

**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN  
CONTINUA Y A DISTANCIA**

**DIPLOMADO  
DISEÑO Y CÁLCULO DE  
INSTALACIONES ELÉCTRICAS  
(RESIDENCIALES, INDUSTRIALES Y  
ESPECIALES)**

**MÓDULO IX  
I. CA417 LÍNEAS SUBTERRÁNEAS**

**EXPOSITOR: DR. FERNANDO TOLEDO TOLEDO  
DEL 29 DE OCTUBRE AL 08 DE DICIEMBRE DE 2007  
PALACIO DE MINERÍA**

## OBJETIVO GENERAL

Capacitar profesionales en el área de ingeniería eléctrica en los rubros técnico y científico, que les permita resolver problemas relacionados con el diseño, operación y mantenimiento de líneas subterráneas en sistemas eléctricos.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- Brindar al ingeniero electricista ó afín, herramientas normalizadas para el análisis de las líneas subterráneas.
- Presentar el comportamiento, diseño, operación y uso eficiente de las líneas subterráneas en sistemas industriales.

*EXPOSITOR:*

*M. en C. LUIS ENRIQUE LUNA VALDES.*

## CONTENIDO SINTÉTICO

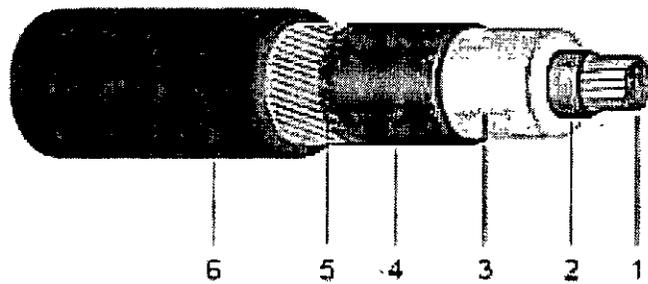
1. Características (formas, flexibilidad, dimensiones) de los cables eléctricos.
2. Diseño, selección de las pantallas eléctricas.
3. Instalaciones de cables eléctricos.
4. Parámetros eléctricos (ejemplos).
  - Resistencia de Corriente Directa.
  - Efecto de la temperatura en la Resistencia.
  - Resistencia de Corriente Alterna.
  - Efecto de Aproximidad.
  - Reactancia Inductiva y capacitiva.
  - Inducción de Cables en Paralelo.
  - Caída de Tensión y Regulación.
  - Pérdidas de Energía.
  - Capacidad de Conducción de Corriente (Ampacidad).
  - Sobrecarga y corto circuito.
  - Tensiones Inducidas en las Pantallas o Cubiertas Metálicas
5. Normatividad
6. Cálculo de línea subterránea.

# DESCRIPCION GENERAL

## DESCRIPCIÓN DE UN CABLE DE ENERGÍA TÍPICO

La función primordial de un cable de energía aislado es transmitir energía eléctrica a una corriente y tensión preestablecidas durante cierto tiempo. Es por ello que sus elementos constitutivos primordiales deben estar diseñados para soportar el efecto combinado producido por estos parámetros.

Los elementos constitutivos típicos de este cable se muestran en la figura A.



- 1 Conductor.
- 2 Pantalla semiconductora sobre el conductor.
- 3 Aislamiento.
- 4 Pantalla semiconductora sobre el aislamiento.
- 5. Pantalla metálica.
- 6. Cubierta general.

Figura A. Cable monoconductor de energía en media tensión (5 a 35 kV) VulcanelM.R. 2000

## DISEÑOS DE LOS CABLES ELECTRICOS

Con respecto a los diseños de los cables, hoy en día con una adecuada selección de materiales y un excelente proceso de manufactura se logran cables con aislamientos reducidos, diseño de Cables herméticos, los cuales contemplan conductores bloqueados por medio de compuestos elastoméricos que evitan la penetración longitudinal del agua a través del conductor. Adicionalmente, en la pantalla metálica se colocan cintas hinchables, las cuales proporcionan un bloqueo contra ingreso longitudinal de humedad en el cable a través de la pantalla metálica.

El concepto del bloqueo es el mismo al utilizado en los pañales desechables, es decir, el material hinchable en contacto con el agua se “hincha” al atrapar las moléculas del agua y genera un doble efecto bloqueador, por un lado atrapa la humedad y por otro, al hincharse, sella los espacios de aire que quedan entre la pantalla metálica y la cinta reunidora.

Para evitar la penetración radial del agua en el cable cuando se rompe la cubierta, se ha desarrollado la aplicación en la cara interna de la cubierta de una cinta longitudinal de aluminio adherida a ésta.

## SELECCIÓN DE CONDUCTORES

Son cuatro los factores principales que deben ser considerados en la selección de conductores:

- Materiales.
- Flexibilidad.
- Forma.
- Dimensiones.

## MATERIALES

Los materiales más usados como conductores eléctricos son el cobre y el aluminio. Aunque el cobre es superior en características eléctricas y mecánicas, las características de bajo peso del aluminio han dado lugar a un amplio uso de este metal en la fabricación de cables aislados y desnudos, teniendo su aplicación principal en el tendido de líneas aéreas de media y alta tensión y en el uso de líneas subterráneas.

En la tabla 1.1 se comparan en forma general las principales propiedades de los metales usados en la manufactura de cables. Se han incluido en esta tabla metales que no se utilizan directamente como conductores, como el plomo, aplicado para asegurar la impermeabilidad del cable, y el acero, empleado como armadura para protección y como elemento de soporte de la tensión mecánica en instalaciones verticales.

La principal ventaja del aluminio sobre el cobre es su menor peso (densidad  $2.70 \text{ g/cm}^3$  contra  $8.89 \text{ g/cm}^3$  del cobre). En la tabla 1.2 se comparan algunas de las características más importantes en conductores fabricados con cobre y aluminio.

## NUEVOS MATERIALES

Hoy en día los compuestos aislantes de los cables de energía en media y alta tensión pueden ser de:

- Polietileno de Cadena Cruzada (XLP).
- Polietileno de Cadena Cruzada con Retardante a las Arborescencias (XLP-TR).
- Polietileno Natural (Pe).
- Etileno Propileno (EP).

Todos ellos son fabricados con innovaciones tecnológicas y ofrecen propiedades y características muy similares. Finalmente, comentaremos que se ha incrementado el requisito de menores valores de la pantalla metálica en el semiconductor externo. Lo anterior se logra con materiales de mayor grado de dureza en combinación con maquinaria que aplique los semiconductores con un mejor

## FLEXIBILIDAD

La flexibilidad de un conductor se logra de dos maneras, recociendo el material para suavizarlo o aumentando el número de alambres que lo forman. A la operación de reunir varios conductores se le denomina cableado y da lugar a diferentes flexibilidades de acuerdo con el número de alambres que lo forman, el paso o longitud de torcido de agrupación y el tipo de cuerda.

El grado de flexibilidad de un conductor, como función del número de alambres del mismo, se designa mediante letras que representan la clase de cableado. Las primeras letras del alfabeto se utilizan para las cuerdas más rígidas, y las últimas, para cuerdas cada vez más flexibles. No hay una regla fija para decidir qué grado de flexibilidad es el más adecuado para una determinada aplicación, ya que con frecuencia dos o tres clases de cableado pueden ser igualmente satisfactorias para cierto cable. En la tabla 1.4 se dan recomendaciones de carácter general, tomadas de las normas ASTM.

Tabla 1.4 Clases de cableado

Clase	Aplicación
AA	Cable desnudo, generalmente para líneas aéreas
A	Cable aislado, tipo intemperie, o cables desnudos que requieran mayor flexibilidad que la de la clase AA
B*	Cable aislado con materiales diversos, tales como papel, hule, plástico, etc., o cables del tipo anterior que requieran mayor flexibilidad
C y D	Cables aislados que requieran mayor flexibilidad que la clase B
G	Cables portátiles con aislamiento de hule, para alimentación de aparatos o similares
H	Cables y cordones con aislamiento de hule que requieran mucha flexibilidad. Por ejemplo, cables que tengan que enrollarse y desenrollarse continuamente y que tengan que pasar por poleas
I	Cables para aparatos especiales
J	Cordones para artefactos eléctricos
K	Cables portátiles y para soldadoras eléctricas
L	Cordones portátiles y para artefactos pequeños que requieran mayor flexibilidad que la de las clases anteriores
M	Cables para soldadoras tipo portaelectrodos, para calentadores y para lámparas
O	Cordones pequeños para calentadores que requieran mayor flexibilidad que los anteriores
P	Cordones más flexibles que en las clases anteriores
Q	Cordón para ventiladores oscilantes, flexibilidad máxima

\*Los cables de media tensión, objeto de este manual, utilizan en su construcción conductores clase B.

## FORMA

Las formas de conductores de uso más general en cables aislados de media tensión son:

- Redonda.
- Sectorial.
- Segmental.

Un conductor redondo es un alambre o cable cuya sección transversal es sustancialmente circular. Se utiliza tanto en cables monoconductores como en cables multiconductores con cualquier tipo de aislamiento. Los conductores de calibres pequeños,  $8.37 \text{ mm}^2$  (8 AWG) o menores, suelen ser alambres sólidos, mientras que los de calibres mayores generalmente son cables.

Cuando los alambres son de mayor diámetro, el torcido de los mismos se efectúa generalmente en capas concéntricas alrededor de un núcleo central de uno o más alambres. El cable resultante recibe el nombre de "cable concéntrico". Este cable es el más usado, empleándose para las clases AA, A, B, C y D.

Con frecuencia es conveniente reducir el diámetro de un cable concéntrico, sobre todo en calibres grandes para disminuir sus dimensiones y obtener una superficie cilíndrica uniforme, lo cual representa ventajas eléctricas. Esto puede lograrse comprimiendo el cable a través de un dado. El resultado es el cable redondo compacto.

Un conductor sectorial es formado por un cable cuya sección transversal es un sector de círculo. Se utiliza principalmente en cables de energía trifásicos, en calibres superiores a  $53.5 \text{ mm}^2$  (1/0 AWG). En estos cables, los conductores sectoriales implican una reducción en la cantidad de rellenos y el diámetro sobre la reunión de las tres almas, permitiendo reducciones sustanciales en los revestimientos de protección.

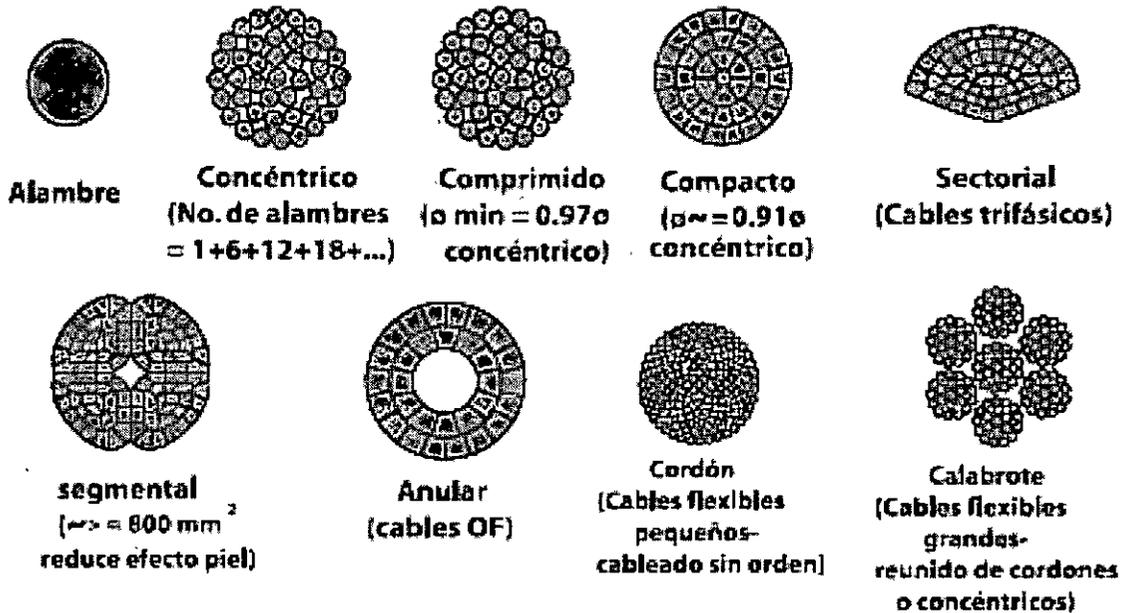


Figura 1.1 Formas de conductores

## DIMENSIONES (Escala AWG)

Los calibres del "American Wire Gage" no se han escogido arbitrariamente, sino que están relacionados por una ley matemática. La escala se formó fijando dos diámetros y estableciendo una ley de progresión geométrica para diámetros intermedios. Los diámetros base seleccionados son 0.4600 pulgadas (calibre 4/0) y 0.0050 pulgadas (calibre 36), existiendo 38 dimensiones entre estos dos. Por lo tanto, la razón entre un diámetro cualquiera y el diámetro siguiente en la escala sera dada por la expresión:

$$\sqrt[38]{\frac{0.4600}{0.0050}} = \sqrt[38]{92} = 1.1229$$

Esta progresión geométrica puede expresarse como sigue: La razón entre dos diámetros consecutivos en la escala es constante e igual a 1.1229.

**Escala milimétrica IEC** La escala de la "International Electrotechnical Commission", IEC, es la más usada en la actualidad, con excepción de Estados Unidos y la mayor parte de los países latinoamericanos. En sí, la escala consiste en proporcionar la medida directa de la sección transversal de los conductores en milímetros cuadrados. En las tablas 1.5, se muestran los valores correspondientes de la escala AWG.

Tabla 1.5 Construcciones preferentes de cable de cobre con cableado redondo compacto (Clase B)

Designación		Area de la sección transversal	Número de alambres	Diámetro exterior nominal	Peso nominal
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	mm <sup>2</sup>		mm	kg/km
-	8	2.37	7	3.4	75.9
-	6	13.3	7	4.29	120.7
-	4	21.15	7	5.41	191.9
-	2	33.6	7	6.81	305
-	1	42.4	19	7.59	385
50	-	48.3	19	8.33	438
-	1/0	53.5	19	8.53	485
-	2/0	67.4	19	9.55	612
70	-	69	19	9.78	626
-	3/0	85	19	10.74	771
-	4/0	107.2	19	12.06	972
-	250	126.7	37	13.21	1149
150	-	147.1	37	14.42	1334
-	300	152	37	14.48	1379
-	350	177.3	37	15.65	1609
-	400	203	37	16.74	1839
240	-	239	37	18.26	2200
-	500	253	37	18.69	2300
-	600	304	61	20.6	2760
-	750	380	61	23.1	3450
-	800	405	61	23.8	3680
-	1000	507	61	26.9	4590

## FUNCIÓN DE LAS PANTALLAS ELÉCTRICAS

Cuando se aplica una tensión entre un conductor eléctrico y el plano de tierra (o entre dos conductores), el dieléctrico intermedio se somete a esfuerzos eléctricos. Estos esfuerzos, si son de magnitud elevada, pueden producir deterioro del material del dieléctrico y producir otros efectos indeseables al no controlarse en forma adecuada. El control de estos esfuerzos se logra gracias a las pantallas eléctricas.

Una definición ampliamente aceptada de la función de las pantallas es la siguiente: "Se aplican las pantallas eléctricas en los cables de energía con el fin de confinar en forma adecuada el campo eléctrico a la masa de aislamiento del cable o cables".

Las pantallas usadas en el diseño de los cables de energía tienen diferentes funciones. Dependiendo del material y su localización, pueden ser:

- Pantalla semiconductor sobre el conductor.
- Pantalla sobre el aislamiento.

## SELECCIÓN y APLICACIÓN DE LA PANTALLA METÁLICA

De acuerdo con cada propósito de diseño, las pantallas deben ser en general de metales no magnéticos y pueden estar constituidas de cintas, alambres, o bien pueden ser cubiertas metálicas (plomo o aluminio). Las pantallas constituidas a base de cintas o de alambres son generalmente de cobre normal, aunque puede utilizarse en ambos casos cobre estañado; estas últimas se utilizan donde se pudieran prever problemas graves de corrosión derivados de las condiciones de instalación.

## CONEXIÓN A TIERRA Y TERMINACIÓN DE LAS PANTALLAS

Existen situaciones donde se debe considerar el uso de cables sin pantalla, ya que en caso contrario crea graves situaciones de peligro, como;

- Cuando las pantallas no se pueden aterrizar adecuadamente.
- Cuando el espacio es inadecuado para terminar correctamente la pantalla.

La pantalla metálica debe operar todo el tiempo cerca de, o al potencial de tierra. La pantalla que no tiene la conexión adecuada a tierra es más peligrosa, desde el punto de vista de la seguridad, que el cable sin pantalla.

Además del peligro para el personal, una pantalla "flotante" puede ocasionar daños al cable. Si el potencial de dicha pantalla es tal que perfora la cubierta, la descarga resultante producirá calor y quemaduras al cable.

En todas las terminaciones de los cables se deben remover completamente las pantallas y sustituir por un cono de alivio de esfuerzos adecuado. Si las pantallas no se retiran, se presentarán arqueos superficiales del conductor a los puntos de menor potencial, carbonización a lo largo de la pantalla y deterioro del aislamiento.

## INSTALACIÓN DE CABLES

La determinación del tipo de instalación de los cables de energía es de vital importancia debido a que tiene gran influencia en la capacidad de conducción de corriente, y por ello es necesario hacer un estudio de las condiciones de cada instalación para poder tomar la decisión más adecuada.

La instalación de cables directamente enterrados se hace en lugares donde la apertura de la zanja no ocasiona molestias, donde no se tienen construcciones o donde haya la posibilidad de abrir zanjas posteriormente para cambio de cables, reparación o aumento de circuitos, como en fraccionamientos, jardines o campos abiertos donde no existan edificaciones.

Este tipo de instalación presenta algunas ventajas, como el hecho de que están menos expuestos a daños por dobleces excesivos, deformación y tensión presentes durante la instalación; la ampacidad es aproximadamente de 10 a 20% mayor que en instalaciones en ductos, debido a la facilidad para la disipación térmica.

Otra de las ventajas es que la instalación de cables directamente enterrados es más rápida y segura, y su costo es más bajo que en otro tipo de instalaciones. Una de las desventajas que presenta este tipo de instalación es el tiempo para reparar una falla, o por aumento de circuitos.

## PARAMETROS ELECTRICOS

Los parámetros de operación de los cables aislados son de utilidad para el diseñador de sistemas de distribución de energía eléctrica, ya que el conocimiento de dichos parámetros permite el estudio técnico-económico que sirve de base para la selección correcta del calibre del conductor, con base en la caída de tensión, pérdidas de energía en el conductor, etc.

También permite determinar, para un cable ya seleccionado, el valor de la impedancia ( $Z$ ), que es tan necesario en los análisis de cortocircuito del sistema así como en el comportamiento del cable en regímenes transitorios y al efectuar las pruebas de campo y el mantenimiento correspondiente.

Los parámetros eléctricos empleados en el diseño de un cable son;

- Resistencia de Corriente Directa.
- Efecto de la temperatura en la Resistencia.
- Resistencia de Corriente Alterna.
- Efecto de Aproximidad.
- Reactancia Inductiva.
- Inducción de Cables en Paralelo.
- Reactancia Capacitiva
- Caída de Tensión y Regulación.
- Perdidas de Energia.
- Capacidad de Conducción de Corriente (Ampacidad).
- Sobrecarga y corto circuito.
- Tensiones Inducidas en las Pantallas o Cubiertas Metálicas

## RESISTENCIA A LA CORRIENTE DIRECTA

La resistencia a la corriente directa de un conductor eléctrico, formado por un alambre de cualquier material, está expresada por la fórmula:

$$R_{cd} = \rho \times L/A \quad [\Omega]$$

En  
donde

L = longitud del conductor

A = área de la sección transversal del conductor

$\rho$  = resistividad volumétrica del material del conductor en unidades compatibles con L y A

El valor de la resistividad por unidad de masa para el cobre suave, que ha normalizado la IACS a 20 °C y 100% de conductividad es = 0.15828  $\Omega$  gr/m<sup>2</sup>. Para su aplicación práctica, la resistividad se suele . valores, en diferentes unidades usadas en los cálculos de ingeniería, son: 0 para usos eléctricos, de acuerdo a ASTM) on ctivid °C, según IACS, son:

1.7241	$\mu\Omega$ -cm
0.67879	$\mu\Omega$ -pulgada
10.371	$\Omega$ -cmil/pie
17.241	$\Omega$ -mm <sup>2</sup> /km

## EFEECTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA

Dentro de los límites normales de operación de los conductores eléctricos, los únicos cambios apreciables en los materiales usados, son los incrementos en la resistencia y la longitud que éstos sufren en virtud de cambios en su temperatura. El más importante (para los cables aislado) es el cambio en el valor de la resistencia, ya que el incremento en la longitud sólo es importante en el caso de líneas aéreas con grandes tramos entre postes.

