

Cómo calcular un conductor

En toda instalación eléctrica, siempre tenemos necesidad de instalar cables, de M.T. (media tensión) o B.T. (baja tensión) y del correcto dimensionamiento del mismo, dependerá en gran medida, el adecuado funcionamiento de aquella.

Nuestro objetivo será, precisamente, el fijar las pautas necesarias, para su cálculo y su posterior verificación. Previamente, daremos una ligera descripción general de las partes constitutivas del cable y de las Normas, de fabricación y diseño, a la que responden.

I) NORMAS

Los cables de B.T. y M.T., en cuanto a su diseño y fabricación, responden a las disposiciones de la norma IRAM 2178, que se basa, en las recomendaciones de la IEC.

II) CONSTRUCCION

II.1) Conductores

Pueden estar constituidos, de cobre electrolítico o aluminio puro, en ambos casos, especial para uso eléctrico.

Todas las secciones, están constituidas por cuerdas de alambres cableados, en los cables multipolares de hasta 35mm² de sección, la cuerda es circular, mientras que para secciones mayores, la cuerda es sectorial. En los cables unipolares, la cuerda siempre es circular.

II.2) Aislación

Los materiales usados normalmente, salvo casos especiales, son el PVC. (policloruro de vinilo) y el polietileno reticulado, que presenta, respecto de aquel, mejores propiedades mecánicas y una muy buena resistencia, al envejecimiento.

II.3) Blindaje Eléctrico

Su inclusión, se realiza en los cables M.T. y A.T., está constituido, por compuestos semiconductores, aplicados mediante procesos de triple extrusión, simultánea. Este proceso, proporciona un blindaje integral, que tiene por objeto, confinar el campo eléctrico, en su superficie interior y lograr un gradiente de potencial, radialmente uniforme.

Sobre la capa semiconductor externa de la aislación, se dispone una pantalla electrostática, constituida, por alambres y/o cintas de cobre.

Este blindaje, constituye, la protección eléctrica, contra contactos involuntarios y en casos de averías mecánicas graves, debe prevenir, las tensiones de contacto, la descarga de la corriente capacitiva del cable, en servicio normal Y de la corriente de cortocircuito, en caso de falla.

Este blindaje, para cumplir con su cometido, debe estar conectado a tierra, y además tener continuidad eléctrica, en los empalmes. La pantalla eléctrica, requerida en la norma IRAM 2178, debe poseer, una resistencia eléctrica no mayor, de 3,3 ohm/Km a 20° C, por lo que, la sección habitual es de 10 mm².

Existen casos, donde, por las características de la red y/o el tiempo de actuación de las protecciones, la pantalla es insuficiente para conducir la corriente de corto circuito y en cuyo caso, la sección de la pantalla, se calcula, como:

$$S = I \times T^{0,5} / K$$

Donde:

I : es la corriente de corto circuito monofásica, a tierra (A).

T : tiempo de actuación de las protecciones (seg.).

S : sección de cobre de la pantalla (mm²).

K : densidad máxima de corriente, a 250 °C. = 143

II.4) Relleno y Revestimiento

Como se establece en la Norma IRAM 2178, los mismos, son de material sintético, para conformar un núcleo, sustancialmente cilíndrico, conjuntamente, con un revestimiento de material termoplástico.

II.5) Armadura

Se dispone debajo de la cubierta externa, una armadura, que actúa como protección mecánica y que está constituida, por alambres o flejes de acero galvanizados, aplicados helicoidalmente y con una superposición adecuada.

II.6) Cubierta Externa

Los cables, poseen, una cubierta externa de protección, constituida por un compuesto, a base de PVC., y que tiene, excelentes características mecánicas y de estabilidad química

III) DEFINICIONES PREVIAS

o Tensión Nominal:

Es la tensión, para la cual se ha diseñado el cable y está definida, por la Norma de fabricación.

o Tensión de Servicio:

Es la tensión, que se aplica al cable, entre fases.

o Tensión Máxima:

Es la máxima tensión, que se admite en ser-vicio permanente y está definida, por la Norma de fabricación.

Las normas internacionales, incluyendo también la IRAM, toman en consideración, para determinar el nivel de aislamiento de los cables, el nivel y la duración de la sobretensión, que se origina, al producirse una falla a tierra.

