

INSTALACIONES III

ELECTROTECNIA

Documentación de apoyo al diseño y dimensionado de instalaciones eléctricas

(V.01)

Jonathan Ruiz Jaramillo

Dr. Arquitecto

1. MATERIALES ADMITIDOS

Línea	Material	S _{min} (mm ²)	U _{asignada} (conductor)
Acometida	Cu / Al	6 (10) / 16	0,6/1 kV
LGA	Cu / Al	10 / 16	0,6/1 kV
DI	Cu / Al	6	450/750 V (0,6/1 kV → can. enterradas)
Instalaciones interiores	Cu	1,5	450/750 V

2. RESISTIVIDAD DE CONDUCTORES (ρ)

RESISTIVIDAD DE ALGUNOS MATERIALES

Material	Símbolo	ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
Plata	Ag	0,0163
Cobre	Cu	0,017
Aluminio	Al	0,028
Cinc	Zn	0,061
Latón	Cu-Ni	0,07
Estaño	Sn	0,12
Hierro	Fe	0,13
Plomo	Pb	0,204

Coefficientes de resistividad de algunos materiales a una temperatura de 20°C. Fuente: (González Lezcano, Aramburu Gaviola y Sancho Alaminaga 2011)

RESISTIVIDAD DEL MATERIAL EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE SERVICIO

$$\rho_{\theta} = \rho_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - 20)]$$

Material	ρ_{20} ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)	ρ_{70} ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)	ρ_{90} ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)	α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Cobre	0,018	0,021	0,023	0,00392
Aluminio	0,029	0,033	0,036	0,00403
Almelec (Al-Mg-Si)	0,032	0,038	0,041	0,00360

Valores de resistividad y del coeficiente de temperatura para los materiales más comúnmente empleados en función de la temperatura de servicio. Fuente: Tabla 2. Guía REBT-2002, Anexo 2

CONDUCTIVIDAD

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

Material	γ_{20}	γ_{70}	γ_{90}
Cobre	56	48	44
Aluminio	35	30	28
Temperatura	20°C	70°C	90°C

Conductividades (γ) en $\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ para el cobre y el aluminio a distintas temperaturas. Fuente: Tabla 3. Guía Técnica REBT-2002, Anexo 2.

TEMPERATURA DE SERVICIO DE CONDUCTORES EN FUNCIÓN DEL TIPO DE AISLAMIENTO

Tipo de Aislamiento seco	Temperatura máxima °C	
	Servicio permanente	Cortocircuito $t \leq 5s$
Policloruro de vinilo (PVC)		
$S \leq 300 \text{ mm}^2$	70	160
$S > 300 \text{ mm}^2$	70	140
Polietileno reticulado (XLPE)	90	250
Etileno Propileno (EPR)	90	250

Cables aislados con aislamiento seco; temperatura máxima en °C asignada al conductor. Fuente: REBT-2002. ITC-BT-07. Tabla 2.

RELACIÓN ENTRE RESISTIVIDAD Y TEMPERATURA DE SERVICIO EN FUNCIÓN DE LA PARTE DE LA INSTALACIÓN

LGA → ρ_{90} → Tipo de aislamiento: XLPE (R), EPR (D)
 DI → ρ_{70} → Tipo de aislamiento: PVC (V); Poliolefinas (Z1)
 II → ρ_{20} →

3. TIPOS DE CABLES ELÉCTRICOS PARA BAJA TENSIÓN

DENOMINACIÓN DE CABLES

1. Designación según tipo de Aislamiento

R Polietileno reticulado (XLPE).
 X Polietileno reticulado (XLPE).
 Z1 Poliolefina termoplástica libre de halógenos.
 Z Elastómero termoestable libre de halógenos.
 V Policloruro de vinilo (PVC).
 S Compuesto termoestable de silicona libre de halógenos.
 D Elastómero de etileno-propileno (EPR).

2. Designación de pantalla, revestimiento interior, asiento de armadura:

- C3 Pantalla de hilos de cobre dispuestos helicoidalmente.
 C4 Pantalla de cobre en forma de trenza, sobre los conductores.
 V Policloruro de vinilo (PVC).
 Z1 Poliolefina termoplástica libre de halógenos

Si no lleva pantalla ni revestimiento interior ni asiento de armadura, no se utiliza ninguna letra.

3. Designación de los diferentes tipos de armaduras:

- F Fleje de acero dispuesto helicoidalmente.
 FA Fleje de aluminio dispuesto helicoidalmente.
 FA3 Fleje de aluminio corrugado longitudinalmente.
 M Corona de hilos de acero.
 MA Corona de hilos de aluminio.

4. Designación de la cubierta exterior:

- V Policloruro de vinilo (PVC).
 Z1 Poliolefina termoplástica libre de halógenos.
 Z Elastómero termoestable libre de halógenos.
 N Polímero clorado vulcanizado.

5. Designación del conductor:

- K Flexible de cobre (clase 5) para instalaciones fijas.
 -F Flexible de cobre (clase 5) para servicios móviles.
 -D Flexible para cables de máquinas de soldar.

Cuando no lleva ninguna letra, el conductor es de cobre rígido, clase 1 ó 2.

- AL Si el conductor es de aluminio, se indica (AL).

Descripción de los parámetros de designación de cableado eléctrico. Fuente: www.topcable.com.

