

# Capítulo Técnico

## Indice

- 1 Aclaraciones y consideraciones para usar este catálogo
- 2 Como identificar un buen cable
- 4 Características de aislantes y vainas: PVC PVC/Nylon Santoprene (EPDM) XLPE Polietileno - Poliolefina (LSOH).
- 6 Cobre conductor
- 7 Armónicas y factor de potencia
- 10 Cálculo de dimensionamiento de un cable para una instalación eléctrica
- 7 Tablas de conversión de AWG y MCM a mm y mm<sup>2</sup>



Sistema de Calidad  
ISO 9001-2008



## ACLARACIONES Y CONSIDERACIONES PARA USAR ESTE CATALOGO

Las columnas en las tablas de cada cable, fueron ordenadas pensando en el instalador. Por este motivo, a continuación de la columna de secciones se colocaron las columnas de corriente máxima y caída de tensión, y luego de éstas, los demás datos dimensionales. De esta manera, se agiliza la elección del cable por parte del instalador. Este criterio de ordenamiento, es opuesto al de la mayoría de los catálogos que circulan en el mercado en donde se adopta un orden constructivo.

Los valores de corriente máxima fueron calculados según la norma IEC 60287 o utilizando las tablas de la nueva reglamentación para instalaciones eléctricas de la A.E.A. (Asociación Electrotécnica Argentina).

La corriente máxima admisible en un cable depende de su capacidad de disipar el calor, o sea, del entorno donde se instale y las condiciones de instalación. Por este motivo hay una gran diversidad de tablas de corrientes máximas para un mismo cable según donde y cómo se instale. En este catálogo, por seguridad, se eligió dentro de la gama de condiciones de instalaciones habituales, la más desfavorable, o sea, la condición de instalación de menos disipación térmica. De esta manera se procura evitar accidentes o envejecimientos prematuros del cable por sobrecorrientes por desconocimiento u omisiones en las condiciones reales de instalación.

Hay que tener en cuenta que si el cable está instalado en un entorno con buena disipación térmica (p.ej. al aire libre, a la sombra, lugares fríos o con viento permanente, etc.) los valores de corriente máxima indicados en las tablas de este catálogo pueden subir hasta en un 50 %.

Como ejemplo, en la mayoría de los catálogos para instalaciones aéreas al aire libre se considera un viento de 0,6 m/s y los cables en bandeja separados en un diámetro.

En este catálogo, en la mayoría de los casos se calculó la  $I_{max}$  sin viento alguno que es la condición más desfavorable, y en los cables dispuestos en bandejas se calculó la  $I_{max}$  con los cables en contacto entre sí y no separados un diámetro.

Se procuró ser lo más específico posible en cuanto a la descripción de la condición de instalación particular, de esta manera se busca evitar confusiones y facilitar la comparación con tablas de otros manuales y catálogos.

Para otras condiciones de instalación el instalador deberá consultar la reglamentación de la A.E.A. (Edición de Agosto de 2002), la norma IEC 60287, la IEC 60364-5-523 o a nuestro departamento técnico.

Todos los valores aquí indicados son valores promedios y de referencia y tienen como objetivo orientar a grandes rasgos al instalador en la elección del cable. Para instalaciones muy específicas y/o de gran envergadura se deberá elegir el cable haciendo el estudio detallado del sistema eléctrico con la emisión de la memoria técnica correspondiente.

El uso de este manual deberá ser complementado por la reglamentación de instalaciones eléctricas propia de cada país.

## COMO IDENTIFICAR UN BUEN CABLE

La calidad de un cable de transmisión eléctrica determina la seguridad, vida útil y buen funcionamiento del sistema eléctrico. Un buen cable evita graves trastornos para el instalador, estos trastornos pueden ser la falla intermitente de algún equipo (incluso quemarlo) o llegar al incendio de la instalación y comprometer vidas humanas.

Por eso nunca se hará suficiente énfasis en la obligación de elegir un cable que cumpla con las condiciones de norma y evitar cables de menor costo pero que no tienen suficiente aislación o suficiente cobre.