Con relación a este criterio, la norma IRAM 2178, clasifica a las redes eléctricas, en dos categorías a saber:

o Categoría 1

Corresponde a las redes, donde, en el caso de falla de una fase a tierra, el cable es retirado del servicio, en un tiempo, no mayor de 1 hora.

o Categoría 11

Corresponde a las redes, que no están, incluidos en la Categoría I.

IV) CRITERIO DE CALCULO Y SU VERIFICACION

IV.1 CRITERIO DE CALCULO

Se efectúa, en función de la "Capacidad de Carga" del cable, la cual, depende de la temperatura máxima admisible del mismo y de las condiciones ambientales, para la disipación del calor.

La carga que transporta el cable, se limitará, de acuerdo al calor generado, a lo largo del mismo, debido a las pérdidas óhmicas respecto a la posibilidad de eliminación del mismo, en las condiciones ambientales existentes.

La eliminación del calor, depende, de la resistencia térmica entre el conductor y la superficie del cable, como asimismo, de la transmisión del calor, al ambiente. La resistencia térmica, a su vez, dependerá:

o La humedad del suelo.

o Del desecamiento del suelo, por una aglomeración, excesiva de conductores.

o Por la protección exterior, del cable (tubos, ladrillos, canaletas, etc.).

o Temperatura ambiente.

o Calentamiento adicional, de otros cables cercanos.

o En cables instalados al aire, el impedimento, para liberar el calor generado.

Como puede apreciarse, son muchos los factores, que influyen en la determinación de la carga admisible, de un cable. Los valores de carga, que dan los fabricantes para cada sección y tipo de cable, son para los mismos, instalados individualmente y en condiciones ambientes, uniformes, constantes y el servicio sea el normal.

En caso, de no ser así, los valores de tabla, deben ser afectados, según lo siguiente:

A) CABLES EN TIERRA

A. 1 Servicio Normal, (F1)

o Se entiende, la de una instalación en tierra, la que está sometida, al siguiente régimen máximo de carga diario:

a) 12 hs. , a plena carga y a la cual, sigue

b) 12 hs. , al 60%, de la carga máxima.

o Para el caso de plena carga, en forma permanente, se debe afectar, por ($F1 = 0,75$).

o Para el caso de cables en aire, el valor de “Capacidad de Carga” de la tabla del fabricante, se puede tomar como carga permanente en tal caso ($F1=1,00$).

A.2 Cubiertas Protectoras (F2).

Como ser, ladrillos, media cañas, etc., el coeficiente es ($F2 = 0,85$)

A.3 Resistividad Térmica del Terreno (F3 y F4).

Existen dos coeficientes, a saber:

o Según la sección del cable, (F3).

o Según el tipo de cable, (F4).

A4. Temperatura ambiente cables instalados en tierra (F5).

A5. Acumulación de cables en una misma zanja (F6).

B) CABLES EN AIRE

B.1) Temperatura ambiente (F8)

B.2) Acumulación de cables (F7)

IV.2) LOS CRITERIOS DE VERIFICACIÓN

Una vez calculado el cable, según, el criterio de la “Capacidad de Carga”, antes expuesto, debemos verificar el mismo y eventualmente, modificar su sección, de ser necesario.

Los criterios de verificación son:

IV.2.1) A los efectos térmicos y dinámicos, que se presentan, en un cortocircuito.

IV.2.2) A la caída de tensión.

IV.2.1) A los efectos térmicos y dinámicos, que se presentan, en un cortocircuito

Por un lado, tenemos los efectos dinámicos, consistentes, en la deformación del cable, por atracción mutua de los conductores, en un cable multipolar y por el otro, tenemos un aplastamiento del dieléctrico, lo que viene facilitado, por las elevadas temperaturas presentes, en el momento del cortocircuito.

Ambos efectos, en ese momento, se pueden mantener dentro de límites admisibles, eligiendo una sección de cable adecuada.

Dicha sección, se calcula, a partir del tiempo de duración del cortocircuito, o sea, del tiempo de actuación de las protecciones y del valor de la corriente de cortocircuito, la fórmula es aproximadamente la siguiente:

$$S = I \times T^{0,5} / K$$

Donde:

I: corriente de cortocircuito, en (A)

T: tiempo de duración, del cortocircuito, en (seg.).

