

Capítulo G

La protección de los circuitos

Índice

1	General	G2
	1.1 Metodología y definición	G2
	1.2 Principios de protección contra las sobrintensidades	G4
	1.3 Valores prácticos para un esquema de protección	G4
	1.4 Ubicación de dispositivos protectores	G6
	1.5 Conductores en paralelo	G6
2	Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito	G7
	2.1 General	G7
	2.2 Método general para cables	G7
	2.3 Enfoque simplificado recomendado para cables	G16
	2.4 Sistemas de canalización eléctrica prefabricada	G18
3	Cálculo de la caída de tensión	G20
	3.1 Límite de máxima caída de tensión	G20
	3.2 Cálculo de caída de tensión en condiciones de carga estables	G21
4	Corriente de cortocircuito	G24
	4.1 Corriente de cortocircuito en los terminales secundarios de un transformador de distribución de AT/BT	G24
	4.2 Corriente de cortocircuito trifásico (I_{cc3}) en cualquier punto de la instalación de BT	G25
	4.3 I_{cc} en el extremo receptor de una unidad de alimentación con relación a la I_{cc} en el extremo de envío	G28
	4.4 Corriente de cortocircuito suministrada por un alternador o inversor	G29
5	Casos particulares de corriente de cortocircuito	G30
	5.1 Cálculo de niveles mínimos de corriente de cortocircuito	G30
	5.2 Comprobación de la resistencia térmica de cables en condiciones de cortocircuito	G35
6	Conductor de conexión a tierra de protección (PE)	G37
	6.1 Conexión y selección	G37
	6.2 Tamaño de los conductores	G38
	6.3 Conductor de protección entre el transformador de AT/BT y el cuadro general de baja tensión (CGBT)	G40
	6.4 Conductor equipotencial	G41
7	Conductor neutro	G42
	7.1 Dimensiones del conductor neutro	G42
	7.2 Protección del conductor neutro	G44
	7.3 Rotura del conductor neutro	G44
	7.4 Aislamiento del conductor neutro	G44
8	Ejemplo probado de cálculo de cables	G46

G1

Los componentes de un circuito eléctrico y su protección se determinan de manera que se cumplan las exigencias de funcionamiento normales y anómalas.

G2

1.1 Metodología y definición

Metodología (véase la **Figura G1**)

Tras un análisis preliminar de los requisitos de alimentación para la instalación, como se describe en el capítulo B, apartado 4, se realiza un estudio del cableado⁽¹⁾ y la protección eléctrica, comenzando por el origen de la instalación, pasando por los circuitos intermedios y terminando por los circuitos finales.

El cableado y su protección en cada nivel deben cumplir varias condiciones simultáneamente, para garantizar una instalación segura y fiable, es decir, deben:

- Soportar la corriente a plena carga permanente y las sobrecargas normales de corta duración.
- No provocar caídas de tensión que pudieran perjudicar el rendimiento de ciertas cargas, por ejemplo: un período de aceleración demasiado largo al arrancar un motor, etc.

Asimismo, los dispositivos de protección (interruptores automáticos o fusibles) deben:

- Proteger el cableado y las barras conductoras para cualquier nivel de sobrecarga, hasta las corrientes de cortocircuito (inclusive).
- Garantizar la protección de personas contra el riesgo de contacto indirecto, sobre todo en los sistemas con puesta a tierra TN e IT, donde la longitud de los circuitos puede limitar la magnitud de las corrientes de cortocircuito y, en consecuencia, retrasar la desconexión automática (recuerde que las instalaciones con puesta a tierra TT están protegidas necesariamente en el origen con un DDR, normalmente ajustado en una sensibilidad de 300 mA).

Las secciones de los conductores se establecen por el método general descrito en el subapartado 2 de este capítulo. Al margen de este método, algunas normativas nacionales podrían recomendar el cumplimiento de una sección mínima con el fin de asegurar la resistencia mecánica. Cargas particulares (como se indica en el capítulo N) exigen que el cable que las alimenta esté sobredimensionado y que se modifique la protección del circuito en consecuencia.

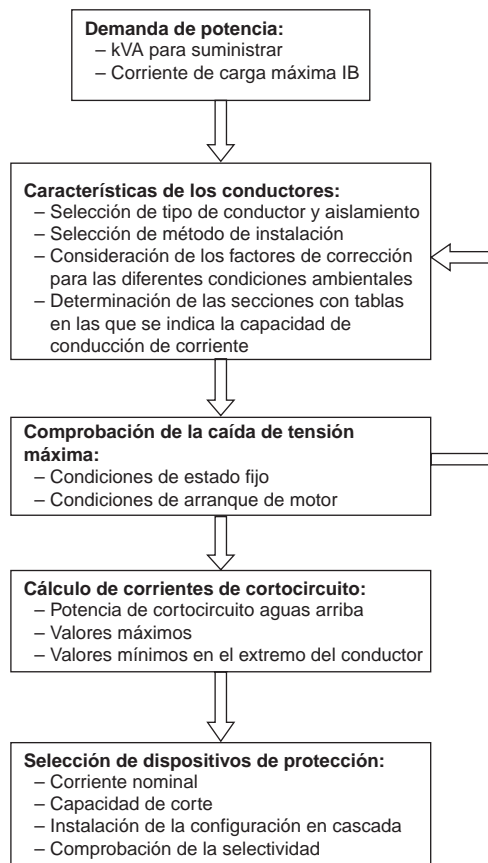


Fig. G1: Gráfico de flujo para la selección del tamaño de cable y especificación del dispositivo de protección para un circuito en concreto.

(1) El término "cableado" en este capítulo hace referencia a cualquier conductor aislado, incluidos los de uno o varios núcleos y los cables aislados distribuidos en conductos, etc.

Definiciones

Corriente de carga máxima: I_B

■ En el nivel de los circuitos finales, esta corriente corresponde a los kVA nominales de la carga. En el caso de un arranque de motor, u otras cargas que requieren una corriente alta al inicio, en especial cuando es una acción frecuente (p. ej. motores de ascensores, soldaduras por resistencia y demás), se deben tener en cuenta los efectos térmicos acumulativos de las sobreintensidades. Tanto los cables como los relés térmicos se ven afectados.

■ En todos los niveles de circuitos aguas arriba, esta corriente corresponde a los kVA que se deben suministrar, teniendo en cuenta los factores de simultaneidad y uso, k_s y k_u respectivamente, como se muestra en la **Figura G2**.

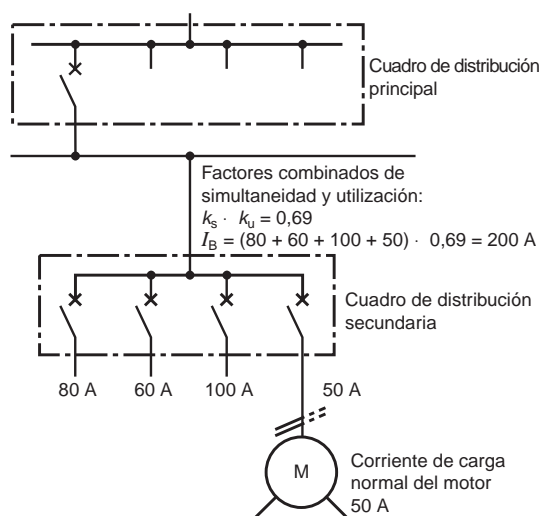


Fig. G2: Cálculo de la corriente de carga máxima I_B .

Corriente máxima permitida: I_2

Es el valor máximo de corriente que el cableado del circuito puede llevar indefinidamente, sin reducir su vida útil estimada.

La corriente depende de varios parámetros para una sección concreta de conductores:

- Composición del cable y tipo de cableado (conductores de Cu o Al; PVC o EPR etc. aislamiento, número de conductores activos).
- Temperatura ambiente.
- Método de instalación.
- Influencia de circuitos vecinos.

Intensidades máximas

Se produce una sobreintensidad cada vez que el valor de la corriente sobrepasa la corriente de carga máxima I_B para la carga en cuestión.

Se debe cortar esta corriente tan rápido como permita la magnitud, para evitar daños permanentes en el cableado (y en el aparato si la sobreintensidad se debe a un componente de carga defectuoso).

Las sobreintensidades con una duración relativamente corta, pueden aun así producirse durante el funcionamiento normal; se distinguen dos tipos de sobreintensidades:

■ Sobrecargas.

Estas sobreintensidades pueden producirse en circuitos eléctricos en perfecto estado, debido a un número de pequeñas cargas de poca duración que se producen ocasionalmente por casualidad, cargas al arrancar un motor y demás. Sin embargo, si persiste cualquiera de estas situaciones durante más de un tiempo determinado (según los ajustes del relé protector o las especificaciones de los fusibles) se cortará automáticamente el circuito.

■ Corrientes de cortocircuito.

Estas corrientes derivan del defecto de aislamiento entre los conductores en tensión o entre los conductores en tensión y la tierra (en sistemas con neutros de baja impedancia conectados a tierra) con cualquier combinación, a saber:

- Con cortocircuito trifásico (y conectado a neutro o tierra, o no).
- Con cortocircuito bifásico (y conectado a neutro o tierra, o no).
- Con cortocircuito monofásico conectado a neutro (o a tierra).

1.2 Principios de protección contra las sobrecargas

Se prevé un dispositivo de protección en el origen del circuito en cuestión (ver las Figuras G3 y G4).

- Actuando para cortar la corriente en un tiempo inferior al obtenido con la curva característica I^2t del cableado del circuito.
- Permitiendo el paso de la corriente de carga máxima I_B permanentemente.

Se pueden establecer aproximadamente las características de los conductores aislados en condiciones de cortocircuito, durante periodos de un máximo de 5 segundos tras el inicio del cortocircuito, con la siguiente fórmula:

$$I^2t = k^2 S^2$$

que indica que el calor permitido que genera es proporcional al área de la sección del conductor al cuadrado,

donde:

t : es la duración de la corriente de cortocircuito (segundos).

S : es el área de sección del conductor aislado (mm^2).

I : Corriente de cortocircuito (A ef).

k : Constante del conductor aislado (se facilitan valores de k^2 en la Figura G53).

Para un conductor aislado determinado, la corriente máxima permitida varía según el entorno. Por ejemplo, para una temperatura ambiente alta ($\theta_{a1} > \theta_{a2}$), I_{z1} es inferior a I_{z2} (ver Figura G5). θ significa "temperatura".

Nota:

- I_{CC3} significa corriente de cortocircuito trifásico.
- I_{CCB} significa corriente de corte de cortocircuito trifásico nominal del interruptor automático.
- I_r (o I_{rth})⁽¹⁾ significa nivel de corriente "nominal" regulado, p. ej. un interruptor automático de corriente de 50 A se puede regular para que tenga un rango protector, es decir, un nivel de disparo de sobrecarga convencional (ver Figura G6 en la página siguiente) parecido al de un interruptor automático de 30 A.

1.3 Valores prácticos para un esquema de protección

Los siguientes métodos están basados en las reglas de las normas IEC y representan las prácticas seguidas en muchos países.

Reglas generales

Un elemento de protección (interruptor automático o fusible) funciona adecuadamente si:

- Su corriente nominal o de ajuste I_n es superior a la corriente de carga máxima I_B pero inferior a la corriente máxima permitida I_z para el circuito, es decir, $I_B \leq I_n \leq I_z$ correspondiente a la zona "a" en la Figura G6.
- El ajuste de la corriente de disparo I_2 "convencional" es inferior a $1,45 I_z$ que corresponde a la zona "b" en la Figura G6.

G4

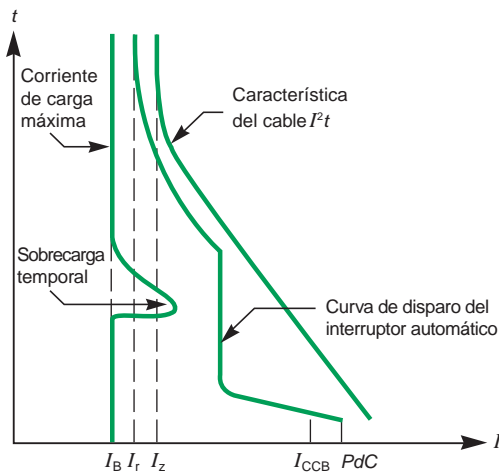


Fig. G3: Protección del circuito mediante interruptor automático.

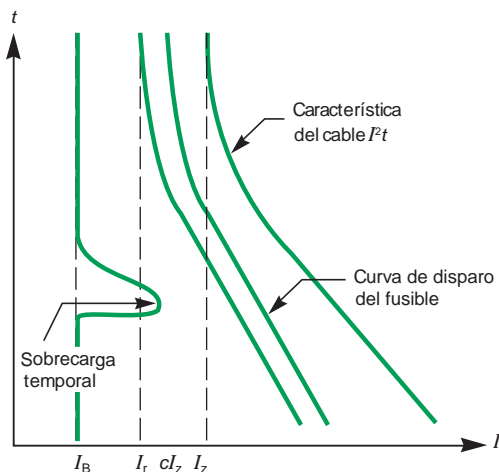


Fig. G4: Protección del circuito mediante fusibles.

(1) Se utilizan ambas designaciones en diferentes estándares.

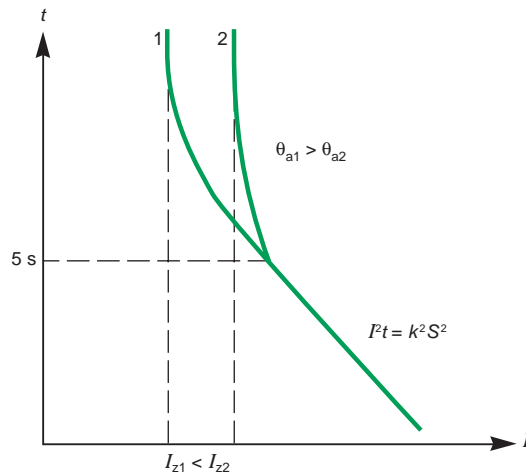


Fig. G5: Característica I^2t de un conductor aislado con dos temperaturas ambientales diferentes⁽¹⁾. Se utilizan ambas designaciones en diferentes estándares.

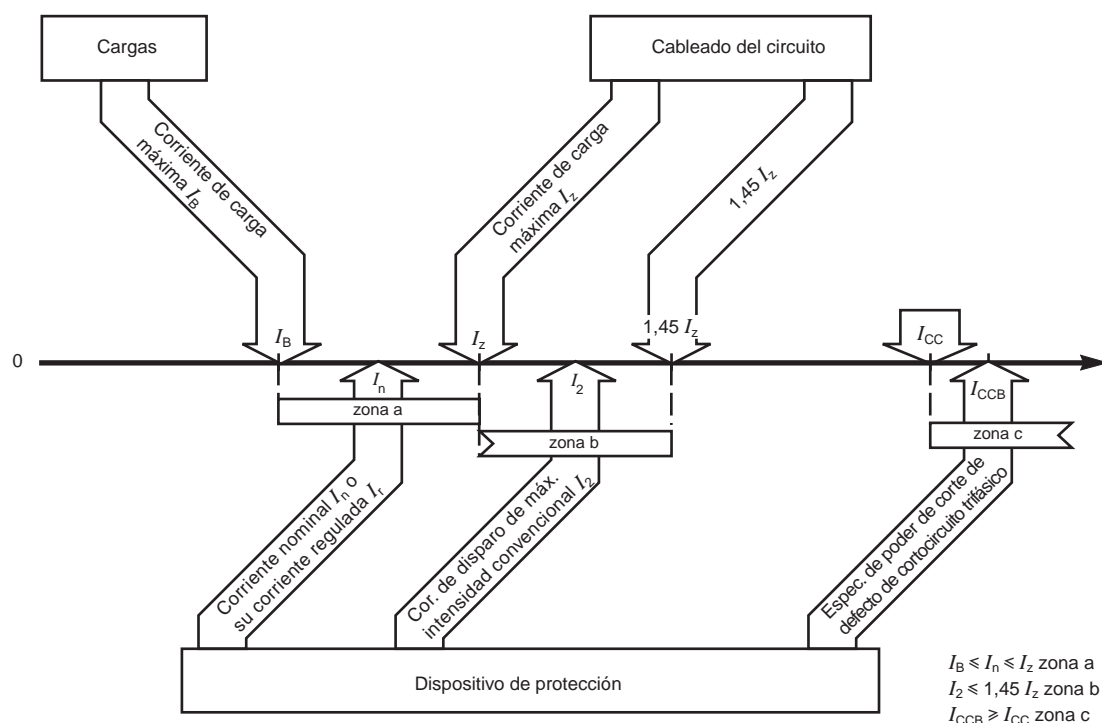


Fig. G6: Niveles de corriente para determinar las características del interruptor automático o del fusible.

El tiempo de disparo con ajuste "convencional" puede ser entre una y dos horas según las normas locales y el valor real seleccionado para I_2 . Para los fusibles, I_2 es la corriente (designada como I_f) que opera el fusible en el tiempo convencional.

■ El calibre de corte de la corriente de defecto de cortocircuito trifásico es superior a la corriente de cortocircuito trifásico existente en el punto de instalación. Esto corresponde a la zona "c" de la **Figura G6**.

Aplicaciones

Criterios para un interruptor automático: $I_B \leq I_n$ (o I_f) $\leq I_Z$ y la corriente nominal de corte de cortocircuito $I_{CCB} \geq I_{CC}$, nivel de corriente de cortocircuito trifásico en el punto de instalación.

■ Protección mediante interruptor automático.

Gracias a su alto nivel de precisión, la corriente I_2 siempre es inferior a $1,45 I_n$ (o $1,45 I_f$), de manera que la condición $I_2 \leq 1,45 I_Z$ (como se indica anteriormente en las "normas generales") siempre se cumple.

□ Caso particular.

Si el propio interruptor automático no protege contra las sobrecargas, es necesario asegurarse de que, en el momento de menor corriente de cortocircuito, el dispositivo de sobreintensidad que protege el circuito funcione correctamente. Se detalla este caso específico en el subapartado 5.1.

■ Protección mediante fusibles.

La condición $I_2 \leq 1,45 I_Z$ también se debe tener en cuenta, donde I_2 representa la corriente de fusión (nivel de fusión) igual a $k_2 \times I_n$ (k_2 oscila entre 1,6 a 1,9) según el fusible en particular.

Se ha introducido otro factor k_3 (en las normas nacionales de las que se han extraído estas notas) de manera que $I_2 \leq 1,45 I_Z$ será válido si $I_n \leq I_Z/k_3$.

Para fusibles tipo gG:

$I_n < 16 \text{ A } k_3 = 1,31$

$I_n \geq 16 \text{ A } k_3 = 1,10$

Así mismo, la capacidad de corte de la corriente de cortocircuito del fusible I_{CCF} debe superar el nivel de corriente de cortocircuito trifásico en el punto de instalación de los fusibles.

■ Asociación de diferentes dispositivos protectores.

IEC y numerosas normas nacionales permiten el uso de dispositivos protectores con especificaciones de corriente defectuosa inferiores al nivel de defecto existente en el punto de instalación en los siguientes casos:

□ Si existe protección aguas arriba, otro dispositivo protector que tenga la especificación de cortocircuito necesaria.

□ La cantidad de energía permitida para atravesar el dispositivo aguas arriba es inferior a la que pueden soportar el dispositivo aguas abajo y todos los aparatos y cableados asociados sin sufrir daños.

Criterios para un interruptor automático:

$I_B \leq I_n \leq I_Z$ e $I_{SCB} \geq I_{SC}$

Criterios para fusibles:

$I_B \leq I_n \leq I_Z/k_3$ e $I_{SCF} \geq I_{SC}$

En general, se requiere un dispositivo de protección en el origen de cada circuito.

G6

En la práctica, esta distribución suele utilizarse en:

- La asociación de interruptores automáticos/fusibles.
- La técnica conocida como “filiación” en la que la actuación de ciertos interruptores automáticos utilizados para limitar corrientes fuertes de cortocircuito reduce eficazmente la importancia de los cortocircuitos aguas abajo.

