

1 - Introducción.

La determinación reglamentaria de la sección de un cable consiste en calcular la sección mínima normalizada que **satisface simultáneamente las tres condiciones** siguientes:

■ 1º - Criterio de la intensidad máxima admisible, de calentamiento, o criterio térmico.

La temperatura del conductor del cable, trabajando a plena carga y en régimen permanente, no deberá superar en ningún momento la temperatura máxima admisible asignada de los materiales que se utilizan para el aislamiento del cable. Esta temperatura se especifica en las normas particulares de los cables y suele ser de 70° C para cables con aislamiento termoplásticos y de 90° C para cables con aislamientos termoestables.

■ 2º - Criterio de la caída de tensión.

El paso de la corriente a través de los conductores, ocasiona pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones en el origen y extremo de la línea. Esta caída de tensión debe ser inferior a los límites marcados por el Reglamento en cada parte de la instalación, con el objeto de garantizar el funcionamiento correcto de los receptores alimentados. Este criterio suele ser el determinante cuando las líneas son de larga longitud.

■ 3º - Criterio de la intensidad de cortocircuito.

La temperatura que puede alcanzar el conductor del cable, como consecuencia de un cortocircuito o sobre intensidad de corta duración, no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (menos de 5 segundos) asignada a los materiales utilizados para el aislamiento del cable. Esta temperatura se especifica en las normas particulares de los cables y suele ser de 160° C para cables con aislamiento termoplásticos y de 250° C para cables con aislamientos termoestables. Este criterio, aunque es determinante en instalaciones de alta y media tensión *no lo es en instalaciones de baja tensión* ya que por una parte las protecciones de sobre intensidad limitan la duración del cortocircuito a tiempos muy breves, y además las impedancias de los cables hasta el punto de cortocircuito limitan la intensidad de cortocircuito.

■ 4º - Factores de corrección que afectarán a la instalación.

Varios son los "Factores de corrección" que afectan a la intensidad máxima admisible en un conductor:

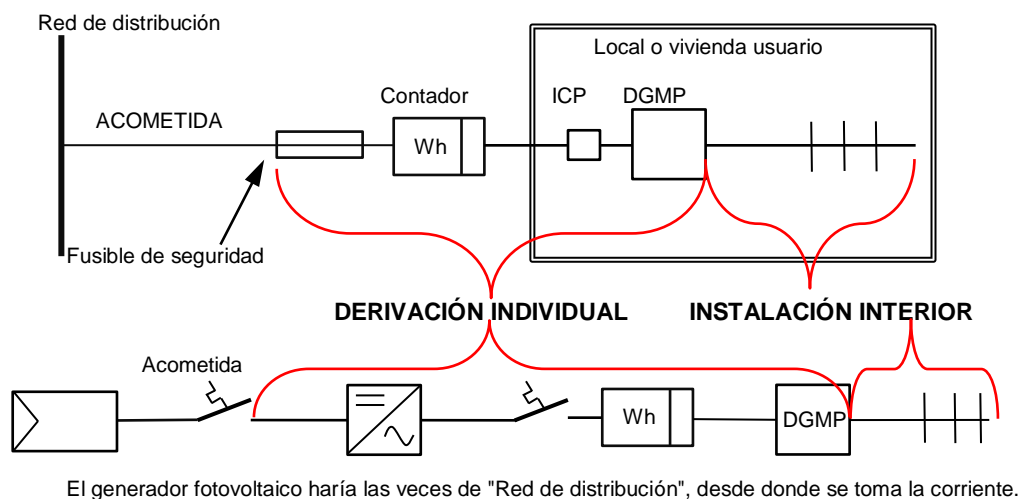
- El tipo de canalización por el que transcurra el cableado:
Al aire, empotrada, o enterrada, serán las más utilizadas.
- La proximidad de los conductores.
- La exposición directa o no al sol, si está "al aire", sin protección.
- La profundidad de la canalización, si esta fuera enterrada.

Veamos una definición del RBT:

"Derivación individual es la parte de la instalación que, partiendo de la línea general de alimentación, **suministra energía eléctrica a una instalación de usuario**. (ITC-BT-15, 1)"

A falta de Normativa específica para ISF, en cuanto a la definición de cada trazado del cableado, en **ISF conectadas**, se podría establecer una analogía, y la DI, sería el tramo desde los paneles hasta el equipo de medida y protección, pasando por el inversor.

En **ISF aisladas**, la acometida sería de paneles a DGMP, y de los equipos de control, conversión, y medida (si lo hay), sería la derivación individual, DI. (ISF: Instalación Solar Fotovoltaica)



2 - Bases de cálculo.

Para cumplir lo indicado, tendremos en cuenta las instrucciones del REBT y las Normas UNE siguientes:

ITC-BT 40, Instalaciones generadoras de Baja Tensión.

ITC-BT 07, Redes subterráneas para distribución de baja tensión.

ITC-BT 15, Instalaciones de enlace, derivaciones individuales.

ITC-BT 19, Instalaciones interiores o receptoras. Prescripciones generales.

ITC-BT 21, Instalaciones interiores o receptoras. Tubos y canales protectores.

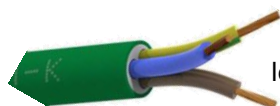
UNE 20.460.-3, -5-523, IEC 60287, cables expuestos a radiación solar. UNE-EN 500085-1 y 500086-1, cables de seguridad aumentada.

