

# Energía y Telecomunicaciones

## Tema 4.1. Introducción a las instalaciones eléctricas



**Alberto Arroyo Gutiérrez**  
**Mario Mañana Canteli**  
**Raquel Martínez Torre**  
**Jesús Mirapeix Serrano**  
**Cándido Capellán Villacián**

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

---

---

## Índice general

---

---

**NOMENCLATURA Y SIMBOLOGÍA.**

**vii**

**CAPÍTULO 4. INTRODUCCIÓN A LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS 1**

4.1. Introducción . . . . .	1
4.2. Conductores eléctricos . . . . .	1
4.3. Cálculo de secciones de conductores . . . . .	6
4.4. Sistemas de distribución eléctrica . . . . .	16
4.5. Sistema de distribución con neutro rígido a tierra (TT) . . . . .	17
4.6. Sistema de distribución con neutro aislado (IT) . . . . .	19
4.7. Protecciones básicas en las instalaciones eléctricas . . . . .	21
4.8. Esquemas eléctricos . . . . .	26
4.9. Ejercicios . . . . .	33
4.10. Soluciones . . . . .	34

---



---

## NOMENCLATURA Y SIMBOLOGÍA

---



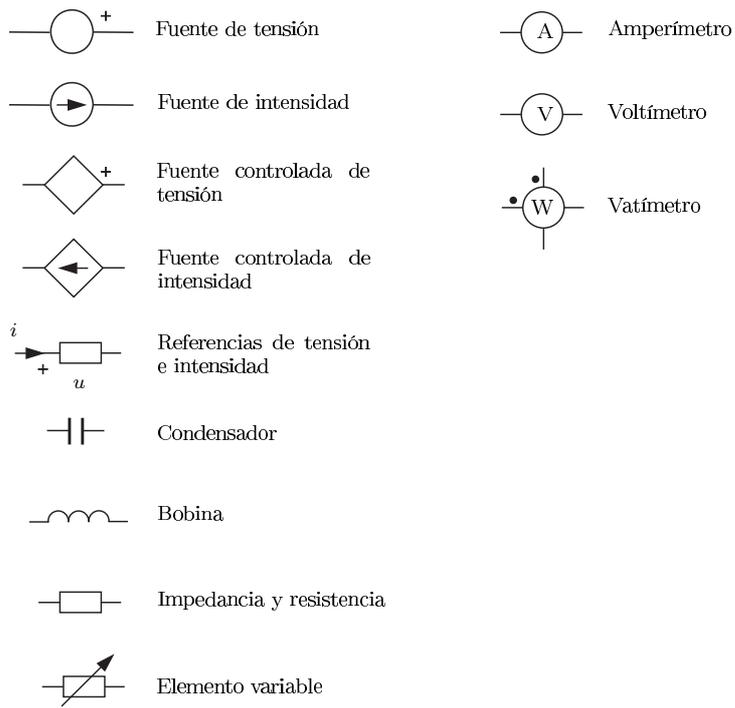
---

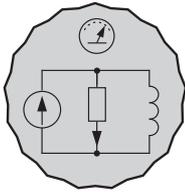
### Normas generales

Letra mayúscula: Valor eficaz del parámetro.

Letra minúscula: Valor instantáneo del parámetro.

SIMBOLO	MAGNITUD	UNIDAD
$a$	Operador trifásico	$a = 1_{\angle 120^\circ}$
$B$	Susceptancia	Siemens (S)
$C$	Capacidad	Faradio (F)
$f$	Frecuencia	Hertzio (Hz)
$G$	Conductancia	Siemens (S)
$i$	Intensidad instantánea	Amperio (A)
$I$	Intensidad eficaz	Amperio (A)
$\bar{I}$	Intensidad compleja	Amperio (A)
$j$	Unidad imaginaria	$j = 1_{\angle 90^\circ}$
$L$	Inductancia propia / autoinducción	Henrio (H)
$M$	Inductancia mutua	Henrio (H)
$P$	Potencia activa	Vatio (W)
$Q$	Potencia reactiva	Voltamperio reactivo (var)
$R$	Resistencia	Ohmio ( $\Omega$ )
$S$	Potencia aparente	Voltamperio (VA)
$\bar{S}$	Potencia aparente compleja	Voltamperio (VA)
$u$	Tensión instantánea	Voltio (V)
$U$	Tensión eficaz	Voltio (V)
$\bar{U}$	Tensión compleja	Voltio (V)
$W$	Energía	Julio (J)
$X$	Reactancia	Ohmio ( $\Omega$ )
$Y$	Admitancia	Siemens (S)
$Z$	Impedancia	Ohmio ( $\Omega$ )
$\bar{Z}$	Impedancia compleja	Ohmio ( $\Omega$ )
$\eta$	Rendimiento	Porcentaje (%)
$\rho$	Resistividad	Ohmio metro ( $\Omega m$ )
$\sigma$	Conductividad	Siemens por metro ( $S/m$ )
$\varphi$	Desfase entre $\bar{U}$ e $\bar{I}$	Grado sexagesimal ( $^\circ$ )
$\omega$	Pulsación	Radian por segundo (rd/s)





---

---

## INTRODUCCIÓN A LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

---

---

CAPÍTULO

# 4

El conocimiento básico de los fundamentos de las instalaciones eléctricas resulta esencial para comprender las características de los sistemas que alimentan los circuitos electrónicos propios de las aplicaciones de la Ingeniería de Telecomunicación.

### 4.1. Introducción

Las instalaciones eléctricas poseen, independientemente de la especialidad del ingeniero que se aproxima a ellas, una importancia capital, puesto que la mayor parte de los equipos necesitan en alguna de sus funciones la energía eléctrica como fuente energética. En la mayor parte de las aplicaciones, la alimentación de dichos circuitos se realiza en corriente alterna.

### 4.2. Conductores eléctricos

Los cables eléctricos, al igual que el resto de los componentes utilizados en la ingeniería eléctrica, están perfectamente normalizados. Los beneficios de la normalización son evidentes, ya que establece un sistema único para la designación de los cables de energía. En España, la norma UNE 20434 recoge estos criterios para cables utilizados en tensiones hasta 450/750 V inclusive. Desafortunadamente, cada país cuenta con sus propias normas, lo que ha obligado a desarrollar un proceso de armonización con el objetivo de conseguir una normativa única. En el ámbito de la Unión Europea, CENELEC desarrolla esa misión armonizadora. La normativa desarrollada por CENELEC es traspuesta por AENOR a las normas UNE. La norma UNE 20434 no es única. Otras normas que deben consultarse, además del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, son las que se encuentran en la tabla 4.1.

#### 4.2.1. Elementos básicos de la designación

La designación de un cable se compone de tres partes que indican sus características esenciales. En la figura 4.1 se muestra un trozo de cable en el que se indican los elementos básicos que lo designan. En la tabla 4.2 se resumen los objetivos básicos de cada una de las partes de la representación de un cable.

**Cuadro 4.1.** Normas relacionadas con los cables utilizados en las instalaciones eléctricas.

Norma	Descripción
UNE 21027-6	Cables aislados con goma de tensiones asignadas inferiores o iguales a 470/750 V. Cables para máquinas de soldar.
UNE 21153	Cables flexibles planos con cubierta de policloruro de vinilo.
UNE 21022	Conductores de cables aislados.
UNE-EN 50214	Cables flexibles para ascensores y montacargas

**Figura 4.1.** Elementos básicos de la representación de un cable.**Cuadro 4.2.** Objetivos básicos de las diferentes partes de la representación de un cable.

Parte	Elementos fundamentales de la descripción	Ver tablas
1	Correspondencia con la normalización Tensión asignada	tabla 4.3 tabla 4.4
2	Construcción del cable, generalmente mediante una secuencia radial, partiendo del material de aislamiento Material y forma del (de los) conductor (es)	tablas 4.5-4.8 tablas 4.9 a 4.10
3	Número y sección nominal de los conductores	tabla 4.11

A la hora de leer la designación de los conductores debe tenerse en cuenta que:

1. Normalmente no se deja ningún intervalo entre las partes 1 y 2. El conjunto de estas partes constituye la designación del tipo de un cable.
2. En el caso de que sea necesario, la parte 3 de la designación proporciona información específica sobre el cable, en lo que se refiere al número y sección nominal de los conductores.

### Parte 1 de la designación

La parte 1 designa si el cable está construido según normas armonizadas. En la tabla 4.3 se resumen los posibles valores que puede asumir el fabricante.

**Cuadro 4.3.** Correspondencia con la normalización.

Símbolo	Correspondencia de los cables con la normalización
H	Cable conforme con las normas armonizadas.
A	Cable del tipo nacional reconocido, incluido en los Complementos de las correspondientes normas armonizadas.

La tabla 4.4 resume los símbolos que corresponden a las diferentes tensiones asignadas. El primer valor del par corresponde a la tensión nominal entre el conductor de fase y el de neutro, mientras que el segundo hace referencia a la tensión nominal entre conductores de fase.

**Cuadro 4.4.** Tensión asignada  $U_0/U$ .

Símbolo	Tensión asignada $U_0/U$
01	$100/100 \leq U_0/U \leq 300/300 V$ (1)
03	300/300 V
05	300/500 V
07	450/750 V
(1) Las tensiones asignadas que no se han armonizado todavía, están entre paréntesis	

**Parte 2 de la designación**

La parte 2 de la designación está dedicada a la identificación de:

1. Materiales para los aislamientos y las envolventes no metálicas.
2. Revestimientos metálicos (envolventes, conductores concéntricos y pantallas)
3. Elementos constructivos especiales de un cable.
4. Construcciones especiales de un cable.
5. Materiales utilizados en la fabricación de los conductores del cable.
6. Forma del conductor.

En las tablas 4.5-4.8 se resumen los identificadores utilizados para cada uno elementos presentados.

