

**I N F O R M A C I Ó N   T É C N I C A**



**S O B R E   C A B L E S   E L É C T R I C O S**



Editado por la Dirección de Marketing de General Cable  
Coordinación: Ángela Moneo  
Redacción: Antonio López  
Diseño: SCACS  
Impresión: I.C.S. Grafic

GRUPO GENERAL CABLE SISTEMAS, S.A.  
Casanova, 150  
08036 Barcelona

"Se permite la reproducción de materiales,  
citando la fuente de procedencia".

Depósito Legal: B-16769-2001

Edición: Mayo 2007



Nota  
del autor

La publicación de este Manual Práctico, está especialmente concebida para asesorar a todos aquellos usuarios cuya función profesional le exija complementar el conocimiento sobre los cables eléctricos como producto, y su aplicación tanto a nivel de proyecto como de instalación.

Hemos querido realizar un libro lo mas sencillo y didáctico posible que permita fácil interpretación a todos los interesados, no requiriendo expresamente una formación técnica especial.

Si con ello conseguimos colaborar en incrementar el nivel del profesional, estaremos plenamente satisfechos y el cable dejará de ser ese producto tan poco conocido.

Si por razones de espacio y la brevedad con que se ha enfocado esta obra el lector encuentra a faltar alguna otra información de su interés, puede solicitarla a GENERAL CABLE.

En reconocimiento a todas aquellas personas de General Cable que me permitieron elevar mi propia formación técnica a lo largo de varias décadas.

Antonio López  
Jefe Técnico Comercial

SERVICIO DE ATENCIÓN  
AL CLIENTE:  
C/ Casanova, 150  
Tel.: 93 227 97 00  
Fax: 900 21 04 86  
ESTAMOS A SU SERVICIO



## ÍNDICE

### 1. MARCAS COMERCIALES Y DESIGNACIONES TÉCNICAS

### 2. CUADROS DE DESIGNACIÓN TÉCNICA

2.1 Simbología.....	16
---------------------	----

### 3. CONDUCTORES ELÉCTRICOS

3.1 Conductores eléctricos, metales más empleados.....	20
3.1.1 • El cobre.....	20
3.1.2 • El aluminio.....	21
3.2 Características de los conductores.....	21
3.2.1 • Patrón de medida de la resistividad.....	23
3.2.2 • Tipos de cobre para conductores eléctricos.....	23
3.2.3 • Equivalencia eléctrica entre CU y AL.....	23
3.2.4 • ¿Cómo se determina el valor de la resistencia eléctrica de un conductor?.....	24

### 4. TABLAS SOBRE CONDUCTORES

4.1 Características de los metales más usuales en cables eléctricos.....	26
4.2 Resistencia máxima del conductor en OHM/KM a 20°C, en corriente continua.....	26
4.3 Resistencia máxima del conductor OHM/KM a 90°C, en corriente alterna.....	27

### 5. RECUBRIMIENTOS

5.1 Recubrimientos.....	30
5.2 Aislantes.....	30
5.2.1 • Termoplásticos.....	31
5.2.2 • Principales materiales poliméricos.....	32
5.2.3 • Termoestables.....	33
5.2.4 • Principales materiales poliméricos termoestables.....	34
5.3 Resistencia a productos químicos.....	36
5.4 Principales características de los materiales poliméricos.....	37
5.5 Semiconductores.....	38

5.6 Pantallas metálicas.....	39
5.7 Rellenos.....	40
5.8 Asiento de armadura.....	40
5.9 Armadura.....	41
5.9.1 • Armadura de flejes.....	41
5.9.2 • Armadura de alambres.....	42
5.9.3 • Armadura corrugada.....	42
5.10 Cubiertas.....	43
5.11 Cableado.....	45

## 6. FLEXIBILIDAD

---

6.1 Flexibilidad.....	48
6.1.1 • Usos móviles.....	48
6.1.2 • Usos fijos.....	49
6.1.3 • La designación técnica de la flexibilidad.....	49

## 7. CABLES ELÉCTRICOS DE ALTA SEGURIDAD

---

7.1 El fuego y su problemática.....	52
7.2 Los cables y el fuego.....	53
7.3 Los nuevos materiales.....	54
7.4 La solución "Exzhellent" (AS).....	55
7.5 "Segurfoc-331 (AS+)", cables resistentes al fuego.....	56
7.5.1 • Servicios generales.....	57
7.5.2 • Servicios de seguridad.....	57
7.5.3 • La solución "SEGURFOC-331 (AS+)".....	57
7.6 Reglamento Electrotécnico de baja tensión.....	58

## 8. TABLA DE INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES EN SERVICIO PERMANENTE

---

8.1 Condiciones de instalación.....	62
8.2 Intensidades máximas admisibles en el servicio permanente.....	64
8.3 Cables instalados al aire. Factores de corrección.....	66
8.4 Cables enterrados. Factores de corrección.....	70
8.5 Cortocircuitos.....	72



## 9. DIELECTRICOS

---

9.1 Dielectricos	80
9.1.1 • ¿Qué son los dieléctricos?	80
9.1.2 • Rigidez dieléctrica	80
9.1.3 • Constante dieléctrica	81
9.2 Constantes dieléctricas de varias sustancias	82
9.2.1 • Resistividad (Aislantes)	82
9.2.2 • Resistencia superficial	83
9.2.3 • Absorción eléctrica	83
9.2.4 • Pérdidas dieléctricas	84
9.2.5 • Factor de pérdidas	86
9.2.6 • Efecto corona	87
9.2.7 • Resistencia de aislamiento	87
9.2.8 • Capacidades	89
9.2.9 • Caídas de tensión	89

## 10. RECOMENDACIONES GENERALES

---

10.1 Recomendaciones generales de manipulación, tendido e instalación de cables de baja y media tensión en canalizaciones fijas	94
10.1.1 • Descarga de bobinas desde camión	94
10.1.2 • Almacenamiento de bobinas	94
10.1.3 • Trascanado y transporte de bobinas	95
10.1.4 • Emplazamiento para el tendido	95
10.1.5 • Tendido del cable	95
10.1.6 • Esfuerzos de tiro	96
10.1.7 • Zanjas y cruzamiento de calles	97
10.1.8 • Tendido de cables en galerías	98
10.1.9 • Tendido dentro de tubulares	99
10.1.10 • Instalaciones de cables	100
10.2 Otras recomendaciones importantes	101
10.2.1 • Disposición de cables y conexión de pantallas	102
10.2.2 • Conexión de paralelo de cables	103
10.2.3 • Circuitos próximos con cables unipolares	104

## 11. CONDICIONES DE INSTALACIÓN

---

11.1 Condiciones de instalación para plantas e instalaciones potencialmente explosivas o inflamables.....	108
11.2 Clasificación de emplazamientos con riesgo de incendio o explosión, según la ITC-BT-29 .....	108
11.2.1 • Elección del cable.....	110
11.2.2 • Instalaciones antideflagrantes.....	111
11.2.3 • Modos de protección.....	112

## 12. AHORRO ENERGÉTICO

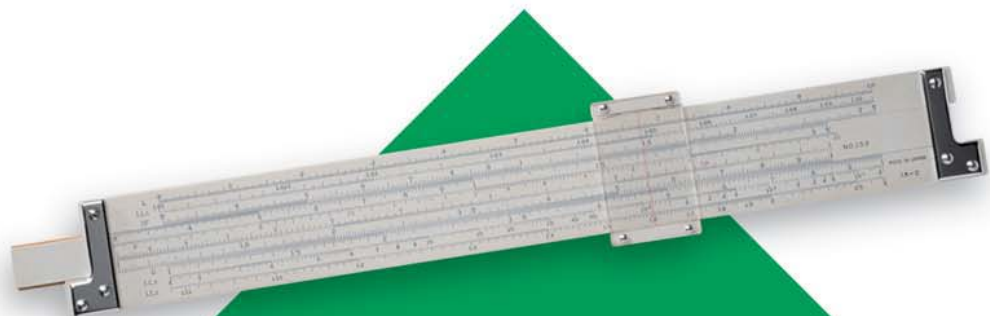
---

12.1 Ahorro energético.....	114
12.2 Ley de Joule .....	115

## 13. ANEXO

---

13.1 Determinación de la potencia y la intensidad de corriente en motores asíncronos.....	120
---	-----



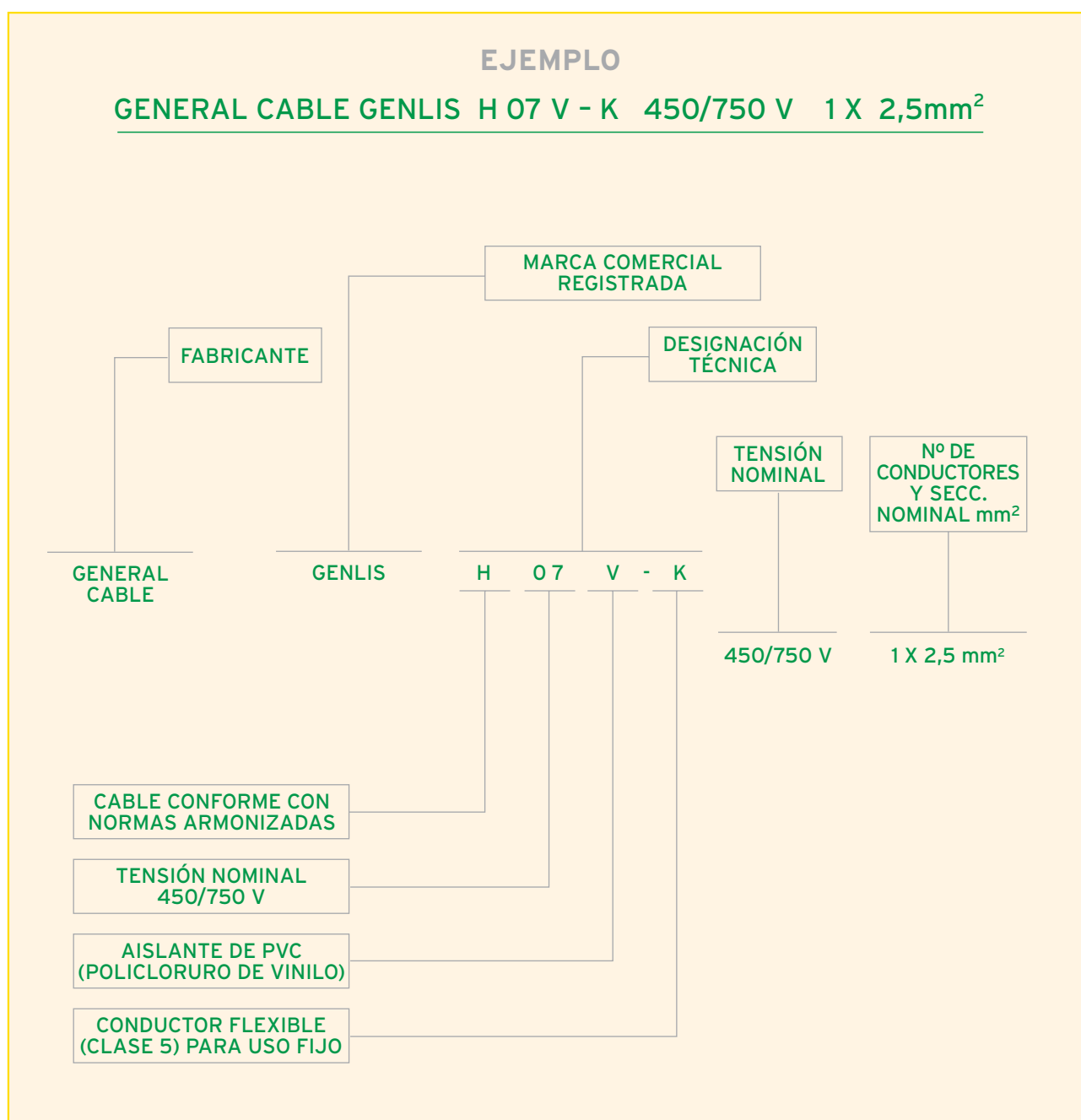
1

**MARCAS  
COMERCIALES Y  
DESIGNACIONES  
TÉCNICAS**

## MARCAS COMERCIALES Y

## DESIGNACIONES TÉCNICAS

Los cables eléctricos se nominan por su MARCA COMERCIAL en primer término: HERSATENE®, ENERGY®, EXZHELLENT®, etc.; a continuación la designación técnica, compuesta por símbolos (letras y números) que corresponden a los diferentes elementos que constituyen el cable eléctrico: RV-K; RHV; RVMV, etc.; seguidamente de la tensión nominal del cable, expresada tanto en V como en KV: 450/750 V; 0,6 / 1 KV, 12/20 KV etc.; y finalmente la sección nominal en mm<sup>2</sup> y el número de conductores: 3 x 150 mm<sup>2</sup>, 5 x 1,5 mm<sup>2</sup>, etc.





2

**CUADROS DE  
DESIGNACIÓN  
TÉCNICA**

MARCA COMERCIAL	DESIGNACIÓN TÉCNICA	INTERPRETACIÓN DE SÍMBOLOS	CARACTERÍSTICAS
GENLIS	H07V - U H07V - R H07V - K	(H) CONFORME NORMAS ARMONIZADAS CENELEC (07) TENSIÓN 750 V (V) AISLANTE PVC (U) UN ALAMBRE (clase 1) (R) VARIOS ALAMBRES (clase 2) (k) FLEXIBLE (clase 5)	HILO DE LÍNEA. NO PROPAGADOR DE LA LLAMA E INCENDIO. MÁXIMO DESLIZAMIENTO EXTRUSIÓN SISTEMA: "SPEEDY SKIN". TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVICIO 70°C. PRODUCTO CERTIFICADO: AENOR<HAR> UTILIZACIÓN: SERVICIO FIJO BAJO TUBO, CANALETA, ETC.
BIGGFLEX	H05V V - F	(05) TENSIÓN 500 V (V) AISLANTE PVC (V) CUBIERTA PVC (F) FLEXIBLE (clase 5)	CABLE FLEXIBLE, USO MÓVIL INTERIOR (F), TEMPERATURA SERVICIO MÁXIMA: 70°C . NO PROPAGADOR DE LA LLAMA.
MOVILFLEX (APANTALLADO)	VC4 V -K	(C4) PANTALLA TRENZA COBRE	APLICACIONES EN ZONAS CON INTERFERENCIAS ELECTROSTÁTICAS O ELECTROMAGNÉTICAS, SERVICIO MÓVIL INTERIOR (MÁQUINAS HERRAMIENTAS PORTÁTILES, ETC.)
MOVILFLEX	V V-500 - F		
PLASTIGRON (Múltiple)	V V - K 0,6/1 KV	(K) FLEXIBLE (clase 5)	NO PROPAGADOR DE LA LLAMA. TEMPERATURA DE SERVICIO 70° C. CONDUCTORES NUMERADOS CABLES DE CONTROL, SERVICIO FIJO (K) EN INTERIOR O EXTERIOR.
ENERGY RV	RV - 0,6/1 KV	(R) POLIETILENO RETICULADO	CONDUCTORES RÍGIDOS CLASE 1 Y 2 COBRE Y ALUMINIO. NO PROPAGADOR DE LA LLAMA. APLICACIÓN: DISTRIBUCIÓN ENERGÍA B.T. EN INTERIOR O EXTERIOR.
FLEXIGRON 500V	H05RR - F	(R) GOMA NATURAL	APLICACIÓN: SERVICIOS MÓVILES EN INTERIOR, ALIMENTACIÓN MÁQUINAS HERRAMIENTA Y APARATOS DE CALEFACCIÓN.
FLEXIGRON 500V	H05RN - F	(N) POLICLOROPRENO	
FLEXIGRON 750V	H07RN - F	(D) ETILENO PROPILENO	APLICACIÓN: SERVICIOS MÓVILES EN INTERIOR Y EXTERIOR, ALIMENTACIÓN DE EQUIPOS MÓVILES INDUSTRIALES.
FLEXIGRON 1000V	DN - F 0,6/1KV		
SOLDANOF	H01N2 - D	(01) TENSIÓN NOMINAL 100V (02) (N2) POLICLOROPRENO (D) USOS MÓVILES (soldadura)	CONDUCTOR DE COBRE EXTRAFLEXIBLE CLASE 6 NO PROPAGADOR DE LA LLAMA. APLICACIÓN: ALIMENTACIÓN PINZA DE SOLDADURA ELÉCTRICA.
EXZHELLENT XXI (AS)	ES-07Z1-K	(Z1) AISLANTE TERMOPLÁSTICO SIN HALÓGENOS	NO PROPAGADOR DEL INCENDIO. CERO HALÓGENOS. BAJA CORROSIVIDAD. SIN DESPRENDIMIENTO DE HUMOS OPACOS. TEMP. MÁX. 70° C, TENSIÓN NOMINAL: 750V.
EXZHELLENT - D (AS)	H07Z - R	(Z) AISLANTE VULCANIZADO TERMOESTABLE	ÍDEM ANTERIOR SALVO TEM. MÁX. 90° C.
EXZHELLENT - XXI (AS)	RZ1-K 0,6/1KV	(R) POLIETILENO RETICULADO (Dt) CUBIERTA TERMOPLÁSTICA SIN HALÓGENOS COLOR VERDE	ÍDEM ANTERIOR. TENSIÓN NOMINAL: 0,6/1KV. UTILIZACIÓN: LOCALES DE PÚBLICA CONCURRENCIA, CINES, HOSPITALES, TEATROS, METROPOLITANOS, ESTUDIOS DE RADIO Y TV, ETC.



MARCA COMERCIAL	DESIGNACIÓN TÉCNICA	INTERPRETACIÓN DE SÍMBOLOS	CARACTERÍSTICAS
SEGURFOC - 331 (AS+)			CONDUCTORES: RÍGIDOS CLASE 1 SEMIRRÍGIDOS CLASE 2 FLEXIBLES CLASE 5 RESISTENTE AL FUEGO, SIN HALÓGENOS, BAJA CORROSIVIDAD, SIN DESPRENDIMIENTOS DE HUMOS OPACOS. MANTIENE SU INTEGRIDAD DE SERVICIO EN CASO DE INCENDIO.
ENERGY RV - K FOC	RV - K 0,6/1KV		CONDUCTORES FLEXIBLES CLASE 5. SERVICIO FIJO. CABLE PARA DISTRIBUCIÓN EN B.T. EN INTERIOR O EXTERIOR. TEMPERATURA MÁX. DE SERVICIO: 90°C.
ARMIGRON -F	RVFAV - 0,6/1 KV RVFV - 0,6/1KV	(FA) ARMADURA FLEJES AL. (F) ARMADURA FLEJES ACERO GALVANIZADO	CONDUCTORES DE COBRE RÍGIDOS (CLASE 1) Y SEMIRRÍGIDOS (CLASE 2) CABLE CON ALTA PROTECCIÓN MECÁNICA Y ANTIRROEDORES.
ARMIGRON - M (UNFIRE)	RVh MA Vh - 0,6/1KV RVh MVh - 0,6/1KV	(Vh) PVC RESISTENTE A LOS HIDROCARBUROS (MA) ARMADURA ALAMBRES DE AL. (M) ARMADURA ALAMBRE DE ACERO GALVANIZADO	ÍDEM ANTERIOR. UTILIZACIÓN: REFINERÍAS, INDUSTRIAS PETROQUÍMICAS, GASOLINERAS, LOCALES POTENCIALMENTE EXPLOSIVOS. CABLE NO PROPAGADOR DEL INCENDIO.
AEROPREX	RZ - 0,6/1KV	(Z) CABLEADO VISIBLE	CABLE DE DISTRIBUCIÓN EN B.T. CONDUCTORES CLASE 2 DE ALUMINIO O COBRE. UTILIZACIÓN: TENDIDOS DE REDES TENSADAS AÉREAS O POSADAS SOBRE FACHADAS.
VULCAN	DN - 0,6/1KV	(D) ETILENO PROPILENO (N) POLICLOROPRENO	CABLE DE DISTRIBUCIÓN B.T. EN INTERIOR O EXTERIOR. SERVICIO FIJO TEMP. MÁX. DE SERVICIO: 90° C.
VULCAN MAR	DN - 0,6/1KV DNC4V - 0,6/1KV DNZ5V - 0,6/1KV	(C4) PANTALLA TRENZA COBRE (Z5) ARMADURA TRENZA ALAMBRES GALVANIZADOS	CABLES RÍGIDOS. INSTALACIONES EN BUQUES ÍDEM ANTERIOR. PROTECCIÓN ELÉCTRICA PROTECCIÓN MECÁNICA
VULCAN MINA	V VMV - 0,6/1KV DM2N - 0,6/1KV DS1N - 0,6/1KV	(M2) CABLECILLOS DE ACERO (S1) PANTALLA DE SEGURIDAD	CABLES RÍGIDOS ARMADOS INSTALACIÓN FIJA CONDUCTOR FLEXIBLE. INSTALACIÓN SEMIFIJA CONDUCTOR FLEXIBLE. INSTALACIÓN MÓVIL.
HERSATENE	RHZ1 - 6/10KV HASTA 18/36KV ALTA TENSIÓN 26/45 - 36/66 110KV / 132KV 220KV / 400KV	(Z1) POLIETILENO (H) CABLE DE CAMPO RADIAL	CABLES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA Y ALTA TENSIÓN EN COBRE O ALUMINIO  CABLES DE TRANSPORTE EN EXTRA ALTA TENSIÓN
VULPREN	DHZ1 - 6/10KV HASTA 132 KV		CABLES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA Y ALTA TENSIÓN COBRE O ALUMINIO

MARCA COMERCIAL	DESIGNACIÓN TÉCNICA	INTERPRETACIÓN DE SÍMBOLOS	CARACTERÍSTICAS
JETLAN 5e+	CATEGORIA 5e	—	SISTEMA DE CABLEADO ESTRUCTURADO UTP Y FTP DE CATEGORIA 5e CON PRESTACIONES HASTA 200MHZ. CABLES CON VERSIÓN CERO HALÓGENOS Y CERTIFICACIONES DELTA
JETLAN 6+	CATEGORIA 6+	—	SISTEMA DE CABLEADO ESTRUCTURADO UTP Y FTP DE CATEGORIA 6 CON PRESTACIONES HASTA 250MHZ CABLES CON VERSIÓN CERO HALÓGENOS Y RENDIMIENTOS INDIVIDUALES DE HASTA 500MHZ Y CERTIFICACIONES DELTA
JETLANOPTIC	FIBRA ÓPTICA	—	SISTEMA DE CABLEADO ESTRUCTURADO DE FIBRA ÓPTICA QUE INCLUYE TODA LA GAMA COMPLETA DE CABLES DE INTERIOR Y EXTERIOR ASÍ COMO LOS PANELES, PATCH-CORDS, CONECTORES,... TODOS LOS CABLES SON CERO HALÓGENOS

AL. = ALUMINIO

B.T. = BAJA TENSIÓN

## 2.7 SIMBOLOGÍA

CORRESPONDENCIA CON NORMALIZACIÓN		
<b>H</b>	CONFORME NORMAS ARMONIZADAS	H05V-K
<b>A</b>	CABLE TIPO NACIONAL RECONOCIDO	A05V V-K
<b>N (ES)</b>	CABLE TIPO NACIONAL	ES 07Z1-K

TENSIÓN NOMINAL		
<b>03</b>	TENSIÓN NOMINAL 300/300V	H03VH-H
<b>05</b>	TENSIÓN NOMINAL 300/500V	H05V-K
<b>07</b>	TENSIÓN NOMINAL 450/750V	H07V-K

AISLANTES Y ENVOLVENTES NO METÁLICAS		
<b>*D</b>	GOMA ETILENO PROPILENO	DHV
<b>E</b>	POLIETILENO	EV V
<b>E 2</b>	POLIETILENO ALTA DENSIDAD	E2V V
<b>*I</b>	HYPALON	DI
<b>J</b>	TRENZA FIBRA DE VIDRIO	SJ

\*Caracteres usuales no contemplados en CENELEC.