En cables aislados bastará con usar una técnica adecuada de instalación que permita absorber el cambio en las dimensiones del conductor.

Si efectuáramos mediciones de la resistencia en un conductor, a distintas temperaturas, y situáramos los valores obtenidos en una grafica, obtendríamos la curva ilustrada en la figura 5.1.

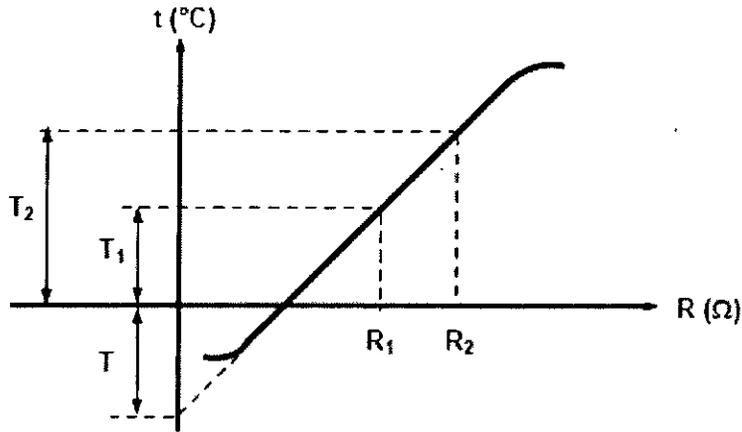


Figura 5.1 Variación de la resistencia de un conductor eléctrico metálico con la temperatura

La resistencia \$R\_2\$, a temperatura \$T\_2\$, en función de la resistencia \$R\_1\$, a una temperatura \$T\_1\$, distinta de cero, está dada por:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(T_2 - T_1)] \quad \Omega$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T_2 + T}{T_1 + T}$$

En donde \$\alpha\$ se denomina "coeficiente de corrección por temperatura" y sus dimensiones son el recíproco de grados centígrados (\$1/^\circ\text{C}\$). El valor de la resistividad se expresa generalmente a una temperatura estándar de \$20^\circ\text{C}\$ (\$68^\circ\text{F}\$).

Tabla 5.3 Factores de corrección por temperatura para cálculo de resistencias de conductores eléctricos de cobre y aluminio

Temperatura del conductor en \$^\circ\text{C}\$	Factor de corrección a \$20^\circ\text{C}\$	
	Cobre	Aluminio
0	1.035	1.038
5	1.062	1.064
10	1.040	1.042
15	1.020	1.020
20	1.000	1.000
25	0.980	0.980
30	0.962	0.961
35	0.944	0.943
40	0.927	0.925
45	0.910	0.908
50	0.894	0.892
55	0.879	0.876
60	0.869	0.861
65	0.850	0.846
70	0.836	0.832
75	0.822	0.818
80	0.809	0.805
85	0.796	0.792
90	0.784	0.780

## RESISTENCIA A LA CORRIENTE ALTERNA

La resistencia de un conductor eléctrico por el que circula corriente alterna es mayor que la resistencia que presenta el mismo conductor a la corriente directa. Este incremento es ocasionado por dos efectos.

- El efecto superficial o de piel.
- El efecto de proximidad.

Por lo que la resistencia a la corriente alterna se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$R_{ca} = R_{cd} (1 + Y_s + Y_p)$$

Donde;

Rca = resistencia a la corriente alterna.

Rcd = resistencia a la corriente directa.

Ys = Factor debido al efecto piel.

Yp = Factor debido al efecto de proximidad.

## EFEECTO DE PROXIMIDAD

Cuando un conductor por el que fluye una corriente alterna se encuentra cercano a otro que transporta corriente de iguales características pero de sentido contrario, crea una resta vectorial de densidad de flujo, originando una reducción en la inductancia en las caras próximas y un aumento en las diametralmente opuestas, dando por resultado una distribución no uniforme de la densidad de corriente y un aumento aparente de la resistencia efectiva, la cual se calcula afectando la resistencia original por un factor Yp.

Este es valido para cables paralelos que alimentan cargas monofásicas y trifásicas. La fórmula siguiente da el valor de Yp:

$$Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0.8X_p^4} \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 \left[ 0.312 \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{X_p^4}{192 + 0.8X_p^4} + 0.27} \right]$$

$$X_p^2 = \frac{8\pi f}{R'} \times 10^{-4} k_p$$

Tabla 5.5 Razón de resistencias, c.a./c.d., para conductores de cobre y aluminio a una frecuencia de 60 Hz. Cableado concéntrico normal

Calibre del conductor AWG o kcmil	Para cables con cubierta no metálica, véase nota 1		Para cables con cubierta metálica, véase nota 2	
	1		2	
mm <sup>2</sup>	Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
3 y menores	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0100	1.0000
1	1.0000	1.0000	1.0100	1.0000
1/0	1.0010	1.0000	1.0200	1.0000
2/0	1.0010	1.0010	1.0300	1.0000
3/0	1.0020	1.0010	1.0400	1.0100
4/0	1.0040	1.0010	1.0500	1.0100
250	1.0050	1.0020	1.0600	1.0200
300	1.0060	1.0030	1.0700	1.0200
350	1.0090	1.0040	1.0800	1.0300
400	1.0110	1.0050	1.1000	1.0400
500	1.0160	1.0070	1.1300	1.0600
600	1.0250	1.0100	1.1600	1.0800
750	1.0380	1.0150	1.2100	1.1100
1000	1.0670	1.0260		1.1900
1250	1.1020	1.0400		1.2700
1500	1.1420	1.0580		1.3600
1750	1.1850	1.0790		1.4600
2000	1.2330	1.1000		1.5600
2500	1.3260			

Nota 1. Utilícese la columna 1 para la razón c.a./c.d. para:

- Conductor monofásico con cubierta no metálica, instalado en aire o en ducto no metálico.
- Conductor monofásico con cubierta metálica, instalado con las cubiertas aisladas en aire o en ductos no metálicos separados.

La columna 1 incluye únicamente el efecto piel (skin). Por lo general, pueden desprejarse los factores de proximidad que varían con el espaciamento, para instalaciones espaciadas en forma uniforme.

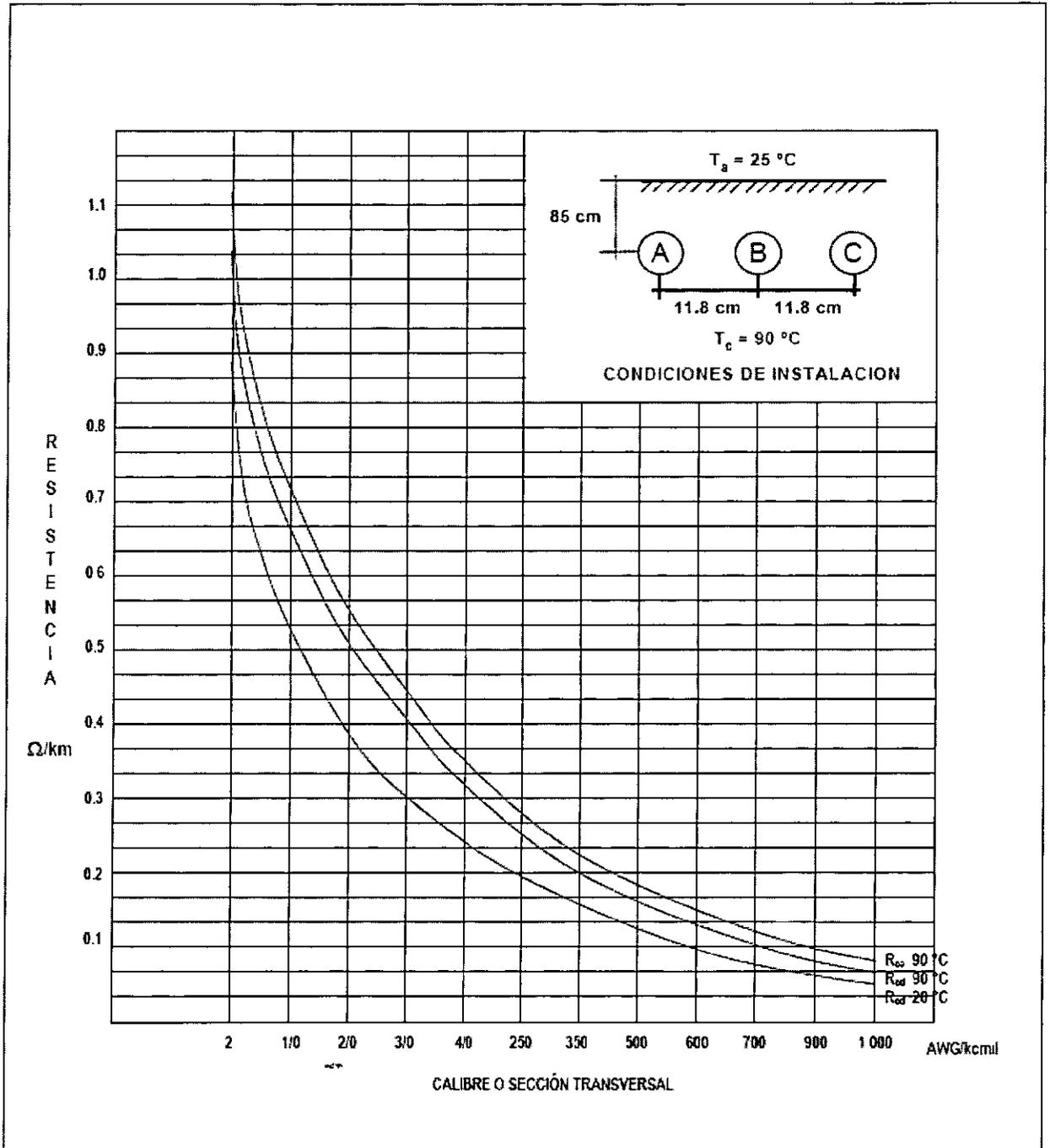
Nota 2. Utilícese la columna 2 para la razón c.a./c.d. para:

- Cables multiconductores con cubierta metálica.
- Cables multiconductores con cubierta no metálica en conduit metálico.
- Dos o múltiplo de dos conductores monofásicos con cubierta no metálica, instalados en el mismo conduit metálico.
- Cables multiconductores con cubiertas no metálicas, instalados al aire o en conduit no metálico.

La columna 2 incluye la corrección por efecto superficial (skin), de proximidad y todas las otras pérdidas inductivas de corriente alterna.

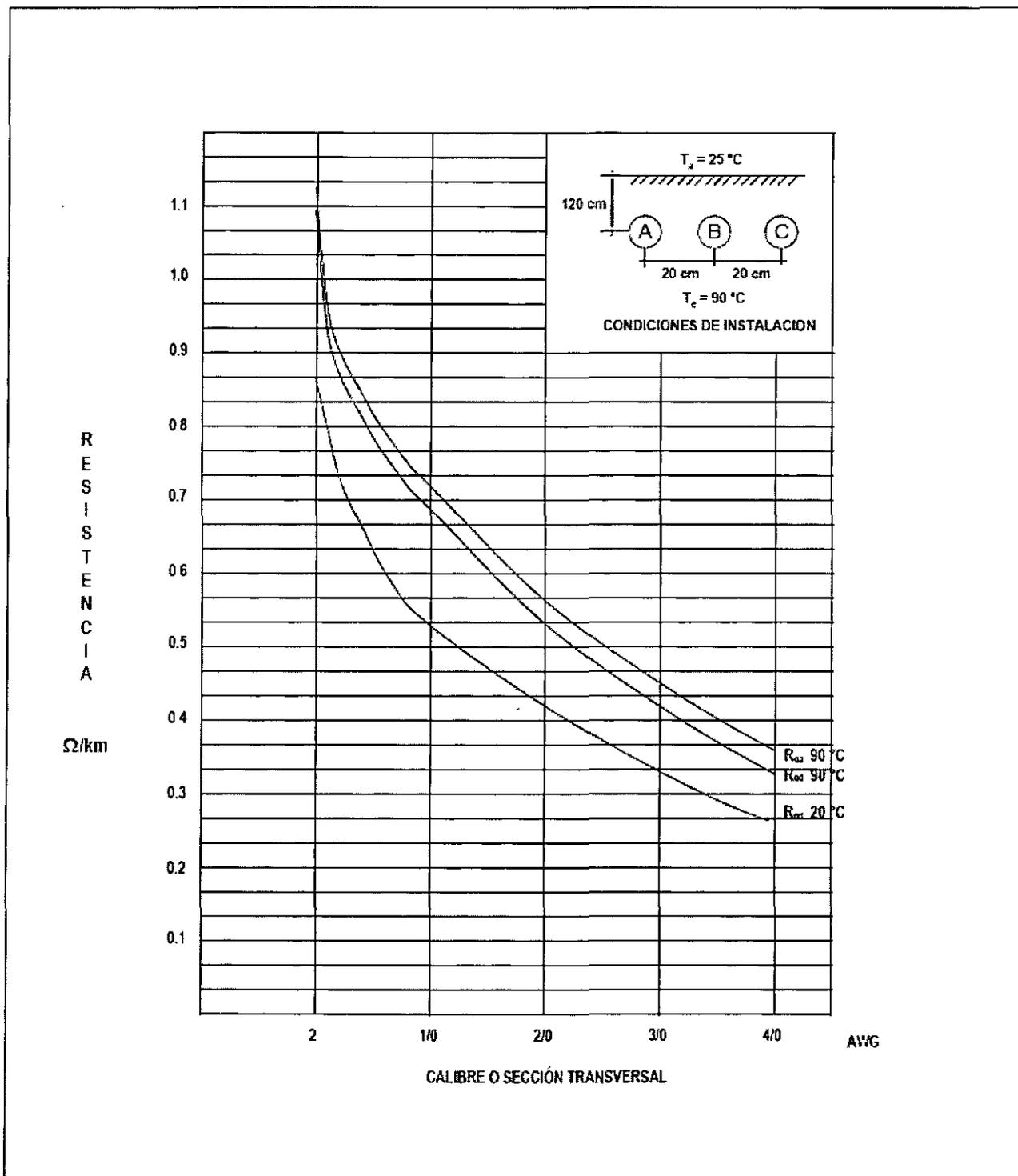
### GRÁFICA 5.1

#### RESISTENCIA DE CABLES DE ENERGÍA VULCANEL EP-TIPO DS. CONDUCTOR DE ALUMINIO 15 Y 25 kV



## GRÁFICA 5.2

### RESISTENCIA DE CABLES DE ENERGÍA VULCANEL EP-TIPO DRS. CONDUCTOR DE ALUMINIO



## FÓRMULAS DE CÁLCULO DE LA INDUCTANCIA TOTAL (H/KM)

La inductancia de un cable está dada por la suma de la inductancia propia o interna  $L_0$  (ya que parte del flujo generado corta al conductor mismo) más la externa  $L_e$ .

$$L = L_0 + L_e$$

La inductancia propia ( $L_0$ ) de un conductor es constante, dependiendo únicamente de su construcción; esto es, si es sólido o cableado. Matemáticamente se puede demostrar que podemos considerar un conductor imaginario que no es cortado por el flujo generado, afectando el radio ( $r$ ) sección conductora por una constante (véase tabla 6.1); así se obtiene el radio de un conductor imaginario para el que todo el flujo externo. Al radio así calculado se le conoce como radio medio geométrico del conductor (RMG) y la ecuación 6.1 se puede expresar en función del RMG, según se indica en la tabla 6.2.

**Tabla 6.1 Radio medio geométrico de conductores usuales**

Construcción del conductor	RMG
Alambre sólido	0.779 r
Cable de un solo material	
7 hilos	0.726 r
19 hilos	0.758 r
37 hilos	0.768 r
61 hilos	0.772 r
91 hilos	0.774 r
127 hilos	0.776 r

$r$  = radio del conductor

De forma análoga, la reactancia aparente se obtiene al restar, a la reactancia que se obtendría de un cable idéntico sin pantalla o cubierta metálica, un término similar de naturaleza inductiva.

La reducción aparente en la reactancia inductiva, debido a las corrientes que circulan por la pantalla o cubierta metálica, es de poca magnitud y de ninguna manera comparable al incremento aparente que afecta a la resistencia, por lo que es de esperarse en estos casos valores mayores de caída de tensión e impedancia que en los cables desprovistos de éstas.

En circuitos trifásicos con cables monopares colocados equidistantes o circuitos monofásicos (para otras disposiciones, véase tabla 6.4), la resistencia aparente ( $RA$ ) y la reactancia inductiva aparente ( $XLA$ ) están dadas por:

$$R_d = R + \frac{X_m^2 R_p}{X_m^2 + R_p^2}$$

$$X_{Ld} = X_L - \frac{X_m^3}{X_m^2 + R_p^2}$$

Donde;

R = Resistencia Efectiva del conductor a la C.A.

$X_L = 2\pi f L$

L = inductancia calculada con la tabla 6.2

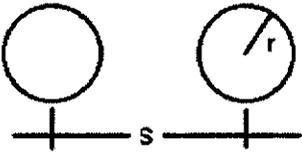
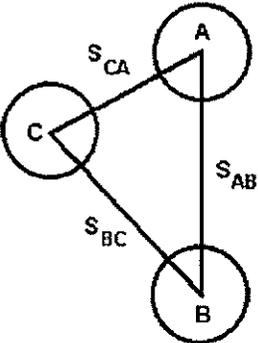
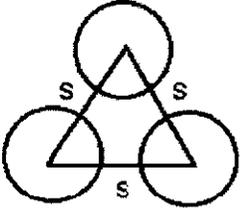
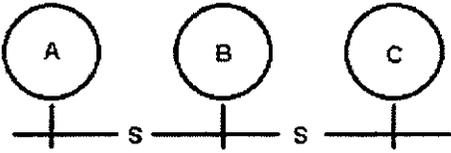
$X_M = 2\pi f M$

M = inductancia mutua entre el conductor y la pantalla metálica.

### CASO 1

Las fórmulas para el cálculo de la inductancia total, para diversas disposiciones de los cables, se resumen en la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Caso 1. Fórmulas de cálculo de la inductancia total (H/km)

 $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{S}{RMG} \quad (6.3)$	 <p>El valor medio de la inductancia total del sistema es:</p> $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{DMG}{RMG} \quad (6.5)$ <p>Donde DMG es la distancia media geométrica y queda definida como:</p> $DMG = \sqrt[3]{S_{AB} \times S_{BC} \times S_{CA}} \quad (6.5')$ <p><math>S_{AB} \neq S_{BC} \neq S_{CA}</math> Formación triangular</p>
<p>Formación triangular equidistante</p>  <p><math>L = L_A = L_B = L_C</math></p> $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{S}{RMG} \quad (6.4)$	 <p>El valor medio de la inductancia total es:</p> $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{DMG}{RMG} \quad (6.6)$ <p>donde <math>DMG = \sqrt[3]{2} \times S</math></p> <p>Formación plana</p>

El valor final de la resistencia aparente se obtiene de sumar, a la resistencia efectiva a la c.a. determinada en la sección 5, un término (véase tabla 6.3) que incluye los efectos de la corriente inducida en la pantalla o cubierta metálica.