**Cuadro 4.5.** Materiales para los aislamientos y las envolventes no metálicas.

Símbolo	Materiales
B	Goma de etileno-propileno para una temperatura de servicio de 90°C.
G	Etileno-acetato de vinilo.
J	Trenza de fibra de vidrio.
M	Mineral.
N	Policloropreno (o material equivalente).
N2	Mezcla especial de policloropreno para recubrimiento de los cables para máquinas de soldar, según UNE 21027-6.
N4	Polietileno clorosulfonato o clorado.
N8	Material de policloropreno especial, resistente al agua.
Q	Poliuretano.
Q4	Poliamida.
R	Goma de etileno propileno ordinario (o elastómero sintético equivalente), para una temperatura de servicio de 60°C.
S	Goma de silicona.
T	Trenza textil, impregnada o no, sobre conductores aislados reunidos.
T6	Trenza textil, impregnada o no, sobre conductores constitutivos de una cable multiconductor.
V	Policloruro de vinilo ordinario.
V2	Mezcla de policloruro de vinilo para temperaturas de servicio de 90°C.
V3	Mezcla de PVC para cables instalados a bajas temperaturas.
V4	Policloruro de vinilo reticulado.
V5	Mezcla especial de policloruro de vinilo resistente al aceite.
Z	Compuesto reticulado a base de poliolefina, conteniendo un bajo nivel de emisión de gases corrosivos, siendo adecuado para su utilización en cables que, cuando se queman, su emisión de humos es muy baja.

*continua en la página siguiente*

Cuadro 4.5: Materiales para los aislamientos y las envolventes no metálicas. *continuación*

Símbolo	Materiales
Z1	Compuesto termoplástico a base de poliolefina, conteniendo un bajo nivel de emisión de gases corrosivos, siendo adecuado para su utilización en cables que, cuando se queman, su emisión de humos es muy baja.

Cuadro 4.6. Revestimientos metálicos.

Símbolo	Envolventes, conductores concéntricos y pantallas
C	Conductor concéntrico de cobre.
C4	Pantalla de cobre en forma de trenza, sobre el conjunto de los conductores aislados reunidos.

Cuadro 4.7. Elementos constitutivos especiales de un cable.

Símbolo	Elementos constitutivos
D3	Elemento portador constituido por uno o varios componentes (metálicos o textiles) situados en el centro de un cable circular o repartidos en el interior de un cable plano.
D5	Relleno central (elemento no portador solamente para cables de ascensor).
NOTA: Cuando estos símbolos sean necesarios, deberán colocarse a continuación de los símbolos de las tablas 4.5 y 4.6	

Cuadro 4.8. Construcciones especiales de un cable.

Símbolo	Construcción especial
	Cable circular.
H	Cables planos, con o sin cubierta, cuyos conductores aislados pueden separarse.
H2	Cables planos cuyos conductores aislados no pueden separarse.
H6	Cables planos con tres o más conductores aislados, según la Norma UNE 21153 ó UNE-EN 50214.
H7	Cable con doble capa de aislamiento aplicada por extrusión.
H8	Cable extensible.
NOTA: Cuando estos símbolos sean necesarios, deberán colocarse a continuación, de los símbolos de las tablas 4.5-4.7	

Cuadro 4.9. Material del conductor.

Símbolo	Material del conductor
	Cobre.
-A	Aluminio.
NOTA: Cuando estos símbolos sean necesarios, deberán colocarse a continuación de los símbolos de las tablas 4.5 a 4.8, detrás del guión.	

### Parte 3 de la designación

Esta parte de la designación está dedicada a la representación del número de conductores y sección nominal de los conductores. En la tabla 4.11 se resume la notación.

**Cuadro 4.10.** Forma del conductor.

Símbolo	Forma del conductor
-D	Conductor flexible para uso en cables de máquinas de soldar según especificación de la Norma UNE 21027-6 (flexibilidad distinta a la UNE 21022, clase 5).
-E	Conductor muy flexible para uso de cables de máquinas de Soldar Según especificación de la Norma UNE 21027-6 (flexibilidad distinta a la UNE 21022, clase 6).
-F	Conductor flexible de un cable flexible (flexibilidad correspondiente a la clase 5 de la Norma UNE 21022).
-H	Conductor extraflexible de un cable flexible (flexibilidad correspondiente a la clase 6 de la norma UNE 21022)
-K	Conductor flexible de un cable para instalaciones fijas (a no ser que se indique otra cosa, la flexibilidad debe corresponder a la clase 5 de la Norma UNE 21022)
-R	Conductor rígido, de sección circular, de varios alambres cableados
-U	Conductor rígido, de sección circular, de un solo alambre.
-Y	Conductor formado por cintas de cobre arrolladas en hélice alrededor de un soporte textil (Oropel).
<p>NOTA: Estos símbolos deben colocarse a continuación de los símbolos de las tablas 4.5 a 4.9 detrás de un guión (ya incluido en el símbolo -A en el caso de un conductor de aluminio).</p> <p>NOTA: En los cables que tengan conductores de dos formas distintas, el símbolo sólo designará la forma del conductor de fase.</p>	

**Cuadro 4.11.** Número de conductores y sección nominal de los conductores.

Símbolo	Número de conductores y sección nominal de los conductores
(Número)	Número, n, de conductores aislados.
X	Signo de multiplicación, en ausencia de un conductor aislado de color amarillo/verde.
G	Tiene el significado del signo de multiplicación, cuando existe un conductor aislado de color amarillo/verde.
(Número)*	Sección nominal, S, del conductor, en $mm^2$ .
Y	En el caso de conductores formados por cintas de cobre arrolladas en hélice alrededor de un soporte textil (Oropel) se especifica la sección nominal.
*	Se puede utilizar, el símbolo N (colocado a continuación, de la sección nominal de los conductores) para indicar que la identificación de los conductores aislados se efectúa mediante cifras.

**Ejemplo 4.1**

Ejemplos de aplicación,

**4G50** Cable de 4 conductores aislados de  $50 mm^2$  de sección nominal cada uno, siendo uno de los conductores aislados de color amarillo/verde.

**3X50+1G25** Cable de 4 conductores aislados que tiene 3 conductores aislados de  $50 mm^2$  de sección nominal y 1 conductor aislado de color amarillo/verde de  $25 mm^2$  de sección nominal.

Los conductores eléctricos no se fabrican con cualquier sección. Existen una serie de valores normalizados que son los que se utilizan habitualmente. En la tabla 4.12 se indican los valores típicos de sección normalizados.

**Cuadro 4.12.** Valores de sección normalizados.

Valores de sección normalizados ( $mm^2$ )																				
0,5	0,75	1,00	1,50	2,50	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500

### 4.3. Cálculo de secciones de conductores

Desde el punto de vista real, la elección del cable más adecuado para realizar la conexión entre el cuadro general de protección (CGP) de la instalación y las diferentes cargas debe realizarse en base a diferentes criterios, entre los que destacan:

1. Sección adecuada para limitar el calentamiento del cable
2. Sección adecuada para limitar la caída de tensión en el cable.
3. Sección adecuada para soportar la intensidad de cortocircuito.
4. Aislante adecuado para soportar las condiciones exteriores de humedad, temperatura, robustez frente a incendios, agentes químicos, etc.
5. Resistencia mecánica, en el caso de cables que deben utilizarse en tendidos aéreos entre postes.

Aunque todos los criterios son importantes, nos centraremos aquí en los dos primeros, por ser estos determinantes desde el punto de vista general. Lo métodos expuestos se basan en las instrucciones técnicas complementarias que complementan el REBT.



En el caso de que el cálculo de la sección de cable necesaria para realizar un tendido se realice mediante los dos criterios: térmico y de caída de tensión, se elegirá como sección final, la mayor de las dos calculadas, ya que será esa sección la que cumpla con las dos condiciones impuestas.

#### 4.3.1. Criterio de caída de tensión

Resulta evidente que cualquier cable real, por buen conductor que sea, presenta una resistividad  $\rho$  no nula. En la tabla 4.13 se recogen algunos valores típicos para los materiales más utilizados en la fabricación de cables eléctricos.

De forma genérica, un trozo de material cilíndrico de sección  $S$ , longitud  $l$  y resistividad  $\rho$  presenta una resistencia equivalente tal como la definida por la expresión siguiente,

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (4.1)$$

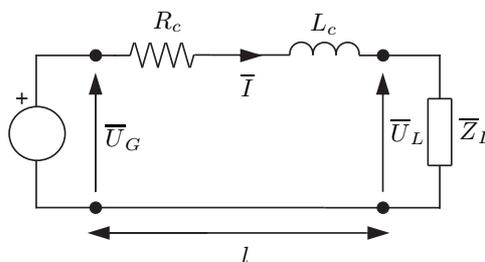
Si se analiza la caída de tensión en un sistema monofásico, tal como el que se muestra en la figura 4.2, donde la carga presenta un FP genérico y los cables que la conectan con el generador se representan mediante parámetros concentrados en forma de una resistencia  $R_C$  y una inductancia  $L_C$ .

Desde el punto de vista eléctrico,

$$\bar{U}_G = (R_C + jX_C)\bar{I} + \bar{U}_L \quad (4.2)$$

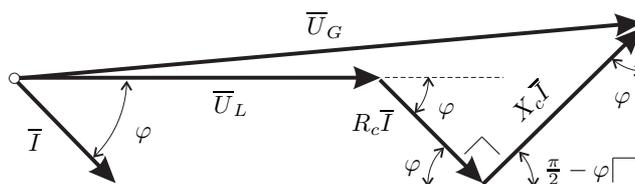
**Cuadro 4.13.** Valores típicos de resistividad ( $\rho$ ), coeficiente de temperatura ( $\alpha$ ), punto de fusión ( $^{\circ}C$ ) y densidad ( $\delta$ ) de diversos materiales y aleaciones.

Material	Resistividad $\rho$ a $20^{\circ}C$ [ $\Omega \cdot mm^2/m$ ]	Coefficiente de temperatura $\alpha$ [ $^{\circ}C^{-1}$ ]	Punto de fusión aproximado [ $^{\circ}C$ ]	Densidad [ $kg/dm^3$ ]
Cobre electrolítico	0,01754	0,00393	1083	8,97
Cobre recocido patrón	0,0195	0,00393	1083	8,97
Cobre recocido industrial	0,0207	0,00393	1083	8,97
Aluminio puro	0,0261	0,00446	660	2,7
Aluminio recocido	0,028	0,00446	660	2,7
Oro recocido	0,0233	0,0034	1063	19,3
Oro martillado	0,0236	0,0034	1063	19,3
Plata recocida	0,0146	0,0038	960	10,5
Plata martillada	0,0159	0,0038	960	10,5
Almelec	0,0325	0,00360		2,7



**Figura 4.2.** Circuito eléctrico equivalente para el estudio de la caída de tensión en un cable que alimenta una carga monofásica.