La primera condición es la de cumplir con la tabla de las intensidades admisibles indicada en el REBT según la UNE 20.460-5-523 de 11-2004 (Pág. 9 y 10).

El cable de PVC conocido por VVK (la primera V indica que el aislamiento interior es de PVC) cada vez es menos utilizado y su temperatura de servicio es hasta 70 °C. El cable XLPE es el más utilizado (pero no se puede utilizar en DI, pues no es de seguridad aumentada (AS)). En instalaciones BT y acometidas para armarios eléctricos se conoce como RVK (la primera R indica que el aislamiento interior es de polietileno reticulado = XLPE) y su temperatura de servicio es hasta 90 °C. (DI Derivación Individual)

➡ En una DI, la ITC-BT-15 nos obliga a instalar cables de **sección mínima de 6 mm²**. Todos los cables serán de seguridad aumentada (AS), no propagadores ni de la llama ni de incendio, libres de halógenos y de emisión reducida de humos.

Para montaje superficial o empotrado en canal o tubo se puede utilizar el de nomenclatura ESO7Z1K(AS), para España, o el H07Z1K(AS) en denominación europea; es un cable aislado de tensión asignada 450/750V de cobre y aislamiento de compuesto termoplástico a base de poliolefina (Z1), y 70 °C de temperatura máxima de servicio.



Para cables multiconductores se utiliza el de designación genérica RZ1K(AS) que es un cable de tensión asignada 0,6/1kV con conductor de cobre clase 5 (de aquí la letra K), aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina (Z1), y 90 °C de temperatura máxima de servicio.

3 – Factores de corrección.

Conozcamos algo de la normativa relacionada:

ITC-BT-06,... La tabla 6, resume que **en caso de exposición directa al sol**, la intensidad máxima admisible se multiplicará por el **factor 0'9**, o inferior, según recomienda UNE-20.435.

También indica los factores de corrección por **agrupación de varios cables** instalados al aire:

Nº de cables	1	2	3	>3
Factor corrección	1	0'89	0'8	0'75

ITC-BT-07,... En la Tabla 8, instalaciones enterradas directamente o en tubos (0'7m-25 °C, con cables en contacto d=0), y también si varía la profundidad de referencia que es 70 cm (Tabla 9):

Nº de cables	2	3	4	5	6	8	10	12
Factor corrección	0'8	0'7	0'64	0'6	0'56	0'53	0'5	0'47

Profundidad en m	0'4	0'5	0'6	0'7	0'8	0'9	1	1'2
Factor corrección	1'03	1'02	1'01	1	0'9	0'98	0'97	0'95

****También nos indica que bien sea un **cable tripolar o una terna de cables**, si van por un mismo conducto, se aplicará un factor de corrección de 0'8, y para cuatro cables, de 0'9. **¡Con 2 cables NO!**

****Además como la Tabla de intensidades máximas admisibles en instalación enterrada, sólo contempla cables tripolares o terna de unipolares, habrá que contar como intensidad máxima, la indicada por 1'225, si se trata de dos cables unipolares, o uno bipolar. (Pág. 9).

ITC-BT 40,...” Los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador y la caída de tensión (ΔU) entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1'5%, para la intensidad nominal.”

Podemos interpretar que en una ISF aislada, la “instalación interior” comienza en la salida del inversor (en c.a.) si lo hay, o de la salida del regulador (en c.c.) si la instalación interior fuera en c.c.
De aquí conectaríamos los DGMP (dispositivos generales de mando y protección).

En el PCT-A-REV-febrero 2009 (Pliego de condiciones técnicas de ISF aisladas de red) NO CONTEMPLA el efecto de la temperatura sobre los conductores. Coincide con el valor de la caída de tensión.

Por otro lado, Prysmian, fabricante de cables, aconseja: ...”si no queremos sobrepasar los límites de caída de tensión debemos tomar como **conductividad 44 para el cobre** y 27,3 para el aluminio (en cables termoestables) **de lo contrario debemos calcular la temperatura de trabajo del conductor**”.

Simplificando, calcula la intensidad *sobredimensionándola un 55%*, multiplicando por 1'55.

El valor de la resistividad ρ (rho) y de conductividad γ (gamma) a 20 °C, para el cobre y aluminio, será:

Cobre: $\rho_{cu} = 0'01786 \Omega mm^2/m$, que implica una $\gamma_{cu} = 56 Smm^2/m$, resistencia específica $\alpha_{cu}=0'00392$.

Aluminio: $\rho_{al} = 0'0287 \Omega mm^2/m$, que implica una $\gamma_{al} = 35 Smm^2/m$, resistencia específica $\alpha_{al}=0'00403$.

4 - Aplicación práctica.

A partir de una instalación solar fotovoltaica aislada, vamos a exponer los criterios de cálculo a tener en cuenta en este tipo de instalaciones generadoras, basándonos en estos datos:

10 paneles de U_p : 17V - I_p : 6'5A - I_{sc} : 7'2A; convertidor de 12V cc/230V ca - xxxW - η 92%.

Potencia máxima a 230 V ca, 2300W, $\cos \phi$ 0'87.

Las longitudes y caídas de tensión de cada tramo aparecen en el croquis.