Tabla 6.3 Resistencia y reactancia aparentes

Resistencia aparente ( $R_A$ ) ohm/km	Fase A	$R = \frac{R_p}{4} \left[ \frac{\sqrt{3} (\sqrt{3} + P)}{(P^2 + 1)} + \frac{(1 - \sqrt{3} Q)}{(Q^2 + 1)} \right]$
	Fase B	$R = \frac{R_p}{Q^2 + 1}$
	Fase C	$R = \frac{R_p}{4} \left[ \frac{\sqrt{3} (\sqrt{3} - P)}{(P^2 + 1)} + \frac{(1 + \sqrt{3} Q)}{(Q^2 + 1)} \right]$
	Promedio	$R = R_p \left[ \frac{P^2 + Q^2 + 2}{2(P^2 + 1)(Q^2 + 1)} \right]$
Reactancia aparente ( $X_{LA}$ ) ohm/km	Fase A	$X_L = X_m + \frac{R_p}{4} \left[ \frac{\sqrt{3} (\sqrt{3} P - 1)}{(P^2 + 1)} - \frac{(Q + \sqrt{3})}{(Q^2 + 1)} \right]$
	Fase B	$X_L = X_m + \frac{R_p Q}{Q^2 + 1}$
	Fase C	$X_L = X_m + \frac{R_p}{4} \left[ \frac{\sqrt{3} (\sqrt{3} P + 1)}{(P^2 + 1)} - \frac{(Q - \sqrt{3})}{(Q^2 + 1)} \right]$
	Promedio	$X_L = X_m + R_p \left[ \frac{Q(P^2 + 1) + P(Q^2 + 1)}{2(P^2 + 1)(Q^2 + 1)} \right]$

## CAÍDA DE TENSIÓN

Las aplicaciones generales de cables de energía aislados para media tensión rara vez implican distancias mayores a los 10 kilómetros, lo que nos permite calcular estos cables como una línea de transmisión corta. En este caso la impedancia está dada por la combinación en serie de la resistencia del conductor con la inductancia del cable, ya que la corriente capacitiva absorbida por el cable es despreciable para los efectos de cálculo. Este circuito se ilustra en la figura 8.1.

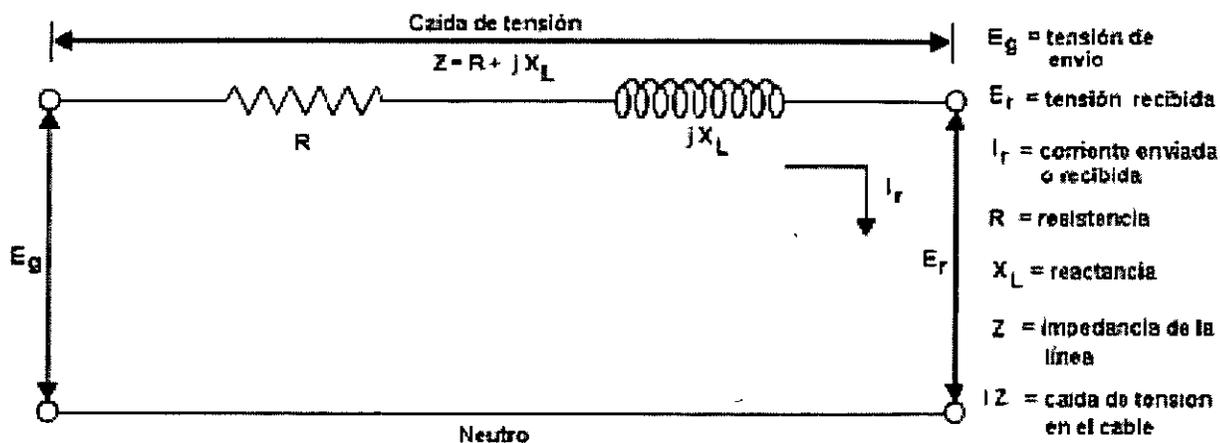


Fig. 8.1 Circuito equivalente de un cable tratado como una línea de transmisión corta

Comúnmente en los cables, la resistencia y la reactancia inductiva están expresadas por unidad de longitud, por lo que la impedancia total se obtiene multiplicando el valor de la impedancia calculada con estos valores por la longitud del circuito  $L$ , como se indica en la siguiente fórmula:

$$Z = (R + jX_L)L = L\sqrt{R^2 + X_L^2} \angle \theta$$

En las figuras 8.2 a, b y c se ilustran los diagramas fasoriales de la línea corta de la figura 8.1, con factor de potencia atrasado (carga inductiva), unitario (carga resistiva) y adelantado (carga capacitiva). En los tres casos, el voltaje y corriente recibidos  $E_r$ , e  $I_r$ , son de la misma magnitud y, ya que la impedancia del cable es constante, la caída de tensión en la línea es la misma.

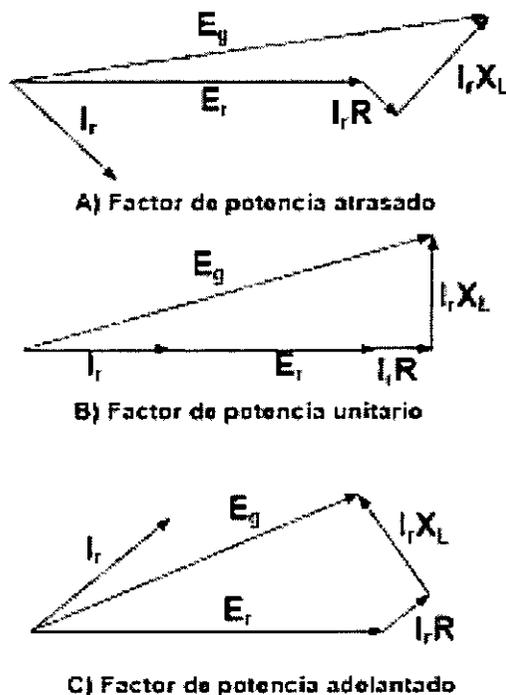


Fig. 8.2 Factores de potencia.

En los diagramas fasoriales de la figura 8.2 se puede observar que se requiere una tensión de envío ( $E_g$ ) mayor (fig. 8.2a) para mantener constante la tensión recibida ( $E_r$ ), cuando la corriente requerida por la carga está desfasada en atraso con respecto a la tensión, en comparación con la misma corriente en fase con  $E_r$  (fig. 8.2b).

Se requiere una tensión de envío todavía menor para mantener la tensión recibida, cuando la corriente tomada por la carga está desfasada en adelante. Se dice que, en el primer caso (factor de potencia atrasado) la regulación es mayor, mientras que es menor (factor de potencia unitario) o incluso negativa, cuando el factor de potencia está en adelante.

Por lo tanto, la regulación de la tensión está ligada al factor de potencia de la carga. El concepto de regulación se define de la siguiente manera:

La regulación de tensión de una línea es el incremento de tensión en el extremo de recepción, expresado como un porcentaje de la tensión a plena carga, cuando se retira la carga a un cierto factor de potencia mientras que la tensión en el extremo de envío permanece constante. En forma de ecuación:

$$\% \text{ regulación} = \frac{|V_{sc}| - |V_{FC}|}{|V_{FC}|} \cdot 100$$

## NORMATIVIDAD

La evolución de la tecnología de fabricación de los cables de energía en media y alta tensión se ve reflejada en las especificaciones nacionales e internacionales.

En México, la Norma Mexicana NMX-J-142 "Cables de Energía con pantalla metálica, aislados con polietileno de cadena cruzada o a base de etileno propileno para tensiones de 5 kV a 115 kV - Especificaciones y Método de prueba" es la norma de fabricación nacional de los cables de energía en México.

Las Normas de Referencia que utilizará la CFE están adaptadas a los requerimientos que establecen las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las Normas Mexicanas (NMX) para los productos eléctricos que amparan. Esto permite a la CFE adquirir e instalar un mayor número de productos a los que podía adquirir basados en sus especificaciones. Con esto, la CFE da cumplimiento cabal a todo lo indicado en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento en todo lo referente a la normalización.

## ARTÍCULO 923 – LÍNEAS SUBTERRÁNEAS

### **A. Instalación y aplicación de cables subterráneos en la vía pública**

**923-1. Objetivo y Campo de aplicación.** Este Artículo contiene requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir las instalaciones subterráneas para redes eléctricas, de comunicación y sus equipos asociados, para salvaguardar a las instalaciones y a las personas durante la instalación, operación y mantenimiento, conservando o mejorando el entorno ecológico del lugar donde se lleven a cabo.

Esta Parte A aplica a instalaciones subterráneas en la vía pública, las cuales deben estar en conformidad con las normas de la compañía suministradora y con las disposiciones establecidas en los siguientes párrafos.

**923-3. Cables subterráneos.** Los requisitos mínimos a satisfacer los cables subterráneos en vía pública son los siguientes:

**a) Diseño y construcción.** El diseño, construcción y materiales de los cables subterráneos deben estar de acuerdo con la tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica, corriente eléctrica de cortocircuito, elevación de temperatura y condiciones mecánicas y ambientales a que se sometan durante su instalación y operación.

Cuando los cables estén expuestos a ambientes húmedos y corrosivos es conveniente que sean diseñados y se usen con cubiertas protectoras.

Cuando técnicamente el diseño lo permita, debe evitarse el uso de materiales en las pantallas y cubiertas de los cables que, en contacto directo o como resultado de su combustión sean dañinos para la salud de los seres vivos.

**b) Pantallas sobre el aislamiento.** Los cables que operen a una tensión eléctrica de 5 kV entre fases o mayor, deben tener una pantalla semiconductora en contacto con el aislamiento y una pantalla metálica no- magnética en contacto con dicha pantalla semiconductora. El material de la pantalla metálica debe ser resistente a la corrosión o bien estar adecuadamente protegido.

*Excepción:* Tramos cortos usados como barra de amarre que no hagan contacto con superficies o materiales puestos a tierra.

**c) Conexión de puesta a tierra de las pantallas metálicas.** Las pantallas o cubiertas metálicas de los cables deben estar puestas a tierra. Las pantallas metálicas pueden ser seccionadas siempre y cuando cada sección sea puesta a tierra.

*Excepción:* Puede omitirse esta conexión de puesta a tierra solo cuando así lo requiera la operación de los cables y siempre que existan protecciones que impidan el contacto de personas con las mismas partes metálicas o que queden fuera de su alcance.

Las conexiones de las pantallas metálicas hacia los cables para su puesta a tierra, deben asegurar un buen contacto, evitando que se aflojen o se suelten. Éstas pueden hacerse por medio de conectadores del mismo metal u otro material adecuado para el propósito y las condiciones de uso, o por medio de soldadura, cuidando que ésta y los fundentes aplicados sean los adecuados.

Los conectadores para unir las pantallas metálicas de cables en empalmes y terminales deben ser los adecuados para asegurar un buen contacto mecánico y eléctrico, usando el tamaño y material conveniente a fin de evitar pérdidas de energía por calentamientos. Estos conectadores pueden ser del tipo para soldar o a presión. En el caso de conductores de tamaño nominal  $8,37 \text{ mm}^2$  (8 AWG) y menores, la conexión puede hacerse trenzando adecuadamente los conductores o mediante un conectador de tornillo adecuado.

**d) Tensiones inducidas en la pantalla metálica.** Se recomienda que las tensiones inducidas en condiciones normales de operación, no sean mayores a 55 V.

**e) Instalación de cables en canalizaciones subterráneas**

1) Debe evitarse que los cables sean doblados con radios menores al mínimo señalado por el fabricante (en ningún caso este radio debe ser menor a 12 veces el diámetro externo del cable) durante su manejo, instalación y operación.

2) Las tensiones de jalado y las presiones sobre las paredes, que se presenten durante la instalación de los cables, no deben alcanzar valores que puedan dañar a los mismos. Deben limitarse a los recomendados por el fabricante.

3) Los ductos deben limpiarse previamente a la instalación de los cables.

4) Cuando se use lubricante durante el jalado de los cables, éste no debe afectar a los cables ni a los conductos.

5) En instalaciones verticales o con pendientes, los cables deben soportarse adecuadamente para evitar deslizamientos y deformaciones debido a su masa.

6) Los cables eléctricos y de comunicación no deben instalarse dentro del mismo conducto.

7) Cuando en un banco de se instale más de un circuito debe analizarse la capacidad de conducción de corriente, con el objeto de reducir las pérdidas de energía por agrupamiento de conductores.

**f) Instalación de cables en registros, pozos y bóvedas**

**1) Soportes**

a. Los cables dentro de los registros, pozos o bóvedas deben quedar fácilmente accesibles y soportados de forma que no sufran daño debido a su propia masa, curvaturas o movimientos durante su operación.

b. Los soportes de los cables deben estar diseñados para resistir la masa de los propios cables y de cargas dinámicas; mantenerlos separados en claros específicos y ser adecuados al medio ambiente.

c. Los cables deben quedar soportados cuando menos 10 cm arriba del piso, o estar adecuadamente protegidos.

*Excepción: Este requisito no se aplica a conductores neutros y de puesta a tierra.*

d. La instalación debe permitir el movimiento del cable sin que haya concentración de esfuerzos destructivos.

**2) Separación entre cables eléctricos y de comunicación**

a. Los pozos de visita deben reunir los requisitos siguientes respecto a las dimensiones. Debe mantenerse un espacio de trabajo limpio, suficiente para desempeñar las labores. Las dimensiones del área de trabajo horizontales deben ser como mínimo de 0,9 m y las verticales deben ser como mínimo de 1,8 m.

b. No deben instalarse cables eléctricos y de comunicación dentro de un mismo registro, pozo o bóveda.

c. Cuando no sea posible cumplir con el punto anterior, se pueden instalar en un mismo registro, pozo o bóveda, cables eléctricos y de comunicación, siempre que se cumpla con los siguientes requisitos:

1. Que exista acuerdo entre las partes involucradas.

2. Que los cables queden soportados en paredes diferentes, evitando cruzamientos.

3. Si no es posible instalarlos en paredes separadas, los cables eléctricos deben ocupar niveles inferiores a los de comunicación.

4. Deben instalarse permitiendo su acceso sin necesidad de mover a los demás.

5. Que la separación mínima entre cables eléctricos y de comunicación propia del suministrador, dentro del registro, pozo o bóveda, sea la indicada en la Tabla 923-3(f)-(1).

**Tabla 923-3(f)-(1). Separación mínima entre cables eléctricos y de comunicación propia del suministrador**

**dentro de un mismo registro, pozo o bóveda**

Cables eléctricos Tensión eléctrica entre fases (kV)	Separación en m
Hasta 15	0,15
Más de 15 hasta 50	0,23
Más de 50 hasta 120	0,30
Más de 120	0,60

**Excepción 1:** Estas separaciones no se aplican a conductores de puesta a tierra.

**Excepción 2:** Estas separaciones pueden reducirse previo acuerdo entre las partes involucradas, siempre y cuando se instalen barreras o protecciones adecuadas.

**NOTA:** Cuando ambos tipos de cables queden colocados en la misma pared del recinto se recomienda que los cables de electricidad ocupen niveles inferiores a los de comunicación.

**d. Identificación.** Los cables dentro de los registros, pozos o bóvedas, deben estar permanentemente identificados por medio de placas, o algún otro tipo de identificación, como se indican en la Figura 923-3(f)-(2).

El material de identificación debe ser resistente a la corrosión y a las condiciones del medio ambiente.

## **LÍNEAS SUBTERRÁNEAS**

### **921-23. Punto de conexión del conductor de puesta a tierra en sistemas de c.a.**

**a) Hasta de 750 V.** La conexión de puesta a tierra de un sistema trifásico conexión estrella de cuatro hilos, o de un sistema monofásico de tres hilos, que requiera estar conectado a tierra, debe hacerse al conductor neutro. En otros sistemas de una, dos o tres fases, asociados con circuitos de alumbrado, la conexión de puesta a tierra debe hacerse al conductor común asociado con los circuitos de alumbrado.

La conexión de puesta a tierra de un sistema trifásico de tres hilos, derivado de un transformador conectado en delta, o conectado en estrella sin conexión de puesta a tierra, el cual no sea para alimentar circuitos de alumbrado, puede hacerse a cualquiera de los conductores del circuito o bien a un neutro derivado en forma separada.

La conexión de puesta a tierra debe hacerse en la fuente de alimentación y en el lado de la carga de todo equipo de servicio.

**b) Más de 750 V**

1) **Conductor sin pantalla (ya sea desnudo, forrado o aislado sin pantalla).** La conexión de puesta a tierra debe hacerse al neutro, en la fuente de alimentación. Se pueden hacer, si se desea, conexiones adicionales a lo largo de la trayectoria del neutro, cuando éste sea uno de los conductores del sistema.

2) **Cable con pantalla**

a. **Conexión de la pantalla del cable con la puesta a tierra de apartarrayos.** Las pantallas de los cables deben unirse con el sistema de tierras de apartarrayos.

b. **Cable sin cubierta exterior aislante.** La conexión debe hacerse al neutro del transformador de alimentación y en las terminales del cable.

c. **Cable con cubierta exterior aislante.** Se recomienda hacer conexiones adicionales entre la pantalla sobre el aislamiento del cable (o armadura) y la tierra del sistema. En líneas de cable con pantalla de múltiples conexiones a tierra, la pantalla (incluyendo armadura) debe conectarse a tierra en cada unión del cable expuesta al contacto del personal.

c) **Conductor de puesta a tierra separado** Si se usa un conductor de puesta a tierra separado, añadido a una línea subterránea, debe conectarse en el transformador de alimentación y en los accesorios del cable cuando se requiera que éstos vayan conectados a tierra. Este conductor debe estar colocado en la misma trinchera o banco de ductos (o en el mismo ducto si éste es de material magnético) que los conductores del circuito.

***Excepción:** El conductor de puesta a tierra para un circuito instalado en un ducto magnético puede estar en otro ducto si el que contiene al circuito está unido a dicho conductor en ambos extremos.*

**921-24. Sistemas subterráneos**

a) Los conductores de puesta a tierra usados para conectarse a los electrodos y que se coloquen directamente enterrados, deben ser tendidos flojos o tener suficiente resistencia mecánica para evitar que se rompan fácilmente por movimientos de la tierra o asentamientos normales del terreno.

b) Los empalmes y derivaciones sin aislamiento de conductores de puesta a tierra directamente enterrados, deben ser hechos con soldadura o con dispositivos de compresión, para minimizar la posibilidad de aflojamiento o corrosión. Se debe reducir al mínimo el número de estos empalmes o derivaciones.

c) Las pantallas sobre aislamiento de cables conectadas a tierra, deben unirse con todo aquel equipo eléctrico accesible conectado a tierra en los registros, pozos o bóvedas.

***Excepción:** Esta conexión puede omitirse cuando exista protección catódica.*

d) Debe evitarse que elementos magnéticos, tales como acero estructural, tuberías, varillas de refuerzo, etc., no queden interpuestos entre el conductor de puesta a tierra y los conductores de fase del circuito.

e) Los metales usados para fines de puesta a tierra, que estén en contacto directo con la tierra, concreto o mampostería, deben estar aprobados y listados como adecuados para tal uso.

**NOTA 1:** En la actualidad, no está aprobado que el aluminio sea adecuado para este uso.

**NOTA 2:** Los metales de diferentes potenciales galvánicos, que se unan eléctricamente, pueden requerir de protección contra corrosión galvánica.

f) Cuando las pantallas o armaduras sobre el aislamiento de cables, que generalmente van conectadas a tierra, se aíslen de ésta para minimizar las corrientes eléctricas circulantes en la pantalla, deben aislarse donde estén accesibles al contacto del personal.

g) Las conexiones de transposición y los puentes de unión deben tener aislamiento para 600 V, a menos que la tensión eléctrica normal en la pantalla exceda de este nivel, en cuyo caso el aislamiento debe ser adecuado para la tensión eléctrica a tierra existente.

h) Los puentes de unión y sus medios de conexión deben ser de tamaño y diseño adecuados para soportar la corriente eléctrica disponible de falla, sin dañarse el aislamiento de los puentes o las conexiones de la pantalla.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IEEE/ANSI STD 141-1993 (R93) [Red Book, Chapter 12]  
*Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.*
  2. D.STEVENSON, "ANALISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA" Mc. Graw Hill 1996.
  3. B.M.WEEDY, "LINEAS DE TRANSMISION SUBTERRANEAS", Limusa S.A. 1983.
  4. IEEE GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUNDING.  
ANSI/IEEE STD 80-1986.
  5. ANSI/IEEE STD 142-1992, *IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.* [Green Book].
  6. ANSI/NFPA 70-1999, NATIONAL ELECTRIC CODE.
- NOM-001-SEDE-1999, NORMA OFICIAL MEXICANA (INSTALACIONES ELECTRICAS)

Nombre de archivo: Lineas Subterranas  
Directorio: F:\CURSO\_LINEAS\_SUBT  
Plantilla: C:\WINDOWS\Application  
Data\Microsoft\Plantillas\Normal.dot  
Título: Este trabajo esta dedicado  
Asunto:  
Autor: ING. FERNANDO TOLEDO TOLEDO  
Palabras clave:  
Comentarios:  
Fecha de creación: 23/11/2007 08:47  
Cambio número: 3  
Guardado el: 23/11/2007 09:08  
Guardado por: .  
Tiempo de edición: 6 minutos  
Impreso el: 23/11/2007 09:09  
Última impresión completa  
Número de páginas: 27  
Número de palabras: 5,733 (aprox.)  
Número de caracteres: 29,813 (aprox.)