Si se utiliza el fasor  $\bar{U}_L$  como referencia, la representación gráfica de los fasores puestos en juego será la que se muestra en la figura 4.3. Aunque la diferencia entre la tensión en la carga y en el generador es un fasor con módulo y fase, se define la caída de tensión en la línea como la diferencia aritmética entre las tensiones  $\bar{U}_G$  y  $\bar{U}_L$ .



**Figura 4.3.** Diagrama fasorial para el estudio de la caída de tensión en un circuito monofásico con FP inductivo.

En el caso de cargas con FP inductivo, vemos que se cumple la expresión siguiente,

$$U_G^2 = (U_L + R_C I \cos \varphi + X_C I \sin \varphi)^2 + (X_C I \cos \varphi - R_C I \sin \varphi)^2 \tag{4.3}$$

que se puede aproximar, para líneas cortas por la expresión,

$$U_G \simeq U_L + R_C I \cos \varphi + X_C I \sin \varphi \tag{4.4}$$

y por tanto, la caída de tensión  $\Delta U \simeq U_G - U_L$  será,

$$\Delta U \simeq R_C I \cos \varphi + X_C I \sin \varphi \quad (4.5)$$

donde  $\varphi$  se considera positivo cuando el FP es inductivo y negativo en el caso de que el FP sea capacitivo. Si se considera despreciable la inductancia del cable, la caída de tensión  $\Delta U$  puede expresarse como

$$\Delta U \simeq R_C I \cos \varphi \quad (4.6)$$

Como la resistencia del cable  $R_C$  puede expresarse de forma concentrada según la ecuación,

$$R_C = \rho \frac{2l}{S} \quad (4.7)$$

donde el 2 es debido a considerar el conductor de ida y el de vuelta de forma conjunta.

$$\Delta U \simeq \frac{\rho 2l}{S} I \cos \varphi \quad (4.8)$$

$$S \simeq \frac{\rho 2l}{\Delta U} I \cos \varphi \quad (4.9)$$

Si se conoce el valor de la potencia activa consumida por la carga,

$$P = U_L I \cos \varphi \quad (4.10)$$

$$S \simeq \frac{\rho 2l P}{\Delta U U_L} \quad (4.11)$$

Si se expresa la caída de tensión  $\Delta U$  de forma porcentual,

$$\Delta U (\%) = \frac{\Delta U}{U_L} 100 \quad (4.12)$$

y por tanto,

$$S \simeq \frac{\rho 200l P}{\Delta U (\%) U_L^2} \quad (4.13)$$

En el caso de un circuito trifásico, la metodología de análisis es similar. En efecto, considérese el circuito de la figura 4.4, formado por un generador simétrico que alimenta una carga equilibrada. En el circuito de la figura 4.4 los cables se representan mediante una impedancia  $\bar{Z}_C$ . Dado que se trata de un circuito simétrico y equilibrado, es posible utilizar su circuito equivalente monofásico, que será idéntico al monofásico de la figura 4.2 salvo por dos cuestiones: i) Para cada fase individual, no existe físicamente el conductor de retorno, por lo que no hay que multiplicar por 2. ii) La caída de tensión se calcula como la diferencia aritmética entre la tensión de línea en el generador y en la carga, por lo que la tensión obtenida a partir del circuito monofásico equivalente debe multiplicarse por  $\sqrt{3}$ .

Como resumen, las expresiones obtenidas en el caso trifásico son similares al caso monofásico excepto por la constante 2 que debe sustituirse por  $\sqrt{3}$  al obtener la caída de tensión <sup>1</sup>. Las expresiones para el cálculo de la sección serán,

$$S \simeq \frac{\sqrt{3} \rho l I \cos \varphi}{\Delta U_{linea}} \quad (4.14)$$

$$S \simeq \frac{\rho l P}{\Delta U_{linea} U_L} \quad (4.15)$$

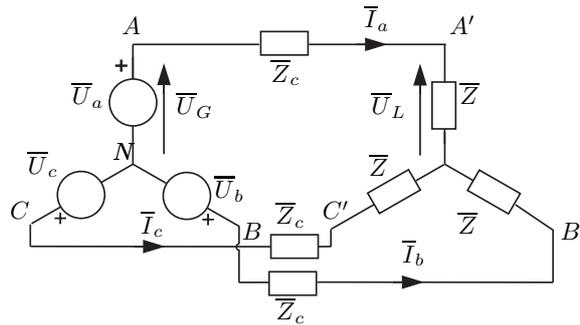
Si la caída de tensión se expresa en tanto por ciento,

<sup>1</sup>Tener en cuenta que la caída de tensión en el caso trifásico se mide como la diferencia entre las tensiones compuestas de generación y carga.

$$S \simeq \frac{\sqrt{3}100\rho l I \cos \varphi}{\Delta U_{linea}(\%)U_L} \tag{4.16}$$

$$S \simeq \frac{100\rho l P}{\Delta U_{linea}(\%)U_L^2} \tag{4.17}$$

La sección de los conductores según el criterio de caída de tensión debe ser tal que la caída de tensión entre el origen de la instalación y cualquier punto de utilización sea menor del 3% de la tensión nominal en el origen de la instalación, para alumbrado, y del 5% para los demás usos.



**Figura 4.4.** Circuito trifásico para el estudio de la caída de tensión en los conductores.

Esta caída de tensión se calculará considerando alimentados todos los aparatos de utilización susceptibles de funcionar simultáneamente. Los límites reglamentarios de las caídas de tensión en las instalaciones de enlace están definidos por las instrucciones técnicas complementarias (ITC) ITC-BT-14, ITC-BT-15 e ITC-BT-19, y son los que se muestran en la tabla 4.14.

**Cuadro 4.14.** Límites de caídas de tensión reglamentarios.

Parte de la instalación	Para alimentar a	Caída de tensión máxima en% de la tensión de suministro	$e = \Delta U_{III}$	$e = \Delta U_I$
Línea general de alimentación (LGA)	Suministros de un único usuario	No existe LGA	-	-
	Contadores totalmente concentrados	0,5 %	2 V	-
	Centralizaciones parciales de contadores	1,0 %	4 V	-
Derivación individual (DI)	Suministros de un único usuario	1,5 %	6 V	3,45 V
	Contadores totalmente concentrados	1,0 %	4 V	2,3 V
	Centralizaciones parciales de contadores	0,5 %	2 V	1,15 V
Circuitos interiores	Circuitos interiores en viviendas	3 %	12 V	6,9 V
	Circuitos de alumbrado que no sean viviendas	3 %	12 V	6,9 V
	Circuitos de fuerza que no sean viviendas	3 %	20 V	11,5 V

Indicar, por último, que la reactancia de un conductor varía con el diámetro y la separación entre conductores. En el caso de redes de distribución aéreas de tipo trenzado es básicamente constante de valor  $0,1 \Omega/km$ . Lo mismo puede considerarse para redes subterráneas, aunque el valor exacto debe estimarse a partir de la geometría de los conductores. En ausencia de datos, puede considerarse un valor según el criterio establecido en la tabla 4.15.

**Cuadro 4.15.** Valor aproximado de reactancia inductiva de un conductor en función de su sección.

Sección ( $mm^2$ )	Reactancia inductiva X [ $\Omega$ ]
$\leq 120$	0
150	$0,15R$
185	$0,20R$
240	$0,25R$

### 4.3.2. Criterio térmico

El criterio térmico está basado en el cálculo de la sección necesaria en el conductor para limitar el calentamiento del mismo. Los límites de calentamiento de un conductor vienen impuestos por las características del aislante que lo recubre. A pesar de que la obtención de las expresiones teóricas con la restricción térmica es mucho más compleja que en el caso del cálculo por caída de tensión, es posible simplificar los cálculos mediante la utilización de una serie de tablas recogidas en el REBT. Dichas tablas permiten calcular la intensidad máxima admisible para un cable en función del tipo de material conductor, el tipo de aislante, el tipo de instalación, etc. El procedimiento descrito para el dimensionamiento de la sección de un conductor se recoge en varias ITCs (ITC BT 06 e ITC BT 07) que definen las intensidades máximas admisibles en función del tipo de red (aérea o subterránea). En lo que se refiere a las instalaciones y es de aplicación cuando las tensiones cumplan con lo prescrito en los artículos 2 y 4 del REBT. Las tensiones nominales usualmente utilizadas en las distribuciones de corriente alterna serán:

1. 230 V entre fases para las redes trifásicas de tres conductores.
2. 230 V entre fases y neutro, y 400 V entre fases para las redes trifásicas de 4 conductores.

Las intensidades máximas admisibles, se regirán en su totalidad por lo indicado en la norma UNE 20460-5-523 y su anexo Nacional. En la tabla 4.16 se indican las intensidades admisibles para una temperatura ambiente del aire de  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  y para distintos métodos de instalación, agrupamientos y tipos de cables.



Cuadro 4.16: Intensidad admisible (A) al aire para una temperatura de 40 °C, número de conductores con carga y naturaleza del aislamiento para instalaciones interiores o receptoras (ITC-BT 19, tabla 1). *continuación*

$m m^2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
70				149	160	171	188	202	224	244	321
95				180	194	207	230	245	271	296	391
2,5	11,5	12	13,5	14	16	17,5		20	22	25	
4	15	16	18,5	19	22	24		25	29	35	
6	20	21	24	25	28	30		35	38	45	
10	27	28	32	34	38	42		47	53	61	
16	36	38	42	46	51	56		65	70	83	
25	46	50	54	61	64	71	73	82	88	94	126
A1		51	67	75	78	88	92	102	109	117	157
		73	80	90	96	106	110	124	133	145	191
				116	122	136	144	158	170	187	247
				140	148	167	177	192	207	230	302

XLPE: Polietileno reticulado. PVC: Policloruro de vinilo.