Cuando el cable es muy malo es fácil de identificar porque, por lo general, sus defectos saltan a simple vista. Por ejemplo, el conductor de cobre esta muy descentrado y, por lo tanto, el espesor de aislación es más delgado en un punto que en el otro. Como suelen tener menos cantidad de cobre o de metros, si uno compara el peso del rollo malo con un rollo Cedam verá la diferencia de la cantidad de cobre reflejada en la diferencia de peso.

Otros parámetros que se pueden verificar simplemente pelando una punta del cable son:

- Que los alambres constitutivos no sean muy duros y quebradizos (mal recocidos)
- Que ningún alambre tenga color violáceo. Esto hace que el cable sea poco flexible y le quita conductividad.
- Que los alambres estén cableados (retorcidos entre sí) con un paso no muy largo. Si la cuerda no esta cableada (retorcida) o lo esta con un paso muy largo, el cable es poco flexible.

Puede suceder que el cable no sea muy malo pero no cumpla con las exigencias de norma o sea que, por ejemplo, el valor de resistencia eléctrica esté un poco por debajo de la de norma, o que el conductor esté centrado pero el espesor de aislación sea inferior al indicado por la norma. Estas desviaciones son imposibles de detectar a simple vista pero podemos disminuir considerablemente la probabilidad de encontrarlas si elegimos un cable normalizado en el cual el instituto certificador realizó los correspondientes controles eléctricos y de seguridad.

Muchas veces, los cables parecen a simple vista iguales pero en realidad no lo son. Hay que tener en cuenta que los materiales aislantes recuperados se ven igual que los aislantes nuevos. Pero un aislante, para cumplir con los requisitos de norma y lograr conservar sus propiedades durante más de 20 años, debe cumplir con una serie de ensayos muy rigurosos que no cumplen los aislantes recuperados a pesar de que exteriormente parezcan iguales. Entre estos ensayos se encuentran:

- \* Estiramiento: El material aislante debe resistir una determinada fuerza antes de romperse y debe ser elástico. Esto se ensaya con máquinas de tracción que estiran el aislante y le miden sus propiedades mecánicas.
- \* Envejecimiento: Los aislantes son colocados en estufas y luego ensayados mecánicamente para ver como varían sus propiedades con el tiempo.
- \* Poder aislante: A los aislantes se les prueba su poder de aislamiento sumergiéndolos en agua y aplicándoles una tensión muy superior a la normal de trabajo para ver hasta que valores son capaces de soportar sin perforarse.

Un aislante recuperado no cumple con ninguno de estos ensayos, es quebradizo, poco flexible y al poco tiempo pierde sus propiedades aislantes y se perfora, provocando cortocircuitos y pérdidas en el sistema eléctrico.

## *Confusión entre sección real y sección nominal:*

Una fuente de confusión muy común es la comparar, o pretender que sean iguales, la sección nominal del cable con su sección real. La sección nominal es el *nombre* por el que se identifica y vende un cable y siempre es superior a la sección real del cable, la cual surge de sumar las secciones individuales de cada hilo constitutivo del conductor. Esto no quiere decir que el cable tenga menos cobre o que sea malo.

La calidad eléctrica de un conductor se mide a través de su valor de resistencia óhmica y no de su sección. Esto es debido a que, lo que realmente importa para una buena transmisión eléctrica es la resistencia óhmica del cable, y no su sección. La norma IRAM 2022 da los valores máximos de resistencia óhmica para las distintas secciones de cuerdas de cobre y aluminio.

La razón por la cual actualmente la sección real es menor a la nominal hay que buscarla históricamente. Antes, el cobre era de menor pureza y se necesitaba mayor cantidad para lograr la misma conductividad eléctrica.

Antiguamente, sí coincidían la sección nominal con la real. Al ir mejorando los métodos de purificación del cobre, se logró bajar la resistividad y por lo tanto se puede obtener un cable con las mismas prestaciones eléctricas que antes pero con menos sección real de cobre. Por costumbre se conservó el nombre del cable con las secciones antiguas pero a este nombre lo llamaron "sección nominal" para distinguirlo de la real.