## TABLAS DE DISEÑO DE CABLES

**Tabla 1.1 Propiedades comparativas de materiales empleados en la fabricación de cables eléctricos**

Metal	Densidad	Temperatura de fusión	Coefficiente lineal de dilatación	Resistividad eléctrica a 20 °C	Coefficiente térmico de resistividad eléctrica a 20 °C	Conductividad eléctrica
	g / cm <sup>3</sup>	°C	x 10 <sup>-6</sup> / °C	Ω-mm <sup>2</sup> / km	1 / °C	% IACS*
Acero	7.90	1 400	13	575 - 115	0.0016 - 0.0032	3 - 15
Aluminio	2.70	660	24	28.264	0.00403	61.0
Cobre duro	8.89	1 083	17	17.922	0.00383	96.2
Cobre suave	8.89	1 083	17	17.241	0.00393	100
Plomo	11.38	327	29	221	0.00410	7.8
Zinc	7.14	420	29	61.1	0.00400	28.2

\* IACS: International Annealed Copper Standard  
 Patrón internacional para el cobre suave o recocido, igual a 100% de conductividad.

**Tabla 1.2 Comparación de características entre cobre y aluminio**

Características	Cobre	Aluminio
Para igual volumen: relación de pesos	1.0	0.3
Para igual conductancia: relación de áreas	1.0	1.64
relación de diámetros	1.0	1.27
relación de pesos	1.0	0.49
Para igual ampacidad: relación de áreas	1.0	1.39
relación de diámetros	1.0	1.18
relación de pesos	1.0	0.42
Para igual diámetro: relación de resistencias	1.0	1.61
capacidad de corriente	1.0	0.78

**Tabla 1.3 Temples de cobre y aluminio**

**a) Temples de cobre**

Temple	Conductividad % IACS*	Esfuerzo de tensión a la ruptura kgf/mm <sup>2</sup>
Cobre suave	100	25
Cobre semiduro	96.66	35.4 - 40.3
Cobre duro	96.16	45.6

**b) Temples de aluminio**

Temple	Conductividad % IACS* (valores mínimos)	Esfuerzo de tensión a la ruptura kgf/mm <sup>2</sup>
H19	61.0	16 - 19
HF	61.3	11.7 - 15.3
HD	61.4	10.7 - 14.3
O	61.8	6.1 - 9.7

Tabla 1.4 Clases de cableado

Clase	Aplicación
AA	Cable desnudo, generalmente para líneas aéreas
A	Cable aislado, tipo intemperie, o cables desnudos que requieran mayor flexibilidad que la de la clase AA
B*	Cable aislado con materiales diversos, tales como papel, hule, plástico, etc., o cables del tipo anterior que requieran mayor flexibilidad
C y D	Cables aislados que requieran mayor flexibilidad que la clase B
G	Cables portátiles con aislamiento de hule, para alimentación de aparatos o similares
H	Cables y cordones con aislamiento de hule que requieran mucha flexibilidad. Por ejemplo, cables que tengan que enrollarse y desenrollarse continuamente y que tengan que pasar por poleas
I	Cables para aparatos especiales
J	Cordones para artefactos eléctricos
K	Cables portátiles y para soldadoras eléctricas
L	Cordones portátiles y para artefactos pequeños que requieran mayor flexibilidad que la de las clases anteriores
M	Cables para soldadoras tipo portaelectrodos, para calentadores y para lámparas
O	Cordones pequeños para calentadores que requieran mayor flexibilidad que los anteriores
P	Cordones más flexibles que en las clases anteriores
Q	Cordon para ventiladores oscilantes, flexibilidad máxima

\*Los cables de media tensión, objeto de este manual, utilizan en su construcción conductores clase B.

Tabla 1.5 Construcciones preferentes de cable de cobre con cableado redondo compacto (Clase B)

Designación		Área de la sección transversal	Número de alambres	Diámetro exterior nominal	Peso nominal
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	mm <sup>2</sup>		mm	kg/km
-	8	8.37	7	3.4	75.9
-	6	13.3	7	4.29	120.7
-	4	21.15	7	5.41	191.9
-	2	33.6	7	6.81	305
-	1	42.4	19	7.59	385
50	-	48.3	19	8.33	438
-	1/0	53.5	19	8.53	485
-	2/0	67.4	19	9.55	612
70	-	69	19	9.78	626
-	3/0	85	19	10.74	771
-	4/0	107.2	19	12.06	972
-	250	126.7	37	13.21	1149
150	-	147.1	37	14.42	1334
-	300	152	37	14.48	1379
-	350	177.3	37	15.65	1609
-	400	203	37	16.74	1839
240	-	239	37	18.26	2200
-	500	253	37	18.69	2300
-	600	304	61	20.6	2760
-	750	380	61	23.1	3450
-	800	405	61	23.8	3680
-	1000	507	61	26.9	4590

**Tabla 1.6 Construcciones preferentes de cable de aluminio con cableado redondo compacto (Clase B)**

Designación	Área de la sección transversal	Número de alambres	Diámetro exterior nominal	Peso nominal
AWG o kcmil	mm <sup>2</sup>		mm	kg/km
2	33.6	7	6.81	92.6
1/0	53.5	19	8.53	147.5
2/0	67.4	19	9.55	185.8
3/0	85	19	10.74	234.4
4/0	107.2	19	12.06	296
250	126.7	37	13.21	349
350	177.3	37	15.65	489
400	203	37	16.74	559
500	253	37	18.69	698
600	304	61	20.6	838
750	380	61	23.1	1050
900	456	61	25.4	1259
1000	507	61	26.9	1399

**Tabla 1.7 Construcciones preferentes de los conductores de cobre con cableado concéntrico normal y comprimido (Clase B)**

Designación	Área de la sección transversal	Número de alambres	Diámetro de cada alambre	Diámetro del conductor, mm	
	mm <sup>2</sup>		mm	Normal	Comprimido
35	34.4	7	2.50	7.60	7.28
70	69.0	19	2.15	10.75	10.43
150	147.1	37	2.25	15.75	15.28
240	242.5	37	2.87	20.10	19.49

**Tabla 2.1 Propiedades de los aislamientos más comúnmente usados en cables de energía (5-35 kV)**

<b>Características</b>	<b>Vulcanel XLP</b>	<b>Vulcanel EP</b>	<b>Papel Impregnado</b>
Rigidez dieléctrica, kV/mm. (corriente alterna, elevación rápida)	25	25	28
Rigidez dieléctrica, kV/mm (impulsos)	50	50	70
Permitividad relativa SIC. (a 60 ciclos, a temp. de op.)	2.1	2.6	3.9
Factor de potencia, % máx. (a 60 ciclos, a temp. de op.)	0.1	1.5	1.1
Constante K de resistencia de aislamiento a 15.6 °C. (MΩ-km) mín.	6,100	6.100	1,000
Resistencia a la ionización	Buena	Muy buena	Buena
Resistencia a la humedad	Muy buena	Excelente	Mala
Factor de pérdidas	Buena	Excelente	Buena
Flexibilidad	Mala	Excelente	Regular
Facilidad de instalación de empalmes y terminales (problemas de humedad o ionización)	Regular	Muy buena	Regular
Temperatura de operación normal (°C)	90	90	Hasta 9 kV: 95 Hasta 35 kV: 80
Temperatura de sobrecarga (°C)	130	130	Hasta 9 kV: 100 Hasta 35 kV: 100
Temperatura de cortocircuito (°C)	250	250	200
Principales ventajas	Bajo factor de pérdidas	Bajo factor de pérdidas; flexibilidad y resistencia a la ionización	Bajo costo, experiencia en el ramo, excelentes propiedades eléctricas
Principales inconvenientes	Rigidez; baja resistencia a la ionización	Es atacable por hidrocarburos a temperaturas superiores a 60 °C	Muy sensible a la penetración de humedad, requiere tubo de plomo y terminales herméticas

**Tabla 5.1 Incremento de la resistencia por efecto del cableado**

Tipo de cableado	$k_c$
Redondo normal	0.020
Redondo compacto	0.020
Sectorial	0.015
Segmental	0.020

Tabla 5.2a Resistencia a la corriente directa a 20 °C en conductores de cobre con cableado concéntrico normal, comprimido y compacto

mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	Área de la sección transversal (mm <sup>2</sup> )	Resistencia eléctrica nominal a la c.d. (20 °C, Cu suave) Ω/km
	8	8.37	2.10
	6	13.30	1.322
	5	16.77	1.050
	4	21.15	0.632
	3	26.70	0.660
	2	33.60	0.523
35		34.89	0.504
	1	42.41	0.415
50		48.30	0.364
	1/0	53.50	0.329
	2/0	67.43	0.261
70		69.00	0.255
	3/0	85.00	0.207
	4/0	107.21	0.164
	250	126.70	0.139
150		152.01	0.116
	350	177.34	0.0992
	400	202.70	0.0867
240		242.50	0.0726
	500	253.40	0.0694
	600	304.02	0.0578
	700	354.70	0.0496
	750	380.02	0.0463
	800	405.36	0.0434
	1000	506.7	0.0347

Tabla 5.2b Resistencia a la corriente directa a 20 °C en conductores de aluminio con cableado concéntrico normal, comprimido y compacto

AWG kcmil	Área de la sección transversal (mm <sup>2</sup> )	Resistencia eléctrica nominal a la c.d. a 20 °C, Ω/km
2	33.6	0.860
1/0	53.5	0.539
2/0	67.4	0.428
3/0	85.0	0.3391
4/0	107.2	0.269
250	126.7	0.223
350	177.3	0.163
500	253.4	0.114
600	304.0	0.0948
700	354.7	0.0813
1000	506.7	0.0569

Tabla 5.3 Factores de corrección por temperatura para cálculo de resistencias de conductores eléctricos de cobre y aluminio

Temperatura del conductor en °C	Factor de corrección a 20 °C	
	Cobre	Aluminio
0	1.035	1.033
5	1.062	1.064
10	1.040	1.042
15	1.020	1.020
20	1.000	1.000
25	0.980	0.980
30	0.962	0.961
35	0.944	0.943
40	0.927	0.925
45	0.910	0.908
50	0.894	0.892
55	0.879	0.876
60	0.869	0.861
65	0.850	0.846
70	0.836	0.832
75	0.822	0.818
80	0.809	0.805
85	0.796	0.792
90	0.784	0.780

Tabla 5.4 Valores de  $K_s$  y  $K_p$

Forma del conductor	$K_s$	$K_p$
Redondo normal	1.0	1.0
Redondo compacto	1.0	1.0
Segmental	0.435	0.37

Tabla 5.5 Razón de resistencias, c.a./c.d., para conductores de cobre y aluminio a una frecuencia de 60 Hz. Cableado concéntrico normal

Calibre del conductor AWG o kcmil	Para cables con cubierta no metálica, véase nota 1		Para cables con cubierta metálica, véase nota 2	
	1		2	
mm <sup>2</sup>	Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
3 y menores	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0100	1.0300
1	1.0000	1.0000	1.0100	1.0300
1/0	1.0010	1.0000	1.0200	1.0300
2/0	1.0010	1.0010	1.0300	1.0300
3/0	1.0020	1.0010	1.0400	1.0300
4/0	1.0040	1.0010	1.0500	1.0300
250	1.0050	1.0020	1.0600	1.0200
300	1.0060	1.0030	1.0700	1.0200
350	1.0090	1.0040	1.0800	1.0300
400	1.0110	1.0050	1.1000	1.0400
500	1.0180	1.0070	1.1300	1.0500
600	1.0250	1.0100	1.1600	1.0800
750	1.0390	1.0150	1.2100	1.1100
1000	1.0670	1.0260		1.1900
1250	1.1020	1.0400		1.2700
1500	1.1420	1.0560		1.3600
1750	1.1650	1.0790		1.4600
2000	1.2330	1.1000		1.5600
2500	1.3260			

Nota 1. Utilícese la columna 1 para la razón c.a./c.d. para:

- Conductor monofásico con cubierta no metálica, instalado en aire o en ducto no metálico.
- Conductor monofásico con cubierta metálica, instalado con las cubiertas aisladas en aire o en ductos no metálicos separados.

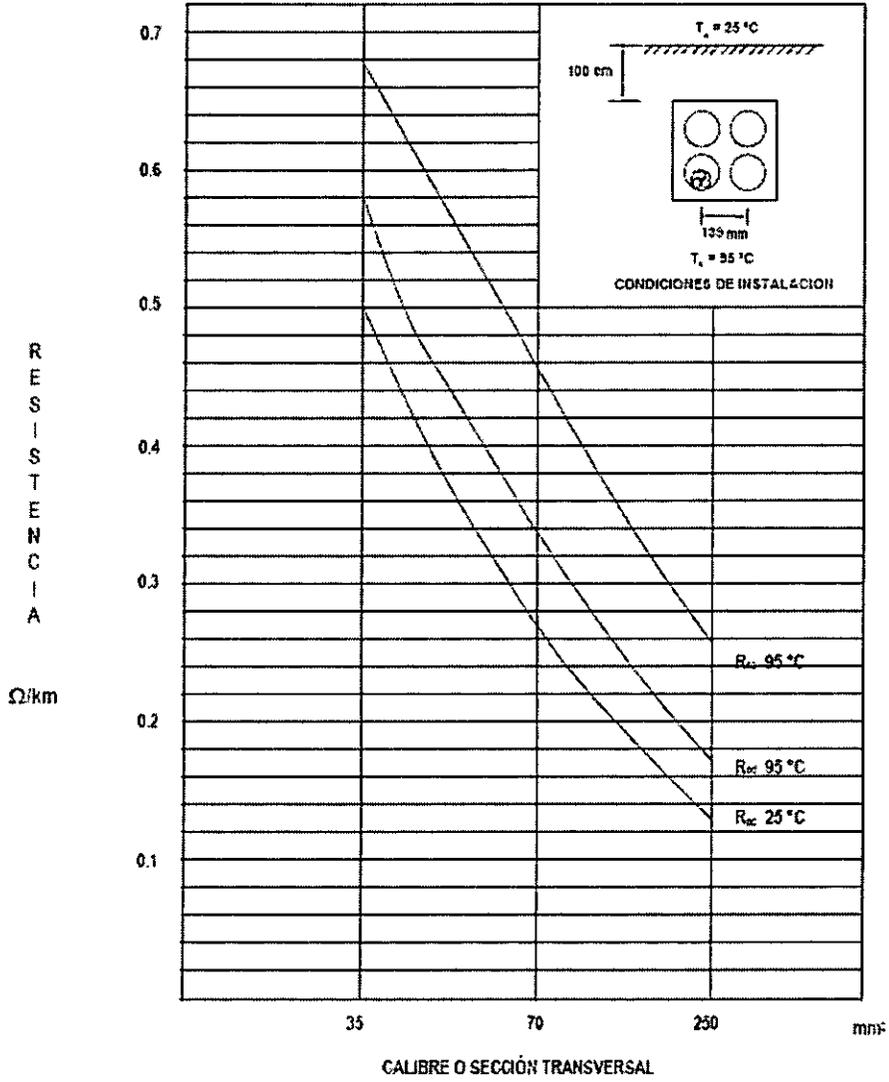
La columna 1 incluye únicamente el efecto piel (skin). Por lo general, pueden despreciarse los factores de proximidad que varían con el espaciamiento, para instalaciones espaciadas en forma uniforme.

Nota 2. Utilícese la columna 2 para la razón c.a./c.d. para:

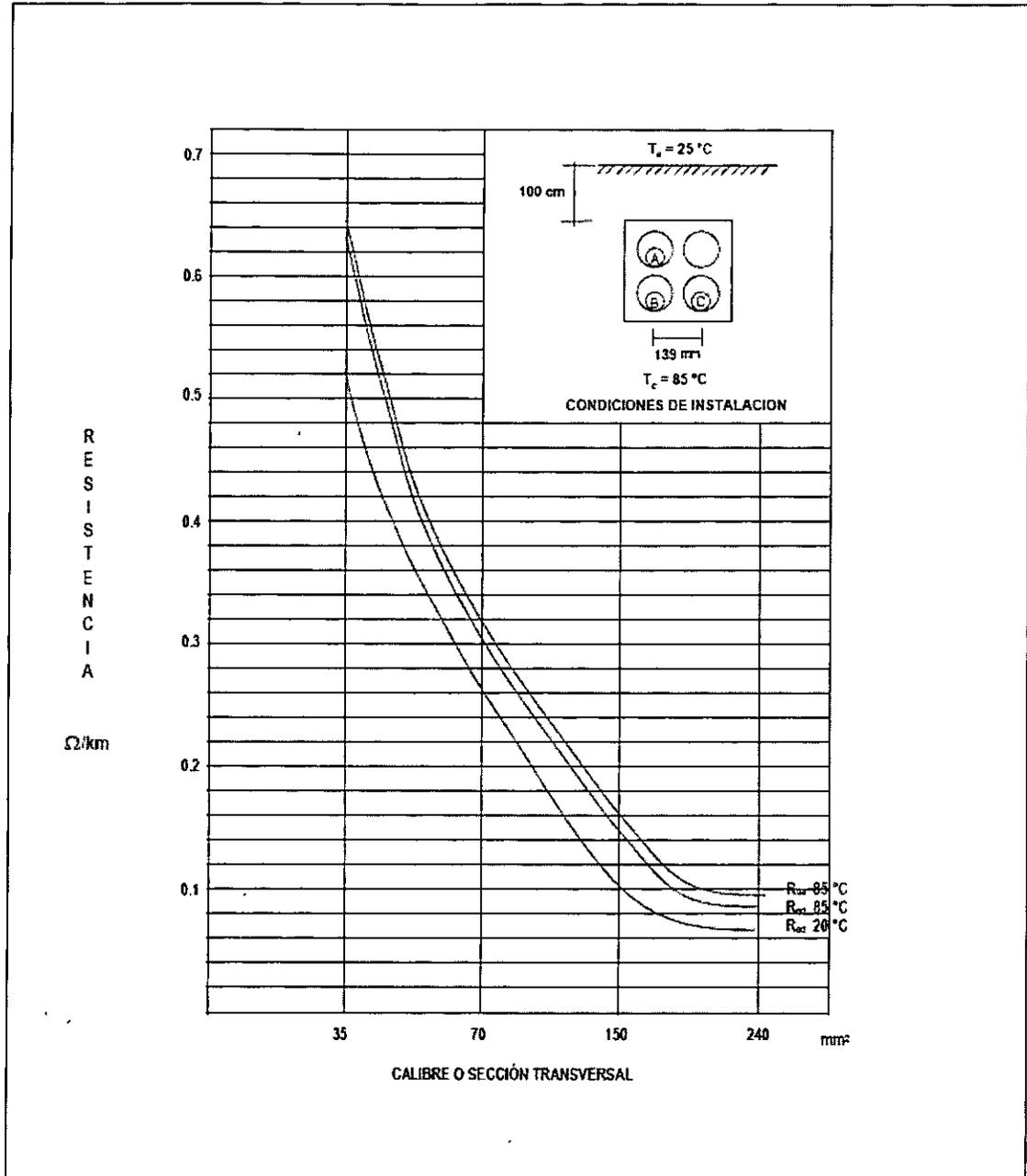
- Cables multiconductores con cubierta metálica.
- Cables multiconductores con cubierta no metálica en conduit metálico.
- Dos o múltiplo de dos conductores monofásicos con cubierta no metálica, instalados en el mismo conduit metálico.
- Cables multiconductores con cubiertas no metálicas, instalados al aire o en conduit no metálico.

La columna 2 incluye la corrección por efecto superficial (skin), de proximidad y todas las otras pérdidas inductivas de corriente alterna.

