

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN

Francisco Méndez Fernández
Badajoz, 2.006

ÍNDICE

	<u>Pág</u>
1 INTRODUCCIÓN.	2
2 DATOS DE PARTIDA.	2
3 FACTORES BÁSICOS.	2
4 FORMAS DE SUMINISTRO.	4
4.1 Desde la red de distribución de A.T.	4
4.2 Desde la red de distribución en B.T.	5
5 INSTALACIÓN INTERIOR O RECEPTORA.	6
5.1 Cuadro general de Mando y Protección.	6
5.2 Líneas de alimentación a cuadros. Formas de alimentación.	6
5.3 Cuadros secundarios.	7
5.4 Líneas de alimentación a receptores. Formas de distribución.	8
6 CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS.	9
6.1 Tipos de aislamientos, cubiertas y armaduras.	11
6.2 Naturaleza del conductor, nivel de aislamiento y sistema de instalación.	12
6.3 Intensidad a transportar.	16
6.4 Caída de Tensión Máxima.	18
6.5 Condiciones ambientales.	18
6.6 Otras consideraciones.	19
7 PROTECCIONES DE LA INSTALACIÓN.	20
7.1 Protecciones de las líneas contra sobreintensidades.	20
7.2 Protecciones contra sobretensiones.	21
7.3 Protecciones contra contactos directos.	22
7.4 Protecciones contra contactos indirectos.	23
7.5 Protecciones contra contactos directos e indirectos.	25
8 PUESTA A TIERRA DE LA INSTALACIÓN.	26
8.1 Toma de tierra.	26
8.2 Conductores de tierra.	27
8.3 Borne principal de puesta a tierra.	28
8.4 Conductores de protección.	28
8.6 Resistencia de las tomas de tierra.	30
8.7 Elementos que deben ser puesto a tierra.	30
8.7 Separación entre la puesta a tierra de la instalación eléctrica de baja tensión y la tierra general del centro de transformación.	31

1 INTRODUCCIÓN.

A lo largo de la carrera y a través de las correspondientes asignaturas, hemos estudiado todo lo relacionado con una instalación eléctrica, como es el estudio de los circuitos eléctricos, el comportamiento de las máquinas eléctricas, esto es, transformadores, motores, etc., el cálculo de alumbrado de un local para conseguir un nivel de iluminación prefijado, el cálculo de líneas eléctricas, que a partir de datos como potencia, longitud y naturaleza del conductor, nos suministra la caída de tensión y los elementos de mando y protección, etc.

Todos estos conocimientos, proporcionan una base teórica muy importante y necesaria, pero al iniciar el diseño de la instalación eléctrica de un Proyecto, al alumno le surgen una serie de dudas como:

- Tipos de conductores a instalar.
- Situación de los elementos de mando, protección y potencia.
- Situación de los cuadros.
- Etc.

El objeto del Tema que exponemos es el suministrar los conocimientos prácticos necesarios para que, de acuerdo con las normas de obligado cumplimiento dictadas y muy especialmente el Reglamento electrotécnico para baja tensión, pueda abordar el diseño de la instalación eléctrica de un proyecto.

2 DATOS DE PARTIDA.

A la hora de iniciar el diseño de la instalación eléctrica del proyecto, el proyectista parte de los planos de distribución en planta, donde se hallan implantadas las maquinarias y las luminarias.

En estos planos colocaremos una serie de tomas, necesarias para la maquinaria auxiliar, máquinas herramientas y demás elementos accesorios, que nos servirán para los trabajos eventuales de producción y mantenimiento.

A partir de estos datos acometeremos el proyecto de la instalación eléctrica.

3 FACTORES BÁSICOS.

En principio hemos de tener en cuenta al proyectar una instalación eléctrica los siguientes factores:

- 1) Análisis de la carga total.
- 2) Elección de las tensiones de suministro.
- 3) Previsión de posibles aumentos de carga.
- 4) Selectividad adecuada.
- 5) Accesibilidad de la instalación.