Puede ampliarse la información consultando el siguiente video:

<https://www.topcable.com/blog-electric-cable/designacion-de-los-cables-electricos-bt-061-kv/>

CABLES PARA ACOMETIDAS

Según lo indicado en las normas particulares de ENDESA:

Acometidas aéreas:

RZ 0,6/1 kV 2x16 Al (exclusivamente para 1 ó
2 suministros monofásicos)
RZ 0,6/1 kV 4x25 Al
RZ 0,6/1 kV 3x50/54,6 Alm
RZ 0,6/1 kV 3x95/54,6 Alm
RZ 0,6/1 kV 3x150/80 Alm

Estos conductores cumplirán, además, lo indicado en la Norma ENDESA BNL001, así como en las Especificaciones Técnicas de ENDESA Referencias 6700029 a 6700033, según corresponda en cada caso.

Acometidas subterráneas:

RV 0,6/1 kV 1x50 Al
RV 0,6/1 kV 1x95 Al
RV 0,6/1 kV 1x150 Al
RV 0,6/1 kV 1x240 Al

Estos conductores cumplirán, además, lo indicado en la Norma ENDESA CNL001, así como las Especificaciones Técnicas de ENDESA Referencias 6700025 a 6700028, según corresponda en cada caso.

CABLES PARA LÍNEAS GENERALES DE ALIMENTACIÓN

Sistema de instalación	Sistema de canalización (calidad mínima)		Cable	
Superficial	Tubo 4321 No propagador de la llama	Compresión Fuerte (4), Impacto Media (3), Propiedades eléctricas: Aislante / continuidad eléctrica. UNE-EN 50086-2-1	RZ1-K (AS)	Cable de tensión asignada 0,6/1 kV con conductor de cobre clase 5 (-K), aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina (Z1) UNE 21.123-4
	Canal no propagadora de la llama	Impacto Media, No propagador de la llama, Propiedades eléctricas: Aislante / continuidad eléctrica. Que solo puede abrirse con herramientas. IP2X mínimo. UNE-EN 50085		Cable de tensión asignada 0,6/1kV con conductor de cobre clase 5 (-K), aislamiento de etileno propileno (D) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina (Z1) UNE 21.123-5
Empotrado	Tubo 2221: No propagador de la llama	Compresión Ligera (2), Impacto Ligera (2). UNE-EN 50086-2-2	DZ1-K (AS)	
	Canal no propagadora de la llama	Impacto Media, No propagador de la llama. Que solo puede abrirse con herramientas. IP2X mínimo. UNE-EN 50085		
Enterrado	Tubo: (Propiedades de propagación de la llama no declaradas)	Compresión 250/450N (hormigón / suelo ligero), Impacto Ligera / Normal. UNE-EN 50086-2-4	RZ1-K (AS) DZ1-K (AS)	Tipos ya descritos
Canal de obra ³			RZ1-K (AS) DZ1-K (AS)	Tipos ya descritos
Canalización prefabricada UNE-EN 60439-2				
<p>Nota 1: Según la norma UNE 21 022 los conductores clase 5 son aquellos constituidos por numerosos alambres de pequeño diámetro que le dan la característica de flexible.</p> <p>Nota 2: las normas de la serie UNE 21123 también incluyen las variantes de cables armados y apantallados que puede ser conveniente utilizar en instalaciones particulares.</p> <p>Nota 3: Cuando en una canal de obra se utilicen tubos o canales protectoras, éstos deberán cumplir con las características prescritas para sistemas de instalación empotrados.</p>				

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

Tipos de cables que pueden emplearse en líneas generales de alimentación. Fuente: Guía Técnica REBT-2002, ITC-BT-15.

CABLES PARA DERIVACIONES INDIVIDUALES

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

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

Tipos de cables que pueden emplearse en **derivaciones individuales**. Fuente: Guía Técnica REBT-2002, ITC-BT-15.

CABLES PARA INSTALACIONES INTERIORES

Las características particulares de los cables y conductores de **instalaciones interiores** se especifican en la **ITC-BT-20 e ITC-BT-26**.

Producto		Norma de aplicación
tipo H07V-U	Conductor unipolar aislado de tensión asignada 450/750 V, con conductor de cobre clase 1 (-U) y, aislamiento de policloruro de vinilo (V).	UNE 21.031-3
tipo H07V-R	Conductor unipolar aislado unipolar de tensión asignada 450/750 V, con conductor de cobre clase 2 (-R) y, aislamiento de policloruro de vinilo (V)	
tipo H07V-K	Conductor unipolar aislado unipolar de tensión asignada 450/750 V, con conductor de cobre clase 5 (-K) y, aislamiento de policloruro de vinilo (V)	
La norma UNE 21 022 especifica las características constructivas y eléctricas de las diferentes clases de conductor.		
Las clases definidas y el símbolo utilizado en la designación del cable son:		
-	clase 1: conductor rígido de un solo alambre.	(símbolo -U)
-	clase 2: conductor rígido de varios alambres cableados.	(símbolo -R)
-	clase 5: conductor flexible de varios alambres finos, no apto para usos móviles	(símbolo -K)

Tipos de cables que pueden emplearse en instalaciones interiores. Fuente: Guía Técnica REBT-2002, ITC-BT-26.