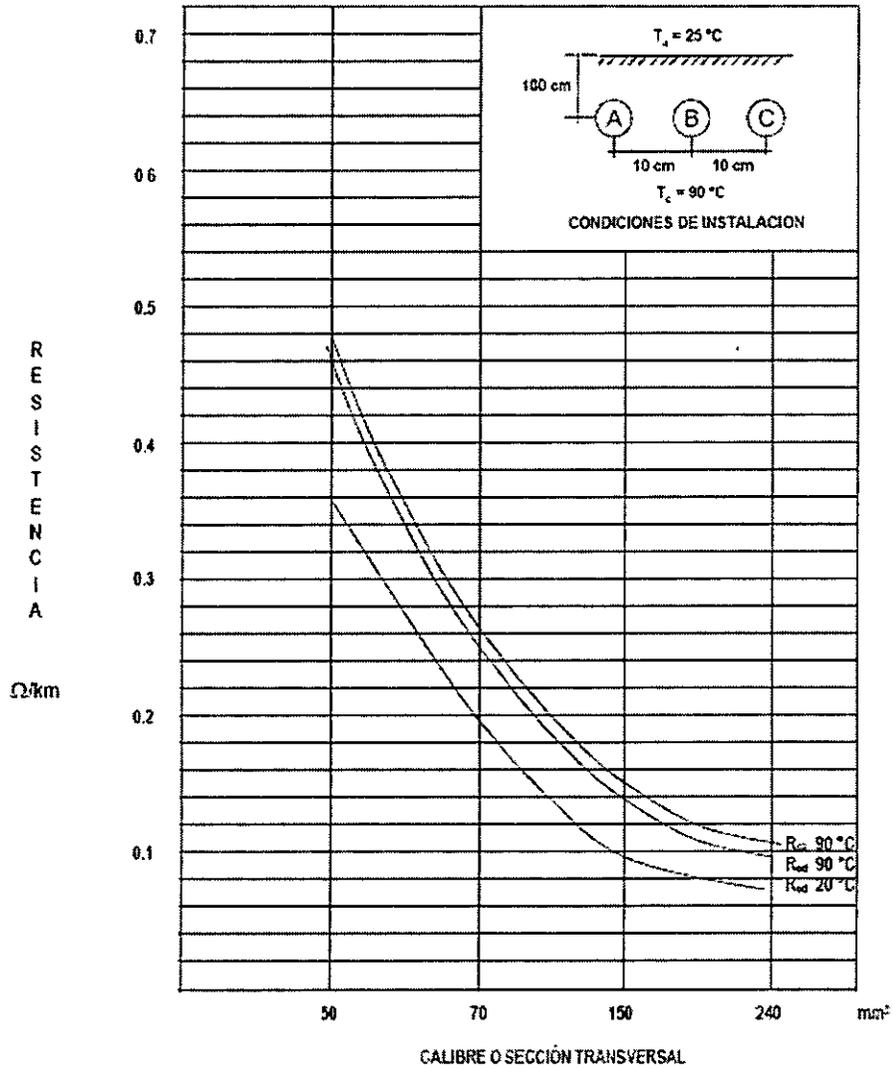
RESISTENCIA DE CABLES TRIPOLARES TIPO 6PT CON AISLAMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO 6 kV. CONDUCTOR DE COBRE



RESISTENCIA DE CABLES MONOPOLARES TIPO 23 PT AISLADOS CON PAPEL IMPREGNADO Y FORRO DE PLOMO CONDUCTOR DE COBRE, 23 kV



RESISTENCIA DE CABLES MONOPOLARES TIPO 23 TC CON AISLAMIENTO DE XLP Y CONDUCTOR DE COBRE



RESISTENCIA DE CABLES MONOPOLARES CON AISLAMIENTO DE EP-XLP. CONDUCTOR DE COBRE. TENSIONES DE OPERACIÓN 5, 15, 25 Y 35 kV

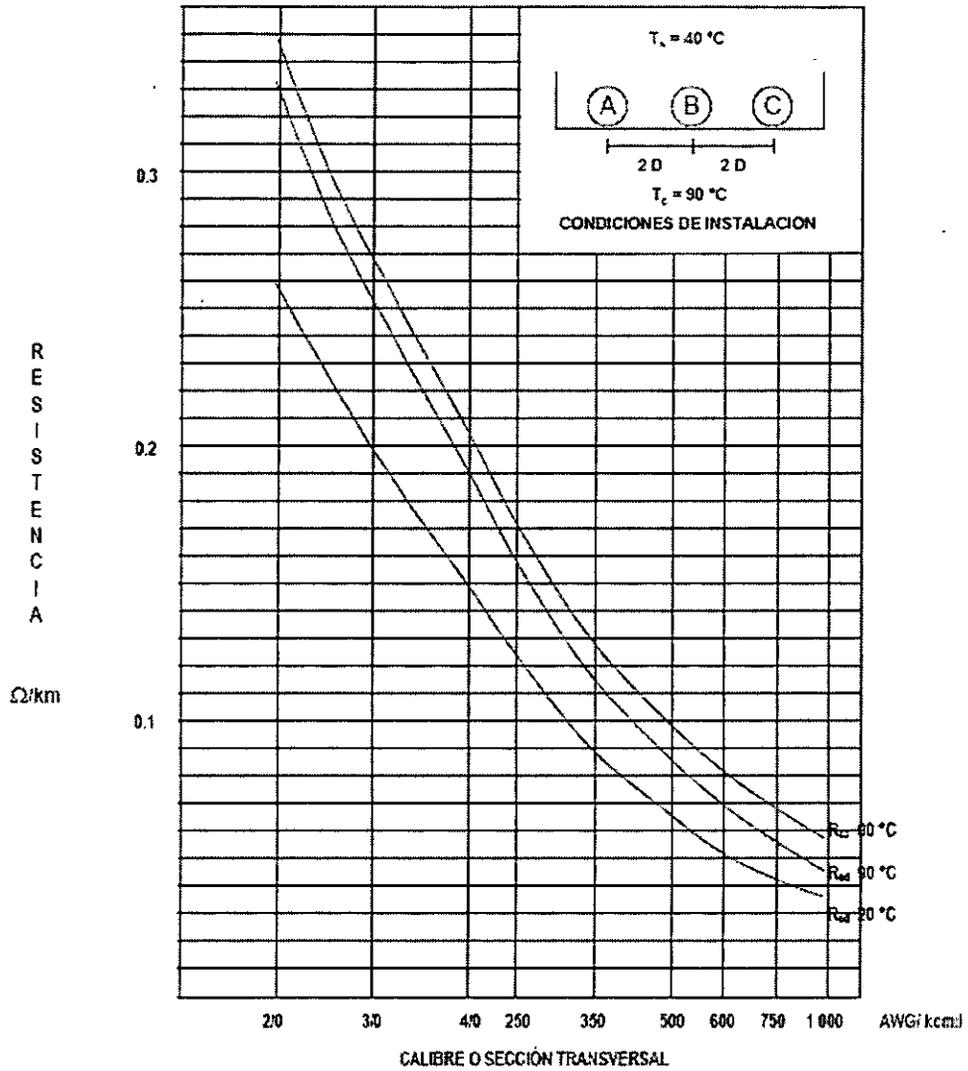


Tabla 6.1 Radio medio geométrico de conductores usuales

Construcción del conductor	RMG
Alambre sólido	0.779 r
Cable de un solo material	
7 hilos	0.726 r
19 hilos	0.758 r
37 hilos	0.768 r
61 hilos	0.772 r
91 hilos	0.774 r
127 hilos	0.776 r

r = radio del conductor

Tabla 6.2. Caso 1. Fórmulas de cálculo de la inductancia total (H/km)

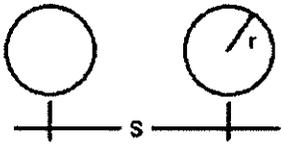
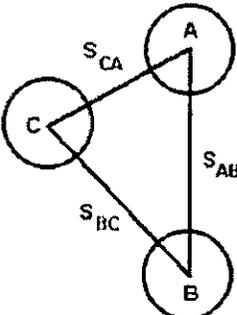
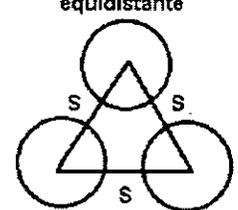
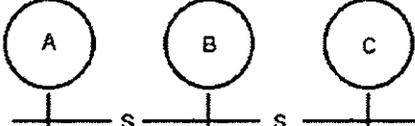
 $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{S}{\text{RMG}} \quad (6.3)$	 <p>El valor medio de la inductancia total del sistema es:</p> $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{\text{DMG}}{\text{RMG}} \quad (6.5)$ <p>Donde DMG es la distancia media geométrica y queda definida como:</p> $\text{DMG} = \sqrt[3]{S_{AB} \times S_{BC} \times S_{CA}} \quad (6.5')$ <p><math>S_{AB} \neq S_{BC} \neq S_{CA}</math> Formación triangular</p>
<p>Formación triangular equidistante</p>  <p><math>L = L_A = L_B = L_C</math></p> $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{S}{\text{RMG}} \quad (6.4)$	 <p>El valor medio de la inductancia total es:</p> $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{\text{DMG}}{\text{RMG}} \quad (6.6)$ <p>donde <math>\text{DMG} = \sqrt[3]{2} \times S</math></p> <p>Formación plana</p>

Tabla 6.3 Resistencia y reactancia aparentes

Resistencia aparente ( $R_A$ )  
ohm/km

Fase A 
$$R + \frac{R_p}{4} \left[ \frac{\sqrt{3} (\sqrt{3} + P)}{(P^2 + 1)} + \frac{(1 - \sqrt{3} Q)}{(Q^2 + 1)} \right]$$

Fase B 
$$R + \frac{R_p}{Q^2 + 1}$$

Fase C 
$$R + \frac{R_p}{4} \left[ \frac{\sqrt{3} (\sqrt{3} - P)}{(P^2 + 1)} + \frac{(1 + \sqrt{3} Q)}{(Q^2 + 1)} \right]$$

Promedio 
$$R + R_p \left[ \frac{P^2 + Q^2 + 2}{2(P^2 + 1)(Q^2 + 1)} \right]$$

Reactancia aparente ( $X_{LA}$ )  
ohm/km

Fase A 
$$X_L - X_m + \frac{R_p}{4} \left[ \frac{\sqrt{3} (\sqrt{3} P - 1)}{(P^2 + 1)} + \frac{(Q + \sqrt{3})}{(Q^2 + 1)} \right]$$

Fase B 
$$X_L - X_m + \frac{R_p Q}{Q^2 + 1}$$

Fase C 
$$X_L - X_m + \frac{R_p}{4} \left[ \frac{\sqrt{3} (\sqrt{3} P + 1)}{(P^2 + 1)} + \frac{(Q - \sqrt{3})}{(Q^2 + 1)} \right]$$

Promedio 
$$X_L - X_m + R_p \left[ \frac{Q(P^2 + 1) + P(Q^2 + 1)}{2(P^2 + 1)(Q^2 + 1)} \right]$$

Tabla 6.4 Configuraciones para el cálculo de resistencia y reactancia aparentes

	I Monofásica	II Equilátera	III Rectangular	IV Plana	V Doble circuito	VI Doble circuito
Configuración						
$P = \frac{R_p}{Y} \quad Q = \frac{R_p}{Z}$	$\gamma =$	$x_m$	$(x_m + \frac{a}{2})$	$(x_m + a)$	$(x_m + a + \frac{b}{2})$	$(x_m + a - \frac{b}{2})$
	$Z =$	$x_m$	$(x_m - \frac{a}{6})$	$(x_m - \frac{a}{3})$	$(x_m + \frac{a}{3} - \frac{b}{6})$	$(x_m + \frac{a}{3} - \frac{b}{6})$
		$x_m = 2 \pi f (2 \times 10^{-4} \ln \frac{S}{r_0})$ ; $a = 2 \pi f (2 \times 10^{-4} \ln 2)$ ; $b = 2 \pi f (2 \times 10^{-4} \ln 5)$ $\rho = \text{ohm} \cdot \text{cm} \quad x_m = 0.0754 \ln \frac{S}{r_0}$ ; $a = 0.0523$ ; $b = 0.1214$				

Tabla 6.5 Fórmulas para el cálculo de la resistencia eléctrica de pantallas y cubiertas metálica

Pantalla de alambres	$R_p = \rho \frac{1.07}{0.7854 \times n \times d^2} \text{ ohm/km}$
Tubular de plomo	$R_p = \frac{\rho}{\pi \times d_m \times t} \text{ ohm/km}$
Pantalla de cintas de cobre traslapadas	$R_p = \rho \frac{1.02 \times K}{\pi \times d_m \times t} \text{ ohm/km}$

Donde:

- $d_m$  = diámetro medio de la pantalla o forro metálico en mm
- $d$  = diámetro de los alambres de la pantalla en mm
- $t$  = espesor de la pantalla o forro metálico en mm (aproximadamente 0.12 mm para cintas de cobre)
- $n$  = número de alambres
- $K$  = factor para incrementar la resistencia debido al contacto en el traslape ( $K = 1$  para cables nuevos;  $K = 2$  para cables que han estado en servicio)
- $\rho$  = resistividad eléctrica del material de la pantalla metálica a su temperatura de operación en ohm-mm<sup>2</sup>/km:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha (t - 20))$$

$\rho_c$  = resistividad eléctrica del material de la pantalla metálica a 20 °C

$\alpha$  = coeficiente térmico de resistividad eléctrica del material de la pantalla metálica a 20 °C

Material	Resistividad eléctrica a 20 °C	Coefficiente térmico de resistividad eléctrica a 20 °C
	ohm-mm <sup>2</sup> /km	1/°C
Aluminio	28.264	0.00403
Cobre suave	17.241	0.00393
Plomo	221	0.00410

t = temperatura de operación de la pantalla metálica:

Voltaje de fase a fase del cable	Temperatura aproximada de la pantalla en °C, en función de la temperatura del conductor						
	95 °C	90 °C	85 °C	80 °C	75 °C	70 °C	65 °C
kV							
5	90	85	80	75	70	65	60
15	90	85	80	75	70	65	60
25	90	85	80	75	70	65	60
35	85	80	75	70	65	60	55
46	85	80	75	70	65	60	55
69	80	75	70	65	60	55	50

**Tabla 8.1 Profundidad equivalente del regreso por tierra ( $D_e$ ) e impedancia de la tierra ( $R_e$  y  $X_e$ ), a 60 Hertz**

Resistividad de la tierra (ohm-m)	Profundidad equivalente $D_e$ (m)	Resistencia equivalente de la tierra $R_e$ (ohm/km)	Reactancia equivalente de la tierra $X_e$ (ohm/km)
1	$8.53 \times 10^1$	0.178	1.27
5	$1.89 \times 10^2$	0.178	1.45
10	$2.68 \times 10^2$	0.178	1.54
50	$6.10 \times 10^2$	0.178	1.72
100	$8.53 \times 10^2$	0.178	1.80
500	$1.89 \times 10^3$	0.178	1.98
1 000	$2.68 \times 10^3$	0.178	2.06
5 000	$6.10 \times 10^3$	0.178	2.24
10 000	$8.53 \times 10^3$	0.178	2.32

Diámetro del conductor	Área transversal del conductor	Número de alambres del conductor	Diámetro sobre semiconductor interno	Diámetro sobre aislamiento
mm	mm <sup>2</sup>	No.	mm	mm
9.6	67.4	19	10.8	15.7

Diámetro sobre reunido de las tres almas	Diámetro sobre cinta reunidora de mylar de 0.05 x 25 mm	Diámetro sobre cubierta metálica de plomo	Diámetro exterior sobre cubierta de PVC
mm	mm	mm	mm
33.8	34.0	38.7	43.0

- Resistencia en corriente alterna de un conductor a temperatura ambiente (20 °C), sin considerar el efecto de proximidad, sólo tomando en cuenta el efecto piel ( $R_c$ ), en ohm/km:

Los cables que vamos a usar son cables de energía 250 kcmil con conductor de cobre, aislamiento de XLPE para 35 kV con 100% N.A., pantalla metálica de alambres de cobre y cubierta general de PVC. Los datos de los cables son los siguientes:

Diámetro del conductor	Área transversal del conductor	Número de alambres del conductor	Diámetro sobre semiconductor interno	Diámetro sobre aislamiento
mm	mm <sup>2</sup>	No.	mm	mm
13.3	127	37	14.8	33.2

Diámetro sobre semiconductor externo	Número de alambres de cobre de la pantalla	Calibre de los alambres de cobre de la pantalla	Diámetro de cada alambre de cobre de la pantalla	Diámetro sobre pantalla de alambres	Diámetro exterior sobre cubierta de PVC
mm	No.	AWG	mm	mm	mm
35.9	20	22	0.643	37.2	41.8

Tabla 9.1 Horas efectivas en que se presentan las pérdidas de acuerdo con la operación

Tipo de operación	Horas efectivas
a) Equipo en trabajo ocasional	0 – 500
b) Carga irregular durante un turno	500 – 1 500
c) Carga irregular en varios turnos	1 500 – 3 500
d) Carga uniforme en varios turnos	3 500 – 7 000
e) Carga plena ocasionalmente desconectada	7 000 – 8000
f) Carga plena conectada permanentemente	8760

Tabla 9.2 Valores de la constante inductiva específica (SIC) y tanδ para aislamientos empleados usualmente

Aislamiento	tanδ (por unidad)	SIC
EP	0.015	2.6
XLP	0.001	2.1
Papel Impregnado	0.011	3.9

Tabla 9.3 Formulario para cálculo de corrientes que circulan por las pantallas

CONFIGURACION	I MONOFASICA	II EQUILATERA	III RECTANGULAR	IV PLANA	V DOBLE CIRCUITO	VI DOBLE CIRCUITO
PANTALLAS ATERRIZADAS EN DOS O MAS PUNTOS						
	$\frac{I_{p1}^2}{I^2} = \frac{X_m^2}{R_p + X_m^2}$	$\frac{X_m^2}{R_p + X_m^2}$	$\frac{X_m^2}{R_p + X_m^2}$	$\frac{(P^2 + 3Q^2) + 2\sqrt{3}(P - Q) + 4}{4(P^2 + 1)(Q^2 + 1)}$		
	$\frac{I_{p2}^2}{I^2} = \frac{X_m^2}{R_p + X_m^2}$	$\frac{X_m^2}{R_p + X_m^2}$		$\frac{1}{(Q^2 + 1)}$		
	$\frac{I_{p3}^2}{I^2} = \frac{X_m^2}{R_p + X_m^2}$	$\frac{X_m^2}{R_p + X_m^2}$		$\frac{(P^2 + 3Q^2) - 2\sqrt{3}(P - Q) + 4}{4(P^2 + 1)(Q^2 + 1)}$		
	$\frac{I_{p1}^2 + I_{p2}^2 + I_{p3}^2}{3I^2} = \frac{I_{p promedio}^2}{I^2} = \frac{X_m^2}{R_p + X_m^2}$	$\frac{X_m^2}{R_p + X_m^2}$		$\frac{P^2 + Q^2 + 2}{2(P^2 + 1)(Q^2 + 1)}$		
$P = \frac{R_p}{Y}$ $Q = \frac{R_p}{Z}$	$Y =$	$X_m$	$\left(X_m + \frac{a}{2}\right)$	$(X_m + a)$	$\left(X_m + a + \frac{b}{2}\right)$	$\left(X_m + a - \frac{b}{2}\right)$
	$Z =$	$X_m$	$\left(X_m - \frac{a}{6}\right)$	$\left(X_m - \frac{a}{3}\right)$	$\left(X_m + \frac{a}{3} - \frac{b}{6}\right)$	$\left(X_m + \frac{a}{3} + \frac{b}{6}\right)$
$X_m = 2\pi f 2 \times 10^{-4} L_n \left(\frac{S}{r_0}\right)$ , $a = 2\pi f 2 \times 10^{-4} L_n(2)$ , $b = 2\pi f 2 \times 10^{-4} L_n(S)$						
A 60 Hz en ohm/km: $X_m = 0.0754 L_n \left(\frac{S}{r_0}\right)$ , $a = 0.0523$ ; $b = 0.1214$						