1) En la instalación eléctrica es preciso estimar en cada caso, la carga conectada y los períodos probables durante los cuales todos o una parte de los receptores son susceptibles de funcionar simultáneamente. Este número de receptores susceptibles de funcionar simultáneamente se determinará, de acuerdo con las indicaciones incluidas en las ITC-BT del reglamento y en su defecto las indicaciones facilitadas por el usuario considerando una utilización racional de los mismos (*párrafo 3 del apartado 2.2.2 de la ITC-BT-19 del Reglamento*).

2) Las tensiones nominales usualmente utilizadas en la distribución de corriente alterna según el *artículo 4 del Reglamento* serán:

- 230 V. entre fases para las redes trifásicas de tres conductores (B1)
- 230 V. entre fase y neutro, y 400 V. entre fases, para las redes trifásicas de cuatro conductores (B2)

3) Al proyectar la instalación, se ha de prever para la posibilidad de ampliación de la misma, para lo que se tendrán en cuenta:

- Espacios libres en los cuadros para albergar nuevos dispositivos de mando y protección.
- Canalizaciones con capacidad suficiente para poder albergar a conductores de mayor sección.
- Zonas de colocación de nuevas canalizaciones.

Todo ello para alimentar nueva maquinaria, equipos de alumbrado u otros tipos de receptores.

4) A medida que subdividimos la instalación, aumentando el número de circuitos y de dispositivos de protección, aumentamos la selectividad de la misma, pero también aumentamos el coste.

Habrà que estudiar el número de máquinas, equipos de alumbrado, etc., que se pueden agrupar bajo circuitos y protecciones comunes, a fin de que una avería producida en una de ellas, no afecte más que a una parte del proceso, si se refiere a maquinaria, o a una zona iluminada o

nivel de iluminación, si se refiere al alumbrado, y permitiendo el control del aislamiento de la parte de la instalación afectada (*Artículo 16 apartado 2 del Reglamento y apartado 2.4. de la ITC-BT-19 del Reglamento*).

5) Al ubicar los elementos de una instalación eléctrica, ha de tenerse en cuenta un factor importante como es, la accesibilidad de los mismos que facilite al personal de mantenimiento las labores de inspección, limpieza, conservación, localización de averías, etc. (*apartado 2.1.2 de la ITC-BT-20 del Reglamento*).

4 FORMAS DE SUMINISTRO

El suministro de energía a nuestra instalación por parte de la empresa distribuidora, puede hacerse en la práctica de dos formas posibles:

- Desde la red de distribución de Alta Tensión.
- Desde la red de distribución de Baja Tensión.

El hacerlo de una u otra forma, viene condicionado por los siguientes factores:

a) **Potencia total instalada**, que la evaluaremos como la suma de las potencias instaladas en alumbrado, fuerza y demás usos. El límite para el suministro en baja tensión lo establece el artículo 46 del capítulo II del título III del R.D. 1955/2000 por el que se Regulan las actividades de Transporte, Distribución, Comercialización, Suministro y Procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica que dice en su párrafo 2º “*Tendrán la consideración de suministro en baja tensión aquellos que se realicen a una tensión inferior igual a 1 kV, no pudiéndose atender suministro con potencia superiores a 50 kW, salvo acuerdo con la empresa distribuidora*”.

b) **Disponibilidad de suministro en la zona**, que dependerá de la proximidad de las redes de distribución.

c) **Tipo de tarificación a elegir**, orientada a reducir el costo en el consumo de energía eléctrica.