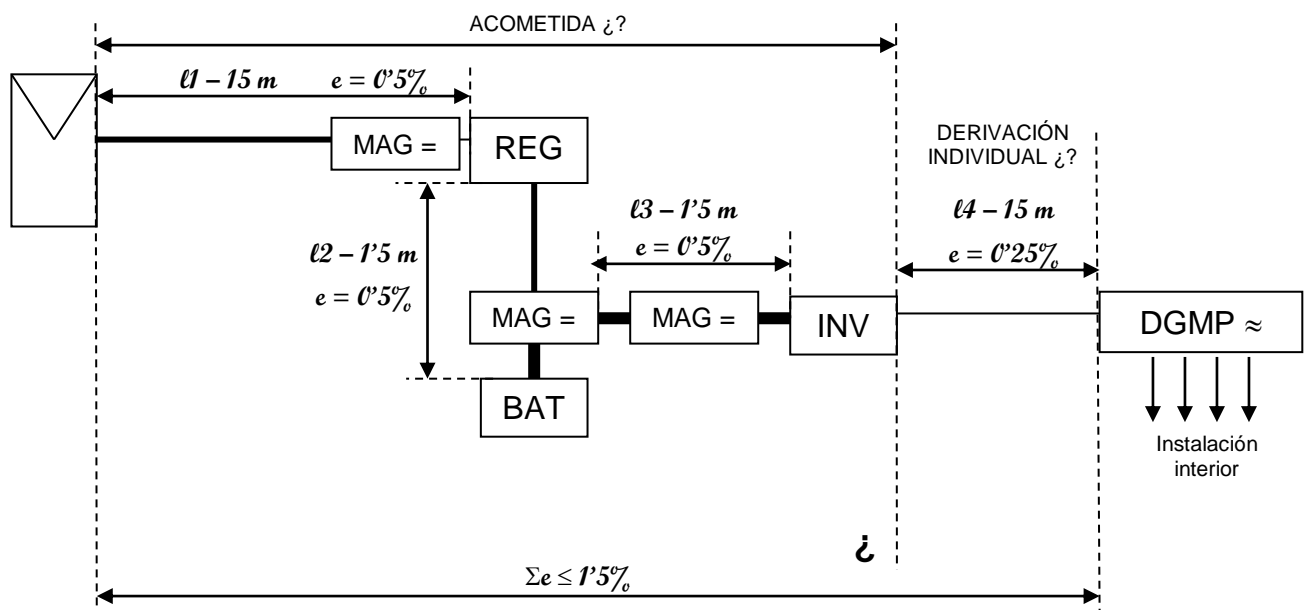
Tipo de canalizaciones:

l1, enterrada en conductos, a 0'5 m, agrupados y en contacto, t °C amb. θ (theta) 25 °C.

l2, y **l3** al aire, temperatura ambiente θ (theta) 40 °C.

l4, bajo tubo, en montaje superficial, temperatura ambiente θ (theta) 40 °C.

Tipo de conductores: **l1**, **l2**, **l3**, de cobre, Tecsun PV AS, aislamiento HEPR 120 °C. Cable de alta seguridad (AS), especialmente diseñado para instalaciones solares fotovoltaicas interiores, exteriores, industriales, agrícolas, fijas o móviles (con seguidores)... Pueden ser instalados en bandejas, conductos, soterrado o en equipos. Son aptos para aplicaciones con aislamiento de protección, (protección de clase II). También para conexión de paneles en serie. Para **l4**, ESO7Z1K(AS), 70 °C.



5 - Proceso de cálculo.

5.1 - Cálculo de las intensidades de servicio, de paso o de cálculo, para cada tramo.

Para el cálculo del tramo de cableado desde los paneles hasta el regulador, ℓ_1 , utilizaremos la **intensidad de cortocircuito** de todas las ramas de paneles; algunos aconsejan mayorar un 25% más, para futuras ampliaciones; si no lo deseamos, no se incluirá este mayorando o sobredimensionado ($\times 1'25$).

(Según PCT-A-REV-02 2009, es obligado, por lo que si nuestra instalación debe acogerse a esas condiciones, debemos incluirlo)

$$I_{\ell 1} = I_{sc} \bullet N^{\circ} \text{ ramas} = 7'2 \bullet 10 = 72A \quad (\text{No sobredimensionamos})$$

Para conocer la intensidad del tramo del regulador a la batería, ℓ_2 , haremos servir la máxima que pueden proporcionar los paneles, que será la de pico, por el número de ramas, y el por el rendimiento del regulador, si se conoce, ó 0'9 en su defecto. Se puede mayorar por 1'25 pensando en futuras ampliaciones, o si no lo deseamos, no se incluirá este mayorando o sobredimensionado, **sólo se aconseja**.

$$I_{\ell 2} = I_p \bullet N^{\circ} \text{ ramas} \bullet \eta_{REG} = 6'5 \bullet 10 \bullet 0'9 = 58'5A$$

La intensidad del tramo desde la batería hasta la entrada del inversor, ℓ_3 , debe ser la máxima que absorba toda la carga prevista en el lado de alterna, teniendo en cuenta el rendimiento del inversor empleado.

$$I_{\ell 3} = \left(\frac{P_{ca}}{\eta} \right) / U_{cc} = \left(\frac{2300}{0'92} \right) / 12 = 208'33 A$$

La intensidad del tramo ℓ_4 , del convertidor hasta el cuadro general de protecciones, será la potencia máxima que absorba toda la carga prevista en alterna.

$$I_{\ell 4} = \frac{P_{ca}}{U_{ca} \bullet \cos \varphi} = \frac{2300}{230 \bullet 0'87} = 11'49A$$

5.2 - Establecer el valor de la conductividad γ (gamma), según el tipo de canalización, conductor utilizado, la temperatura ambiente θ (theta) y la máxima que soporta el conductor.