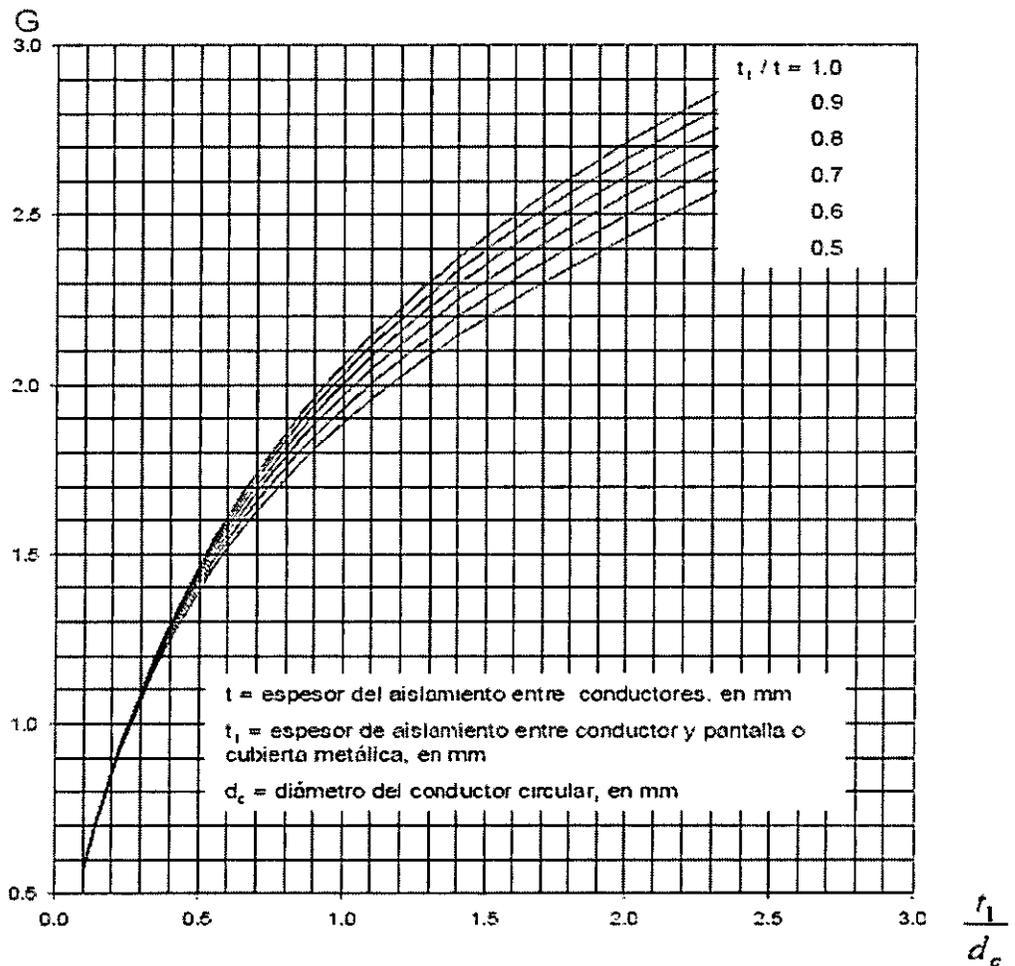
Donde:

- I = corriente que circula en el conductor de los cables, en amperes
- $I_{pi}$  = corriente que circula por la pantalla de la fase "i", en amperes. Los subíndices 1, 2 y 3 corresponden a las fases A, B y C respectivamente
- S = separación entre centros de cables, en mm
- $r_c$  = radio medio de pantalla metálica, en mm

**Tabla 10.1 Resistividad térmica de aislamientos**

Aislamiento	$\rho_i$ ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}/\text{W}$ )
Papel	6.0
Polietileno	3.5
XLPE	3.5
EP	5.0
PVC*	6.0

\* Valor promedio, ya que la resistividad térmica del PVC varía de acuerdo con el compuesto.



**Tabla 10.3 Valores de U, V e Y**

Condiciones de instalación	U	V	Y
En ducto metálico	5.2	1.4	0.011
En ducto de fibra en aire	5.2	0.83	0.006
En ducto de fibra en concreto	5.2	0.91	0.010
En ducto de asbesto cemento:			
ductos en aire	5.2	1.2	0.006
ductos en concreto	5.2	1.1	0.011

**Tabla 310-67. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores individualmente aislados de cobre, al aire, en configuración tríplex para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura de aire ambiente de 40 °C**

Tamaño nominal del conductor en:		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG-kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8.367	8	65	74	---	---
13.3	6	90	99	100	110
21.15	4	120	130	130	140
33.62	2	160	175	170	195
42.41	1	185	205	195	225
53.48	1/0	215	240	225	255
67.43	2/0	250	275	260	295
85.01	3/0	290	320	300	340
107.2	4/0	335	375	345	390
126.67	250	375	415	380	430
177.34	350	465	515	470	525
253.35	500	580	645	580	650
380.03	750	750	835	730	820
506.71	1000	880	980	850	950

**Tabla 310-68. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores individualmente aislados de aluminio, al aire en configuración tríplex para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG-kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8.367	8	50	57	---	---
13.3	6	70	77	75	84
21.15	4	90	100	100	110
33.62	2	125	135	130	150
42.41	1	145	160	150	175
53.48	1/0	170	185	175	200
67.43	2/0	195	215	200	230
85.01	3/0	225	250	230	265
107.2	4/0	265	290	270	305
126.67	250	295	325	300	335
177.34	350	365	405	370	415
253.35	500	460	510	460	515
380.03	750	600	665	590	660
506.71	1000	715	800	700	780

**Tabla 310-69. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores individualmente aislados de cobre, un conductor al aire, para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-15000 V		Intensidad para 15001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	83	93	---	---	---	---
13,3	6	110	120	110	125	---	---
21,15	4	145	160	150	165	---	---
33,62	2	190	215	195	215	---	---
42,41	1	225	250	225	250	225	250
53,48	1/0	260	290	260	290	260	290
67,43	2/0	300	330	300	335	300	330
85,01	3/0	345	385	345	385	345	380
107,2	4/0	400	445	400	445	395	445
126,67	250	445	495	445	495	440	490
177,34	350	550	615	550	610	545	605
253,35	500	695	775	685	765	680	755
380,03	750	900	1000	885	990	870	970
506,71	1000	1075	1200	1060	1185	1040	1160
633,39	1250	1230	1370	1210	1350	1185	1320
760,07	1500	1365	1525	1345	1500	1315	1465
886,74	1750	1495	1665	1470	1640	1430	1595
1013,4	2000	1605	1790	1575	1755	1535	1710

**Tabla 310-70. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores individualmente aislados de aluminio, un conductor al aire, para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-15000 V		Capacidad de conducción de corriente para 15001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	64	71	---	---	---	---
13,3	6	65	95	87	97	---	---
21,15	4	115	125	115	130	---	---
33,62	2	150	165	150	170	---	---
42,41	1	175	195	175	195	175	195
53,48	1/0	200	225	200	225	200	225
67,43	2/0	230	260	235	260	230	260
85,01	3/0	270	300	270	300	270	300
107,2	4/0	310	350	310	350	310	345
126,67	250	345	385	345	385	345	380
177,34	350	430	480	430	480	430	475
253,35	500	545	605	535	600	530	590
380,03	750	710	790	700	780	665	765
506,71	1000	855	950	840	940	825	920
633,39	1250	980	1095	970	1080	950	1055
760,07	1500	1105	1230	1085	1215	1060	1180
886,74	1750	1215	1355	1195	1335	1165	1300
1013,4	2000	1320	1475	1295	1445	1265	1410

**Tabla 310-71. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado formado por tres conductores aislados de cobre, al aire, para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	59	66	---	---
13,3	6	79	88	93	105
21,15	4	105	115	120	135
33,62	2	140	154	165	185
42,41	1	160	180	185	210
53,48	1/0	185	205	215	240
67,43	2/0	215	240	245	275
85,01	3/0	250	280	285	315
107,2	4/0	285	320	325	360
126,67	250	320	355	360	400
177,34	350	395	440	435	490
253,35	500	485	545	535	600
380,03	750	615	685	670	745
506,71	1000	705	790	770	860

**Tabla 310-72. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado formado de tres conductores aislados de aluminio, al aire para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	46	51	—	—
13,3	6	61	68	72	80
21,15	4	81	90	95	105
33,62	2	110	120	125	145
42,41	1	125	140	145	165
53,48	1/0	145	160	170	185
67,43	2/0	170	185	190	215
85,01	3/0	195	215	220	245
107,2	4/0	225	250	255	285
126,67	250	250	280	280	315
177,34	350	310	345	345	385
253,35	500	385	430	425	475
380,03	750	495	550	540	600
506,71	1000	585	650	635	705

**Tabla 310-73. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de cables triplex de cobre o de tres conductores aislados en tubo (conduit), al aire para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	55	61	---	---
13,3	6	75	84	83	93
21,15	4	97	110	110	120
33,62	2	130	145	150	165
42,41	1	155	175	170	190
53,48	1/0	180	200	195	215
67,43	2/0	205	225	225	255
85,01	3/0	240	270	260	290
107,2	4/0	280	305	295	330
126,67	250	315	355	330	365
177,34	350	385	430	395	440
253,35	500	475	530	480	535
380,03	750	600	665	585	655
506,71	1000	690	770	675	755

**Tabla 310-74. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de cables triplex de aluminio o de tres conductores aislados en tubo (conduit), al aire para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	43	46	---	---
13,3	6	58	65	65	72
21,15	4	76	85	84	94
33,62	2	100	115	115	130
42,41	1	120	135	130	150
53,48	1/0	140	155	150	170
67,43	2/0	160	175	175	200
85,01	3/0	190	210	200	225
107,2	4/0	215	240	230	260
126,67	250	250	280	255	290
177,34	350	305	340	310	350
253,35	500	380	425	385	430
380,03	750	490	545	485	540
506,71	1000	590	645	565	640

**Tabla 310-75. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado de tres conductores aislados de cobre en tubo (conduit), para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	6	52	58	---	---
13,3	6	69	77	83	92
21,15	4	91	100	105	120
33,62	2	125	135	145	165
42,41	1	140	155	165	185
53,48	1/0	165	185	195	215
67,43	2/0	190	210	220	245
85,01	3/0	220	245	250	280
107,2	4/0	255	285	290	320
126,67	250	280	315	315	350
177,34	350	350	390	385	430
253,35	500	425	475	470	525
380,03	750	525	585	570	635
506,71	1000	590	660	650	725

**Tabla 310-76. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado de tres conductores aislados de aluminio en tubo (conduit), para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	6	41	46	---	---
13,3	6	53	59	64	71
21,15	4	71	79	84	94
33,62	2	96	105	115	125
42,41	1	110	125	130	145
53,48	1/0	130	145	150	170
67,43	2/0	150	165	170	190
85,01	3/0	170	190	195	220
107,2	4/0	200	225	225	255
126,67	250	220	245	250	280
177,34	350	275	305	305	340
253,35	500	340	380	360	425
380,03	750	430	480	470	520
506,71	1000	505	560	550	615

**Tabla 310-77. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de tres conductores individualmente aislados de cobre en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por cada conducto) para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C. arreglo de conductores en ductos como indica la figura 310-1 y un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
Un circuito (Véase Figura 310-1 Detalle 1)		TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	64	69	---	---
13,3	6	85	92	90	97
21,15	4	110	120	115	125
33,62	2	145	155	155	165
42,41	1	170	180	175	185
53,48	1/0	195	210	200	215
67,43	2/0	220	235	230	245
85,01	3/0	250	270	260	275
107,2	4/0	290	310	295	315
126,67	250	320	345	325	345
177,34	350	385	415	390	415
253,35	500	470	505	465	500
380,03	750	585	630	565	610
506,71	1000	670	720	640	690
Tres circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 2)					
8,367	8	56	60	---	---
13,3	6	73	79	77	83
21,15	4	95	100	99	105
33,62	2	125	130	130	135
42,41	1	140	150	145	155
53,48	1/0	160	175	165	175
67,43	2/0	185	195	185	200
85,01	3/0	210	225	210	225
107,2	4/0	235	255	240	255
126,67	250	260	280	260	280
177,34	350	315	335	310	330
253,35	500	375	405	370	395
380,03	750	460	495	440	475
506,71	1000	525	665	495	535

**Tabla 310-77(continuación). Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de tres conductores individualmente aislados de cobre en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por cada conducto) para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C. un arreglo de conductores en ductos como indica la figura 310-1 y un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
Seis circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 3)		TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	48	52	---	---
13,3	6	62	67	64	68
21,15	4	80	86	82	88
33,62	2	105	110	105	115
42,41	1	115	125	120	125
53,48	1/0	135	145	135	145
67,43	2/0	150	160	150	165
85,01	3/0	170	185	170	185
107,2	4/0	195	210	190	205
126,67	250	210	225	210	225
177,34	350	250	270	245	265
253,35	500	300	325	290	310
380,03	750	365	395	350	375
506,71	1000	410	445	390	415

Tabla 310-78. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de tres conductores individualmente aislados de aluminio en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por cada conducto) para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, un arreglo de conductores en ductos como indica la figura 310-1 y un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Un circuito (Véase figura 310-1 Detalle 1)					
8,367	8	50	54	—	—
13,3	6	66	71	70	75
21,15	4	86	93	91	98
33,62	2	115	125	120	130
42,41	1	130	140	135	145
53,48	1/0	150	160	155	165
67,43	2/0	170	185	175	190
85,01	3/0	195	210	200	215
107,2	4/0	225	245	230	245
126,67	250	250	270	250	270
177,34	350	305	325	305	330
253,35	500	370	400	370	400
380,03	750	470	505	455	490
506,71	1000	545	590	525	565
Tres circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 2)					
8,367	8	44	47	—	—
13,3	6	57	61	60	65
21,15	4	74	80	77	83
33,62	2	96	105	100	105
42,41	1	110	120	110	120
53,48	1/0	125	135	125	140
67,43	2/0	145	155	145	155
85,01	3/0	160	175	165	175
107,2	4/0	185	200	185	200
126,67	250	205	220	200	220
177,34	350	245	265	245	260
253,35	500	295	320	290	315
380,03	750	370	395	355	385
506,71	1000	425	460	405	440

**Tabla 310-78 (continuación). Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de tres conductores individualmente aislados de aluminio en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por cada conducto) para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C. un arreglo de conductores en ductos como indica la figura 310-1 y un factor de carga de 100%. una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Seis circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 3)					
8,367	8	38	41	—	—
13,3	6	48	52	50	54
21,15	4	62	67	64	69
33,62	2	80	86	80	88
42,41	1	91	98	90	99
53,48	1/0	105	110	105	110
67,43	2/0	115	125	115	125
85,01	3/0	135	145	130	145
107,2	4/0	150	165	150	160
126,67	250	165	180	165	175
177,34	350	195	210	195	210
253,35	500	240	255	230	250
360,03	750	290	315	280	305
506,71	1000	335	360	320	345

**Tabla 310-79. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado de tres conductores de cobre aislados en una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por cada conducto), para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, arreglo de cables en ductos como indica la figura 310-1, un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C**

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Un circuito (Véase figura 310-1 Detalle 1)					
8,367	8	59	64	----	----
13,3	6	78	84	88	95
21,15	4	100	110	115	125
33,62	2	135	145	150	160
42,41	1	155	165	170	185
53,48	1/0	175	190	195	210
67,43	2/0	200	220	220	235
85,01	3/0	230	250	250	270
107,2	4/0	265	285	285	305
126,67	250	290	315	310	335
177,34	350	355	380	375	400
253,35	500	430	460	450	485
380,03	750	530	570	545	585
506,71	1000	600	645	615	660
Tres circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 2)					
8,367	8	53	57	----	----
13,3	6	69	74	75	81
21,15	4	89	96	97	105
33,62	2	115	125	125	135
42,41	1	135	145	140	155
53,48	1/0	150	165	160	175
67,43	2/0	170	185	185	195
85,01	3/0	195	210	205	220
107,2	4/0	225	240	230	250
126,67	250	245	265	255	270
177,34	350	295	315	305	325
253,35	500	355	380	360	385
380,03	750	430	465	430	465
506,71	1000	485	520	485	515

Tabla 310-79 (continuación). Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado de tres conductores de cobre aislados en una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por cada conducto), para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, arreglo de cables en ductos como indica la figura 310-1, un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Seis circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 3)					
8,367	8	46	50	---	---
13,3	6	60	65	63	68
21,15	4	77	83	81	87
33,62	2	98	105	105	110
42,41	1	110	120	115	125
53,48	1/0	125	135	130	145
67,43	2/0	145	155	150	160
85,01	3/0	165	175	170	180
107,2	4/0	185	200	190	200
126,67	250	200	220	205	220
177,34	350	240	270	245	275
253,35	500	290	310	290	305
380,03	750	350	375	340	365
506,71	1000	390	420	380	405

Tabla 310-80. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado de tres conductores de aluminio aislados en una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por cada conducto), para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, arreglo de cables en ductos como indica la figura 310-1, un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Un circuito (Véase figura 310-1 Detalle 1)					
8,367	8	46	50	---	—
13,3	6	61	66	69	74
21,15	4	80	86	89	96
33,62	2	105	110	115	125
42,41	1	120	130	135	145
53,48	1/0	140	150	150	165
67,43	2/0	160	170	170	185
85,01	3/0	180	195	195	210
107,2	4/0	205	220	220	240
126,67	250	230	245	245	265
177,34	350	280	310	295	315
253,35	500	340	365	355	385
380,03	750	425	460	440	475
506,71	1000	495	535	510	545
Tres circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 2)					
8,367	8	41	44	---	—
13,3	6	54	58	59	64
21,15	4	70	75	75	81
33,62	2	90	97	100	105
42,41	1	105	110	110	120
53,48	1/0	120	125	125	135
67,43	2/0	135	145	140	155
85,01	3/0	155	165	160	175
107,2	4/0	175	185	180	195
126,67	250	190	205	200	215
177,34	350	230	250	240	255
253,35	500	280	300	285	305
380,03	750	345	375	350	375
506,71	1000	400	430	400	430

Tabla 310-80 (continuación). Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado de tres conductores de aluminio aislados en una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por cada conducto), para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, arreglo de cables en ductos como indica la figura 310-1, un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Seis circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 3)					
8,367	8	36	39	---	—
13,3	6	46	50	49	53
21,15	4	60	65	63	68
33,62	2	77	83	80	86
42,41	1	87	94	90	98
53,48	1/0	99	105	105	110
67,43	2/0	110	120	115	125
85,01	3/0	130	140	130	140
107,2	4/0	145	155	150	160
126,67	250	160	170	160	170
177,34	350	190	205	190	205
253,35	500	230	245	230	245
380,03	750	280	305	275	295
506,71	1000	320	345	315	335

Tabla 310-81. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores individualmente aislados de cobre directamente enterrados en la tierra, para una temperatura de la tierra de 20 °C, un arreglo como indica la figura 310-1, un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura del conductor de 90 °C y 105 °C

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Un circuito, tres conductores (Véase figura 310-1 Detalle 9)					
8,367	6	110	115	---	---
13,3	6	140	150	130	140
21,15	4	180	195	170	180
33,62	2	230	250	210	225
42,41	1	260	280	240	260
53,48	1/0	295	320	275	295
67,43	2/0	335	365	310	335
85,01	3/0	385	415	355	380
107,2	4/0	435	465	405	435
126,67	250	470	510	440	475
177,34	350	570	615	535	575
253,35	500	690	745	650	700
380,03	750	845	910	805	865
506,71	1000	980	1055	930	1005
Dos circuitos, 6 conductores (Véase figura 310-1 Detalle 10)					
8,367	6	100	110	---	---
13,3	6	130	140	120	130
21,15	4	165	180	160	170
33,62	2	215	230	195	210
42,41	1	240	260	225	240
53,48	1/0	275	295	255	275
67,43	2/0	310	335	290	315
85,01	3/0	355	380	330	355
107,2	4/0	400	430	375	405
126,67	250	435	470	410	440
177,34	350	520	560	495	530
253,35	500	630	680	600	645
380,03	750	775	835	740	795
506,71	1000	890	960	855	920

Tabla 11.1 Temperatura de sobrecarga de los aislamientos de cables de energía en media tensión

Tipo de aislamiento	Temperatura máxima de sobrecarga
Papel impregnado:	
1 kV	115 °C
2-9 kV	110 °C
10-15 kV	100 °C
10-29 kV	110 °C
Vulcanel EP	130 °C
Vulcanel XLP	130 °C