Cu = Cobre Fe = Hierro Al = Aluminio



<b> AISLANTES Y ENVOLVENTES NO METÁLICAS </b>		
<b>N</b>	POLICLOROPRENO	N
<b>P</b>	PAPEL AISLANTE	PPV
<b>Q</b>	POLIURETANO	DQ
<b>R</b>	CAUCHO NATURAL	H07RR-F
<b>S</b>	CAUCHO SILICONA	SJ
<b>T</b>	TRENZA TEXTIL	H03RT-K
<b>V</b>	POLICLORURO DE VINILO (PVC)	V V
<b>*/R</b>	POLIETILENO RETICULADO	RV-K
<b>V5</b>	PVC RESISTENTE A LOS ACEITES	V V5
<b>Z</b>	COMPUESTO TERMOESTABLE, BAJA EMISION DE HALOGENOS, SIN HUMOS OPACOS	H07Z-R
<b>Z1</b>	COMPUESTO TERMOESTABLE, BAJA EMISION DE HALOGENOS, SIN HUMOS OPACOS	07Z1-K RZ1-K

<b> REVESTIMIENTOS METÁLICOS </b>		
<b>C3</b>	PANTALLA DE Cu, CORRUGADA	VC3V
<b>*F</b>	ARMADURA FLEJES DE ACERO	RVFV
<b>FA</b>	ARMADURA FLEJES ALUMINIO	RFAV
<b>F3</b>	ARMAD. FLEJES Fe CORRUGADA	RVF3V
<b>*H</b>	PANTALLA CAMPO RADIAL	DHV
<b>L</b>	ENVOLVENTE DE PLOMO	DLV
<b>C</b>	CONDUCT. CONCÉNTRICO Cu	V VCV
<b>C4</b>	PANTALLA Cu FORMA DE TRENZA	VC4V
<b>*M</b>	ARMADURA ALAMBRES DE Fe	V VMV
<b>*MA</b>	ARMADURA ALAMBRE DE Al.	VMAV
<b>*O</b>	PANTALLA METÁLICA COLEC.	RVOV
<b>*01</b>	PANTALLA INDIV. PARES, TRÍOS	E01V
<b>*02</b>	PANTALLA COLEC. PARES, TRÍOS.	E02V
<b>Z5</b>	TRENZA ALAMBRES DE ACERO	VZ5V

<b> OTROS SÍMBOLOS </b>		
<b>X</b>	SIN AMARILLO / VERDE	3 x 2,5 mm <sup>2</sup>
<b>G</b>	CON AMARILLO / VERDE	3 G 2,5 mm <sup>2</sup>

\*Caracteres usuales no contemplados en CENELEC.



3

**CONDUCTORES  
ELÉCTRICOS**

## 3.1 CONDUCTORES ELÉCTRICOS

### METALES MÁS EMPLEADOS

Los metales más empleados como conductores en los cables eléctricos son el COBRE y el ALUMINIO.

#### 3.1.1 EL COBRE

El COBRE se obtiene impuro por tostación de los minerales sulfurosos que lo contienen y de gran pureza por procedimientos electrolíticos. Se aprovecha su alta ductilidad para transformarlo en hilos muy delgados. Este proceso lo endurece limitando su flexibilidad que recobra recociéndolo por diversos procedimientos industriales.

La operación de estiramiento se denomina trefilado y la reunión de varios alambres o conjuntos alrededor de uno central forman un conductor llamado cuerda, que será más flexible cuanto más delgados sean los hilos, siendo la sección final la suma de las áreas de cada uno de los alambres.

El cobre, pese a sus múltiples cualidades, presenta ciertos inconvenientes como su alta densidad y elevado coste, circunstancia que en ocasiones requiere su sustitución por otro metal de menor densidad y más bajo precio que permita la reducción de presupuestos.





### 3.1.2 EL ALUMINIO

El ALUMINIO, en contacto con el aire, se cubre de una capa de óxido llamada alumina que lo protege de oxidaciones posteriores, pero presenta el inconveniente de ser aislante y por tanto dificulta su conexionado en empalmes. El aluminio en contacto con metales más nobles, hierro, cobre o aleaciones, y en presencia de humedad, produce un par galvánico que lo corroe lentamente hasta desintegrarlo. A pesar de estos inconvenientes, que también son evitables, lo cierto es que presenta cualidades que en ocasiones lo hacen ser insustituible para tendidos de líneas aéreas, cables de grandes secciones para circuitos de baja o alta tensión, etc. Dada su baja densidad, 1/3 de la del cobre, y estableciendo una relación entre sus correspondientes resistividades, el cobre podría ser sustituido por la mitad de su peso en aluminio, conservando la misma resistencia eléctrica.

Las propiedades mecánicas del aluminio son bastante inferiores a las del cobre y al ser baja su resistencia a la tracción, se utiliza aleado o bien con alambres de acero al objeto de transferirle alta tenacidad para líneas aéreas.

La resistividad patrón del aluminio es:

$$\frac{1}{35,38} = 0,028264 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m a } 20^{\circ}\text{C}$$

## 3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTORES

Internacionalmente, la fabricación de conductores para cables eléctricos aislados se ajusta a las prescripciones de la Norma IEC 60228 y EN 60228, que tienen exacta correspondencia con la Norma UNE-EN 60228.



La formación de un conductor se define por el número de alambres que lo componen y por el diámetro nominal de los mismos. El grado de rigidez o flexibilidad viene definido por las diferentes clases que se indican en las Normas

mencionadas, correspondiendo la clase 1 a los conductores compuestos por un solo alambre. La clase 2 corresponde a conductores de varios alambres cableados, donde se especifica el número mínimo que cada sección debe llevar. Las clases 5 y 6 corresponden a los conductores flexibles, donde la norma hace especial mención al máximo diámetro de los alambres, pero no al número de ellos, que queda a juicio del buen hacer de cada fabricante. La diferencia entre la clase 5 y la clase 6 estriba en que en esta última los hilos son más delgados para lograr más flexibilidad. Con independencia de otros cumplimientos que la Norma expresa, “**el factor determinante que debe cumplirse es la resistencia eléctrica máxima de cada conductor**”. Indicado en la Norma UNE-EN 60228 (correspondencia con IEC 60228).

### ¿QUÉ ES LA SECCIÓN GEOMÉTRICA?

Se entiende por la sección geométrica de un conductor la sección recta de un alambre o la suma de las secciones rectas de cada uno de los alambres, si se trata de una cuerda, expresado en  $\text{mm}^2$ .



### ¿QUÉ ES LA SECCIÓN NOMINAL?

Es el valor redondeado que se aproxima al geométrico y que se utiliza para la designación del cable, expresado en  $\text{mm}^2$ .

### ¿QUÉ ES LA SECCIÓN ELÉCTRICA?

Es el valor de resistencia máximo fijado por la Norma, en  $\text{Ohm/Km}$  a  $20^\circ\text{C}$  y, por tanto, es el único que garantiza un correcto comportamiento del conductor en cuanto al transporte de energía.

### ¿QUÉ ES LA RESISTENCIA ELÉCTRICA?

Se denomina resistencia eléctrica a la mayor o menor dificultad ofrecida por un conductor al ser recorrido por la corriente eléctrica.

De acuerdo con la teoría electrónica, la corriente eléctrica no es otra cosa que el desplazamiento de electrones de un cuerpo a otro; éstos, en su desplazamiento, tienen que salvar los núcleos de los átomos que constituyen la materia del conductor, chocando con éstos, lo cual comporta un determinado grado de dificultad. Este razonamiento explica por qué los cuerpos tienen distinta resistencia eléctrica; algo muy lógico ya que su constitución atómica es diferente.



### 3.2.1 PATRÓN DE MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD

Para usos eléctricos se emplea exclusivamente cobre refinado electrolíticamente, ya que basta la menor impureza para que su resistividad aumente considerablemente.



La resistividad del cobre puro 100% es:

$$1/58 = 0,017241 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m a } 20^\circ \text{ C}$$

Se toma este valor como patrón internacional de medida de la resistividad. Para cables eléctricos el valor mínimo de resistividad será del 98%.

### 3.2.2 TIPOS DE COBRE PARA CONDUCTORES ELÉCTRICOS

**Cobre duro:** Se emplea para líneas aéreas o en aquellos casos en que se requiera una buena resistencia mecánica. Su carga de rotura está comprendida entre 35 y 50 Kg / mm<sup>2</sup> y el alargamiento a la rotura entre 0,5 y 3%. Se exige una conductividad eléctrica mínima del 97% referida al patrón internacional.

**Cobre recocido:** Se emplea siempre en conductores aislados. Su carga de rotura estará comprendida entre 20 y 30 Kg / mm<sup>2</sup> y el alargamiento a la rotura entre 25 y 30%. Se exige una conductividad eléctrica mínima del 98% referida al patrón internacional.

### 3.2.3 EQUIVALÉNCIA ELÉCTRICA ENTRE CU Y AL

$$\frac{\text{Resistividad Cu } 0,017241 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m a } 20^\circ\text{C}}{\text{Resistividad Al } 0,028264 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m a } 20^\circ\text{C}} = 0,61$$

Ej: Sección Al  $95\text{mm}^2 \times 0,61 = 57,95\text{mm}^2 \Rightarrow$  cable  $70\text{mm}^2$  Cu

Ej: Sección Cu  $95\text{mm}^2 : 0,61 = 155,74\text{mm}^2 \Rightarrow$  cable  $185\text{mm}^2$  Al

### 3.2.4 ¿CÓMO SE DETERMINA EL VALOR DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA DE UN CONDUCTOR?

Para determinar el valor de la resistencia eléctrica de un conductor es preciso que el cable permanezca un mínimo de 12 horas a una temperatura ambiente comprendida entre 10 y 30° C. Se utilizará un puente Wheatstone o puente de Thomson, según sea la longitud y sección del conductor.

El valor de lectura que nos determine el puente, en Ohmios, dividido por la longitud del cable en km, nos dará la resistencia del conductor en Ohmios / Km. Si la medición se ha efectuado a una temperatura T distinta de 20° C, se tendrá que corregir aplicando la fórmula siguiente:

$$(*) R_T = R_{20} [1 + \alpha_{20} (T-20)]$$

**EJEMPLO:** Cable ENERGY-FOC, RV-K 0,6 /1 Kv 2 X 1,5 mm<sup>2</sup>, longitud: 2350 m

Lectura conductor negro (puente Wheatstone): 32,17 Ohm

Temperatura del cable: 30° C

$$R_{30} = \frac{32,17}{2,35} = 13,69 \Omega / \text{Km a } 30^\circ \text{ C}$$

$$R_{20} = \frac{R_T}{[1 + \alpha_{20} (T-20)]} = \frac{13,69}{1,0393} = 13,17 \Omega / \text{Km a } 20^\circ \text{ C}$$



Valor máximo de UNE-EN 60228 (IEC 60228) = 13,3 Ω / Km a 20° C

(\*)  $R_T$  = Resistencia a la temperatura T

$R_{20}$  = Resistencia 20° C

$\alpha_{20}$  = Coeficiente de variación de la resistividad a 20° C

$$\alpha \begin{cases} \text{Cu} = 0,00393 \\ \text{Al} = 0,00403 \end{cases}$$



4

## TABLAS SOBRE CONDUCTORES

## 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS METALES

### MÁS USUALES EN CABLES ELÉCTRICOS

TABLA 1

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	COBRE RECOCIDO	COBRE DURO	ALUMINIO 3/4 DURO	ALMELEC	PLOMO	ACERO
CALIDAD UNE	-	Cu-ETP		Al 99,5 E			
SÍMBOLO QUÍMICO		Cu	Cu	Al	-	Pb	Fe
DENSIDAD	KG/dm <sup>3</sup>	8,89	8,89	2,7	2,7	11,35	7,8
RESISTIVIDAD 20°C	Ohm.Km/mm <sup>2</sup>	17,241	17,586	28,264	32,500	206	190
TEMP. FUSIÓN	°C	1083	1083	657	657	327	1400
CARGA DE ROTURA	daN/mm <sup>2</sup>	20-30	35-50	12-15	35-40	1,75	40-150
ALARG. A ROTURA	%	25-30	0,5-3	1,5-3	4-6	20-50	2-6
MÓDULO ELÁSTICO	daN/mm <sup>2</sup>	10500	12000	5600	6000	1700	18500
CONDUCTIV. ELÉC.	% IACS	100	98	61	53	8,4	9
CONDUCTIV. TÉRM.	W/ cm.K	3,893	3,893	2,218	1,84	0,35	0,46
COEF. DIL. LINEAL	K-1 (x 10 <sup>-6</sup> )	17	17	23	23	29	11,5
CALOR ESPECÍFICO	Cal/°C.g	0,093	0,093	0,214	0,214	0,030	0,114
COEF. DE VARIAC. TEMPERATURA	K-1	0,00393	0,00393	0,00403	0,0036	0,0042	0,004

## 4.2 RESISTENCIA MÁXIMA DEL

### CONDUCTOR EN OHM/KM A 20°C, EN

### CORRIENTE CONTINUA

TABLA 2

SECCIÓN NOMINAL mm <sup>2</sup>	CLASE: 1 Y 2			CLASE: 5	
	CONDUCTORES DE COBRE		CONDUCTORES DE ALUMINIO	CONDUCTORES DE COBRE	
	ALAMBRES DESNUDOS	ALAMBRES ESTANADOS		ALAMBRES DESNUDOS	ALAMBRES ESTANADOS
1,5	12,1	12,2	-	13,3	13,7
2,5	7,41	7,56	-	7,98	8,21
4	4,61	4,70	-	4,95	5,09
6	3,08	3,11	-	3,30	3,39
10	1,83	1,84	-	1,91	1,95
16	1,15	1,16	1,91	1,21	1,24
25	0,727	0,734	1,20	0,780	0,795
35	0,524	0,529	0,868	0,554	0,565
50	0,387	0,391	0,641	0,386	0,393
70	0,268	0,270	0,443	0,272	0,277
95	0,193	0,195	0,320	0,206	0,210
120	0,153	0,154	0,253	0,161	0,164
150	0,124	0,126	0,206	0,129	0,132
185	0,0991	0,100	0,164	0,106	0,108
240	0,0754	0,0762	0,125	0,0801	0,0817
300	0,0601	0,0607	0,100	0,0641	0,0654
400	0,0470	0,0475	0,0778	0,0486	0,0495
500	0,0366	0,0369	0,0605	0,0384	0,0391
630	0,0283	0,0286	0,0469	0,0287	0,0292



## 4.3 RESISTENCIA MÁXIMA DEL CONDUCTOR

### EN OHM/KM A 90°C, EN CORRIENTE ALTERNA

#### CLASE 2

TABLA 3

SECCIÓN NOMINAL (mm <sup>2</sup> )	COBRE	ALUMINIO
16	1,47	2,45
25	0,927	1,54
35	0,668	1,11
50	0,494	0,822
70	0,342	0,568
95	0,247	0,411
120	0,196	0,325
150	0,159	0,265
185	0,128	0,211
240	0,098	0,161
300	0,079	0,130
400	0,0631	0,102
500	0,0508	0,0803
630	0,0416	0,0638

#### NOTA:

La Norma UNE-EN 60228 (IEC 60228) determina el valor de la resistencia óhmica del conductor en corriente continua a 20°C. Hemos creído muy conveniente indicar en la tabla anterior valores de resistencia eléctrica en corriente alterna a 90°C, que es la temperatura máxima admisible en el conductor en servicio permanente, para los cables cuyo aislamiento sea del tipo TERMOESTABLE (XLPE, EPR, etc.). Por consiguiente para cálculos de: Intensidades máximas, caídas de tensión, reactancias, etc. el valor aplicable de resistencia es siempre a 90°C corriente alterna. En casos particulares y cuando se prevean temperaturas inferiores a 90°C, se deberán corregir los valores a la temperatura requerida.



## 5.1 RECUBRIMIENTOS

Los recubrimientos en general son elementos de diferente constitución y aplicación que confieren protección eléctrica o mecánica al cable.

Cada uno de ellos tiene una función específica que determinará que el cable tenga un buen funcionamiento en el cometido para el que ha sido proyectado.

Entre los recubrimientos distinguimos los siguientes:

- AISLANTES
- SEMICONDUCTORES
- PANTALLAS METÁLICAS
- RELLENOS
- ASIENTO DE ARMADURA
- ARMADURAS
- CUBIERTAS

Que describimos a continuación:

## 5.2 AISLANTES

Es la capa que, contigua al conductor, lo protege eléctricamente con respecto a cuanto lo rodea. Son normalmente los elementos más delicados, siendo su deterioro, más o menos rápido, el que limita en la mayoría de los casos la vida de un cable. Las condiciones ambientales y climáticas o los contactos con agentes agresivos, así como la falta de cuidado en la instalación, manejo y conservación, son las causas principales por las que se limita la vida del cable.

Bajo el punto de vista científico, el estudio de los aislantes tiene un gran interés ya que sus propiedades eléctricas fundamentales deben ser conjugadas íntimamente con otras cualidades físicas, así como con su constitución química. Los aislantes no son dieléctricos perfectos y siempre existe la posibilidad de que un electrón pase de un átomo al contiguo, unas veces por su propia constitución atómica y otras debido a impurezas; esto da lugar a una corriente muy débil, pero no obstante apreciable, denominada corriente de fuga.



Los aislantes u otros recubrimientos empleados en la fabricación de cables son muchos y muy variados. Resulta pues difícil hacer una revisión somera de estos materiales sin olvidar algunos y dando una visión precisa de las propiedades, aplicaciones, ventajas y desventajas. Los reduciremos a los tipos genéricos más normales.

Se clasifican en dos grandes grupos: TERMOPLÁSTICOS Y TERMOESTABLES.



### 5.2.1 TERMOPLÁSTICOS

Se denominan así aquellos materiales poliméricos a los que al aumentarles la temperatura se deforman bajo presión por pérdida de sus propiedades mecánicas. Esta fluencia a alta temperatura se emplea para su aplicación como aislamientos o recubrimientos en general por técnicas de extrusión. Al enfriarse recobran sus características mecánicas iniciales.

Los más usuales en la fabricación de cables eléctricos son: Policloruro de Vinilo (PVC), Polietileno lineal (PE), Poliolefinas (Z1), Poliuretano (PU), Fluorados (Tefzel, Teflón), etc.

## 5.2.2 PRINCIPALES MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS

El **Policloruro de Vinilo (PVC)** se obtiene partiendo del etileno o del acetileno haciéndolo reaccionar con ácido clorhídrico o cloro, polimerizándose por diversos procedimientos. Originariamente es una resina de color claro, dura, rígida y con escasa estabilidad en condiciones normales, por lo que se le deben incorporar productos estabilizantes. También se le añaden otras sustancias como los plastificantes, que le confieren dureza y flexibilidad adecuada, cargas que modifican sus propiedades físicas y economizan la mezcla resultante, colorantes, etc.



Con todo ello, adecuando las debidas proporciones, se obtienen mezclas con propiedades particulares para su empleo tanto en aislamientos, asientos y cubiertas protectoras que tienen que responder a las normas y ensayos que se especifican, como a los condicionantes particulares que se le exigen al cable dado su entorno, climatología, servicio, etc. (resistencia a aceites, altas o bajas temperaturas, productos químicos, reacción al incendio, etc.)

Su utilización actual más común es para cubiertas interiores y exteriores de los cables. Hasta aparecer los polietilenos reticulados como aislantes, el PVC ha sido un destacado aislante para los cables de baja tensión.

El **Polietileno** resulta de la polimerización del etileno, obteniéndose una cadena larga sin dobles enlaces y por ello muy estable. La polimerización se ha conseguido durante mucho tiempo a altas presiones (1.500 bar) y temperaturas entre 100 y 250° C. Recientemente, se obtiene con presión normal y temperaturas entre 20-70° C.

Su producción se establece en diversas cualidades que se diferencian por el peso molecular medio del producto y por su viscosidad.

Las propiedades eléctricas del polietileno son realmente excepcionales, por lo que lo hacen insustituible como aislamiento para cables de radiofrecuencia, en



la variante de polietileno celular y telecomunicaciones. Antes de aparecer la técnica de su reticulación, se usó también como aislamiento de cables de media tensión.

Al igual que el PVC, no sólo se utiliza como aislamiento sino como cubierta protectora de los cables eléctricos, tanto por su alta resistencia a los impactos y a la abrasión, como por su muy baja absorción de humedad, empleándose en la actualidad casi exclusivamente en los cables de media y alta tensión.

Cuando se emplea para cables de uso a la intemperie y dado que el polietileno presenta cierta degradación de sus características mecánicas por la acción de los rayos ultravioleta, resulta efectivo incorporarle una pequeña proporción de negro de humo que absorbe la radiación.

### 5.2.3 TERMOESTABLES

Se denominan así a los materiales poliméricos a los cuales se les incorporan peróxidos orgánicos bajo presiones y temperaturas adecuadas en el proceso de extrusión, consiguiendo así su vulcanización o reticulación al crearse enlaces transversales entre las moléculas del polímero, de tal forma que el material resultante no funde ni se deforma al aumentar la temperatura.

Los más usuales son: Etileno Propileno (EPR), Polietileno Reticulado (XLPE), Hypalon (CSP), Neopreno (PCP), Caucho Natural (SBR), Acetato de Etil Vinil (EVA), Silicona (SI), etc.



## 5.2.4 PRINCIPALES MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOESTABLES

El **Polietileno Reticulado (XLPE)** empezó a usarse a partir de los años 60 para aislamiento de cables de Baja Tensión, extendiéndose su campo de aplicación posteriormente para cables de Media y Alta Tensión. Su consumo ha ido en constante aumento incluso para muy Altas Tensiones. En España, GENERAL CABLE produce e Instala (proyectos llave en mano) cables de 66 hasta 220 KV, mientras que las instalaciones disponibles en Francia ofrecen soluciones hasta 500KV.

El Polietileno Reticulado es un material duro, con una elevada resistencia a la rotura (superior al caucho y al Polietileno natural). Su condición de termoestable le permite temperaturas de régimen permanente de 90°C. Esta propiedad, junto a su baja resistividad térmica (350°C. cm/W), le permite soportar situaciones de emergencia. En cortocircuitos francos puede llegar incluso a 250°C. La resistencia a bajas temperaturas es excelente, llegando a - 70°C.

El **Polietileno** se reticula con la incorporación de peróxidos orgánicos (peróxido de dicumilo), cuando la temperatura del compuesto supera los 140°C el peróxido se descompone capturando átomos de hidrógeno de las cadenas poliméricas, es decir, creando radicales en el polietileno. Estos radicales forman enlaces

carbono-carbono uniendo las moléculas de polietileno en una red tridimensional.

En la fabricación de cables con este tipo de aislamiento, la extrusión y la reticulación se combinan en un único proceso.

Tras la extrusión y sin contacto

con el exterior, el cable penetra en el tubo de vulcanización donde se aumenta la temperatura, bien subiendo la presión del vapor del agua que llena el tubo, o bien mediante equipos de infrarrojos en atmósfera de N<sub>2</sub> en el procedimiento conocido como "dry curing", para que en presencia de peróxidos que actúan como catalizadores tenga lugar la reticulación.





El **Etileno - Propileno (EPR)** es un copolímero de etileno y propileno. Con la incorporación de otros elementos: plastificantes, antioxidantes, lubricantes, colorantes y un buen número de otros variados productos, se consigue una mezcla cruda que tiene que ser vulcanizada mediante la incorporación de peróxidos. Esta vulcanización se consigue al extruirlo y con unas condiciones determinadas de presión y temperatura, siguiendo un proceso similar al descrito para el Polietileno Reticulado.