S: sección del cable, en (mm²).

K: densidad de corriente de cortocircuito para conductores aislados, en Polietileno Reticulado, vale:

o Para cables de cobre: 143

o Para cables de aluminio: 94

IV.2.2) A la caída de tensión

o En circuitos monofásicos:

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot L (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \operatorname{sen} \varphi)$$

o En circuitos trifásicos:

$$\Delta U = 1,73 \cdot I \cdot L (r \cos \varphi + x \cdot \operatorname{sen} \varphi)$$

Siendo:

I: corriente nominal en el cable, en (A)

L: longitud del cable, en (Km.)

r: resistencia del cable, en (ohm / Km)

X: resistencia del cable, en (ohm / Km)

AU: caída de tensión, en (volts)

Ejemplo:

Datos de cálculo

Potencia a transmitir:

100 Kw. , Cos. = 0,8 sistema trifásico, con neutro.

Tensión nominal:

380 / 220 V.

Longitud: 250 mts.

Característica de carga, diaria:

8 hs. Al 90%, luego;

8 hs. Al 50%, luego;

8 hs. al 30%

Tendido:

o En tierra a 0,70 mts.

o 2 cables más, en la zanja, (total 3).

o Protección con media caña.

o Temperatura ambiente 25 °C.

o Resistividad del terreno 700C. Cm/ W.

Caída de tensión admisible:

4,5 % = 17,1 V

Corriente de cortocircuito: 30 KA

Curva del relé de protección, en la misma gráfica se incluye la característica del cable, (ver punto II,

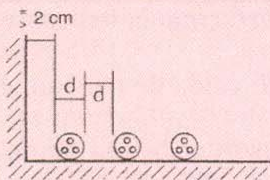
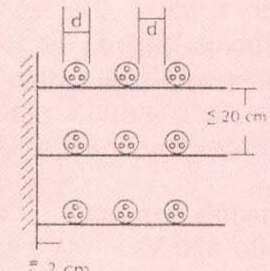
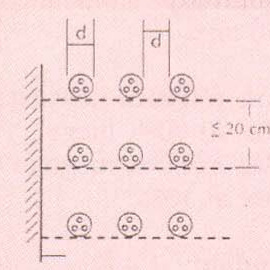
Verificación al cortocircuito):

I) Criterio de Cálculo

o Corriente a transmitir

$$I = \frac{100}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 190A$$

R (°C. cm / W)	70	100	120	150	200	250	300
Sección Nominal (mm ²)	FACTOR (F3)						
Hasta 25	1,11	1,00	0,94	0,87	0,78	0,72	0,67
De 35 a 95	1,13	1,00	0,93	0,86	0,76	0,70	0,64
De 120 a 240	1,14	1,00	0,93	0,85	0,76	0,69	0,63
De 300 a 500	1,15	1,00	0,92	0,85	0,75	0,68	0,63
Tipo	FACTOR (F4)						
Tri y tetrapolares	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Bipolares	0,98	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03
Unipolares	0,98	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03
Temperatura ambiente	15°C.	20°C.	25°C.	30°C.	35°C.	40°C.	
	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	
Cantidad de cables En zanja (separados 7cms. o más)							
	2	3	4	5	6	8	10
	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53
Temperatura ambiente	25°C.	30°C.	35°C.	40°C.			
	1,06	1,00	0,94	0,87			

Apoyados sobre el suelo	Cantidad de cables en paralelo						
	1	2	3	6	9		
	0,95	0,90	0,88	0,85	0,84		
Apoyados sobre bandejas (circulación del aire entorpecida)	Cantidad de Bandejas						
	1	0,95	0,90	0,88	0,85	0,84	
	2	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80	
	3	0,88	0,83	0,81	0,79	0,78	
	5	0,87	0,82	0,80	0,78	0,77	
	6	0,86	0,81	0,79	0,77	0,76	
Apoyados sobre rejillas (circulación del aire libre)	Cantidad De rejillas						
	1	1,00	0,98	0,96	0,93	0,92	
	2	1,00	0,95	0,93	0,90	0,89	
	3	1,00	0,94	0,92	0,89	0,88	
	5	1,00	0,93	0,91	0,88	0,87	
	6	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	

Determinación de los factores de tendido

1. Por Servicio Normal

$$F1 = 1,00$$

2. Por Cubierta Protectora

$$F2 = 0,85$$

3. Por Resistividad térmica (suponemos $S=50\text{mm}^2$)

$$F3 = 1,13$$

$$F4 = 1,00$$

4. Por Temperatura ambiente (25 °C.)

$$F5 = 0,95$$

5. Por acumulación de cables en zanja (3 cables)

$$F6 = 0,75$$

Factor total de tendido:

$$(F1.F2.F3.F4.F5.F6.)F = 0,684$$

a) Cálculo de la Sección Real de conductor.