## CARACTERÍSTICAS DE AISLANTES Y VAINAS

### COMPUESTO DE PVC (Polyvinyl Chloride)

Tiene propiedades muy diversas según la formulación. Hay compuestos que permiten temperaturas de entre 55 a 105 °C y otros de 20 a 60 °C. El PVC es naturalmente no propagante de llama, con el agregado de aditivos adecuados puede ser aún más resistente a la llama, a los rayos UV, a los hidrocarburos, etc. El precio varía de acuerdo a estas propiedades. Los valores de constante dieléctrica pueden variar entre 3,5 a 6,5 y el peso específico entre 1,30 a 1,60 gr/cm<sup>3</sup>.

El compuesto de PVC esta formado por varios ingredientes que son:

**Resina de Policloruro de Vinilo:** Se trata de un polvo blanco y fino. Es el polímero en su estado básico y de los cuales hay varios tipos. Se distinguen estos tipos básicamente por la longitud de la cadena del polímero, la cual se mide en forma indirecta a través de la viscosidad. La viscosidad del polímero se expresa como valor K. Para cables, por ejemplo se utilizan en general resinas de valor K=70 (es decir el tipo de cadena de mayor longitud). Tiene mejores propiedades mecánicas que los demás y el proceso de transformación es más costoso ya que necesita mayor temperatura y esfuerzo mecánico para mezclar y extruir el resto de los ingredientes del compuesto de PVC.

**Plastificante:** Junto con la resina es lo más caro del compuesto, los compuestos para aislación de cables pueden llevar hasta un 50 % de plastificante. El plastificante le da flexibilidad, lo que le confiere mayor capacidad de estiramiento (no mas elástico, ya que la elasticidad tiene que ver con la capacidad de recuperación y no solo con el estiramiento) también le aumenta la fluidez y le disminuye el índice de oxígeno (o sea, lo hace menos resistente a la llama). Hay varios tipos de plastificantes según el uso final perseguido.

**Estabilizantes:** Son aditivos químicos de variados tipos que evitan la descomposición térmica del PVC. A bajas temperaturas (110-130°C), el PVC se degrada autocatalíticamente y en su estado natural en el rango antes mencionado, puede degradarse en menos de una hora. Para evitar esto se le colocan estabilizantes que retrasan el proceso de degradación y le permiten operar hasta temperaturas de 180-190°C sin carbonizarse. Los compuestos de PVC suelen incluir hasta un 5% del peso total en estabilizantes.

**Lubricantes:**

Existen 2 tipos de lubricantes:

**Lubricantes externos:** Son aditivos que evitan que el compuesto se adhiera a las partes metálicas calientes, con el calor estos aditivos se desplazan hacia la superficie del compuesto y forman una fina película entre el compuesto y las paredes de la extrusora.

Los lubricantes denominados internos son aquellos que contribuyen a reducir la fricción interna entre las moléculas del polímero.

**Carga:** Es el producto más barato y se utiliza para reducir costos. El tipo más empleado es Carbonato de Calcio y tiende a reducir las propiedades mecánicas del compuesto.

**Pigmento:** Se utilizan para dar color. La utilización de pigmentos en el proceso de elaboración del compuesto de PVC resulta en productos más homogéneos y no altera las propiedades mecánicas, en comparación a la coloración aportada por Masterbatch de pigmentos.

**Aditivos Especiales:**

Entre los aditivos más comunes que suelen agregársele al compuesto de PVC destinado a la fabricación de cables están aquellos empleados:

- Para incrementar la resistencia a los hidrocarburos
- Para incrementar la resistencia a la radiación UV (benzofenonas o benzotriazoles)



Sistema de Calidad  
ISO 9001-2008



- Para soportar exigencias de trabajo en operación a altas temperaturas (105 °C).
- Para aumentar su resistencia a la llama

Caucho EPDM termoplástico (Santoprene):

Gran flexibilidad y amplio rango térmico de trabajo

Se trata de partículas de compuestos de caucho EPDM totalmente vulcanizado (1 micrón), dispersas en una matriz termoplástica.

La mayor o menor concentración de caucho hace que el producto sea más o menos blando.