La temperatura ambiente de referencia de las tablas de intensidades máximas admisibles es:

- conductores aislados y cables al aire, cualquiera que sea su modo de instalación: 40° C (γ 52)
- cables enterrados directamente o enterrados en conductos: 25° C (γ 54'91).

Cuando la temperatura ambiente en la ubicación de los conductores varíe de la de referencia, se deben aplicar factores de corrección, o para el cálculo de la sección aplicar la fórmula:

$$\gamma_{\theta} = \frac{1}{0,01786[1 + 0,00392(\theta - 20)]} \text{ en } S \bullet m/mm^2$$

	20° C	30° C	40° C REFERENCIA	50° C	60° C	70° C PVC	80° C	90° C XPLE-EPR
Cu	56	54	52	50	48	47	45	44
Al	35	34	32	31	30	29	28	27

Tabla 1. Conductividades a distintas temperaturas.

En la tabla 6 se indican los factores de corrección, F, de la intensidad admisible para temperaturas del terreno θ_t , distintas de 25°C, (que no es el caso) en función de la temperatura máxima de servicio θ_s , para sistemas enterrados; sin embargo, cuando no supere (γ 54'91) no hará falta.

Temperatura de servicio θ_s (°C)	Temperatura del terreno, θ_t , en °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90	1'11	1'07	1'04	1	0'96	0'92	0'88	0'83	0'78
70	1'15	1'11	1'05	1	0'94	0'88	0'82	0'75	0'67

Tabla 6. Factor de corrección F, para temperatura del terreno distinto de 25 °C

Tabla 6. Factor de corrección F, para temperatura del terreno distinto de 25 °C

El factor de corrección para otras temperaturas del terreno, distintas de las de la tabla, será:

$$F = \sqrt{\frac{\theta_s - \theta_t}{\theta_s - 25}}$$

5.3 - Calcular la sección de cada tramo, eligiendo (de momento) el valor de sección normalizada igual o superior al resultado calculado. Estas fórmulas son para corriente continua, o trifásica y para monofásica.

$$S_{cc} = \frac{2 \bullet \ell \bullet I \bullet \cos \varphi}{\gamma \bullet \Delta U} \text{ mm}^2$$

Para corriente continua ($\cos \varphi=1$) o alterna monofásica

$$S_{ca} = \frac{\ell \bullet I \bullet \sqrt{3} \bullet \cos \varphi}{\gamma \bullet \Delta U} \text{ mm}^2$$

Para corriente alterna trifásica

El cable que utilizaremos en nuestro ejemplo es HEPR, una variedad de EPR, que soporta 120 °C, para los tramos 1, 2 y 3. Para el tramo 4, será ESO7Z1K(AS), que soporta 70 °C, pero hay muchos más en el mercado.

La conductividad γ (gamma) para el tramo 1, enterrado bajo conducto, es 54'91 S•m/mm².

Para los tramos 2 y 3, al aire, la de referencia a 40 °C, 52 S•m/mm².

Para el tramo 4, bajo tubo, la de referencia a 40 °C, 52 S•m/mm².

5.3.1 – Tramo de paneles al regulador, S1.

$$S_1 = \frac{2 \bullet \ell_1 \bullet I_{\ell_1} \bullet \cos \varphi}{\gamma_{25} \bullet \Delta U_{0.5\%}} = \frac{2 \times 15 \times 72 \times 1}{54'91 \times 0'085} = 462'78 \text{ mm}^2$$

¡Es una barbaridad! implicando un cable normalizado de 500 mm². Hay dos soluciones: asumir mayor caída de tensión, o dividir la carga en dos o tres partes.

Asumiendo una caída de tensión, ΔU del 2 % (0'34 V) obtendríamos un cable de 115'69 \Rightarrow 120 mm², que soporta sin correcciones 375A, en terna de cables unipolares.

Como nosotros tendremos sólo 2 cables, hay que multiplicar por 1'225 \Rightarrow 459'37A.

Si partimos el cableado en dos (5 paneles por rama, y 36A cada rama): 231'39 mm² \Rightarrow 240 mm², que soporta sin correcciones 540A, por 1'225= 661'5A, que aún me parece una barbaridad.

Ahora probemos con 0'34 V de ΔU , y dos ramas, consiguiendo 57'84 mm² \Rightarrow 70 mm² \Rightarrow 330'75A.

Todo esto nos lleva a varias conclusiones:

Es muy difícil conseguir la caída de tensión máxima propuesta por el REBT. Partiendo la carga en varios tramos se consiguen menores secciones.

Vemos que casi siempre obtendremos en el lado de corriente continua, secciones que soportan con creces la intensidad máxima que circula por él. Aumentar la tensión en continua sería bueno.

Y algo importante: ¿Qué regulador puede conectar esas secciones? En nuestro caso el regulador debiera ser igual o mayor de 72A por el mayorando 1'25, dando $\geq 90A$

Propongo aumentar aún más la caída de tensión, hasta el 3'5% (0'595 V ¡!!) que como veis es ridícula, y partir la instalación en dos, obteniendo **una sección final de 33'05 \Rightarrow 35 mm² \Rightarrow 226'62A.**

El regulador de cada tramo sería de: $I_R \geq I_{\ell}/2 \cdot 1'25 \geq 72/2 \cdot 1'25 \geq 45A$.