Para ello, lo primero que debemos calcular, es la corriente nominal equivalente, $I_{n.eq.}$, que es la necesaria, para poder ingresar en las tablas de "Capacidad de Carga", y obtener la sección del cable y que, se calcula como:

$$I_{n.eq.} = \frac{I_{Real}}{\text{factor de tendido}} = \frac{190}{0,684} = 280 \text{ A}$$

con esta corriente, verificarnos en la Tabla de "Capacidad de Carga", que normalmente, nos provee el fabricante de cables y para un Tipo de cable, seleccionado previamente, en nuestro caso, elegimos un cable tetrapolar, aislado en P.V.C. y, para lo cual, la:

$$S = 120 \text{ mm}^2 \text{ de Cu.}$$

II) Verificación al cortocircuito

De la tabla de "Capacidad de Carga", sacamos que la corriente máxima admisible, para un cable de $S = 120 \text{ mm}^2$ de Cu., es de 315 A.

La temperatura de régimen, de este cable, aislado en PVC., es de 80°C , pero cuando por él circulan los 315A. Y, siendo su temperatura máxima, para régimen de corta duración, de 160°C (80°C de servicio, más 80°C , de sobre temperatura).

Si queremos calcular, la verdadera temperatura del cable, aplicamos la siguiente expresión:

$$T_{real} = T_{nom} = \frac{(I)_{nom}^{0,5}}{(I)_{ad}^{0,5}} = \frac{280^{0,5}}{315^{0,5}} = 75^\circ\text{C}$$

1. La corriente de cortocircuito, que soportara en 1 seg., se calcula como:

$$I_{Ccnom} = \frac{K * S}{T^{0,5}} = \frac{143 * 120}{1^{0,5}} = 17,16 \text{ KA}$$

- Corrección por temperatura

La sobre temperatura nominal, del cable, es

$$= (160^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}) = 80^\circ\text{C}$$