4. TEMPERATURA REAL DEL CONDUCTOR

$$T = T_0 + (T_{max} - T_0) \cdot \left(\frac{I}{I_{max}}\right)^2$$

- T → Temperatura real estimada en el conductor.
- T_{max} → Temperatura máxima admisible para el conductor según su tipo de aislamiento.
- T₀ → Temperatura ambiente del conductor (25º en cables enterrados, 40º en cables al aire).
- I → Intensidad prevista para el conductor.
- I_{max} → Intensidad máxima admisible para el conductor según el tipo de instalación.

5. SECCIÓN DE CONDUCTORES POR CAÍDA DE TENSIÓN

MONOFÁSICO

$$S_I = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\gamma \cdot \Delta U \cdot U} = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot P}{\Delta U \cdot U}$$

TRIFÁSICO

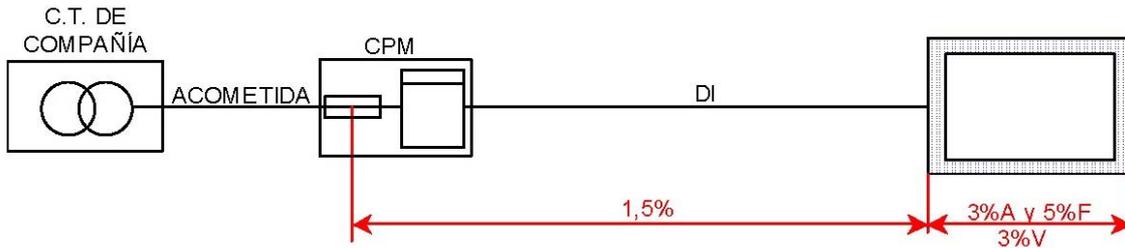
$$S_{III} = \frac{L \cdot P}{\gamma \cdot \Delta U \cdot U} = \frac{\rho \cdot L \cdot P}{\Delta U \cdot U}$$

LÍMITES DE CAÍDAS DE TENSIÓN PARA LAS DIFERENTES PARTES DE LA INSTALACIÓN

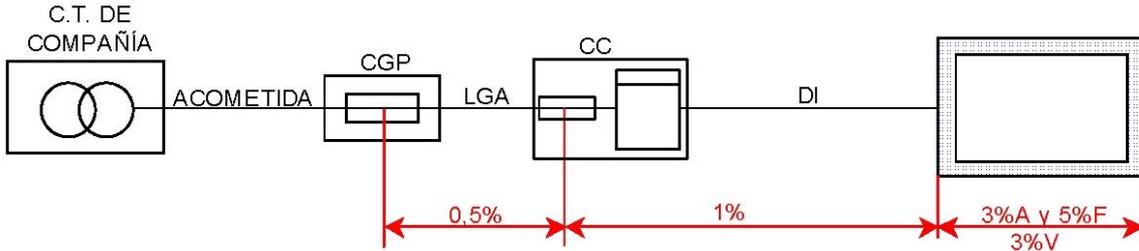
Parte de la instalación	Para alimentar a:	Caída de tensión máxima en % de la tensión de suministro	e = ΔU_{III}	e = ΔU_I
LGA: (Línea General de Alimentación)	Suministros de un único usuario	No existe LGA	--	--
	Contadores totalmente concentrados	0,5%	2 V	--
	Centralizaciones parciales de contadores	1,0%	4 V	--
DI (Derivación individual)	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	5%	20 V	11,5 V

Límites de caídas de tensión reglamentarios. Nota: la LGA es siempre trifásica. Fuente: Tabla 6. Guía Técnica REBT-2002, Anexo 2.

Esquema para un único usuario



Esquema para una única centralización de contadores:



Esquema cuando existen varias centralizaciones de contadores:

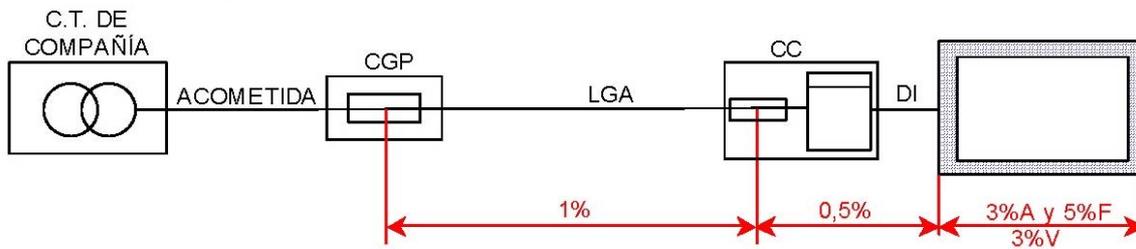


Figura 1. Esquemas resumen de caídas de tensión en diferentes partes de la instalación. Fuente: Guía Técnica REBT-2002, ITC-BT-19



Leyenda:

- A: circuitos de alumbrado
- F: circuitos de fuerza
- V: circuitos interiores de viviendas
- CPM: Caja de protección y medida

- CGP: Caja general de protección
- CC: Centralización de contadores
- LGA: Línea general de alimentación
- DI: Derivación individual

Figura 2. Esquemas resumen de caídas de tensión en una instalación industrial alimentada directamente en alta tensión mediante un transformador de distribución propio. Fuente: Guía Técnica REBT-2002, ITC-BT-19

6. CAÍDA DE TENSIÓN MEDIANTE VALORES UNITARIOS

$$\Delta U_u = \frac{\Delta U}{L \cdot I}$$

- ΔU_u → Caída de tensión unitaria en **voltios**.
 ΔU → Caída de tensión en **voltios**.
 L → Longitud de la canalización en **km**.
 I → Intensidad de servicio máxima prevista para el conductor, en **amperios**.