La intensidad que manejará el regulador, en la salida a batería, será la de pico por el nº de ramas de paneles: $I_{\ell}/2 = 58'5/2 = 29'25A$

5.3.2 – Tramo 2, de reguladores hasta batería, S2; $\Delta U \leq 1'5\%$.

$$S_2 = \frac{2 \cdot \ell_2 \cdot I_{\ell_2} / 2}{\gamma_{40} \cdot \Delta U_{1'5\%}} = \frac{2 \cdot 1'5 \cdot 58'5 / 2}{52 \cdot 0'18} = 9'37 \text{ mm}^2 \Rightarrow 10 \text{ mm}^2 \Rightarrow 53A$$

5.3.3 – Tramo 3, de batería al convertidor, S3; $\Delta U \leq 1'5\%$.

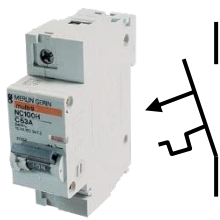
$$S_3 = \frac{2 \cdot \ell_3 \cdot I_{\ell_3}}{\gamma_{40} \cdot \Delta U_{1'5\%}} = \frac{2 \cdot 1'5 \cdot 208'33}{52 \cdot 0'18} = 66'77 \text{ mm}^2 \Rightarrow 70 \text{ mm}^2 \Rightarrow 185A$$

5.3.4 – Tramo 4, de convertidor monofásico al CGMP, S4; $\Delta U \leq 1'5\%$.

$$S_4 = \frac{2 \cdot \ell_4 \cdot I_{\ell_4}}{\gamma_{40} \cdot \Delta U_{3'45}} = \frac{2 \cdot 1'5 \cdot 11'49}{52 \cdot 3'45} = 1'92 \text{ mm}^2 \Rightarrow 2'5 \text{ mm}^2 \Rightarrow 23'5A \Rightarrow (6 \text{ mm}^2 \text{ ITC-BT-15})$$

En la página 2, se hace referencia a la analogía de este tramo con la derivación individual DI, y que la ITC-BT-15 nos obliga a instalar cables de **sección mínima de 6 mm²**. Por eso adoptamos para este tramo 6 mm², que soporta 32A. También si fuera enterrada, la mínima sección sería 6mm².

5.4 – Cálculo del calibre de los interruptores automáticos IA, o magnetotérmicos.



Para elegir el calibre, multiplicaremos por 1'3, la intensidad de empleo o diseño I_B , según aconsejan varios fabricantes, es decir, un 30% más que la de diseño.

La interrupción de corrientes presenta **mayores problemas con redes en corriente continua** que en corriente alterna. En la corriente alterna existe un paso natural de la corriente por el cero en cada semiperíodo; en continua esto no sucede y, para extinguir el arco, es preciso que la corriente disminuya hasta anularse.

Es necesario que la interrupción se realice gradualmente, sin bruscas anulaciones de la corriente que darían lugar a elevadas sobretensiones.

La curva de disparo será del tipo universal, C ($5 \div 10 I_n$) y de corriente continua en los tramos 1, 2, y 3. El tramo con tensión alterna utilizará uno apto para esa tensión, y también de curva C.

Los valores y características de **desconexión térmica NO** se ven afectados tanto si los interruptores automáticos trabajan en corriente alterna o en corriente continua. El relé térmico es la parte del interruptor automático encargada de la protección contra sobrecargas.

Los valores y características de **desconexión magnética SI** se ven afectados por el trabajo en corriente continua, debido a que los parámetros de excitación de la bobina de la protección magnética son distintos en corriente continua y en corriente alterna. El relé magnético es el que actúa en caso de cortocircuito.

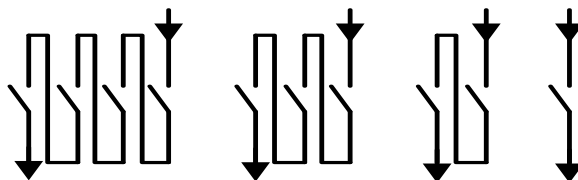
Cómo regla general, el umbral de desconexión magnética bajo corriente continua se ve incrementado en un 40% aproximadamente, respecto al umbral de desconexión magnética bajo corriente alterna.

Ejemplo: Un interruptor de curva C, de 10A de intensidad nominal, cuyo umbral de intervención magnética se encuentra comprendido entre 50A y 100A ($5-10 \times I_n$) en corriente alterna, en corriente continua dicho umbral pasará a situarse entre:

70A y 140A ($50A + 40\% = 70A$ - $100A + 40\% = 140A \Rightarrow 7 \div 14 \times I_n$).

En lo que se refiere a la capacidad de ruptura, los valores de corte son distintos en corriente alterna y en corriente continua. Para mantener la capacidad de ruptura original del aparato en corriente alterna, (6 KA) debe seguirse la siguiente norma para mantener el poder de corte:

- 1.- Hasta 48Vcc puede utilizarse un solo polo, manteniéndose el valor original de poder de corte.
- 2.- Entre 48Vcc y 110Vcc deben utilizarse 2 polos, conectados en serie.
- 3.- Entre 110Vcc y 150Vcc deben utilizarse 3 polos, conectados en serie.
- 4.- Hasta 200Vcc deben utilizarse 4 polos, conectados en serie.