Para otras temperaturas o condiciones de instalación recurrir a la norma UNE 20460-5-523. Una vez obtenida la sección, debe realizarse una revisión del valor calculado en función de diferentes factores de corrección.

Así, supóngase que por el tubo o conducto de la instalación se colocan dos o más circuitos o cables multiconductores. En esa situación será necesario aplicar el factor reductor proporcionado por la tabla 4.18. Por último, será necesario volver a corregir la sección calculada con los coeficientes de la tabla 4.19 si la temperatura ambiente no es de 40 °C. Existen también otros factores de corrección que ponderan la potencia activa nominal de los receptores. En la tabla 4.20 se resumen los valores de los factores de arranque (Fa) y simultaneidad (Fs), tal como se recogen en las ITC-BT 44, 47, 48, 10 y 19, aunque también existen otros que consideran aspectos como la resistividad térmica del terreno (ITC-BT 07, tabla 7) o la profundidad de la instalación (ITC-BT 07, tabla 9).

**Cuadro 4.17.** Descripción del tipo de instalación/cable.

Tipo	Descripción
A	Conductores unipolares aislados en tubos empotrados en paredes aislantes. Cables multiconductores empotrados directamente en paredes térmicamente aislantes.
A2	Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes.
B	Conductores unipolares aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra.
B2	Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra.
C	Cables multiconductores directamente sobre la pared.
E	Cables multiconductores al aire libre. Distancia a la pared no inferior a 0,3 veces el diámetro.
F (2)	Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior al diámetro.
G	Cables unipolares separados un mínimo del diámetro.
(1)	Según la relación entre el diámetro del cable y su alojamiento, puede ser de aplicación el método B2.
(2)	El tipo F se aplica a los mismos sistemas de instalación que el tipo E, cuando la sección del conductor es superior a 25 mm <sup>2</sup> .

**Cuadro 4.18.** Factores de reducción para agrupamiento de varios circuitos en una línea general de alimentación o derivación individual (UNE 20460-5-523).

Ref.	Disposición de cables contiguos	N. de circuitos o cables multiconductores											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1	Agrupados en una superficie empotrados o embutidos	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
2	Capa única sobre pared, suelo o superficie sin perforar	1,00	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	Sin reducción adicional para más de 9 circuitos o cables multiconductores		
3	Capa única en el techo	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65	0,60	0,60			
4	Capa única en una superficie perforada vertical u horizontal	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,75	0,75	0,70	0,70			
5	Capa única con apoyo de bandeja escalera o abrazaderas (collarines), etc.	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80			

Nota: En el caso de agrupaciones en acometidas aéreas o subterráneas ver tablas 6 y 8 de las ITC-BT 06 y 07.

**Cuadro 4.19.** Factores de corrección en función de la temperatura ambiente (ITC-BT-06, 07).

Temperatura ambiente °C	Aislamiento			
	PVC	XLPE y EPR	Mineral	
			Cubierta de PVC o desnudo accesible 70 °C	Desnudo inaccesible 105 °C
10	1,40	1,26	1,48	1,24
15	1,34	1,23	1,41	1,21
20	1,29	1,19	1,34	1,16
25	1,22	1,14	1,26	1,13
30	1,15	1,10	1,18	1,09
35	1,08	1,05	1,09	1,04
40	1,00	1,00	1,00	1,00
45	0,91	0,96	0,89	0,96
50	0,82	0,90	0,79	0,91
55	0,70	0,83	0,67	0,87
60	0,57	0,78	0,53	0,81
65		0,71		0,76
70		0,64		0,71
75		0,55		0,65
80		0,45		0,59
85				0,51
90				0,43
95				0,35

**Cuadro 4.20.** Factores de corrección adicionales.

Nombre	Descripción	Valor	ITC-BT
$F_a$	Factor de arranque. Considera la demanda adicional de intensidad de ciertos receptores durante la conexión <b>NOTA:</b> Se aplica sobre la $I_{demandada}$ por la carga.	Motores. $F_a=1,25$ Lámparas de descarga $F_a=1,8FP$	44, 47 y 48
$F_s$	Factor de simultaneidad. Considera que cuando existen varios receptores alimentados por el mismo conductor, no todos funcionan simultáneamente. <b>NOTA:</b> Se aplica sobre la $I_{demandada}$ por la carga.	Industrias. Valor empírico Viviendas. Según el grado de electrificación	19 10
$F_{ex}$	Factor de tipo de local. Se considera únicamente cuando la instalación discurre por locales con riesgo de incendio o explosión.	$F_{ex}=0,85$	29

## Ejemplo 4.2

Se quiere calcular por el criterio térmico la sección de un cable unipolar aislado con PVC que se quiere utilizar para alimentar a un receptor trifásico que absorbe una intensidad de 62 A. La canalización que va a contener los cables es tubo de plástico corrugado empotrado en una pared de tipo aislante. La temperatura del local es de  $45^{\circ}\text{C}$  y se sabe que por el mismo tubo por el que van a ir los cables ya se ha instalado anteriormente otra línea trifásica.

*Solución:* Dado que se trata de conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes, se utilizará la tabla 4.16 apartado A. El valor normalizado igual o inmediatamente superior corresponde a una sección de  $25\text{ mm}^2$  ( $I_{admisible}=64\text{ A}$ ). Esta primera estimación debe ser corregida para tener en cuenta que el tubo tiene más de cuatro conductores. Dado que en el tubo ya existía un circuito, debe aplicarse un factor de corrección, tal como se define en la tabla 4.18, que será de 0,80. La intensidad máxima será entonces  $I_{max} = 64 \cdot 0,80 = 51,2\text{ A}$ . Como la intensidad que debe transportar el cable es de 62 A, vemos que se necesita una sección mayor, ya que con este primer factor de corrección, la intensidad se queda por debajo de los 62 A necesarios. Si se pasa al valor siguiente de sección normalizada de  $35\text{ mm}^2$  ( $I_{admisible}=77\text{ A}$ ), la intensidad máxima será  $I_{max} = 77 \cdot 0,80 = 61,6\text{ A}$ . Se observa que la intensidad sigue siendo insuficiente, por lo que se recurre de nuevo a la sección superior, que es  $50\text{ mm}^2$  ( $I_{admisible}=94\text{ A}$ ). Esto es,  $I_{max} = 94 \cdot 0,80 = 75,2\text{ A} > 62\text{ A}$ . En este caso la intensidad corregida sigue siendo mayor que los 62 A que deben transportarse, por lo que a falta del factor de corrección por temperatura, esta sección es adecuada. Si se considera ahora la temperatura del local que es de  $45^{\circ}\text{C}$ , será necesario, tal como se muestra en la tabla 4.19 aplicar un nuevo factor de corrección de 0,91, por lo que la intensidad máxima será ahora de,  $I_{max} = 75 \cdot 0,91 = 68,4\text{ A} > 62\text{ A}$ . Como puede observarse, la intensidad máxima sí es superior a la intensidad que debe transportarse, por lo que la sección de  $50\text{ mm}^2$  resulta adecuada.



Como resumen: Si es necesario calcular la sección de un cable, deben aplicarse los dos criterios: caída de tensión y térmico. Una vez obtenida la sección según ambos criterios, se elegirá como adecuada la mayor de las dos obtenidas.

## 4.4. Sistemas de distribución eléctrica

En este primer contacto con las instalaciones eléctricas, es necesario realizar una introducción a los sistemas de distribución, ya que su arquitectura está directamente relacionada con cuestiones tan importantes como la seguridad eléctrica.

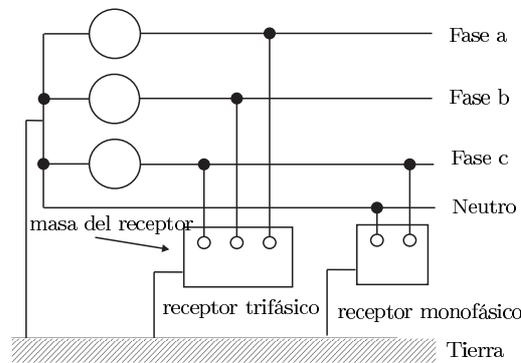
### 4.4.1. Seguridad eléctrica

Uno de los aspectos más problemáticos para el Ingeniero de Telecomunicación que se aproxima por primera vez a las instalaciones eléctricas, es el choque conceptual de manipular magnitudes de tensión e intensidad que presentan órdenes de magnitud superiores a las usuales de los circuitos analógicos. Así, intensidades de cientos e incluso miles de amperios son habituales en las instalaciones eléctricas industriales de baja tensión. Lo mismo sucede con la tensión, niveles de 230 y 400 V son comunes en dichas instalaciones. Si un error de diseño o de operación de un circuito electrónico de los utilizados habitualmente por los Ingenieros de Telecomunicación suele ser fatal únicamente para el propio circuito y quizá, para el balance de resultados económicos de la empresa, el mismo error en la operación de una red de BT puede suponer un accidente con peligro para la integridad de los propios operadores. Este suele ser uno de los motivos por

los que resulta difícil encontrar voluntarios dentro de los propios estudiantes de Telemco para trabajar con este tipo de instalaciones. En los siguientes apartados se presentarán los sistemas de distribución más utilizados, así como los métodos de protección empleados para garantizar una explotación segura de los mismos.

## 4.5. Sistema de distribución con neutro rígido a tierra (TT)

Este sistema se denomina así porque el sistema de generadores trifásico tiene su neutro conectado a tierra. Es el caso de las instalaciones domésticas y de la mayor parte de las instalaciones industriales en BT en España. En este tipo de sistemas de distribución, los receptores deben tener sus masas conectadas también directamente a tierra. En la figura 3.5 se muestra un esquema eléctrico que resume la conexión de este sistema de distribución.



**Figura 4.5.** Sistema de distribución con neutro rígido a tierra.

El sistema de distribución TT presenta como rasgos más relevantes:

1. Se trata de un sistema fácil de instalar y explotar, que no requiere de personal muy cualificado.
2. Se trata de un sistema que no tolera fallos. Su desconexión debe ser inmediata tras producirse el primer defecto de aislamiento.
3. Un cortocircuito en la instalación provoca grandes corrientes de defecto que deben ser eliminadas rápidamente. Sin embargo, los cortocircuitos a tierra no producen elevaciones de potencial en el conductor neutro.