En las guías técnicas de Merlin Gerin aparecen las posibles combinaciones ensayadas en laboratorios.

1.4 Ubicación de dispositivos protectores

Norma general (ver Figura G7a)

Es necesaria la colocación de un dispositivo de protección en el origen de cada circuito o donde se produzca una reducción de la máxima corriente requerida I_b .

Otras ubicaciones posibles para ciertos casos (ver Figura G7b)

(ver Figura G7b)

El dispositivo de protección se puede colocar a lo largo del circuito:

- Si AB no está cerca de material combustible.
- Si no salen tomas de salida ni conexiones de bifurcación de AB.

Estos tres casos pueden ser útiles en la práctica:

- Estudie el caso (1) en el diagrama:
 - $AB \leq 3$ metros.
 - AB se ha instalado para reducir casi al mínimo el riesgo de cortocircuito (cables en un conducto de acero pesado, por ejemplo).
- Estudie el caso (2):
 - El dispositivo aguas arriba P1 protege la distancia AB contra los cortocircuitos conforme al subapartado 5.1.
- Estudie el caso (3):
 - El dispositivo de sobrecarga (S) está situado junto a la carga. Esta distribución es recomendable para circuitos con motor. El dispositivo (S) constituye el control (inicio/parada) y la protección contra las sobrecargas del motor, mientras que (SC) es: o bien un interruptor automático (diseñado para la protección de motores) o bien fusibles de tipo aM.
 - La protección contra los cortocircuitos (SC) situada en el origen del circuito cumple las disposiciones del subapartado 5.1.

Circuitos sin protección (ver Figura G7c)

O bien:

- El dispositivo de protección P1 está calibrado para proteger el cable S2 contra las sobrecargas y los cortocircuitos.

O:

- Cuando la ruptura de un circuito constituya un riesgo, como por ejemplo:
 - Circuitos de excitación de máquinas giratorias.
 - Circuitos de electroimanes de elevación grandes.
 - Circuitos secundarios de transformadores de corriente.

No se puede permitir la interrupción del circuito y la protección del cableado tiene una importancia secundaria.

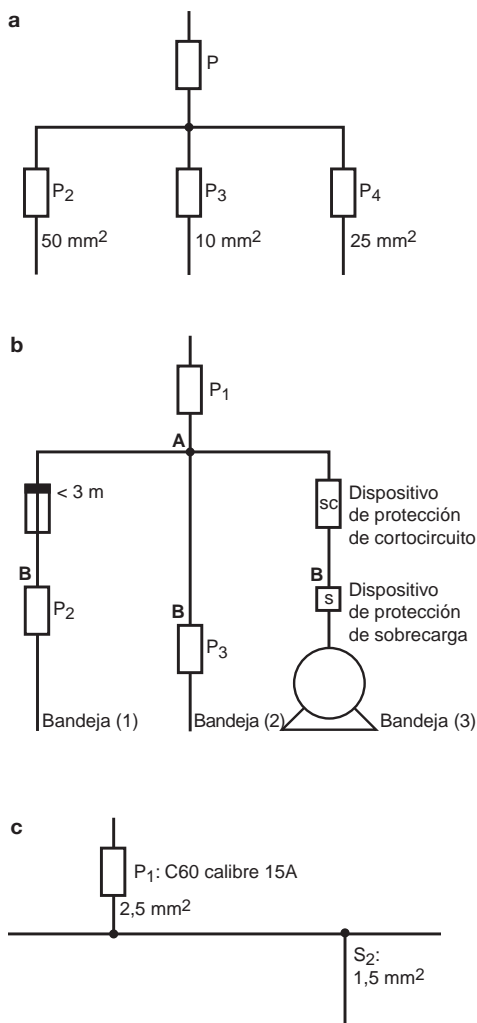


Fig. G7: Ubicación de dispositivos de protección.

1.5 Conductores en paralelo

Se pueden conectar en paralelo los conductores de una misma sección, misma longitud y mismo material.

La corriente máxima permitida es la suma de las corrientes máximas de núcleos individuales, teniendo en cuenta los efectos de calentamiento recíprocos, el método de instalación, etc.

La protección contra las sobrecargas y los cortocircuitos es idéntica a la de un circuito de un solo cable.

Se deben tomar las siguientes precauciones para evitar el riesgo de cortocircuitos en los cables puestos en paralelo:

- Más protección contra los daños mecánicos y la humedad mediante una protección complementaria.
- El trayecto del cable debe estar alejado de materiales combustibles.

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

2.1 General

La norma internacional de referencia para el estudio del cableado es IEC 60364-5-52: "Instalación eléctrica de edificios - Parte 5-52: Elección e instalación de materiales eléctricos - Sistema de cableado".

A continuación se ofrece un resumen de esta norma, con ejemplos de los métodos de instalación más utilizados. Las intensidades máximas admisibles de los conductores en las diferentes situaciones se ofrecen en el anexo A de la norma. En el anexo B informativo de la norma se ofrece un método simplificado para el uso de las tablas del anexo A.

2.2 Método general para cables

Métodos de instalación posibles para los diferentes tipos de conductores o cables

Los diferentes métodos de instalación permitidos se indican en la **Figura G8**, junto con los diversos tipos de conductores y cables.

G7

Conductores y cables	Tipo de instalación							
	Sin fijaciones	Con clips directo	Bajo tubo	Canalización de cables (incluidas canaletas, canalización de suelo empotrada)	Bajo tubo de cables	Bandeja escalera Bandeja de cables Abrazaderas de cables	En aisladores	Cable fijador
Conductores desnudos	-	-	-	-	-	-	-	+
Conductores aislados	-	-	+	+	+	-	+	-
Cables protegidos (incluidos armados y con aislamiento mineral)	Multiconductor	+	+	+	+	+	0	+
	Un conductor	0	+	+	+	+	0	+

- + Permitido.
- No permitido.
- 0 No aplicable o no utilizado normalmente en la práctica.

Fig. G8: Elección de sistemas de cableado (tabla 52-1 de IEC 60364-5-52).

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

Métodos de instalación posibles para diferentes situaciones

Pueden implantarse diversos métodos de instalación en diferentes situaciones. Las combinaciones posibles se presentan en la **Figura G9**.

El número que aparece en esta tabla se refiere a los diferentes sistemas de cableado considerados.

(Véase también la **Figura G10**.)

Situaciones	Método de instalación							
	Sin fijaciones	Con fijaciones	Bajo tubo	Canalización de cables (incluidas canalización en zócalos, canalización de suelo empotrada)	Conducto de cables	Bandeja escalera Bandeja de cables Abrazaderas de cables	En aisladores	Cable fijador
Huecos de edificios	40, 46, 15, 16	0	15, 16, 41, 42	–	43	30, 31, 32, 33, 34	–	–
Canal de cables	56	56	54, 55	0	44, 45	30, 31, 32, 33, 34	–	–
Enterrado	72, 73	0	70, 71	–		70, 71	0	–
Integrado en la estructura	57, 58	3	1, 2, 59, 60	50, 51, 52, 53	44, 45	0	–	–
Montaje en superficie	–	20, 21	4, 5	6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 22, 23	6, 7, 8, 9	30, 31, 32, 33, 34	36	–
Montaje aéreo	–	–	0	10, 11	–	30, 31, 32, 33, 34	36	35
Sumergido	80	80	0	–	0	0	–	–

– No permitido.

0 No aplicable o no utilizado normalmente en la práctica.

Fig. G9: Instalación de sistemas de cableado (tabla 52-2 de IEC 60364-5-52).

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

Ejemplos de sistemas de cableado y métodos de instalación de referencia

En la **Figura G10**, se ofrece una ilustración de los diferentes sistemas de cableado y métodos de instalación.

Se especifican varios métodos de referencia (codificados con las letras de la A a la G) y se agrupan los métodos de instalación con las mismas características en cuanto a las intensidades máximas admisibles de los sistemas de cableado.

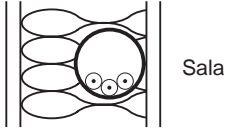
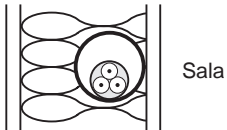
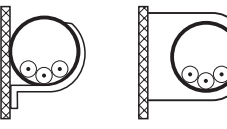
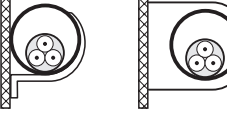
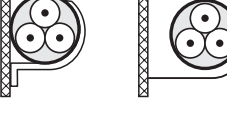
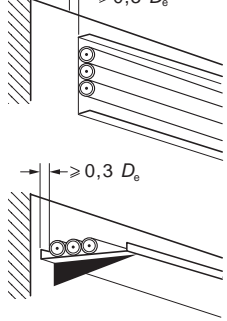
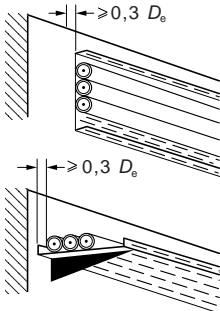

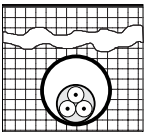
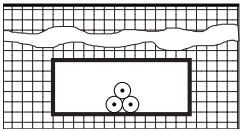
N.º de elemento	Métodos de instalación	Descripción	Método de instalación de referencia que se va a utilizar para obtener la capacidad de conducción de corriente
1	 Sala	Conductores aislados o cables en tubo empotrado en una pared aislada térmicamente	A1
2	 Sala	Cables multiconductores en tubo empotrado en una pared aislada térmicamente	A2
4		Conductores aislados o cables en tubo en una pared de madera o mampostería o separados de la misma a una distancia inferior a $0,3 \times$ diámetro de tubo	B1
5		Cable multiconductor bajo tubo en una pared de madera o mampostería o separado de la misma a una distancia inferior a $0,3 \times$ diámetro de conducto	B2
20		Cables unipolares o multiconductores fijados o separados de una pared de madera a una distancia inferior a $0,3 \times$ diámetro de cable	C
30		En bandeja sin perforar	C

Fig. G10: Ejemplos de métodos de instalación (parte de tabla 52-3 de IEC 60364-5-52) (continuación en la siguiente página).

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

N.º de elemento	Métodos de instalación	Descripción	Método de instalación de referencia que se va a utilizar para obtener la capacidad de conducción de corriente
31		En bandeja perforada	E o F
36		Conductores desnudos o aislados en aisladores	G
70		Cables multiconductores en conducto o en conducto de cables en tierra	D
71		Cable unifilar en canalización o en ésta bajo tierra	D

G10

Fig. G10: Ejemplos de métodos de instalación (parte de tabla 52-3 de IEC 60364-5-52).

Temperatura de funcionamiento máxima

Las intensidades máximas admisibles que se ofrecen en las siguientes tablas han sido determinadas de tal forma que la temperatura de aislamiento máxima no exceda los periodos de tiempo sostenidos.

Para los diferentes tipos de material de aislamiento, la temperatura máxima permitida se indica en la **Figura G11**.

Tipo de aislamiento	Límite de temperatura °C
Policloruro de vinilo	70 en el conductor
Polietileno reticulado (XLPE) y etileno propileno (EPR)	90 en el conductor
Mineral (cubierto de PVC o desnudo expuesto al tacto)	70 en la protección
Mineral (desnudo no expuesto al tacto y sin estar en contacto con material combustible)	105 en la protección

Fig. G11: Temperaturas de funcionamiento máximas para tipos de aislamiento (tabla 52-4 de IEC 60364-5-52).

Factores de corrección

Para tener en cuenta las condiciones ambientales o especiales de instalación, se han introducido factores de corrección.

La sección de los cables se determina utilizando la corriente de carga nominal I_B dividida por diferentes factores de corrección, k_1, k_2, \dots :

$$I'_B = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_2 \dots}$$

I'_B es la corriente de carga corregida, que se compara con la capacidad de conducción de corriente del cable en cuestión.

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

■ Temperatura ambiente.

Las intensidades máximas admisibles de los cables por el aire se basan en una temperatura de aire ambiente media de 30 °C. En el caso de otras temperaturas, el factor de corrección se indica en la **Figura G12** para material de aislamiento XLPE, PVC y EPR.

El factor de corrección relacionado se indica aquí como k_1 .

Temperatura ambiente °C	Aislamiento	
	PVC	XLPE y EPR
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	–	0,65
70	–	0,58
75	–	0,50
80	–	0,41

Fig. G12: Factores de corrección para temperaturas de aire ambiente diferentes a 30 °C aplicables a las capacidades de conducción de corriente para cables aéreos (tabla A52-14 de IEC 60364-5-52).

Las intensidades máximas admisibles de los cables por tierra se basan en una temperatura de tierra media de 20 °C. En el caso de otras temperaturas, el factor de corrección se indica en la **Figura G13** para material de aislamiento XLPE, PVC y EPR.

El factor de corrección relacionado se indica aquí como k_2 .

Temperatura ambiente °C	Aislamiento	
	PVC	XLPE y EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	0,95	0,96
25	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	–	0,60
70	–	0,53
75	–	0,46
80	–	0,38

Fig. G13: Factores de corrección para temperaturas de tierra ambiente diferentes a 20 °C aplicables a las capacidades de conducción de corriente para cables en conductos de tierra (tabla A52-15 de IEC 60364-5-52).

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

■ Resistividad térmica del terreno.

Las intensidades máximas admitidas de los cables enterrados se basan en una resistividad de tierra de 2,5 km/W. Para otros valores, el factor de corrección se indica en la **Figura G14**.

El factor de corrección relacionado se indica aquí como k_3 .

Resistividad térmica, km/W	1	1,5	2	2,5	3
Factor de corrección	1,18	1,1	1,05	1	0,96

Fig. G14: Factores de corrección para cables en conductos enterrados con resistividad térmica de tierra diferente a 2,5 km/W aplicables a las capacidades de conducción de corriente para el método de referencia D (tabla A52-16 de IEC 60364-5-52).

G12

En función de la experiencia, existe una relación entre la naturaleza de la tierra y la resistividad. De esta forma, se proponen los valores empíricos de los factores de corrección k_3 en la **Figura G15**, en función de la naturaleza de la tierra.

Naturaleza de la tierra	k_3
Tierra muy mojada (encharcada)	1,21
Tierra mojada	1,13
Tierra húmeda	1,05
Tierra seca	1,00
Tierra muy seca (calcinada)	0,86

Fig. G15: Factor de corrección k_3 en función de la naturaleza de la tierra.

■ Agrupación de conductores o cables.

Las intensidades máximas admitidas que se indican en las siguientes tablas se refieren a circuitos simples constituidos por los siguientes números de conductores en carga:

- Dos conductores aislados o dos cables de un solo núcleo, o un cable de dos hilos (aplicable a circuitos monofásicos).
- Tres conductores aislados o tres cables de un solo núcleo, o un cable de tres hilos (aplicable a circuitos trifásicos).

Cuanto más cables o conductores aislados se instalen en el mismo grupo, se aplicará un factor de reducción de grupo (indicado como k_4).

En las **Figuras G16 a G18** se ofrecen ejemplos para diferentes configuraciones (métodos de instalación, al aire libre o enterrados).

En la **Figura G16** se indican los valores del factor de corrección k_4 para las diferentes configuraciones de conductores o cables sin enterrar, grupos de más de un circuito o cables de varios núcleos.

Montaje (cables en contacto)	Número de circuitos o cables multiconductores													Métodos de referencia
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20		
Agrupados en el aire, sobre una superficie, integrados o encerrados	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	Métodos A a F	
Una sola capa en la pared, suelo o bandeja sin perforar	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Ningún otro factor de reducción para más de nueve circuitos o cables de varios núcleos			Método C	
Una sola capa fijada directamente bajo un techo de madera	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				Métodos E y F	
Una sola capa en una bandeja horizontal o vertical perforada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72					
Una sola capa en soporte de escaleras, bandeja de escaleras, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78					

Fig. G16: Factores de reducción para grupos de más de un circuito o de más de un cable de varios núcleos (tabla A52-17 de IEC 60364-5-52).

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

En la **Figura G17** se indican los valores del factor de corrección k_4 para las diferentes configuraciones de conductores o cables sin enterrar, grupos de más de un circuito o cables unifilares al aire libre.

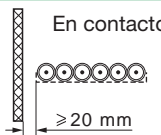
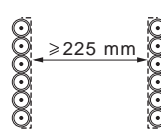
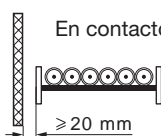
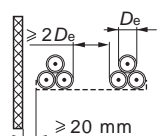
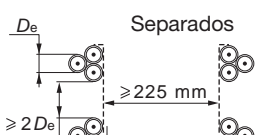
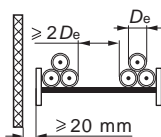
Método de instalación		Número de bandeja	Número de circuitos trifásicos			Utilizar como multiplicador para calibración de	
			1	2	3		
Bandejas perforadas	31	 <p>En contacto</p>	1	0,98	0,91	0,87	Tres cables colocados horizontalmente
			2	0,96	0,87	0,81	
			3	0,95	0,85	0,78	
Bandejas perforadas verticales	31	 <p>En contacto</p>	1	0,96	0,86	Tres cables colocados verticalmente	
			2	0,95	0,84		
Soportes de escaleras, bandejas de escaleras, etc.	32 33 34	 <p>En contacto</p>	1	1,00	0,97	0,96	Tres cables colocados horizontalmente
			2	0,98	0,93	0,89	
			3	0,97	0,90	0,86	
Bandejas perforadas trifolio	31		1	1,00	0,98	0,96	Tres cables en grupos de tres
			2	0,97	0,93	0,89	
			3	0,96	0,92	0,86	
Bandejas perforadas verticales	31	 <p>Separados</p>	1	1,00	0,91	0,89	
			2	1,00	0,90	0,86	
Soportes de escaleras, bandejas de escaleras, etc.	32 33 34		1	1,00	1,00	1,00	
			2	0,97	0,95	0,93	
			3	0,96	0,94	0,90	

Fig. G17: Factores de reducción para grupos de más de un circuito de cables unifilares aplicables a la especificación de referencia para un circuito de cables de un solo hilo al aire libre. Método de instalación F (tabla A52-21 de IEC 60364-5-52).

G13

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

En la **Figura G18** se indican los valores del factor de corrección k_4 para las diferentes configuraciones de cables o conductores extendidos directamente por tierra.

Número de circuitos	Espacio de cable a cable (a) ^a				
	Nil (cables en contacto)	Diámetro de un cable	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

^a Cables de varios hilos



^a Cables unifilares



Fig. G18: Factores de reducción para más de un circuito, cables unifilares o multiconductores extendidos directamente en tierra. Método de instalación D (tabla 52-18 de IEC 60364-5-52).

■ Intensidades armónicas.

La capacidad de conducción de corriente de los cables de 4 núcleos o 5 núcleos trifásicos se basa en la asunción de que sólo hay 3 conductores completamente cargados.

No obstante, cuando circulan corrientes de armónicos, la intensidad que circula por el neutro puede ser elevada e incluso superior a las corrientes de fase. Esto se debe al hecho de que las corrientes de armónicos de tercer orden de las tres fases no se anulan entre sí y se suman al conductor neutro.

Esto afecta naturalmente a la capacidad de conducción de corriente del cable y se aplicará el factor de corrección indicado aquí como k_5 .

Además, si el porcentaje de armónicos de tercer orden h_3 es superior al 33%, la corriente neutra es mayor que la corriente de fase y la elección del tamaño del cable se basa en la corriente homopolar. El efecto térmico de las corrientes de armónicos en los conductores de fase también debe tenerse en cuenta.

Los valores de k_5 en función del contenido de armónicos de tercer orden se indican en la **Figura G19**.

Contenido de armónicos de tercer orden de corriente de fase %	Factor de corrección	
	La elección de la sección se basa en la corriente de fase	La elección de la sección se basa en la intensidad que circula por el neutro
0 - 15	1,0	
15 - 33	0,86	
33 - 45		0,86
> 45		1,0

Fig. G19: Factores de corrección para las corrientes de armónicos en cables de cuatro y cinco hilos (tabla D52-1 de IEC 60364-5-52).