Los valores normalizados de intensidades nominales, en amperios, de magnetotérmicos son:

4	6	8	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	200	250	400	800	1000	1250	1600
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

Para el **tramo de corriente alterna** utilizaremos **interruptores diferenciales**, de disparo por fuga de corriente, de 30 mA, y que soporte la intensidad máxima del circuito. Veamos algunos valores comerciales:

Modulares I max, A	6	10	16	20	25	32	40	63	100	No modulares	100÷630 A
Sensibilidad, mA	10, 30, 100, 300, 500 y 1000 mA										

3.4.1 – Tramo 1:

$I_{IA1} = I_{B1} \cdot 1'3$; I_{B1} será la máxima que pueda circular, que es la de cortocircuito del panel, por el número de ramas de paneles: $36 \cdot 1'3 = 46'8A \Rightarrow 50A$. Recuerda que hemos partido en dos ese tramo, y **en conductos diferentes**.

3.4.2 – Tramo 2:

$I_{IA2} = I_{B2} \cdot 1'3$; I_{B2} será ahora la máxima que dará cada regulador, $I_{\ell 2} / 2 = 29'25A$:

$I_{IA2} = I_{B2} \cdot 1'3 = 29'25 \times 1'3 = 38A \Rightarrow 40A$.

3.4.3 – Tramo 3: $I_{IA3} = I_{B3} \cdot 1'3$; I_{B3} será $I_{\beta 3}$: $I_{IA3} = I_{B3} \cdot 1'3 = 208'33 \times 1'3 = 270'8A \Rightarrow 400A$.

3.4.4 – Tramo 4: $I_{IA4} = I_{B4} \cdot 1'3$; I_{B4} será $I_{\alpha 4}$: $I_{IA4} = I_{B4} \cdot 1'3 = 11'49 \times 1'3 = 14'93A \Rightarrow 16A$.

5.5 - Contrastar el resultado con la intensidad máxima admisible, I_z , del conductor y el tipo de canalización y los Factores de corrección que les afecten. Luego elegimos la sección normalizada que cumpla con los criterios térmicos y de caída de tensión.

Falta que se cumpla la regla dictada en la Norma UNE 204060-4-43 y la instrucción ITC-BT-40:

$$I_z \geq I_N \geq I_B \qquad I_2 \leq 1'45 \cdot I_z$$

Siendo I_z la máxima admisible por el conductor, después de aplicar los Factores de corrección pertinentes; I_N como dice la Norma, la nominal del interruptor automático; I_B es la intensidad de empleo o de diseño.

Además debe cumplirse: $I_2 \leq 1'45 \cdot I_z$, siendo I_2 la corriente que garantiza el funcionamiento efectivo del dispositivo de protección generalmente dado en la norma del producto tipo UNE EN 60898, 61009.

$I_2 = 10 \cdot I_{IA}$, para el caso de curva de disparo C

En el caso de cortacircuitos fusibles, I_2 , será I_f (intensidad de funcionamiento) para fusibles de tipo gG:

$$\begin{aligned} I_f &= 1'6 \cdot I_N & \text{si } I_N > 16A \\ I_f &= 1'9 \cdot I_N & \text{si } 4A < I_N < 16A \\ I_f &= 2'1 \cdot I_N & \text{si } I_N < 4A \end{aligned}$$

Esta regla, normalmente siempre se cumple.

Recuerda aplicar los posibles Factores de corrección sobre I_z , que en nuestro caso serán:

Tramo 1, con canalización enterrada en conductos, con 2 conductores en contacto: 1.

Tramo 1, mayorando por haber sólo 2 conductores: 1'225.

Tramo 1, por estar a menos de 0'7 m (0'5 m): 1'01.

Tramos 2, 3, canalización al aire, dos conductores separados: 1 por estar separados.

Tramo 4, bajo tubo, dos conductores bajo tubo: 1.

Las intensidades máximas admisibles para las secciones calculadas, serán finalmente:

$$S1 = 35 \text{ mm}^2 \Rightarrow 226'62A \cdot 1 \cdot 1'225 \cdot 1'01 = \mathbf{280'38A}.$$

$$S2 = 10 \text{ mm}^2 \Rightarrow 53A \cdot 1 = \mathbf{53A}.$$

$$S3 = 70 \text{ mm}^2 \Rightarrow 185A \cdot 1 = \mathbf{185A}.$$

$$S4 = 6 \text{ mm}^2 \Rightarrow 32A \cdot 1 = \mathbf{32A}.$$

Los interruptores automáticos calculados, han sido:

$$\text{Tramo 1} = 50A \qquad \text{Tramo 2} = 40A \qquad \text{Tramo 3} = 400A \qquad \text{Tramo 4} = 16A$$

Las intensidades de diseño calculadas son:

$$\text{Tramo 1} = 36A \qquad \text{Tramo 2} = 29'25A \qquad \text{Tramo 3} = 208'33A \qquad \text{Tramo 4} = 11'49A$$

Para que se cumpla la ITC-BT-40, hay que mayorar por el 125%, la intensidad de diseño I_B :

$$T1 = 36 \times 1'25 = \mathbf{45A} \quad T2 = 29'25 \times 1'25 = \mathbf{36'56A} \quad T3 = 208'33 \times 1'25 = \mathbf{260'41A} \quad T4 = 11'49 \times 1'25 = \mathbf{14'36A}$$

Las relaciones establecidas entre ellos, según la Norma UNE 20460, $I_z \geq I_N \geq I_B$:

Tramo 1: $280'4A \geq 50A \geq 45A$, por tanto se cumple.