Mientras que una poliolefina se derrite al ser calentada por encima de su punto de fusión, el caucho Santoprene no escurre y mantiene una estructura que en casos extremos llega a ser carbón.

El material es flexible, con buenas propiedades de aislación eléctrica hasta 30.000 V.

Su rango de temperaturas de trabajo va de -70 A 150 °C.

Se lo utiliza en cables especiales donde es necesaria flexibilidad, resistencia a la intemperie, al calor y a los aceites.

Polietileno:

Es un excelente aislante eléctrico. Tiene baja y estable constante dieléctrica para un amplio rango de frecuencias y alta resistencia de aislación. Mecánicamente puede ser duro y rígido (polietileno de alta densidad) o blando y flexible (baja densidad) y posee una excelente resistencia a la abrasión. Su cte. dieléctrica es de 2,3. Naturalmente es propagante de llama, sólo puede dejar de serlo mediante el agregado de gran cantidad de aditivos retardantes de llama.

Polietileno reticulado o XLPE:

Es un polietileno termoestable que permite un amplio rango de temperatura de trabajo (-35 a 125 °C), con excelente resistencia a la abrasión, deformación y a la llama.

PROPIEDAD	POLIMERO				
	PVC	PE	XLPE	EPDM	POLIOLEFINA
Resistencia al sol e intemperie	B-E	E	E	E	
Propiedades eléctricas	R-B	E	B-E	E	
Resistencia a la llama	B-E	P	B	B	
Resistencia al agua	B	E	B-E	B-E	
Resistencia a ácidos	B-E	E	B-E	B-E	
Resistencia a aceites	R	B-E	B	P	
Resistencia a combustibles	P	B-E	B-E	P	
Resistencia a solventes (bencina, toluol, etc.)	P-R	P	R-B	R	
Resistencia a solventes desengrasantes	P-R	B	B	P	
Resistencia a alcoholes	B-E	E	E	P	
Estabilidad térmica	P	E	B	B	B
Resistencia a la abrasión	R-B	E	B-E	B	
Flexibilidad	B	R	R	E	B
Flexibilidad a bajas temp.	P-B	E	R-B	B-E	
Resistencia al impacto	R	R	E	R	B
Expectativa de vida	B	B	E	E	B

P=Pobre, R=Regular, B=Bueno, E=Excelente

## COBRE CONDUCTOR

Cobre, de símbolo Cu, es uno de los metales de mayor uso y de color pardo rojizo.

El cobre puede encontrarse en estado puro y tiene una gran variedad de aplicaciones a causa de sus ventajosas propiedades, como son su elevada conductividad del calor y electricidad, la resistencia a la corrosión, así como su maleabilidad y ductilidad, además de su belleza. Debido a su extraordinaria conductividad, sólo superada por la plata, el uso más extendido del cobre se da en la industria eléctrica. Su ductilidad permite transformarlo en cables de cualquier diámetro, a partir de 0,025 mm.

El cobre en bruto se purifica por electrólisis, obteniéndose barras con una pureza que supera el 99,9 por ciento.

El cobre ocupa el lugar 25 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre y se encuentra por todo el mundo en la lava basáltica, localizándose el mayor depósito conocido en la cordillera de los Andes en Chile, bajo la forma de pórfido. Este país posee aproximadamente el 25% de las reservas mundiales conocidas de cobre y a comienzos de 1980 se convirtió en el primer país productor de este metal. Los principales yacimientos se localizan en Chuquicamata, Andina, El Salvador y El Teniente.

*Densidad: 8,89 g/cm<sup>3</sup>*

*Resistividad térmica:  $27 \times 10^{-4} \text{ K}^* \text{m/W}$ .*

*Coefficiente de conductividad térmica: 3,88*

*Resistencia a la tracción: 4.200 kg/cm<sup>2</sup>*

*Pto. de fusión: 1.083 °C*

*Pto. de ebullición: 2.567 °C*

La corriente a la cual se funde un alambre de cobre de diámetro d (en mm) por el que pasa una corriente I (en Amperes) viene dada en forma aproximada por:

$$I = 80 * d^{1.5}$$

## ARMONICAS Y FACTOR DE POTENCIA

¿Qué son las armónicas?

