las condiciones de la instalación (296,1 A). Este es el valor máximo de corriente que podría circular por el conductor en las condiciones de instalación en las que se encuentra.  
(Ver cálculo realizado anteriormente con los coeficientes de corrección)

Por tanto:

$$T = 20 + (90 - 20) \cdot (280/296,1)^2 = 82,6 \text{ °C}$$

Y la resistencia de un conductor a una temperatura X determinada se obtiene con la siguiente expresión:

$$R_T = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (T - 20))$$

Donde:

$R_T$ : valor de la resistencia del conductor en  $\Omega$ /km a la temperatura T

$R_{20}$ : valor de la resistencia del conductor a 20 °C (valor típicamente tabulado). Al cable de 400 mm<sup>2</sup> de aluminio corresponde una resistencia de

0,0778  $\Omega$ /km a 20 °C

$\alpha$ : coeficiente de variación de resistencia específica por temperatura del conductor en °C<sup>-1</sup> (0,00392 para Cu y 0,00403 para Al)

T: temperatura real del conductor (°C)

Sustituyendo:

$$R_{82,6} = 0,0778 \times (1 + 0,00403 \times (82,6 - 20)) = 0,097 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Con lo que la caída de tensión a la temperatura a la que realmente está el conductor será de:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 0,8 \times 280 \times (0,097 \times 0,9 + 0,101 \times 0,436) = 50,95 \text{ V}$$

Y en tanto por ciento:

$$\Delta U = 50,95/20000 \times 100 = 0,25475 \%$$

Como vemos el valor es inferior que anteriormente porque en el caso anterior se supuso el cable a 90 °C.

No han salido valores muy dispares por estar el cable sometido a una intensidad cercana al máximo admisible (280 A está cercano a 296,1 A), si fuera más distante por dominar, por ejemplo, el criterio de cortocircuito frente al de la intensidad admisible el valor calculado según este último método reflejaría una diferencia mayor.

### EJEMPLO DE CÁLCULO DE SECCIÓN POR CORTOCIRCUITO

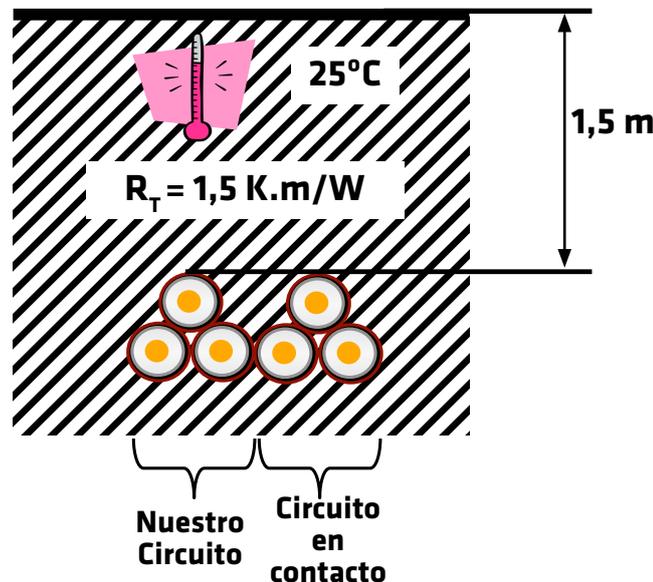
Partiendo de un valor de potencia de cortocircuito máximo y del tiempo de disparo de las protecciones se puede obtener la sección que nos garantice la respuesta adecuada del cable a tal sollicitación. Siguiendo las indicaciones del RLAT calculamos paso a paso la sección de conductor a instalar en una línea de MT según el criterio del cortocircuito.

Datos de la instalación:

- Potencia de la línea:  $S = 2500$  kVA
- Potencia de cortocircuito:  $S_{cc} = 400$  MVA
- Tiempo de disparo de las protecciones:  $t_{cc} = 0,3$  s
- Tensión de la línea:  $U = 18$  kV
- Temperatura del terreno:  $T_{amb} = 25$  °C
- Resistividad térmica del terreno:  $R_T = 1,5$  K·m/W
- Instalación enterrada a 1,5 m
- Agrupación con otro circuito adicional en contacto
- Cables unipolares Al Eprotenax H Compact 12/20 kV (aislamiento HEPR) directamente enterrados



Al Eprotenax H Compact



Primeramente calculamos la sección por el criterio de la intensidad admisible.

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \rightarrow I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \rightarrow I = \frac{2500 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 1800} = 80,2\text{A}$$

Como las condiciones de la línea difieren de las estándares para las que se han calculado las intensidades admisibles de la tabla 6 de la ITC-LAT 06 del RLAT (intensidades para cables directamente enterrados) o tabla IX de cables tipo Eprotenax H Compact debemos utilizar coeficientes de corrección.

Profundidad de instalación 1,5 m  $\rightarrow K_p = 0,97$  (tabla 11, ITC-LAT 06 o tabla del punto 4 de la página 11)

Agrupación con otro circuito  $\rightarrow K_A = 0,76$  (tabla 10, ITC-LAT 06 o tabla del punto 3 de la página 11)

Aplicando los coeficientes...

$$I' = I / (K_p \cdot K_A) = 80,2 / (0,97 \times 0,76) = 108,8\text{A}$$

El primer valor que supera 108,8 A en la tabla 6 de la ITC-LAT 06 o tabla IX de cables tipo Eprotenax H Compact es 125 y corresponde a la sección de **35 mm<sup>2</sup>**

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Tensión nominal					
	105 °C 1,8/3 kV a 18/30 kV					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<b>Conductores de Al</b>						
16	92	80	82	76	78	72
25	125	110	105	95	100	95
35	150	135	125	115	120	110
50	180	160	145	135	145	130
70	225	200	180	170	170	160
<b>95</b>	<b>275</b>	240	<b>215</b>	<b>200</b>	205	190
120	320	280	245	230	235	215
<b>150</b>	<b>360</b>	315	<b>275</b>	<b>255</b>	265	240
185	415	360	315	290	295	275
<b>240</b>	<b>495</b>	425	<b>365</b>	<b>345</b>	345	325
300	565	485	410	390	390	365
<b>400</b>	<b>660</b>	-	<b>470</b>	<b>450</b>	-	-
500	775	-	540	515	-	-
630	905	-	615	590	-	-

Este cálculo se puede realizar con igual resultado tomando los valores de la tabla, multiplicándolos por los coeficientes y comparando con la intensidad de la línea pero suele ser un poco más laborioso:

Para 25 mm<sup>2</sup> →  $I_{\text{tabla25}} \cdot K_p \cdot K_A = 105 \times 0,97 \times 0,76 = 77,41 \text{ A} < 80,2 \text{ A}$  no vale 25 mm<sup>2</sup>

Para 35 mm<sup>2</sup> →  $I_{\text{tabla25}} \cdot K_p \cdot K_A = 125 \times 0,97 \times 0,76 = 92,15 \text{ A} > 80,2 \text{ A}$  vale 35 mm<sup>2</sup>

Como punto de partida para el cálculo de la sección por cortocircuito tenemos la sección de 35 mm<sup>2</sup> (mínimo valor aceptable por calentamiento) de Al Eprotenax H Compact (aislamiento HEPR). Vamos a comprobar inicialmente si esta sección nos soportará el cortocircuito máximo previsto. Para ello recurrimos a la tabla 26 de la ITC-LAT 06 del RLAT en la que tenemos los valores máximos de densidad de corriente en A/mm<sup>2</sup> en función del tiempo de duración del cortocircuito para conductores de aluminio.