Las propiedades dieléctricas son muy buenas, lo que hacen de él un aislamiento adecuado para la fabricación de cables de Media Tensión. En el campo de la Alta Tensión su empleo queda algo limitado por tener una resistencia térmica considerable (500°C. cm/W) y por sus valores en pérdidas dieléctricas (tag  $\delta$ ) más elevados que el PRC. Su alta flexibilidad lo hace ideal para instalaciones móviles

tanto de Baja como de Media Tensión:  
enrolladores, industria naval, minas,  
canteras, etc.



## 5.3 RESISTENCIA A PRODUCTOS QUÍMICOS

PRODUCTOS	POLICLOROPRENO	PVC ACRÍLICO	PRC / XLPE	PVC
<b>Ácidos</b>				
ACÉTICO 50%	-	-	+	+
CLORHÍDRICO 10%	+	-	+	+
NÍTRICO 10%	-	-	+	+
SULFÚRICO 10%	+	+	+	+
<b>Bases</b>				
AMONÍACO	+	+	+	+
SOSA 10%	+	+	+	+
SOSA 70%	-	-	+	+
<b>Sales</b>				
CLORURO DE ALUMINIO	+	+	+	+
“ FÉRRICO	+	+	+	+
“ DE BARIO	+	+	+	+
BICROMATO DE POTASIO	+	+	+	+
BICROMATO DE SODIO	-	+	+	+
SULFATO DE COBRE	+	+	+	+
CLORURO DE MERCURIO	+	+	+	+
<b>Disolventes</b>				
ALCOHOL ETÍLICO	+	-	+	-
ALCOHOL METÍLICO	+	-	+	-
AGUA A 100° C	-	-	+	+
ETILENO GLICOL	+	+	+	+
ACEITE DE LINO	+	+	+	+
FENOL	0	0	-	0
CICLOHEXANONA	0	0	-	0
BENZENO	0	0	0	0
TOLUENO	0	0	0	0
CICLOHEXANOL	0	-	-	0
BUTANOL	+	-	+	-
TETRACLORURO DE CARBONO	0	0	0	0
TRICLOREILENO	0	0	0	0
TETRACLORETANO	0	0	-	0
DICLORETANO	0	0	-	0
SULFURO DE CARBONO	0	0	0	0
WHITE SPIRIT	-	+	-	-
ESENCIA DE TREMENTINA	0	0	0	0
ACEITE GRASO 70° C	-	+	0	-
PETRÓLEO	-	+	-	-
ACETONA	-	0	-	0
ACETATO DE ETILO	0	0	-	0
ACETATO DE BUTILO	0	0	-	0
CLOROFORMO	0	0	0	0
ACEITE DE TRANSFORMADOR	-	-	0	-
PIRALENO	0	0	0	0

(+) = BUENO      (-) = POCO      (0) = NULO



## 5.4 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS

TABLA 5

CARACTERÍSTICAS	PVC	PE	PRC XLPE	EPR	CAUCHO	POLICLORO- PRENO	HYPALON	PVC NITRILO
MECÁNICAS	MB	B	B	P	P-MB	B-MB	MB	B
RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	B	EX	EX	MB	B	R	P	R
PÉRDIDAS ELÉCTRICAS	P	EX	MB	B	B	R	R	R
RESISTENCIA A LA INTEMPERIE	B	R-B	MB	B	R	B	MB	B
RESIST. PROPAG. DE LA LLAMA	B	N	R	N	N	B	B	B
RESISTENCIA AL OZONO	EX	EX	EX	EX	N	B	EX	EX
RESIST. AL ENVEJEC. Y AL CALOR	B	B	MB	MB	P	B	MB	B
TEMPERATURA MÁX. DE SERVICIO PERM.	70	65	90	90	60	75	85	75
RESISTENCIA AL ACEITE MINERAL	B	P	P	R	R	MB	MB	EX
FRAGILIDAD A BAJA TEMPERATURA	P	EX	MB	EX	MB	MB	B	B

**EX:** EXCELENTE

**MB:** MUY BUENO

**B:** BUENO

**P:** PASABLE

**R:** REGULAR

**N:** NULO

## 5.5 SEMICONDUCTORES

Consisten en capas extruidas de resistencia eléctrica reducida de materiales afines a los aislamientos. Si éstos son termoestables, las capas semiconductoras también lo serán.

Son aplicables fundamentalmente a los cables de media y alta tensión en dos capas:

La primera, directamente sobre el conductor, tiene por función confinar el campo eléctrico dentro de una superficie cilíndrica y equipotencial lo más uniformemente posible y con un espesor adecuado como para poder eliminar las irregularidades de los alambres que forman el conductor. Sin esta pantalla, el aislamiento quedaría sujeto a distintos gradientes de potencial. Este material está estudiado para que sea compatible con el aislamiento.

La segunda capa semiconductora tiene una misión análoga a la anterior, entre el aislamiento y la pantalla.

En GENERAL CABLE, el proceso de producción de los cables de media y alta tensión, en cuanto a la colocación de las capas semiconductoras y del aislamiento, se realiza por el procedimiento de "Triple Extrusión Simultánea", que consiste en hacer confluír los tres fluidos por diferentes canales dentro de un único cabezal en el mismo instante y sin presencia de atmósfera contaminante, como se puede dar en los sistemas convencionales de extrusión.

Las pantallas semiconductoras también tienen gran aplicación para cables de baja tensión en la industria minera y en los cables de utilización para usos móviles. Esta capa semiconductora permite captar radialmente cualquier corriente de defecto originada entre el conductor y su aislamiento y trasladarla por un conductor auxiliar de drenaje hasta un circuito de control de defectos, que permita la desconexión inmediata del servicio del cable. Por consiguiente, a





la vez que interrumpe la posibilidad de un cortocircuito importante que destruya la zona afectada del cable, elimina la posibilidad de que la gran energía liberada en la chispa o explosión, sea causa de incendio o deflagración.



## 5.6 PANTALLAS METÁLICAS

Son elementos conductores, generalmente de cobre o de aluminio, que pueden tener diversas funciones:

- Proteger de la influencia de inducciones exteriores
- Dar salida a las corrientes de defecto
- Uniformizar y conferir los campos eléctricos
- Blindar de señales externas o internas
- Etc.

En los cables de media y alta tensión, se emplean básicamente tres tipos:

- Flejes de cobre arrollados en hélice solapada sobre capa semiconductor (H1).
- Alambres de cobre adaptados en hélice sobre capa semiconductor con una sección específica (H16, H25, etc.).
- Funda de plomo (Pb) en la industria petroquímica para asegurar estanqueidad ante la presencia de hidrocarburos y en cables de aislamiento de papel (prácticamente abandonado).

Se utilizan otros tipos de pantallas para cables de control, instrumentación, telefonía, datos, etc., cuya aplicación sólo es exclusiva para que las débiles corrientes que circulan por los conductores no se vean afectadas por señales de otros conductores contiguos o señales externas de tipo electrostático. Es corriente ver cables de instrumentación con pantallas individuales para cada par, así como otra colectiva sobre todo el conjunto de pares. Estas pantallas

generalmente están constituidas por una lámina de aluminio de pocas micras de espesor que se encuentra adherida a un soporte de tereftalato de Pe (Melinex, Mylar, etc.) que le confiere mayor resistencia mecánica al conjunto. Esta cinta se arrolla en hélice sobre el cable a proteger; no obstante, con objeto de asegurar su continuidad al conjunto apantallado, se le dota de un conductor flexible de escasa sección llamado drenaje.

## 5.7 RELLENOS

El relleno es la masa de material que tiene por función ocupar los espacios vacíos dejados en el cableado de los conductores aislados, de tal forma que sea capaz de conferir una envolvente cilíndrica y lisa. Los rellenos pueden ser de textiles o de material plástico.

Las condiciones fundamentales que se deben exigir a los rellenos son:

- NO HIGROSCOPICIDAD (facultad de no absorber o exhalar humedad).
- COMPATIBILIDAD CON LOS MATERIALES CONTIGUOS.



## 5.8 ASIENTO DE ARMADURA

Los cables diseñados con armaduras metálicas disponen de una capa extruida que, colocada sobre el relleno anteriormente citado, sirve de colchón de la armadura y por tanto puede proteger los aislamientos de posibles interacciones con las masas metálicas.



El asiento de armadura será de PVC, por regla general, en los cables cuya cubierta exterior también lo sea. Si esta particularidad queda reflejada en la designación del cable, ej.: R V M V., la calidad y características de este PVC deben corresponder a las mismas que de la cubierta exterior del cable. Por el contrario, el hecho de que no quede indicado en la designación, ej.: R M V, demuestra que el ASIENTO tiene una calidad que no responde a la exigencia de la NORMA constructiva.

En los cables armados y con cubiertas elastoméricas: (Policloroprenos, Hypalon, etc.), el asiento de armadura será de características elastoméricas.

Las Normas exigen para los asientos:

- ESPESORES
- CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS
- ESTANQUEIDAD
- NO HIGROSCOPICIDAD
- COMPATIBILIDAD CON LOS MATERIALES CONTIGUOS



## 5.9 ARMADURA

Son elementos metálicos destinados a la protección mecánica del cable. Generalmente son de acero galvanizado o pavonado. Para evitar las pérdidas por inducción en los cables unipolares, las armaduras deben estar constituidas por metales amagnéticos: aluminio, cobre, bronce, etc.

Los tipos de armaduras más utilizados son: ARMADURA DE FLEJES, ARMADURA DE ALAMBRES Y ARMADURA DE FLEJES CORRUGADOS.

### 5.9.1 ARMADURA DE FLEJES

Constituida por dos flejes aplicados en hélice, de forma que el superior cubre los espacios libres que deja el inferior, permitiendo por tanto que el conjunto tenga cierto grado de movilidad durante su tendido en las curvas, así como deslizamiento de las espiras que constituyen la armadura.

## 5.9.2 ARMADURA DE ALAMBRES

---

Constituida por alambres de acero galvanizado o alambres de aluminio en el caso de ser cables unipolares, que se aplican cableados alrededor del asiento de armadura, en disposición contigua en hélice, cubriendo la totalidad de la periferia del cable. Los alambres de acero tienen una carga de rotura mínima de 35 Kg/mm<sup>2</sup> y los de aluminio de 16 Kg/mm<sup>2</sup>.

Las armaduras de alambres son muy adecuadas para soportar esfuerzos de tracción durante el tendido del propio cable o bien para soportar su peso en canalizaciones con pendientes pronunciadas e incluso en instalación vertical como ocurre en los pozos de las minas. Es frecuente, cuando se utiliza en la industria minera, incorporar a los alambres de acero otros de cobre y del mismo diámetro, al objeto de aumentar la conductancia de la armadura y poder ser utilizada ésta además como conductor de protección.

Los cables con armaduras de alambres de acero son utilizados tanto en el sector industrial y petroquímico como en distribución y minería, así como prescritos en instalaciones de locales con riesgo de incendio y explosión, según se desprende de la Instrucción ITC-BT-029.

Los cables ARMIGRON UNIFIRE RVhMVh - 0,6/1kV cumplen esta instrucción.



Una variedad de la armadura de alambres es la trenza metálica. Constituida por un tejido de alambres de acero galvanizado o bronce, de diámetros pequeños: 0,2 a 0,5 mm que, entrelazados, forman una cobertura que puede llegar al 100% de la superficie a proteger. Su utilización es casi exclusiva para cables flexibles en servicios móviles, para cables de la industria naval, cables de señalización y control de la industria minera, o simplemente como una perfecta protección contra la acción destructiva de los roedores.

## 5.9.3 ARMADURA CORRUGADA

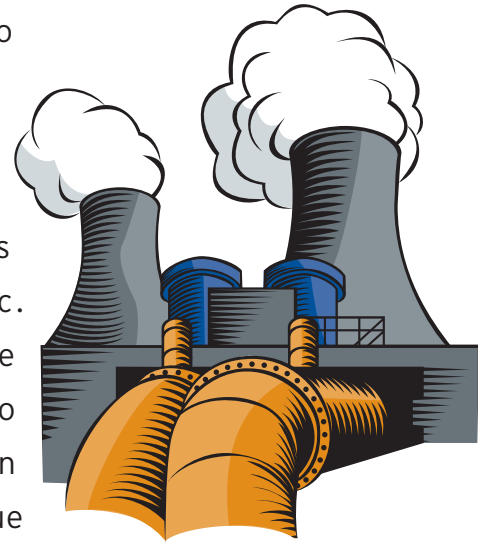
---

Está formada por el fleje longitudinal envolvente, teniendo las huellas de corrugación en sentido transversal al eje del cable, permitiendo un cierto grado de flexibilidad al mismo tiempo que ejerce una buena protección mecánica y antirroedores.



## 5.10 CUBIERTAS

Son las capas o envolventes externas que actúan como protección de los cables eléctricos, estando fundamentada su utilización por un gran número de causas, siendo la más común la de soportar tanto durante su tendido (instalación) como a lo largo de su vida útil los efectos mecánicos producidos por golpes, rozamientos, presiones, etc. Dependiendo de la ubicación, medio ambiente, tipo de instalación y servicio, así como por motivos de precaución o seguridad, las cubiertas también deben tener un comportamiento adecuado a cada una de las sollicitaciones que a priori se pidan. Es común que, para instalaciones dentro de los recintos en



refinerías y petroquímicas, la cubierta de PVC deba soportar la influencia de contactos accidentales con hidrocarburos o disolventes, existiendo para su comprobación normas que especifican ensayos, procedimientos y cumplimientos. Para centrales nucleares, las cubiertas deben responder, entre otros muchos cumplimientos, a una particular



resistencia a los efectos de las radiaciones, por estar dentro de un medio ambiental con alguna posibilidad de escape o fuga radioactiva. Para instalaciones eléctricas de cables en locales de concurrencia pública y ante la posibilidad de producirse fuegos, a pesar de las medidas de seguridad, los cables, y muy particularmente las cubiertas, deben presentar una determinada resistencia a los incendios: "CABLES NO

PROPAGADORES DE INCENDIO", a la vez que ausencia de gases halogenados que se generan en la descomposición por el fuego, ausencia de humos opacos de muy baja corrosividad.

Y así se podría definir un elevado número de situaciones particulares que, por experiencia en GENERAL CABLE, ya han sido estudiadas en multitud de

ocasiones, dando en cada caso la solución más adecuada que responda a los condicionantes solicitados.

La cubierta en los cables eléctricos, por tanto, es una protección general del cable, no debiendo olvidar nunca que la vida útil disminuye rápidamente ante cubiertas deterioradas por impactos, perforaciones, etc.

Esta circunstancia hace que en algunos tipos de cables, como son los de Media y Alta Tensión, sea extremadamente importante que se utilicen medios adecuados al realizar el tendido de los cables en canalizaciones subterráneas al objeto de no ser dañados. Un pequeño agujero, por imperceptible que sea, es suficiente para que se produzca una entrada de agua, o cuando menos humedad, que fluirá a lo largo del cable, produciéndose unos fenómenos electroquímicos que provocan la aparición y desarrollo de las arborescencias, lo que significa una constante degradación de los materiales aislantes hasta producirse la perforación dieléctrica.



Al igual que en los aislamientos que ya hemos detallado anteriormente, las cubiertas podemos clasificarlas en dos grandes grupos: **TERMOPLÁSTICAS**, como el PVC, POLIETILENO y POLIURETANO en todas sus variedades, como las más utilizadas; y **TERMOESTABLES**, como el POLICLOROPRENO, HYPALON, CAUCHO NATURAL, SILICONAS, ACRILO NITRILO, etc.



## 5.11 CABLEADO

Consiste en la operación de enrollar dos o más conductores uno sobre el otro, alrededor de un eje imaginario, formando una hélice visible. La longitud más corta entre dos puntos del mismo conductor y de una misma generatriz después de haber dado la vuelta completa al eje de cableado y que al unirse forman una línea

recta se denomina: **PASO DE CABLEADO.**



En los cables utilizados para servicios móviles: grúas, enrolladores, minería, etc., los cableados deben tener un paso más corto que en cables rígidos convencionales.



6

**FLEXIBILIDAD**

## 6.1 FLEXIBILIDAD

La flexibilidad en los cables eléctricos viene determinada por dos aspectos:

A.- Su función y comportamiento durante su servicio

B.- El relativo a facilitar la labor durante la instalación.

### 6.1.1 USOS MÓVILES

A.- La primera se debe definir como: **CABLES FLEXIBLES PARA USOS MÓVILES**, es decir, cables que en su funcionamiento ordinario alimentan equipos móviles, por lo que su comportamiento no debe restarles maniobrabilidad, tener una larga vida útil y, sobre todo, presentar un alto grado de seguridad para las personas y el entorno.

Las normas determinan las características que deben tener estos cables, los materiales constituyentes, las pautas de diseño, la metodología de ensayos y los resultados a cumplir, así como la correcta interpretación y uso de las guías y normas de utilización.

Con relativa frecuencia se acostumbra a valorar la flexibilidad de un cable por medios más bien subjetivos, que en todo caso sólo nos pueden aportar una apreciación momentánea. El cable flexible de servicio móvil debe garantizar además una larga vida de utilización, cuestión que se evalúa mediante ensayos que comprueban su inalterabilidad durante miles de ciclos de servicio.





## **CABLES PARA USOS MÓVILES EN INTERIOR**

- La tensión mínima será de 500 V (300/500)
- Pueden utilizarse tanto cables flexibles de PVC, como de CAUCHO
- Los cables más comunes son:

**MOVILFLEX VV - F 300 / 500 V**

**BIGGFLEX H05VV - F**

**FLEXIGRON H05RR - F**

**FLEXIGRON H05RN - F**

## **CABLES PARA USOS MÓVILES EN EXTERIOR**

- La tensión mínima será de 750 V (450/750)
- Sólo pueden usarse cables de CAUCHO (\*)
- Los cables más comunes son:

**FLEXIGRON H07RN - F (450/750V)**      **FLEXIGRON DN - F 0,6/1 KV**

(\*) La utilización de aislamientos de PVC, XLPE, etc. para usos móviles al exterior está prohibida.

### **6.1.2 USOS FIJOS**

---

B.- El segundo aspecto es de orden práctico, consistiendo básicamente en la sustitución de los conductores rígidos de clase 2 por conductores flexibles de clase 5. Es evidente que facilita la labor al instalador durante el tendido de los cables en cualquiera de sus modalidades, sobre todo en lugares dificultosos, de poca amplitud, etc.

Como ejemplo, tomaríamos los cables: **ENERGY RV - K 0,6/1 KV.**

### **6.1.3 LA DESIGNACIÓN TÉCNICA DE LA FLEXIBILIDAD**

---

La interpretación de la letra (F), al final de la designación, significa siempre: **Flexible uso móvil**. Otros cables flexibles incorporan la letra (K), al final de la designación, que significa: **Flexible uso fijo**.



7

**CABLES ELÉCTRICOS DE  
ALTA SEGURIDAD (AS) y (AS+)  
ANTE LOS INCENDIOS Y  
LOS EFECTOS QUE  
SE DERIVAN  
DE ELLOS**

**EXZHELLENT (AS) ALTA SEGURIDAD  
SEGURFOC-331 (AS+)  
ALTA SEGURIDAD AUMENTADA**

## 7.1 EL FUEGO Y SU PROBLEMÁTICA

El fuego es uno de los fenómenos más importantes y más apreciados de los descubiertos por el hombre. El que más ha ayudado a su vida y al desarrollo desde los tiempos más remotos. Sin embargo, es uno de los más temidos cuando por las causas que sean se escapa al control, ya que tiene consecuencias irreversibles.



La problemática del fuego ha preocupado siempre y en gran medida al constructor de edificios y locales de pública concurrencia, así como a los fabricantes de equipos que, por sus características, pueden presentar un peligro tanto para las personas como para el entorno en que se encuentran situados.

Los medios de comunicación informan frecuentemente de incendios en edificios, salas de espectáculos, hoteles, clínicas, aeropuertos, etc. Son noticias que conmueven a todo el mundo sin excepción, sea el lugar que sea. No están lejos de nuestros recuerdos las tristes tragedias Alcalá 20 en Madrid, hotel Corona de Aragón y discoteca Flying en Zaragoza, Aeropuertos de Barajas y Dusseldorf, aeronave de la Boeing en Canadá, por citar una mínima parte de ellos. En casi todos ellos se han manifestado causas y efectos comunes: humos opacos, tóxicos, corrosivos y, como consecuencia, gran cantidad de muertes por asfixia.

Las estadísticas establecen la gran frecuencia de incendios por muy diversos motivos. Las exigencias cada día mayores han echo aparecer especificaciones normas y recientemente el Reglamento de Baja Tensión, que regulan el empleo de determinados materiales, limitando otros y exigiendo la incorporación de cables especiales en áreas de concurrencia pública.





## 7.2 LOS CABLES Y EL FUEGO

Los cables, como componentes importantes que son en todas las instalaciones, no se han liberado de este tipo de exigencias en base a las siguientes razones:

Por ser elementos que cruzan las instalaciones de unas zonas a otras y se les puede considerar potenciales de vehículos de la propagación de los incendios.

Buena parte de su volumen está constituido por aislantes y cubiertas protectoras de materiales orgánicos y, por tanto son buenos combustibles susceptibles de ser afectados por el fuego, constituyéndose como autogeneradores de gases y humos inflamables que colaboran en la combustión conjunta, siendo siempre extremadamente tóxicos y corrosivos que liberan espesos humos opacos.



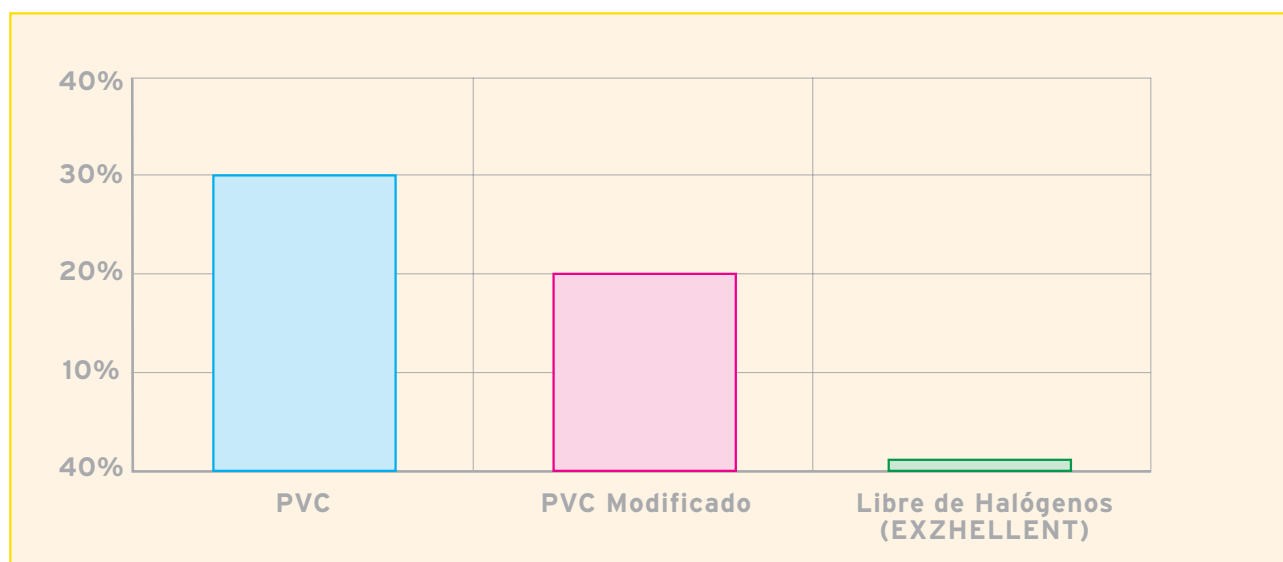
Su integridad eléctrica, al ser afectada por el fuego, puede quedar dañada generando cortocircuitos que facilitan la aparición de nuevos focos de incendios secundarios.