Desde el punto de vista de la seguridad de las personas, es necesario analizar dos situaciones no deseadas que resultan potencialmente peligrosas.

### 4.5.1. Contacto directo

Se denomina contacto directo al contacto que se produce entre una persona que tiene los pies o una parte de su cuerpo a tierra y que toca uno de los conductores de fase. Se trata de la forma de contacto más peligrosa, ya que la intensidad de defecto que va a circular por su cuerpo estará limitada únicamente por la resistencia de tierra y por la propia resistencia de contacto del cuerpo. En la figura 3.6 se muestra un esquema en el que se representa un contacto directo.

Como puede observarse de la figura 3.6, la intensidad de defecto  $\bar{I}_c$  está limitada únicamente por la resistencia de contacto  $R_c$  del cuerpo humano y por la resistencia de tierra. En el caso de la resistencia de contacto  $R_c$ , ésta puede variar mucho de un tipo de piel a otro (piel húmeda y fina o rugosa y seca) pero se puede pensar que varía entre un 1 y  $50 \text{ k}\Omega$ . En el caso de

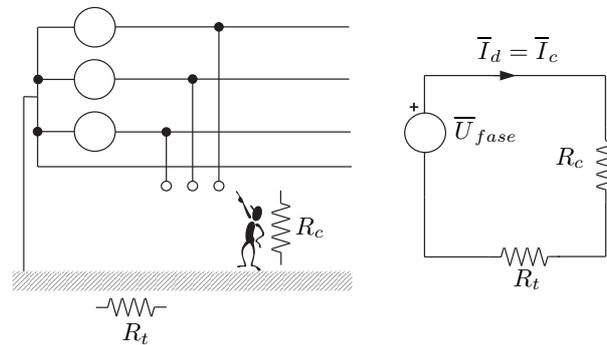


Figura 4.6. Contacto directo en un sistema de distribución TT.

la resistencia de tierra, también presenta valores variables entre unos pocos ohmios y algunas decenas de ohmios.

#### Ejemplo 4.3

Obtener la intensidad de contacto que pasará por una persona si ésta realiza un contacto directo en un sistema TT, sabiendo que la tensión simple es de 230 V, la resistencia de contacto  $R_c = 2000 \Omega$  y  $R_t = 20 \Omega$ .

Solución:

$$I_c = \frac{U_f}{R_t + R_c} = \frac{230}{20 + 2000} = 114 \text{ mA} \quad (4.18)$$

#### 4.5.2. Contacto indirecto

Se denomina contacto indirecto al que se produce entre una persona que tiene los pies o alguna parte de su cuerpo a tierra y toca un conductor activo a través de una resistencia de defecto no nula. Este tipo de contacto es menos peligroso que el contacto directo, si bien el nivel de peligrosidad dependerá, en cualquier caso, de los valores de impedancia del circuito que se forma. En la figura 3.7 se muestra un ejemplo de este tipo de defecto.

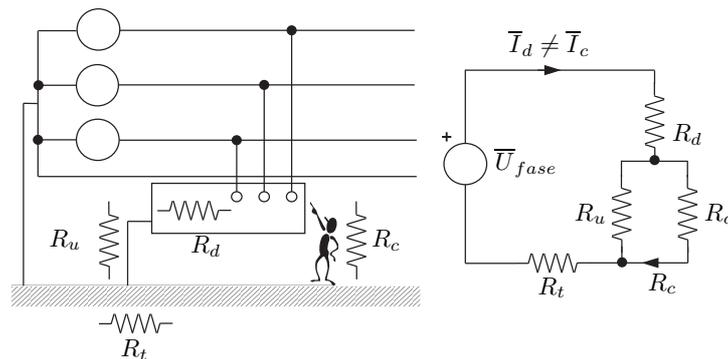


Figura 4.7. Contacto indirecto en un sistema de distribución TT.

En el caso de un contacto indirecto, la intensidad de contacto dependerá del valor de la resistencia de defecto  $R_d$ , así como de la resistencia de tierra  $R_t$  y la de puesta a tierra del equipo con el defecto  $R_U$ . La expresión de la  $I_c$  será,

$$I_d = \frac{U_f}{R_t + R_d + \frac{R_u R_c}{R_u + R_c}} \quad (4.19)$$

A partir de la intensidad de defecto es posible obtener la tensión de contacto  $U_c$ ,

$$U_c = I_d \frac{R_u R_c}{R_u + R_c} = \frac{U_f}{R_t + R_d + \frac{R_u R_c}{R_u + R_c}} \frac{R_u R_c}{R_u + R_c} \quad (4.20)$$

A partir de la tensión de contacto  $U_c$  y de la resistencia de contacto  $R_c$ , es fácil obtener la intensidad de contacto  $I_c$ .

$$I_c = \frac{U_c}{R_c} = \frac{1}{R_c} \frac{U_f}{R_t + R_d + \frac{R_u R_c}{R_u + R_c}} \frac{R_u R_c}{R_u + R_c} \quad (4.21)$$

**Ejemplo 4.4**

Obtener el valor de la intensidad de contacto sabiendo que: Tensión simple de 230 V; Resistencia de tierra de 20  $\Omega$  ; Resistencia de puesta a tierra del equipo de 30  $\Omega$  ; Resistencia de defecto de 10  $\Omega$  ; Resistencia de contacto de 2000  $\Omega$ .

*Solución:*

$$I_c = \frac{1}{2000} \frac{230}{30 + 10 + \frac{30 \cdot 2000}{30 + 2000}} \frac{30 \cdot 2000}{30 + 2000} = 49 \text{ mA} \quad (4.22)$$

## 4.6. Sistema de distribución con neutro aislado (IT)

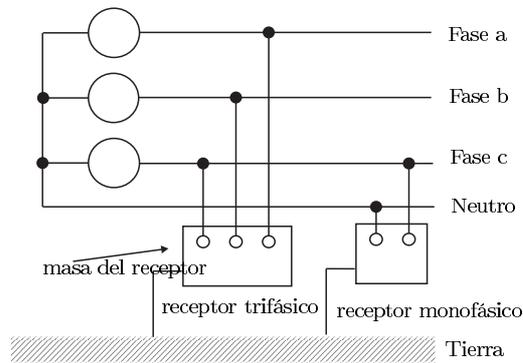
El sistema de distribución con neutro aislado recibe su nombre del hecho de que el neutro del sistema de generadores se encuentra aislado de la tierra de la instalación, al contrario de lo que ocurre con el sistema de neutro rígido a tierra. En la figura 3.8 se muestra la estructura de este tipo de sistemas de distribución. El sistema IT presenta como rasgos más relevantes:

- Un defecto de aislamiento no causa problemas. Sin embargo, y como se verá más adelante, un doble defecto de aislamiento origina que el contacto se produzca, en el peor de los casos, a la tensión compuesta de distribución. Este hecho origina que la búsqueda y eliminación del primer defecto sea obligatoria en cuanto se produzca.
- Este sistema garantiza una continuidad de servicio en explotación máxima, gracias a su tolerancia a un fallo.
- La necesidad de detectar y eliminar el primer defecto en cuanto aparezca, obliga a instalar un controlador permanente de aislamiento, así como disponer de personal técnico cualificado y una adecuada planificación del mantenimiento.

Desde el punto de vista de la seguridad de las personas, es necesario analizar dos casos: defecto simple y defecto doble.

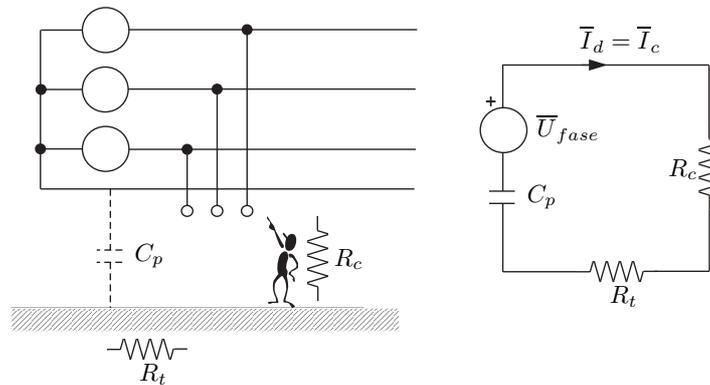
### 4.6.1. Defecto simple

En un principio, el sistema IT está preparado para ser tolerante a un defecto. La idea básica, como puede observarse en la figura 4.9 reside en el hecho de que aunque un usuario esté tocando un conductor de fase de forma directa, no existe camino de retorno para la corriente de defecto, por lo que esta es nula. Sin embargo, las instalaciones reales presentan siempre, en mayor o menor medida, una capacidad parásita entre el neutro del sistema de generadores y la tierra, lo



**Figura 4.8.** Sistema de distribución con neutro aislado.

que proporciona un camino de retorno para la intensidad de defecto. En la figura 4.9 se recoge este hecho.



**Figura 4.9.** Contacto directo en un sistema de distribución IT.

Obsérvese que la capacidad parásita se representa de forma concentrada mediante un condensador denominado  $C_p$ . Desde el punto de vista circuital, la intensidad de defecto puede obtenerse mediante la expresión,

$$I_d = \frac{U_f}{\sqrt{(R_c + R_t)^2 + \left(\frac{1}{\omega C_p}\right)^2}} \quad (4.23)$$

donde,

$C_p$  Capacidad parásita entre el neutro y la tierra de la instalación.

$R_c$  Resistencia de contacto del cuerpo. Valor típico alrededor de  $2 \text{ k}\Omega$ .

$R_t$  Resistencia de tierra.

$U_f$  Tensión de fase.

## Ejemplo 4.5

Calcular la intensidad de defecto en una instalación trifásica de neutro aislado de 400 V si se sabe que el cable presenta una capacidad de  $0,01 \mu F/km$  y el cable tiene una longitud de 1 km. Considerar que la resistencia de contacto del cuerpo humano es de  $2 k\Omega$ . La resistencia de tierra es de  $20 \Omega$ .