Muchas veces se suele hablar de corrientes armónicas o el contenido de armónicas de un sistema eléctrico. La idea intuitiva inicial, es que las armónicas son algo no deseado y que hay que compensar o eliminar ya que pueden traer problemas. La más popular de todas es la 3ra armónica, pero hay 5ta armónica, 7ma, 9na, etc. Por lo gral. las más importantes son la 3ra y la 5ta.

Pero veamos más de cerca de que estamos hablando.

Si colocamos un osciloscopio en los bornes de un tomacorrientes domiciliario podremos ver la forma de onda alterna que nos entrega la compañía de distribución eléctrica. Esta forma de onda corresponde a una función seno, por eso, se dice que la onda es senoidal o sinusoidal. La causa de porqué tiene esa forma y no otra, hay que buscarla en las características constructivas del generador eléctrico.

Si sacamos el osciloscopio y colocamos una resistencia eléctrica en los bornes de la línea (por ejemplo una lámpara incandescente) y medimos con el osciloscopio la caída de tensión vemos que la forma de onda sigue siendo senoidal y si, además, pudiéramos sensor la corriente con otro osciloscopio veríamos que ambas ondas (la de tensión y la de corriente) están en fase. O sea una acompaña a la otra en forma casi superpuesta.

Si en vez de una resistencia colocáramos como carga un capacitor o una bobina, veríamos que la onda de corriente esta desfasada con respecto a la de tensión en  $90^\circ$  pero su forma sigue siendo senoidal.

Actualmente existen cargas que distan de ser resistivas, capacitivas o inductivas puras. Son combinaciones bastante complicadas de las tres lo que muchas veces provoca distorsiones en la forma de onda y la hacen aparecer irregular. Estas formas distan mucho de ser senoidales como la original de la fuente. Cargas que producen este tipo de deformaciones son, por ejemplo, los balastos electrónicos de los tubos fluorescentes, las fuentes switching de las computadoras, los comandos electrónicos de tableros y variadores de velocidad, etc.

Esta distorsión en la forma de la onda, provoca un efecto de "rebote" de la señal eléctrica en la carga. Es como si la carga en vez de absorber toda la energía que se le entrega, devuelve parte de esta al generador (compañía eléctrica). Esta energía retorna a través del neutro de los sistemas trifásicos y puede ser de tal magnitud que el dimensionamiento de los conductores eléctricos deba hacerse considerando la corriente que circula por el cable neutro en vez de hacerse por la corriente de fases. O sea, en algunos casos puede suceder que la corriente en el neutro debida a las armónicas sea mayor que la corriente de fase. Por eso hay que tener cuidado con el contenido de armónicas de un sistema eléctrico ya que si no se tienen en cuenta pueden causar recalentamiento en los conductores y provocar incendios.

*¿Pero qué tienen que ver las armónicas con la distorsión de la onda senoidal y la energía que rebota?*

Se puede demostrar que cualquier onda, por más complicada que sea, se puede descomponer en suma de sub-ondas componentes. Esto quiere decir que podemos reemplazar la onda complicada original por una suma de ondas constitutivas. La ventaja de esto es que las ondas constitutivas son ondas senoidales puras, las cuales son fáciles de interpretar y manipular, en cambio la onda original tenía una forma complicada e incomprensible. Esta "traducción" se

llama análisis o espectro de Fourier de la onda. Es totalmente equivalente hablar de una onda cuya forma es complicada, o de sus ondas senoidales constitutivas (espectro de Fourier).

Si bien el espectro de Fourier de una onda esta formado por ondas que tienen forma senoidal pura, estas ondas no son idénticas. Cada onda constitutiva tiene una frecuencia y una amplitud tal, que al sumar todas las ondas, se reconstruye la onda compleja original.

En resumen, podemos decir que cuando una onda tiene una forma que no es sinusoidal pura, la misma se puede pensar como superposición de ondas sinusoidales puras cada una de distinta frecuencia y amplitud.

A estas sub-ondas las llamamos armónicas y se pueden numerar según su frecuencia en: fundamental, 1ra, 2da, 3ra, 4ta, etc. armónica en orden creciente de frecuencia.