Es sobradamente conocido que, una vez producido el incendio, el elemento mas nocivo que aparece es el humo generado por la combustión de los materiales sometidos al fuego. En efecto, la mayoría de dichos materiales de naturaleza orgánica, emiten al arder gran intensidad de humos opacos con altas concentraciones de gases tóxicos y corrosivos que los hace ser irrespirables, produciendo además la pérdida de visibilidad a un ambiente altamente nocivo en las áreas por donde se extiende, entorpeciendo además los trabajos de extinción y evacuación, de vital importancia de estas situaciones. Como mal menor, aunque no debe desestimarse, cabe destacar también las cuantiosas pérdidas que se originan por la inutilización de valiosos equipos electrónicos: Informática, comunicación, etc, afectados por la corrosividad de los gases.

## 7.3 LOS NUEVOS MATERIALES

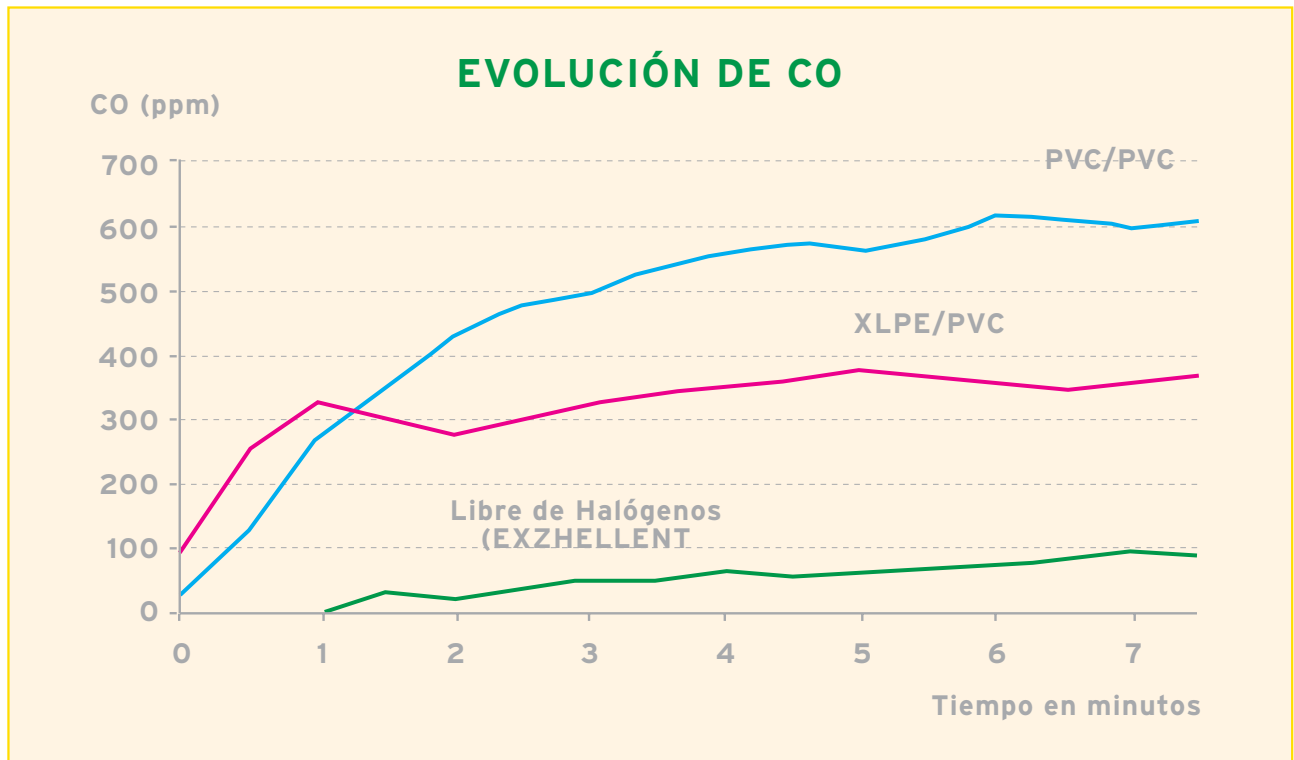
Cuando en la década de los cincuenta aparecieron los plásticos se dio un gran paso en el mundo industrial. Los cables fueron despojados de sus anticuados sistemas de aislamiento y protección, siendo sustituidos por polímeros derivados del petróleo. Los resultados fueron excelentes, no sólo bajo el punto de vista del dieléctrico, sino que también pudieron incrementarse: las temperaturas de servicio, manejabilidad, durabilidad y estabilidad térmica: incluso, ante la necesidad, se generaron plásticos especiales para altas y bajas temperaturas, resistentes a hidrocarburos, a los ácidos, disolventes... La tecnología y la investigación avanzaron tanto en las dos últimas décadas, que prácticamente para cada tipo de cable, con independencia de su destino o uso, existe un plástico específico.

### EMISION DE HALÓGENOS (%HCL)



Pero si bajo el punto de vista general, como hemos descrito, los plásticos tienen hoy por hoy infinidad de aplicaciones en los cables eléctricos, debemos saber y reconocer que cuando algunos plásticos, como el policloruro de vinilo (PVC), se queman, emiten humos intensos totalmente opacos con enormes contenidos de gases tóxicos y corrosivos, debido a la liberación de gran cantidad de cloro en forma de gas clorhídrico.

Esta realidad ha determinado que aparezcan unos nuevos materiales, que empleados como aislamientos y cubiertas en sustitución del PVC u otros polímeros como el policloropreno, constituyen la base de los nuevos cables destinados a instalaciones dentro de recintos considerados como de pública concurrencia.

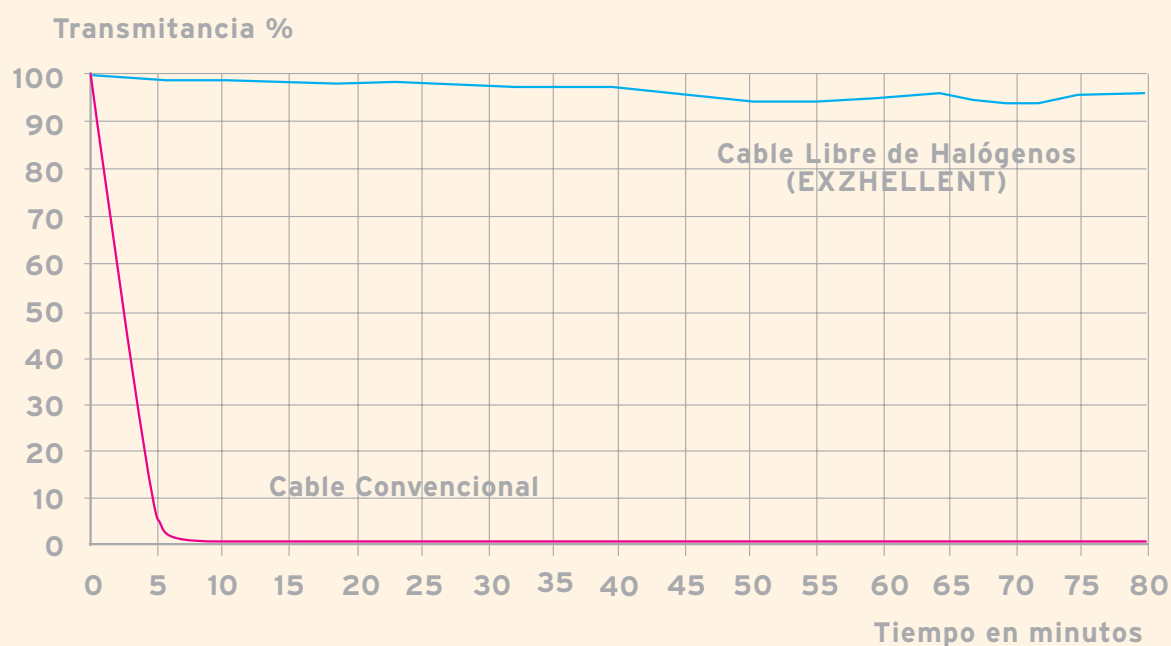


- El aumento de la emisión de CO en los cables EXZHELLENT es muy lenta y reducida.
- Es fundamental que se genere poca concentración de CO en los primeros 3 ó 4 minutos de iniciarse el incendio. Pueden evitarse las víctimas.

## 7.4 LA SOLUCIÓN EXZHELLENT (AS)

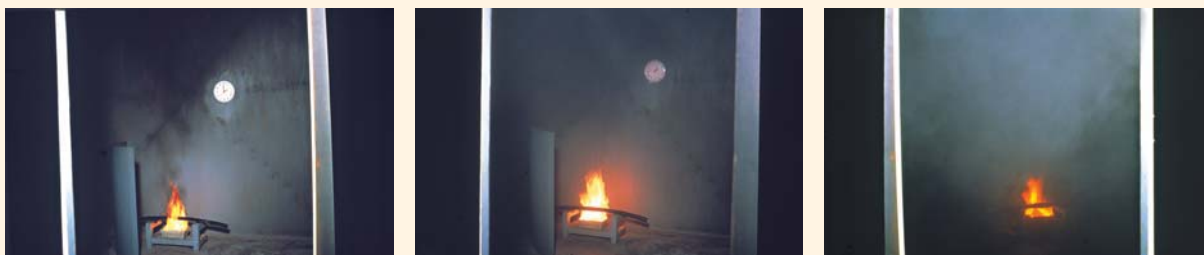
La serie de los cables Exzhellent de GENERAL CABLE produce en las diferentes plantas de producción, ha sido especialmente concebida para eliminar, en lo que a los cables eléctricos se refiere, todos los inconvenientes anteriormente descritos, pues a su condición de ser "UNFIRE", no propagador de incendio, una condición básica y fundamental que elimina riesgos dada su muy limitada tendencia natural a ser combustible, hay que añadir que, están diseñados y fabricados con materiales especiales que en caso de ser afectados por el fuego, sus humos son translúcidos, sin presencia de halógenos y por tanto de reducida toxicidad y corrosividad.

## DIAGRAMA COMPARATIVO DE LA EVOLUCIÓN DE LA TRANSMITANCIA EN EL TIEMPO PARA CABLES CONVENCIONALES LIBRES DE HALÓGENOS



## ENSAYO DE TRANSMITANCIA LUMINOSA EN CÁMARA DE 27mm<sup>2</sup>

### CABLE CONVENCIONAL



### CABLE EXZHELLENT





## 7.5 SEGURFOC 331 (AS+).

### CABLES RESISTENTES AL FUEGO

En las instalaciones anteriores de edificación, cuya concentración está considerada como local de pública concurrencia, se deben distinguir dos circuitos o canalizaciones eléctricas diferentes por su función.

#### 7.5.1 SERVICIOS GENERALES

Este circuito, hasta hace pocos años único, es el más extenso y voluminoso, está integrado por toda la red de distribución y comprende los circuitos de potencia, iluminación e incluso control y transmisión de datos, así como todo el conjunto de derivaciones por simples que estas sean, es de obligado cumplimiento, según se desprende de la ITC-BT-028, "Locales de pública concurrencia", el empleo de cables EXZHELLENT (AS), no propagadores del incendio, sin emisión de halógenos y escasa generación de humos, siendo éstos translúcidos en caso de ser afectados por el fuego.

#### 7.5.2 SERVICIO DE SEGURIDAD

Este segundo circuito, de menor extensión y volumen que el anterior, está constituido por una red independizada de la anterior, con elementos de protección y seccionamiento propios. Esta canalización está proyectada única y exclusivamente para comenzar a actuar automáticamente al declararse un incendio, procediendo a alimentar: las alarmas acústicas, señales y avisos luminosos, extractores de humos, alimentación de motobombas impulsoras de agua y todo el conjunto de receptores necesarios para ayudar a los equipos de extinción y rescate.



#### 7.5.3 LA SOLUCIÓN SEGURFOC-331 (AS+)

En consecuencia GENERAL CABLE desde hace muchos años dispone especiales denominados genéricamente Resistentes al fuego "SEGURFOC-331 (AS+)" que pueden soportar temperaturas superiores a 830°C durante más de 90 minutos (PH90) ininterrumpidos de servicio, alimentando los receptores descritos



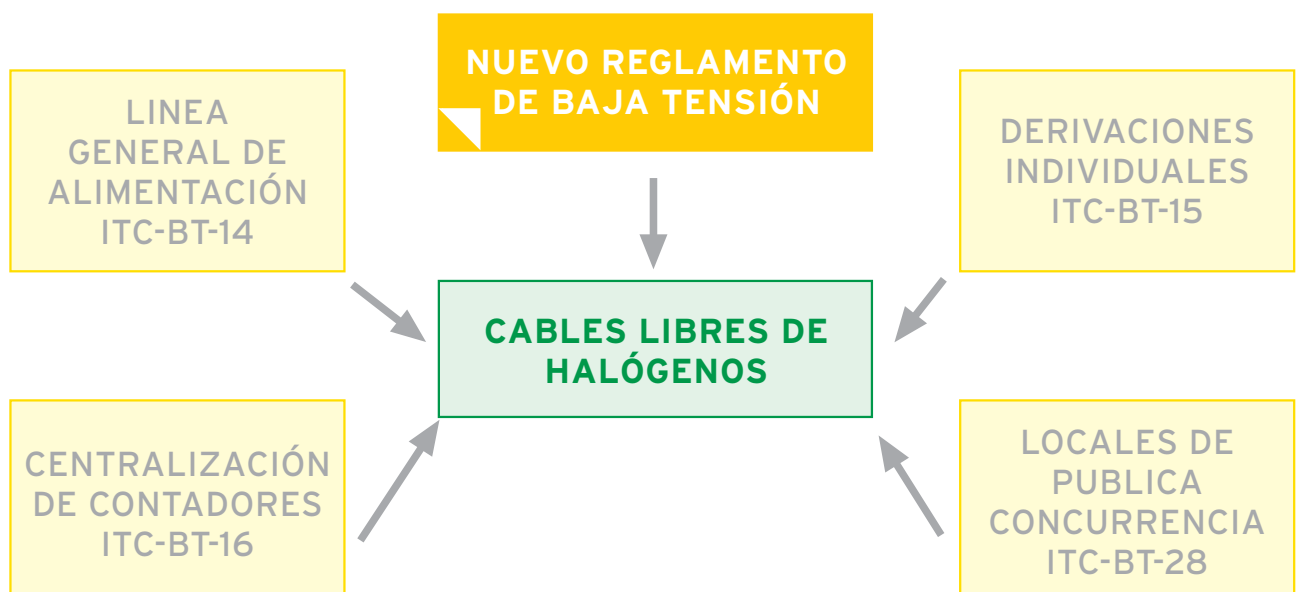
anteriormente, mientras los cables y circuitos convencionales están desconectados y por tanto fuera de servicio activo.

Los cables "SEGURFOC-331 (AS+)" Pueden quedar literalmente semidestruidos durante la explosión al fuego; no obstante, seguirán manteniendo un mínimo de resistencia dieléctrica, que les permite trasladar la potencia al punto de consumo con garantía suficiente durante un tiempo superior a 90 minutos (PH90).

Los aislamientos y cubiertas que constituyen este cable a pesar que pueden quedar los aislamientos destruidos por el fuego, no emiten gases halogenados de muy baja corrosividad y ausencia de humos opacos. El reglamento determina de obligado cumplimiento el empleo de cables SEGURFOC-331 (AS+). Resistentes al fuego y sin emisión de humos opacos ni gases halogenados, para los CIRCUITOS DE SEGURIDAD.

## 7.6 REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN

El Reglamento determina como de obligado cumplimiento, la incorporación de cables no propagadores del incendio y sin práctica emisión de humos opacos y halógenos según se detalla en el esquema siguiente, relativo a la vivienda y locales de pública concurrencia.





## ITC-BT-28 - LOCALES DE PÚBLICA CONCURRENCIA

**LOCALES DE ESPECTÁCULOS Y ACTIVIDADES RECREATIVAS CUALQUIERA QUE SEA SU CAPACIDAD DE OCUPACIÓN, LOS SIGUIENTES:**

TEMPLOS	MUSEOS	SALAS DE CONFERENCIAS
CASINOS	HOTELES	HOSTALES
BARES	CAFETERÍAS	RESTAURANTES
ZONAS COMERCIALES	AEROPUERTOS	ESTACIONES DE VIAJEROS
HOSPITALES	AMBULATORIOS	GUARDERÍAS
ASILOS		

**SI LA OCUPACIÓN PREVISTA ES SUPERIOR A 50 PERSONAS (40 m<sup>2</sup> útiles):**

BIBLIOTECAS	CENTROS DE ENSEÑANZA	CONSULTORIOS MÉDICOS
ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES	OFICINAS PÚBLICAS	RESIDENCIAS
GINMASIOS	SALAS DE EXPOSICIONES	CENTROS CULTURALES
CLUBES SOCIALES	CLUBES DEPORTIVOS	

**IGUALMENTE SE APLICAN A AQUELLOS LOCALES EN CONDICIONES BD-2, BD-3 Y BD-4, SEGÚN LA NORMA UNE 20460-3 Y A TODOS AQUELLOS LOCALES NO CONTEMPLADOS EN LOS APARTADOS ANTERIORES, CUANDO TENGAN UNA CAPACIDAD DE OCUPACIÓN DE MÁS DE 100 PERSONAS**

DESIGNACIÓN DE CARACTERÍSTICAS			APLICACIONES Y EJEMPLOS
BD-2	DIFÍCIL EVACUACIÓN	BAJA DENSIDAD DE OCUPACIÓN. CONDICIONES DIFÍCILES DE EVACUACIÓN	EDIFICIOS DE GRAN ALTURA
BD-3	ATESTADO	ALTA DENSIDAD DE OCUPACIÓN. FÁCILES CONDICIONES DE EVACUACIÓN.	LOCALES ABIERTOS AL PÚBLICO (TEATROS, CINES, GRANDES ALMACENES, ETC.)
BD-4	DIFÍCIL Y ATESTADO	ALTA DENSIDAD DE OCUPACIÓN. DIFÍCILES CONDICIONES DE EVACUACIÓN.	EDIFICIOS DE GRAN ALTURA ABIERTOS AL PÚBLICO (HOTELES, HOSPITALES, ETC.)



8

**TABLA DE INTENSIDADES  
MÁXIMAS ADMISIBLES  
EN SERVICIO  
PERMANENTE**

## 8.1 CONDICIONES DE INSTALACIÓN

En las tablas 6 a 9 se dan las intensidades máximas admisibles en régimen permanente para los cables con conductores de cobre o aluminio, con aislamientos de EPR o PRC (XLPE), unipolares o tripolares, bien instalados al aire o enterrados, para cables de Media Tensión (1,8/3 kV a 18/30 kV). Los valores indicados (\*) están determinados según el sistema de cálculo de la Publicación IEC - 287 (traducida a Norma UNE - 21144). En consecuencia, debe tenerse presente que, a esas intensidades, la temperatura a que se ve sometido el conductor es: 90° C.



También es necesario tener en cuenta que estos valores de intensidad están bajo las siguientes **condiciones de instalación:**

### CABLES ENTERRADOS

Cable tendido en tubos a una profundidad de 0,7 metros, siendo la resistividad térmica del terreno: 2,5 K·m/W y una temperatura del terreno de 25° C.

### CABLES AL AIRE

Una terna de cables unipolares en contacto mutuo, o un cable bipolar o tripolar dispuestos de forma que entre ellos se logre una eficaz renovación del aire, una temperatura ambiente de 40° C y no expuestos a la luz solar.

Para ambos casos, si las condiciones que se nos pudieran dar no se ajustasen exactamente a los modelos arriba indicados como referencia, deben aplicarse los correspondientes factores de corrección de las páginas siguientes, donde se reflejan las condiciones más comunes y usuales.

Salvo algunos coeficientes, como los aplicables a temperaturas menores a las de referencia indicadas o bien resistividades





térmicas inferiores a la expresada como tipo que aumentan la intensidad máxima admisible de las tablas 6 a 9, el resto de los coeficientes hace disminuir a veces de forma muy importante la intensidad dada como máxima, sobre todo cuando intervienen varias condiciones que evidentemente hay que encadenar.

Para los cables de Baja Tensión, la aplicación seguirá los mismos valores de corrección que los indicados; si bien, además, tiene suma importancia tener presentes las caídas de tensión, siendo frecuente tener que aumentar la sección del conductor en longitudes medianas o largas para una intensidad que podría circular por secciones más pequeñas.



**(\*) NOTA:** Es de suma importancia recordar, respecto a las intensidades que figuran para cada sección y tanto si la instalación es aérea como subterránea, que el valor indicado es el máximo permisible en régimen permanente y que para esa intensidad el conductor tomará una temperatura de 90° C si los aislamientos son termoestables (XLPE, EPR), ó de 70° C si son termoplásticos (PVC, PE). En consecuencia, cualquier coeficiente reductor aplicable a la instalación, por ejemplo: cables expuestos al sol (coeficiente 0,9), hace disminuir directamente la capacidad máxima original en un 10%. Es frecuente que en las instalaciones existan, por diversos motivos, varios coeficientes que una vez aplicados nos determinarán tomar cables de mayor sección que la prevista en un principio.

Por otra parte, también debemos ponderar en un estudio económico que cuando un cable eleva su temperatura en servicio por efecto Joule, estamos gastando gran cantidad de energía en kW/h bajo forma calorífica. Es evidente que entonces es preferible acudir a cables de mayor sección; el incremento en la inversión se amortizará en muy poco tiempo.

## 8.2 INTENSIDADES MÁXIMAS

### ADMISIBLES EN SERVICIO PERMANENTE

(UNE 20460-5-523)

#### CABLES TENSIÓN NOMINAL: 0.6/1 kV

TABLA 6

INSTALACIÓN AL AIRE (Temperatura del aire: 40° C) TEMPERATURA MÁXIMA DEL CONDUCTOR: 90° C CABLES AISLADOS CON POLIETILENO RETICULADO (XLPE)						
SECCIÓN mm <sup>2</sup>	Nº CONDUCTORES DE COBRE			Nº CONDUCTORES DE ALUMINIO		
	UNO*	DOS	TRES	UNO*	DOS	TRES
1,5	21	24	20	-	-	-
2,5	29	33	26,5	22	25	20
4	38	45	36	29	35	27,5
6	48	57	46	38	45	36
10	68	79	65	53	61	50
16	91	105	87	70	83	66
25	116	123	110	88	94	84
35	144	154	137	109	117	104
50	175	188	167	133	145	127
70	224	244	214	170	187	162
95	271	296	259	207	230	197
120	314	348	301	239	269	228
150	363	404	353	277	312	264
185	415	464	391	316	359	301
240	490	552	468	372	429	355
300	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	-	-
630	-	-	-	-	-	-

Si existen condiciones especiales en la instalación, en la elección de la sección deben aplicarse factores de corrección.

\* Se consideran 3 conductores cargados.



## INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES

### EN SERVICIO PERMANENTE

#### (UNE 20460-5-523)

#### CABLES TENSIÓN NOMINAL: 0.6/1 kV

TABLA 7

INSTALACIÓN ENTERRADA (Temperatura del terreno: 25° C) Resistividad térmica del terreno: 2,5 K·m/W TEMPERATURA MÁXIMA DEL CONDUCTOR: 90° C CABLES AISLADOS CON POLIETILENO RETICULADO (XLPE)				
SECCIÓN mm <sup>2</sup>	Nº CONDUCTORES DE COBRE		Nº CONDUCTORES DE ALUMINIO	
	DOS	TRES	DOS	TRES
1,5	24,5	21	-	-
2,5	32,5	27,5	24,5	21
4	42	35	32,5	27,5
6	53	44	40	34
10	70	58	53	45
16	91	75	70	58
25	116	96	89	74
35	140	117	107	90
50	166	138	126	107
70	204	170	156	132
95	241	202	185	157
120	275	230	211	178
150	311	260	239	201
185	348	291	267	226
240	402	336	309	261
300	455	380	349	295
400	-	-	-	-
500	-	-	-	-
630	-	-	-	-

Si existen condiciones especiales en la instalación, en la elección de la sección deben aplicarse factores de corrección. Circuitos con cables unipolares según UNE-20460-5-523 se puede tomar los valores de las columnas "DOS" o "TRES" en función del número de cables unipolares cargados del circuito en cuestión.