Intensidad máxima admisible en función de la sección de los conductores

La norma IEC 60364-5-52 ofrece una amplia información en forma de tablas donde se indican las corrientes admitidas como una función de la sección de los cables. Se tienen en cuenta muchos parámetros, como el método de instalación, el tipo de material de aislamiento, el tipo de material conductor y el número de conductores en carga.

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

A modo de ejemplo, en la **Figura G20** se indican las intensidades máximas admisibles para los diferentes métodos de instalación de aislamiento PVC, tres conductores en carga, al aire libre o enterrados.

Sección nominal de conductores (mm ²)	Métodos de instalación					
	A1	A2	B1	B2	C	D
1	2	3	4	5	6	7
Cobre						
1,5	13,5	13	15,5	15	17,5	18
2,5	18	17,5	21	20	24	24
4	24	23	28	27	32	31
6	31	29	36	34	41	39
10	42	39	50	46	57	52
16	56	52	68	62	76	67
25	73	68	89	80	96	86
35	89	83	110	99	119	103
50	108	99	134	118	144	122
70	136	125	171	149	184	151
95	164	150	207	179	223	179
120	188	172	239	206	259	203
150	216	196	–	–	299	230
185	245	223	–	–	341	258
240	286	261	–	–	403	297
300	328	298	–	–	464	336
Aluminio						
2,5	14	13,5	16,5	15,5	18,5	18,5
4	18,5	17,5	22	21	25	24
6	24	23	28	27	32	30
10	32	31	39	36	44	40
16	43	41	53	48	59	52
25	57	53	70	62	73	66
35	70	65	86	77	90	80
50	84	78	104	92	110	94
70	107	98	133	116	140	117
95	129	118	161	139	170	138
120	149	135	186	160	197	157
150	170	155	–	–	227	178
185	194	176	–	–	259	200
240	227	207	–	–	305	230
300	261	237	–	–	351	260

Fig. G20: Intensidades máximas admisibles en amperios para los diferentes métodos de instalación, aislamiento PVC, tres conductores en carga, cobre o aluminio, temperatura de conductores: 70 °C, temperatura ambiente: 30 °C en aire, 20 °C en tierra (tabla A52-4 de IEC 60364-5-52).

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

2.3 Enfoque simplificado recomendado para cables

Para facilitar la elección de los cables, se ofrecen 2 tablas simplificadas para los cables enterrados y sin enterrar. En estas tablas se resumen las configuraciones más utilizadas y se facilita el acceso a la información.

- Cables sin enterrar.

G16

Métodos de referencia	Número de conductores en carga y tipo de aislamiento											
	2 PVC	3 PVC	3 XLPE	2 XLPE	3 XLPE	2 XLPE	3 XLPE	2 XLPE	3 XLPE	2 XLPE	3 XLPE	2 XLPE
A1												
A2	3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE							
B1				3 PVC	2 PVC		3 XLPE		2 XLPE			
B2			3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE					
C					3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE		
E						3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE	
F							3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sección (mm²)												
Cobre												
1,5	13	13,5	14,5	15,5	17	18,5	13,5	22	23	24	26	–
2,5	17,5	18	19,5	21	23	25	27	30	31	33	36	–
4	23	24	26	28	31	34	36	40	42	45	49	–
6	29	31	34	36	40	43	46	51	54	58	63	–
10	39	42	46	50	54	60	63	70	75	80	86	–
16	52	56	61	68	73	80	85	94	100	107	115	–
25	68	73	80	89	95	101	110	119	127	135	149	161
35	–	–	–	110	117	126	137	147	158	169	185	200
50	–	–	–	134	141	153	167	179	192	207	225	242
70	–	–	–	171	179	196	213	229	246	268	289	310
95	–	–	–	207	216	238	258	278	298	328	352	377
120	–	–	–	239	249	276	299	322	346	382	410	437
150	–	–	–	–	285	318	344	371	395	441	473	504
185	–	–	–	–	324	362	392	424	450	506	542	575
240	–	–	–	–	380	424	461	500	538	599	641	679
Aluminio												
2,5	13,5	14	15	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28	–
4	17,5	18,5	20	22	25	26	28	31	32	35	38	–
6	23	24	26	28	32	33	36	39	42	45	49	–
10	31	32	36	39	44	46	49	54	58	62	67	–
16	41	43	48	53	58	61	66	73	77	84	91	–
25	53	57	63	70	73	78	83	90	97	101	108	121
35	–	–	–	86	90	96	103	112	120	126	135	150
50	–	–	–	104	110	117	125	136	146	154	164	184
70	–	–	–	133	140	150	160	174	187	198	211	237
95	–	–	–	161	170	183	195	211	227	241	257	289
120	–	–	–	186	197	212	226	245	263	280	300	337
150	–	–	–	–	226	245	261	283	304	324	346	389
185	–	–	–	–	256	280	298	323	347	371	397	447
240	–	–	–	–	300	330	352	382	409	439	470	530

Fig. G21a: Intensidad máxima admisible en amperios (tabla B52-1 de IEC 60364-5-52).

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

Los factores de corrección se indican en la **Figura G21b** para grupos de varios circuitos o cables multiconductores.

Montaje	Número de circuitos o cables de varios núcleos								
	1	2	3	4	6	9	12	16	20
Empotrados	1,00	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
Una sola capa en la pared, suelo o en bandejas sin perforar	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	-	-	-
Una sola capa fijada directamente bajo un techo	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	-	-	-
Una sola capa en bandejas horizontales o verticales perforadas	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	-	-	-
Una sola capa en bandeja de escalera, etc.	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	-	-	-

Fig. G21b: Factores de reducción para grupos de varios circuitos o de cables de varios núcleos (tabla B52-3 de IEC 60364-5-52).

G17

■ Cables enterrados:

Método de instalación	Tamaño mm ²	Número de conductores en carga y tipo de aislamiento			
		Dos PVC	Tres PVC	Dos XLPE	Tres XLPE
D	Cobre				
	1,5	22	18	26	22
	2,5	29	24	34	29
	4	38	31	44	37
	6	47	39	56	46
	10	63	52	73	61
	16	81	67	95	79
	25	104	86	121	101
	35	125	103	146	122
	50	148	122	173	144
	70	183	151	213	178
	95	216	179	252	211
	120	246	203	287	240
	150	278	230	324	271
	185	312	258	363	304
240	361	297	419	351	
300	408	336	474	396	
D	Aluminio				
	2,5	22	18.5	26	22
	4	29	24	34	29
	6	36	30	42	36
	10	48	40	56	47
	16	62	52	73	61
	25	80	66	93	78
	35	96	80	112	94
	50	113	94	132	112
	70	140	117	163	138
	95	166	138	193	164
	120	189	157	220	186
	150	213	178	249	210
	185	240	200	279	236
	240	277	230	322	272
300	313	260	364	308	

Fig. G22: Intensidad máxima admisible en amperios (tabla B52-1 de IEC 60364-5-52).

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

2.4 Sistemas de canalización eléctrica prefabricada

La elección de sistemas de canalización eléctrica prefabricada resulta muy sencilla con los datos proporcionados por el fabricante. Los métodos de instalación, los materiales de aislamiento y los factores de corrección para la agrupación no son parámetros importantes para esta tecnología.

La sección de cualquier modelo específico ha sido determinada por el fabricante en función de:

- La corriente nominal.
- Una temperatura de aire ambiente de 35 °C.
- 3 conductores en carga.

Corriente nominal

La corriente nominal puede calcularse teniendo en cuenta:

- La distribución.
- La corriente absorbida por las diferentes cargas conectadas a lo largo del sistema de canalización.

Temperatura ambiente

Deberá aplicarse un factor de corrección para temperaturas superiores a 35 °C. El factor de corrección aplicable a un rango de potencia medio y alto (hasta 4.000 A) se ofrece en la **Figura G23a**.

°C	35	40	45	50	55
Factor de corrección	1	0,97	0,93	0,90	0,86

Fig. G23a: Factor de corrección para temperaturas de aire superiores a 35 °C.

Intensidad en el neutro

Cuando circulan corrientes de armónicos de tercer orden, el conductor neutro puede llevar una corriente elevada y deberán tenerse en cuenta las pérdidas de potencia adicionales correspondientes.

La **Figura G23b** representa la fase admitida máxima y las corrientes neutras (por unidad) en un sistema de canalización eléctrica prefabricada de alta potencia como funciones y el nivel de armónicos de tercer orden.

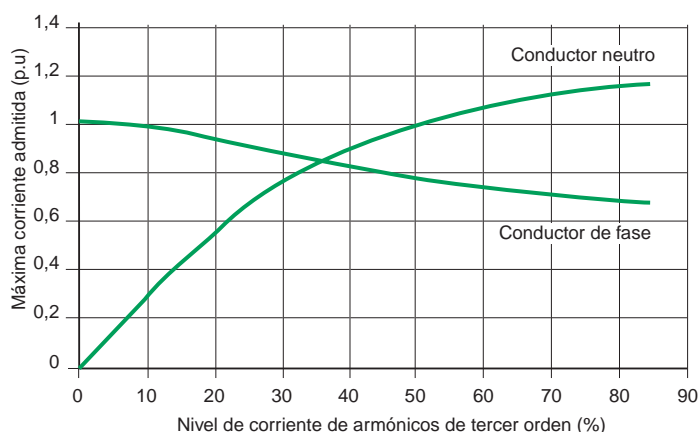


Fig. G23b: Corrientes admitidas máximas (p.u.) en un sistema de canalización eléctrica prefabricada como funciones del nivel de armónicos de tercer orden.

2 Método práctico para calcular la sección mínima admisible de los conductores del circuito

La distribución del sistema de canalización depende de la posición de los consumidores de corriente, de la ubicación de la fuente de alimentación y de las posibilidades de fijación del sistema:

- Una única línea de distribución abastece a un área de 4 a 6 metros.
- Los dispositivos de protección para los consumidores de corriente se sitúan en unidades de acoplamiento, conectadas directamente a puntos de uso.
- Un único alimentador abastece a todos los consumidores de corriente de diferentes potencias.

Una vez establecida la distribución del sistema de canalización, se puede calcular la corriente absorbida I_n en la línea de distribución.

I_n es igual a la suma de las corrientes absorbidas por los consumidores de corriente $I_n : I_n = \Sigma I_B$.

Los consumidores de corriente no actúan todos al mismo tiempo y no se encuentran permanentemente a plena carga, por lo que debemos utilizar un coeficiente de simultaneidad k_S : $I_n = \Sigma (I_B \cdot k_S)$.

Aplicación	Número de consumidores de corriente	Coefficiente k_S
Iluminación, calefacción		1
Distribución (taller de ingeniería)	2...3	0,9
	4...5	0,8
	6...9	0,7
	10...40	0,6
	Más de 40	0,5

Nota: Para las instalaciones industriales, tenga en cuenta la actualización de los equipos de las máquinas. Al igual que para un cuadro de distribución, se recomienda un margen del 20%:
 $I_n \leq I_B \times k_S \times 1,2$.

Fig G24: Coeficiente de agrupación según el número de consumidores de corriente.

3 Cálculo de la caída de tensión

La impedancia de los conductores de circuito es baja pero no despreciable: al llevar una corriente se produce una caída de tensión entre el origen del circuito y los terminales de carga. El funcionamiento correcto de un elemento de carga (un motor, circuito de iluminación, etc.) depende de que se mantenga la tensión en los terminales en un valor aproximado al valor nominal. Por esta razón es necesario asignar dimensiones a los conductores de circuitos de manera que, con la corriente a plena carga, la tensión del terminal de carga se mantenga dentro de los límites necesarios para el funcionamiento adecuado.

Este apartado trata los métodos para determinar las caídas de tensión para comprobar que:

- Cumplen los estándares y las normas específicas vigentes.
- La carga puede soportarlos.
- Cumplen los requisitos operativos imprescindibles.

3.1 Límite de máxima caída de tensión

Los límites máximos permitidos de caída de tensión varían de un país a otro. Se indican en la **Figura G25** los valores típicos para las instalaciones de BT.

Tipo de instalaciones	Iluminación	Otros usos (calefacción y alimen.)
Una conexión a un servicio de baja tensión de una red de distribución de alimen. pública de BT	3%	5%
Centro de transformación de AT/BT consumidores sumin. desde un sistema AT de distribución pública	6%	8%

Fig. G25: Máxima caída de tensión entre el punto de conexión al servicio y el punto de uso.

Estos límites de caída de tensión corresponden a situaciones operativas normales y estables, no a situaciones de arranque de un motor, encendido de varias cargas simultáneamente (por casualidad), etc. como se menciona en el capítulo A, subapartado 4.3 (factor de simultaneidad, etc.).

Cuando las caídas de tensión superan los valores mostrados en la **Figura G25**, se deben utilizar cables más grandes para corregirlo.

El valor 8%, aunque permitido, puede causar problemas para las cargas de motor; p. ej.:

- En general, un funcionamiento adecuado del motor exige una tensión comprendida en el $\pm 5\%$ del valor nominal durante el funcionamiento estable.
- La corriente inicial de un motor puede ser entre 5 y 7 veces el valor a carga nominal (o incluso más). Si se produce una caída de tensión del 8% con la corriente a plena carga, se producirá una caída de tensión del 40% o superior durante el arranque. En dicha situación, el motor:
 - Se calará (permanecerá inmóvil por carecer de suficiente par motor para superar el par requerido) con el consiguiente sobrecalentamiento y la posterior interrupción del servicio eléctrico.
 - Acelera muy despacio, de manera que la pesada carga de corriente (con posibles bajadas de tensión inconvenientes en otros dispositivos) seguirá pasado el tiempo de arranque habitual.
- Finalmente una caída del 8% supone una pérdida constante de potencia (E^2/R vatios) que es un gasto de energía importante para las cargas continuas, como podrá observar en el contador. Por estas razones, se recomienda no alcanzar el valor máximo del 8% durante el funcionamiento estable en los circuitos que son sensibles a los problemas de tensión insuficiente (ver **Figura G26**).

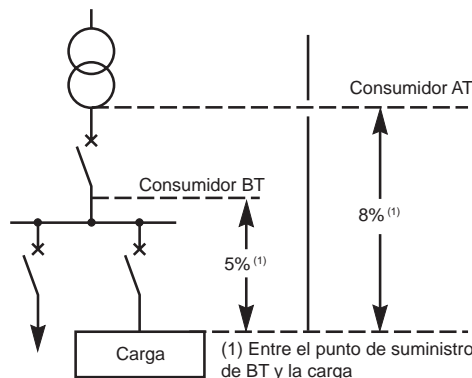


Fig. G26: Caída máxima de tensión.

3.2 Cálculo de caída de tensión en condiciones de carga estables

Uso de fórmulas

La **Figura G27** muestra las fórmulas más habituales para calcular la caída de tensión en un circuito concreto por kilómetro de longitud.

Si:

- I_B : La corriente a plena carga en amperios.
- L : Longitud del cable en kilómetros.
- R : Resistencia del conductor del cable en Ω/km .

$$R = \frac{22,5 \Omega \text{ mm}^2/\text{km}}{S (\text{sección en mm}^2)} \text{ para cobre}$$

$$R = \frac{36 \Omega \text{ mm}^2/\text{km}}{S (\text{sección en mm}^2)} \text{ para aluminio}$$

Nota: R es despreciable por encima de una sección de 500 mm².

- X : reactancia inductiva de un conductor en Ω/km .

Nota: X es despreciable para conductores con una sección inferior a 50 mm². Si no dispone de más información, considere X igual a 0,08 Ω/km .

- φ : el ángulo de fase entre la tensión y la corriente en el circuito en cuestión es generalmente:

- Iluminación: $\cos \varphi = 1$.
- Potencia del motor:
 - Al arrancar: $\cos \varphi = 0,35$.
 - Durante el funcionamiento normal: $\cos \varphi = 0,8$.

- U_n : tensión de fase a fase.
- V_n : tensión de fase a neutro.

Para los conductos prefabricados y precableados y la canalización de la barra conductora, el fabricante proporciona los valores de reactancia inductiva y resistencia.

Circuito	Caída de tensión (ΔU)	
	en voltios	en %
Monofásico: fase/fase	$\Delta U = 2I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
Monofásico: fase/neutro	$\Delta U = 2I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
Trifásico equilibrado: trifásico (con o sin neutro)	$\Delta U = \sqrt{3} I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$

Fig. G27: Fórmula de caída de tensión.

Tabla simplificada

Se pueden evitar los cálculos utilizando la **Figura G28** en la página contigua, que proporciona una aproximación adecuada de la caída de tensión de fase a fase por km de cable por amperio, en función de:

- Tipos de uso de circuitos: circuitos de motor con el $\cos \varphi$ próximo a 0,8, o la iluminación con el $\cos \varphi$ próximo a la unidad.
- Tipo de cable; monofásico o trifásico.

La caída de tensión para un cable viene determinada por:

$$K \times I_B \times L,$$

K está indicado en la tabla,

I_B es la corriente de carga completa en amperios,

L es la longitud del cable en km.

Se puede utilizar la columna potencia del motor " $\cos \varphi = 0,35$ " de la **Figura G28** para calcular la caída de tensión producida durante el periodo de arranque de un motor (consulte el ejemplo n.º 1 tras la **Figura G28**).

G22

Sección en mm ²	Circuito monofásico			Circuito trifásico equilibrado			
	Potencia del motor		Iluminación	Potencia del motor		Iluminación	
	Funcion. normal	Arranque		Funcion. normal	Arranque		
Cu	Al	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1
1,5		24	10,6	30	20	9,4	25
2,5		14,4	6,4	18	12	5,7	15
4		9,1	4,1	11,2	8	3,6	9,5
6	10	6,1	2,9	7,5	5,3	2,5	6,2
10	16	3,7	1,7	4,5	3,2	1,5	3,6
16	25	2,36	1,15	2,8	2,05	1	2,4
25	35	1,5	0,75	1,8	1,3	0,65	1,5
35	50	1,15	0,6	1,29	1	0,52	1,1
50	70	0,86	0,47	0,95	0,75	0,41	0,77
70	120	0,64	0,37	0,64	0,56	0,32	0,55
95	150	0,48	0,30	0,47	0,42	0,26	0,4
120	185	0,39	0,26	0,37	0,34	0,23	0,31
150	240	0,33	0,24	0,30	0,29	0,21	0,27
185	300	0,29	0,22	0,24	0,25	0,19	0,2
240	400	0,24	0,2	0,19	0,21	0,17	0,16
300	500	0,21	0,19	0,15	0,18	0,16	0,13

Fig. G28: Caída de tensión fase a fase ΔU para un circuito, en voltios por amperio por km.

Ejemplos

Ejemplo 1 (ver Figura G29)

Un cable de cobre trifásico de 35 mm² con 50 metros de longitud alimenta a un motor de 400 V que necesita:

- 100 A con un cos φ = 0,8 para una carga constante normal.
- 500 A (5 I_n) con un cos φ = 0,35 para el arranque.

La caída de tensión en el origen del cable del motor en circunstancias normales, es decir, con el cuadro de distribución de la figura G30 distribuyendo 1.000 A en total, es de 10 V fase a fase.

Cuál es la caída de tensión en los terminales del motor:

- ¿Durante el funcionamiento normal?
- ¿Durante el arranque?

Solución:

- Caída de tensión en condiciones de funcionamiento normal:

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

La Figura G28 muestra 1 V/A/km por lo que:

$$\Delta U \text{ para el cable} = 1 \times 100 \times 0,05 = 5 \text{ V}$$

$$\Delta U \text{ total} = 10 + 5 = 15 \text{ V} = \text{es decir,}$$

$$\frac{15}{400} \times 100 = 3,75\%$$

Este valor es inferior al permitido (8%) y es satisfactorio.

- Caída de tensión durante el arranque del motor:

$$\Delta U \text{ cable} = 0,52 \times 500 \times 0,05 = 13 \text{ V}$$

Debido a la corriente adicional que usa el motor al arrancar, la caída de tensión en el cuadro de distribución superará los 10 voltios.