4.1 Desde la red de distribución de A.T.

El suministro desde la red de distribución en alta tensión, nos obliga a la construcción de una línea de A.T. y un C.T., iniciándose la instalación en las bornas de baja tensión del transformador instalado. De éstas bornas mediante una línea, alimentaremos a un cuadro, llamado

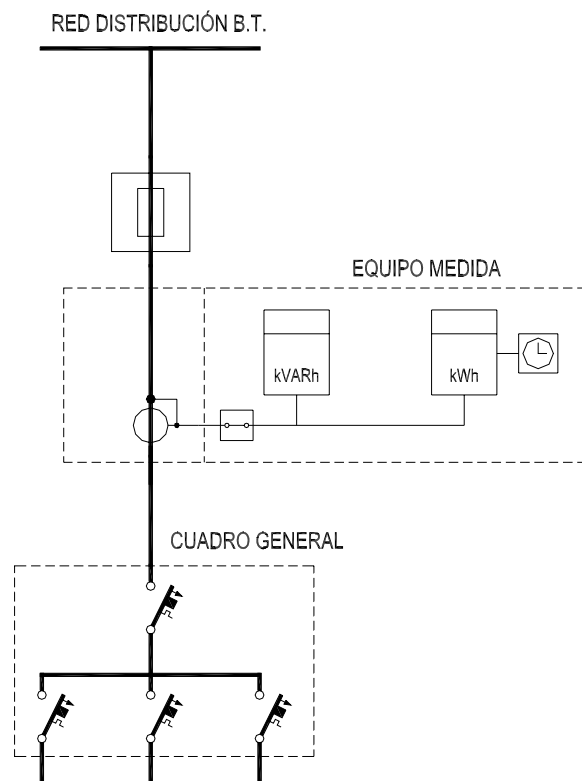
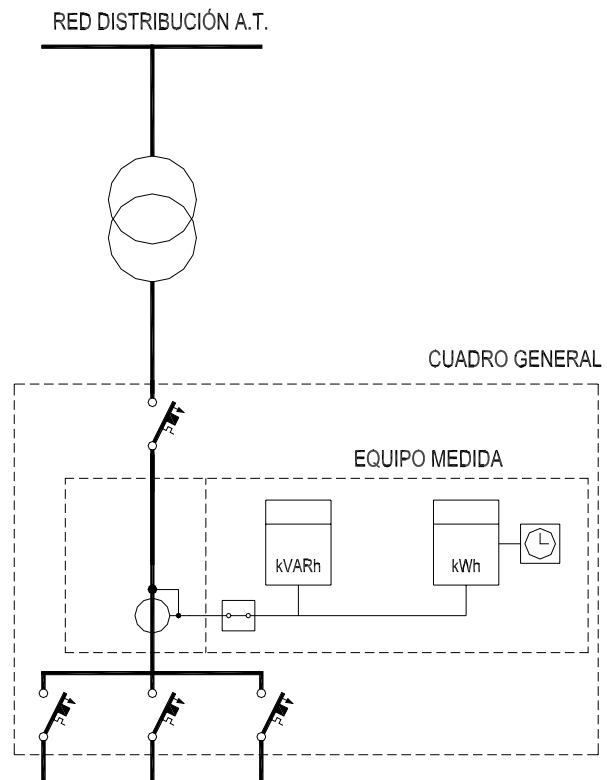
cuadro general, situado en el C.T., o próximo a él, en el que se encuentran los dispositivos generales de mando y protección.

Si se adopta la solución de medir el consumo de energía en baja tensión, el equipo de medida podrá montarse en éste cuadro, así como los dispositivos de protección de las líneas que salgan a los cuadros secundarios. Estas líneas se ha de procurar que sean, lo más cortas posibles, a fin de reducir las pérdidas en las mismas; por lo que se situará el CT lo más cerca posibles a los lugares de mayor consumo.

4.2 Desde la red de distribución de B.T.

El suministro desde la red de distribución en baja tensión, nos lleva al montaje de la "Instalación de Enlace", que nos une la red de distribución en baja tensión, con la instalación interior o receptora. Esta instalación está formada por la caja general de protección (CGP), línea general de alimentación (LGA), elementos para ubicación de contadores (CC), derivación individual (DI), caja para interruptor de control de potencia (ICP) y dispositivos generales de mando y protección (DGMP).