S (mm ²)	Caída de tensión por A y km.								
	Cos ϕ = 0,8			Cos ϕ = 1			Cos ϕ = 0,9		
	40°C	60°C	70°C	40°C	60°C	70°C	40°C	60°C	70°C
0,5	53,906	57,827	59,787	67,253	72,154	74,604	60,603	65,014	67,219
0,75	36,722	39,391	40,725	45,769	49,105	50,772	41,270	44,272	45,773
1	27,150	29,121	30,107	33,813	36,277	37,509	30,504	32,722	33,831
1,5	18,217	19,535	20,194	22,604	24,252	25,075	20,441	21,923	22,665
2,5	11,185	11,992	12,395	13,843	14,852	15,356	12,539	13,447	13,901
4	6,994	7,496	7,747	8,612	9,240	9,553	7,826	8,391	8,674
6	4,702	5,038	5,205	5,754	6,173	6,383	5,251	5,628	5,817
10	2,826	3,026	3,125	3,419	3,668	3,792	3,143	3,367	3,479
16	1,803	1,929	1,991	2,148	2,305	2,383	1,995	2,136	2,206
25	1,169	1,249	1,288	1,358	1,457	1,507	1,283	1,372	1,416
35	0,866	0,923	0,952	0,979	1,050	1,086	0,941	1,005	1,038
50	0,664	0,707	0,728	0,723	0,776	0,802	0,713	0,761	0,784
70	0,485	0,514	0,529	0,501	0,537	0,555	0,512	0,545	0,561
95	0,372	0,393	0,403	0,361	0,387	0,400	0,385	0,409	0,420
120	0,310	0,327	0,335	0,286	0,307	0,317	0,316	0,335	0,345
150	0,268	0,281	0,288	0,232	0,249	0,257	0,268	0,283	0,291
185	0,230	0,241	0,246	0,185	0,199	0,205	0,226	0,238	0,245
240	0,194	0,202	0,206	0,141	0,151	0,156	0,186	0,195	0,200

Caídas de tensión unitarias por amperio (A) y km para **cables de 450/750V**. Fuente: Tabla 4. Guía Técnica REBT-2002, Anexo 2.

S (mm ²)	Caída de tensión por A y km.											
	Cos ϕ = 0,8				Cos ϕ = 1				Cos ϕ = 0,9			
	40°C	60°C	80°C	90°C	40°C	60°C	70°C	90°C	40°C	60°C	70°C	90°C
1,5	18,255	19,573	20,891	21,550	22,604	24,252	25,899	26,723	20,469	21,951	23,434	24,175
2,5	11,216	12,023	12,830	13,234	13,843	14,852	15,860	16,365	12,562	13,469	14,377	14,831
4	7,024	7,526	8,028	8,279	8,612	9,240	9,867	10,181	7,848	8,413	8,978	9,261
6	4,732	5,068	5,403	5,571	5,754	6,173	6,592	6,802	5,272	5,650	6,027	6,216
10	2,846	3,045	3,244	3,344	3,419	3,668	3,917	4,042	3,157	3,382	3,606	3,718
16	1,820	1,945	2,070	2,133	2,148	2,305	2,461	2,540	2,007	2,148	2,289	2,359
25	1,184	1,263	1,342	1,382	1,358	1,457	1,556	1,606	1,293	1,382	1,471	1,516
35	0,878	0,935	0,992	1,020	0,979	1,050	1,122	1,157	0,950	1,014	1,078	1,110
50	0,672	0,714	0,757	0,778	0,723	0,776	0,828	0,855	0,719	0,766	0,814	0,837
70	0,491	0,520	0,549	0,564	0,501	0,537	0,574	0,592	0,516	0,549	0,582	0,598
95	0,378	0,399	0,420	0,431	0,361	0,387	0,413	0,426	0,390	0,413	0,437	0,449
120	0,315	0,332	0,349	0,357	0,286	0,307	0,327	0,338	0,320	0,339	0,358	0,367
150	0,271	0,284	0,298	0,304	0,232	0,249	0,265	0,274	0,271	0,286	0,301	0,309
185	0,234	0,244	0,255	0,261	0,185	0,199	0,212	0,219	0,229	0,241	0,253	0,259
240	0,197	0,205	0,213	0,217	0,141	0,151	0,161	0,167	0,188	0,197	0,206	0,211

Caídas de tensión unitarias por amperio (A) y km para **cables de 0,6/1Kv**. Fuente: Tabla 5. Guía Técnica REBT-2002, Anexo 2.

7. SECCIÓN DE CONDUCTORES POR INTENSIDAD DE CORRIENTE

Elegimos un material, un tipo de montaje y utilizamos las tablas del REBT que correspondan en función de la parte de la instalación que estemos analizando.