Tipo de aislamiento	$\Delta\theta^\circ$ (K)	Duración del cortocircuito, $t_{cc}$ , en segundos									
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2	2,5	3,0
PVC:											
sección ≤ 300 mm <sup>2</sup>	90	240	170	138	107	98	76	62	53	48	43
sección > 300 mm <sup>2</sup>	70	215	152	124	96	87	68	55	48	43	49
XLPE, EPR y HEPR	160	298	211	172	133	122	94	77	66	59	54
HEPR U <sub>0</sub> /U ≤ 18/30 kV	145	281	199	162	126	115	89	73	63	56	51

$\Delta\theta^\circ$  es la diferencia entre la temperatura de servicio permanente y la temperatura de cortocircuito.

Esta tabla recoge los resultados de aplicación de la siguiente fórmula para el cortocircuito:

$$I_{cc} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t_{cc}}}$$

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

Donde:

$I_{cc}$  : corriente de cortocircuito (A)

$S$ : sección del conductor, en  $\text{mm}^2$

$K$ : coeficiente que depende de la naturaleza del conductor y de las temperaturas al inicio y final del cortocircuito. Coincide lógicamente con el valor de la densidad de corriente para cortocircuito de duración 1 s.

$t_{cc}$  : duración del cortocircuito, en segundos ( $0,1 \text{ s} \leq t_{cc} \leq 5 \text{ s}$ )

Para comprobar si la sección de  $35 \text{ mm}^2$  soporta el cortocircuito, primero calculemos la  $I_{cc}$  máxima a soportar por la línea a partir de la potencia de cortocircuito de los datos iniciales:

$$S_{cc} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{cc} \rightarrow I_{cc} = S_{cc} / (\sqrt{3} \cdot U) \rightarrow I_{cc} = 400 \times 10^6 / (\sqrt{3} \times 18000) = 12830 \text{ A}$$

Ahora tomando el valor de la tabla 26 ( $162 \text{ A/mm}^2$ ) no tendremos más que multiplicarlo por la sección del conductor y sabremos que cortocircuito máximo soporta el cable en el tiempo de disparo de las protecciones (0,3 s).

$$I_{cc35} = 162 \text{ A/mm}^2 \times 35 \text{ mm}^2 = 5670 \text{ A} < 12830 \text{ A}$$

Como el valor obtenido es menor que los  $12860 \text{ A}$  tendremos que emplear una sección mayor. Probamos por tanto con las secciones superiores:

$$I_{cc50} = 162 \text{ A/mm}^2 \times 50 \text{ mm}^2 = 8100 \text{ A} < 12830 \text{ A}$$

$$I_{cc70} = 162 \text{ A/mm}^2 \times 70 \text{ mm}^2 = 11340 \text{ A} < 12830 \text{ A}$$

$$I_{cc95} = 162 \text{ A/mm}^2 \times 95 \text{ mm}^2 = 15390 \text{ A} > 12830 \text{ A}$$

Como vemos la sección de  $95 \text{ mm}^2$  es la primera que soportaría el cortocircuito y por ello es la sección solución. Pero podemos hacer los cálculos teniendo en cuenta la temperatura inicial real a la que está el conductor realmente lo que nos lleva a obtener intensidades de cortocircuito mayores en los cables, ya que la tabla 26 está realizada en base al caso más desfavorable, que sería cuando el cable está en régimen permanente a máxima sollicitación, es decir, en nuestro caso cuando el cable llevara la máxima intensidad admisible en régimen permanente y por tanto su temperatura sería de  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  al tratarse de aislamiento de HEPR.

Ya sabemos que la sección de  $95 \text{ mm}^2$  soportaría el cortocircuito, ahora nos interesa saber si podemos utilizar una sección inferior que nos garantice igualmente una respuesta adecuada, por tanto procedemos a hacer números más "afinados" con la sección de  $70 \text{ mm}^2$ .

En el apartado 6.2 de la ITC-LAT 06 del RLAT encontramos que si queremos calcular el cortocircuito máximo teniendo en cuenta la temperatura inicial del conductor no tendríamos más que utilizar la fórmula empleada anteriormente afectando el segundo término de un factor que depende de la temperatura inicial y final del conductor y de la naturaleza del conductor y su aislamiento.

$$I_{cc} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t_{cc}}} \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{T_{cc} + \beta}{T_i + \beta}\right)}{\ln\left(\frac{T_{cc} + \beta}{T_s + \beta}\right)}}$$

Donde:

$T_{cc}$  : máxima temperatura de cortocircuito admisible ( $250 \text{ }^\circ\text{C}$  para cables de HEPR y XLPE)

$T_i$  : temperatura del conductor en régimen permanente. Es la temperatura a la que se inicia el cortocircuito

$T_s$  : temperatura máxima del conductor en régimen permanente ( $105 \text{ }^\circ\text{C}$  para cables con aislamiento de HEPR y  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  para cables con aislamiento de XLPE)

$\beta$ : 235 para cobre y 228 para aluminio

Tenemos todos los valores excepto la temperatura inicial del conductor ( $T_i$ ). Por lo que debemos calcularla con la siguiente expresión:

$$T_i = T_{amb} + (T_s - T_{amb}) (I/I_{m\acute{a}x})^2$$

Donde:

$T_i$  : temperatura del conductor en régimen permanente (cuando circulan  $80,2 \text{ A}$ )

$T_{amb}$  : temperatura ambiente de la instalación ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$  en nuestro caso)

$T_s$  : temperatura máxima que puede soportar el conductor ( $105 \text{ }^\circ\text{C}$  para el cable Al Eprotenax H Compact de nuestro ejemplo, aislamiento de HEPR)

$I$ : intensidad que recorre el conductor ( $80,2 \text{ A}$ )

$I_{m\acute{a}x}$  : intensidad máxima que puede recorrer el conductor en las condiciones de la instalación ( $I_{m\acute{a}x70} = I_{tabla70} \cdot K_p \cdot K_a = 180 \times 0,97 \times 0,76 = 132,7 \text{ A}$ )  
(ver tabla de intensidades admisibles de la que se ha tomado el valor para  $70 \text{ mm}^2$ ,  $180 \text{ A}$ )