La Caja General de Protección es la que aloja los elementos de protección de las líneas generales de alimentación. Según la ITC-BT-13, su colocación se fijará de acuerdo con la empresa distribuidora, será siempre en lugar de libre y permanente acceso. Estas serán de alguno de los tipos recogidos en las especificaciones técnicas de la empresa distribuidora. Para el caso de uno o dos



usuarios, la CGP y el equipo de medida podrán colocarse en un único elemento denominado Caja de protección y medida (esquemas 2.1 y 2.2.1 de la ITC-BT-12).

La Línea General de Alimentación es la que enlaza la Caja General de Protección con la centralización de contadores. De acuerdo con el punto 2.1 de la ITC-BT-12 para el caso de un solo usuario no existe la línea general de alimentación.

La Derivación Individual es la que partiendo de la línea general de alimentación suministra energía eléctrica a una instalación de usuario. Se inicia en el embarrado general y comprende la línea, los fusibles de seguridad, el conjunto de medida y los dispositivos generales de mando y protección (esquema 2.2.2 y 2.2.3 de la ITC-BT-12).

En el anterior Reglamento, la Acometida formaba parte de la instalación de enlace. La Acometida es la parte de la instalación de la red de distribución, que alimenta la caja o cajas generales de protección o unidad funcional equivalente. De acuerdo con la ITC-BT-11, podrá ser aérea, subterránea o mixta, en cualquier caso se realizará de forma que lleguen conductores aislados a la Caja General de Protección.

5 INSTALACIÓN INTERIOR O RECEPTORA

5.1 Cuadro General de Mando y Protección

Ambas formas de suministro nos llevan a los dispositivos generales de mando y protección que se ubicarán en el interior de un cuadro de distribución que recibe el nombre de Cuadro General de Mando y Protección y del que partirán los circuitos interiores.

La envolvente de este cuadro se ajustará según ITC-BT-17 a las normas UNE 20.451 y UNE 80.439-3, con un grado de protección mínimo IP 30 según UNE 20.324.

Los dispositivos generales e individuales de mando y protección serán como mínimo:

- Un interruptor general automático de corte omnipolar, con protección contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Un interruptor diferencial general, de protección contra contactos indirectos, si por el tipo o carácter de la instalación no se instalase protección diferencial por cada circuito o grupo de circuitos, que asegura la protección de todos los circuitos.
- Dispositivos de corte omnipolar, destinados a la protección contra sobrecargas y cortocircuitos de cada uno de los circuitos de salida.
- Dispositivo de protección contra sobretensiones, según ITC-BT-23, si fuese necesario.

5.2 Líneas de Alimentación a cuadros. Formas de alimentación

Del Cuadro General partirán las líneas de alimentación a los cuadros secundarios y/o receptores.

La alimentación de los cuadros secundarios, desde el Cuadro General puede hacerse de varias formas:

- 1 Una línea de alimentación a varios cuadros
- 2 Líneas independientes para cada cuadro
- 3 Un sistema mixto

La primera forma tiene la ventaja de que al alimentar a varios cuadros, el coeficiente de simultaneidad global, es decir, el número de receptores susceptibles de funcionar simultáneamente, puede ser menor que en la segunda forma, ya que habrá que considerar además de la simultaneidad de funcionamiento de los receptores de un cuadro, la de unos cuadros con otros, por lo que la sección global será menor. Otra ventaja es que la mano de obra de instalación es menor para una línea que para varias, por lo que el coste de esta línea será menor que si se montasen líneas independientes a cada cuadro.

Su sección no tiene por que ser constante a lo largo de la línea, ya que al ir reduciendo el número de cuadros, y por tanto, de receptores, podrá disminuirse en los tramos finales.

La segunda forma tiene la ventaja de proporcionar a la instalación una mayor selectividad, es decir, las averías producidas en un cuadro o en su línea de alimentación, no afectan en absoluto el funcionamiento del resto.

Esta segunda forma, es la que resulta con un costo superior, por ello, en la mayoría de los casos, se adopta la tercera solución, la del montaje mixto, en el que se agrupan líneas de alimentación a varios cuadros, siguiendo criterios de proximidad y de posibilidad de funcionamiento independientes.