Suponiendo que la alimentación de entrada al cuadro de distribución durante el arranque del motor es 900 + 500 = 1.400 A, la caída de tensión en el cuadro de distribución aumentará aproximadamente de manera proporcional, es decir:

$$\frac{10 \times 1.400}{1.000} = 14 \text{ V}$$

$$\Delta U \text{ del cuadro de distribución} = 14 \text{ V}$$

$$\Delta U \text{ para el cable del motor} = 13 \text{ V}$$

$$\Delta U \text{ total} = 13 + 14 = 27 \text{ V es decir,}$$

$$\frac{27}{400} \times 100 = 6,75\%$$

un valor que es satisfactorio durante el arranque del motor.

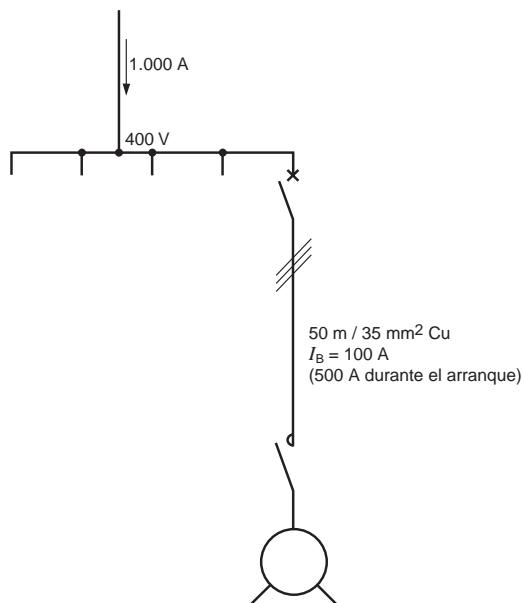


Fig. G29: Ejemplo 1.

Ejemplo 2 (ver **Figura G30**)

Un cable de cobre trifásico de 4 cables con una sección de 70 mm² y una longitud de 50 m transmite una corriente de 150 A. El cable suministra, entre otras cargas, 3 circuitos de iluminación monofásicos, cada uno con una sección de 2,5 mm² cobre y 20 m de longitud que transmiten 20 A individualmente. Se presupone que las corrientes de la línea de 70 mm² están equilibradas y que los tres circuitos de iluminación están todos conectados al mismo punto.

¿Cuál es la caída de tensión al final de los circuitos de iluminación?

Solución:

■ Caída de tensión en la línea de 4 cables:

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

La **Figura G28** muestra 0,55 V/A/km

$$\Delta U \text{ línea} = 0,55 \times 150 \times 0,05 = 4,125 \text{ V fase a fase}$$

$$\text{donde: } \frac{4 \times 125}{\sqrt{3}} = 2,38 \text{ V fase a neutro.}$$

■ Caída de tensión en cualquiera de los circuitos monofásicos de iluminación:

$$\Delta U \text{ para un circuito monofásico} = 18 \times 20 \times 0,02 = 7,2 \text{ V}$$

Así pues, la caída de tensión total es

$$7,2 + 2,38 = 9,6 \text{ V}$$

$$\frac{9,6 \text{ V}}{230 \text{ V}} \times 100 = 4,2\%$$

Este valor es satisfactorio ya que es inferior a la caída de tensión permitida del 6%.

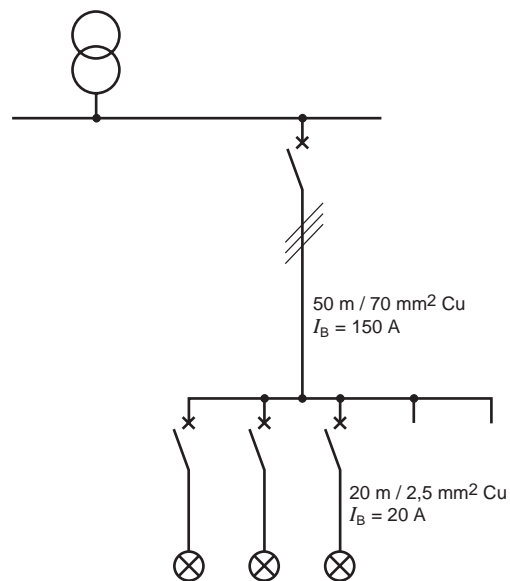


Fig. G30: Ejemplo 2.

4 Corriente de cortocircuito

Conocer los niveles de las corrientes de cortocircuito trifásico (I_{cc}) en diferentes puntos de una instalación es una característica imprescindible del diseño.

Es necesario conocer los valores de la corriente simétrica de cortocircuito trifásico (I_{cc}) en puntos estratégicos de una instalación para calcular las dimensiones del aparato (corriente de defecto); cables (especificación de la resistencia térmica); dispositivos de protección (ajustes del disparo selectivo) y demás...
 En las siguientes notas se estudia un cortocircuito trifásico con impedancia cero alimentado mediante un transformador de distribución AT/BT típico. Excepto en raras ocasiones, este tipo de defecto es el más grave y es sin duda el más fácil de calcular. En el capítulo N se tratan las corrientes de cortocircuito que se producen en una red alimentada por un alternador y también en sistemas de CC.
 Los cálculos simplificados y las normas prácticas que se indican a continuación, proporcionan resultados con la precisión suficiente, en la mayoría de los casos, a efectos del diseño de instalación.

4.1 Corriente de cortocircuito en los terminales secundarios de un transformador de distribución AT/BT

El caso de un transformador

■ Como primera aproximación, se presupone que la impedancia del sistema de alta tensión es insignificante, por lo que:

$$I_{cc} = \frac{I_n \times 100}{U_{cc}} \text{ donde } I_n = \frac{S \times 10^3}{U\sqrt{3}} \text{ y:}$$

S = kVA intensidad del transformador.

U = tensión compuesta de la red en vacío.

I_n = corriente nominal en amperios.

I_{cc} = corriente de defecto de cortocircuito en amperios.

U_{cc} = tensión de cortocircuito del transformador expresado en %.

Se pueden ver los valores típicos de U_{cc} para transformadores de distribución en la **Figura G31**.

Intensidad del transformador en kVA	U_{cc} en %	
	Tensión secundaria en circuito abierto	
	410 V	237 V
50 a 630	4	4
800	4,5	5
1.000	5	5,5
1.250	5,5	6
1.600	6	6,5
2.000	6,5	7
2.500	7	7,5
3.150	7	7,5

Fig. G31: Valores típicos de U_{cc} para diferentes intensidades de transformadores kVA con bobinados de alta tensión ≤ 20 kV.

Ejemplo

Transformador de 400 kVA, 242/420 V sin carga

$U_{cc} = 4\%$

$$I_n = \frac{400 \times 10^3}{410 \times \sqrt{3}} = 563 \text{ A} \quad I_{cc} = \frac{563 \times 100}{4} = 14 \text{ kA}$$

■ En la práctica I_{cc} es ligeramente inferior al calculado con este método, como se ve en la **Figura G32**, dado que la impedancia del sistema de alta tensión es tal que su nivel de defecto en los terminales de AT del transformador casi nunca supera los 500 MVA. Un valor de 250 MVA o menos es más habitual.

Potencia nominal del transformador (kVA)	16	25	40	50	63	80	100	160	250	315	400	500	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	
237 V																					
I_n (A)	39	61	97	122	153	195	244	390	609	767	974	1.218	1.535	1.949	2.436	3.045	3.899	4.872	6.090	7.673	
I_{cc} (A)	973	1.521	2.431	3.038	3.825	4.853	6.060	9.667	15.038	18.887	23.883	29.708	37.197	41.821	42.738	48.721	57.151	65.840	76.127	94.337	
410 V																					
I_n (A)	23	35	56	70	89	113	141	225	352	444	563	704	887	1.127	1.408	1.760	2.253	2.816	3.520	4.435	
I_{cc} (A)	563	879	1.405	1.756	2.210	2.805	3.503	5.588	8.692	10.917	13.806	17.173	21.501	24.175	27.080	30.612	35.650	40.817	46.949	58.136	

Fig. G32: I_{cc} en los terminales BT de transformadores trifásicos AT/BT alimentados por un sistema con un valor de defecto trifásico de 500 MVA.

Caso de varios transformadores en paralelo alimentando una barra conductora

Se puede obtener el valor de la corriente de defecto en la salida inmediatamente aguas abajo de las barras conductoras (ver **Figura G33**) como la suma de las I_{cc} de cada transformador calculadas por separado.

Se presupone que todos los transformadores están alimentados por la misma red de alta tensión, por lo que, al sumar los valores obtenidos en la **Figura G32** se obtendrá un valor de nivel de defecto un poco más alto que el real.

Otros factores que no se han tenido en cuenta es la impedancia de las barras conductoras y la de los interruptores automáticos.

El valor de la corriente de defecto que se obtiene es, sin embargo, lo suficientemente preciso a efectos del diseño de instalación básico. El capítulo H, subapartado 4.4 describe la selección de los interruptores automáticos y los dispositivos de protección integrados contra corrientes de cortocircuito.

4.2 Corriente de cortocircuito trifásico (I_{cc3}) en cualquier punto de la instalación de BT

En una instalación trifásica, se obtiene la I_{cc3} en cualquier punto de la siguiente manera:

$$I_{cc3} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_T} \text{ donde}$$

U = tensión compuesta de la red en vacío.

Z_T = impedancia total por fase de la instalación aguas arriba de donde se encuentra el defecto (en Ω).

Método para calcular Z_T

Cada elemento de una instalación (red de alta tensión, transformador, cable, interruptor automático, barra conductora, etc.) se caracteriza por su impedancia Z , que consiste en una componente de resistencia (R) y una componente reactancia inductiva (X). Se puede observar que las reactancias capacitivas no son importantes en los cálculos de corrientes de cortocircuito.

Los parámetros R , X y Z se expresan en ohmios y se relacionan por los lados de un triángulo rectángulo, como se puede observar en el diagrama de impedancia de la **Figura G34**.

El método consiste en dividir la red en secciones apropiadas y calcular los valores R y X para cada una.

Donde las secciones se conectan en series en la red, todos los elementos resistivos de la sección se suman aritméticamente, igual que para las reactancias, para obtener R_T y X_T . La impedancia (Z) para las secciones combinadas en cuestión se calculan a partir de

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

Se pueden combinar dos secciones cualesquiera de la red conectadas en paralelo, si son principalmente resistivas (o ambas son inductivas), para obtener una única resistencia equivalente (o reactancia), como se indica a continuación:

Si R_1 y R_2 son las dos resistencias conectadas en paralelo, la resistencia equivalente R_3 se obtendrá de esta manera:

$$R_3 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \text{ o bien para reactancias } X_3 = \frac{X_1 \times X_2}{X_1 + X_2}$$

Se debe tener en cuenta que el cálculo de X_3 sólo concierne a circuitos independientes sin inductancia mutua. Si los circuitos en paralelo están muy cerca el uno del otro, el valor de X_3 será bastante más alto.

Cálculo de la impedancia de la red de AT

■ Aguas arriba del transformador de AT/BT (ver **Figura G35**).

El nivel de defecto del cortocircuito trifásico en kA o en MVA⁽¹⁾ se obtiene de la compañía de suministro, de la que se puede deducir una impedancia equivalente.

S_{cc}	U_o (V)	R_a (m Ω)	X_a (m Ω)
250 MVA	420	0,106	0,71
500 MVA	420	0,053	0,353

Fig. G35: La impedancia de la red de alta tensión con relación al lado de baja tensión del transformador de AT/BT.

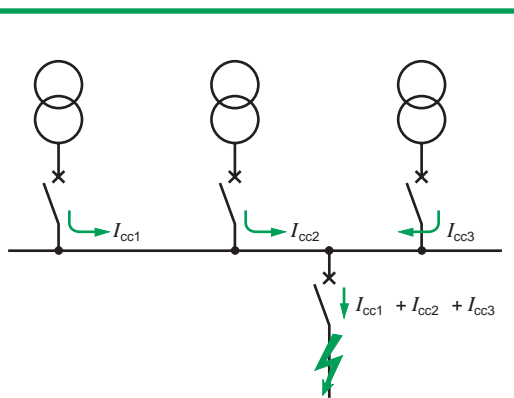


Fig. G33: Caso de varios transformadores en paralelo.

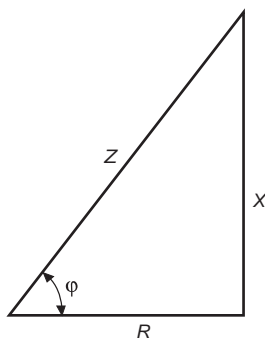


Fig. G34: Diagrama de impedancia.

(1) MVA de cortocircuito: $\sqrt{3} E_L I_{cc}$ donde:

■ E_L = tensión del sistema nominal fase a fase expresado en kVA (rms).

■ I_{cc} = corriente de cortocircuito trifásico expresado en kA (rms).

A continuación se indica una fórmula que realiza esta deducción y a la vez convierte la impedancia en un valor equivalente en BT:

$$Z_s = \frac{U_0^2}{S_{cc}}$$

donde

Z_s = impedancia de la red de AT, expresada en miliohmios.

U_0 = tensión sin carga fase a fase de BT, expresada en voltios.

S_{cc} = nivel de defecto de cortocircuito trifásico de AT, expresado en kVA.

La resistencia R_a aguas arriba (AT) suele ser insignificante comparado con el X_a correspondiente, por lo que se toma este último como el valor de ohmios para X_a . Si requiere cálculos más precisos, se puede considerar R_a como igual a 0,15 X_a .

La **Figura G37** proporciona valores para R_a y X_a correspondientes a los niveles de cortocircuito de AT⁽¹⁾ más habituales en las redes de suministro eléctrico, como por ejemplo, 250 MVA y 500 MVA.

■ Transformadores (ver **Figura G36**).

La impedancia Z_{tr} de un transformador, visto desde los terminales de BT, se obtiene de la fórmula:

$$Z_{tr} = \frac{U^2}{S_n} \times \frac{U_{cc}}{100}$$

donde:

U = tensión compuesta de la red en vacío.

S_n = potencia del transformador (en kVA).

U_{cc} = tensión de cortocircuito del transformador expresado en %.

La resistencia R_{tr} de los bobinados del transformador se puede obtener de las pérdidas totales de la siguiente forma:

$$W = 3 I_n^2 \times R_{tr} \text{ de forma que } R_{tr} = \frac{W \times 10^3}{3 I_n^2} \text{ en miliohmios}$$

donde

W = pérdidas totales en vatios.

I_n = corriente nominal a plena carga en amperios.

R_{tr} = resistencia de una fase del transformador en miliohmios (se incluye el bobinado de BT y el de AT correspondiente para una fase de BT).

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$$

Para un cálculo aproximado, R_{tr} se puede ignorar dado $X \approx Z$ en transformadores de distribución estándar.

■ Interruptores automáticos

En circuitos de BT, se debe tener en cuenta la impedancia de los interruptores automáticos aguas arriba de donde se encuentra el defecto. El valor de reactancia que se suele tomar es 0,15 mΩ por interruptor automático, mientras que se ignora la resistencia.

■ Barras conductoras

La resistencia de las barras conductoras suele ser despreciable, por lo que la impedancia es reactiva casi por completo, y alcanza una longitud aproximada de 0,15 mΩ/metros⁽²⁾ para las barras conductoras de BT (doblar el espacio entre las barras aumenta la reactancia en tan solo un 10% aproximadamente).

Tensión	U = 237 V				U = 410 V			
	U _{cc} %	R _{tr} (mΩ)	X _{tr} (mΩ)	Z _{tr} (mΩ)	U _{cc} %	R _{tr} (mΩ)	X _{tr} (mΩ)	Z _{tr} (mΩ)
100	4	11,79	19,13	22,47	4	35,3	57,23	67,24
160	4	5,15	13,06	14,04	4	15,63	39,02	42,03
250	4	2,92	8,5	8,99	4	8,93	25,37	26,90
315	4	2,21	6,78	7,13	4	6,81	20,22	21,34
400	4	1,614	5,38	5,62	4	5,03	16,04	16,81
500	4	1,235	4,32	4,49	4	3,90	12,87	13,45
630	4	0,92	3,45	3,57	4	2,95	10,25	10,67
800	4,5	0,895	3,03	3,16	4,5	2,88	9	9,45
1.000	5,5	0,68	3,01	3,09	5	2,24	8,10	8,405
1.250					5,5	1,813	7,16	7,39
1.600					6	1,389	6,14	6,30
2.000					6,5	1,124	5,34	5,46

Fig. G36: Valores de resistencia, reactancia e impedancia para transformadores de distribución típica con bobinados de ≤ 20 kV.

(1) Hasta 36 kV.

(2) Para sistemas de 50 Hz, pero una longitud de 0,18 mΩ/m a 60 Hz.

■ Conductores del circuito.

La resistencia de un conductor se obtiene con la siguiente fórmula: $R_c = \rho \frac{L}{S}$

donde:

ρ = resistividad constante del material conductor con la temperatura normal en funcionamiento, donde:

□ 22,5 mΩ.mm²/m para cobre.

□ 36 mΩ.mm²/m para aluminio.

L = longitud del conductor en m.

S = sección del conductor en mm².

Se pueden obtener los valores de la reactancia del cable consultando al fabricante. Para la sección inferior a 50 mm² se puede ignorar la reactancia. Si no se dispone de más datos, se puede utilizar el valor de 0,08 mΩ/metro (para sistemas 50 Hz) o 0,096 mΩ/metro (para sistemas de 60 Hz). Para la canalización de barras conductoras prefabricadas y otros sistemas de conductos precableados parecidos, póngase en contacto con el fabricante.

■ Motores

En el momento de un cortocircuito, un motor en funcionamiento actuará como generador (durante poco tiempo) y suministrará corriente al defecto.

En general, se puede ignorar esta aportación a la corriente de defecto. Sin embargo, para obtener un cálculo más preciso, especialmente si se trata de motores grandes y/o muchos motores de menor tamaño, se puede calcular la aportación total con la siguiente fórmula:

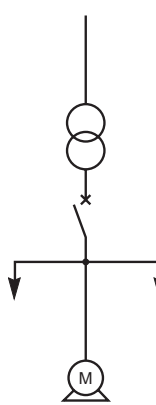
$I_{ccm} = 3,5 I_n$ de cada motor, es decir, $3,5 m \cdot I_n$ para m motores parecidos que funcionan al mismo tiempo.

Los motores en cuestión serán motores trifásicos exclusivamente; la aportación de un motor monofásico es insignificante.

■ Resistencia del arco contra defectos

Los defectos de cortocircuito suelen formar un arco que tiene las propiedades de resistencia. La resistencia no es estable y el valor promedio es bajo, pero con una tensión baja, esta resistencia es suficiente para reducir la corriente de defecto en cierta medida. La experiencia ha demostrado que se puede esperar una reducción del 20%. Este fenómeno facilita eficazmente el corte de la corriente de un interruptor automático, pero en cambio no facilita la tarea de generación de la corriente de defecto.

■ Tabla resumen (ver Figura G37).

Partes de un sistema de suministro eléctrico	R (mΩ)	X (mΩ)
 <p>Red de suministro Figura G32</p>	$\frac{R_a}{X_a} = 0,15$ Se puede ignorar R en comparación con X	$X_a = Z_a = \frac{U^2}{P_{cc}}$
<p>Transformador Figura G33</p>	$R_{tr} = \frac{W \times 10^3}{3 I_n^2}$ R_{tr} suele ser insignificante con relación a X_{tr} para transformadores > 100 kVA	$\sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$ con $Z_{tr} = \frac{U^2}{P_n} \times \frac{U_{cc}}{100}$
<p>Interruptor automático</p>	Despreciable	$X_D = 0,15 \text{ m}\Omega/\text{polo}$
<p>Barras conductoras</p>	Despreciable para $S > 200 \text{ mm}^2$ en la fórmula: $R = \rho \frac{L}{S}^{(1)}$	$X_B = 0,15 \text{ m}\Omega/\text{m}$
<p>Conductores del circuito⁽²⁾</p>	$R = \rho \frac{L}{S}^{(1)}$	Cables: $X_c = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$
<p>Motores</p>	Consulte el subapartado 4.2 Motores (a menudo insignificante en BT)	
<p>Corriente de cortocircuito trifásico en kA</p>	$I_{cc3} = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$	

U : Tensión secundaria sin carga fase a fase del transformador de AT/BT (en voltios).