## 8.3 CABLES INSTALADOS AL AIRE

### FACTORES DE CORRECCIÓN

#### CABLES INSTALADOS AL AIRE EN AMBIENTES DE TEMPERATURA DISTINTA DE 40°C.

Coefficientes de corrección para temperatura ambiente distinta de 40°C.

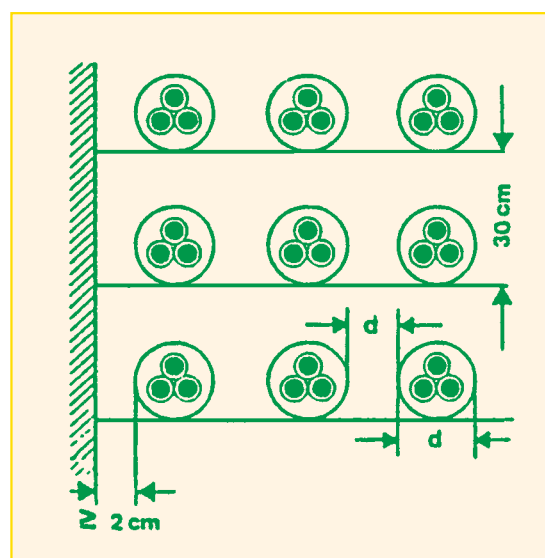
TEMPERATURA	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Cables aislados con PVC	1,35	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,81	0,71	-0,58
Cables aislados con XLPE, EPR	1,22	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90	0,84	0,77

#### CABLES INSTALADOS AL AIRE EN CANALES O GALERÍAS.

Se observa que en ciertas condiciones de instalación (en canalillos, galerías, etc.), el calor disipado por los cables no puede difundirse libremente y provoca un aumento de la temperatura del aire. De la magnitud de este aumento dependen muchos factores y debe ser determinado en cada caso. Para valoración aproximada, debe tenerse presente que la sobre elevación 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.

#### CABLES TRIFÁSICOS O TERNAS DE CABLES INSTALADOS AL AIRE Y AGRUPADOS.

Cables trifásicos o ternas de cables tendidos sobre bandejas continuas (la circulación del aire es restringida), con separación entre cables igual a un diámetro "d". Distancia de la pared > 2 cm.





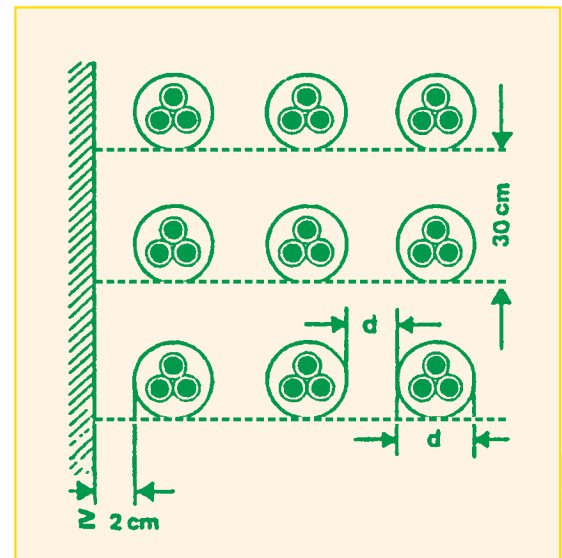
### FACTORES DE CORRECCIÓN

NÚMERO DE BANDEJAS	NÚMERO DE CABLES O TERNAS			
	1	2	3	6
1	0,95	0,90	0,88	0,85
2	0,90	0,85	0,83	0,81
3	0,88	0,83	0,81	0,79
6	0,86	0,81	0,79	0,77

Nota: Cuando la separación entre cables sea igual o mayor a "2d", no se precisa corrección.

### CABLES TRIFÁSICOS O TERNAS DE CABLES TENDIDOS SOBRE BANDEJAS PERFORADAS CON SEPARACIÓN DE CABLES IGUALES A UN DIÁMETRO "d".

Distancia de la pared > 2 cm.



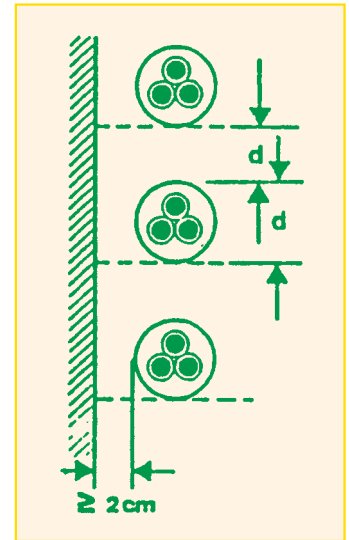
### FACTORES DE CORRECCIÓN

NÚMERO DE BANDEJAS	NÚMERO DE CABLES O TERNAS				
	1	2	3	6	9
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

Nota: Cuando la separación entre cables sea igual o mayor a "2d", no se precisa corrección.

## CABLES TRIFÁSICOS O TERNAS DE CABLES TENDIDOS SOBRE LA PARED, CON SEPARACIÓN DE CABLES IGUALES A UN DIÁMETRO "d".

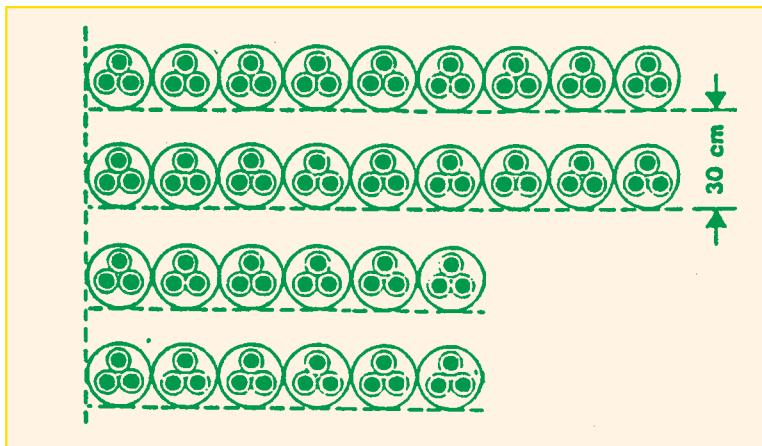
Distancia de la pared > 2 cm.



### FACTORES DE CORRECCIÓN

NÚMERO DE CABLES O TERNAS			
1	2	3	6
1	0,93	0,90	0,87

Nota: Cuando la separación entre cables sea igual o mayor a "2d", no se precisa corrección.



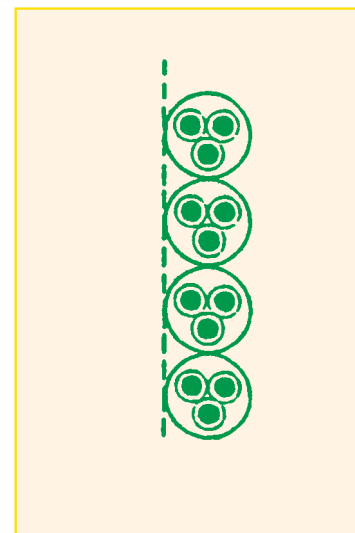
**CABLES TRIFÁSICOS O TERNAS DE CABLES EN CONTACTO ENTRE SÍ Y CON LA PARED, TENDIDOS SOBRE BANDEJAS CONTINUAS O PERFORADAS (LA CIRCULACIÓN DEL AIRE ES RESTRINGIDA).**

### FACTORES DE CORRECCIÓN

NÚMERO DE BANDEJAS	NÚMERO DE CABLES O TERNAS		
	2	3	6
1	0,84	0,80	0,75
2	0,80	0,76	0,71
3	0,78	0,74	0,70
6	0,76	0,72	0,68

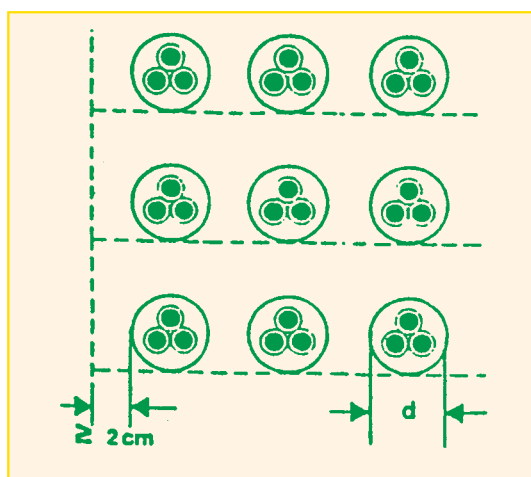


## CABLES TRIFÁSICOS O TERNAS DE CABLES EN CONTACTO ENTRE SÍ DISPUESTOS SOBRE ESTRUCTURAS O SOBRE LA PARED.



### FACTORES DE CORRECCIÓN

NÚMERO DE CABLES O TERNAS			
1	2	3	6
0,85	0,78	0,73	0,68



**AGRUPACIÓN DE CABLES TRIFÁSICOS O TERNAS DE CABLES, 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.**

### FACTORES DE CORRECCIÓN

NÚMERO DE CABLES COLOCADOS VERTICALMENTE	NÚMERO DE CABLES O TERNAS			
	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
más de 3	0,75	0,70	0,66	0,64

## CABLES EXPUESTOS DIRECTAMENTE AL SOL.

El coeficiente de corrección que deberá aplicarse en un cable expuesto al sol es muy variable. Se recomienda 0,90.

## 8.4 CABLES ENTERRADOS

### FACTORES DE CORRECCIÓN

#### CABLES ENTERRADOS CON TEMPERATURA DEL MISMO DISTINTA DE 25°C.

Coeficiente de corrección para temperatura ambiente distinta de 25°C.

TEMPERATURA	10	15	20	25	30	35	40	45	50
CABLES AISLADOS CON PVC	1,15	1,10	1,05	1	0,94	0,88	0,81	0,74	0,66
CABLES AISLADOS CON XLPE, EPR	1,11	1,07	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

#### CABLES DIRECTAMENTE ENTERRADOS O EN CONDUCCIONES ENTERRADAS EN TERRENOS DE RESISTIVIDAD TÉRMICA DISTINTA DE 150°C POR cm/w.

RESISTIVIDAD TÉRMICA DEL TERRENO °C cm/W	80	100	120	150	200	250	
COEFICIENTE DE CORRECCIÓN	UNIPOLARES	1,28	1,18	1,09	1	0,88	0,80
	TRIPOLARES	1,23	1,15	1,08	1	0,90	0,82

#### CABLES TRIFÁSICOS O TERNAS DE CABLES AGRUPADOS BAJO TIERRA

##### FACTORES DE CORRECCIÓN

DISPOSICIÓN DE LOS CABLES	2	3	4	5	6	8	10	12
CON SEPARACIÓN DE UNOS 7 CM (ESPESOR DE UN LADRILLO)	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50
EN CONTACTO	0,80	0,70	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47



## CABLES ENTERRADOS EN ZANJA A DIFERENTES PROFUNDIDADES

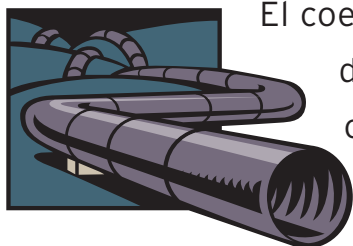
Para un cable tripolar o una terna de cables directamente enterrada, la intensidad admisible vendrá corregida por la aplicación de un coeficiente de corrección en función de la profundidad de instalación. En la tabla se relacionan los coeficientes a aplicar partiendo de una profundidad de instalación tipo, de 70 cm. o de 100 cm. Se recomienda que se instale un cable unipolar o tripolar por tubo. La relación del diámetro del tubo respecto al del cable será igual o superior a 2. Cuando sea necesario instalar una terna por tubo, la relación entre el diámetro del tubo y el diámetro aparente de la terna deberá ser igual o superior a 2.

Profundidad de instalación (m)	0,4	0,5	0,6	0,7	0,80	0,90	1,00	1,20
Factor de corrección	1,03	1,02	1,01	1	0,90	0,98	0,97	0,95

## CABLES ENTERRADOS EN ZANJA, EN EL INTERIOR DE TUBOS O SIMILARES, DE CORTA LONGITUD

Se entiende por corta longitud, instalaciones tubulares que no superen longitudes de 15 m (cruzamiento de caminos, carreteras, etc.). En este caso, no será necesario aplicar un coeficiente corrector de intensidad.

## CABLES ENTERRADOS EN 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 y variará para cada cable según esté colocado en un tubo central o en la periferia. Cada caso deberá estudiarse individualmente.

Se recomienda que se instale un cable unipolar o tripolar por tubo. La relación del diámetro del tubo respecto al del cable será igual o superior a 2. Cuando sea necesario instalar una terna por tubo, la relación entre el diámetro del tubo y el diámetro aparente de la terna deberá ser igual o superior a 2. Orientativamente, se recomienda aplicar un coeficiente corrector de 0,8 en el caso de una línea con cable tripolar o con una terna de cables unipolares en el interior de un mismo tubo. Si se trata de una línea con tres cables unipolares situados en sendos tubos, podrá aplicarse un coeficiente corrector de 0,9.

## 8.5 CORTOCIRCUITOS

### GENERALIDADES

Las redes eléctricas deben ser capaces de soportar sin daño permanente, no solamente las corrientes de trabajo, sino también las intensas corrientes que se producen en condiciones de defecto (cortocircuito) en la propia red o en los receptores de ella conectados. Estas corrientes son de corta duración (algunos segundos, como máximo), y desaparecen al actuar los dispositivos de protección que deben existir para estos efectos, pero a pesar de ello, su efecto térmico puede ser muy importante por el hecho de ser la intensidad en estas condiciones, un múltiplo elevado de la de trabajo normal y depender la producción de calor por unidad de tiempo del cuadrado de la intensidad de la corriente. En las redes trifásicas los cortocircuitos pueden ser de diversos tipos, dependiendo de los conductores que entran en contacto accidental. En la mayoría de puntos de un sistema eléctrico, el caso mas desfavorable es el cortocircuito trifásico franco, en el sentido de que en él se desarrollan las intensidades más elevadas.

Sólo en situaciones muy cercanas a generadores o transformaciones con neutro rígidamente conectado a tierra puede ser superior la intensidad de defecto monofásico o bifásico a la del trifásico. La intensidad en este último tipo (trifásico) es, por otra parte, la más fácilmente calculable, ya que corresponde a un estado simétrico en la red, mientras que en los casos no simétricos resulta necesario el uso de métodos más complejos para el cálculo (método de las componentes simétricas. método de las componentes de Clarke, etc.).

El cálculo de la corriente de cortocircuito en general, no es tema de este catálogo, no obstante para el caso de un cortocircuito tripolar, puede darse la forma de cálculo de la sección del conductor adecuada.

### CORTOCIRCUITO TRIPOLAR

La corriente del cortocircuito es necesaria para determinar las sollicitaciones térmicas y mecánicas a que van a estar sometidas las instalaciones y por tanto, los cables. Para determinar las sollicitaciones térmicas debe tenerse en cuenta el tiempo de sollicitación y el desarrollo de la corriente en la forma más completa



posible, tanto mejor, cuanto más breve sea la duración prevista del fenómeno. El desarrollo de la corriente depende de la corriente de cortocircuito permanente en el punto considerado, de las reactancias subtransitoria, transitoria y sincrónica del cortocircuito en cuestión, y el momento en que se produce.

En definitiva, para las solicitaciones térmicas se precisa la corriente eficaz equivalente térmica del fenómeno.

$$I^2 = \frac{\int_0^t i^2 dt}{t}$$

Para los valores de t del orden de la 1,5 segundos basta considerar la corriente de cortocircuito permanente. La corriente permanente simétrica de cortocircuito tripolar, en valor eficaz, puede ser calculada en base a la siguiente fórmula.

$$I_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3}U}$$

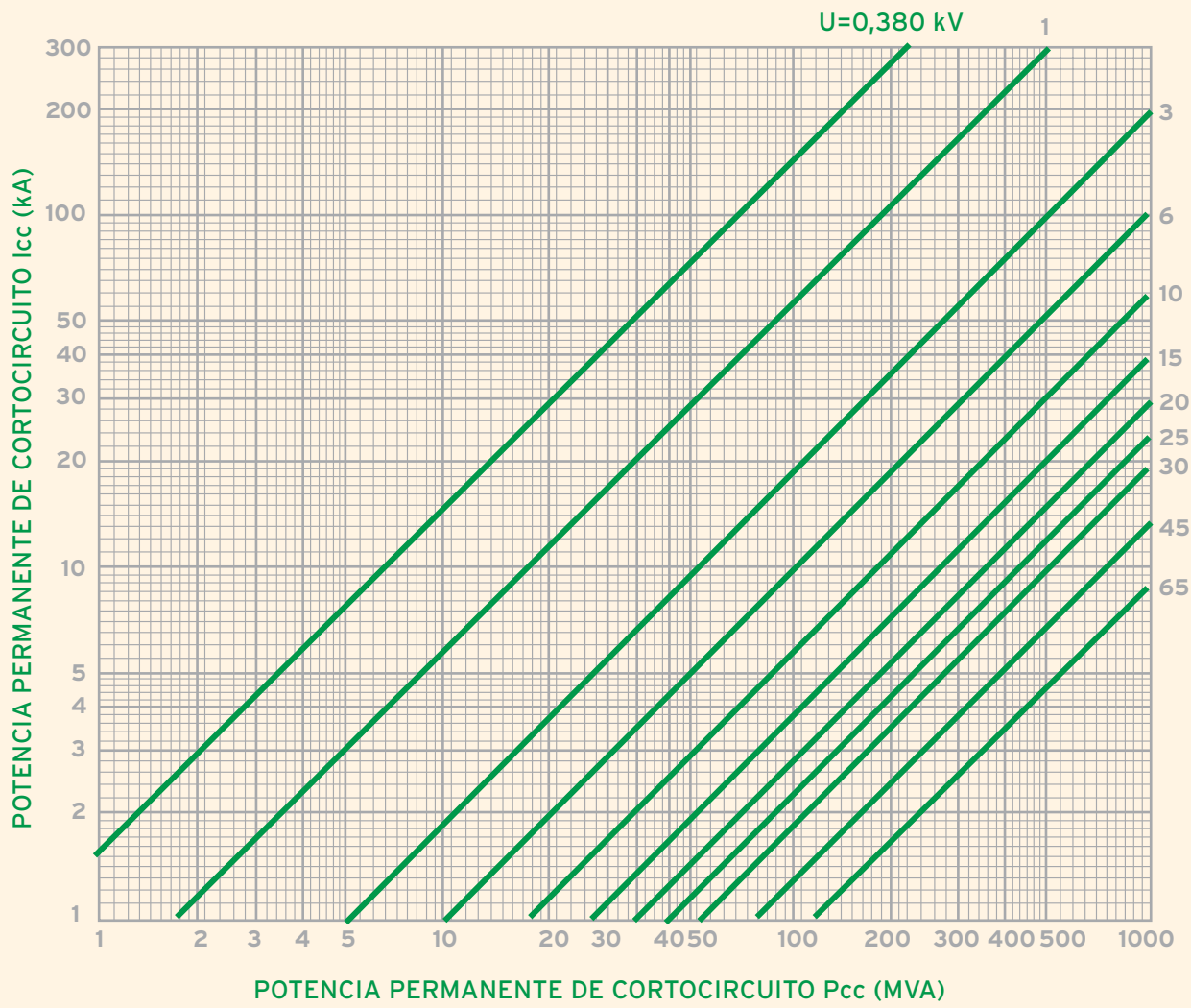
$P_{cc}$  = Potencia permanente de cortocircuito.

$U$  = Tensión nominal entre fases.

Esta fórmula nos viene reflejada en el gráfico 1 para el campo de aplicación normal de nuestros cables.

Las solicitaciones dinámicas son proporcionales al cuadrado del impulso de corriente de cortocircuito (valor de cresta): este valor dependiente de las reactancias citadas y del momento del cortocircuito, suele considerarse, para los casos más severos igual a  $1,8 \sqrt{2} I_{cc}$ . Las solicitaciones dinámicas someten a los cables y terminales a elevados esfuerzos mecánicos. En cables tripolares, estos esfuerzos son absorbidos por el efecto del cableado, cubierta o armaduras. Los cables unipolares deben fijarse adecuadamente a lo largo de tendido.