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

Sustituyendo

$$T_{170} = 25 + (105-25) \times (80,2/132,7)^2 = 54,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por lo que la intensidad de cortocircuito será:

$$I_{cc70} = \frac{89 \cdot 70}{\sqrt{0,3}} \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{250 + 228}{54,22 + 228}\right)}{\ln\left(\frac{250 + 228}{105 + 228}\right)}} = 13733 \text{ A} > 12830 \text{ A, por tanto la sección de } 70 \text{ mm}^2 \text{ soportaría la intensidad de cortocircuito de } 12830 \text{ A durante los } 0,3 \text{ s de tiempo hasta el disparo de las protecciones.}$$

Vamos a probar con la sección de 50 mm<sup>2</sup>:

$$I_{m\acute{a}x50} = I_{\text{tabla50}} \cdot K_p \cdot K_A \quad I_{m\acute{a}x50} = 145 \times 0,97 \times 0,76 = 106,9 \text{ A (intensidad máxima que puede soportar el conductor en las condiciones de la instalación)}$$

$$T_{150} = 25 + (105-25) \times (80,2/106,9)^2 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$I_{cc50} = \frac{89 \cdot 50}{\sqrt{0,3}} \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{250 + 228}{70 + 228}\right)}{\ln\left(\frac{250 + 228}{105 + 228}\right)}} = 9289 \text{ A} < 12830 \text{ A}$$

El conductor de 50 mm<sup>2</sup> no soporta la intensidad de cortocircuito como vemos. La solución es por lo tanto **70 mm<sup>2</sup>**.

No obstante tendríamos ahora que plantear el concepto de “sección comercial” como aquella sección que es más fácil encontrar en stock y sobre todo es más económica al no tener que acogernos a plazos de suministro ni a mínimos de fabricación. Hay una serie de secciones de gran consumo y por tanto de frecuente fabricación que el proyectista debe tener en cuenta y así facilitar el suministro en obra. En el ejemplo desarrollado convendría que finalmente la sección a utilizar fuera de **95 mm<sup>2</sup>** 12/20 kV Al Eprotenax H Compact, al ser un tipo de cable y una sección de consumo frecuente así como 150, 240 y 400.

Prysmian fabrica y provee las secciones que usted necesite, se trate de cables unipolares o multipolares, de cobre o aluminio, con XLPE o HEPR, armados o sin armar, de una u otra tensión... pero, si no se trata de las secciones de más común suministro, normalmente es necesario encargar un mínimo metraje o consultar existencias.

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

### EJEMPLO DE CÁLCULO DE SECCIÓN A 35 KV CON RESULTADO DE VARIOS CONDUCTORES POR FASE

En ocasiones la potencia que debe transportar una línea es lo suficientemente elevada como para que se necesite más de un conductor por fase para soportar adecuadamente la intensidad de corriente. Veamos algunas particularidades de estos tipos de cálculo con un ejemplo.

Pensemos en dimensionar los conductores de una línea con las siguientes características:

- Categoría A
- Tensión nominal de la red:  $U = 35 \text{ kV}$
- Tensión máxima de la red no superior a  $36 \text{ kV}$  ( $U_{\text{max}} = 36 \text{ kV}$ )
- Potencia aparente:  $S = 64 \text{ MVA}$
- Longitud:  $L = 260 \text{ m}$
- Instalación en galería subterránea sin influencia térmica por agrupación con otros circuitos cercanos

Al tratarse de una red de tensión nominal  $35 \text{ kV}$ , con tensión máxima  $36 \text{ kV}$  y de categoría A (ITC-LAT 06, pto. 2.1: Los defectos a tierra se eliminan tan rápidamente como sea posible y en cualquier caso antes de 1 minuto.) el cable a seleccionar debe ser de tensión nominal  $18/30 \text{ kV}$  al menos dado que esta tensión es apta para tensiones máximas hasta  $36 \text{ kV}$  cuando la categoría de la red es A o B (tabla 2, ITC-LAT 06).

TABLA 2: Niveles de aislamiento de los cables y sus accesorios

Tensión nominal de la red $U_n$ (kV)	Tensión más elevada de la red $U_s$ (kV)	Categoría de la red	Característica mínimas del cable y accesorios	
			$U_0/U_1$ ó $U_0$ kV	$U_p$ kV
3	3.6	A-B	1.8/3	45
		C		
6	7.2	A-B	3.6/6	60
		C		
10	12	A-B	6/10	75
		C		
15	17.5	A-B	8.7/15	95
		C		
20	24	A-B	12/20	125
		C		
25	30	A-B	15/25	145
		C		
30	36	A-B	18/30	170
		C		
45	52	A-B	26/45	250
66	72,5	A-B	36	(1)
110	123	A-B	64	(1)
132	145	A-B	76	(1)
150	170	A-B	87	(1)
220	245	A-B	127	(1)
400	420	A-B	220	(1)

Anteriormente se cita que no hay agrupamiento con otros circuitos por lo que nuestro circuito no se ve influido térmicamente por circuitos cercanos a efectos de considerar un agrupamiento, pero nuestro circuito discurre por una galería y el apartado 6.1.3.2.2 de la ITC-LAT 06 del Reglamento de Líneas de Alta Tensión (RLAT, R.D. 223/2008) estima una sobre elevación de temperatura ambiente de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  al tratarse de un emplazamiento donde se va a generar calor por efecto joule por parte de otros tendidos eléctricos en el entorno que, si bien no se consideran a efectos de coeficiente de corrección por agrupamiento por no ser muy cercanos al circuito objeto de nuestro cálculo, si es necesario tenerlos en cuenta como fuentes de calor que caldean el ambiente de la galería (espacio relativamente reducido con muchas fuentes de calor).

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

Por lo que partiendo del valor estándar de 40 °C (a la sombra) debemos considerar, como estimación aproximada, un ambiente de 55 °C y aplicar el coeficiente de corrección por temperatura ambiente diferente del estándar según la tabla 14 de la citada ITC-LAT 06.

**TABLA 14: Factor de corrección para temperatura de aire distinta de 40 °C**

Temperatura de servicio, $\Theta_s$ , en °C	Temperatura ambiente $\Theta_a$ , en °C										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
105	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83
90	1,27	1,23	1,18	1,14	1,10	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,78
70	1,41	1,35	1,29	1,23	1,16	1,08	1	0,91	0,82	0,71	0,58
65	1,48	1,41	1,34	1,27	1,18	1,10	1	0,89	0,78	0,63	0,45

Vemos que el coeficiente de corrección por temperatura ambiente de 55 °C (diferente del estándar de 40 °C) es de 0,88.

Elegiremos para nuestro tendido cable tipo Al Eprotenax H Compact de 18/30 kV cuyo aislamiento de HEPR soporta una temperatura máxima de 105 °C. Al tratarse de aislamiento de goma soporta mejor sin deterioro en el tiempo la posible penetración de humedad en su interior, además por ser un cable más compacto que otros diseños es más manejable, con menor radio mínimo de curvatura y más ligero, soportando más intensidad admisible a igualdad de sección como se puede comprobar en la tabla 13.



El aislamiento de HEPR de los cables Prysmian se extruye en línea catenaria, lo que le confiere una vida útil más prolongada al asegurar mediante un proceso físico-químico especial una mejor y más completa reticulación de las cadenas poliméricas, logrando un producto de alta calidad.