*Solución*

$$I_d = \frac{230}{\sqrt{(2000 + 20)^2 + \left(\frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6}}\right)^2}} = 0,72 \text{ mA} \quad (4.24)$$

Como puede observarse, la intensidad de defecto es muy pequeña. Sin embargo, a medida que la longitud del cable o la capacidad por km aumenta, la intensidad de defecto también lo hace.

#### 4.6.2. Defecto doble

El defecto doble se produce si un usuario entra en contacto con dos fases. Lógicamente este hecho se presenta si existen dos defectos de aislamiento en carcasas diferentes. Imagine dos máquinas alimentadas por una red trifásica. Suponga que en una de las máquinas se produce un defecto de aislamiento, de forma que por ejemplo la fase a toca la carcasa del equipo. En ese momento, la carcasa se pone al mismo potencial que la fase a. Si en dicha situación un usuario contacta con la carcasa no sucederá nada, debido a que no existe camino de retorno para la intensidad de defecto. Suponga ahora que en la segunda máquina se produce un defecto y el usuario toca la fase b o c. Si al mismo tiempo que el usuario toca las fases b ó c éste se apoyase en la máquina con el defecto de la fase a, estaría a un potencia igual a la tensión compuesta. Este hecho sería muy grave, ya que en ese caso la intensidad de defecto estará limitada únicamente por la resistencia de contacto y por la propia tensión de la instalación.

$$I_d = \frac{U_{\text{linea}}}{R_c} \quad (4.25)$$

Para una tensión de 400 V y una resistencia de contacto de  $2 k\Omega$  la intensidad de defecto será de 200 mA, lo que supone entrar en la zona de peligro si el contacto se prolonga más allá de unos pocos ms.



La elección del sistema de distribución más adecuado dependerá de factores como la disponibilidad de técnicos especializados, la necesidad de un sistema tolerante a un fallo o la propia reglamentación. Existen aplicaciones como quirófanos e iluminación de emergencia que requieren obligatoriamente sistemas de distribución IT.

## 4.7. Protecciones básicas en las instalaciones eléctricas

El mundo de las protecciones eléctricas es enormemente amplio y complejo. Sin embargo, es posible definir algunos conceptos generales en lo que respecta a las protecciones más usuales en las instalaciones eléctricas que nos permita comprender tanto su funcionamiento como las condiciones más generales de su utilización. Las protecciones más básicas en los entornos doméstico e industrial son:

1. El fusible.
2. La protección térmica y magnética, también conocida como magnetotérmico.
3. La protección diferencial.

### 4.7.1. Fusible

El fusible es quizá el elemento de protección más antiguo de los que se utilizan habitualmente en ingeniería eléctrica. En su configuración más básica un fusible no es más que un hilo dimensionado adecuadamente para fundirse cuando la intensidad que circule por él supere un determinado valor. Su principio de funcionamiento es sencillo. Todo hilo conductor presenta una resistencia  $R$  que es función de la resistividad del material con el que está construido, así como de la sección  $S$  y longitud  $l$  del mismo,

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (4.26)$$

Dicho conductor consume una potencia activa  $P$  que es proporcional a la resistencia  $R$  y al cuadrado de la intensidad  $I$  que circula por él.

$$P = RI^2 \quad (4.27)$$

Al cabo de un tiempo  $t$ , la energía  $E$  absorbida por el conductor será,

$$E = Pt = RI^2t \quad (4.28)$$

Parte de la energía  $E$  será disipada al ambiente y el resto provocará un incremento de temperatura del mismo. Si la temperatura final del conductor es superior a la de fusión del material, el hilo se fundirá abriendo el circuito. Por lo tanto, el fusible puede ser visto como un dispositivo que se coloca en serie con el dispositivo o circuito a proteger con la idea de ser el elemento más débil de la cadena. En la figura 4.10 se muestran varias fotografías con diferentes formatos de fusibles en función de la aplicación para la que están concebidos.

Desde el punto de vista de un primer acercamiento al estudio de los fusibles, es deseable establecer algunos criterios básicos que nos ayuden en el proceso de selección. Algunos de los factores a considerar en la selección de un fusible son:

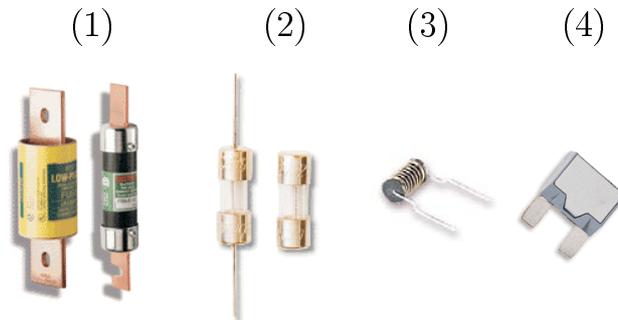
1. Intensidad nominal de funcionamiento.
2. Tensión máxima de conexión.
3. Temperatura ambiente de utilización.
4. Intensidad de sobrecarga y tiempos de actuación (curva I-t).
5. Poder de corte del fusible.
6. Comportamiento frente a transitorios y perturbaciones en general.
7. Dimensiones físicas, indicación visual del estado, facilidad de reposición, tipo de encapsulado, envolvente en la que se conecta, etc.
8. Normativa a cumplir.

Desde el punto de vista de su selección es necesario, en primer lugar, conocer el valor de la intensidad nominal  $I_N$  que va a circular por el mismo. Una vez fijada  $I_N$ , debe elegirse un fusible con una intensidad de fusión  $I_F$  tal que,

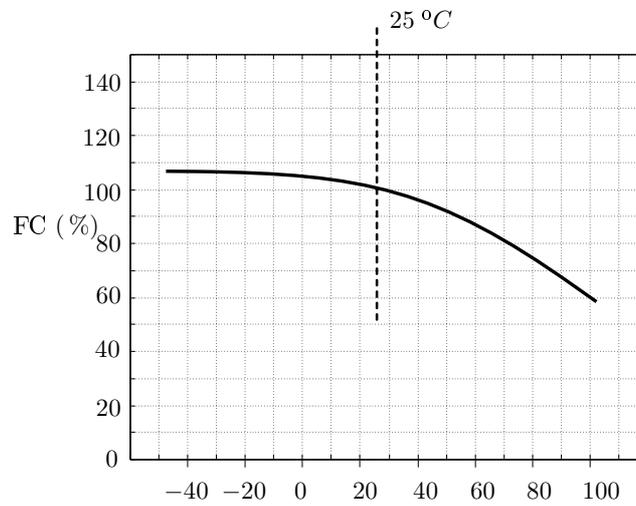
$$I_F = \frac{I_N}{0,75} \quad (4.29)$$

Dado que la  $I_F$  se define a una temperatura de 25 °C, es necesario realizar una corrección del valor de  $I_F$  si la temperatura es diferente. El propio fabricante del fusible suele proporcionar una tabla o gráfica para obtener el factor de corrección FC en función de la temperatura ambiente. En último término, la  $I_F$  para una temperatura  $T$  será,

$$I_F(T^{\circ}C) = \frac{I_F(25^{\circ}C)}{FC} \quad (4.30)$$



**Figura 4.10.** Diferentes tipos de fusibles. (1) Fusible de gran potencia utilizado en instalaciones eléctricas. (2) Fusible de pequeño formato utilizado en circuitos electrónicos. (3) Fusible de protección de líneas de datos en equipos de telecomunicación. (4) Fusible utilizado en automoción.



**Figura 4.11.** Factor de corrección (FC) de la intensidad  $I_F$  en función de la temperatura ambiente.

En la figura 4.11 se muestra una curva con los factores de corrección  $FC$  para diferentes temperaturas ambiente.

## Ejemplo 4.6

Se quiere obtener el valor de la  $I_F$  de un fusible sabiendo que la intensidad nominal que consume el equipo que va a proteger es de 2 A. Nota la temperatura ambiente es de  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ .

*Solución:* La  $I_F$  a  $25\text{ }^\circ\text{C}$  será,

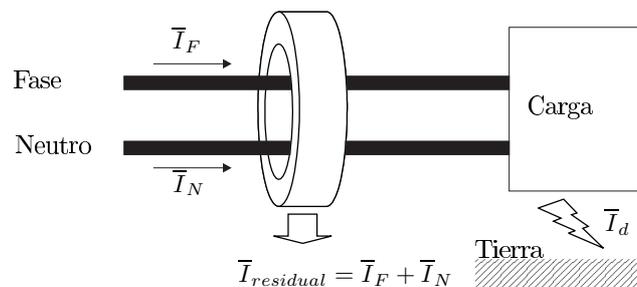
$$I_F(25\text{ }^\circ\text{C}) = \frac{2}{0,75} = 2,67\text{ A} \quad (4.31)$$

Como la temperatura ambiente es de  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  es necesario obtener el  $FC$ , ya que será distinto de la unidad. De la gráfica 4.11, el  $FC$  a  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  es del 110%, por lo que la  $I_F$  corregida será,

$$I_F(-10\text{ }^\circ\text{C}) = \frac{I_F(25\text{ }^\circ\text{C})}{FC} = \frac{2,67}{1,11} = 2,4\text{ A} \quad (4.32)$$

#### 4.7.2. Protección diferencial

La protección diferencial, en su concepto más básico de aplicación doméstica e industrial, está reconocida como un medio eficaz para asegurar la protección de personas contra los riesgos de la corriente eléctrica, en B.T., tanto como consecuencia de un contacto directo como indirecto. Los equipos que permiten realizar una protección diferencial reciben el nombre de diferenciales o dispositivos diferenciales residuales (DDR). Tal como se estudió en el apartado dedicado a los contactos eléctricos, las situaciones potencialmente peligrosas de utilización de la corriente eléctrica se producen en situaciones de contacto directo e indirecto. Tanto en el caso de un contacto directo como indirecto se cumple la condición de una circulación de intensidad por un camino eléctrico que no coincide ni con los conductores de fase ni con el de neutro. El principio fundamental en el que se basa el funcionamiento de la protección es el primer lema de Kirchhoff, que establece que la suma de intensidades en un nudo deber ser nula.