LÍNEA GENERAL DE ALIMENTACIÓN [ITC – BT - 14]

tipo de instalación	Sección nominal del conductor (Cu), mm ²										
	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
tubos empotrados en pared de obra ⁽¹⁾	60	80	106	131	159	202	245	284	338	386	455
tubos en montaje superficial											
canal protectora											
conductos cerrados de obra de fábrica											
tubos enterrados ⁽²⁾	77	100	128	152	184	224	268	304	340	384	440

Nota 1: Según tabla 1 de la ITC-19, método B, columna 8, temperatura ambiente 40 °C,
Nota 2: ITC-BT 07 Apto. 3.1.2.1 y factor de corrección 0,8 según aptdo. 3.1.3

Intensidad máxima admisible en amperios (A) en **conductores de cobre** (cable unipolar RZ1-K) en función de la sección del cable y del tipo de instalación. Fuente: Tabla A. Guía Técnica REBT-2002, ITC-BT-14.

tipo de instalación	Sección nominal del conductor (Al), mm ²										
	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	
tubos empotrados en pared de obra ⁽¹⁾	65	82	102	124	158	192	223	258	294	372	
tubos en montaje superficial											
canal protectora											
conductos cerrados de obra de fábrica											
tubos enterrados ⁽²⁾	78	100	120	144	186	208	236	264	300	344	

Nota 1: Según UNE 20460-5-523, método B columna 8, temperatura ambiente 40 °C,
Nota 2: ITC-BT 07 Apto. 3.1.2.1 y factor de corrección 0,8 según aptdo. 3.1.3

Intensidad máxima admisible en amperios (A) en **conductores de aluminio** (cable unipolar RZ1-Al) en función de la sección del cable y del tipo de instalación. Fuente: Tabla B. Guía Técnica REBT-2002, ITC-BT-14.

Los valores anteriores se han obtenido para $T_{\text{terreno}} = 25^{\circ}$ en instalaciones enterradas y $T_{\text{ambiente}} = 40^{\circ}$ en el resto. Si procede, deben aplicarse los **factores de corrección** por agrupamiento o por temperatura ambiente que correspondan según la ITC-BT-07 (instalaciones enterradas).

En las tablas anteriores se ha aplicado un factor de corrección de 0.8 a las **instalaciones enterradas**. Las condiciones estándar, sin aplicar factores de reducción, se especifican en las tablas incluidas en la ITC-BT-07:

SECCIÓN NOMINAL mm ²	Terna de cables unipolares (1) (2)			1 cable tripolar o tetrapolar (3)		
						
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
16	97	94	86	90	86	76
25	125	120	110	115	110	98
35	150	145	130	140	135	120
50	180	175	155	165	160	140
70	220	215	190	205	220	170
95	260	255	225	240	235	210
120	295	290	260	275	270	235
150	330	325	290	310	305	265
185	375	365	325	350	345	300
240	430	420	380	405	395	350
300	485	475	430	460	445	395
400	550	540	480	520	500	445
500	615	605	525	-	-	-
630	690	680	600	-	-	-

Intensidad máxima admisible en amperios (A) en **conductores de aluminio** para cables en instalación enterrada. Fuente:
Tabla 4. ITC-BT-07.

Tipo de aislamiento:

- XLPE - Polietileno reticulado - Temperatura máxima en el conductor 90°C (servicio permanente).
- EPR - Etileno propileno - Temperatura máxima en el conductor 90°C (servicio permanente).
- PVC - Policloruro de vinilo - Temperatura máxima en el conductor 70°C (servicio permanente).

Condiciones de cálculo:

- Temperatura del terreno 25°C.
- Profundidad de instalación 0,70 m.
- Resistividad térmica del terreno 1 K.m/W.

Para otras condiciones, es necesario aplicar los coeficientes de corrección.

(1) Incluye el conductor neutro, si existe.

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

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

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

Intensidad máxima admisible en amperios (A) en **conductores de cobre** para cables en instalación enterrada. Fuente: Tabla 5. ITC-BT-07.

Tipo de aislamiento:

- XLPE - Polietileno reticulado - Temperatura máxima en el conductor 90°C (servicio permanente).
- EPR - Etileno propileno - Temperatura máxima en el conductor 90°C (servicio permanente).
- PVC - Policloruro de vinilo - Temperatura máxima en el conductor 70°C (servicio permanente).

Condiciones de cálculo:

- Temperatura del terreno 25°C.
- Profundidad de instalación 0,70 m.
- Resistividad térmica del terreno 1 K.m/W.

(1) Incluye el conductor neutro, si existe.

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

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

DERIVACIONES INDIVIDUALES / INSTALACIONES INTERIORES

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

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

Intensidades admisibles (A) para **instalaciones al aire** con una **temperatura ambiente de 40°C**. Número de conductores con carga y naturaleza del aislamiento. Fuente: Tabla 1. ITC-BT-19.

Aunque la tabla anterior se encuentra incluida en la ITC – BT – 19, conviene consultar además las **tablas incluidas en la Guía Técnica REBT-2002, ITC-BT-19, que actualizan la anterior**. Son las que se indican a continuación:

Tabla A - Intensidades admisibles para cables con conductores de cobre, no enterrados
Temperatura ambiente 40°C en el aire

Método de instalación*	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento											
		3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE						
A1												
A2	3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE							
B1				3x PVC	2x PVC		3x XLPE		2x XLPE			
B2			3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE					
C					3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE		
E						3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE	
F							3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE
Sección mm ² COBRE	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	--
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	--
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	--
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	--
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	--
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	--
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
35	--	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
50	--	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
70	--	--	--	149	160	171	185	199	214	224	244	269
95	--	--	--	180	194	207	224	241	259	271	296	327
120	--	--	--	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	--	--	--	236	260	278	299	322	343	363	404	438
185	--	--	--	268	297	317	341	368	391	415	464	500
240	--	--	--	315	350	374	401	435	468	490	552	590
300	--	--	--	361	401	430	461	500	538	563	638	678
400	--	--	--	431	480	515	552	600	645	674	770	812
500	--	--	--	493	551	592	633	687	741	774	889	931
630	--	--	--	565	632	681	728	790	853	890	1028	1071

Se indican como 3x los circuitos trifásicos y como 2x los monofásicos.
A efecto de las intensidades admisibles los cables con aislamiento termoplástico a base de poliolefina (Z1) son equivalentes a los cables con aislamiento de policloruro de vinilo (V).