La "fundamental" es la componente armónica que tiene la misma frecuencia que la onda original, la 5ta armónica tiene una frecuencia que es cinco veces mayor a la frecuencia fundamental, la 3ra tres veces y así sucesivamente.

Debido a la *simetría* de la función seno con respecto al eje de abscisas (generalmente eje x o eje de tiempo), no existen armónicas que tengan una frecuencia que sea un número par de veces la frecuencia fundamental, por eso es que sólo tenemos componentes armónicas tales que su frecuencia son números impares de la frecuencia fundamental.

Por eso se habla de 3ra, 5ta, 7ma, armónica y no de 4ta, 6ta, etc.

Para caracterizar la presencia de las armónicas en una onda dada, se define la distorsión armónica total respecto a la onda eficaz (THD-R), al cociente entre el valor eficaz de la componente armónica y el valor eficaz de la onda dada (fundamental + armónicos), expresándose generalmente en valores porcentuales.

Por eso se habla de que el contenido de tercera armónica en un sistema es de, por ejemplo, el 15 % y de 5ta armónica del 25 %.

Por lo tanto, cuanto mayor sea el número de armónicas contenidas en una onda dada, y cuanto más grandes sean sus amplitudes, tanto más importante será la distorsión armónica de dicha onda.

Mediante el análisis de Fourier se puede demostrar que el valor eficaz de una señal con varias armónicas es igual a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores eficaces de cada una de las armónicas que la componen. Entonces para el caso de la tensión, se tiene la ecuación (1):

$$(1) \quad U = \sqrt{\sum_i U_i^2}$$

dónde:

U es la tensión eficaz total de la onda completa

$U_i$  son las tensiones eficaces de cada una de las armónicas.

La misma relación vale para las corrientes reemplazando en la ecuación (1), U por I.

La potencia activa total P en presencia de armónicas se obtiene como la suma de las potencias activas de cada una de las armónicas respectivas (2):

$$(2) \quad P = \sum_i (U_i \times I_i \times \cos \phi_i)$$

y análogamente, la potencia reactiva total Q es (3):

$$(3) \quad Q = \sum_i (U_i \times I_i \times \text{sen } \phi_i)$$

En consecuencia, la potencia aparente S y el factor de potencia L (factor de potencia en presencia de armónicas) resultan (4) y (5):

$$(4) \quad S = U \times I = \sqrt{\sum_i U_i^2} \times \sqrt{\sum_i I_i^2}$$

$$(5) \quad L = \frac{P}{S} = \frac{\sum_i U_i \times I_i \times \text{cos } \phi_i}{\sqrt{\sum_i U_i^2} \times \sqrt{\sum_i I_i^2}}$$

En presencia de armónicas, el cuadrado de la potencia aparente no es igual generalmente a la suma de los cuadrados de las potencias activa y reactiva. En consecuencia se introduce un parámetro llamado potencia de deformación D, que caracteriza el grado de contenido armónico. La potencia aparente queda corregida como (6):

$$(6) \quad S = \sqrt{(P^2 + Q^2 + D^2)}$$

La potencia de deformación D se mide en Volt Ampere de deformación (VA<sub>d</sub>) y es una potencia que tiene características reactivas, pues su valor medio es cero y por lo tanto no entrega trabajo útil.

La potencia activa y el factor de potencia quedan (7) y (8):

$$(7) \quad P = \sqrt{(S^2 - Q^2 - D^2)}$$

$$(8) \quad L = \frac{P}{S} = \sqrt{1 - \frac{Q^2}{S^2} - \frac{D^2}{S^2}}$$

En la ecuación (8) se ve que la presencia de armónicas disminuye el factor de potencia L. Por lo tanto, cualquier proyecto de aumento del factor de potencia debe contemplar no sólo la compensación de las cargas inductivas, sino también la reducción de las componentes armónicas.

La reducción de las componentes armónicas permite mejorar el factor de potencia de la instalación, reducir la corriente que circula por los transformadores y cables, y disminuir las pérdidas y caídas de tensión. También se reducen los disparos erróneos de relés, y los ruidos e interferencias que causan fallas en los equipos electrónicos.