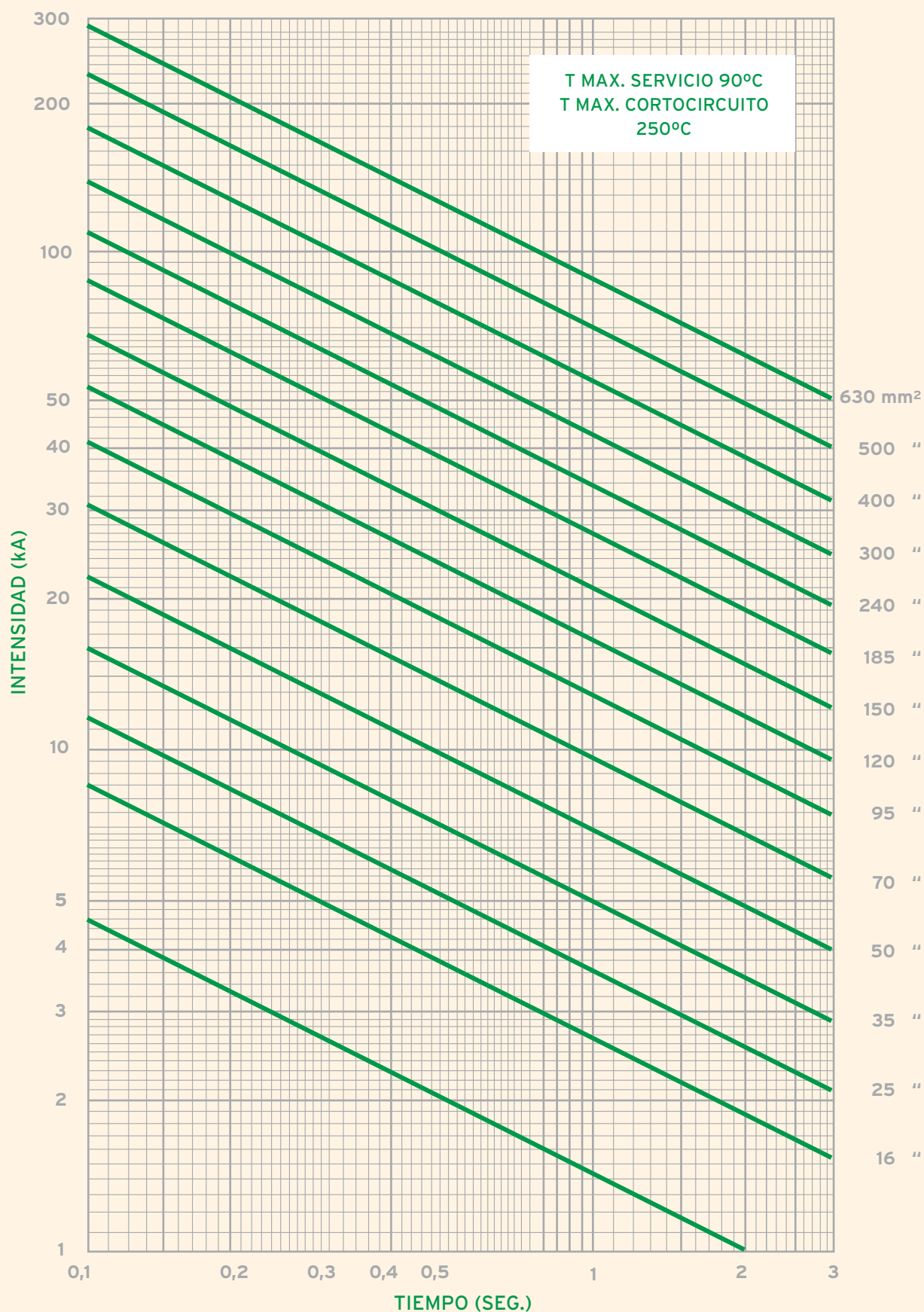
# GRÁFICO 1





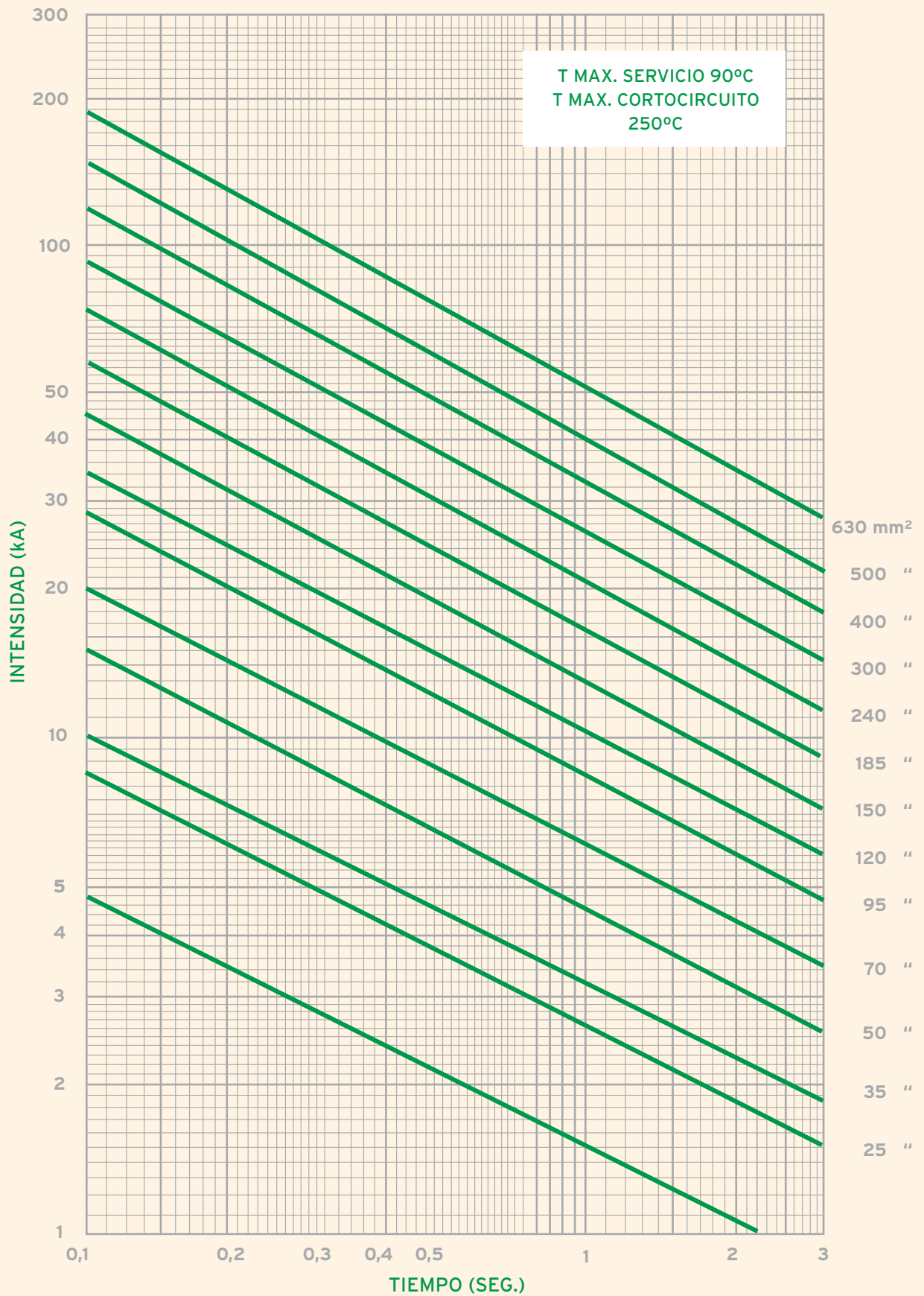
## GRÁFICO 2

INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO ADMISIBLE EN LOS  
CONDUCTORES DE LOS CABLES VULPREN Y HERSATENE (CONDUCTORES DE COBRE)



### GRÁFICO 3

INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO ADMISIBLE EN LOS CONDUCTORES DE LOS CABLES VULPREN Y HERSATENE (CONDUCTORES DE ALUMINIO)





## CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN EL CONDUCTOR

En los gráficos 2 y 3 se expresan las intensidades de cortocircuito admisibles por los cables: VULPREN y HERSATENE con conductores de cobre o aluminio, en función del tiempo en segundos de duración del cortocircuito y de la sección nominal del conductor. Estas intensidades han sido calculadas suponiendo:

1. Fenómeno de duración limitada
2. La temperatura antes del cortocircuito, es la máxima admisible en régimen permanente, para cada tipo de aislamiento.
3. La temperatura al final del cortocircuito es la máxima admisible por el aislamiento para este régimen
4. Todo el calor generado se acumula en la masa del conductor incrementando su temperatura y por consiguiente el que se transmite al exterior es nulo (proceso adiabático). En estas condiciones se puede aplicar la fórmula:

$$I_{cc} = S \frac{C}{\sqrt{t}}$$

$I_{cc}$  = Corriente de cortocircuito admisible, en A

$S$  = Sección del conductor en mm<sup>2</sup>

$t$  = Tiempo de duración del cortocircuito, en seg.

$C$  = Coeficiente que depende de la naturaleza del conductor y de sus temperaturas al inicio y final del cortocircuito

CONDUCTOR	VALORES DE C
	AISLAMIENTO
	EPR Y XLPE
Cu	141,8
Al	92,8



9

**DIELÉCTRICOS**

## 9.1 DIELECTRICOS

### 9.1.1 ¿QUÉ SON LOS DIELECTRICOS?

Los dieléctricos son materiales, generalmente no metálicos, con una alta resistividad, por lo que la circulación de corriente a través de ellos es muy débil (corriente de paso o de fuga).



Aprovechando esta característica, se emplean como aislantes para detener los electrones o para delimitar el camino que deben tomar.

### 9.1.2 RIGIDEZ DIELECTRICA

Es el máximo gradiente de potencial que puede soportar un material antes de que se produzca su destrucción por perforación; se expresa en Kilovoltios por milímetro. Su valor queda influido por las condiciones del ensayo. Suponiendo incluso que se consiga un campo sin distorsión (y en consecuencia perfectamente uniforme) y se establezcan las propiedades del material a ensayar eliminando impurezas y humedad, queda aún la influencia del tiempo de ensayo. El mecanismo de destrucción con tiempos de ensayo largos es un fenómeno térmico (calentamiento por pérdidas dieléctricas y corrientes de carga), mientras que en tiempos cortos estos fenómenos no influyen y nos encontramos frente a destrucciones físicas debidas a las fuerzas eléctricas presentes.

En general, la rigidez dieléctrica disminuye al aumentar el tiempo de ensayo según una ley aproximadamente hiperbólica.





### 9.1.3 CONSTANTE DIELECTRICA

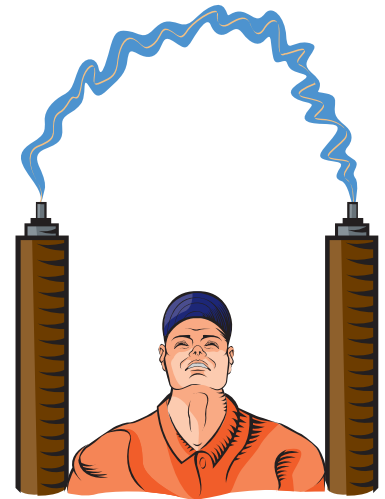
Es la relación que existe entre la carga que toma un condensador con el material considerado como dieléctrico y la que tomaría si el dieléctrico fuera el vacío.

El fenómeno que se mide corresponde a la polarización de las partículas unitarias que componen la estructura del dieléctrico. Cuanto mayor sea la separación entre las cargas elementales y su importancia dentro de la molécula mayor será la influencia que ejercerán sobre el campo eléctrico y mayor será en consecuencia la constante dieléctrica.

La energía acumulada en un condensador viene dada por:

$$W_e = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = \frac{1}{2} C_0 \epsilon U^2$$

de donde:  $\epsilon = \frac{C}{C_0}$



- $C$  = capacidad del dieléctrico en cuestión
- $C_0$  = capacidad siendo el dieléctrico el vacío
- $\epsilon$  = constante dieléctrica relativa

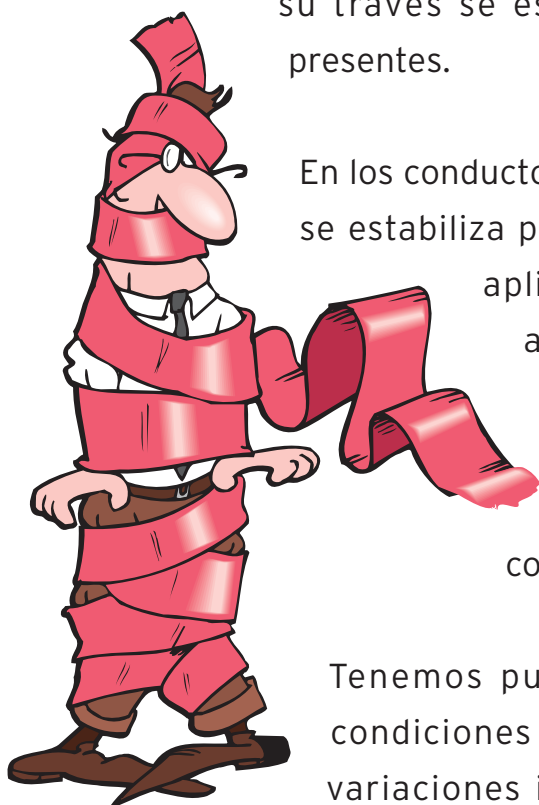
## 9.2 CONSTANTES DIELECTRICAS

### DE VARIAS SUSTANCIAS

SUSTANCIA	CONDICIONES	CONSTANTE DIELECTRICA
AIRE	GAS, 0° C, 1 ATMÓSFERA	1,00059
AGUA	LÍQUIDO, 20° C	80
ACEITE DE TRANSFORM.	LÍQUIDO, 20° C	2,24
CUARZO	CRISTAL, 20° C	4,27 - 4,34
POLIETILENO	SÓLIDO, 20° C	2,25 - 2,3
NEOPRENO	SÓLIDO, 20° C	4,1
PVC	SÓLIDO, 20° C	6 - 8
EPR	SÓLIDO, 20° C	3
XLPE (POLIET. RETICULADO)	SÓLIDO, 20° C	2,5 - 3

### 9.2.1 RESISTIVIDAD (Aislantes)

Cuando se somete un dieléctrico a una tensión continua, el paso de la corriente a su través se establece por medio de las pocas cargas libres presentes.



En los conductores con gran cantidad de cargas libres, el fenómeno se estabiliza para valores de resistencia (relación entre tensión aplicada e intensidad circulante) poco variables en amplios intervalos; no ocurre lo mismo en los dieléctricos en los que la temperatura y las impurezas pueden modificar notablemente las cargas libres presentes y en consecuencia la corriente de respuesta.

Tenemos pues que la resistividad varía mucho según las condiciones del ensayo y es fácil también que se presenten variaciones importantes con pequeñas modificaciones en la



composición del material. En general, la resistividad disminuye con el aumento de la temperatura y con la humedad (en los aceites).

La resistividad medida con corriente alterna es mayor que el valor obtenido con corriente continua, ya que intervienen otros fenómenos de transferencia de cargas.



### 9.2.2 RESISTENCIA SUPERFICIAL

En muchas ocasiones puede circular corriente por la superficie del dieléctrico en lugar de hacerlo a través de la masa. Este fenómeno no tiene ninguna relación con la resistividad propia del dieléctrico, sino que se mide por la resistencia superficial.

Influye mucho en este valor la calidad de la superficie y la presencia del polvo, humedad, etc. Este fenómeno es de poco interés en cables, ya que sólo influye en los terminales. Su importancia es básica en el diseño de aisladores en los que se deben evitar las descargas superficiales.

### 9.2.3 ABSORCIÓN ELÉCTRICA

Cuando se aplica una tensión a un dieléctrico, además de los fenómenos de polarización se presenta una absorción de carga eléctrica que ocurre durante un

tiempo (que puede ser importante) y cesa aunque persista la tensión.

Esta carga la volverá a ceder el dieléctrico si dejamos de aplicar tensión y cortocircuitamos los electrodos.

Este fenómeno es preciso que se tenga en consideración al efectuar las mediciones de resistencia, ya que la presencia de esta corriente puede alterar los valores obtenidos.



## 9.2.4 PÉRDIDAS DIÉLECTRICAS

Al aplicar una tensión alterna a un dieléctrico ocurrirán los siguientes fenómenos:



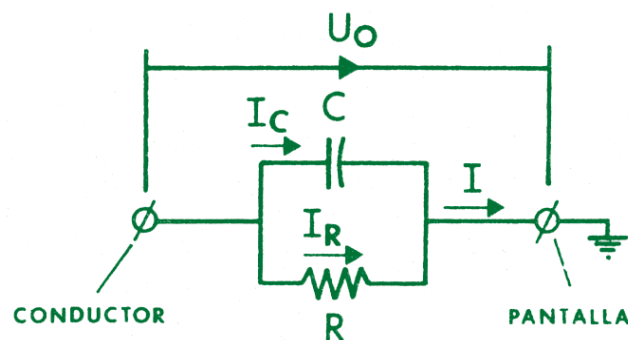
a) Circulará una corriente que cumplirá la ley de Ohm. El valor de esta corriente dependerá de la resistividad del aislante en las condiciones de trabajo. Su paso producirá calentamiento por efecto Joule.

b) Se presentará también una corriente de desplazamiento, adelantada  $\pi / 2$  radianes en el plano de Gaus respecto a la tensión aplicada. La magnitud de esta corriente dependerá de la constante dieléctrica del material (que influye en la capacidad del condensador que se forma). Esta corriente no calentará el dieléctrico por ser de desplazamiento.

c) Las masas polares vibrarán siguiendo la excitación a la que están sometidas. Este fenómeno producirá un calentamiento en el material que reflejará el proceso energético que ocurre en su interior. La medición de este fenómeno no es distinguible del que ocurre en el apartado a), salvo que aquel se presenta siempre y éste sólo cuando se trata de excitación alterna.

### ANGULO DE PÉRDIDAS

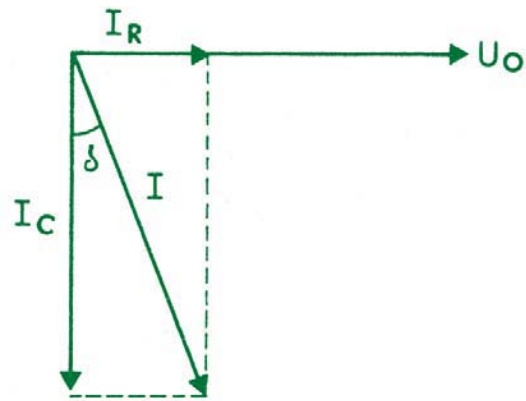
Dado que un cable no es un condensador ideal, existe una corriente  $I_R$  de fugas en el dieléctrico en fase con la tensión  $U_0$



ESQUEMA EQUIVALENTE



## DIAGRAMA VECTORIAL



La corriente real  $I$  en el dieléctrico forma un ángulo  $\delta$  (de pérdidas) con la corriente reactiva  $I_C$  defasada  $90^\circ$  de la tensión  $U$ , correspondiente a un condensador ideal sin pérdidas. Se expresa por:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

El ángulo de pérdidas depende de la temperatura, del material y de la frecuencia. En la Figura 1 se presenta la variación de  $\operatorname{tg} \delta$  con la temperatura para los distintos tipos de aislamiento.

### Conductancia de Aislamiento (Perditancia)

Se define la conductancia  $G$ , como la inversa de la resistencia de pérdidas del aislamiento.

$$G = \frac{I_R}{U_0} = \frac{I_C \operatorname{tg} \delta}{U_0} = \frac{\omega C U_0 \operatorname{tg} \delta}{U_0} = \omega C \operatorname{tg} \delta = \omega \epsilon C_0 \operatorname{tg} \delta \quad \text{Siemens/Km}$$

$\omega = 2\pi f$  = pulsación

$\epsilon$  = cte. dieléctrica relativa

$C_0$  = Capacidad considerando como dieléctrico el vacío

$\operatorname{tg} \delta$  = ángulo de pérdidas

Al producto " $\epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$ " se llama factor de pérdidas

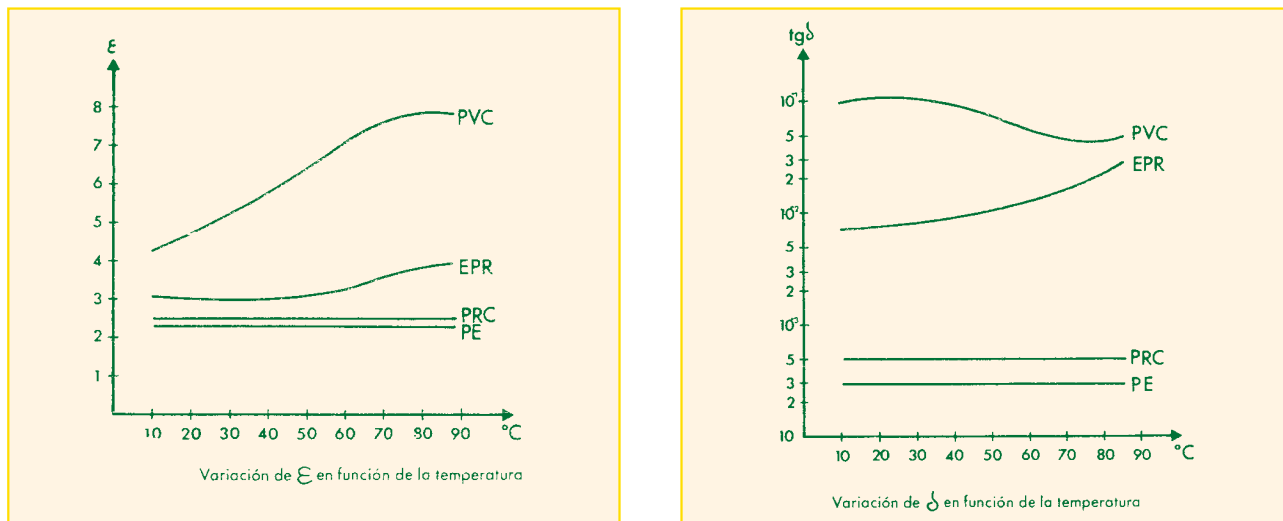


FIGURA 1

Las pérdidas dieléctricas por fase de una distribución trifásica vienen dadas por la fórmula:

$$Wd = \omega C U_0^2 \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-6} = G \cdot U_0^2 \cdot 10^{-6} \text{ en W/Km}$$

$U_0$  = tensión simple, en V

$C$  = capacidad en  $\mu\text{F/Km}$

Se observa que las pérdidas dieléctricas son proporcionales a la perditancia, y al cuadrado de la tensión simple. En los cables de baja tensión estas pérdidas son prácticamente despreciables. Van adquiriendo importancia a medida que se eleva la tensión.

## 9.2.5 FACTOR DE PÉRDIDAS

En los cables, para dar un índice de calidad del aislamiento, se acostumbra a medir el valor de la tangente ( $\operatorname{tg} \delta$ ). Este valor nos da la relación entre la corriente resistiva y la corriente capacitiva y debe permanecer lo más bajo posible y variar poco para el trabajo óptimo de cable. Un aumento en el valor de  $\operatorname{tg} \delta$ , significa la posibilidad de deterioro del dieléctrico al circular a su través corrientes que originarán calentamientos.





## 9.2.6 EFECTO CORONA

Si el campo eléctrico en un punto sobrepasa el valor de la tensión disruptiva del material presente, se producirá una ionización con creación de cargas libres por destrucción de moléculas equilibradas eléctricamente.

Puede ocurrir que este valor del campo eléctrico sólo se presente en determinados lugares, sea por concentración de campo debido a un diseño incorrecto o bien por la presencia de oclusiones de distinto valor de "épsilon" (por ejemplo, oclusiones de aire). Entonces, esta ionización se limita a este lugar de campo concentrado. A este fenómeno se le llama efecto corona y a la descarga limitada se le llama descarga parcial.

Existen dieléctricos que resisten bien niveles altos de descargas parciales y otros se degradan descomponiéndose ante la presencia de bajos niveles de ionización (muchos aislantes de tipo seco son sensibles a estos fenómenos).



## 9.2.7 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La resistencia de aislamiento de los cables se evalúa generalmente en MΩ por Kilómetro. Para una misma resistividad de su dieléctrico, la resistencia de aislamiento es tanto mayor cuanto más grande es el espesor del aislante y más pequeño el diámetro del conductor.

El valor de la resistencia de aislamiento para cables de un solo conductor de sección circular, es:

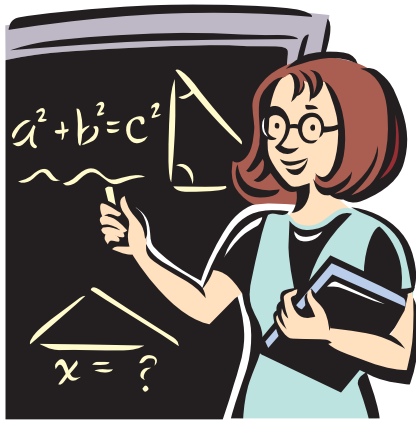
$$R=0,367 \frac{\vartheta}{l} \log \frac{d_2}{d_1}$$

$\vartheta$  = resistividad M por centímetro cúbico

$d_1$  = diámetro del conductor

$d_2$  = diámetro sobre aislamiento (expresado en las mismas unidades que  $d_1$ )

$l$  = longitud del cable en kilómetros



Definición de Ki:

Es la resistencia de aislamiento expresada en MΩ de un cable tipo, de 1Km de longitud, cuya relación de diámetros es 10 ( $d_2 / d_1 = 10$ ). El valor del Ki es sólo función del aislante.

$$K_i = 0,367 \cdot \vartheta \cdot 10^{-5} \text{ M}\Omega \text{ Km}$$

De este modo, puede compararse la resistencia de aislamiento de diferentes cables, calculando el Ki de los mismos

$$K_i = \frac{R \cdot l}{\log \frac{d_2}{d_1}}$$

$R$  = resistencia de aislamiento del cable, expresada en MΩ.

Por consiguiente, conociendo el valor de Ki, a 20° C, en los aislantes poliméricos más utilizados y empleando la fórmula anterior, podremos deducir fácilmente la resistencia de aislamiento en MΩ Km.

Tipo de aislante	Valor de Ki a 20°C
PVC	36,7
EPR	3.670
XLPE	3.670
PE	50.000
S (Silicona)	1.500



## 9.2.8 CAPACIDADES

---

La capacidad de un cable depende de las dimensiones del cable y de la cte. dieléctrica relativa del aislamiento.