Obtengamos ahora la intensidad que va a circular por nuestro circuito tomando el valor nominal de tensión (35 kV) y no el valor máximo (36 kV) al ser el caso más desfavorable por ser el que se corresponde con mayor intensidad de corriente. Si en algún caso se proporciona valor mínimo de tensión de alimentación correspondería hacer el cálculo con ese valor por la misma razón.

$$S = 64 \text{ MVA}$$

$$U = 35 \text{ kV}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \rightarrow I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{64 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 35 \times 10^3} = 1056 \text{ A}$$

Nos ha resultado un valor de intensidad bastante elevado por lo que dentro de las secciones comerciales disponibles en stock (1x95, 1x150, 1x240 y 1x400) tendremos que emplear más de un conductor por fase aplicando el correspondiente coeficiente de corrección por agrupamiento, pues aunque estamos hablando de un solo circuito se debe corregir a la baja la intensidad total por influirse térmicamente las agrupaciones de 3 conductores (ternas). Conviene recordar que la tabla de intensidades admisibles está pensada para circuitos sin influencias térmicas de otros cables en su entorno, si se varía esta condición es necesario aplicar coeficiente reductor según indican las tablas de agrupamientos del RLAT. Cada terna en nuestro caso estará influida por al menos otra, aunque sea de su mismo circuito.

Ahora pensemos en el sistema de instalación. En este caso vamos a ver diferentes posibilidades:

### 1. Ternas dispuestas sobre la pared

**TABLA 19: Cables secos, tripolares o ternos de cables unipolares, en contacto entre sí, dispuestos sobre estructura o sobre pared.**

Número de cables o ternos	Factor de corrección
1	0,95
2	0,78
3	0,73
6	0,68
9	0,66



### H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

Probamos con 3 conductores de  $1 \times 240 \text{ mm}^2$  por fase aplicando el coeficiente de corrección de la tabla 19 de la ITC-LAT 06 (anterior) a la tabla de intensidad admisible para cables instalados al aire (siguiente):

**TABLA 13: Intensidades máximas admisibles (A) en servicio permanente y con corriente alterna. Cables unipolares aislados de hasta 18/30 kV instalados al aire.**

Sección $\text{mm}^2$	EPR		XLPE		HEPR	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
25	140	110	155	120	160	125
35	170	130	185	145	195	150
50	205	155	220	170	230	180
70	255	195	275	210	295	225
95	310	240	335	255	355	275
120	355	275	385	295	410	320
150	405	315	435	335	465	360
185	465	360	500	385	535	415
240	550	425	590	455	630	495
300	630	490	680	520	725	565
400	740	570	790	610	840	660

Recordando multiplicar, en todos los casos, también por 0,88 por temperatura ambiente de  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  tenemos:

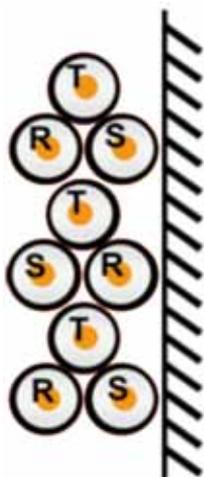
$$495 \times 3 \times 0,73 \times 0,88 = 954 \text{ A} < 1056 \text{ A} \quad (\text{no válido})$$

Probamos con la siguiente sección comercial al alza ( $1 \times 400$ ):

$$660 \times 3 \times 0,73 \times 0,88 = 1272 \text{ A} > 1056 \text{ A} \quad \text{OK}$$

Por tanto, se necesitarían 3 ternas de cable Al Eprotenax H Compact de  $1 \times 400$  con tensión nominal 18/30 kV para instalar grapadas a la pared en contacto.

**Obsérvese cómo deben colocarse cada una de las fases.** Es muy importante disponer los conductores siendo lo más fieles posible al siguiente esquema para ahorrarnos problemas de envergadura con inducciones no compensadas cuando se energice el tendido:



Es necesario hacer grupos con un conductor de cada fase



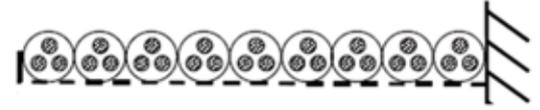
Los soportes tipo J de Prysmian ayudan a realizar tendidos seguros en paredes de túneles y galerías

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

### 2. Ternas en contacto en bandeja perforada

**TABLA 18: Cables tripolares o ternos de cables unipolares en contacto entre sí y con la pared, tendido sobre bandejas continuas o perforadas (la circulación del aire es restringida).**

Número de bandejas	Factor de corrección			
	Número de cables o ternos			
	2	3	6	9
1	0,84	0,80	0,75	0,73
2	0,80	0,76	0,71	0,69
3	0,78	0,74	0,70	0,68
6	0,76	0,72	0,68	0,66



Pensemos en 3 conductores de 1x240 mm<sup>2</sup> por fase:

$$495 \times 3 \times 0,8 \times 0,88 = 1045 \text{ A} < 1056 \text{ A} \quad (\text{no válido})$$

Probemos con 2 cables de 1x400 mm<sup>2</sup> por fase (la suma intensidades es menor que con 3 de 240 mm<sup>2</sup> pero el coeficiente de corrección por agrupamiento es mayor).

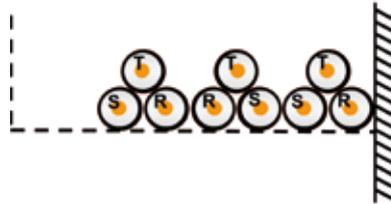
$$660 \times 2 \times 0,84 \times 0,88 = 976 \text{ A} < 1056 \text{ A} \quad (\text{no válido})$$

De nuevo debemos pensar en 3 conductores de 400 mm<sup>2</sup> por fase:

$$660 \times 3 \times 0,8 \times 0,88 = 1394 \text{ A} > 1056 \text{ A} \quad \text{OK}$$

En este caso vemos que igualmente debemos instalar 3 conductores de 1x400 mm<sup>2</sup> por fase pero el cable estará más descargado puesto que la capacidad de transporte ahora es de 1394 A y en el caso 1 es de 1272 A porque la disipación térmica se ve más favorecida al tender las ternas horizontalmente en una bandeja perforada.