En cada caso se estudiará que forma se debe tomar, quedando a criterio del que proyecte la instalación.

5.3 Cuadros secundarios.

Los cuadros secundarios, son los destinados a contener los dispositivos de mando, protección y potencia de los receptores que, desde ellos, se alimentan, así como los de señalización (incluso sinópticos) que indican el estado de funcionamiento de los receptores.

Se situarán lo más próximo posible a los receptores de mayor consumo y en lugares accesibles.

De ellos saldrán normalmente, tantos circuitos como receptores existan cuando se trate de receptores de fuerza, y a grupos de receptores, si nos referimos a receptores de alumbrado y tomas de corriente para servicios auxiliares. También saldrán los circuitos de maniobra.

Hemos de destacar, para el caso de líneas de alimentación de alumbrado en las zonas o locales que por sus dimensiones lleve un número importante de luminarias, se ha de proyectar el número de circuitos suficiente, para que proporcione al local o zona de un alumbrado sectorial y/o con varios niveles de iluminación, que evite un derroche de energía por un alumbrado inadecuado, produciendo un uso racional de la energía.

Con carácter general el apartado 2.4 de la ITC-BT-19 dice *“Las instalaciones se subdividirán de forma que las perturbaciones originadas por averías que puedan producirse en un punto de ellas, afecten solamente a ciertas partes de la instalación,...”*

Para el caso de locales de pública concurrencia el Reglamento en la ITC-BT-28 apartado 4 contempla la división de la instalación en tres circuitos independientes, como mínimo, para que en caso de una avería al menos un tercio esté en servicio. Así mismo, se contempla la alimentación directa desde los cuadros a los receptores que consuman más de 16 A.

5.4 Líneas de alimentación a receptores. Formas de distribución.

De las distintas formas de distribución, las más utilizadas usualmente según la tensión de suministro son las siguientes:

	400/230 V.	230 V.
A grupo de receptores de alumbrado de pequeña potencia total	Monofásico (F+N)	Bifásico (2F)
A grupo de receptores de alumbrado de mediada y gran potencia total	Trifásico, (3F+N) IV h.	Trifásico, (3F) III h.
A receptores de fuerza de cualquier potencia total	Trifásico, (3F) III h.	Trifásico, (3F) III h.

Cuando se trate de cargas no trifásicas, hemos de tener la precaución de distribuirlas adecuadamente entre las distintas fases. A este respecto el Reglamento en el apartado 2.5 de la

ITC-BT-19 dice: *"Para que se mantenga el mayor equilibrio posible en la carga de los conductores que forman parte de una instalación, se procurará que aquella quede repartida entre sus fases o conductores polares."*

En lo referente a los receptores de fuerza, en su inmensa mayoría salvo en los de pequeña potencia, son trifásicos, por lo que no existe la posibilidad de desequilibrio de fases. Pero en los receptores de alumbrado, que su alimentación no es trifásica, hemos de tener en cuenta que cuando se alimente a un grupo de receptores cuya potencia total sea pequeña, la alimentación podrá ser con dos hilos, ya que en este caso la descompensación de la carga será pequeña, pero cuando se alimenta a un número de receptores cuya potencia total sea importante, ésta deberá ser trifásica.

Tengamos en cuenta además, que en el cálculo de una línea de alimentación a una carga determinada, la sección obtenida considerando un sistema trifásico es sensiblemente menor que si consideramos un sistema dos hilos, aunque, el sistema trifásico precise un número mayor de conductores.

Las líneas de alimentación a tomas de corriente para servicios auxiliares, suelen proyectarse trifásicas para así prever alimentaciones trifásicas y monofásicas o bifásicas, ya que los receptores a conectar pueden ser de cualquiera de estas formas.

6 CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS

El componente fundamental de una línea es el conductor.