Tabla B - Tipos de instalación de cables no enterrados

A1	<ul style="list-style-type: none"> - Conductores unipolares aislados en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes - Cables multiconductores empotrados directamente en paredes térmicamente aislantes. - Conductores unipolares aislados en molduras. - Conductores unipolares aislados en conductos o cables uni o multiconductores dentro de los marcos de las puertas. - Conductores unipolares aislados en tubos o cables uni o multiconductores dentro de los marcos de las ventanas.
A2	<ul style="list-style-type: none"> - Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes.
B1	<ul style="list-style-type: none"> - Conductores aislados o cable unipolar en tubos empotrados en obra - Conductores aislados o cable unipolar en tubo sobre pared de madera o mampostería separados a una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del tubo. - Conductores unipolares aislados en canales o conductos cerrados de sección no circular sobre pared de madera - Cables unipolares o multiconductores en huecos de obra de fábrica ⁺⁾ - Conductores unipolares aislados en tubos dentro de huecos de obra de fábrica ⁺⁾ - Conductores unipolares aislados en conductos cerrados de sección no circular en huecos de obra de fábrica ⁺⁾ - Conductores aislados en conductos cerrados de sección no circular empotrados en obra de fábrica con una resistividad térmica no superior a 2K·m/W ⁺⁾ - Conductores unipolares aislados o cables unipolares en canal protectora empotrada en el suelo - Conductores aislados o cables unipolares en conductos perfilados empotrados - Cables uni o multiconductores en falsos techos o suelos técnicos ⁺⁾ - Conductores unipolares aislados o cables unipolares en canal protectora suspendida - Conductores aislados o cables unipolares en tubos en canalizaciones no ventiladas ⁺⁾ - Conductores unipolares aislados en tubos en canales de obra ventilados - Cables uni o multiconductores en canales de obra ventilados - Conductores unipolares aislados o cables unipolares dentro de zócalos acanalados (rodapiés ranurado)
B2	<ul style="list-style-type: none"> - Cables multiconductores en tubos empotrados en obra - Cables multiconductores en tubos sobre pared de madera o separados a una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del tubo. - Cables multiconductores en canales o conductos cerrados de sección no circular sobre pared de madera - Cables multiconductores en canal protectora suspendida - Cables multiconductores dentro de zócalos acanalados(rodapiés ranurado) - Cables multiconductores en canal protectora empotrada en el suelo - Cables multiconductores en conductos perfilados empotrados
C	<ul style="list-style-type: none"> - Cables multiconductores directamente bajo un techo de madera - Cables unipolares o multiconductores sobre bandejas no perforadas - Cables unipolares o multiconductores fijados en el techo o pared de madera o espaciados 0,3 veces el diámetro del cable - Cables uni o multiconductores empotrados directamente en paredes
E	<ul style="list-style-type: none"> - Cables multiconductores separados de la pared una distancia no inferior a 0,3 D ⁵⁾ - Cables unipolares o multiconductores sobre bandejas perforadas en horizontal o vertical - Cables unipolares o multiconductores sobre bandejas de rejilla - Cables unipolares o multiconductores sobre bandejas de escalera - Cables unipolares o multiconductores suspendidos de un cable fiador
F	<ul style="list-style-type: none"> - Se aplica a los mismos sistemas de instalación que el tipo E, cuando la sección del conductor es superior a 25 mm² - Cables unipolares en contacto mutuo separados de la pared una distancia no inferior a D ⁵⁾

Ver notas ^{1) a 5)} en la tabla 1.

⁺⁾ Según la relación entre el diámetro del cable y su alojamiento, puede ser de aplicación el método B2. Dicha relación se indica en la norma UNE 20460-5-523.

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA INSTALACIONES ENTERRADAS

Se desglosan en la ITC – BT – 07 (apdo. 3.1.2.2). El factor de corrección global se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$F_C(ent) = F_R \cdot F_G \cdot F_P \cdot F_{TA} \cdot F_{TE} \cdot F_{EX}$$

F_C	→	Factor de corrección para instalaciones enterradas
F_R	→	Factor de resistividad térmica
F_G	→	Factor de agrupación de circuitos
F_P	→	Factor de profundidad
F_{TA}	→	Factor de temperatura ambiente
F_{TE}	→	Factor de temperatura del terreno
F_{EX}	→	Factor de riesgo de explosión

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA INSTALACIONES AL AIRE

$$F_C(aire) = F_{EX}$$

F_C	→	Factor de corrección
F_{EX}	→	Factor de riesgo de explosión
		Locales con riesgo de explosión: $F_{EX} = 0,85$
		Locales sin riesgo de explosión: $F_{EX} = 1,00$

Locales de con riesgo de explosión (ITC – BT – 28):

Son aquellos emplazamientos en los que existe riesgo de explosión o de incendio debido a la presencia de sustancias inflamables. Dentro del concepto de atmósferas potencialmente explosivas se consideran aquellos emplazamientos en los que se fabriquen, procesen, manipulen, traten, utilicen o almacenen sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, susceptibles de inflamarse, deflagrar, o explosionar, siendo sostenida la reacción por el aporte de oxígeno procedente del aire ambiente en que se encuentran.