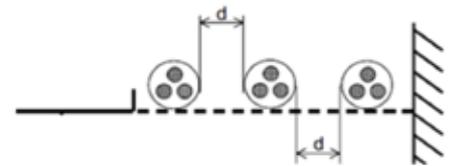
Las ternas se encuentran en el mismo nivel y sus conductores deben agruparse como sigue:



### 3. Ternas en contacto en bandeja perforada

**TABLA 16: Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre bandejas perforadas, con separación entre cables igual a un diámetro d.**

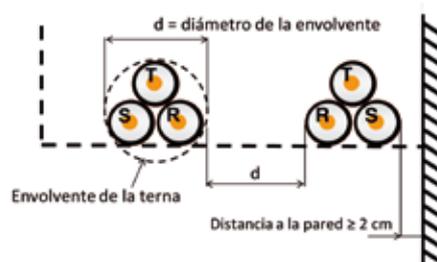
Número de bandejas	Factor de corrección				
	Número de cables tripolares o ternos unipolares				
	1	2	3	6	9
1	1	0,98	0,96	0,93	0,92
2	1	0,95	0,93	0,90	0,73
3	1	0,94	0,92	0,89	0,79
6	1	0,93	0,90	0,87	0,86



Probamos ahora a separar un diámetro de la envolvente dos ternas de 1x400 mm<sup>2</sup> en bandeja perforada (separando la primera terna al menos 2 cm de la pared de la galería para favorecer la ventilación del tendido):

Probamos **2 ternas de 400 mm<sup>2</sup>**  
(dos conductores de 400 mm<sup>2</sup> por fase):

$$660 \times 2 \times 0,98 \times 0,88 = 1138 \text{ A} > 1056 \text{ A} \quad \text{OK}$$



Hemos visto como valorar diferentes opciones eligiendo entre varios sistemas de instalación. En manos del proyectista queda la elección considerando los factores técnico-económicos. La elección del cable Al Eprotenax H Compact es siempre un acierto y una garantía de éxito.

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

### EJEMPLO DE CÁLCULO DE SECCIÓN ECONÓMICA Y SECCIÓN ECOLÓGICA

Compruebe con el siguiente ejemplo el gran ahorro económico que puede suponer utilizar secciones de conductor superiores a las obtenidas por criterios técnicos y como además puede contribuir a reducir enormemente las emisiones de CO<sub>2</sub>. En el caso de las líneas de MT se da la circunstancia de que al no ser usual que domine el criterio de la caída de tensión instalar secciones mayores conlleva una gran recompensa económica.

#### SECCIÓN ECONÓMICA

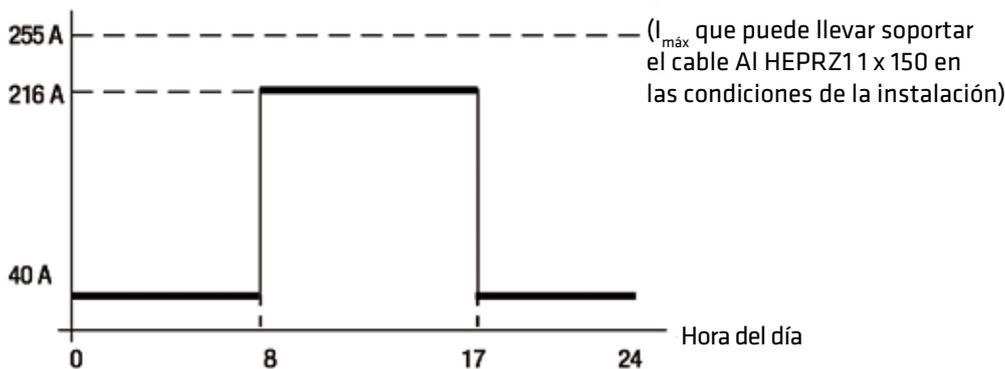
Supongamos el caso de una línea con los siguientes datos:

- Cable Al Eprotenax H Compact (AL HEPRZ1) 1x150 enterrado bajo tubo
- Condiciones estándar (circuito único, temperatura del terreno 25 °C, resistividad térmica del terreno 1,5 K.m/W, profundidad 1 m)
- Longitud de la línea = 1 km

En estas condiciones la tabla 12 de la ITC-LAT 06 del RLAT nos dice que el cable puede soportar un máximo de 255 A. Aceptemos que igualmente esta sección responde con suficiencia a la caída de tensión máxima y a las solicitaciones a cortocircuito que se nos puedan presentar en la línea.

Supongamos que nuestra línea está sometida al siguiente patrón consumo diario, representando la intensidad en función de las horas del día...

Intensidad (A)



Procedemos a calcular las pérdidas resistivas que tenemos en el cable considerando la temperatura del conductor para obtener la resistencia del cable cuando es recorrido por 216 A o por 40 A.

Cálculo de la resistencia a la temperatura real del conductor para el caso del cable de 150 mm<sup>2</sup> de aluminio cuando es recorrido por 216 A.

Sabemos que la temperatura de un conductor recorrido por una corriente I se puede obtener con la siguiente expresión:

$$T = T_{amb} + (T_{máx} - T_{amb}) \left( \frac{I}{I_{máx}} \right)^2$$

Siendo:

T<sub>amb</sub>: temperatura ambiente de la instalación (25 °C en nuestro caso)

T<sub>máx</sub>: temperatura máxima que puede soportar el conductor (105 °C para el cable Al Eprotenax H Compact de nuestro ejemplo)

I: intensidad que recorre el conductor (216 A de 8 a 17 horas y 40 A el resto del tiempo)

I<sub>máx</sub>: intensidad máxima que puede recorrer el conductor en las condiciones de la instalación (255 A)

$$T_{150 \text{ a } 216 \text{ A}} = 25 + (105 - 25) \left( \frac{216}{255} \right)^2 = 82,4 \text{ °C}$$

Una vez que hemos calculado la temperatura, podemos obtener la resistencia del cable...

$$R_T = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (T - 20))$$

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

Donde:

$R_T$ : valor de la resistencia del conductor en  $\Omega/\text{km}$

$R_{20}$ : valor de la resistencia del conductor a  $20^\circ\text{C}$  (valor típicamente tabulado). Al cable de  $150\text{ mm}^2$  de aluminio corresponde una resistencia de  $0,206\ \Omega/\text{km}$

$\alpha$ : coeficiente de variación de resistencia específica por temperatura del conductor en  $^\circ\text{C}^{-1}$  ( $0,00392$  para Cu y  $0,00403$  para Al)

T: temperatura real del conductor ( $^\circ\text{C}$ )

$$R_{150\text{ a }82,4^\circ\text{C}} = 0,206 \times (1 + 0,00403 \times (82,4 - 20)) = 0,258\ \text{W}/\text{km}$$

Y análogamente cuando la intensidad es de  $40\ \text{A}$ , la temperatura del conductor es de  $26,97^\circ\text{C}$  y la resistencia toma el valor de  $0,212\ \Omega/\text{km}$ .

La energía perdida en la línea por efecto Joule con cable de  $150\text{ mm}^2$  durante un año será:

$$E_p = 3 \times R \cdot I^2 \cdot L \cdot t / 1000 \quad (\text{kW}\cdot\text{h})$$

R: resistencia en  $\Omega/\text{km}$

I: intensidad en A

L: longitud de la línea en km

t = tiempo en h

Durante el tiempo que por la línea circulan  $40\ \text{A}$  tendremos para un periodo de un año:

$$E_{P1-150} = 3 \times 0,212 \times 40^2 \times 1 \times 15 \times 365 / 1000 = 5571\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

Y el resto del tiempo, 9 horas diarias, circulan  $216\ \text{A}$ :

$$E_{P2-150} = 3 \times 0,258 \times 216^2 \times 1 \times 9 \times 365 / 1000 = 118627\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

$$E_{P-150} = 5.571 + 118627 = 124198\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

Y el coste de estas pérdidas suponiendo una tarifa media de  $0,09\ \text{€}/\text{kW}\cdot\text{h}$  sería de:

$$C_{P-150} = 124198\ \text{kW}\cdot\text{h} \times 0,09\ \text{€}/\text{kW}\cdot\text{h} = 11178\ \text{€} \quad (\text{en un año})$$

Si aumentamos la sección hasta cable de  $240$ , vamos a ver cuanto nos incrementa el precio el cable y cuanta energía ahorramos, y por tanto dinero, al tener menos pérdidas resistivas (efecto Joule). Y así sabremos si compensa poner una sección mayor.