Tramo 2: $53A \geq 40A \geq 36'56A$, se cumple.

Tramo 3: $185A \geq 400A \geq 260'41A$, **NO SE CUMPLE**; debemos aumentar la sección que supere el nuevo valor, del interruptor automático, y luego comprobaremos de nuevo la relación:

El valor de 400A, **obliga aumentar la sección** hasta $240 \text{ mm}^2 \Rightarrow 435^a$

Tramo 3, con 240 mm^2 , $I_z = 435A \geq 400A \geq 208'33A$, ahora si cumple.

Tramo 4: $32A \geq 16A \geq 14'36A$, se cumple.

Conclusiones. Adoptaremos finalmente las secciones y magnetotérmicos siguientes:

Tramo 1: $35 \text{ mm}^2 - 36A$	Tramo 2: $10 \text{ mm}^2 - 40A$	Tramo 3: $240 \text{ mm}^2 - 400A$	Tramo 4: $6 \text{ mm}^2 - 16A$
----------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	---------------------------------

Recuerda que si la instalación se encuentra en una zona de alta frecuencia de rayos o nivel cerámico alto, debes incluir protecciones contra sobretensiones o descargas atmosféricas.

5.6 – Cálculo para líneas trifásicas.

En el caso de tener convertidores trifásicos, ya sea en instalaciones aisladas o conectadas a red, el proceso de cálculo será el mismo, pero las fórmulas de cálculo serán estas:

$$I_{ca} = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} \quad S_{ca} = \frac{\ell \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot \Delta U}$$

6 – Aclaraciones.

- En el tramo de paneles al regulador/convertidor, (según sea el tipo de instalación) realmente, el magnetotérmico o cortacircuitos fusible **NO PROTEGERÁ** la línea, ya que lo calibramos al valor de la intensidad de cortocircuito de los paneles más un 30%, y en caso de producirse un cortocircuito antes del magnetotérmico, éste no actuaría; además aguas abajo del magnetotérmico no hay fuente de energía conectada directamente, que pueda mantener un cortocircuito, ya que siempre tendremos un componente direccional de la corriente, que será un regulador o un convertidor, con un circuito de entrada similar al del regulador, en lo concerniente a llevar a los paneles al PMP, por lo que **nunca superaremos la intensidad de cortocircuito**, y como el magnetotérmico es un 30% mayor, menos aún.

Veamos el ejemplo del tramo 1:

$$I_{IA1} = I_{B1} \cdot 1'3 = 36 \cdot 1'3 = 46'8A \Rightarrow 50A, \text{ vemos que } 50A \gg 36A.$$



A pesar de esto, es conveniente montarlo, para separar la línea de paneles cuando fuera necesario, o bien corta circuitos fusibles.

- En cuanto a la curva de disparo a elegir, **NO ESTÁ TIPIFICADO**. Por tanto, elegiremos aquella que se adapte mejor a las características del circuito:
 - Curva B: circuitos sin transitorios, $I_m 3 \div 5 I_B$, típica de tramos de continua.
 - Curva C: circuitos con carga mixta, $I_m 5 \div 10 I_B$, caso general, vivienda.
 - Curva D: circuitos con transitorios, $I_m 10 \div 20 I_B$, en arranque de motores.
- Según la Guía Técnica BT-22-436: **Se consideran protegidos contra cualquier sobre intensidad** los conductores alimentados por una fuente cuya impedancia sea tal que, la corriente máxima que pueda suministrar no sea superior a la corriente máxima admisible en los conductores...
- En cuanto al calibre del inversor en instalaciones aisladas, tendremos en cuenta el F_s o Factor de simultaneidad, por ejemplo de 0'8, y que normalmente rinden más a plena potencia que a potencias menores a su nominal, debiendo ajustar a ese valor la elección. También debemos valorar que se identifican con la potencia aparente S , y no la activa P , por lo que debemos dividir por el factor de potencia o $\cos \varphi$, la potencia activa que tengamos.

$$S_{INV} = \frac{P \cdot F_s}{\cos \varphi}$$

Siguen Tablas de intensidades máximas admisibles, según el tipo de canalización y aislamiento del conductor.

Tabla 5. Intensidad máxima admisible, en amperios, para cables con conductores de cobre en instalación enterrada (servicio permanente).

SECCIÓN NOMINAL mm ²	Terna de cables unipolares (1) (2)			1cable tripolar o tetrapolar (3)		
						
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
6	72	70	63	66	64	56
10	96	94	85	88	85	75
16	125	120	110	115	110	97
25	160	155	140	150	140	125
35	190	185	170	180	175	150
50	230	225	200	215	205	180
70	280	270	245	260	250	220
95	335	325	290	310	305	265
120	380	375	335	355	350	305
150	425	415	370	400	390	340
185	480	470	420	450	440	385
240	550	540	485	520	505	445
300	620	610	550	590	565	505
400	705	690	615	665	645	570
500	790	775	685	-	-	-
630	885	870	770	-	-	-

Tipo de aislamiento:

XLPE - Polietileno reticulado - Temperatura máxima en el conductor 90°C (servicio permanente).