Norma para cables con papel impregnado, AIEC CS-1-90

Norma para cables con aislamiento sólido, NMX-J-142-2000-ANCE

Tabla 11.2 Sobrecargas permisibles para tiempos menores de 2 horas

Tipo de aislamiento	Temperatura del conductor		Factores de incremento por temperatura ambiente *							
	Normal	Sobrecarga	20 °C		30 °C		40 °C		50 °C	
			Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
Papel impregnado:										
1 kV	95	115	1.09	1.09	1.11	1.11	1.13	1.13	1.17	1.17
2-9 kV	90	110	1.10	1.10	1.12	1.12	1.15	1.15	1.19	1.19
10-15 kV	80	100	1.12	1.12	1.15	1.15	1.19	1.19	1.25	1.25
10-29 kV	90	110	1.10	1.10	1.12	1.12	1.15	1.15	1.19	1.19
Vulcanel EP	90	130	1.18	1.18	1.22	1.22	1.26	1.26	1.33	1.33
Vulcanel XLP	90	130	1.18	1.18	1.22	1.22	1.26	1.26	1.33	1.33

\* Acorde a la formula 11-4 y tabla 12-5 de la IEEE Std 141-1993

Tabla 11.3 Factores de corrección de la resistencia por variación de la temperatura del conductor

Temperatura °C	Factor de multiplicación	
	Cobre	Aluminio
20	1.0000	1.0000
25	1.0916	1.0202
30	1.0393	1.0393
40	1.0786	1.0806
50	1.1179	1.1210
60	1.1572	1.1613
70	1.1965	1.2016
75	1.2161	1.2218
80	1.2358	1.2419
85	1.2554	1.2621
90	1.2750	1.2823
95	1.2947	1.3024
100	1.3143	1.3226
105	1.3340	1.3427
110	1.3536	1.3629
130	1.4322	1.4435
150	1.5108	1.5242
160	1.5501	1.5645
200	1.7073	1.7258
250	1.9073	1.9274

Tabla 11.4 Valor aproximado de la constante k

Calibre del conductor; unipolar o tripolar	Cable en aire	Cable en tubo conduit expuesto	Cable en ducto subterráneo	Cable directamente enterrado
Hasta el 4 AWG	0.33	0.67	1.00	1.25
Del 2 al 4/0 AWG	1.00	1.50	2.50	3.00
250 kcmil y mayores	1.50	2.50	4.00	6.00

TABLA 11.5 Valor de B en función de t y k

k \ t	0.33	0.67	1.00	1.25	1.50	2.50	3.00	4.00	6.00
¼ h	0.8825	2.2110	3.5208	4.5167	5.5139	9.5083	11.5069	15.5052	23.5035
½ h	0.2817	0.9016	1.5415	2.0332	2.5277	4.5167	5.5139	7.5104	11.5069
¾ h	0.1149	0.4847	0.8953	1.2164	1.5415	2.8583	3.5208	4.8489	7.5104
1 h	0.0508	0.2900	0.5820	1.8160	1.0551	2.0332	2.5277	3.5208	5.5139
2 h	0.0023	0.0532	0.1565	0.2530	0.3580	0.8160	1.0551	1.5415	2.5277
3 h		0.0115	0.0524	0.0998	0.1565	0.4310	0.5820	0.8953	1.5415
5 h			0.0068	0.0187	0.0370	0.1565	0.2329	0.4016	0.7687
7 h				0.0037	0.0095	0.0647	0.1074	0.2103	0.4552
9 h					0.0025	0.0281	0.0524	0.1178	0.2872
12 h						0.0083	0.0187	0.0524	0.1565
15 h							0.0068	0.0241	0.0894
18 h								0.0112	0.0524
24 h								0.0025	0.0187
36 h									0.0025
48 h									0.0003

Tabla 11.6 Temperaturas máximas admisibles en condiciones de cortocircuito (°C)

Material del cable en contacto con el metal	Conductor	Pantalla
Termofijos (XLP o EP)	250	350*
Termoplásticos (PVC o PE)	150	200
Papel impregnado en aceite	200	200

\* Para cables con cubierta de plomo, esta temperatura deberá limitarse a 200 °C.

A continuación reproducimos los tiempos estimados de liberación de falla de diversos dispositivos de protección acorde con la norma ANSI/IEEE Std. 242-1996.

Interruptores de potencia coordinados por relevadores 2.4-13.8 kV	Disparo instantáneo	Relevador de inducción instantáneo	Relevador de inducción de tiempo inverso
Tiempos del relevador en ciclos	0.25-1	0.5-2	6-6000
Tiempo de interrupción del interruptor de potencia en ciclos	3-8	3-8	3-8
Tiempo total en ciclos	3.25-9	3.5-10	9-6000
<b>Fusibles de medio y alto voltaje</b>			
Alta corriente	0.25 ciclos (para fusibles limitadores de corriente operando dentro de sus rangos de diseño)		
Baja corriente	600 segundos (para fusibles tipo E operando al doble de su capacidad nominal; otras capacidades están disponibles con diferentes tiempos considerando el doble de su capacidad nominal)		

Tabla 11.7 Valores de K y T para la ecuación 11.8

Material	K	T
Cobre	0.0297	234.5
Aluminio	0.0125	228.0
Plomo	0.00108	236.0
Acero	0.00355	180.0

Tabla 11.8 Valores de C para determinar la corriente de cortocircuito en el conductor y pantalla o cubierta

Tipo de cable	Conductor <sup>*</sup>	Pantalla <sup>**</sup>
Vulcanel (EP o XLP) con cubierta de PVC	141.90	128.28
Sintenax	110.32	138.14
Vulcanel 23 TC	141.90	128.28
Vulcanel (EP o XLP) con cubierta de plomo	141.90	23.68
Vulcanel - DRS	92.76	177.62
Vulcanel - DS	92.76	128.28
6 PT	77.16	23.68
23 PT	83.48	25.65

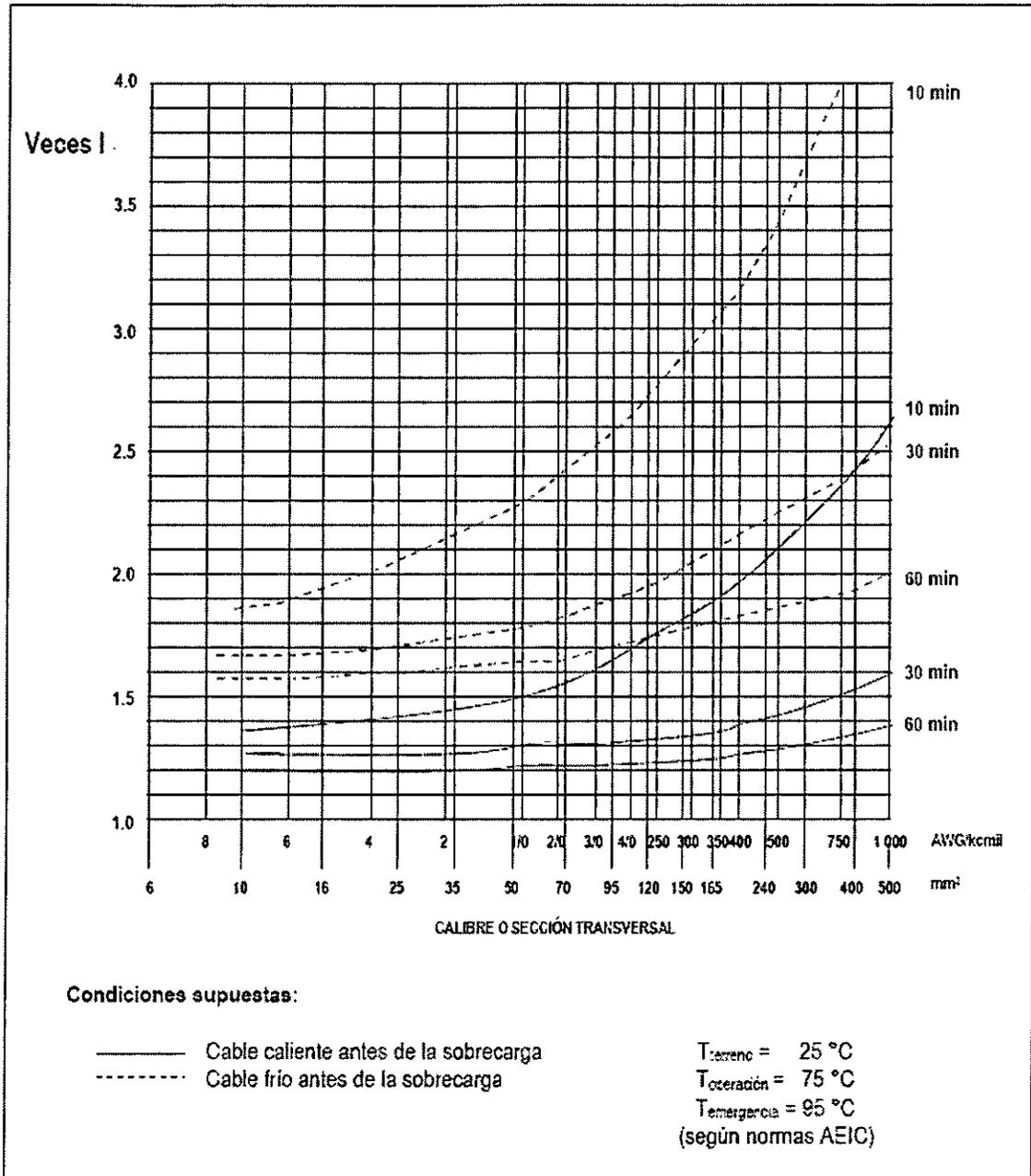
<sup>\*</sup> Se supone que la temperatura en el conductor es la máxima de operación.

<sup>\*\*</sup> La temperatura en la pantalla se considera, para cables de media tensión, 10 °C abajo de la del conductor. Las cubiertas o pantallas son las usuales de construcción para los cables señalados.

### 11.3 Gráficas

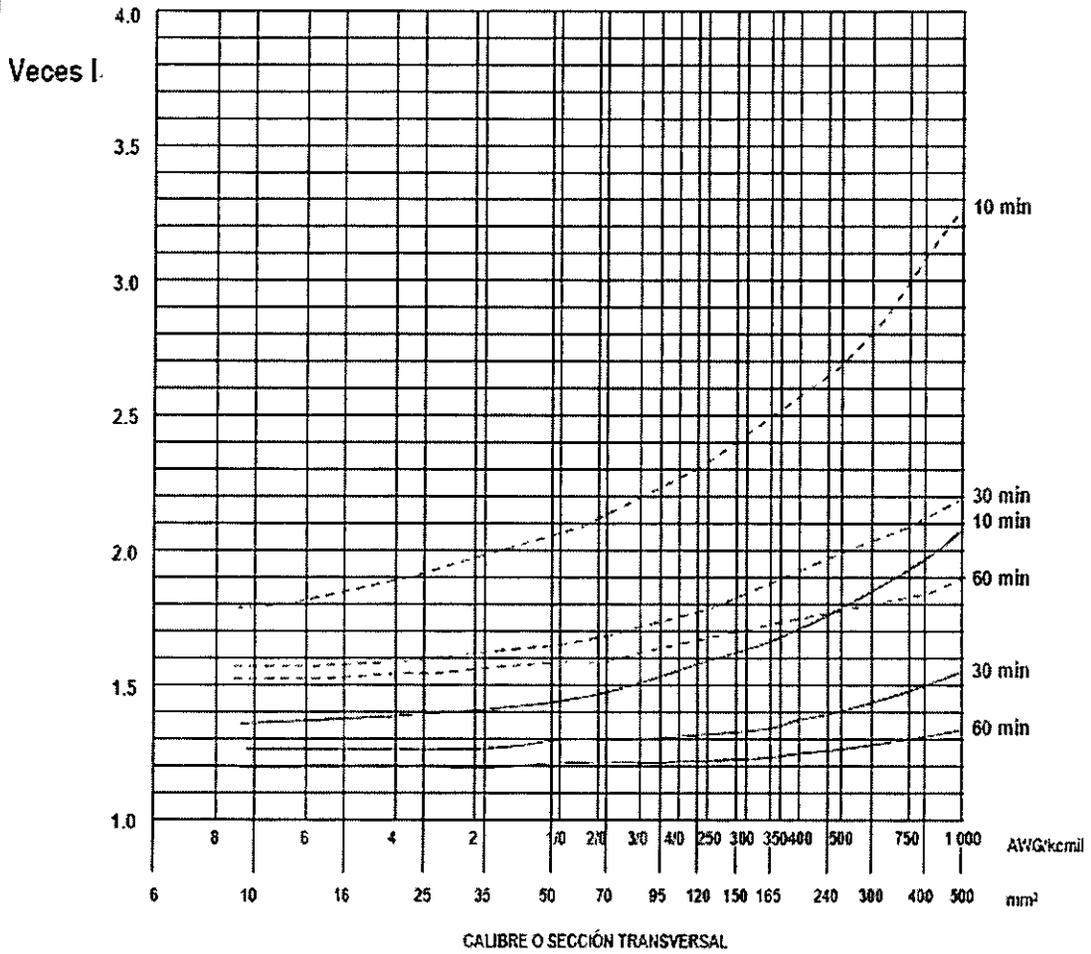
GRÁFICA 11.1

SOBRECARGAS EN CABLES UNIPOLARES CON AISLAMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO, HASTA 20 KV. ENTERRADOS DIRECTAMENTE



## GRÁFICA 11.2

SOBRECARGAS EN CABLES UNIPOLARES CON AISLAMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO,  
HASTA 20 kV. EN AIRE

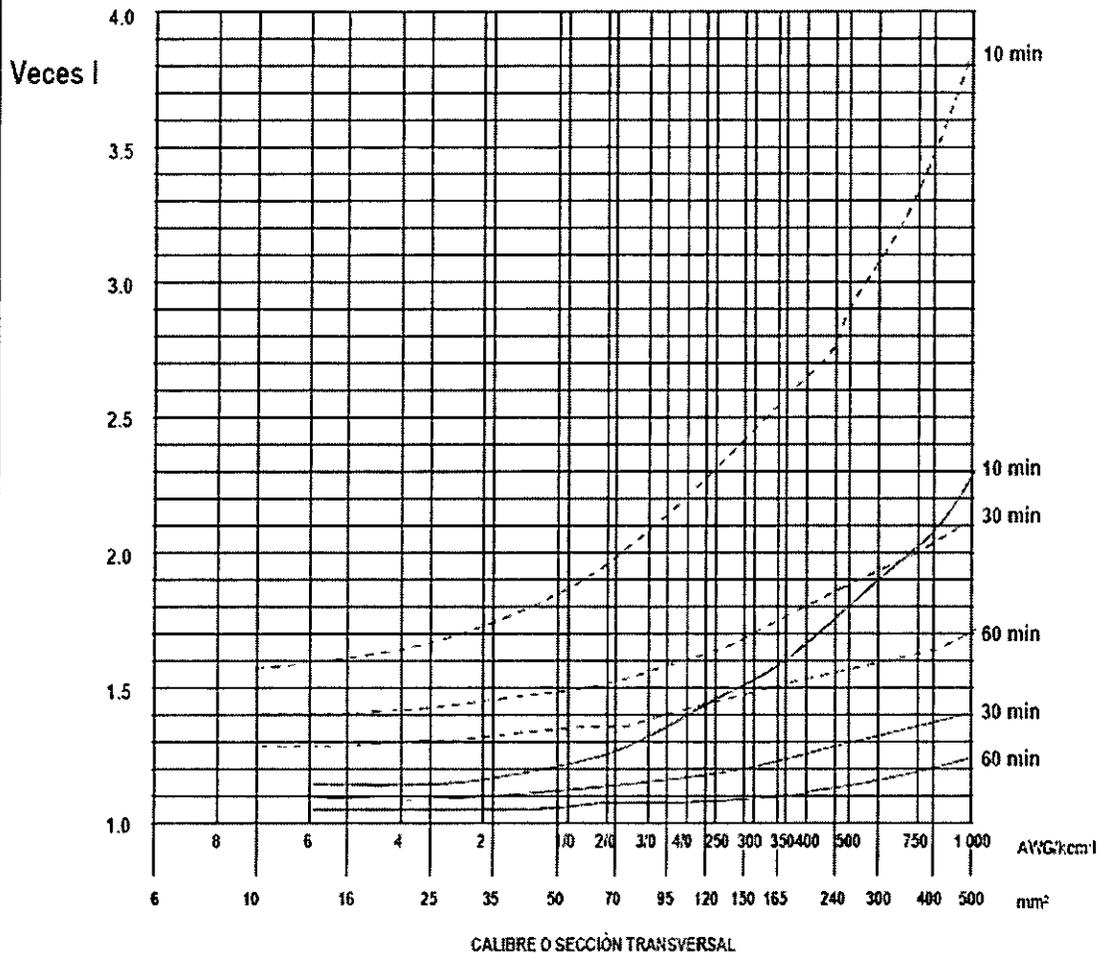


Condiciones supuestas:

- Cable caliente antes de la sobrecarga
- - - - - Cable frío antes de la sobrecarga

$T_{\text{ref}} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{operación}} = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{emergencia}} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 (según normas AEIC)

**SOBRECARGAS EN CABLES TRIFÁSICOS CON AISLAMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO,  
HASTA 20 KV. ENTERRADOS DIRECTAMENTE**

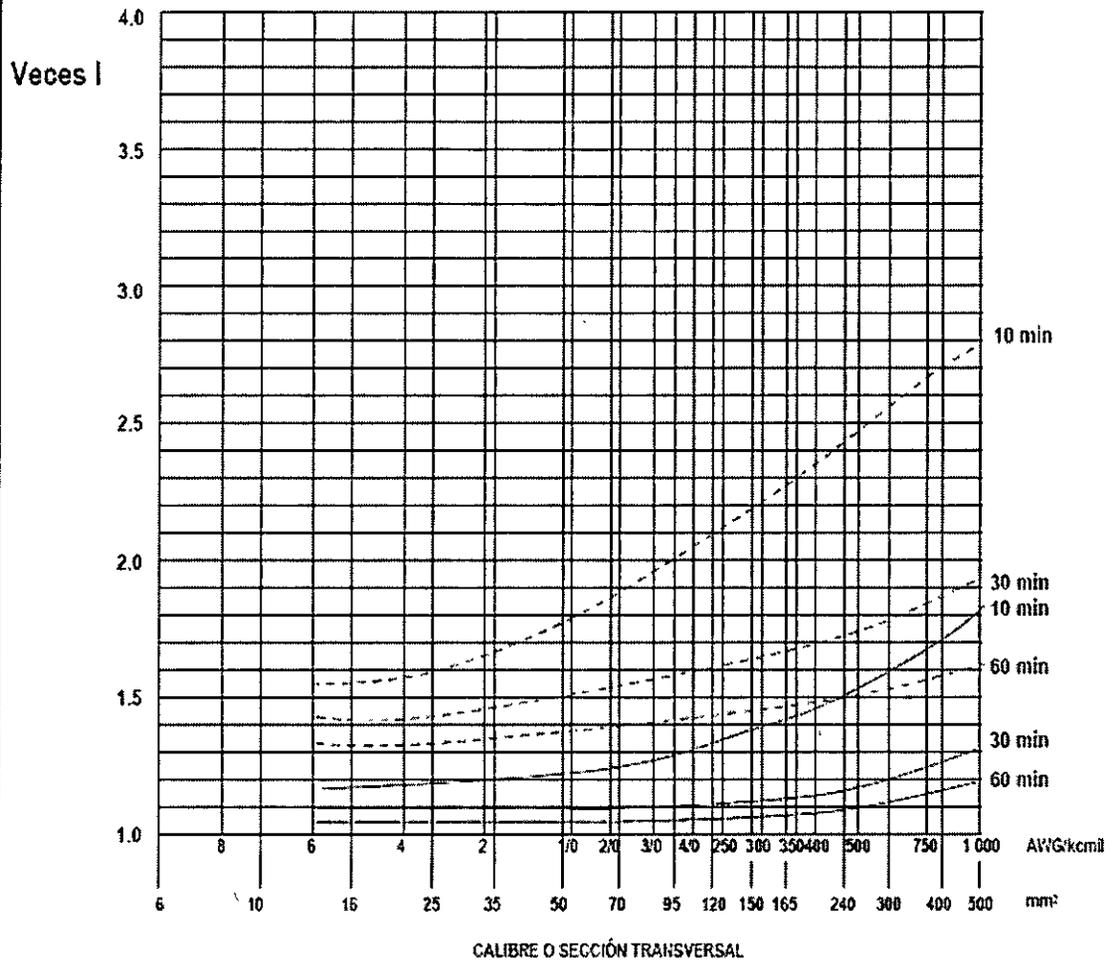


Condiciones supuestas:

- Cable caliente antes de la sobrecarga
- - - - - Cable frio antes de la sobrecarga

$T_{\text{terreno}} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{operación}} = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{emergencia}} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 (según normas AEIC)

**SOBRECARGAS EN CABLES TRIFÁSICOS CON AISLAMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO,  
HASTA 20 kV. EN AIRE**

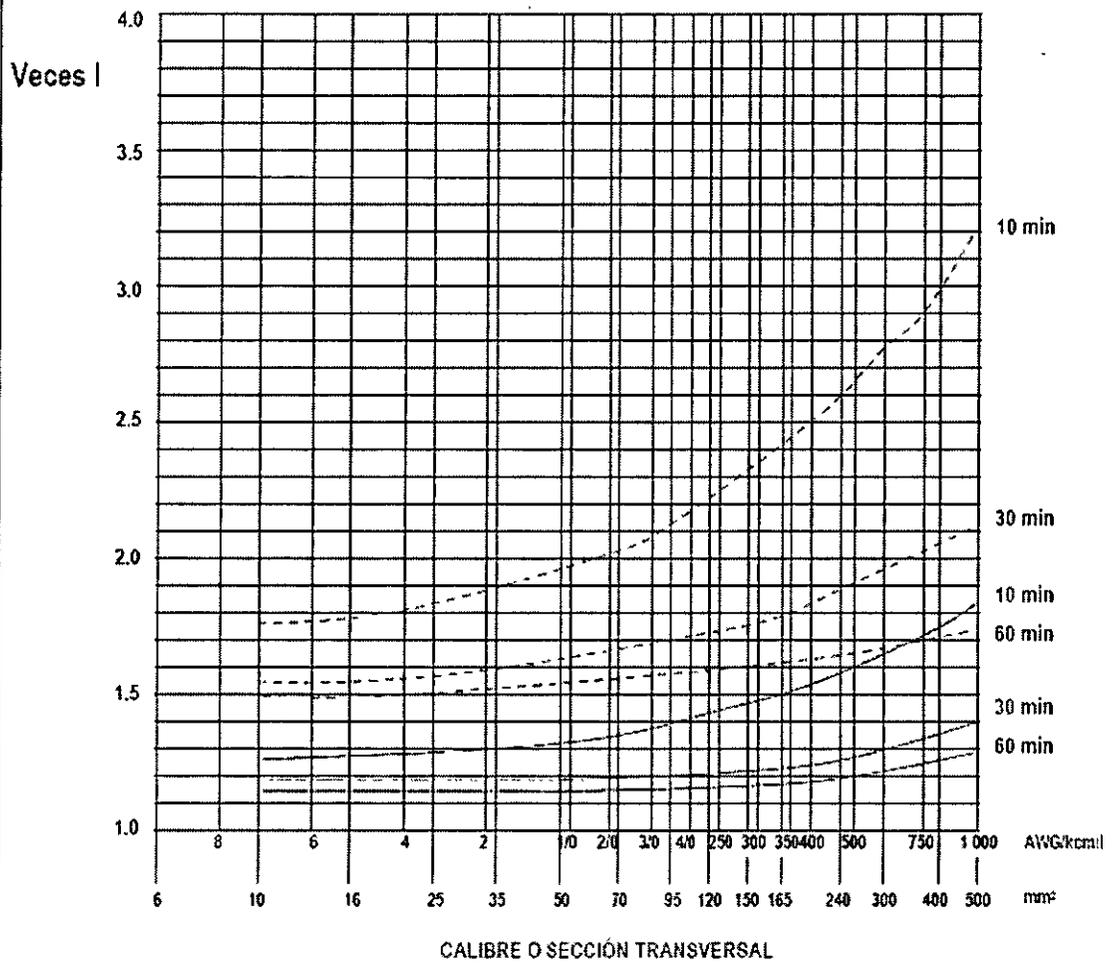


**Condiciones supuestas:**

- Cable caliente antes de la sobrecarga
- - - - - Cable frío antes de la sobrecarga

$T_{\text{aire}} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{operación}} = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{emergencia}} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 (según normas AEIC)

**SOBRECARGAS EN CABLES UNIPOLARES CON AISLAMIENTO DE HULE O TERMOPLÁSTICO  
75 °C, HASTA 15 kV. EN AIRE**

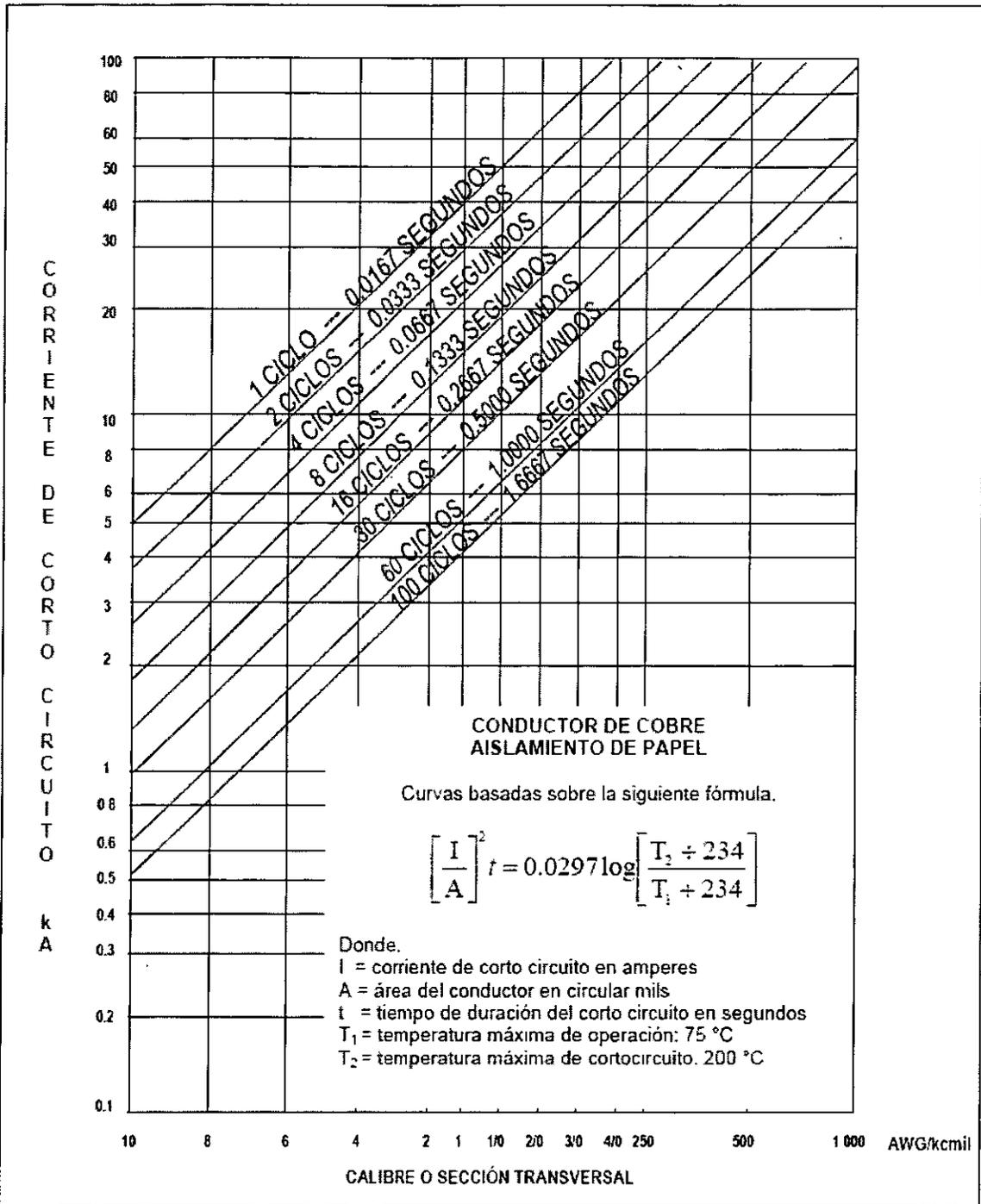


Condiciones supuestas:

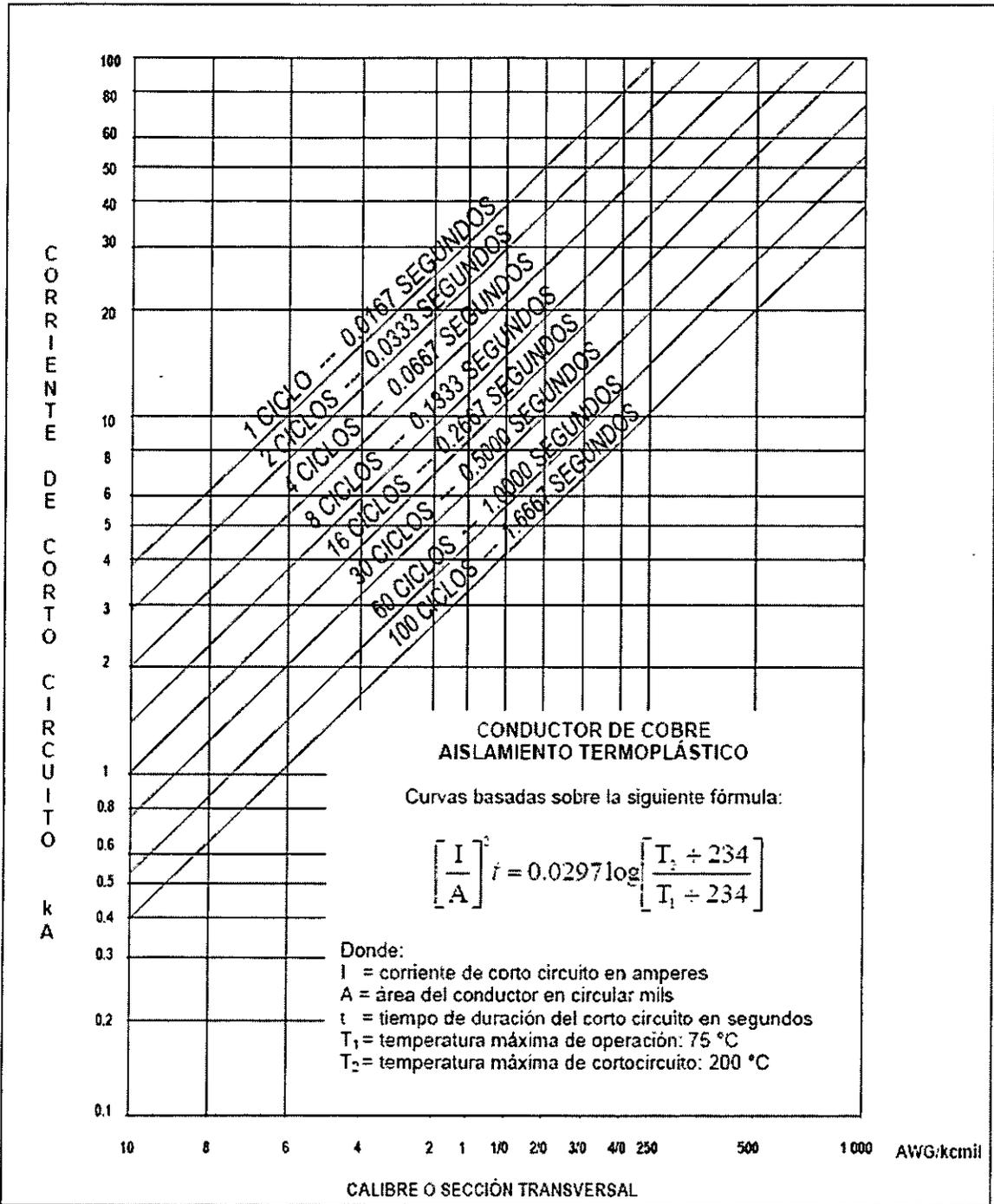
- Cable caliente antes de la sobrecarga
- - - - - Cable frío antes de la sobrecarga

$T_{are} = 35\text{ °C}$   
 $T_{operación} = 75\text{ °C}$   
 $T_{emergencia} = 95\text{ °C}$   
 (según normas ICEA)

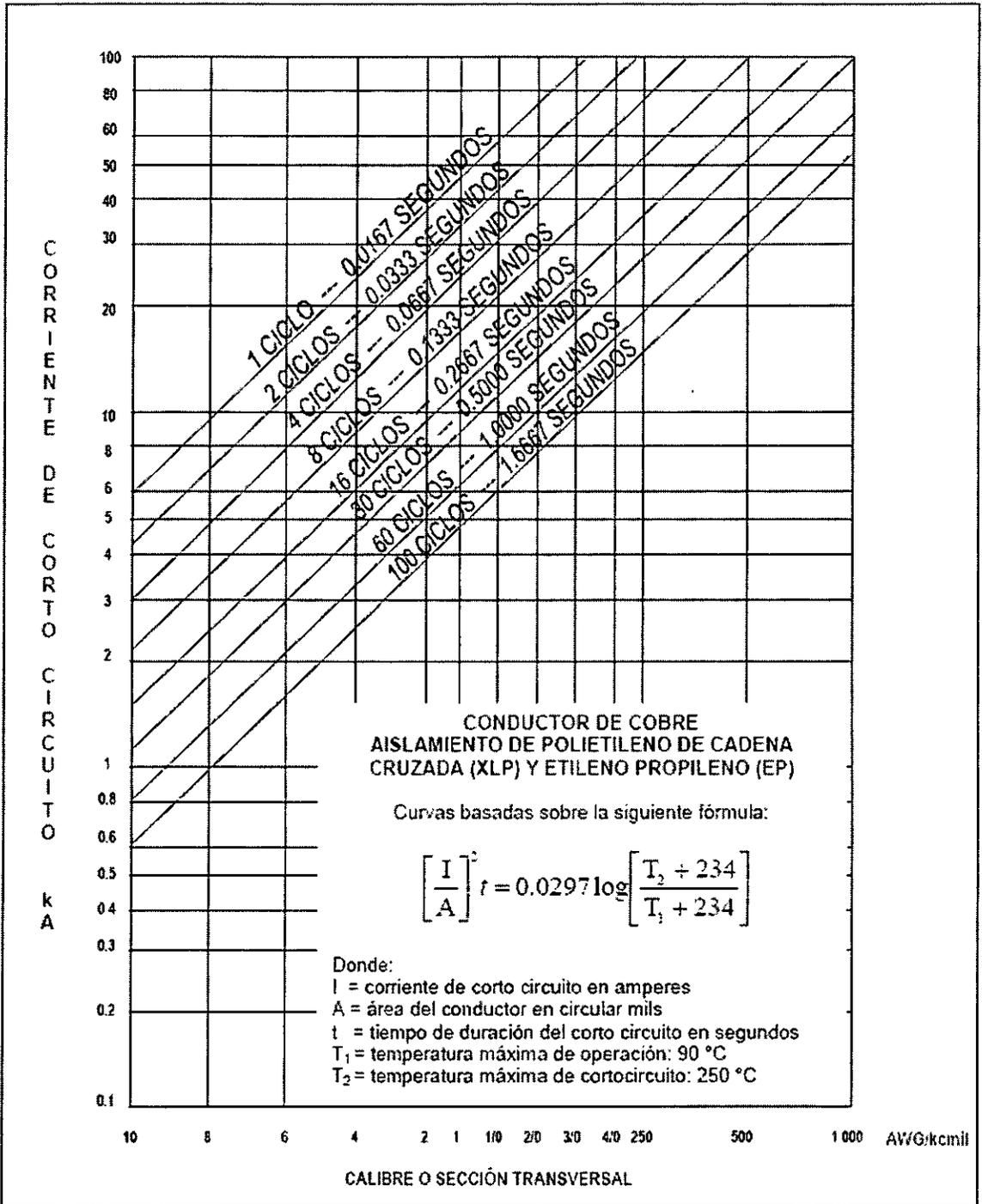
**CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO PERMISIBLES PARA CABLES AISLADOS CON CONDUCTOR DE COBRE**



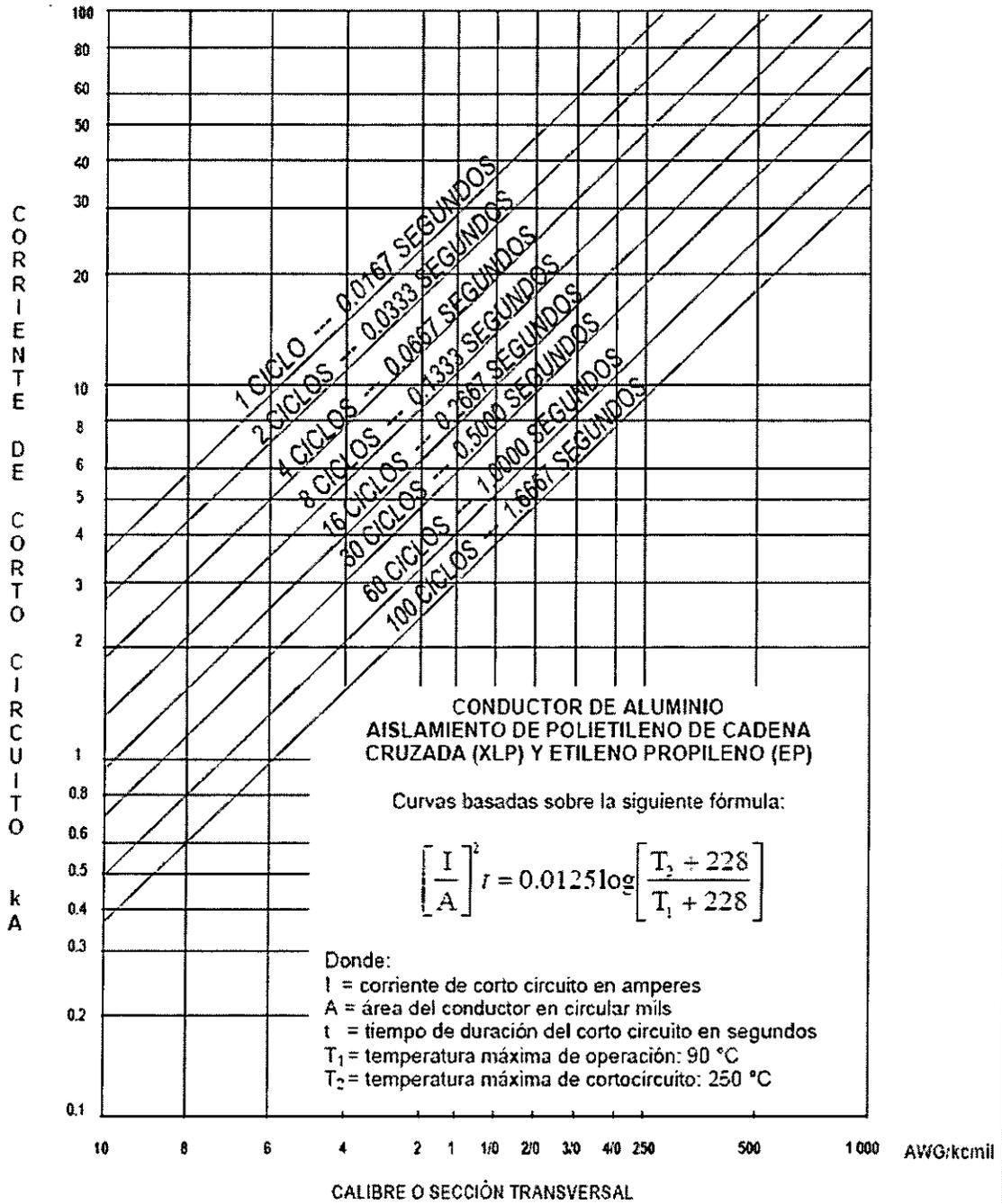
**CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO PERMISIBLES PARA CABLES AISLADOS CON CONDUCTOR DE COBRE**



**CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO PERMISIBLES PARA CABLES AISLADOS CON CONDUCTOR DE COBRE**



**CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO PERMISIBLES PARA CABLES AISLADOS CON CONDUCTOR DE ALUMINIO**



GRÁFICA 12.1

TENSIÓN INDUCIDA (A TIERRA) EN PANTALLAS METÁLICAS DE CABLES DE ENERGÍA