P_{cc3} : Potencia del cortocircuito trifásico en los terminales de AT de los transformadores de AT/BT (en kVA).

W : Pérdidas totales trifásicas del transformador de AT/BT (en vatios).

P_n : Potencia del transformador de AT/BT (en kVA).

U_{cc} : Tensión de impedancia del cortocircuito del transformador de AT/BT (en %).

R_T : Resistencia total X_T : Reactancia total.

(1) ρ = resistividad a una temperatura normal de conductores en funcionamiento.

■ $\rho = 22,5 \text{ m}\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$ para cobre.

■ $\rho = 36 \text{ m}\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$ para aluminio.

(2) Si hay varios conductores en paralelo por fase, divida la resistencia de un conductor entre el número de conductores. La reactancia se mantiene prácticamente igual.

Fig. G37: Tabla resumen de las impedancias para varias partes de un sistema de suministro eléctrico.

■ Ejemplo de cálculos de un cortocircuito (consulte la **Figura G38**).

Instalación de baja tensión	R (mΩ)	X (mΩ)	R _T (mΩ)	X _T (mΩ)	$I_{cc} = \frac{410}{\sqrt{3} \sqrt{R_{T2} + X_{T2}}}$
Red de alta tensión S _{cc} = 500 MVA	0,050	0,350			
Transformador 20 kV/420 V S _n = 1.000 kVA U _{cc} = 5% W = 13,3 × 10 ³ vatios	2,24	8,10			
Cables de un solo núcleo 5 m cobre 4 × 240 mm ² /fase	$R_c = \frac{22,5}{4} \times \frac{5}{240} = 0,12$	X _c = 0,08 × 5 = 0,40	2,41	8,85	I _{cc1} = 26 kA
Interruptor automático principal	R _D = 0	X _D = 0,15			
Barras conductoras 10 m	R _B = 0	X _B = 1,5	2,41	10,5	I _{cc2} = 22 kA
Cable de tres núcleos 100 m 95 mm ² cobre	$R_c = 22,5 \times \frac{100}{95} = 23,68$	X _c = 100 × 0,08 = 8	26,1	18,5	I _{cc3} = 7,4 kA
Cable de tres núcleos 20 m 10 mm ² cobre circuitos finales	$R_c = 22,5 \times \frac{20}{10} = 45$	X _c = 20 × 0,08 = 1,6	71,1	20,1	I _{cc4} = 3,2 kA

G28

Fig. G38: Ejemplo de los cálculos de una corriente de cortocircuito para una instalación de baja tensión alimentada a 400 V (nominal) desde un transformador de AT/BT de 1.000 kVA.

4.3 I_{cc} en el extremo receptor de una unidad de alimentación con relación a la I_{cc} en el extremo de envío

La red mostrada en la **Figura G39** representa un caso para la aplicación de la **Figura G40** en la siguiente página, que se obtiene con el “método de composición” (mencionado en el capítulo F, subapartado 6.2). Estas tablas proporcionan un valor rápido y suficientemente preciso de una corriente de cortocircuito en un punto de la red, conociendo:

- El valor de la corriente de cortocircuito aguas arriba del punto en cuestión.
- La longitud y composición del circuito entre el punto donde se conoce el nivel de corriente de cortocircuito y el punto donde hay que calcular el nivel.

A continuación basta con seleccionar un interruptor automático con unas características adecuadas inmediatamente superior al indicado en las tablas. Si requiere valores más precisos, es posible realizar un cálculo detallado (consulte el subapartado 4.2) o utilizar un paquete de software como **ECODIAL**. En dicho caso, se debe considerar la técnica de filiación, donde el uso de un interruptor automático que limita la corriente en la posición aguas arriba, permitiría que todos los interruptores automáticos aguas abajo del limitador tuvieran unas características de corriente de cortocircuito mucho inferior de lo que haría falta en el caso contrario (consulte el capítulo H, subapartado 4.5).

Método

Seleccione la sección del conductor en la columna para los conductores de cobre (en este ejemplo de sección 47,5 mm²).

Busque en la misma fila correspondiente a los 47,5 mm² la longitud del conductor igual a la del circuito en cuestión (o el valor más próximo por debajo). Descienda verticalmente por la columna en la que ha localizado la longitud y deténgase en una fila del área central (de las 3 tablas) que corresponda al valor conocido de la corriente de defecto (o el valor más próximo por encima).

En este caso 30 kA es el valor más próximo por encima de 28 kA. El valor de la corriente de cortocircuito en el extremo aguas abajo del circuito de 20 metros viene indicado en la intersección de la columna vertical que incluye la longitud y la fila horizontal correspondiente a la I_{cc} aguas arriba (o el valor más próximo por encima). Este valor en el ejemplo es 14,7 kA.

El procedimiento para los conductores de aluminio es parecido, pero se debe ascender la columna vertical hasta la tabla central.

Por este motivo, se puede utilizar un interruptor automático con montaje sobre perfil DIN con la especificación de 36 A y una I_{cc} de 25 kA (como una unidad NG 125N) para el circuito de 55 A de la **Figura G39**.

Se puede utilizar un interruptor automático de 160 A con una capacidad I_{cc} de 25 kA (como una unidad NS160) para proteger el circuito de 160 A.

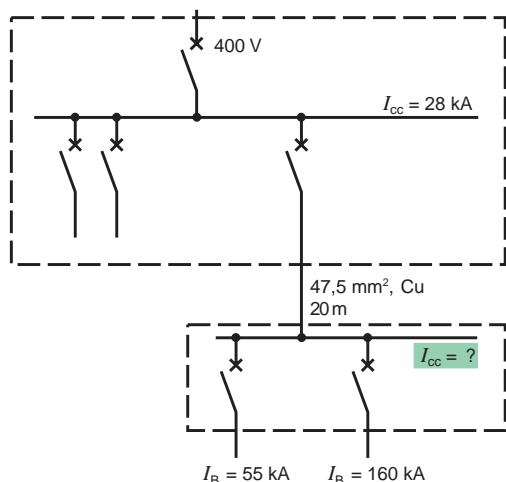


Fig. G39: Cálculo del I_{cc} del nivel de corriente de cortocircuito aguas abajo con la **Figura G40**.

Cobre 230 V / 400 V																					
sección de conduct. fase (mm ²)	Longitud del circuito (en metros)																				
1,5																					1,3
2,5																					1,1
4																					1,2
6																					1,8
10																					2,2
16																					1,7
25																					1,3
35																					1,9
47,5																					1,8
70																					2,7
95																					2,6
120																					1,6
150																					1,2
185																					1,5
240																					1,8
300																					2,2
2 × 120																					2,3
2 × 150																					2,5
2 × 185																					2,9
553 × 120																					3,4
3 × 150																					3,7
3 × 185																					4,4
I _{cc} aguas arriba (en kA)	I _{cc} aguas abajo (en kA)																				
100	93	90	87	82	77	70	62	54	45	37	29	22	17,0	12,6	9,3	6,7	4,9	3,5	2,5	1,8	1,3
90	84	82	79	75	71	65	58	51	43	35	28	22	16,7	12,5	9,2	6,7	4,8	3,5	2,5	1,8	1,3
80	75	74	71	68	64	59	54	47	40	34	27	21	16,3	12,2	9,1	6,6	4,8	3,5	2,5	1,8	1,3
70	66	65	63	61	58	54	49	44	38	32	26	20	15,8	12,0	8,9	6,6	4,8	3,4	2,5	1,8	1,3
60	57	56	55	53	51	48	44	39	35	29	24	20	15,2	11,6	8,7	6,5	4,7	3,4	2,5	1,8	1,3
50	48	47	46	45	43	41	38	35	31	27	22	18,3	14,5	11,2	8,5	6,3	4,6	3,4	2,4	1,7	1,2
40	39	38	38	37	36	34	32	30	27	24	20	16,8	13,5	10,6	8,1	6,1	4,5	3,3	2,4	1,7	1,2
35	34	34	33	33	32	30	29	27	24	22	18,8	15,8	12,9	10,2	7,9	6,0	4,5	3,3	2,4	1,7	1,2
30	29	29	29	28	27	27	25	24	22	20	17,3	14,7	12,2	9,8	7,6	5,8	4,4	3,2	2,4	1,7	1,2
25	25	24	24	24	23	23	22	21	19,1	17,4	15,5	13,4	11,2	9,2	7,3	5,6	4,2	3,2	2,3	1,7	1,2
20	20	20	19,4	19,2	18,8	18,4	17,8	17,0	16,1	14,9	13,4	11,8	10,1	8,4	6,8	5,3	4,1	3,1	2,3	1,7	1,2
15	14,8	14,8	14,7	14,5	14,3	14,1	13,7	13,3	12,7	11,9	11,0	9,9	8,7	7,4	6,1	4,9	3,8	2,9	2,2	1,6	1,2
10	9,9	9,9	9,8	9,8	9,7	9,6	9,4	9,2	8,9	8,5	8,0	7,4	6,7	5,9	5,1	4,2	3,4	2,7	2,0	1,5	1,1
7	7,0	6,9	6,9	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,4	6,2	6,0	5,6	5,2	4,7	4,2	3,6	3,0	2,4	1,9	1,4	1,1
5	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,3	4,0	3,7	3,4	3,0	2,5	2,1	1,7	1,3	1,0
4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,3	3,1	2,9	2,6	2,2	1,9	1,6	1,2	1,0
3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,3	2,1	1,9	1,6	1,4	1,1	0,9
2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	0,8
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5
Aluminio 230 V / 400 V																					
sección de conduct. fase (mm ²)	Longitud del circuito (en metros)																				
2,5																					1,4
4																					1,1
6																					1,6
10																					1,9
16																					2,2
25																					1,7
35																					1,6
47,5																					2,3
70																					2,4
95																					2,3
120																					2,9
150																					3,1
185																					2,6
240																					1,2
300																					1,4
2 × 120																					1,4
2 × 150																					1,6
2 × 185																					1,9
2 × 240																					2,3
3 × 120																					2,2
3 × 150																					2,3
3 × 185																					2,8
3 × 240																					3,5

Nota: para un sistema trifásico con 230 V entre las fases, divida las longitudes anteriores entre $\sqrt{3}$.

Fig. G40: I_{cc} en un punto aguas abajo, con relación a un valor de corriente de defecto aguas arriba conocido y la longitud de la sección de los conductores implicados, en un sistema trifásico de 230/400 V.

4.4 Corriente de cortocircuito suministrada por un alternador o inversor: Consulte el capítulo N.

5 Casos particulares de corriente de cortocircuito

Si un dispositivo de protección en un circuito sólo debe proteger contra los defectos de cortocircuito, es imprescindible que funcione con toda seguridad con el nivel más bajo posible de corriente de cortocircuito que se pueda producir en el circuito.

5.1 Cálculo de niveles mínimos de corriente de cortocircuito

En general, en circuitos de baja tensión, un único dispositivo de protección protege contra todos los niveles de corriente, desde el umbral de sobrecarga hasta la máxima capacidad de corte de cortocircuito nominal del dispositivo.

En ciertos casos sin embargo, se utilizan dispositivos protectores de sobrecarga y dispositivos protectores de cortocircuito.

Ejemplos de dichas distribuciones

Las Figuras G41 a G43 muestran algunas distribuciones habituales donde las protecciones de sobrecarga y cortocircuito se realizan con dispositivos independientes.

G30

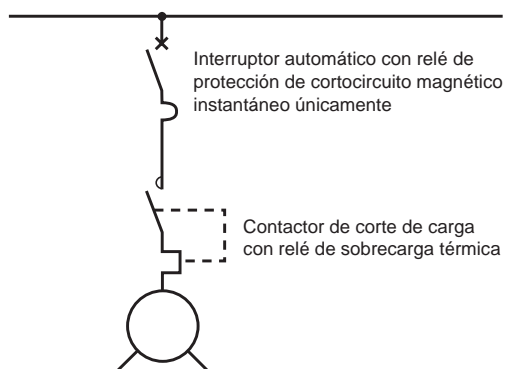


Fig. G42: Circuito protegido por un interruptor automático sin relé de sobrecarga térmica.

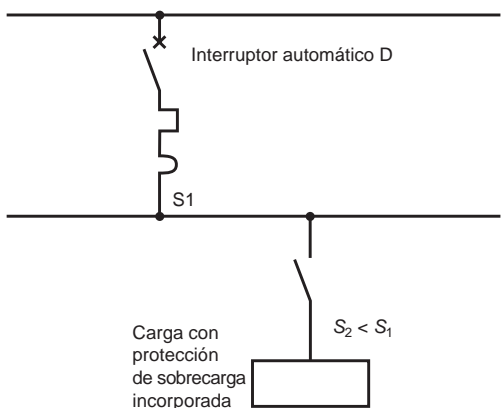


Fig. G43a: El interruptor automático D proporciona protección contra defectos de cortocircuito hasta incluir el límite de la carga.

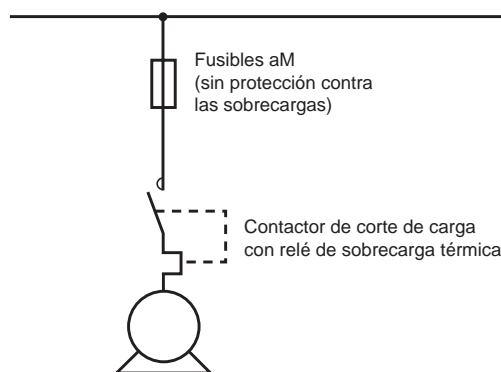


Fig. G41: Protección del circuito mediante fusibles aM.

Como se muestra en las Figuras G41 y G42, los circuitos más habituales que utilizan dispositivos independientes controlan y protegen motores.

Variador de velocidad

La Figura G43b muestra las funciones proporcionadas por el variador de velocidad, y si es necesario algunas funciones adicionales realizadas por dispositivos como el interruptor automático, relé térmico, DDR.

Protección necesaria	La protección proporcionada en general por el variador de velocidad	Protección adicional
Sobrecarga del cable	Sí = (1)	No es necesario si (1)
Sobrecarga del motor	Sí = (2)	No es necesario si (2)
Cortocircuito aguas abajo	Sí	
Sobrecarga del variador de velocidad	Sí	
Sobretensión	Sí	
Falta de tensión	Sí	
Pérdida de fase	Sí	
Cortocircuito aguas arriba		Interruptor automático (disparo de cortocircuito)
Defecto interno		Interruptor automático (disparo de cortocircuito y sobrecarga)
Defecto a tierra aguas abajo (contacto indirecto)	(autoprotección)	DDR ≥ 300 mA
Defecto de contacto directo		DDR ≤ 30 mA

Figure G43b: Protección necesaria para las aplicaciones del variador de velocidad.

5 Casos particulares de corriente de cortocircuito

El dispositivo de protección debe estar configurado para el disparo instantáneo.

■ $I_m < I_{cc} \text{ (mín)}$ para la protección mediante interruptor automático o corriente de fusión.

■ $I_a < I_{cc} \text{ (mín)}$ para la protección mediante fusibles.

Condiciones que se deben respetar

El dispositivo de protección debe cumplir los dos siguientes requisitos:

- P_{cu} poder de corte último del aparato $> I_{cc3}$ máxima en el punto de la instalación
- Eliminación de la corriente de cortocircuito mínima que permite el circuito, en un tiempo t_c compatible con las limitaciones térmicas de los conductores del circuito, donde:

$$t_c \leq \frac{k^2 S^2}{I_{ccmin}^2} \text{ (válido para } t_c < 5 \text{ segundos)}$$

La comparativa de la curva del rendimiento del disparo o la fusión de los dispositivos protectores, con las curvas límite de las restricciones térmicas de un conductor, demuestra que esta condición se cumple si:

■ $I_{cc} \text{ (mín)} > I_m$ (nivel de corriente con configuración de disparo del interruptor automático instantáneo o con escaso retraso) (ver la **Figura G44**).

■ $I_{cc} \text{ (mín)} > I_a$ para la protección mediante fusibles. El valor de la corriente I_a corresponde al punto de intersección entre la curva de fusible y la curva de resistencia térmica del cable (ver las **Figura G45 y G46**).

G31

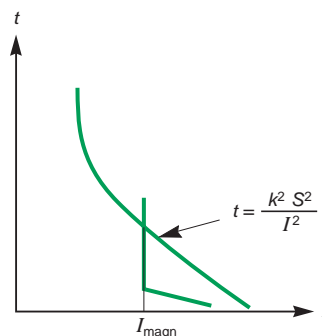


Fig. G44: Protección mediante interruptor automático.

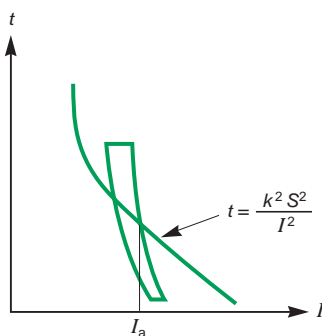


Fig. G45: Protección mediante fusibles de tipo aM.

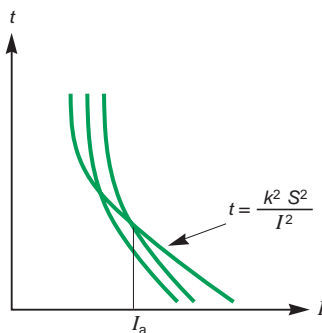


Fig. G46: Protección mediante fusibles de tipo gl.

5 Casos particulares de corriente de cortocircuito

En la práctica, esto implica que la longitud del circuito aguas abajo del dispositivo de protección no debe exceder la longitud máxima calculada:

$$L_{\text{máx}} = \frac{0,8 U S_{\text{ph}}}{2\rho I_m}$$

G32

Método práctico para calcular $L_{\text{máx}}$

Se debe comprobar el efecto de limitación de la impedancia de los conductores de circuitos largos en el valor de las corrientes de cortocircuito y se debe limitar, en consecuencia, la longitud del circuito.

El método de cálculo de la longitud máxima permitida ya se ha demostrado en los esquemas con conexión a tierra TN- e IT- para defectos de tierra simples o dobles, respectivamente (consulte el capítulo F, subapartados 6.2 y 7.2). A continuación se estudian dos casos:

1 - Cálculo de $L_{\text{máx}}$ para un cable trifásico

La corriente mínima de cortocircuito se producirá cuando los cables bifásicos presenten un cortocircuito en el extremo remoto del circuito (ver la **Figura G47**).

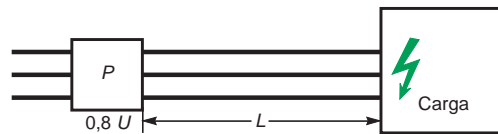


Fig G47: Definición de L para un circuito trifásico de 3 cables.

Con el "método convencional", se presupone que la tensión en el punto de protección P es el 80% de la tensión nominal durante un defecto de cortocircuito, por lo que $0,8 U = I_{\text{cc}} Z_d$, donde:

Z_d = impedancia de defecto del bucle.

I_{cc} = corriente de cortocircuito (fase/fase).

U = tensión nominal fase a fase.

Para cables $\leq 120 \text{ mm}^2$, se puede ignorar la reactancia, de manera que

$$Z_d = \rho \frac{2L}{S_{\text{ph}}}$$

donde:

ρ = resistividad de cobre⁽¹⁾ con la temperatura media durante un cortocircuito

S_{ph} : sección de un conductor de fase en mm^2 .

L = longitud en metros.

Para que el cable no se dañe con el calor $I_{\text{cc}} \geq I_m$

$$0,8 U \geq \rho \frac{2L I_m}{S_{\text{ph}}}$$

$$L_{\text{máx}} = \frac{0,8 U S_{\text{ph}}}{2\rho I_m}$$

donde $U = 400 \text{ V}$

$\rho = 1,25 \times 0,018 = 0,023 \text{ W mm}^2/\text{m}^2$.