EPR - Etileno propileno - Temperatura máxima en el conductor 90°C (servicio permanente).

PVC - Policloruro de vinilo - Temperatura máxima en el conductor 70°C (servicio permanente).

Temperatura del terreno 25°C.

Profundidad de instalación 0,70 m.

Resistividad térmica del terreno 1 K.m/W.

(1) Incluye el conductor neutro, si existe.

(2) Para el caso de **dos cables unipolares**, la intensidad máxima admisible será la correspondiente a la columna de la terna de cables unipolares de la misma sección y tipo de aislamiento, **multiplicada por 1,225**.

(3) Para el caso de un **cable bipolar**, la intensidad máxima admisible será la correspondiente a la columna del cable tripolar o tetra polar de la misma sección y tipo de aislamiento, multiplicada **por 1,225**.

Tabla 1. Intensidades admisibles (A) al aire 40 °C. N° de conductores con carga y naturaleza del aislamiento

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR							
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR								
B		Conductores aislados en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
B2		Cables multiconductores en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR		2x XLPE o EPR					
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ¹⁾					3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
E		Cables multiconductores al aire libre ³⁾ . Distancia a la pared no inferior a 0.3D ⁵⁾						3x PVC		2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁴⁾ . Distancia a la pared no inferior a D ⁵⁾							3x PVC			3x XLPE o EPR ¹⁾			
G		Cables unipolares separados mínimo D ⁵⁾									3x PVC ¹⁾		3x XLPE o EPR		
Cobre			mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
			1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-	-
			2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-	-
			4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-	-
			6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-	-
			10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-	-
			16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-	-
			25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166	-
			35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206	-
			50			94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
			70					149	160	171	188	202	224	244	321
			95					180	194	207	230	245	271	296	391
			120					208	225	240	267	284	314	348	455
			150					236	260	278	310	338	363	404	525
			185					268	297	317	354	386	415	464	601
			240					315	350	374	419	455	490	552	711
			300					360	404	423	484	524	565	640	821

- 1) A partir de 25 mm² de sección.
- 2) Incluyendo canales para instalaciones -canaletas- y conductos de sección no circular.
- 3) O en bandeja no perforada.
- 4) O en bandeja perforada.
- 5) D es el diámetro del cable.

Sistema de instalación	Sistema de canalización (calidad mínima)		Cable	
Superficial	Tubo 4321 No propagador de la llama	Compresión Fuerte (4), Impacto Media (3), Propiedades eléctricas: Aislante / continuidad eléctrica. UNE-EN 50086-2-1	ES07Z1-K (AS)	unipolar aislado de tensión asignada 450/750 V con conductor de cobre clase 5 (-K) y aislamiento de compuesto termoplástico a base de poliolefina (Z1) UNE 211 002
	Canal no propagadora de la llama	Impacto Media, No propagador de la llama, Propiedades eléctricas: Aislante / continuidad eléctrica. Que solo puede abrirse con herramientas. IP2X mínimo. UNE-EN 50085	RZ1-K (AS)	Cable de tensión asignada 0,6/1 kV con conductor de cobre clase 5 (-K), aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina (Z1) UNE 21.123-4
Empotrado	Tubo 2221: No propagador de la llama	Compresión Ligera (2), Impacto Ligera (2). UNE-EN 50086-2-2	DZ1-K (AS)	Cable de tensión asignada 0,6/1kV con conductor de cobre clase 5 (-K), aislamiento de etileno propileno (D) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina (Z1) UNE 21.123-5
	Canal no propagadora de la llama	Impacto Media, No propagador de la llama. Que solo puede abrirse con herramientas. IP2X mínimo. UNE-EN 50085		
Enterrado	Tubo: (Propiedades de propagación de la llama no declaradas)	Compresión 250/450N (hormigón / suelo ligero), Impacto Ligera / Normal. UNE-EN 50086-2-4	RZ1-K (AS) DZ1-K (AS)	Tipos ya descritos siempre multiconductores
Canal de obra	Tubo 2221: No propagador de la llama	Compresión Ligera (2), Impacto Ligera (2). UNE-EN 50086-2-2	ES07Z1-K (AS) RZ1-K (AS) DZ1-K (AS)	Tipos ya descritos
	Canal no propagadora de la llama	Impacto Media, No propagador de la llama. Que solo puede abrirse con herramientas. IP2X mínimo. UNE-EN 50085		
	Bandejas y bandejas de escalera	UNE-EN 61537	RZ1-K (AS) DZ1-K (AS)	Tipos ya descritos, siempre multiconductores
	cables instalados directamente en su interior			
Canalización prefabricada UNE-EN 60439-2				
Nota 1: Según la norma UNE 21 022 los conductores clase 5 son aquellos constituidos por numerosos alambres de pequeño diámetro que le dan la característica de flexible.				
Nota 2: las normas de la serie UNE 21123 también incluyen las variantes de cables armados y apantallados que puede ser conveniente utilizar en instalaciones particulares.				

Los cables con conductores de aluminio corresponden al tipo RZ1-AI (AS), según la norma UNE 21123-4, habitualmente se utilizan para instalaciones singulares.

La sección mínima será de 6 mm² para los cables polares, neutro y protección y de 1,5 mm² para el hilo de mando, que será de color rojo.