Locales que no se incluyen en esta definición:

- 1) Instalaciones excluidas del RD 400/96 (disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 94/9/CE, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas)..
- 2) Dispositivos médicos para uso en entorno sanitario.
- 3) Fabricación, manipulación y almacenamiento de sustancias químicas inestables.
- 4) Equipos destinados a su uso en entornos domésticos y no comerciales, donde las atmósferas explosivas se generan raramente.
- 5) Navíos, aviones o instalaciones móviles offshore.
- 6) Cualquier otro entorno que disponga de una reglamentación específica (minas).

8. SECCIÓN DEL NEUTRO

LGA

Secciones (mm ²)		Diámetro exterior de los tubos (mm)
FASE	NEUTRO	
10 (Cu)	10 (Cu)	75
16 (Cu)	10 (Cu)	75
16 (Al)	16 (Al)	75
25	16	110
35	16	110
50	25	125
70	35	140
95	50	140
120	70	160
150	70	160
185	95	180
240	120	200

*Secciones del conductor neutro y del diámetro exterior de los tubos en función de la sección de los conductores de fase.
Fuente: Tabla 1. ITC-BT-14.*

El conductor neutro debe ser, en general, de la misma sección que los conductores de fase excepto cuando se justifique que no pueden existir desequilibrios o corrientes armónicas debidas a cargas no lineales.

INSTALACIONES INTERIORES

Según lo indicado en el art. 2.2.2. de la ITC-BT-19, en instalaciones interiores, para tener en cuenta las corrientes armónicas debidas a cargas no lineales y posibles desequilibrios, salvo justificación por cálculo, **la sección del conductor neutro será como mínimo igual a la de las fases**. Por tanto:

$$S_F = S_N$$

9. SECCIÓN DEL CONDUCTOR DE PROTECCIÓN (ITC – BT – 18)

Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm ²)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm ²)
S ≤ 16	S (*)
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

(*) Con un mínimo de:
2,5 mm² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y tienen una protección mecánica
4 mm² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y no tienen una protección mecánica

Relación entre las secciones de fase y las secciones de los conductores de protección. Fuente: Tabla 2. ITC-BT-18.

En instalaciones enterradas se deben tener en cuenta los **mínimos** siguientes, no siendo en ningún caso la sección inferior a las mínimas exigidas para los conductores de protección indicados en la tabla anterior:

TIPO	Protegido mecánicamente	No protegido mecánicamente
Protegido contra la corrosión*	Según apartado 3.4	16 mm ² Cobre 16 mm ² Acero Galvanizado
No protegido contra la corrosión		25 mm ² Cobre 50 mm ² Hierro

* La protección contra la corrosión puede obtenerse mediante una envolvente

Secciones mínimas convencionales de los conductores de tierra. La indicación al apartado 3.4 se refiere a la tabla 2 de la propia ITC-BT-18, anteriormente expuesta. Fuente: Tabla 1. ITC-BT-18.

10. DIÁMETRO EXTERIOR DE LOS TUBOS

LGA	$\varnothing_{min (ext)tubo/canales} = 75 \text{ mm}$ \varnothing_{tubo} según la sección del cable. [Debe permitir un aumento de la sección del 100%]
DI	$\varnothing_{min (ext)tubo/canales} = 32 \text{ mm}$ [deben permitir una ampliación del 100%] Tubo de reserva por cada 10 DI o fracción (hasta viv. / loc.) En locales no distribuidos → 1 tubo/50m ²

TUBOS EN CANALIZACIONES FIJAS EN SUPERFICIE

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	16
2,5	12	12	16	16	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	20	20	25
10	16	20	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	20	32	32	40	40
35	25	32	40	40	50
50	25	40	50	50	50
70	32	40	50	63	63
95	32	50	63	63	75
120	40	50	63	75	75
150	40	63	75	75	--
185	50	63	75	--	--
240	50	75	--	--	--

Diámetros exteriores mínimos de los tubos para canalizaciones fijas en superficie en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir. Fuente: Tabla 2. ITC-BT-21.

Para más de 5 conductores por tubo o para conductores aislados o cables de secciones diferentes a instalar en el mismo tubo, su sección interior será, como mínimo igual a 2,5 veces la sección ocupada por los conductores.

TUBOS EN CANALIZACIONES EMPOTRADAS

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	20
2,5	12	16	20	20	20
4	12	16	20	20	25
6	12	16	25	25	25
10	16	25	25	32	32
16	20	25	32	32	40
25	25	32	40	40	50
35	25	40	40	50	50
50	32	40	50	50	63
70	32	50	63	63	63
95	40	50	63	75	75
120	40	63	75	75	--
150	50	63	75	--	--
185	50	75	--	--	--
240	63	75	--	--	--

Diámetros exteriores mínimos de los tubos para canalizaciones empotradas en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir. **Esta tabla no incluye la mayoración del 100% para derivaciones individuales.** Fuente: Tabla 5. ITC-BT-21.

Para más de 5 conductores por tubo o para conductores o cables con secciones diferentes a instalar en el mismo tubo, su sección interior será como mínimo, igual a 3 veces la sección ocupada por los conductores.