Los conductores que se emplean para las distintas líneas en una instalación, son en su mayoría, aislados. Estructuralmente, un conductor aislado consta de las siguientes partes:

1) Conductor propiamente dicho (hilo o cable).

2) Aislamiento, que es la capa de material que recubre a cada hilo o cable conductor, proporcionándole el aislamiento eléctrico.

3) Cintura, o aislamiento común que muchas veces llevan los conductores formados por varios hilos o cables; suelen ser del mismo tipo material del aislamiento e incluye el relleno entre los hilos o cables. El aislamiento y la cintura con el relleno, constituyen el recubrimiento aislante del conductor.

Además de estos aislamientos, los conductores pueden llevar distintos recubrimientos protectores, que no tienen función esencialmente eléctrica, sino que están destinados a proteger al

conductor de esfuerzos mecánicos, agentes químicos, etc. Estos recubrimientos protectores pueden ser:

- a) Cubiertas, constituidas fundamentalmente por materiales derivados del caucho y materiales termoplásticos, etc., destinados a evitar los peligros de corrosión y otros agentes químicos, así como la humedad.
- b) Armaduras, o envolventes metálicas, destinadas a proteger los conductores contra las acciones mecánicas exteriores.

La elección de las características de los conductores de una línea, para que sean apropiados a las condiciones ambientales y de servicio, debe hacerse atendiendo las siguientes consideraciones:

- Tipo de aislamiento, cubierta y armadura.
- Naturaleza del conductor, nivel de aislamiento y sistema de instalación.
- Intensidad a transportar.
- Caída de tensión máxima.
- Condiciones ambientales.
- Otras consideraciones.

6.1 Tipo de aislamiento, cubierta y armadura.

Los materiales utilizados como aislamiento en los conductores, son los siguientes:

AISLAMIENTOS	TERMOPLÁSTICOS	Policloruro de vinilo (PVC)	V
		Polietileno	E
	TERMOESTABLES	Polietileno reticulado (XLPE)	R
	ELASTÓMEROS	Etileno-propileno (EPR)	D
		Silicona	
		Goma butílica (SBR)	

Los materiales empleados como cubiertas en los conductores son los siguientes:

CUBIERTAS	TERMOPLÁSTICOS	Policloruro de vinilo (PVC)	V
		Polietileno	E
	ELASTÓMEROS	Policloropreno (NEOPRENO)	N
		Poliuretano (cables de rodadura)	
	OTROS	Etileno-acetato de vinilo	G
		Goma silicona	S
		Poliolefina	Z1

Las características de los materiales son las siguientes:

POLICLORURO DE VINILO (PVC)

(70 – 90°C)

- Deforma en caliente.
- Endurece en frío.

* Tiene plastificantes incorporados.

- Endurece con el tiempo y la temperatura por pérdida de plastificante.

* De características eléctricas mediocre.

* Buena resistencia a la agresión ambiental (intemperie, disolventes, abrasivos).

POLIETILENO RETICULADO (XLPE)

ETILENO-PROPILENO (EPR) Siendo termoestable está en el grupo de elastómeros por (90 - 110°C) sus propiedades elásticas.

* Son aislamientos reticulados.

- No deforman en caliente.
- Endurecen en frío a muy baja temperatura (-40°C).

* No tienen plastificantes incorporado.

- Endurecen (por oxidación de la molécula) con el tiempo y la temperatura.

* De características eléctricas muy buena.

* El tratamiento térmico posterior a la aplicación sobre el cable (reticulado químico) lo convierte en material "termoestable".

La tendencia actual en el uso de los distintos materiales, es la de utilizar cada vez más los conductores aislados con materiales plásticos, dejando los materiales elastómeros para aquellos casos en que se precisen condiciones especiales de flexibilidad.

Las armaduras o envoltentes metálicas, se hacen con materiales duros (hierro, acero, etc.), realizándose en forma de :

ARMADURAS	Flejes de acero	Para instalaciones fijas
	Alambres de acero	
	Trenza de acero	Para instalaciones flexibles
	Cablecillos de acero	

Las armaduras son empleadas en los conductores rígidos aislados colocados directamente sobre las paredes en las instalaciones interiores en locales especiales, como los locales de pública concurrencia, locales con riesgo de incendio y explosión y los locales húmedos o mojados.