**Figura 4.12.** Estructura de colocación y funcionamiento de un transformador toroidal para detección de intensidades residuales en contactos directos e indirectos en sistemas TT.

En efecto, supóngase que se dispone de un dispositivo toroidal como el de la figura 4.7.2, que permite obtener la suma de intensidades de todos los conductores a los que abraza.

De la figura y del primer Lema de Kirchhoff se deduce que si no existe ningún defecto, tanto la intensidad de defecto como la residual serán nulas. Como es lógico, en dicha situación se cumple que la intensidad de fase  $I_F$  coincide con la de neutro  $I_N$  con signo cambiado. En el caso de que exista un defecto, independientemente de que sea éste directo o indirecto, la intensidad  $I_d$  será no nula, y por tanto, tampoco serán iguales  $I_F$  e  $I_N$ , lo que origina que exista una intensidad residual no nula. Todo lo descrito tiene validez igualmente en el caso de diferenciales para utilización en instalaciones trifásicas. La diferencia reside en el hecho de que el toroide debe abrazar a los tres conductores de fase y al neutro. En la figura 4.13 se muestra

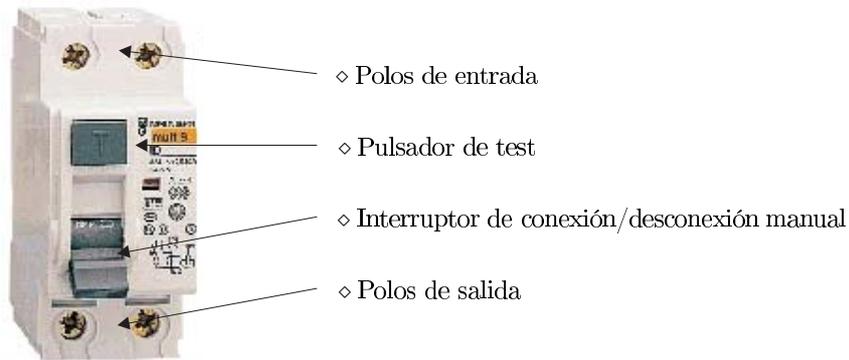


Figura 4.13. Aspecto de una protección diferencial bipolar.

el aspecto de un diferencial comercial.

### 4.7.3. Protección magneto-térmica

La protección magnetotérmica es conocida también en el mundo de las instalaciones eléctricas como interruptor automático. Según la norma UNE EN 60898, se trata de un aparato mecánico de conexión/desconexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en las condiciones normales de un circuito, así como de establecer, soportar durante un tiempo determinado e interrumpir corrientes en condiciones anormales de funcionamiento, tales como la sobrecarga o el cortocircuito. En la figura 4.14 se observa el aspecto y estructura interna de un interruptor automático convencional de un único polo.

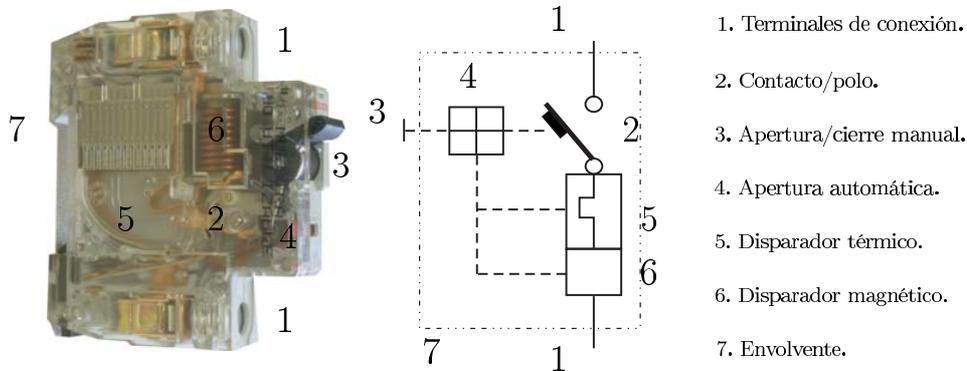


Figura 4.14. Estructura interna de un interruptor automático.

Los interruptores automáticos se conocen, entre otras cosas, por el número de contactos o polos que pueden conmutar. Los interruptores comerciales se pueden encontrar en formatos de uno, dos, tres o cuatro contactos, dando lugar a un interruptor unipolar, bipolar, tripolar o tetrapolar. En algunos interruptores comerciales, uno de los polos no tiene protección térmica ni magnética y suele dedicarse al conductor de neutro. Desde el punto de vista de su funcionamiento, los interruptores automáticos se caracterizan por la curvas  $I-t$ , que representan el lugar geométrico de los puntos  $(I, t)$  que definen la frontera entre las áreas permitida y no permitida de operación. En la figura 4.15 se muestra una curva  $I-t$  con sus características principales. En el eje de abscisas de la gráfica se representa la intensidad normalizada al valor nominal de la protección. Supóngase por ejemplo un interruptor automático de intensidad nominal  $I_N = 20$  A. Como se observa de la figura 4.15, para una abcisa  $I/I_N$  igual a uno, el interruptor puede

soportar indefinidamente dicha intensidad sin disparar. Por el contrario, para una intensidad tres veces la nominal el interruptor disparará superado un tiempo de 10 ms, necesario para magnetizar el electroimán del circuito magnético. En la zona de intensidad inferior a tres veces  $I_N$ , el disparo se produce según una función inversa del tiempo. A mayor intensidad menor tiempo. Por ejemplo para una intensidad de  $2I_N$  el disparo se produce a los 20 s. Esta zona curva definida para intensidades por debajo de  $3I_N$  está definida por la protección magnética.

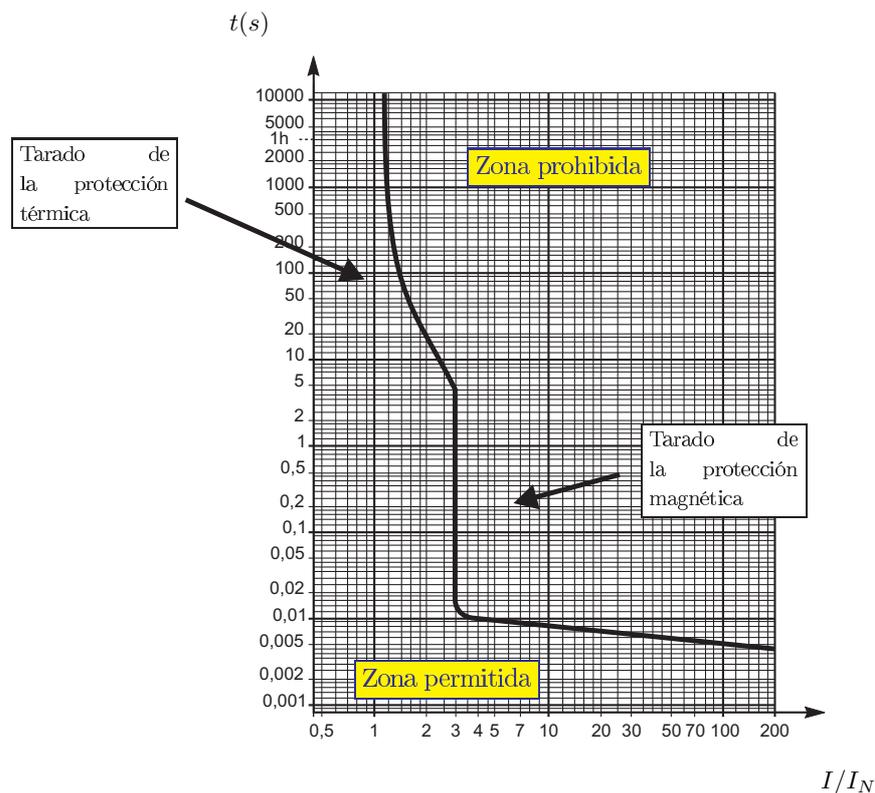


Figura 4.15. Curva I-t de un interruptor automático.

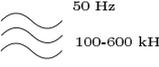
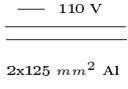
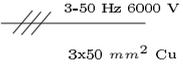
## 4.8. Esquemas eléctricos

De igual forma que el Ingeniero de Telecomunicación utiliza habitualmente los esquemas electrónicos para representar sus circuitos, existe en el mundo de la tecnología de las instalaciones eléctricas una simbología normalizada que es necesario conocer. En algunos aspectos, la simbología utilizada presenta coincidencias con la utilizada en los circuitos electrónicos. Se presenta, a continuación, un resumen de la simbología más comúnmente utilizada.

### 4.8.1. Símbolos eléctricos

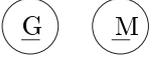
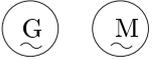
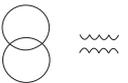
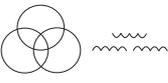
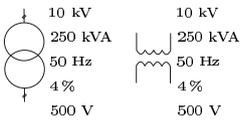
Los símbolos que se presentan a continuación están obtenidos de las normas UNE 20004 y UNE EN 60617.

Cuadro 4.21. Resumen de símbolos utilizados habitualmente en ingeniería eléctrica.

Símbolo	Descripción
	Símbolo general para la corriente continua.
	Símbolo general para la corriente alterna. Normalmente se considera que la frecuencia es de marcha industrial (50 Hz)
 50 Hz 100-600 kHz 500 MHz	Corriente alterna de 50 Hz; de 100 a 600 kHz; de 500 MHz
	Símbolo para aparatos y máquinas de utilización indistinta con corriente alterna o continua.
	Corriente alterna de $m$ fases y frecuencia $f$ .
	Corriente alterna trifásica con neutro (4 conductores) de 50 Hz y 400 V de tensión compuesta.
	Devanado trifásico conectado en triángulo.
	Devanado trifásico conectado en estrella.
	Devanado trifásico conectado en estrella con neutro accesible.
	Dos conductores.
	Tres conductores.
	$n$ conductores.
	Circuito de corriente continua de 110 V, con dos conductores de aluminio de $125 \text{ mm}^2$ de sección.
	Circuito trifásico de 50 Hz y 6 kV de tensión compuesta con conductores de cobre de $50 \text{ mm}^2$ de sección.
	Derivación.