En los cables de campo radial la capacidad se calcula considerando el cable como un condensador cilíndrico.

$$C = \frac{0,0241 \epsilon}{\log \frac{D}{d}} \text{ en } \mu\text{F/Km}$$

$\epsilon$  = cte. dieléctrica relativa

$D$  = diámetro sobre aislamiento

$d$  = diámetro del conductor, incluyendo la capa semiconductor

## 9.2.9 CAIDAS DE TENSION

---

En las líneas eléctricas, la existencia de resistencia y reactancia serie de ellas, origina una diferencia entre las tensiones en los extremos del tramo considerado, diferencia que recibe el nombre de caída de tensión. En su valor numérico influyen la naturaleza e intensidad de la corriente que recorre la línea, la longitud, dimensiones y disposición de los conductores.

En las líneas constituidas por cables aislados no se tiene en cuenta, salvo en casos de longitud muy elevada, la influencia de la capacidad entre conductores o entre ellos y tierra, a efectos de caída de tensión, lo que no significa que sea despreciable desde otros puntos de vista.

Igualmente se prescinde de la conductancia del aislamiento o perditancia. La línea puede presentarse mediante un circuito equivalente (Fig. 2), en el que  $R$  es la resistencia de la línea,  $X_L$  su reactancia inductiva y en el que suponemos que la mitad de la capacidad de la línea está concentrada en los extremos.

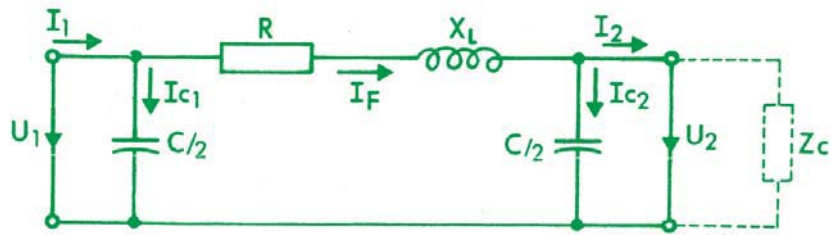


FIGURA 2

El diagrama vectorial equivalente de tensiones y corrientes es el de la Figura 3. Ahora bien, dado que la práctica  $I_{c1}$  e  $I_{c2}$  son bastante inferiores a  $I_1$  e  $I_2$  se utiliza el diagrama simplificando que muestra la Figura 4.

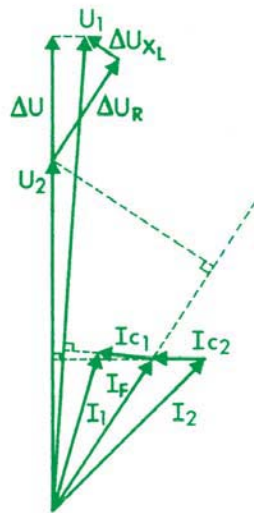


FIGURA 3

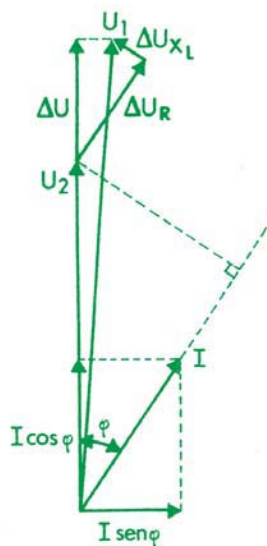


FIGURA 4

Prácticamente las fórmulas que se utilizan para el cálculo de la caída de tensión son las siguientes:

1) Corriente alterna trifásica:

$$\Delta U = \sqrt{3} I L (r \cos \varphi + x \operatorname{sen} \varphi) = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X_L \operatorname{sen} \varphi)$$

$$\Delta U = L \frac{rP + xQ}{U} = \frac{RP + X_L Q}{U}$$

$$\delta U = \frac{\sqrt{3} I L}{U} (r \cos \varphi + x \operatorname{sen} \varphi) = \frac{\sqrt{3} I}{U} (R \cos \varphi + X_L \operatorname{sen} \varphi)$$

$$\delta U = L \frac{rP + xQ}{U^2} = \frac{RP + X_L Q}{U^2}$$



- R = Resistencia total de un conductor
- r = Resistencia por unidad de longitud
- $X_L$  = Reactancia inductiva total de un conductor
- x = Reactancia por unidad de longitud
- L = Longitud de la línea
- P = Potencia activa
- Q = Potencia reactiva
- $\Delta U$  = Caída de tensión entre fases
- $\delta U$  = Caída de tensión porcentual entre fases
- U = Tensión compuesta

1) Corriente alterna monofásica:

$$\Delta U = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

$$\Delta U = \frac{RP + XQ}{U}$$

$$\delta U = \frac{I}{U}(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

$$\delta U = \frac{RP + XQ}{U}$$

R y X = valores totales para los dos conductores de la línea.

NOTA: En todos nuestros catálogos y CD-ROM, figuran las caídas de tensión en V/A·Km con  $\cos \varphi$  0,8 y 1 - para cada una de las secciones en mm<sup>2</sup>. La resistencia del conductor "R", en ohmios/Km, está referida a 90°C corriente alterna.



10

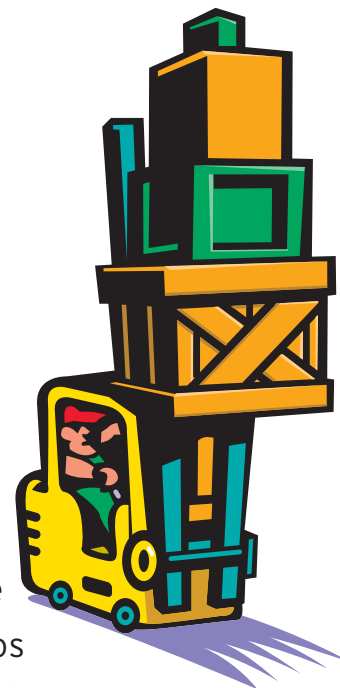
## **RECOMENDACIONES GENERALES**

**DE MANIPULACIÓN, TENDIDO  
E INSTALACIÓN DE BAJA Y  
MEDIA TENSIÓN EN  
CANALIZACIONES  
FIJAS**

## 10.1 RECOMENDACIONES GENERALES DE MANIPULACIÓN, TENDIDO E INSTALACIÓN DE CABLES DE BAJA Y MEDIA TENSIÓN EN CANALIZACIONES FIJAS

### 10.1.1 DESCARGA DE BOBINAS DESDE CAMIÓN

Se efectuarán mediante elemento de suspensión (grúa) o carretilla elevadora. Nunca se dejarán caer al suelo. La duela de protección no deben ser causa, por rotura, de posibles lesiones al cable. Se revisarán los posibles daños ocasionados al cable como resultado de un anormal tratamiento de la bobina en su manipulación durante o después del transporte. Una lesión del cable no detectada antes de su instalación puede reducir la vida útil del cable.



### 10.1.2 ALMACENAMIENTO DE BOBINAS

El suelo será duro, uniforme y de buen drenaje, si es a la intemperie. Las bobinas conservarán las duelas de protección hasta su tendido. Evitar la rodadura sistemática y, en todo caso, siguiendo el sentido del enrollamiento original a fin de que no se aflojen las espiras de cable y se arrastren por el suelo. Se cuidará de no dejar los extremos sin protección, tal como se expide de nuestros almacenes, a la vez que estén en el mismo sentido al de la lluvia.

Los cables sobrantes de obra se enrollarán, para su almacenamiento, sobre bobinas de núcleo igual o mayor que la original de suministro. Si se desconoce, utilizar como núcleo 20 veces el diámetro exterior del cable como mínimo.





### 10.1.3 TRASCANADO Y TRANSPORTE DE BOBINAS

Al retirar una determinada longitud de la bobina original, nunca debe enrollarse sobre diámetro inferior. Limitar la capacidad de las bobinas por el espacio que debe quedar libre para evitar que las espiras superiores no se presionen contra el suelo al rodar la bobina.

La temperatura mínima a que debe estar el cable para poder ser trasecanado o manipulado no deberá ser inferior a 5°C. De no ser así, debe atemperarse durante varias

horas a una temperatura superior.

El trasecanado se realizará suspendiendo la bobina por el

eje, con la salida del cable por su parte inferior. Es importante no tirar ni frenar bruscamente para evitar, al menos en cables de pequeña sección, estiramientos en el conductor que reducirían su área efectiva.



### 10.1.4 EMPLAZAMIENTO PARA EL TENDIDO

La bobina se emplazará de manera que el cable no quede forzado al tomar la alineación del tendido y la salida del cable por la parte superior, asegurando una mejor estabilidad.

### 10.1.5 TENDIDO DEL CABLE



Si la bobina ha estado a la intemperie y sobre todo en época invernal, se pondrá especial atención en que la temperatura del cable no esté por debajo de 5° C; en caso contrario debería atemperarse previamente. Es muy importante disponer de rodillos de alineación que, según la magnitud del cable, se situarán a distancias entre 3 y 10 metros. En los cambios de dirección se utilizarán rodillos de ángulo y al introducir los

cables en los tubulares, vados, etc. también es recomendable la utilización de rodillos guía.

En general, los rodillos deben ser de fácil rodamiento, de base estable y su diseño debe impedir que el cable se salga de la garganta del mismo.

También debe asegurarse el control de frenado de la bobina, que impida la formación de bucles y aflojado de espiras, ya que puede ser grave la aparición de "cocas" y torsiones.

### 10.1.6 ESFUERZOS DE TIRO

Para guiar el extremo del cable, se usa una "manga" unida a una cuerda. No se aconseja, si el arrastre es a mano, concentrarlo únicamente en ese extremo. Para repartir el esfuerzo, es recomendable distribuirlo a lo largo de la canalización en un número de personas suficiente al peso y número de rodillos. Se debe tener especial cuidado tanto en los cambios de dirección (curvas), así como en la entrada a tubulares, donde se dispondrán trompetas guía de protección.

Si el cable dispone de armadura metálica de alambres de acero galvanizado, la aplicación del esfuerzo se hará efectuando el amarre sobre la armadura. En caso de que no exista tal armadura, el esfuerzo máximo de tracción será limitado a 5 Kg/mm<sup>2</sup> si el cable tiene el conductor de cobre y a 3 Kg. /mm<sup>2</sup> si es de aluminio. Para controlar esta operación debe disponerse de dinamómetro. En todo caso, el esfuerzo de tiro será lo más uniforme posible, evitando los tirones bruscos.

**Ejemplo: Cable 3 x 240 mm<sup>2</sup> cobre = 3600 Kg**

**Cable 1 x 150 mm<sup>2</sup> aluminio = 450 Kg**

Si el trazado de la canalización presenta curvas, se deberá de disponer rodillos repartidos en el arco que describe la curvatura, siendo la tracción máxima en la curva, según la aplicación de esta expresión:

$$T \text{ max} = 450 \times R$$

**Ejemplo: Cable 1 x 240 mm<sup>2</sup>**

$$R = 2,66 \text{ metros}$$

$$T \text{ max} = 1200 \text{ Kg}$$





## 10.1.7 ZANJAS Y CRUZAMIENTO DE CALLES



La profundidad mínima será de 70 cm. El fondo se rellenará con 10 cm de tierra vegetal cribada o arena fina de río. Las paredes se entibarán si hubiese riesgo de caída de piedras. Los cables quedarán sobre el lecho descrito, guardando pequeñas ondulaciones (derecha e izquierda) que evitarán estiramientos de los cables en caso de corrimientos de terrenos. Sobre ellos se dispondrá una capa de tierra vegetal cribada o arena fina de río de 15 cm. de espesor. Finalmente, la señalización y protección se efectuará según las normativas e indicaciones de la empresa eléctrica explotadora.

En los cruzamientos de calles se debe utilizar tubular por cada cable, en disposición plana, con un diámetro 2 veces mayor que el diámetro del cable. Debe evitarse que los tubulares tengan internamente rebordes o elementos que pudieran dañar el cable al ser introducidos. Se recomienda dejar tubulares de reserva, que si no son utilizados deben taponarse.



## 10.1.8 TENDIDO DE CABLES EN GALERÍAS

Deben cumplirse los siguientes requisitos:

- Respetar los mínimos radios de curvatura.
- La galería debe permitir una disipación suficiente de las pérdidas térmicas.
- Evitar todo efecto perjudicial por desplazamiento, resultante de las dilataciones térmicas en régimen normal o por los esfuerzos electrodinámicos que aparecen durante un cortocircuito.
- Los medios de fijación de los cables deben evitar todo riesgo de corte con las aristas de soportes, abrazaderas, etc., como consecuencia de los posibles movimientos descritos anteriormente.
- La distancia máxima entre dos puntos de fijación sucesivos será de 0,40 m para cables no armados ni apantallados y 0,75 m para cables que dispongan de armadura metálica. Los cables multipolares no necesitan fijación.
- Fijar los cables en ambos lados de todo cambio de dirección y en la proximidad inmediata de la entrada a los aparatos de conexión.
- Las bridas empleadas en cables unipolares serán amagnéticas.
- Las bandejas metálicas, preferentemente perforadas, tendrán una anchura suficiente que permita la colocación de los cables con ligeras ondulaciones.
- La transición de galerías a zanjas se hará mediante tubulares con diámetro interno superior a dos veces el diámetro del cable. Se tendrá un solo cable por tubular y será de material amagnético cuando los cables sean unipolares.
- No se aconseja la colocación de múltiples circuitos en capas superpuestas





sobre la misma bandeja y sí prever la separación de los diferentes circuitos a efectos de limitar calentamientos mutuos, posibilidad de desplazamiento entre ellos y manipulación de los cables.

- En la medida de lo posible, no se colocarán cables de tensiones diferentes sobre una misma bandeja.
- Cuando sea necesario, y por el número elevado de circuitos, se usarán bandejas superpuestas y separadas 30 cm entre ellas que permitan un acceso fácil para la manipulación.



### 10.1.9 TENDIDO DENTRO DE TUBULARES

- Se reduce la capacidad de carga de los cables tendidos en tubulares, pero proporcionan la máxima protección mecánica exterior.
- Facilita las eventuales intervenciones posteriores al tendido.
- En tendidos largos se emplearán registros cada 30 / 40 metros, así como en cualquier cambio de dirección.
- Es importante proteger las bocas de entrada para evitar daños durante el tendido.
- Se recomienda impregnar la superficie de los cables con grasa neutra para facilitar el deslizamiento.
- Si se deben introducir varios cables por el mismo tubo se recomienda tirar del conjunto simultáneamente.
- El esfuerzo máximo de tracción, si el cable no tiene armadura de alambres, no debe ser superior a 5 Kg / mm<sup>2</sup> si el conductor es de cobre y a 3 Kg / mm<sup>2</sup> si es de aluminio.

## 10.1.10 INSTALACIÓN DE CABLES

- La fiabilidad y la seguridad de funcionamiento de toda la instalación eléctrica, depende de la calidad de los cables, de las precauciones de tendido y manejo de los mismos y de los accesorios a instalar en obra, incluido el cuidado en su confección. Dada la existencia de múltiples accesorios, tanto para baja como para media y alta tensión, se recomienda seguir las instrucciones de montaje específicas que facilite el fabricante de los mismos.
- La conexión de los conductores debe dejar plenamente garantizada su continuidad en cualquier situación de empleo exigible al cable.
- Los empalmes y derivaciones deben asegurar la conexión de los conductores, la reconstitución de los aislamientos y el mantenimiento de los demás elementos del cable (cubiertas, pantallas, armaduras, etc.). El material de reconstitución de la cubierta presentará, como mínimo, la misma resistencia a los agentes químicos circundantes en el terreno que la propia cubierta.
- Las terminaciones y cajas terminales deben asegurar el contacto eléctrico, el aislamiento de las piezas de contacto, la estanqueidad de los extremos de los cables y la conexión a tierra de las pantallas y armaduras de forma permanente.





## 10.2 OTRAS RECOMENDACIONES

### IMPORTANTES

Es necesario vigilar que las condiciones de tendido no puedan provocar un desequilibrio entre las impedancias de los diferentes conductores o fases en funcionamiento normal.

- Los desequilibrios de carga entre conductores o fases que pueden a su vez provocar calentamientos anormales.

Las líneas constituidas por varios cables unipolares por fase formando ternas, son una solución válida para el transporte de altas intensidades, si bien es conveniente utilizar cables de gran sección, al objeto de reducir al máximo el número de ternas en paralelo.

Con independencia de las agrupaciones y coeficientes a considerar por efectos de la disipación térmica, la instalación de ternas en paralelo, debe realizarse cuidadosamente al objeto de conseguir un reparto lo mas equilibrado posible de la carga de los cables conectados a una misma fase, cuestión que se llega a conseguir aceptablemente, cuando:

- Todos los cables tienen la misma sección.
- Todos los cables tienen la misma longitud.
- La agrupación, terna, la constituyen las fases R, S, T y además se encuentran agrupados al tresbolillo, es decir, formando triángulo equilátero, como formación ideal.
- Espaciar las ternas entre si, al menos con el espacio que tiene una misma terna
- La presión de los tornillos, en la conexión de los terminales de los cables a las barras o bornes, debe ser uniforme en todos ellos, por lo que deben utilizarse herramientas de apriete del tipo dinamométrico.
- Se debe tener presente que en circuitos de poca longitud (menos de 40 m.) entre principio y final, y en su conexión a las barras o



bornes, los cables dejan su formación relativa de agrupación (formación tresbolillo) para ir a buscar su punto de conexión, siendo entonces cuando se vuelve a acentuar el desequilibrio inductivo.

No obstante y a pesar de tener muy en cuenta estas recomendaciones, siempre existe la probabilidad que otras irregularidades no previstas o de difícil aplicación, generen algunos desequilibrios inductivos que alterarán de algún modo la carga. En previsión de ello se recomienda aplicar siempre un coeficiente reductor de al menos 0,9.

## 10.2.1 DISPOSICIÓN DE CABLES Y CONEXIÓN DE PANTALLAS

### ZANJAS CON CABLES DE DISTINTAS TENSIONES

Cuando en una zanja coincidan cables de distintas tensiones se situarán en capas horizontales a distinto nivel, de forma que en cada capa se agrupen los cables de igual tensión. La separación entre capas de cables de diferente tensión no será menor de 0,25 m, situando siempre los de mayor tensión en la zona más profunda.



La separación entre cables multipolares o ternas de cables unipolares dentro de la misma capa será al menos de 0,20 m. Es aconsejable utilizar, como separadores entre los diferentes circuitos de una misma capa, hileras de ladrillos que evitarán que posibles averías de un circuito dañen a otros contiguos.

Una vez tendidos los cables en su posición definitiva, deben ser protegidos con una capa de arena o tierra cribada con un espesor de unos 0,20 m.

Cuando se prevea una instalación subterránea bajo tubo, éste tendrá unas dimensiones interiores que estarán en función del diámetro del cable o de la terna:

**2 D para cables unipolares o tripolares**

**4 D para terna de cables unipolares**



En ocasiones, los tubos se rellenan con mezclas de tipo cemento débil, bentonita, etc., con ello se mejora la disipación de calor y se mantiene inamovible respecto a las dilataciones debidas a ciclos de carga. Otras veces se prefiere dejar el tubo libre para su fácil acceso posterior.

En los tendidos subterráneos de cables unipolares, sin tubos, los cables se pueden situar bien en PLANO (los tres cables en el mismo plano, separados entre sí por la distancia equivalente al diámetro de uno de ellos), o en TRIÁNGULO (los tres en contacto mutuo de forma que sus centros configuren un triángulo equilátero). Las ventajas e inconvenientes son las siguientes:

**PLANO:** Existe mayor distancia entre los conductores por lo que presentan mejor disipación de calor, pero también es mayor la inductancia (por tanto mayor caída de tensión); así se provoca un desequilibrio inductivo entre la fase central con respecto a las de los extremos.

**TRIÁNGULO:** Peor disipación de calor al calentarse mutuamente los cables. La corriente inducida en las pantallas es menor y presenta un buen equilibrio inductivo por anularse entre sí.

## 10.2.2 CONEXIÓN DE PARALELO DE CABLES

Cuando la potencia a transportar es importante, se puede recurrir a conectar en paralelo varios cables unipolares manteniendo las siguientes precauciones:



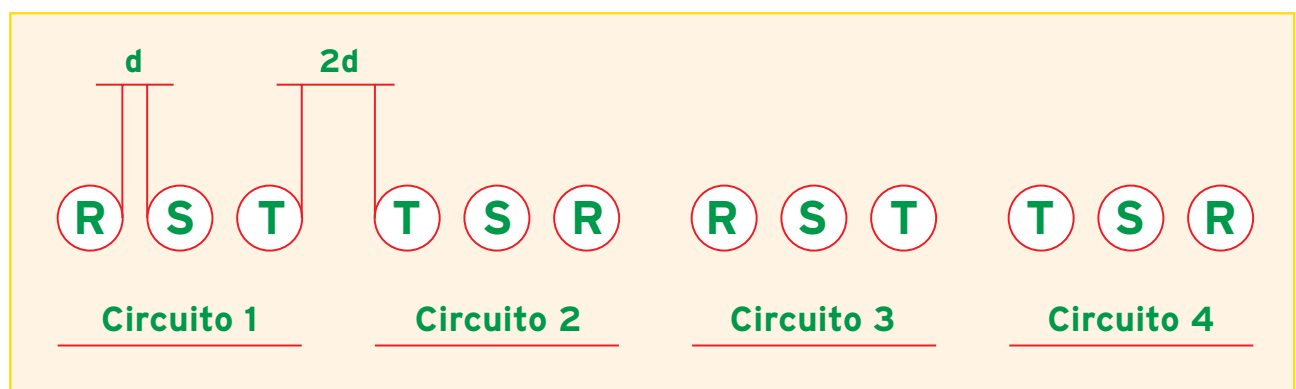
- Para conseguir una distribución equilibrada de corriente, los cables conectados han de ser de la misma sección y la misma longitud, así como

mantener la misma disposición relativa de los conductores de fase. No es fácil siempre cumplir estas condiciones, en particular en trayectos cortos donde suele ser difícil alterar la posición relativa de los distintos conectores, a efectos de poder conectar en los correspondientes bornes, los cables unipolares tienen que cruzarse alternando el orden y la posición.

- No es recomendable utilizar un cable tripolar, poniendo en paralelo sus tres conductores, ya que la disipación de calor es difícil y la intensidad admisible de la corriente debe reducirse. Si además el cable está armado con materiales magnéticos (p. ej. alambres o flejes de acero), el problema todavía es peor ya que estos materiales se calentarán por efecto de las corrientes inducidas.
- A igualdad de sección y longitud de cables, la distribución de la corriente entre ellos depende de la inducción soportada por cada uno de los cables paralelos de una misma fase. Si se consigue una influencia de la inducción igual para las tres fases, la distribución será uniforme.
- Si se utilizan cables tripolares, se conectarán de forma que cada conductor corresponda a una fase distinta. Debido al cableado de los conductores se elimina la influencia inductiva de los cables próximos, con lo que se obtiene una distribución de corriente totalmente uniforme.