TUBOS EN CANALIZACIONES AÉREAS

No se recomienda este tipo de instalación para secciones nominales de conductores superiores a 16 mm².

Sección nominal de los conductores (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	20
2,5	12	16	20	20	20
4	12	16	20	20	25
6	12	16	25	25	25
10	16	25	25	32	32
16	20	25	32	32	40

Diámetros exteriores mínimos de los tubos para canalizaciones aéreas o con tubos al aire en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir. Fuente: Tabla 7. ITC-BT-21.

Para más de 5 conductores por tubo o para conductores o cables de secciones diferentes a instalar en el mismo tubo, su sección interior será como mínimo, igual a 4 veces la sección ocupada por los conductores.

TUBOS EN CANALIZACIONES ENTERRADAS

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	< 6	7	8	9	10
1,5	25	32	32	32	32
2,5	32	32	40	40	40
4	40	40	40	40	50
6	50	50	50	63	63
10	63	63	63	75	75
16	63	75	75	75	90
25	90	90	90	110	110
35	90	110	110	110	125
50	110	110	125	125	140
70	125	125	140	160	160
95	140	140	160	160	180
120	160	160	180	180	200
150	180	180	200	200	225
185	180	200	225	225	250
240	225	225	250	250	--

Diámetros exteriores mínimos de los tubos para canalizaciones enterradas en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir. Fuente: Tabla 9. ITC-BT-21.

Para más de 10 conductores por tubo o para conductores o cables de secciones diferentes a instalar en el mismo tubo, su sección interior será como mínimo, igual a 4 veces la sección ocupada por los conductores.

11. ELEMENTOS DE PUESTA A TIERRA

Naturaleza terreno	Resistividad en Ohm.m
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosas	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5.00
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granito y gres muy alterado	100 a 600

Valores orientativos de la resistividad de diferentes tipos de terreno. Fuente: Tabla 3. ITC-BT-18.

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad Ohm.m
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles y otros terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3.000

Valores medios de la resistividad del terreno. Fuente: Tabla 4. ITC-BT-18.

Electrodo	Resistencia de Tierra en Ohm
Placa enterrada	$R = 0,8 \rho/P$
Pica vertical	$R = \rho/L$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2 \rho/L$
ρ , resistividad del terreno (Ohm.m) P , perímetro de la placa (m) L , longitud de la pica o del conductor (m)	

Expresiones para determinar el valor de la resistencia a tierra de diferentes elementos en función de la resistividad. Fuente: Tabla 5. ITC-BT-18.

Terrenos orgánicos, arcillas y margas		Arenas arcillosas y graveras, rocas sedimentarias y metamórficas		Calizas agrietadas y rocas eruptivas		Grava y arena silíceas		Nº de picas de longitud (2 metros)
sin pararrayos	con pararrayos	sin pararrayos	con pararrayos	sin pararrayos	con pararrayos	sin pararrayos	con pararrayos	
25	34	28	67	54	134	162	400	0
^	30	25	63	50	130	158	396	1
	26	^	59	46	126	154	392	2
	^		55	42	122	150	388	3
			51	38	118	146	384	4
			47	34	114	142	380	5
			43	30	110	138	376	6
			39	^	106	134	372	7
			35		105	130	368	8
			^		98	126	364	9
					94	122	360	10
					74	102	340	15
					^	82	320	20
						^	280	30
							240	40
							200	50
							^	

^ aumentar la longitud de los conductores enterrados del anillo.
Σ L = longitud en planta de la conducción enterrada, en m

Número orientativo de electrodos verticales (número de picas) en función de las características del terreno, la longitud del anillo y según la presencia o no de pararrayos en el edificio. Fuente: NTE-IEP.

En una instalación con un **esquema de conexión a tierra tipo TT** se debe cumplir (ITC-BT-24):

$$R_a \cdot I_a \leq U$$

R_a → Suma de resistencias de la toma de tierra y los conductores de protección de la masa

I_a → Corriente que asegura en funcionamiento del dispositivo de protección. Cuando el dispositivo de protección es un dispositivo de corriente diferencial-residual es la corriente diferencial-residual asignada. Viviendas con ID → 30mA

Industrias → 300mA

U → Tensión de contacto límite convencional
Locales conductores (locales húmedos) → 24 V
Resto de casos (locales secos) → 50 V

RESISTENCIA EN PICAS

$$R_{n-picas} = \frac{1}{n} \cdot \left(0,96 \cdot \frac{\rho}{L} + 0,318 \cdot \frac{\rho}{D} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \cdot (n-1)} \right)$$

n → Número de picas

L → Longitud de cada pica

ρ → Resistividad del terreno

D → Distancia entre picas (longitud total del cable / nº de picas)

RESISTENCIAL TOTAL (CONDUCTOR + PICAS)

$$R_a = \frac{R_{n-picas} \cdot R_{conductor}}{R_{n-picas} + R_{conductor}}$$

RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS (CONDUCTOR ENTERRADO + PICAS)

$$0,5 \cdot L_c + L_p \geq \frac{\rho}{R}$$

L_c → Longitud total del conductor enterrado

L_p → Longitud total de todas las picas

ρ → Resistividad del terreno

R → Resistencia máxima de tierra

LÍMITES DE RESISTENCIA A TIERRA

Edificios con pararrayos → $R \leq 15 \Omega$

Edificios sin pararrayos → $R \leq 37 \Omega$

Norma ICT → $R \leq 10 \Omega$