Resistencia del cable Al Eprotenax H Compact  $1 \times 240$ :

-Cuando circulan  $40\ \text{A}$  la temperatura del conductor es de  $26,07^\circ\text{C}$  y su resistencia aproximada es de  $0,126\ \Omega/\text{km}$

-Cuando la intensidad es de  $216\ \text{A}$  la temperatura del conductor es de unos  $56,36^\circ\text{C}$  y su resistencia es de  $0,143\ \Omega/\text{km}$

Siguiendo el mismo procedimiento que con el cable de  $150$ :

Durante el tiempo que por la línea circulan  $40\ \text{A}$  tendremos para un periodo de un año:

$$E_{P1-240} = 3 \times 0,126 \times 40^2 \times 1 \times 15 \times 365 / 1000 = 3311\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

Y el resto del tiempo (circulan  $216\ \text{A}$ )

$$E_{P2-240} = 3 \times 0,143 \times 216^2 \times 1 \times 9 \times 365 / 1000 = 65751\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

$$E_{P-240} = 3311 + 65751 = 69062\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

Y el coste de estas pérdidas suponiendo una tarifa media de  $0,09\ \text{€}/\text{kW}\cdot\text{h}$  sería de:

$$C_{P-240} = 69062\ \text{kW}\cdot\text{h} \times 0,09\ \text{€}/\text{kW}\cdot\text{h} = 6216\ \text{€} \quad (\text{en un año})$$

**Por tanto el ahorro de energía (no consumida en la línea) en un año con la nueva sección será la diferencia entre lo gastado con la sección de  $150\text{ mm}^2$  ( $11178\ \text{€}$ ) y lo gastado con la sección de  $240\text{ mm}^2$  ( $6216\ \text{€}$ ):**

$$A = C_{P-150} - C_{P-240} = 11178 - 6216 = 4962\ \text{€} \quad (\text{en solo un año})$$

Y para una vida útil de 30 años serían **¡¡148860 € !!** mientras que el incremento de sección de  $150$  a  $240$  sólo supone invertir en torno a **4000 €** de más en nuestra línea de  $1\ \text{km}$ . Por tanto **la amortización del cable de sección superior se produce en menos de 10 meses.**

### H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

#### SECCIÓN ECOLÓGICA

Toda vez que a estas alturas ya tenemos disponibles valores de emisiones de CO<sub>2</sub> aproximados por kg de cable de MT de aluminio fabricado (datos de FACEL) podremos ver si el aumento de sección es ecológico o no sin más que comparar la emisiones por instalación de un cable más pesado frente al ahorro de emisiones por tener menos pérdidas resistivas en la línea.

Con los datos de este catálogo tenemos:

Peso cable Al Eprotenax H Compact 1x150 → 1335 kg/km

Peso cable Al Eprotenax H Compact 1x240 → 1786 kg/km



El peso de cable que tenemos en demasía en la línea de 1 km del ejemplo es:

$$3 \times (1786 - 1335) = 1353 \text{ kg de cable de MT}$$

El cable de MT de aluminio supone una emisión de unos 14,144 kg CO<sub>2</sub> por kg de cable fabricado (datos de FACEL), por tanto...

$$14,144 \times 1353 = \mathbf{19137 \text{ kg CO}_2}$$

Vamos a ver qué emisiones de CO<sub>2</sub> tendríamos por utilizar sólo cable de 150 (más resistivo que el de 240)

Anteriormente hemos visto que en un año nos dejamos en la línea 124198 kW.h por utilizar cable de 1x150 y 69062 kW.h utilizando cable de 1x240

Por lo que cada año nos ahorramos la siguiente energía al poner cable de 1x240:

$$124198 - 69062 = 55136 \text{ kW.h}$$

Y en 30 años de vida útil mínima estimada:

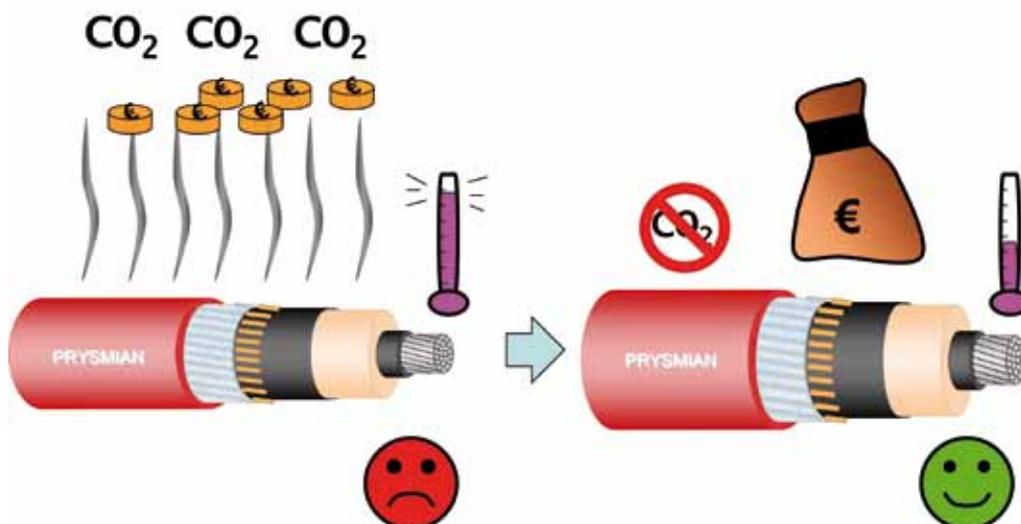
$$55136 \times 30 = 1654080 \text{ kW.h}$$

Según algunas fuentes autorizadas la generación de CO<sub>2</sub> media por cada kW.h eléctrico generado en España está en torno a 0,39 kg de CO<sub>2</sub>. Según algunas otras fuentes está en 0,48. Tomamos el valor más bajo y obtenemos:

$$1654080 \text{ kW.h} \times 0,39 \text{ kg CO}_2/\text{kW.h} = 645091 \text{ kg CO}_2 \text{ ¡} \mathbf{645 \text{ toneladas de CO}_2} \text{!}$$

**¡¡ Casi 34 veces más emisiones de CO<sub>2</sub> con el cable de 150 mm<sup>2</sup> que con el cable de 240 mm<sup>2</sup> !!**

La "amortización ecológica" se consigue en menos de 1 año.