I_m = configuración de corriente de disparo magnético para interruptor automático.

$L_{\text{máx}}$ = longitud máxima de circuito en metros.

$$L_{\text{máx}} = \frac{k S_{\text{ph}}}{I_m}$$

S_{ph} (mm^2)	≤ 120	150	185	240	300
k	5.800	5.040	4.830	4.640	4.460

2 - Cálculo de $L_{\text{máx}}$ para un circuito con 4 cables trifásicos de 230 / 400 V

La I_{cc} mínima se producirá cuando el cortocircuito se encuentre entre un conductor de fase y el neutro.

Se precisa un cálculo parecido al del ejemplo 1 anterior, pero se debe utilizar la siguiente fórmula (para cable $\leq 120 \text{ mm}^2$ ⁽³⁾).

■ Donde S_n para el conductor del neutro = S_{ph} para el conductor de fase

$$L_{\text{máx}} = \frac{3.333 S_{\text{ph}}}{I_m}$$

■ Si S_n para el conductor del neutro $< S_{\text{ph}}$,

$$L_{\text{máx}} = 6.666 \frac{S_{\text{ph}}}{I_m} \frac{1}{1+m} \text{ donde } m = \frac{S_{\text{ph}}}{I_m}$$

A continuación se indican los valores adecuados:

150 mm^2 : $R + 15\%$.

185 mm^2 : $R + 20\%$.

240 mm^2 : $R + 25\%$.

300 mm^2 : $R + 30\%$.

(1) O para aluminio según el material conductor.

(2) El alto valor de resistividad se debe a la elevada temperatura del conductor al fluir corriente de cortocircuito.

(3) Para secciones de mayor tamaño, la resistencia calculada para los conductores debe ser aumentada para responder ante la densidad de corriente irregular en el conductor (debido a los efectos "skin" y de "proximidad").

5 Casos particulares de corriente de cortocircuito

Para secciones mayores que las enumeradas, los valores de reactancia deben combinarse con los de resistencia para obtener una impedancia. Se puede considerar la reactancia como 0,08 mΩ/m para cables (a 50 Hz). A 60 Hz la constante es 0,096 mΩ/m.

Valores de la tabla para $L_{m\acute{a}x}$

La **Figura G48** más abajo muestra las longitudes de circuito máximas ($L_{m\acute{a}x}$) en metros, para:

- Circuitos de 4 cables trifásicos de 400 V (es decir, con neutro).
- Circuitos de 2 cables monofásicos de 230 V protegidos por interruptores automáticos de uso general.

En otros casos, aplique los factores de corrección (facilitados en la **Figura G54**) a las longitudes obtenidas.

Los cálculos están basados en los métodos anteriores, con $I_m = 5,2 I_{rm}$.

I_{rm} = intensidad de regulación de disparo por cortocircuito. Se garantiza un margen máximo de disparo entre el $\pm 20\%$.

Para la sección de 50 mm², los cálculos se basan en una sección real de 47,5 mm².

G33

Nivel de corriente I_m del disparo magnético instantáneo (en A)	Sección de los conductores (en mm ²)														
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
50	100	167	267	400											
63	79	133	212	317											
80	63	104	167	250	417										
100	50	83	133	200	333										
125	40	67	107	160	267	427									
160	31	52	83	125	208	333									
200	25	42	67	100	167	267	417								
250	20	33	53	80	133	213	333	467							
320	16	26	42	63	104	167	260	365	495						
400	13	21	33	50	83	133	208	292	396						
500	10	17	27	40	67	107	167	233	317						
560	9	15	24	36	60	95	149	208	283	417					
630	8	13	21	32	63	85	132	185	251	370					
700	7	12	19	29	48	76	119	167	226	333	452				
800	6	10	17	25	42	67	104	146	198	292	396				
875	6	10	15	23	38	61	95	133	181	267	362	457			
1.000	5	8	13	20	33	53	83	117	158	233	317	400	435		
1.120	4	7	12	18	30	48	74	104	141	208	283	357	388	459	
1.250	4	7	11	16	27	43	67	93	127	187	253	320	348	411	
1.600		5	8	13	21	33	52	73	99	146	198	250	272	321	400
2.000		4	7	10	17	27	42	58	79	117	158	200	217	257	320
2.500			5	8	13	21	33	47	63	93	127	160	174	206	256
3.200			4	6	10	17	26	36	49	73	99	125	136	161	200
4.000				5	8	13	21	29	40	58	79	100	109	128	160
5.000				4	7	11	17	23	32	47	63	80	87	103	128
6.300					5	8	13	19	25	37	50	63	69	82	102
8.000					4	7	10	15	20	29	40	50	54	64	80
10.000						5	8	12	16	23	32	40	43	51	64
12.500						4	7	9	13	19	25	32	35	41	51

Fig. G48: Longitudes máximas del circuito en metros para conductores de cobre (para aluminio, se deben multiplicar las longitudes por 0,62).

Las **Figuras G49 a G51** en la página contigua indican la longitud máxima del circuito ($L_{m\acute{a}x}$) en metros para:

- Circuitos de 4 cables trifásicos de 400 V (es decir, con neutro).
- Circuitos de 2 cables monofásicos de 230 V protegidos en ambos casos con interruptores automáticos de tipo doméstico o con interruptores automáticos con características de corriente/disparo parecidas.

En otros casos, aplique los factores de corrección a las longitudes indicadas. Se indican estos factores en la **Figura G52** de la página contigua.

5 Casos particulares de corriente de cortocircuito

Corriente nominal de los interruptores automáticos (en A)	Sección de los conductores (en mm ²)								
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
6	200	333	533	800					
10	120	200	320	480	800				
16	75	125	200	300	500	800			
20	60	100	160	240	400	640			
25	48	80	128	192	320	512	800		
32	37	62	100	150	250	400	625	875	
40	30	50	80	120	200	320	500	700	
50	24	40	64	96	160	256	400	560	760
63	19	32	51	76	127	203	317	444	603
80	15	25	40	60	100	160	250	350	475
100	12	20	32	48	80	128	200	280	380
125	10	16	26	38	64	102	160	224	304

Fig. G49: Longitud máxima en metros de circuitos con conductores de cobre protegidos mediante interruptores automáticos de tipo B.

G34

Corriente nominal de los interruptores automáticos (en A)	Sección de los conductores (en mm ²)								
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
6	100	167	267	400	667				
10	60	100	160	240	400	640			
16	37	62	100	150	250	400	625	875	
20	30	50	80	120	200	320	500	700	
25	24	40	64	96	160	256	400	560	760
32	18,0	31	50	75	125	200	313	438	594
40	15,0	25	40	60	100	160	250	350	475
50	12,0	20	32	48	80	128	200	280	380
63	9,5	16,0	26	38	64	102	159	222	302
80	7,5	12,5	20	30	50	80	125	175	238
100	6,0	10,0	16,0	24	40	64	100	140	190
125	5,0	8,0	13,0	19,0	32	51	80	112	152

Fig. G50: Longitud máxima en metros de circuitos con conductores de cobre protegidos mediante interruptores automáticos de tipo C.

Corriente nominal de los interruptores automáticos (en A)	Sección de los conductores (en mm ²)								
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
1	429	714							
2	214	357	571	857					
3	143	238	381	571	952				
4	107	179	286	429	714				
6	71	119	190	286	476	762			
10	43	71	114	171	286	457	714		
16	27	45	71	107	179	286	446	625	848
20	21	36	57	86	143	229	357	500	679
25	17,0	29	46	69	114	183	286	400	543
32	13,0	22	36	54	89	143	223	313	424
40	11,0	18,0	29	43	71	114	179	250	339
50	9,0	14,0	23	34	57	91	143	200	271
63	7,0	11,0	18,0	27	45	73	113	159	215
80	5,0	9,0	14,0	21	36	57	89	125	170
100	4,0	7,0	11,0	17,0	29	46	71	100	136
125	3,0	6,0	9,0	14,0	23	37	57	80	109

Fig. G51: Longitud máxima en metros de circuitos con conductores de cobre protegidos mediante interruptores automáticos de tipo D.

Detalle del circuito		
Circuito trifásico de 3 cables de 400 V o circuito monofásico de 2 cables de 400 V (no neutro)		1,73
Circuito monofásico de 2 cables (fase y neutro) de 230 V		1
Circuito trifásico de 4 cables de 230 / 400 V o circuito bifásico de 3 cables de 230 / 400 V (es decir, con neutro)	$S_{ph} / S_{neutro} = 1$	1
	$S_{ph} / S_{neutro} = 2$	0,67

Fig. G52: Factor de corrección para aplicar a las longitudes obtenidas en las Figuras G48 y G51.

Nota: La IEC 60898 proporciona un intervalo más alto de disparo de corriente de cortocircuito de $10-50 I_n$ para interruptores automáticos de tipo D. Sin embargo, las normas europeas y la Figura G51, se basan en el intervalo $10-20 I_n$, un intervalo que cubre la inmensa mayoría de las instalaciones domésticas o similares.

5 Casos particulares de corriente de cortocircuito

Ejemplos

Ejemplo 1

Una instalación monofásica de 2 cables está protegida por un interruptor automático de 50 A tipo NS80HMA, con una regulación de disparo por cortocircuito de 500 A (precisión de $\pm 20\%$), es decir, en el peor de los casos necesitaría $500 \times 1,2 = 600$ A para accionar el disparo. La sección del cable = 10 mm^2 y el material conductor es cobre.

En la **Figura G48**, la fila $I_m = 500$ A cruza la columna sección = 10 mm^2 cuando el valor de $L_{\text{máx}}$ es de 67 m. Así pues, el interruptor automático protege el cable contra defectos de cortocircuito siempre y cuando la longitud no supere los 67 m.

Ejemplo 2

En un circuito trifásico de 3 cables de 400 V (sin neutro), la protección está asegurada por un interruptor automático de 220 A tipo NS250N, con bloque de relés instantáneo tipo MA regulada en 2.000 A ($\pm 20\%$), es decir, en el peor de los casos, harían falta 2.400 A para asegurar el disparo. La sección del cable = 120 mm^2 y el material conductor es cobre.

En la **Figura G48** de la página G33, la fila $I_m = 2.000$, A cruza la columna sección = 120 mm^2 cuando el valor de $L_{\text{máx}}$ es de 200 m. Al tratarse de un circuito trifásico de 3 cables de 400 V (sin neutro), se debe aplicar un factor de corrección de la **Figura G52** de la página anterior. Este factor es igual a 1,73. Así pues, el interruptor automático protegerá el cable contra las corrientes de cortocircuito, siempre y cuando la longitud no supere $200 \times 1,73 = 346$ m.

G35

En general, no es necesario realizar la comprobación de la resistencia térmica de un cable, a excepción de los casos donde los cables de una sección pequeña están instalados cerca del cuadro de distribución general o se alimentan de él.

5.2 Comprobación de la resistencia térmica de cables en condiciones de cortocircuito

Limitaciones térmicas

Cuando la duración de la corriente de cortocircuito es corta (desde varias décimas de segundo hasta cinco segundos como máximo) se presupone que todo el calor generado permanece en el conductor, con lo cual aumenta la temperatura. Se dice que el proceso de calentamiento es adiabático, una premisa que simplifica el cálculo y proporciona un resultado pesimista, es decir, una temperatura del conductor superior a la que se produciría realmente, dado que en la práctica, parte del calor sería disipado por el conductor y pasaría al aislamiento.

Para un período de 5 segundos o menos, la relación $I^2t = k^2S^2$ representa el tiempo en segundos durante el cual un conductor con una sección S (en mm^2) puede llevar una corriente de amperios, antes de que la temperatura alcance un nivel perjudicial para el aislamiento.

Se indica el factor k^2 en la **Figura G53**.

Aislamiento	Conductor de cobre (Cu)	Conductor de aluminio (Al)
PVC	13.225	5.776
XLPE	20.449	8.836

Fig. G53: Valor de la constante k^2 .

El método de comprobación consiste en verificar que la energía térmica I^2t por ohmio del material conductor, que admite el interruptor automático de protección (según los catálogos de fabricantes) es inferior a la permitida para ese conductor en particular (como se indica en la siguiente **Figura G54**).

S (mm^2)	PVC		XLPE	
	Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
k	115	76	143	94
k^2	13.225	5.776	20.449	8.836
1,5	0,0297	0,0130	0,0460	0,0199
2,5	0,0826	0,0361	0,1278	0,0552
4	0,2116	0,0924	0,3272	0,1414
6	0,4761	0,2079	0,7362	0,3181
10	1,3225	0,5776	2,0450	0,8836
16	3,3856	1,4786	5,2350	2,2620
25	8,2656	3,6100	12,7806	5,5225
35	16,2006	7,0756	25,0500	10,8241
50	29,839	13,032	46,133	19,936

Fig. G54: Máxima energía térmica permitida para cables (expresada en $\text{amperios}^2 \times \text{segundos} \times 10^6$).

5 Casos particulares de corriente de cortocircuito

Ejemplo:

¿Proporciona la protección adecuada un interruptor automático C60N para un cable XLPE con núcleo de cobre y una sección de 4 mm²?

La **Figura G54** muestra que el valor I^2t para el cable es de $0,3272 \times 10^6$, mientras que el valor máximo que admite el interruptor automático, según las indicaciones del catálogo del fabricante, es bastante inferior.

Por esta razón, el cable está correctamente protegido por el interruptor automático hasta la I_{cc} máxima.

Limitaciones electrodinámicas

Para cualquier tipo de circuito (conductores o canalización prefabricada), se deben tener en cuenta los efectos electrodinámicos.

Para soportar las sollicitaciones electrodinámicas, los conductores deben estar firmemente sujetos y las conexiones deben estar fuertemente ajustadas.

Para la canalización de barras conductoras y otros tipos de canales, raíles, etc. prefabricados, también es importante comprobar que la resistencia electrodinámica al llevar corrientes de cortocircuito es satisfactoria. El valor máximo de corriente, limitado por interruptor automático o el fusible, debe ser inferior a la especificación del sistema con conductores prefabricados. Las tablas de coordinación para asegurar la protección correcta de los productos suelen ser publicadas por los fabricantes y proporcionan un mayor aprovechamiento de dichos sistemas.

6 Conductor de conexión a tierra de protección (PE)

6.1 Conexión y selección

Los conductores de conexión a tierra interconectan todos los elementos conductores expuestos y externos de una instalación para crear una aparamenta equipotencial. Estos conductores conducen corriente de defecto ya que no se aísla (entre un conductor de fase y un elemento conductor expuesto) el neutro con conexión a tierra de la fuente. Los conductores PE están conectados al terminal con conexión a tierra principal de la instalación.

El terminal de conexión a tierra principal está conectado al electrodo de puesta a tierra (consulte el capítulo E).

Los conductores PE deben estar:

- Aislados y ser de color amarillo y verde (rayas).
- Protegidos contra daños mecánicos y químicos.

En esquemas IT y TN con conexión a tierra, se recomienda encarecidamente que los conductores PE estén instalados muy cerca los unos de los otros (es decir, en los mismos conductos, en la misma bandeja de cables, etc.) al igual que los cables en tensión del circuito en cuestión. Esta distribución garantiza la menor reactancia inductiva posible en los circuitos que llevan corriente de defecto a tierra.

Se debe tener en cuenta que la canalización de la barra conductora proporciona esta distribución en su origen.

Conexión

Los conductores PE:

- No deben incorporar ningún elemento de corte (como un interruptor, enlaces extraíbles, etc.).
- Deben conectar las masas conductoras expuestas de manera individual al conductor PE principal, es decir, en paralelo, no en serie, como se muestra en la **Figura G55**.
- Deben disponer de un terminal individual en barras con conexión a tierra comunes en los cuadros de distribución.

Esquema TT

El conductor PE no tiene por qué estar instalado cerca de los conductores de fase, dado que los pequeños valores de corriente de defecto tierra son necesarios para usar el tipo de protección DDR utilizado en las instalaciones TT.

Esquemas IT y TN

El conductor PE o PEN, como se indicó anteriormente, debe estar instalado tan cerca como sea posible de los conductores de fase correspondientes del circuito y no debe existir material ferromagnético entre ellos. Un conductor PEN debe siempre estar conectado directamente al terminal de conexión a tierra de un aparato, con una conexión en bucle desde el terminal de conexión a tierra hasta el terminal neutro del aparato (ver la **Figura G56**).

- El esquema TN-C (el neutro y el conductor PE son lo mismo, aquí denominado conductor PEN).

La función protectora de un conductor PEN tiene prioridad, de manera que todas las normas que regulan los conductores PE se aplican estrictamente a los conductores PEN.

- Transición de TN-C a TN-S.

El conductor PE para la instalación se conecta al terminal PEN o a la barra (ver la **Figura G57**) normalmente al principio de la instalación. Aguas abajo del punto de separación, no se puede conectar ningún conductor PE al conductor neutro.

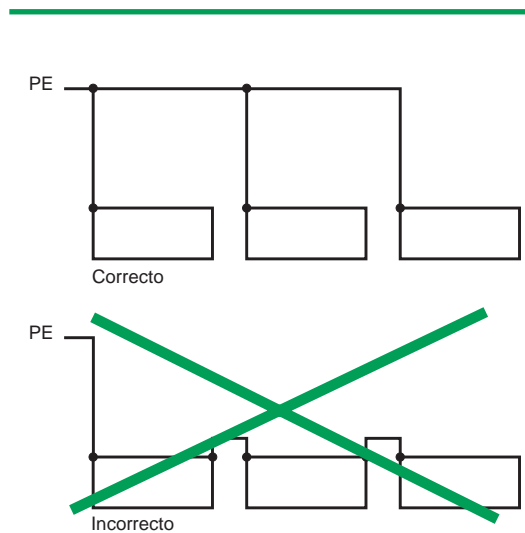


Fig. G55: Una conexión inadecuada para una distribución en serie dejará todos los aparatos aguas abajo sin protección.

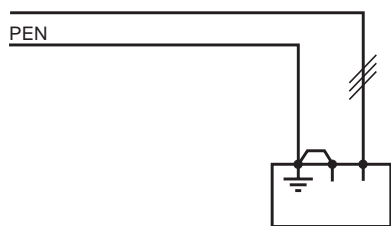


Fig. G56: Conexión directa del conductor PEN al terminal de conexión a tierra de un aparato.



Fig. G57: El esquema TN-C-S.

6 Conductor de conexión a tierra de protección (PE)

Tipos de materiales

Se pueden utilizar los tipos de material mencionados a continuación en la **Figura G58** para los conductores PE, siempre y cuando se cumplan las condiciones descritas en la última columna.

Tipo de conductor de conexión a tierra protector (PE)		Esquema IT	Esquema TN	Esquema TT	Condiciones que se deben respetar
Conductor complementario	En el mismo cable que las fases o en el mismo recorrido del cable	Muy aconsejable	Muy aconsejable	Correcto	El conductor PE debe estar instalado al mismo nivel que las fases
	Independiente de los conductores de fase	Posible (1)	Posible (1) (2)	Correcto	■ El conductor PE debe estar desnudo o aislado(2)
	Carcasa metálica de la canalización de barra conductora o de otros conductos prefabricados y precableados(5)	Posible (3)	PE posible (3) PEN (8)	Correcto	■ La continuidad eléctrica debe estar asegurada proporcionando la protección frente a riesgos mecánicos, químicos y electromecánicos
	Protección externa de conductores extrudidos con aislamiento mineral (p. ej. sistemas de tipo "pyrotenax")	Posible (3)	PE posible (3) PEN desaconsejado (2)(3)	Posible	■ Su conductancia debe ser adecuada
	Ciertos elementos conductores externos (6) como: ■ Estructuras de construcción de acero ■ Marcos de las máquinas ■ Tuberías de agua(7)	Posible (4)	PE posible (4) PEN prohibido	Posible	
	Cableados metálicos como conductos(9), tubos, canalizaciones, bandejas, escaleras...	Posible (4)	PE posible (4) PEN desaconsejado (2)(4)	Posible	

Los elementos prohibidos para utilizar con conductores PE son: conductos de metal (9), tuberías de gas, tuberías de agua caliente, cintas para la armadura de cables(9) o alambres(9).