Por último, hay que tener en cuenta que un sistema con gran contenido de armónicas implica corrientes a frecuencias más altas que la de la onda principal, esto puede provocar resonancias en distintas partes del circuito y, por otro lado, disminuir la impedancia de dispositivos con condensadores con la consecuente sobrecarga de los mismos.

## CALCULO DE DIMENSIONAMIENTO DE UN CABLE PARA UNA INSTALACION ELECTRICA:

Consideraciones generales:

El cálculo preciso de las dimensiones de un cable puede llegar a ser muy complicado si las condiciones de instalación difieren mucho de las indicadas en las tablas de corrientes máximas de cada tipo de cable. La capacidad de conducir corriente que tiene un cable depende fundamentalmente de su resistencia óhmica y de la posibilidad de disipación térmica (enfriamiento) que tenga el cable. Esto quiere decir que un cable con mucho aislante conducirá menos corriente que otro con poco, considerando la misma cuerda conductora en ambos. En el cable con mayor espesor aislante, el calor generado en el conductor por efecto Joule tiene mayor dificultad para salir fuera del cable. También, si el cable tiene otras fuentes de calor cerca, p.ej. otro cable, o si la temperatura ambiente es muy elevada, su capacidad de conducción se verá disminuida. Contrariamente, un cable al aire libre disipará mejor su temperatura y podrá conducir más corriente sin calentarse. En este último caso habrá que tener la precaución de considerar el calentamiento del sol, velocidad del viento promedio, etc. La norma IEC 287 da un método general y detallado que permite calcular la corriente máxima que puede soportar un cable en cualquier condición de instalación, pero estos cálculos resultan bastantes complicados.

Una forma más sencilla de dimensionar un conductor de acuerdo a su condición de instalación es recurrir a la nueva "Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles" editado por la AEA (Asociación Electrotécnica Argentina). En la reglamentación hay tablas que permiten cubrir un amplio rango de condiciones de instalaciones eléctricas para cables unipolares (IRAM 2183) y cables tipo subterráneos (IRAM 2178).

En esta sección, se darán pautas globales para dimensionar un cable tomando como base dicha reglamentación.

*Consideraciones globales a la hora de elegir la sección de un cable:*

Al elegir la sección de un cable, además del cálculo habitual en base al consumo, tensión y el coseno  $\phi$  del sistema, es importante tener en cuenta los siguientes factores que muchas veces son pasados por alto:

- La corriente de cortocircuito y el tipo de protección a utilizar.
- El contenido de corrientes armónicas del circuito
- La existencia de motores de potencia
- La temperatura ambiente máxima en el día más caluroso del año
- Las condiciones de instalación (en cañería, cablecanal, al aire libre, enterrado, etc.)
- La caída de tensión máxima admisible (tener en cuenta la longitud del tendido)

*Corriente de cortocircuito:* El cable debe estar preparado no sólo para soportar la corriente normal de funcionamiento sino que debe quedar íntegro después de que un cortocircuito hace activar la protección del sistema (interruptor termomagnético o fusibles). Durante el tiempo que tarda en actuar la protección, o sea, el breve lapso (inferior a 0,2 segundos) de apertura de los contactos de la llave térmica o de fundición de los fusibles, el cable debe soportar, sin alteraciones en sus propiedades, la sobretemperatura provocada en esos 0,2 segundos que dura el cortocircuito. Este valor de corriente de cortocircuito máxima depende de la compañía de suministro o del sector anterior de la instalación, pueden ser valores del orden de los 3.000, 6.000, 10.000 Amperes o más. Este valor se llama  $I_k$  = corriente de cortocircuito

máxima. Al elegir la sección del cable se debe tener en cuenta esta corriente máxima y el tiempo de actuación de la protección.

*Contenido de armónicas:* (Ver capítulo ¿que son las armónicas?). Un sistema con armónicas significa que hay corrientes de mayor frecuencia circulando que hacen aumentar las pérdidas en el conductor. Por eso deben tenerse en cuenta al dimensionar un cable ya que un cable tendrá menos capacidad de conducción de corriente en un sistema con contenido de armónicas que en uno con una frecuencia pura o forma de onda senoidal.