La sección económica se muestra también mucho más ecológica y conlleva grandes ahorros

### H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

Si quisiéramos simplificar los cálculos, podemos tomar los valores tabulados de resistencia del cable a 20 °C. Los resultados serán algo más pesimistas pero podremos valorar más rápidamente el ahorro porque estaremos bajo un supuesto más desfavorable que el real.

Por tanto la sección de 1x240 mm<sup>2</sup> se demuestra no sólo como económicamente mucho más interesante sino también ecológicamente.

Hemos considerado poco relevantes los incrementos de costes asociados al aumento de sección más allá del mayor coste del cable. Sean, si procediera, costes de tendido, tubería, protecciones... (si se quieren considerar se pueden sumar a los 4000 € estimados y fácilmente se puede estimar como en el ejemplo la diferencia de coste sigue siendo abismal). Igualmente no se ha actualizado en valor de los ahorros anuales en energía dado que igualmente la tarifa eléctrica es susceptible de incrementarse en el tiempo.

		150 mm <sup>2</sup>	240 mm <sup>2</sup>	diferencia	diferencia (%)
<b>ECONÓMICOS</b>	Resistencia con I = 40 A (Ω/km)	0,212	0,128	0,084	-40
	Resistencia con I = 216 A (Ω/km)	0,258	0,143	0,115	-45
	Energía perdida durante 30 años (kW·h)	124198	69092	55136	-44
	Coste de la energía perdida durante 1 año (€)	11178	6216	4962	-44
	<b>Coste de la energía perdida durante 30 años (€)</b>	<b>335340</b>	<b>186480</b>	<b>148860</b>	<b>-44</b>
<b>ECOLÓGICOS</b>	Peso (kg/km)	1335	1786	-451	34
	Emisiones por fabricación de 3x1 km de cable (kg CO <sub>2</sub> )	56647	75784	-19137	34
	Emisiones por pérdidas resistivas durante 1 año (kg CO <sub>2</sub> )	48437	26934	21503	-44
	<b>Emisiones por pérdidas resistivas durante 30 años (kg CO<sub>2</sub>)</b>	<b>1453110</b>	<b>808020</b>	<b>645090</b>	<b>-44</b>

Tabla resumen con los principales datos numéricos

Haga números para cuantificar los beneficios que le comportará la sección económica y verá como los resultados le recompensan y además obtendrá otras importantísimas ventajas colaterales como:

- Mayor vida útil de la línea al ir más descargada
- Mejor respuesta a fenómenos transitorios
- Posibilidad de ampliación de potencia sin cambiar el cable
- Ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>

### H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

#### EJEMPLO DE CÁLCULO ELÉCTRICO DE UNA LÍNEA AÉREA DE MT CORTA

##### Línea trifásica con conductores en triángulo equilátero de lado 1,2 m

Datos de la instalación:

- Potencia a transportar  $S = 2520$  kVA
- $\cos \varphi = 0,8$
- Tensión entre fases:  $U = 25$  kV
- Longitud:  $L = 20$  km
- Conductor a emplear LA-56 a temperatura máxima de  $70$  °C



##### Criterio de la intensidad máxima admisible

El apartado 4.2 de la ITC-LAT 07 del RLAT concreta la forma de obtener la intensidad máxima admisible en los conductores desnudos.

Para nuestro caso debemos obtener un valor de la tabla 11 de la citada ITC-LAT y hacer el cálculo de la intensidad según se explica en el apartado: *Para cables de aluminio-acero se tomará en la tabla el valor de la densidad de corriente correspondiente a su sección total como si fuera de aluminio y su valor se multiplicará por un coeficiente de reducción que según la composición será: 0,916 para la composición 30+7; 0,937 para las composiciones 6+1 y 26+7; 0,95 para la composición 54+7; y 0,97 para la composición 45+7. El valor resultante se aplicará a la sección total del conductor.*

##### Densidad de corriente máxima de los conductores en régimen permanente

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Densidad de corriente A/mm <sup>2</sup>		
	Cobre	Aluminio	Aleación de Aluminio
10	8,75	-	-
15	7,60	6,00	5,60
25	6,35	5,00	4,65
35	5,75	4,55	4,25
50	5,10	4,00	3,70
70	4,50	3,55	3,30
95	4,05	3,20	3,00
125	3,70	2,90	2,70
160	3,40	2,70	2,50
200	3,20	2,50	2,30
250	2,90	2,30	2,15
300	2,75	2,15	2,00
400	2,50	1,95	1,80
500	2,30	1,80	1,70
600	2,10	1,65	1,55

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

La intensidad máxima admisible en la línea responde a la expresión:

$$I_{\text{máx}} = \delta \cdot k \cdot S$$

Donde:

- $\delta$  es la densidad de corriente en el conductor (A/mm<sup>2</sup>)
- $k$  es el coeficiente de corrección a aplicar según la formación del conductor. 0,937 en nuestro caso pues el cable LA-56 tiene formación de 6 hilos de aluminio +1 hilo de acero (ver tabla de características, catálogo Prysmian de cables y accesorios para MT).
- $S$  sección total del conductor en mm<sup>2</sup>.

Para obtener  $\delta$  buscamos el valor en sección de aluminio en la tabla 11 del RLAT. Como no tenemos el valor exacto para la sección total del cable LA-56 (54,6 mm<sup>2</sup>) debemos interpolar entre 50 y 70 para aluminio.

Sección (mm<sup>2</sup>)      Densidad de corriente (A/mm<sup>2</sup>)

50.....4,00  
 54,6..... $\delta$  → 20.....0,45 →  $x = 4,6 \times 0,45 / 20 = 0,1035$   
 70.....3,55      4,6.....x

$$\delta = 4,00 - 0,1035 = 3,8965$$

Sustituyendo valores:

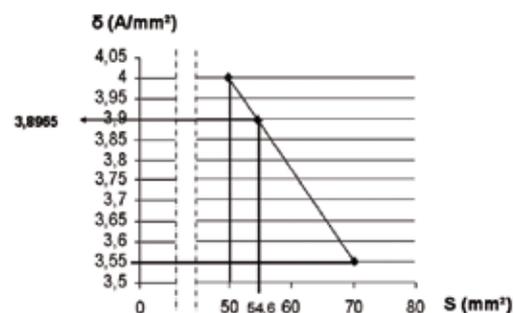
$$I_{\text{máx LA-56}} = 3,8965 \times 0,937 \times 54,6 = 199,35 \text{ A}$$

Por tanto, la máxima intensidad que puede soportar el cable LA-56 es de 199,35 A.