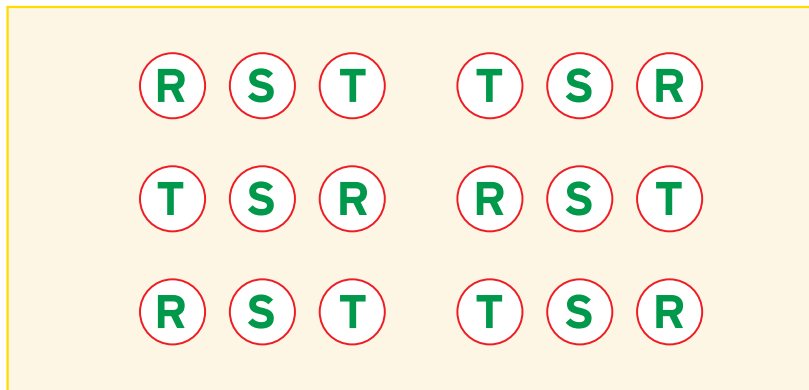
### 10.2.3 CIRCUITOS PRÓXIMOS CON CABLES UNIPOLARES

En el caso de varios circuitos próximos de cables unipolares en capa, la separación entre los dos sistemas de cables debe ser aproximadamente dos veces mayor que la distancia entre ejes de los cables unipolares del mismo sistema. El orden de fases dentro de un sistema es igualmente de suma importancia. La disposición más adecuada es la siguiente:

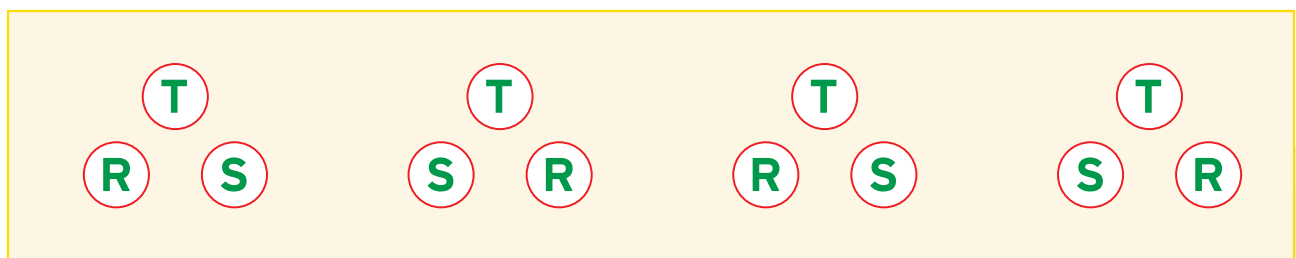




Si los cables han de tenderse sobre bandejas, los conductores unipolares pertenecientes a una misma fase no deben instalarse juntos, sino en diferentes planos. Si el espacio es suficiente, pueden instalarse en una misma bandeja dos sistemas con sucesión de fases permutadas. La disposición sería pues:



con separación vertical entre bandejas de 0,30 m. El coeficiente de inducción de los cables conectados en paralelo es prácticamente uniforme si se adopta esta posición. Si sólo se tiende un sistema, con la disposición en triángulo, se obtienen coeficientes de inducción iguales en las tres fases. Si se trata de varios sistemas en disposición de triángulo, es aconsejable colocar los cables de la siguiente forma:



La disposición en triángulo de varios sistemas superpuestos no es recomendable, pues los coeficientes de inducción de los cables en paralelo difieren considerablemente.



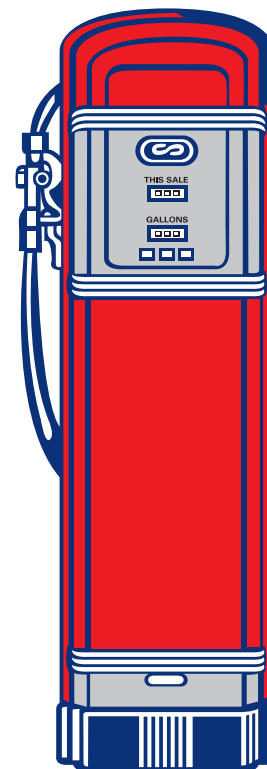
11

**CONDICIONES  
DE INSTALACIÓN  
PARA PLANTAS E INSTALACIONES  
POTENCIALMENTE  
EXPLOSIVAS  
O INFLAMABLES  
ITC-BT-29**

## 11.1 CONDICIONES DE INSTALACIÓN PARA PLANTAS E INSTALACIONES POTENCIALMENTE EXPLOSIVAS O INFLAMABLES

Se deberán minimizar el número y los emplazamientos con riesgo de explosión, procurando la instalación de material eléctrico en emplazamientos con el menor grado de peligrosidad.

Los criterios de selección del material eléctrico apropiado para el emplazamiento peligroso tendrán en cuenta la clasificación o zona de emplazamiento, la temperatura de ignición de los gases, vapores, polvos o fibras peligrosas, etc., así como las influencias externas y temperatura ambiente a que se verá sometido el material eléctrico.



## 11.2 CLASIFICACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS CON RIESGO DE INCENDIO O EXPLOSIÓN, SEGÚN LA I.T.C.

**Los emplazamientos de Clase I** son aquellos en los que hay o puede haber gases, vapores o nieblas en cantidad y concentración suficientes para producir atmósferas explosivas o inflamables. Están incluidos en esta clase los lugares en los que puede haber líquidos que producen vapores inflamables. Los emplazamientos de esta clase I se clasifican a su vez, según queda definido en la norma UNE - 60079-10, en tres zonas (Zona 0, Zona 1, Zona, 2).

Entre estos emplazamientos, a menos que el proyectista justifique lo contrario, según el procedimiento de UNE-EN 60079-10 se encuentran los siguientes:

- Aquellos en los que se trasvasen líquidos volátiles inflamables de un recipiente a otro (Ej: estaciones de servicio).





- Garajes y talleres de reparación de vehículos.
- Los interiores de cabinas de pintura donde se utilicen pistolas de pulverización.



● Las zonas próximas a los locales en que se realicen operaciones con pinturas por cualquier sistema, cuando en los mismos se empleen disolventes inflamables.

● Los emplazamientos en los que existan tanques o recipientes abiertos que contengan líquidos inflamables.

● Los secaderos o los compartimentos para la evaporación de disolventes inflamables.

● Los locales en que existan extractores de grasas y aceites que utilicen disolventes inflamables.

● Los lugares de las lavanderías y tintorerías en los que se empleen líquidos inflamables.

● Las salas de gasógenos.

● Las instalaciones donde se produzcan, manipulen, almacenen o consuman gases inflamables.

● Las salas de bombas y/o compresores para gases o líquidos inflamables.

● Los interiores de refrigeradores y congeladores en los que se almacenen materias inflamables en recipientes abiertos, fácilmente perforables o con cierres poco consistentes.



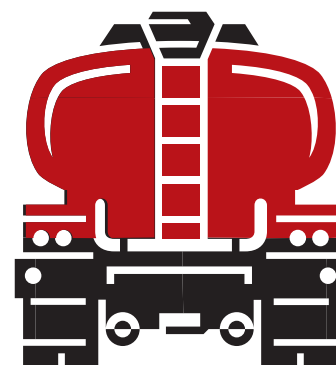
**Los emplazamientos de la Clase II** son aquellos en los que el riesgo se debe a la presencia de polvo combustible, excluyendo los explosivos propiamente dichos.

**Los emplazamientos de la Clase III** son aquellos en los que el riesgo se debe a la presencia de fibras o materiales volátiles fácilmente inflamables, pero en los que no es probable que estas fibras o materiales volátiles estén en suspensión en el aire en cantidad suficiente como para producir atmósferas explosivas.

**ZONA 0** es aquella en la que una atmósfera de gas explosiva está presente de forma continua, o se prevé que esté presente durante largos periodos de tiempo o cortos periodos pero que se producen frecuentemente.

**ZONA 1** es aquella en la que una atmósfera de gas explosiva no se prevé que pueda estar de forma periódica u ocasional durante el funcionamiento normal.

**ZONA 2** es aquella en la que una atmósfera de gas explosiva no se prevé que pueda estar presente en funcionamiento normal y si lo está será de forma poco frecuente y de corta duración.



### 11.2.1 ELECCIÓN DEL CABLE

---

Sea cual sea la modalidad de instalación, deberá respetarse, en los casos que afecte, todo cuanto se dispone en la ITC-BT-029 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión sobre exigencias en instalaciones eléctricas en locales con riesgo de incendio y explosión.

Según el apartado 5.6.2, las canalizaciones fijas en zonas 1 y 2 podrán realizarse con cables aislados con capa única (GENLIS Y EXZHELLENT-XXI), UNFIRE<sup>®</sup> (no propagador del incendio) instalado dentro de tubo metálico rígido o flexible, con las exigencias particulares propias definidas en el apartado 5.6.3 de esta I.T.C., o bien con cables que dispongan de una protección mecánica, tales como cables con funda de plomo y armados con alambres de acero galvanizado (ARMIGRON +Pb), cables con aislamiento mineral y cubierta metálica o bien cables armados con alambres de acero galvanizado y cubierta exterior no metálica (ARMIGRON Y EXZHELLENT-M), UNFIRE<sup>®</sup> (no propagador del incendio) siendo prescriptivo que



todos los cables armados deben disponer de una cubierta interna estanca bajo la armadura. Todos los cables de GENERAL CABLE, tipo ARMIGRON Y EXZHELLENT-M, UNFIRE® (no propagador del incendio) disponen de esta cubierta.

NOTA: En General Cable la cubierta interna y externa de estos cables son especialmente resistentes a la acción de los hidrocarburos.

Los cables para canalizaciones de equipos portátiles o móviles deben realizarse con cables flexibles con o sin armadura flexible y con cubierta de policloropreno o similar (FLEXIGRON - HO7RN - F), según la norma UNE-21027, o (FLEXIGRON DN-F 0,6/ 1 kv), según la norma UNE - 21150.

Si se instalan mazos de cables en zanjas sin relleno o en conductos estrechos, estos cables deberán ser no propagadores del incendio (UNFIRE), según la norma UNE - 20432.3. La intensidad admisible en los conductores deberá disminuirse en un 15% respecto al valor correspondiente a una instalación convencional.

## 11.2.2 INSTALACIONES ANTIDFLAGRANTES

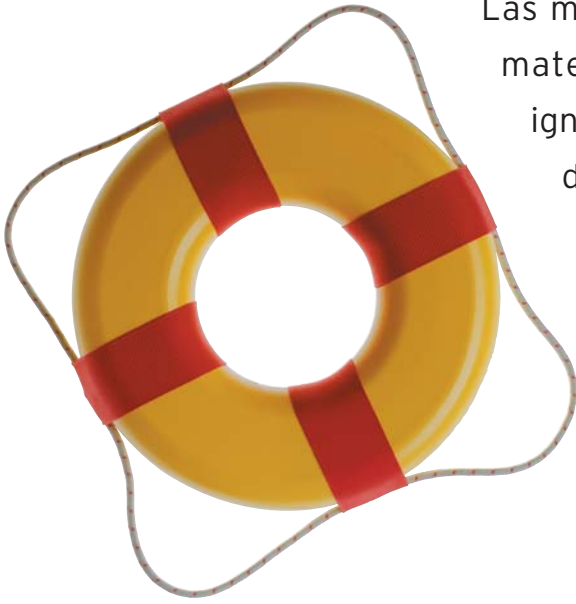
El material eléctrico con protección por envolvente antideflagrante es aquel en el cual se han aplicado medidas de diseño y construcción para evitar que dicho material provoque la ignición de la atmósfera circundante, para lo cual tendrá que ser capaz de soportar la explosión interna de una mezcla inflamable que hubiera penetrado en su interior, sin sufrir avería en su estructura y sin transmitir la inflamación interna por cualquier punto de comunicación con la atmósfera explosiva exterior. Se pueden citar, entre otros, interruptores, seccionadores, fusibles, relés, resistencias y, en general, los que pueden producir arcos, chispas, temperaturas superficiales elevadas o pueden almacenar electricidad estática.

Se deduce que una instalación de cables antideflagrantes estará constituida por el conjunto de elementos de aquella que, junto con el cable, cumplan dichas funciones; o sea, elementos tales como cajas de bornes, cajas de derivación y empalmes, prensaestopas de entrada a los mismos, aparatos eléctricos que conectan a ellos, etc.



### 11.2.3 MODOS DE PROTECCIÓN

---



Las medidas aplicadas en el diseño y construcción del material eléctrico para evitar que éste provoque la ignición de la atmósfera circundante se llaman modos de protección.

Entre los modos de protección respaldados por certificado de conformidad existen: la inmersión en aceite, la sobrepresión interna, el relleno pulverulento, la envolvente antideflagrante y la seguridad aumentada.



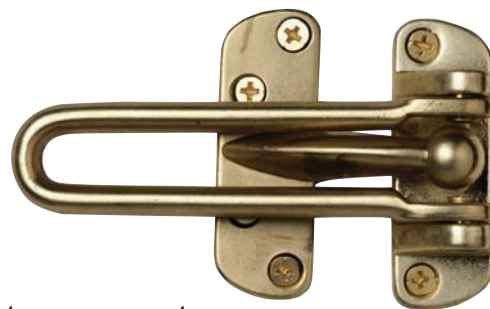
12

**AHORRO  
ENERGÉTICO**

## 12.1 AHORRO ENERGÉTICO

Es frecuente que al preguntar al responsable del diseño de una instalación eléctrica, el criterio de elección de la sección del cable, responda con frases similares a: "La que especifique el Reglamento", La que soporte la carga, La que se indique en catálogos, etc.

Es evidente que no se ha tenido presente, quizás por falta de información, que las intensidades máximas admisibles que figuran en estos documentos indicados, conllevan de forma automática a una elevación de la temperatura en el conductor a  $90^{\circ}\text{C}$ , si los cables son termoestables (Polietileno Reticulado ó caucho EPR), o bien de  $70^{\circ}\text{C}$ , si el cable es termoplástico (PVC). En consecuencia el cable puesto en servicio y de forma permanente se encontrará irradiando una energía en forma de calor que le afectará negativamente, degradando y envejeciendo los componentes del mismo, aislamientos y cubiertas, y por tanto acortando la vida útil del cable. Por otro lado debemos conocer que si el cable eléctrico es un elemento que conduce la energía hasta el punto de consumo en las mejores condiciones de seguridad y fiabilidad, no es menos importante saber que durante el trayecto debe de pagar el mínimo tributo posible por el concepto de energía disipada, como consecuencia de los defectos térmicos.



Esta energía consumida también se contabiliza en el aparato de medida de consumo total, por lo que el usuario estará pagando una energía consumida y no deseada.

Este capítulo tiene como objetivo determinar un estudio básico inducido por el calentamiento de los cables, que nos sirva para justificar la sección económica de los conductores eléctricos en función de la intensidad a transportar, las pérdidas en kW por calentamiento (efecto Joule) y la rentabilidad a corto plazo de la inversión a elegir una sección superior.



## 12.2 LEY DE JOULE

“LA CIRCULACIÓN DE LA CORRIENTE POR EL CONDUCTOR OCASIONA UN CONSUMO DE ENERGÍA QUE SE TRANSFORMA EN CALOR”

Es proporcional a las siguientes magnitudes:

- A la resistencia eléctrica del conductor a temperatura de servicio ( $R_t$ )
- Al cuadrado de la intensidad ( $I^2$ )
- Al tiempo ( $t$ )

CONSUMO DE ENERGÍA (E) EN kWh POR METRO DE LONGITUD EN CADA CONDUCTOR

$$E = U \times I \times t = RI^2t \text{ Julios}$$

$$1 \text{ Julio} = 1 \text{ Watio} \times 1 \text{ Segundo}$$

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Watios} \times 3600 \text{ Segundos}$$

Ejemplo práctico:

### DATOS BASE

Intensidad a transportar: 532 A

Longitud canalización: 300 m.

Caída Tensión Máxima: < 5%

## ELECCIÓN DE LA SECCIÓN

### OPCIÓN 1

3 (1x240) Cu → I Máx 535 A → 90° C

Pérdidas w/m → 24,9/Fase      TOTAL → 74,7 w/m (Terna)

74,7 w/m (Terna) x 300 m = 22,4 KW.h → TOTAL CANALIZACIÓN

22,4 Kw.h x 0,06 € /KW.h x 24 h. = 32,3 € día

## OPCIÓN 1

3 (1x240) PÉRDIDAS JOULE → 32,3€/día

## ELECCIÓN DE LA SECCIÓN

### OPCIÓN 2

3 (1x300) Cu → I Máx 615 A → 90° C

Pérdidas w/m → 20/Fase      TOTAL → 60 w/m (Terna)

60 w/m (Terna) x 300 m = 18 KW.h → TOTAL CANALIZACIÓN

18 Kw.h x 0,06 € /KW.h x 24 h. = 25,9 € día

### AHORRO ECONÓMICO

32,3 - 25,9 → 6,4€/día

## PRECIO DE MERCADO DEL CABLE

1x240 = 8,03€ → Total Terna = 900 x 8,03€ → 7.227€

1x300 = 10,70€ → Total Terna = 900 x 10,70€ → 9.650€

Diferencia → 2.423€

## RECUPERACIÓN INCREMENTO DE LA INVERSIÓN

2.423 : 6,4 → 380 días (aprox. 1 año)

El precio del kWh se ha tomado un valor ficticio de 0,06€

Los precios de mercado de los cables 1x240 y 1x300 mm<sup>2</sup> son valores medios



PÉRDIDAS EN W/m PARA CABLES ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN (CONDUCTOR: COBRE)												
Sección (A)	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500
Intensidad (A)												
100	8,7	6,3	4,6	3,2	2,3	-	-	-	-	-	-	-
120	12,6	9,0	6,7	4,6	3,3	2,6	-	-	-	-	-	-
140	-	12,3	11,9	6,3	4,5	3,6	2,9	-	-	-	-	-
160	-	-	15,0	8,2	5,9	4,7	3,8	3,1	-	-	-	-
180	-	-	-	10,4	7,5	6,0	4,8	3,9	3,0	-	-	-
200	-	-	-	12,8	9,3	7,4	6,0	4,8	3,7	-	-	-
220	-	-	-	15,5	11,2	8,9	7,2	5,8	4,5	3,6	-	-
240	-	-	-	-	13,3	10,6	8,6	6,9	5,3	4,3	3,4	-
260	-	-	-	-	15,7	12,4	10,1	8,1	6,2	5,0	4,0	-
280	-	-	-	-	18,2	14,4	11,7	9,4	7,2	5,8	4,7	3,8
300	-	-	-	-	-	16,6	13,4	10,8	8,3	6,7	5,4	4,3
320	-	-	-	-	-	18,8	15,3	12,3	9,4	7,6	6,1	4,9
340	-	-	-	-	-	-	17,3	13,9	10,7	8,6	6,9	5,6
360	-	-	-	-	-	-	19,4	15,5	11,9	9,6	7,7	6,2
380	-	-	-	-	-	-	21,6	17,3	13,3	10,8	8,6	7,0
400	-	-	-	-	-	-	-	19,2	14,7	11,9	9,5	7,7
420	-	-	-	-	-	-	-	21,2	16,3	13,1	10,5	8,5
440	-	-	-	-	-	-	-	23,2	17,8	14,4	11,5	9,3
460	-	-	-	-	-	-	-	-	19,5	15,8	12,6	10,2
480	-	-	-	-	-	-	-	-	21,2	17,2	13,7	11,1
500	-	-	-	-	-	-	-	-	23,0	18,6	14,9	12,0
520	-	-	-	-	-	-	-	-	24,9	20,1	16,1	13,0
540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,7	17,4	14,0
560	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,3	18,7	15,1
580	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,0	20,0	16,2
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,8	21,4	17,3
620	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,9	18,5
640	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,4	19,7
660	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,9	21,0
680	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,5	22,3
700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,2	23,6
720	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,9	25,0
740	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,4
760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,8
780	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,3
800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,8
820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32,4

NOTA: Los valores inferiores de cada columna sitúan el conductor a 90 °C como temperatura de trabajo.

PÉRDIDAS EN W/m PARA CABLES ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN (CONDUCTOR: ALUMINIO)												
Sección mm <sup>2</sup>	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500
Intensidad (A)												
100	-	10,4	7,7	5,3	3,8	3,0	2,5	-	-	-	-	-
120	-	-	11,1	7,7	5,5	4,4	3,6	2,8	-	-	-	-
140	-	-	15,1	10,4	7,5	6,0	4,9	3,9	-	-	-	-
160	-	-	-	13,6	9,9	7,8	6,4	5,1	3,9	-	-	-
180	-	-	-	17,3	12,5	9,9	8,0	6,4	4,9	3,9	-	-
200	-	-	-	-	15,4	12,2	9,9	7,9	6,1	4,9	3,8	-
220	-	-	-	-	18,6	14,7	12,0	9,6	7,3	5,9	4,6	3,7
240	-	-	-	-	-	17,5	14,3	11,4	8,7	7,0	5,5	4,4
260	-	-	-	-	-	20,6	16,8	13,4	10,2	8,2	6,5	5,1
280	-	-	-	-	-	-	19,5	15,5	11,9	9,5	7,5	5,9
300	-	-	-	-	-	-	22,3	17,8	13,6	11,0	8,6	6,8
320	-	-	-	-	-	-	-	20,3	15,5	12,5	9,8	7,7
340	-	-	-	-	-	-	-	22,9	17,5	14,1	11,1	8,7
360	-	-	-	-	-	-	-	-	19,6	15,8	12,4	9,8
380	-	-	-	-	-	-	-	-	21,9	17,6	13,8	10,9
400	-	-	-	-	-	-	-	-	24,2	19,5	15,3	12,1
420	-	-	-	-	-	-	-	-	26,7	21,5	16,9	13,3
440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,6	18,5	14,6
460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,8	20,2	16,0
480	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,0	22,0	17,4
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,9	18,9
520	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,9	20,4
540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,9	22,0
560	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,0	23,7
580	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,4
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,2
620	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,0
640	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,9
660	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
680	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
720	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
740	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
780	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NOTA: Los valores inferiores de cada columna sitúan el conductor a 90 °C como temperatura de trabajo.



13

**ANEXO**  
**DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA**  
**Y DE LA INTENSIDAD DE**  
**CORRIENTE EN**  
**MOTORES**  
**ASÍNCRONOS**

## 13.1 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA Y DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE EN MOTORES ASÍNCRONOS

La intensidad  $I$  en amperios de un motor trifásico se calcula partiendo de la fórmula siguiente:

$$I = \frac{P. 736}{R. U. \cos \varphi \sqrt{3}}$$

- $I$  = Intensidad de la línea
- $U$  = Tensión en voltios
- $\cos \varphi$  = Factor de potencia
- $R$  = Rendimiento del motor
- $P$  = Potencia útil en CV transmitida por el árbol motor





POTENCIA ÚTIL TRANSMITIDA POR EL ÁRBOL		RENDIMIENTO (R)	FACTOR POTENCIA COS	POTENCIA ABSORBIDA Kw	INTENSIDAD DE LÍNEA EN AMPERIOS PARA UNA TENSIÓN DE		
CV	KW				220 V	380 V	440 V
0,2	0,15	0,69	0,65	0,21	0,86	0,50	0,43
0,3	0,22	0,70	0,67	0,32	1,24	0,72	0,62
0,4	0,29	0,72	0,70	0,41	1,54	0,89	0,77
0,5	0,37	0,73	0,72	0,50	1,84	1,06	0,92
0,75	0,55	0,75	0,74	0,74	2,6	1,5	1,3
1	0,74	0,76	0,76	1,97	3,35	1,95	1,67
1,5	1,1	0,78	0,78	1,4	4,8	2,8	2,4
2	1,5	0,80	0,80	1,9	6	3,5	3
2,5	1,8	0,81	0,82	2,3	7,3	4,2	3,6
3	2,2	0,81	0,83	2,7	8,6	5	4,3
4	2,9	0,82	0,84	3,6	11,2	6,5	5,6
5	3,7	0,84	0,84	4,4	13,7	7,9	6,8
6	4,4	0,85	0,84	5,2	16,3	9,4	8,1
7,5	5,5	0,85	0,84	6,5	20	12,1	10
10	7,4	0,85	0,85	8,7	26,7	15,5	13,3
12	8,8	0,86	0,86	10,3	31	18,2	15,5
15	11	0,88	0,86	12,6	38	22	19
18	13,3	0,88	0,87	15,1	45	26	22,5
20	14,7	0,88	0,87	16,8	51	29	25,5
30	22,1	0,89	0,88	24,8	74	43	37

El rendimiento corresponde a un motor de 1.500 rpm.