G38

(1) En esquemas TN e IT, la eliminación del defecto suele realizarse con dispositivos de sobretensión (fusibles o interruptores automáticos), de manera que la impedancia del bucle de la corriente de defecto sea lo suficientemente baja para garantizar un funcionamiento del dispositivo de protección correcto. La manera más segura de lograr una baja impedancia de bucle es utilizar un núcleo adicional en el mismo cable que los conductores del circuito (o que utilice el mismo trayecto que los conductores del circuito). Esta estrategia minimiza la reactancia inductiva y por consiguiente la impedancia del bucle.

(2) El conductor PEN es un conductor neutro que también se utiliza como conductor con conexión a tierra protector. Esto implica que la corriente podría fluir en cualquier momento (en ausencia de un defecto a tierra). Por esta razón, se recomienda el uso de un conductor aislado para el funcionamiento del conductor PEN.

(3) El fabricante proporciona los valores necesarios para los elementos R y X de las impedancias (fase/PE, fase/PEN) para utilizar en el cálculo de la impedancia de bucle con defecto a tierra.

(4) Posible, pero no recomendable, dado que no se puede saber la impedancia del bucle con defecto a tierra en la fase de diseño. Las mediciones en la instalación finalizada son la única manera práctica de garantizar la protección correcta para las personas.

(5) Debe admitir la conexión de otros conductores PE. **Nota:** estos elementos deben llevar una señal visual, por separado, de rayas verdes y amarillas, de 15 a 100 mm de largo (o las letras PE a una distancia inferior a 150 mm de cada extremo).

(6) Estos elementos sólo deben ser desmontables si se ha proporcionado otra forma de garantizar la continuidad de protección sin interrupciones.

(7) Con la aprobación de las autoridades de suministros de agua correspondientes.

(8) En la canalización prefabricada y precableada, y otros elementos parecidos, la carcasa metálica puede utilizarse como un conductor PEN, en paralelo con la barra correspondiente, u otro conductor PE en la carcasa.

(9) Prohibido en algunos países y sólo permitido en todo el mundo si se utiliza para conductores equipotenciales complementarios.

Fig. G58: Selección de conductores protectores (PE).

6.2 Tamaño de los conductores

La **Figura G59** de más abajo se basa en la norma nacional francesa NF C 15-100 para instalaciones de baja tensión. Esta tabla indica dos formas de determinar la sección adecuada para los conductores PE o PEN y también para el conductor al electrodo de puesta a tierra.

Sección de conductores de fase S _{ph} (mm ²)	Sección del conductor PE		Sección del conductor PEN	Sección del conductor con conexión a tierra entre el electrodo de puesta a tierra de la instalación y el terminal de conexión a tierra principal
	Cu	Al		
Método simplificado	≤ 16	≤ 16	S _{PE} = S _{ph} (1)	■ Cuando está protegido contra daños mecánicos: $S = \frac{I\sqrt{t}}{k}$ ■ Sin protección mecánica, pero protegido contra la corrosión mediante cable impermeable. Tamaño mínimo 16 mm ² para cobre o acero galvanizado. ■ Sin ninguna de estas protecciones; tamaño mín. 25 mm ² para cobre desnudo y 50 mm ² para acero galvanizado desnudo.
		25	S _{PE} = 16	
	25, 35	35		
	> 35	> 35	S _{PE} = $\frac{S_{ph}}{2}$	
Método adiabático	Cualquier tamaño		S _{PE} = $\frac{I\sqrt{t}}{k}$	

(1) Cuando el conductor PE está separado de los conductores de fase del circuito, se deben respetar los siguientes valores mínimos:

- 2,5 mm² si el PE está protegido mecánicamente.
- 4 mm² si el PE no está protegido mecánicamente.

(2) Consulte la **Figura G54** para la aplicación de esta fórmula.

Fig. G59: Mínima sección para conductores PE y conductores de conexión a tierra.

6 Conductor de conexión a tierra de protección (PE)

Los dos métodos son:

- **Adiabático** (que corresponde al descrito en la IEC 60724).

Este método, aunque es económico y asegura la protección del conductor contra el calentamiento excesivo, da como resultado secciones pequeñas comparadas con las de los conductores de fase del circuito correspondiente. El resultado es a veces incompatible con la necesidad en los esquemas IT y TN de minimizar la impedancia del bucle con defecto a tierra del circuito, para garantizar el funcionamiento adecuado de los dispositivos de disparo instantáneo de sobrecorriente. Por esta razón, este método se utiliza en la práctica para las instalaciones TT y para determinar las dimensiones de un conductor con conexión a tierra⁽¹⁾.

- **Simplificado**.

Este método se basa en los tamaños de conductor PE con relación a los de los conductores de fase del circuito correspondientes, suponiendo que se utiliza el mismo material conductor en cada caso.

Así pues, en la **Figura G59** para:

$$S_{ph} \leq 16 \text{ mm}^2 \quad S_{PE} = S_{ph}$$

$$16 < S_{ph} \leq 35 \text{ mm}^2 \quad S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$$

$$S_{ph} > 35 \text{ mm}^2 \quad S_{PE} = \frac{S_{ph}}{2}$$

Nota: si en un esquema TT el electrodo de puesta a tierra de la instalación sobrepasa la zona de influencia del electrodo fuente de puesta a tierra, la sección del conductor PE puede estar limitada a 25 mm² (para cobre) o 35 mm² (para aluminio).

No se puede utilizar el neutro como conductor PEN a menos que la sección sea igual o mayor a 10 mm² (cobre) o 16 mm² (aluminio).

Así mismo, no se permite un conductor PEN en un cable flexible. Dado que un conductor PEN actúa también como conductor neutro, su sección no puede en ningún caso ser inferior a la necesaria para el neutro, como se indica en el subapartado 7.1 de este capítulo.

La sección no puede ser inferior a la de los conductores de fase a menos que:

- La especificación de kVA de las cargas monofásicas sea inferior al 10% de la carga total de kVA, y
- La $I_{m\acute{a}x}$ que atravesará el neutro en circunstancias normales, sea inferior a la corriente permitida para el tamaño de cable seleccionado.

Además, se debe asegurar la protección del conductor neutro con dispositivos de protección para la seguridad del conductor de fase (descrito en el subapartado 7.2 de este capítulo).

Valores del factor k para las fórmulas

Estos valores son idénticos en varias normas nacionales, y los intervalos de aumento de temperatura, junto con los valores del factor k y los límites máximos de temperatura para las diferentes clases de aislamiento corresponden a los publicados en IEC 60724 (1984).

Los datos presentados en la **Figura G60** son los que se suelen aplicar para el diseño de una instalación de baja tensión.

Valores k	Naturaleza del aislamiento	
	Cloruro de polivinilo (PVC)	Polietileno entrecruzado (XLPE) Etileno-propileno-caucho (EPR)
Temperatura final (°C)	160	250
Temperatura inicial (°C)	30	30
Conductores aislados		
Cobre	143	176
no integrados en cables		
Aluminio	95	116
o conductores desnudos		
Acero	52	64
en contacto con el revestimiento de los cables		
Conductores de un cable		
Cobre	115	143
de varios núcleos		
Aluminio	76	94

Fig. G60: Valores del factor k para los conductores PE de baja tensión más utilizados en las normas nacionales, conforme a la norma IEC 60724.

(1) Conductor electrodo a tierra

6 Conductor de conexión a tierra de protección (PE)

6.3 Conductor de protección entre el transformador de AT/BT y el cuadro general de baja tensión (GCBT)

Todos los conductores neutro y de fase aguas arriba del interruptor automático principal que controlan y protegen el cuadro general de distribución están protegidos por dispositivos en el lado de alta tensión del transformador. Deben calcularse las dimensiones de los conductores en cuestión, junto con el conductor PE acordemente. El tamaño de los conductores de fase para el circuito C1 del sistema mostrado aparece en la **Figura G67**.

La **Figura G62** indica los tamaños de conductor recomendados para conductores PE aislados y desnudos del punto neutro de transformador, mostrado en la **Figura G61**. La especificación de kVA que se debe tener en cuenta es la suma de todos los transformadores (si hay varios) conectados al cuadro de distribución.

G40

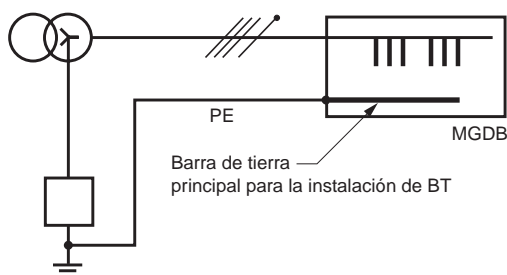


Fig. G61: Conductor PE a la barra de tierra principal en el cuadro de distribución.

La tabla indica la sección de los conductores en mm² según:

- La potencia nominal de los transformadores AT/BT en kVA.
- El tiempo que tardan los dispositivos de protección de AT en eliminar la corriente de defecto, en segundos.
- Los tipos de aislamiento y materiales conductores.

Si se utilizan fusibles para la protección de AT, use las columnas de 0,2 segundos.

En los esquemas IT, si se instala un dispositivo de protección contra las sobretensiones (entre el punto neutro del transformador y tierra) también se debe establecer el tamaño de los conductores para la conexión del dispositivo, como se ha descrito anteriormente para los conductores PE.

S (kVA)	Material conductor	Conductores desnudos			Conductores aislados con PVC			Conductores aislados con XLPE			
		0,2	0,5	-	0,2	0,5	-	0,2	0,5	-	
Tensiones BT	Cobre t(s)	0,2	0,5	-	0,2	0,5	-	0,2	0,5	-	
127/220 V	230/400 V	Aluminio t(s)	-	0,2	0,5	-	0,2	0,5	-	0,2	0,5
≤ 63	≤ 100	sección del PE	25	25	25	25	25	25	25	25	25
100	160	conductores S _{PE} (mm ²)	25	25	35	25	25	50	25	25	35
125	200		25	35	50	25	35	50	25	25	50
160	250		25	35	70	35	50	70	25	35	50
200	315		35	50	70	35	50	95	35	50	70
250	400		50	70	95	50	70	95	35	50	95
315	500		50	70	120	70	95	120	50	70	95
400	630		70	95	150	70	95	150	70	95	120
500	800		70	120	150	95	120	185	70	95	150
630	1.000		95	120	185	95	120	185	70	120	150
800	1.250		95	150	185	120	150	240	95	120	185

Fig. G62: Sección del conductor PE entre el transformador de AT/BT y el cuadro de distribución, en función de la especificaciones del transformador y los tiempos de eliminación de defectos utilizados en Francia.

6.4 Conductor equipotencial

El conductor equipotencial principal

Este conductor debe contar en general con una sección por lo menos igual a la mitad del área del conductor PE más grande, pero no debe exceder en ningún caso los 25 mm² (cobre) o 35 mm² (aluminio), mientras que la sección mínima es de 6 mm² (cobre) o 10 mm² (aluminio).

Conductor equipotencial complementario

Este conductor permite conectar un conductor de protección local a un conductor equipotencial principal (PE) más cercano. Su sección debe ser al menos la mitad de la del conductor de protección al que está conectado.

Si conecta dos elementos conductores expuestos (M1 y M2 en la **Figura G63**) la sección debe ser al menos igual a la del más pequeño de los dos conductores PE (para M1 y M2). Los conductores equipotenciales que no están integrados en un cable, deben estar protegidos mecánicamente por conductos, tubos, etc., si es posible.

Otros usos importantes para conductores equipotenciales complementarios consisten en la reducción de la impedancia del bucle de defecto de tierra, sobre todo para esquemas de protección de contacto indirecto en instalaciones TN o IT con conexión a tierra, y en especial las ubicaciones con un riesgo eléctrico superior (consulte la norma IEC 60364-4-41).

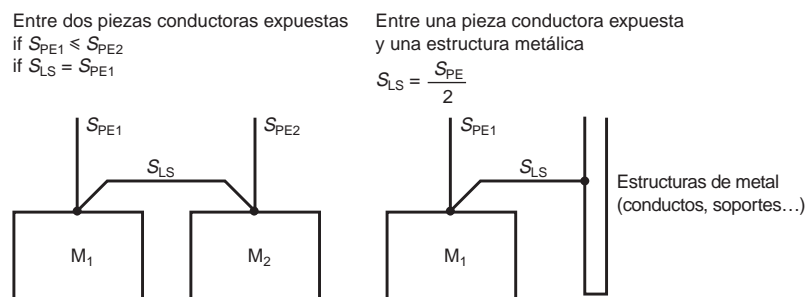


Fig. G63: Conductores equipotenciales complementarios.

La sección y la protección del conductor neutro, al margen del requisito de flujo de corriente, dependen de varios factores:

- El tipo de sistema de puesta a tierra, TT, TN, etc.
- Las corrientes armónicas.
- El método de protección contra riesgos de contacto indirecto según los métodos descritos más abajo.

El color del conductor neutro es azul según lo previsto por la ley. El conductor PEN, cuando está aislado, debe estar señalado de una de las siguientes maneras:

- Verde y amarillo en toda su longitud, además de unas señales de color azul claro en los extremos.
- Azul claro en toda su longitud, además de unas señales de color verde y amarillo claro en los extremos.

7.1 Dimensiones del conductor neutro

Influencia del tipo de sistema de puesta a tierra

Esquemas TT, TN-S e IT

■ Circuitos monofásicos o los que tengan una sección de $\leq 16 \text{ mm}^2$ (cobre) 25 mm^2 (aluminio): la sección del conductor neutro debe ser equivalente a la de las fases.

■ Circuitos trifásicos con una sección $> 16 \text{ mm}^2$ (cobre) o $> 25 \text{ mm}^2$ (aluminio): la sección del neutro puede ser:

- Equivalente a la de los conductores de fase.
- La sección del conductor neutro puede ser más pequeña, siempre y cuando:
 - La corriente que fluya por el neutro en condiciones normales sea inferior al valor I_z permitido. Se debe prestar especial atención a la influencia de las corrientes armónicas de 3.^{er} orden.
 - El conductor neutro esté protegido contra cortocircuitos, conforme al subapartado 7.2 de este capítulo.
 - El tamaño del conductor neutro sea como mínimo de 16 mm^2 en cobre o 25 mm^2 en aluminio.

Esquema TN-C

En la teoría, se aplican las mismas condiciones que las mencionadas anteriormente, pero en la práctica, el conductor neutro no debe estar en circuito abierto bajo ningún concepto, ya que constituye un conductor PE, además de un conductor neutro (consulte la columna "sección del conductor PEN" en la [Figura G59](#)).

Esquema IT

En general, se desaconseja distribuir el conductor neutro, es decir, se prefiere un esquema trifásico de tres cables. Sin embargo, cuando es necesaria una instalación trifásica de 4 cables, se aplicarán las condiciones anteriormente descritas para los esquemas TT y TN-S.

Influencia de las corrientes armónicas

Efectos de los armónicos de orden 3 y múltiplos de 3

Los armónicos se generan por las cargas no lineales de la instalación (ordenadores, iluminación de reactancia, rectificadores, limitadores electrónicos de potencia) y pueden generar corrientes altas en el neutro. En especial, los armónicos de orden 3 o múltiplos de 3 de las tres fases se suelen acumular en el neutro ya que:

- Las corrientes fundamentales están fuera de fase por $2\pi/3$, por lo que la suma es cero.
- Por otra parte, los armónicos de orden 3 de las tres fases siempre están en fase, con relación a su propia frecuencia fundamental, y están en fase entre ellos (ver la [Figura G64a](#)).

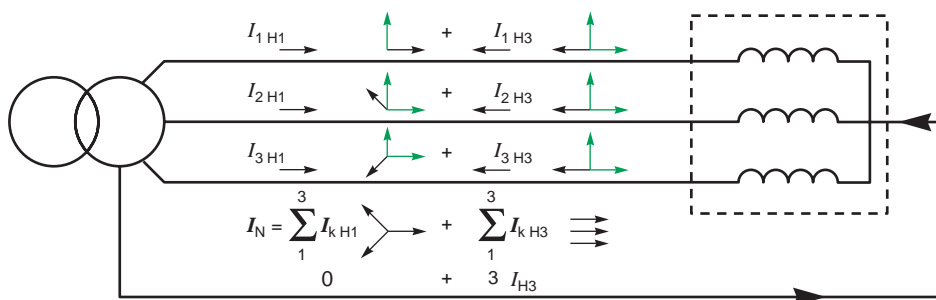


Fig. G64a: Los armónicos de orden 3 están en fase y se acumulan en el neutro.

La **Figura G64b** muestra la carga del conductor neutro en función del porcentaje de corriente armónica de 3.^{er} orden.

En la práctica, esta carga máxima no puede superar $\sqrt{3}$.

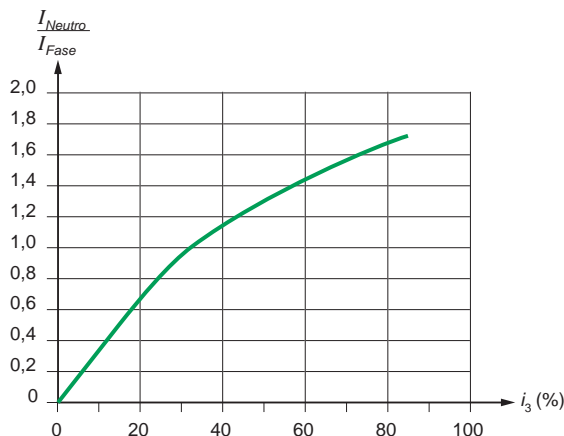


Fig. G64b: En función del porcentaje de armónicos de rango 3, hay más corriente por el conductor neutro que por las fases.

Los factores de reducción para las corrientes armónicas en cables de cuatro y cinco núcleos en los que cuatro núcleos transportan corriente.

El cálculo básico de un cable sólo atañe a los cables con tres conductores con carga, es decir, no hay corriente en el conductor neutro. Debido a armónicos de rango 3, hay corriente en el neutro. Como resultado, esta corriente del neutro crea un entorno de calor para los conductores trifásicos, por lo que es necesario un factor de reducción para los conductores de fase (ver la **Figura G65**).

Los factores de reducción, aplicados a la capacidad de flujo de corriente de un cable con tres conductores con carga, aportan la capacidad de flujo de corriente de un cable con cuatro conductores con carga, donde la corriente del cuarto conductor proviene de los armónicos. Los factores de reducción también tienen en cuenta el efecto de calor de la corriente armónica en los conductores de fase:

- Donde se prevea que la corriente del neutro será mayor que la corriente de fase, el tamaño del cable debe seleccionarse en función de la corriente del neutro.
- En los lugares donde se haya basado el tamaño del cable en una corriente del neutro apenas superior a la corriente de fase, es necesario reducir la corriente de la tabla con capacidad para tres conductores.
- Si la corriente del neutro es superior al 135% de la corriente de fase y el tamaño del cable se selecciona en función de la corriente del neutro, los conductores trifásicos no estarán totalmente cargados. La reducción del calor generado por los conductores de fase compensa el calor generado por el conductor neutro, de manera que ya no es necesario aplicar un factor de reducción a la corriente con capacidad para tres conductores con carga.

Porcentaje de armónicos de rango 3 en función de la corriente de fase (%)	Factor de reducción	
	Selección del tamaño basada en la corriente de fase	Selección del tamaño basada en la corriente del neutro
0 - 15	1,0	-
15 - 33	0,86	-
33 - 45	-	0,86
> 45	-	1,0

Fig. G65: Factores de reducción para las corrientes armónicas en cables de cuatro y cinco núcleos (conforme a IEC 60364).

Ejemplos:

Un circuito trifásico con una carga prevista de 37 A que se instalará utilizando un cable aislado con PVC de cuatro núcleos sujeto a una pared, método de instalación C. En la **Figura G24**, un cable de 6 mm² con conductores de cobre tiene una capacidad de corriente de 40 A, por lo que es adecuado si no hay armónicos en el circuito:

■ Si hay una corriente armónica del 20%, se aplica un factor de reducción de 0,86 y la carga prevista es: $37/0,86 = 43$ A.