*continúa en la página siguiente*

Cuadro 4.21: Resumen de símbolos utilizados habitualmente en ingeniería eléctrica.  
*continuación*

Símbolo	Descripción
	Toma de tierra.
	Falta. Defecto de aislamiento.
	Tensión peligrosa. Indica que en el equipo o instalación existe uno o varios puntos con una tensión peligrosa.
	Localización de una falta a tierra (cortocircuito)
	Generador.
	Motor.
	Generador y motor de corriente continua.
	Generador motor de corriente alterna.
	Motor de inducción con rotor cortocircuitado.
	Transformador con dos devanados separados.
	Transformador de tres devanados separados
	Transformador monofásico con las siguientes características: 250 kVA de potencia nominal. Relación de tensiones: 10 kV / 500 V. 50 Hz Tensión de cortocircuito del 4%.

*continúa en la página siguiente*

Cuadro 4.21: Resumen de símbolos utilizados habitualmente en ingeniería eléctrica.  
*continuación*

Símbolo	Descripción
	<p>Transformador trifásico de dos devanados separados. 4 MVA de potencia nominal. Relación de tensiones compuestas: 60 kV / 10 kV Tensión de cortocircuito del 7,5%. Grupo de conexión: Estrella-Triángulo con índice horario 11.</p>
	Convertidor de corriente continua en corriente continua.
	Convertidor de corriente alterna en corriente continua. (rectificador)
	Convertidor de corriente continua en corriente alterna (ondulador / inversor)
	Contacto de cierre. Símbolo general de interruptor. Estado de reposo abierto.
	Contacto de apertura. Estado de reposo cerrado.
	Interruptor térmico autoaccionado (por ejemplo lámina bimetálica) con contacto de apertura.
	Contactador.
	Contactador con desconexión automática provocada por un relé de medida.
	Interruptor automático.

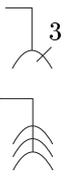
*continúa en la página siguiente*

Cuadro 4.21: Resumen de símbolos utilizados habitualmente en ingeniería eléctrica.  
*continuación*

Símbolo	Descripción
	Seccionador.
	Interruptor seccionador con apertura automática provocada por un relé de medida o un disparador incorporados.
	Dispositivo de mando. Símbolo general.
	Dispositivo de mando de un relé térmico.
	Relé de medida. El asterisco debe ser reemplazado por una o más letras indicando la función del relé. Por ej.: I > representa un relé magnético.
	Símbolo general de fusible.
	Aparato indicador. El asterisco debe ser sustituido por la magnitud medida. Ej: V para medida de tensión; A para medida de intensidad.
	Aparato integrador (por ejemplo, contador de energía). El asterisco debe ser sustituido por la magnitud registrada. Ej.: h para contador horario; Wh para un contador de energía activa; VARh para contador de energía reactiva.
	Símbolo general de lámpara.
	Timbre.
	Caja. Símbolo general.

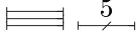
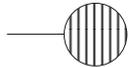
*continúa en la página siguiente*

Cuadro 4.21: Resumen de símbolos utilizados habitualmente en ingeniería eléctrica.  
*continuación*

Símbolo	Descripción
	Caja de conexiones. Caja de derivación.
	Caja de acometida. El símbolo está representado con un cableado.
	Caja de distribución. El símbolo está representado con cinco cableados.
	Base de toma de corriente. Símbolo general.
	Base para varias tomas de corriente. En el símbolo se representan tres tomas.
	Base de toma de corriente con contacto para conductor de protección.
	Base de toma para terminal de telecomunicación. Acompañar del símbolo de funcionalidad. (ej. TV para televisión; FM para frecuencia modulada; TP para teléfono)
	Interruptor. Símbolo general.
	Interruptor bipolar.
	Interruptor unipolar de dos posiciones.
	Conmutador unipolar.

*continúa en la página siguiente*

Cuadro 4.21: Resumen de símbolos utilizados habitualmente en ingeniería eléctrica.  
*continuación*

Símbolo	Descripción
	Botón pulsador.
	Punto de salida para aparato de iluminación.
	Luminaria. Símbolo general.
	Ejemplos de luminarios con tres y cinco tubos fluorescentes.
	Calentador de agua.
	Ventilador.

## 4.9. Ejercicios

1. Describir los cables siguientes: a) 4X50; b) 2X32+1G16; c) 3X70/35; d) 2XY.

2. Se pretende alimentar a 230 V un conjunto de 5 PCs, sabiendo que cada uno de ellos consume 700 VA con un FP = 0,9 (i). Si los PCs se encuentran a 100 m del cuadro general de protección (CGP) y se utilizan conductores de cobre electrolítico, calcular: Sección del conductor para que la caída de tensión máxima en la línea sea del 2%. NOTA: Utilizar únicamente el criterio de caída de tensión, y considerar que los conductores tienen carácter resistivo.

3. Se quiere alimentar a 230 V un conjunto de 2 PCs y 4 fluorescentes para iluminación. Se sabe que cada PC consume 500 W con un FP = 0,9 (i), mientras que cada fluorescente consume 60 W con un FP = 0,8 (i). Se pide: a) Obtener la sección de cable necesaria para alimentar al conjunto, sabiendo que el conductor utilizado es de cobre electrolítico y tiene una longitud de 70 m; b) Repetir los cálculos si el conductor utilizado es de aluminio recocido. NOTA: Considerar una caída de tensión máxima del 2%.

4. Un motor trifásico para la ventilación del centro de cálculo de una empresa de telefonía absorbe 15 A, con un FP = 0,7 (i) cuando está conectado a una red trifásica equilibrada de 400 V que tiene 50 m de longitud. Se pide: a) Obtener la sección de los conductores de cobre electrolítico necesarios para que la caída de tensión en la línea sea como máximo de 10 V; b) Repetir el apartado (a) para un caída de tensión máxima de 5 V.

5. Se quiere dimensionar por el criterio de calentamiento la sección de los conductores necesaria para alimentar las cargas del ejercicio 2, sabiendo que: se utiliza cable bipolar que se coloca directamente sobre la pared; los conductores del cable están fabricados con cobre y su aislamiento es de polietileno reticulado; la temperatura ambiente no supera nunca los 30 °C.

6. Se quiere dimensionar por el criterio de calentamiento la sección de los conductores necesaria para alimentar las cargas del ejercicio 3, sabiendo que se: se utilizan dos cables unipolares que se colocan en un tubo; los conductores del cable están fabricados con cobre y su aislamiento es PVC; la temperatura ambiente alrededor de los cables no supera los 50 °C.

7. Comparar los sistemas de distribución TT con los IT.

8. Dimensionar el fusible necesario para proteger un ordenador, sabiendo que su potencia nominal es de 700 VA con un FP = 0,8 (i) y que la temperatura ambiente máxima puede llegar a los 55 °C. NOTA: Los valores normalizados de la serie son: [1 1,6 2 2,5 3 4 5 8 10] A.

9. En una instalación informática alimentada mediante una distribución monofásica de B.T. con neutro rígido a tierra (TT) es necesario instalar una protección diferencial para cumplir con el reglamento de B.T. Se sabe que la resistencia de tierra es de 20 Ω y que los cables que conectan el CGP con el conjunto de ordenadores presenta una capacidad parásita de 0,173 μF con la tierra de la instalación. Se pide: a) Determinar la intensidad de defecto residual en condiciones normales de explotación de la instalación; b) ¿Qué tarado debe establecerse en el interruptor diferencial? NOTA: La protección diferencial utilizada puede ser tarada a un valor de  $\Delta I_N$  entre 30 mA y 3 A.

10. Se quiere instalar una protección magnetotérmica con una característica I-t tal como la que se muestra en la figura 3.15. Si se sabe que la tensión de red es de 230 V y la  $I_N$  de 10 A, Se pide: a) Valor de la potencia con FP = 0,8(i) que puede demandar indefinidamente la carga conectada “aguas abajo” de la protección sin que ésta dispare; b) Valor de la potencia con FP = 0,8(i) que puede demandar durante al menos 20 s la carga conectada “aguas abajo” de la protección sin que ésta dispare; c) Valor de la potencia con FP = 0,8(i) que puede demandar durante al menos 20 ms la carga conectada “aguas abajo” de la protección sin que ésta dispare.

## 4.10. Soluciones

- 4X50 Cable de 4 conductores aislados de  $50 \text{ mm}^2$  de sección nominal.
- 2X32+1G16 Cable de 2 conductores aislados de  $32 \text{ mm}^2$  de sección nominal más 1 conductor aislado de color amarillo/verde de  $16 \text{ mm}^2$ .
1. 3X70/35 Cable de 3 conductores aislados de  $70 \text{ mm}^2$  de sección nominal y 1 conductor concéntrico de  $35 \text{ mm}^2$  de sección nominal.
- 2XY Cable flexible plano de 2 conductores de Oropel.
2.  $S=10,44 \text{ mm}^2$
3. a)  $S=2,87 \text{ mm}^2$ ; b)  $S=4,59 \text{ mm}^2$
4. a)  $S=1,59 \text{ mm}^2$ ; b)  $S=3,19 \text{ mm}^2$
5.  $S=1,5 \text{ mm}^2$
6.  $S=1,5 \text{ mm}^2$

TT	No necesita personal cualificado. Coste de mantenimiento más reducido que el sistema IT	No soporta ningún defecto fase-tierra. Requiere la utilización de la protección diferencial. En el caso de un contacto fase-tierra pueden originarse grandes corrientes de defecto.
7. IT	Soporta un primer defecto fase-tierra	Requiere de personal cualificado y mantenimiento constante. Un segundo defecto suele provocar un contacto a la tensión compuesta. En el caso de un contacto fase-tierra pueden producirse sobretensiones en el neutro.

8.  $I_{N,\text{fusible}} = 5 \text{ A}$
9. a)  $I_{\text{residual}} = 12,5 \text{ mA}$ ; b) El tarado debe hacerse a un valor superior al de la intensidad residual. En este caso,  $\Delta I_N = 30 \text{ mA}$
10. a)  $1840 \text{ W}$ ; b)  $3680 \text{ W}$ ; c)  $5520 \text{ W}$