Vamos a ver si puede soportar la que se necesita según los datos iniciales.

$$I_{\text{carga}} = (\sqrt{3} U) = 2520000 / (\sqrt{3} \times 25000) = 58,2 \text{ A}$$

$I_{\text{carga}} < I_{\text{máx LA-56}}$  y por tanto sabemos que el conductor **LA-56** es válido.



código	7-AL1/8-ST1A	94-AL1/22-ST1A	147-AL1/34-ST1A	242-AL1/39-ST1A	337-AL1/44-ST1A	402-AL1/52-ST1A
código antiguo	LA-56	LA-110	LA-180	LA-280 HAWK	LA-380 GULL	LA-455 CONDOR

Norma

UNE EN 50182

Formación (hilos de acero + hilos aluminio)		1x3,15 + 6x3,15	7x2,00 + 30x2,0	7x2,5 + 30x2,5	7x2,68 + 26x3,44	7x2,82 + 54x2,82	7x3,08 + 54x3,08
Diámetro hilos de acero	mm	3,15	2	2,5	2,68	2,82	3,08
Diámetro alma de acero	mm	3,15	6	7,5	8,04	8,46	9,24
Diámetro hilos de aluminio	mm	3,15	2	2,5	3,44	2,82	3,08
Diámetro completo del conductor	mm	9,45	14	17,5	21,8	25,38	27,72
Sección alma de acero	mm <sup>2</sup>	7,8	22	34,3	39,5	43,7	52,2
Sección aluminio	mm <sup>2</sup>	46,8	94,2	147,3	241,7	337,3	402,3
Sección total conductor	mm <sup>2</sup>	54,6	116,2	181,6	281,2	381	454,6
Peso Acero	kg/km	60,8	172,4	269,4	310	342	408,9
Peso Aluminio	kg/km	128,3	260,2	407	666,7	933	1112
Peso Total Conductor	kg/km	189,1	433	676	977	1275	1521
Carga de ruptura Nominal	kN	16,4	43,1	63,9	84,5	109	124
Resistencia en corriente continua a 20°C (máx.)	Ω/km	0,6136	0,3066	0,1962	0,1194	0,0857	0,0718

Tabla de características técnicas de los conductores desnudos para líneas aéreas.

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

### CRITERIO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN

La caída de tensión entre fases en alterna trifásica responde a la ecuación siguiente:

Sabemos que...

$$\Delta U(\%) = \frac{P(R + X \operatorname{tg}\varphi)}{U^2} \times 100$$

$$P = S \cdot \cos\varphi = 2520 \times 0,8 = 2016 \text{ kW}$$

$$\operatorname{tg}\varphi = 0,75$$

$$U = 25 \text{ kV}$$

Ahora necesitamos calcular R y X.

Para el valor de la temperatura máxima considerada (70 °C) podemos obtener el valor de R aplicando la fórmula de variación de la resistencia con la temperatura:

$$R_{70^\circ\text{C LA-56}} = R_{20^\circ\text{C LA-56}} \cdot (1 + \alpha \cdot (70 - 20)) \cdot L = 0,6136 \times (1 + 0,00403 \times (70 - 20)) \times 20 = 14,74 \ \Omega$$

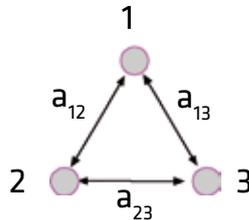
$R_{20^\circ\text{C}}$  se obtiene de la tabla de datos de los conductores desnudos y el valor de variación de la resistencia específica por temperatura del conductor  $\alpha$  es igualmente un dato conocido.

Para obtener la reactancia aplicamos la siguiente fórmula:

$$X = \omega L = 2 \times \pi \times 50 \times (0,5 + 4,6 \times \log(\text{DMG}/r)) \times 10^{-4} \times L$$

Donde DMG es la distancia media geométrica en mm, r el radio del conductor en mm y L es la longitud de la línea en km.

$$\text{DMG} = (a_{12} \cdot a_{13} \cdot a_{23})^{1/3}$$



En nuestro caso las 3 distancias son iguales y por tanto  $\text{DMG} = 1,2 \text{ m}$ .

El radio del conductor r es  $9,45/2 \text{ mm}$  (ver tabla).

Y la longitud de la línea L es de 20 km.

$$X_{\text{LA-56}} = \omega L = 2 \times \pi \times 50 \times (0,5 + 4,6 \times \log(3000/90)) \times 10^{-4} \times 20 = 7,26 \ \Omega$$

Ahora ya podemos obtener la caída de tensión:

$$\Delta U(\%)_{\text{LA-56}} = \frac{P(R + X \operatorname{tg}\varphi)}{U^2} \times 100 = \frac{2016000 \times (14,74 + 7,26 \times 0,75)}{25000^2} \times 100 = 6,51\%$$

Tomando valores de la tabla de datos de los cables y sustituyendo en las fórmulas:

$$R_{70^\circ\text{C LA-110}} = R_{20^\circ\text{C LA-110}} \cdot (1 + \alpha \cdot (70 - 20)) \cdot L = 0,3066 \times (1 + 0,00403 \times (70 - 20)) \times 20 = 7,36 \ \Omega$$

$$X_{\text{LA-110}} = \omega L = 2 \times \pi \times 50 \times (0,5 + 4,6 \times \log(3000/(14/2))) \times 10^{-4} \times 20 = 6,77 \ \Omega$$

$$\Delta U(\%)_{\text{LA-110}} = \frac{P(R + X \operatorname{tg}\varphi)}{U^2} \times 100 = \frac{2016000 \times (7,36 + 6,77 \times 0,75)}{25000^2} \times 100 = 4,01\%$$

## H) EJEMPLOS DE CÁLCULO

### CRITERIO DE LA PÉRDIDA DE POTENCIA

Pasamos ahora a comprobar la pérdida de potencia en la línea. Otro parámetro típico de los cálculos eléctricos de líneas aéreas que porcentualmente es de fácil cálculo:

La potencia perdida en la línea trifásica es 3 veces el producto de  $RI^2$ .

$$P_p = 3 \cdot R \cdot I^2$$

...y en % de la potencia total:

$$\Delta P_p(\%) = \frac{3 \cdot R \cdot I^2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi} \cdot 100 = \frac{3 \cdot R \cdot I}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \cdot 100 = \frac{3 \cdot R \cdot \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \cdot 100 = \frac{R \cdot P}{U^2 \cdot \cos^2\varphi} \cdot 100$$

Sustituyendo en nuestro caso para el cable LA-56:

$$\Delta P_{p \text{ LA-56}} = \frac{R \cdot P}{U^2 \cdot \cos^2\varphi} \cdot 100 = \frac{14,74 \times 2016000}{25000^2} \times 100 = 7,43\%$$

Y para el LA-110...

$$\Delta P_{p \text{ LA-110}} = \frac{R \cdot P}{U^2 \cdot \cos^2\varphi} \cdot 100 = \frac{7,36 \times 2016000}{25000^2 \times 0,8^2} \times 100 = 3,71\%$$

# Prysmian Group

**PRYSMIAN CABLES SPAIN, S.A.U.**  
Ctra. C-15, km 2  
08800 Vilanova i la Geltrú, Spain  
**Tel. Atención cliente:** 938 116 006  
atencion.clientes@prysmiangroup.com

FOLLOW US



[www.prysmianclub.es](http://www.prysmianclub.es)