La sobre temperatura real, es

$$= (160^\circ\text{C} - 75^\circ\text{C}) = 85^\circ\text{C}$$

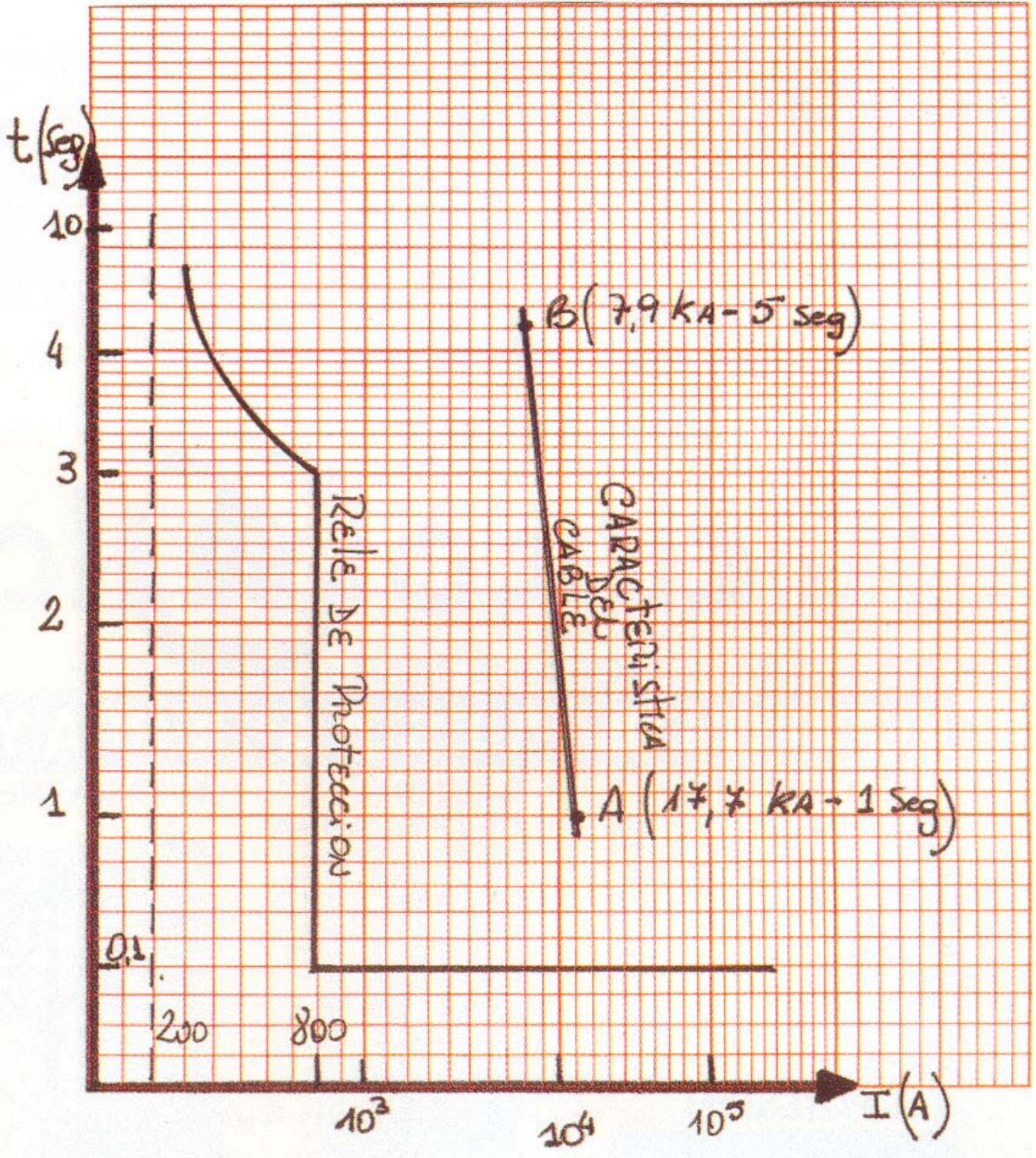
Presuponiendo, que el proceso dentro de los primeros 5 seg., es aproximadamente, adiabático se puede decir:

$$I_{Ccreal} = I_{CCNom} = \frac{(\Delta T)_{real}^{0,5}}{(\Delta T)_{nom}^{0,5}} = \frac{(85)^{0,5}}{(80)^{0,5}} = 17,68 \text{ KA}$$

$I_{Ccreal} = 17,68 \text{ KA}$ (1seg) Punto A, de la característica del cable.

2. La corriente de cortocircuito, que soporta en 5 seg., se calcula como:

$$I_{CCnom} = \frac{143 * 120}{5^{0,5}} = 7674KA$$



- Corrección por temperatura

$$I_{CCreal} = 7674 * \frac{(85)^{0,5}}{(80)^{0,5}} = 7910KA$$

$I_{CCreal} = 7910KA$ (5 seg) Punto B de la característica del cable

O sea, que en definitiva, el cable seleccionado verifica, ya que, se halla protegido por la curva del relé.

III) Verificación a la caída de tensión

$$U = 1,73IL(r * \cos \varphi + x * \sen \varphi)$$

Donde

$$I = 190 \text{ A.}$$

$$L = 0,25 \text{ Km.}$$

$$R = 0,153 \text{ ohm/km de la tabla del fabricante.}$$

$$X = 0,072 \text{ ohm/km de la tabla del fabricante.}$$

$$\cos \varphi = 0,8 \text{ dato del problema.}$$

$$\sen \varphi = 0,6 \text{ dato del problema.}$$

$$U = 1,73 * 190 \text{ A} * 0,25 \text{ km} (0,153 \text{ ohm/km} * 0,8 + 0,072 \text{ ohm/km} * 0,6) = 13,60 \text{ V.}$$

Vemos que verifica, porque la caída máxima admisible, era de 17,1 V. (dato del problema).

Por lo tanto la Sección adecuada es

$$\mathbf{S = 120 \text{ mm}^2 \text{ de Cu}}$$