Para esta carga, se necesita un cable de 10 mm².

■ Si hay una corriente armónica del 40%, el tamaño del cable se basa en la corriente del neutro que es: $37 \times 0,4 \times 3 = 44,4$ A y se aplica un factor de reducción de 0,86, con lo que la carga prevista es: $44,4/0,86 = 51,6$ A.

Para esta carga, se recomienda un cable de 10 mm².

■ Si hay una corriente armónica del 50%, el tamaño del cable se vuelve a basar en la corriente del neutro que es: $37 \times 0,5 \times 3 = 55,5$ A. En este caso, el factor de clasificación es 1 y se necesita un cable de 16 mm².

7.2 Protección del conductor neutro

(ver la **Figura G66** en la página siguiente).

**Protección contra las sobrecargas**

Si se determina correctamente el tamaño del conductor neutro (incluidas las corrientes armónicas), no es necesaria una protección específica para el conductor neutro, ya que estará protegida con la protección de fase.

En la práctica, sin embargo, si la sección del conductor neutro es inferior a la de la fase, se debe instalar una protección contra sobrecargas del neutro.

**Protección contra los cortocircuitos**

Si la sección del conductor neutro es inferior a la sección del conductor de fase, el conductor neutro debe estar protegido contra cortocircuitos.

Si la sección del conductor neutro es igual o superior a la del conductor de fase, no se precisa protección específica para el conductor neutro, ya que estará protegido por la protección de fase.

**7.3 Rotura del conductor neutro**

(ver la **Figura G66** en la página siguiente).

La necesidad de romper o no romper el conductor neutro depende de la protección contra contacto indirecto.

En un esquema TN-C

El conductor neutro no debe estar en circuito abierto bajo ningún concepto, puesto que constituye un conductor PE además del conductor neutro.

En esquemas TT, TN-S e IT

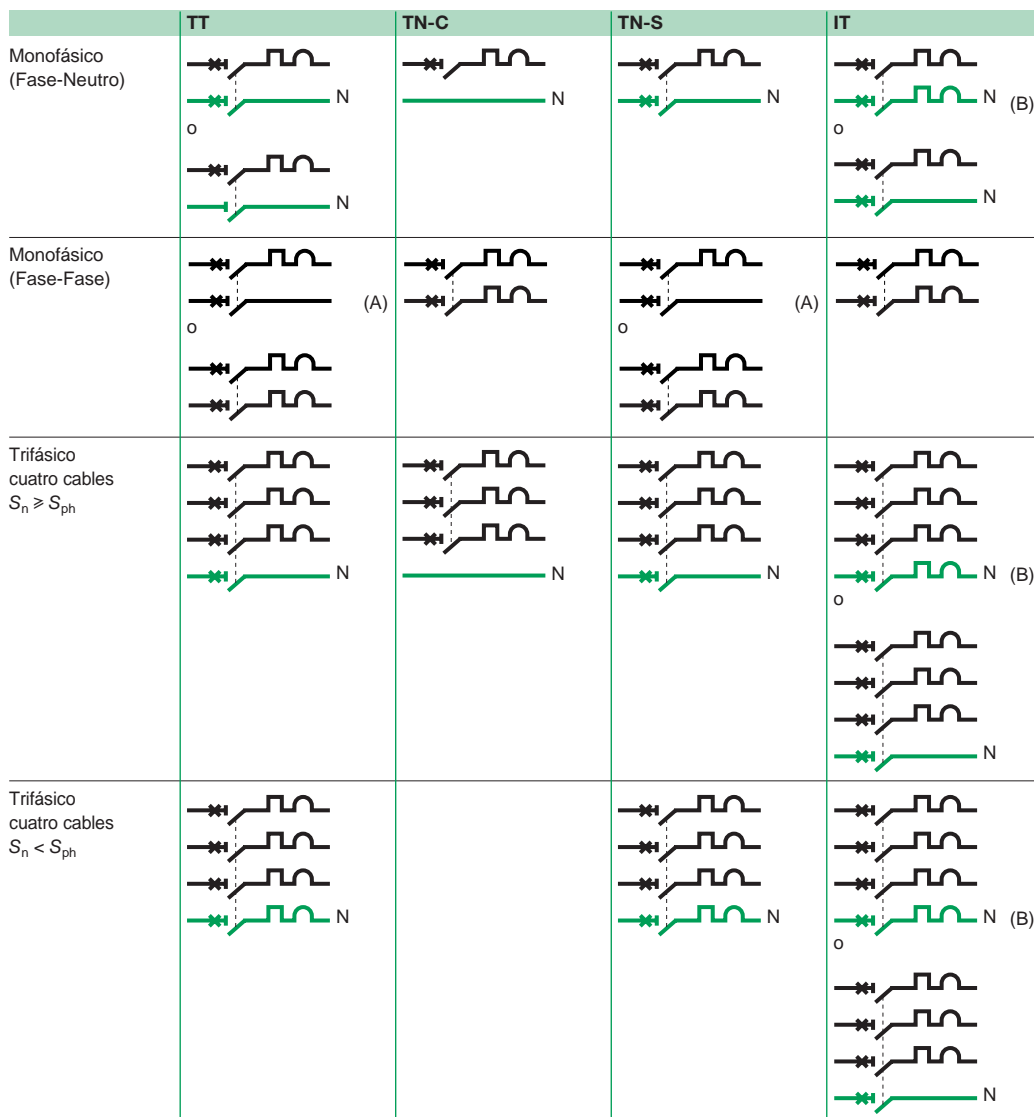
En caso de defecto, el interruptor automático abrirá todos los polos, incluido el neutro. Es decir, el interruptor automático es omnipolar.

Sólo se puede lograr esta acción con los fusibles en modo indirecto, por el que el funcionamiento de uno o más fusibles produce una interrupción del servicio eléctrico mecánico de todos los polos de un interruptor asociado con rotura de carga conectado en serie.

**7.4 Aislamiento del conductor neutro**

(ver la **Figura G66** en la página siguiente).

Es muy recomendable que todo circuito disponga de medios para su aislamiento.



(A) Autorizado para esquemas TT o TN-S si se ha instalado un DDR en el origen del circuito o aguas arriba y no se ha distribuido ningún neutro artificial aguas abajo.

(B) La sobrecorriente del neutro no es necesaria:

- Si el conductor neutro es protegido contra cortocircuito por un dispositivo situado aguas arriba.
- Si el circuito es protegido por un RCD cuya sensibilidad sea $\leq 15\%$ de la corriente admisible del conductor neutro.

Fig. G66: Las distintas situaciones en que puede aparecer un conductor neutro.

8 Ejemplo probado de cálculo de cables

Ejemplo probado de cálculo de cables (véase la **Figura G67**)

La instalación se alimenta mediante un transformador de 1.000 kVA. El proceso requiere un alto grado de continuidad de la alimentación, que se logra instalando un generador de reserva de 500 kVA 400 V y usando un esquema IT trifásico de 3 cables en el cuadro general de baja tensión. Se aísla el resto de la instalación con un transformador de 400 kVA 400/400 V. La red aguas abajo es un esquema trifásico de 4 cables con toma a tierra TT. Según el diagrama de una línea mostrado en la **Figura G67** siguiente, se observa una reproducción de los resultados de un estudio realizado por ordenador para el circuito C1, el interruptor automático Q1, el circuito C6 y el interruptor automático Q6. Estos estudios se realizaron con el software **ECODIAL 3.37** (un producto de Merlin Gerin).

Tras el estudio se realizan los mismos cálculos que los efectuados con el método descrito en esta guía.

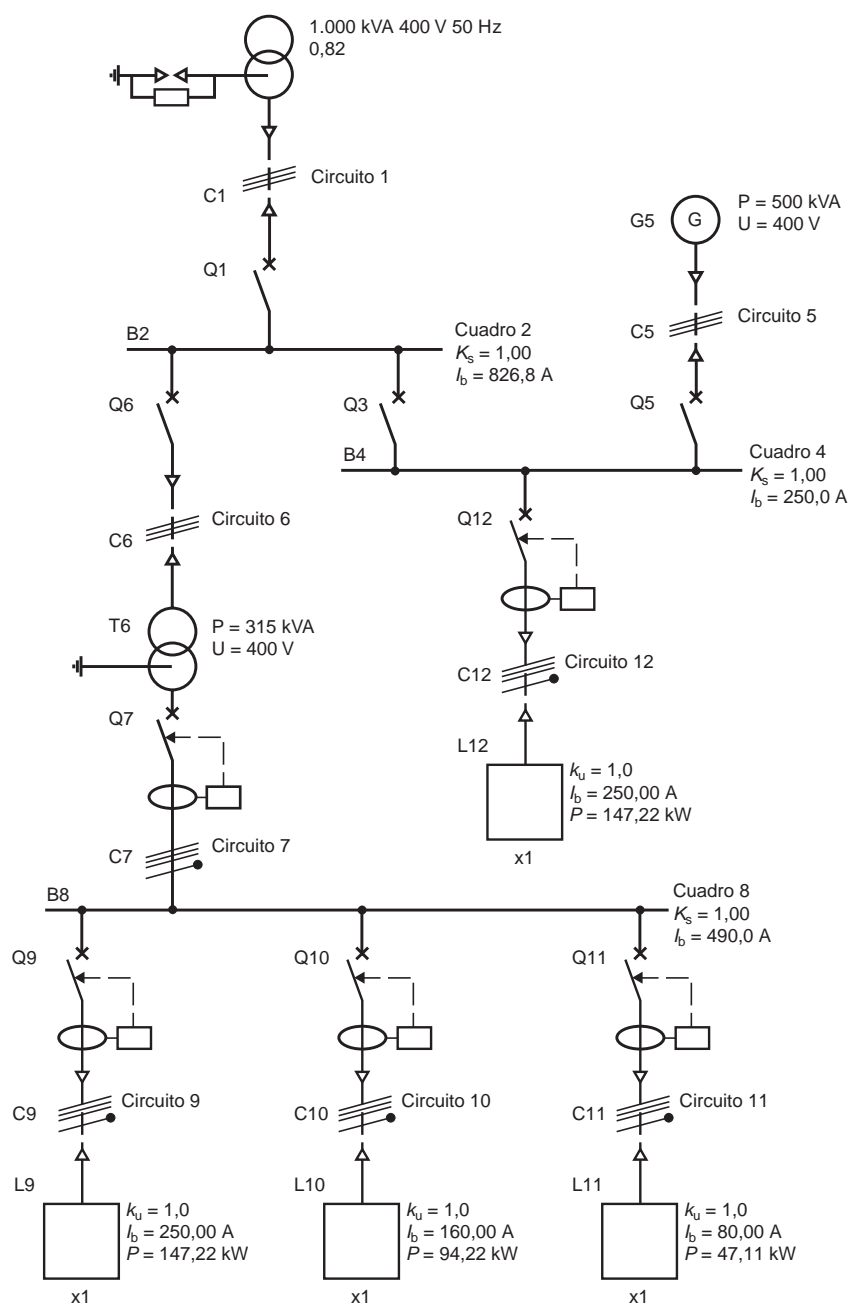


Fig. G67: Ejemplo de un diagrama de una línea.

Cálculo con el software **ECodial 3.37**

Características generales de la red		Canalizaciones B2	
Sistema de conexión a tierra	IT	Corriente de carga máxima (A)	1.374
Neutro distribuido	No	Tipo	Estándar en el flanco
Tensión (V)	400	Temperatura ambiente (°C)	30
Frecuencia (Hz)	50	Dimensiones (m y mm)	1 m 2/5 mm × 63 mm
Transformador T1		Material	Cobre
Número de transformadores	1	Corriente de cortocircuito trifásica I_{k3} (kA)	23
Nivel de fallo aguas arriba (MVA)	500	Valor de pico trifásico de la corriente de cortocircuito I_k (kA)	48
Potencia (kVA)	1.000	Resistencia de canalización R (mΩ)	2,52
Tensión de impedancia de cortocircuito (%)	6	Reactancia de canalización X (mΩ)	10,8
Resistencia de red de MT (mΩ)	0,0351	Interruptor automático Q6	
Reactancia de red de MT (mΩ)	0,351	Corriente de cortocircuito trifásica aguas arriba del interruptor automático I_{k3} (kA)	23
Resistencia de transformador R_T (mΩ)	2,293	Corriente de carga máxima (A)	560
Resistencia de transformador X_T (mΩ)	10,333	Número de polos y polos protegidos	3P3D
Corriente de cortocircuito trifásica I_{k3} (kA)	23,3	Interruptor automático	NS800
Cable C1		Tipo	N – 50 kA
Corriente de carga máxima (A)	1.374	Tipo de unidad de disparo	Micrologic 2.0
Tipo de aislamiento	PVC	Corriente nominal (A)	800
Material conductor	Cobre	Límite de selectividad (kA)	Total
Temperatura ambiente (°C)	30	Cable C6	
Cable con uno o varios núcleos	UNI	Corriente de carga máxima (A)	560
Método de instalación	13	Tipo de aislamiento	PVC
Número de circuitos muy próximos (Figura G21b)	1	Material conductor	Cobre
Otro coeficiente	1	Temperatura ambiente (°C)	30
Área de sección seleccionada (mm ²)	6 × 95	Cable con uno o varios núcleos	Uno
Conductor de protección	1 × 120	Método de instalación	F
Longitud (m)	5	Número de circuitos muy próximos (Figura G20)	1
Caída de tensión ΔU (%)	0,122	Otro coeficiente	1
Caída de tensión total ΔU (%)	0,122	Área de sección seleccionada (mm ²)	1 × 300
Corriente de cortocircuito trifásica I_{k3} (kA)	23	Conductor de protección	1 × 150
Corriente defectuosa monofásica con conexión a tierra I_d (kA)	17	Longitud (m)	15
Interruptor automático Q1		Caída de tensión ΔU (%)	0,38
Corriente de cortocircuito trifásica I_{k3} aguas arriba del interruptor automático (kA)	23	Caída de tensión ΔU total (%)	0,54
Corriente de carga máxima (A)	1.374	Corriente de cortocircuito trifásica I_{k3} (kA)	20
Número de polos y polos protegidos	3P3D	Corriente defectuosa monofásica con conexión a tierra I_d (kA)	¿?
Interruptor automático	NT 16		
Tipo	H 1 – 42 kA		
Tipo de unidad de disparo	Micrologic 5A		
Corriente nominal (A)	1.600		

Fig. G68: Cálculo realizado con el software **ECodial** (Merlin Gerin).

El mismo cálculo utilizando el método simplificado recomendado en esta guía

Dimensionamiento en circuito C1

El transformador de MT/BT de 1.000 kVA tiene una tensión nominal en vacío de 420 V. El circuito C1 debe ser apropiado para una corriente de

$$I_B = \frac{1.000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 420} = 1.374 \text{ A por fase}$$

Se utilizarán en paralelo seis cables de cobre aislado de PVC de un solo núcleo para cada fase. Estos cables estarán dispuestos en bandejas de cables según el método F. A continuación se indican los factores de corrección "K":

$K_1 = 1$ (véase la Figura G12, temperatura = 30 °C).

$K_4 = 0,87$ (véase la Figura G17, cables en contacto, 1 bandeja, ≥ 3 circuitos).

Los demás factores de corrección no son relevantes en este ejemplo.

La corriente de carga corregida es:

$$I'_B = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_4} = \frac{1.374}{0,87} = 1.579 \text{ A}$$

Por esta razón, cada conductor tendrá 263 A. La Figura G21a muestra que el área de sección es de 95 mm².

8 Ejemplo probado de cálculo de cables

Para una longitud de 5 metros, las resistencias y reactancias inductivas de los seis conductores en paralelo son las siguientes:

$$R = \frac{22,5 \times 5}{95 \times 6} = 0,20 \text{ m}\Omega \text{ (resistencia de cable: } 22,5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m)}$$

$$X = 0,08 \times 5 = 0,40 \text{ m}\Omega \text{ (reactancia de cable: } 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m)}$$

Dimensionamiento en circuito C6

El circuito C6 alimenta a un transformador de aislamiento trifásico de 400 kVA, 400/400 V.

$$\text{Corriente principal} = \frac{400 \cdot 10^3}{420 \cdot \sqrt{3}} = 550 \text{ A}$$

Se recomienda utilizar un cable unifilar dispuesto en una bandeja de cables (sin ningún otro cable) con una temperatura ambiente de 30 °C. El interruptor automático se ajusta en 560 A.

El método de instalación se distingue por la letra de referencia F y los factores de corrección "K" son todos iguales a 1.

Un área de sección de 240 mm² resulta adecuada.

La resistencia y reactancia inductiva son respectivamente:

$$R = \frac{22,5 \times 15}{240} = 1,4 \text{ m}\Omega$$

$$X = 0,08 \times 15 = 1,2 \text{ m}\Omega$$

Cálculo de las corrientes de cortocircuito para los interruptores automáticos Q1 y Q6 (véase la Figura G69)

Componentes de circuitos piezas	R (mΩ)	X (mΩ)	Z (mΩ)	I _{kmax} (kA)
500 MVA a la red de fuente de MT	0,04	0,36		
Transformador de 1 MVA	2,2	9,8	10,0	23
Cable C1	0,20	0,4		
Subtotal de Q1	2,44	10,6	10,9	23
Canalización B2	3,6	7,2		
Cable C6	1,4	1,2		
Subtotal de Q6	4,0	8,4	9,3	20

Fig. G69: Ejemplo de la valoración de una corriente de cortocircuito.

Conductor de protección

Requisitos térmicos: las Figuras G59 y G60 muestran que al utilizar un método adiabático, el área de sección para el conductor de protección para el circuito C1 es:

$$\frac{34,800 \times \sqrt{0,2}}{143} = 108 \text{ mm}^2$$

Por esta razón, un único conductor dimensionado de 120 mm², por motivos que se exponen más adelante, resulta más que suficiente, siempre y cuando también cumpla los requisitos para la protección contra los contactos indirectos (p. ej. que la impedancia sea lo bastante baja).

Para el circuito C6, el área de sección del conductor PE debería ser:

$$\frac{29,300 \times \sqrt{0,2}}{143} = 92 \text{ mm}^2$$

En este caso, un conductor de 95 mm² puede resultar adecuado si también se cumplen las condiciones de protección contra los contactos indirectos.

8 Ejemplo probado de cálculo de cables

Protección contra el riesgo de contactos indirectos

Para el circuito C6 de la **Figura G67** se pueden utilizar las **Figuras F45 y F60** o la fórmula facilitada en la página F27 en el caso de un circuito trifásico de 3 cables.

La longitud máxima permitida del circuito se obtiene de la siguiente manera:

$$L_{\text{máx}} = \frac{0,8 \times 240 \times 230 \sqrt{3} \times 1.000}{2 \times 22,5 \left(1 + \frac{240}{95}\right) \times 630 \times 11} = 70 \text{ m}$$

(El valor en el denominador $630 \times 11 = I_m$, es decir, el nivel de corriente con el que funciona el disparador magnético de cortocircuito instantáneo del disyuntor de 630 A.)

Así pues, los dispositivos de sobreintensidad "instantáneos" protegen totalmente una longitud de 15 metros.

Caída de tensión

En la **Figura G28** se puede observar que:

- Para el cable C1 ($6 \times 95 \text{ mm}^2$ por fase)

$$\Delta U = \frac{0,42 (\text{VA}^{-1} \text{ km}^{-1}) \times 1.374 (\text{A}) \times 0,008}{3} = 1,54 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100}{400} \times 1,54 = 0,38\%$$

- Para el circuito C6

$$\Delta U = \frac{0,21 (\text{VA}^{-1} \text{ km}^{-1}) \times 433 (\text{A}) \times 0,015}{3} = 1,36 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100}{400} \times 1,36 = 0,34\%$$

En los terminales de circuito del transformador de BT/BT, la caída de tensión porcentual $\Delta U\% = 0,72\%$.