*Existencia de motores de potencia:* Cuando hay motores eléctricos de potencia en la instalación hay que tener en cuenta que en el momento de arranque consumen más corriente que en el funcionamiento normal. Este aumento temporal del consumo puede causar caídas de tensiones elevadas si no se tiene en cuenta al dimensionar los conductores y puede dañar otros componentes de la instalación. La reglamentación de la A.E.A. establece que como mínimo se deben dimensionar los conductores destinados a motores de potencia según una intensidad de corriente igual a la suma del 125 % de la intensidad nominal del motor.

*La temperatura ambiente máxima:* Si los cables son instalados a otras temperaturas distintas a las especificadas en las tablas (40 °C) se corregirá el valor de corriente máxima admisible con factores de corrección. Por ejemplo, un cable enterrado a 70 cm en tierra normal (no arena ni extremadamente seco) se puede considerar como temperatura máxima del entorno 25 °C y por lo tanto los cables podrán soportar mayor corriente.

*Condiciones de instalación y cantidad de circuitos por cañería:* Colocar más de un circuito activo por cañería implica aumentar las fuentes generadoras de calor y por lo tanto dificultar el enfriamiento del cable. Por eso, se deberán aplicar los factores de corrección adecuados de acuerdo al nro. de circuitos en el ducto. Cuando mayor sea la cantidad de circuitos, menor será la corriente máxima admisible de los cables. Por otro lado, también se deberá tener en cuenta las condiciones de instalación, por ejemplo, si la bandeja portacable esta agujereada (mas ventilación mejor disipación de calor mayor corriente en el cable sin que caliente) o es de base cerrada.

*Caída de tensión:* Por último hay que verificar que la caída de tensión en los puntos más extremos del cable sea la adecuada. En general, se admite una caída de tensión máxima del 3 % para luminarias y un máximo del 5 % para motores.

Los factores de corrección para los ítems 2), 4) y 5) se encuentran en la reglamentación de la AEA.

Fórmulas más usuales utilizadas para el cálculo de secciones:

	Sistema		
	Monofásico	Trifásico	Continúa
Corriente en A	$\frac{P}{V_f \times \cos \phi}$	$\frac{P}{\sqrt{3} \times V_f \times \cos \phi}$	$\frac{P}{V_f}$
Caída de tensión en V	$2 \times I \times L \times (R \cos \phi + X \sin \phi)$	$\sqrt{3} \times I \times L \times (R \cos \phi + X \sin \phi)$	$2 \times I \times L \times R$

P = Potencia activa total en Watts (1 HP = 746 Watts)  
 Vf = Tensión entre fases o entre positivo y negativo en Volts.  
 cos φ = Factor de potencia  
 I = Corriente eficaz en el circuito en Amperes.

R = Resistencia óhmica en corriente alterna a la temperatura máxima de trabajo en ohms/km.  
 L = Longitud del circuito ida en metros.  
 X = Reactancia inductiva en ohms/km.

## TABLAS DE CONVERSION

Sección AWG / MCM	Diámetro o calibre	
	mm <sup>2</sup>	mm
38	0,0080	0,10
36	0,0127	0,13
34	0,0201	0,16
32	0,0320	0,20
30	0,0509	0,25
28	0,0810	0,32
26	0,129	0,40
24	0,205	0,51
22	0,326	0,64
20	0,518	0,81
18	0,823	1,02
16	1,31	1,29
14	2,08	1,63
12	3,31	2,05
10	5,26	2,59
8	8,37	3,26
6	13,3	4,12
4	21,2	5,20
2	33,6	6,54
1	42,4	7,35
1/0	53,5	8,25
2/0	67,4	9,26
3/0	85	10,4
4/0	107	11,7
250	127	12,7
300	152	13,9
350	177	15,0
400	203	16,1
500	253	17,9
600	304	19,7
700	354	21,2
750	380	22,0
800	405	22,7
1000	506	25,4
1250	633	28,4
1500	760	31,1
2000	1013	35,9