6.2 Naturaleza del conductor, nivel de aislamiento y sistema de instalación.

Los conductores pueden ser:

- Cobre o cobre estañado
 - Rígidos (Clase 1 - 2) es decir con alambres de $\varnothing 1 - 2$ mm.
 - Flexibles (Clase 5 - 6) es decir con alambres de $\varnothing 0,2 - 0,4$ mm.
- Aluminio
 - Rígidos (Clase 1 - 2).
- Aleaciones de aluminio (para cables autoportados)
 - Rígidos

Los conductores de aluminio tienen el gran inconveniente de fluir a presión, es decir, que sometidos a presión se desplaza el material deformándose. El aluminio es pasivo, crea una capa de óxido que dificulta las conexiones, por lo que las conexiones requieren conectores especiales y técnicas de punzonado profundo, a este respecto el párrafo 5 del apartado 3 de la ITC-BT-14 dice: *”Siempre que se utilicen conductores de aluminio, las conexiones del mismo deberán realizarse utilizando las técnicas apropiadas que eviten el deterioro del conductor debido a la aparición de potenciales peligrosos originados por los pares galvánicos”* y en referencia a los conductores de protección en el último párrafo del apartado 2.3 de la ITC-BT-19 dice: *“Se tomarán las precauciones necesarias para evitar el deterioro causado por efectos electroquímicos cuando las conexiones sean entre metales diferentes (por ejemplo cobre-aluminio)”*

El cobre al contrario que el aluminio, sometido a presión no fluye, por lo que mantiene la presión.

Las secciones normalizadas más utilizadas son 240, 150, 95, 50 mm² y el resto de las normalizadas inferiores.

La elección de cobre o aluminio, se basará en la facilidad de montaje y en el coste de la instalación, dentro de lo que permita el Reglamento, (según la ITC-BT-09 apartado 5.1, los conductores de aluminio no pueden utilizarse en las instalaciones de alumbrado exterior).

Normalmente se emplean, conductores de cobre para las líneas de acometida, líneas generales de alimentación, derivaciones individuales, instalaciones de alumbrado exterior y en las instalaciones interiores, tanto para líneas de alimentación a cuadros como a receptores. Utilizándose conductores rígidos para instalaciones y receptores fijos y flexibles para instalaciones

y receptores móviles.

El conductor de aluminio se emplea fundamentalmente para redes de distribución y en las instalaciones interiores para líneas de alimentación a cuadros y a receptores, cuando la carga es importante, no pudiéndose utilizar como conductores flexibles.

Los niveles de aislamiento, naturaleza y secciones mínimas de los conductores aislados, empleados en las instalaciones según el sistema de instalación, son los siguientes:

REDES DE DISTRIBUCIÓN Y ACOMETIDAS (ITC-BT-11)

	Tensión asignada	Sección mínima	
		Cobre	Aluminio
- Aéreas (ITC-BT-06)	0,6/1kV	10	16
- Subterráneas (ITC-BT-07)	0,6/1kV	6	16

ALUMBRADO EXTERIOR (ITC-BT-09)

	Tensión asignada	Sección mínima	
		Cobre	Aluminio
- Aéreas	0,6/1kV	4	no
- Subterráneas	0,6/1kV	6	no
- En el interior de los soportes	0,6/1kV	2,5	no

INSTALACIONES DE ENLACE

		Tensión asignada	Sección mínima	
			Cobre	Aluminio
- Líneas generales de alimentación (ITC-BT-14)	- b/tubos empotrados - b/tubos enterrados - b/tubos en montaje superficial - b/canales protectoras cuya tapa solo se pueda abrir con la ayuda de un útil - Canalizaciones eléct. prefabricadas - Conductos cerrados de obra de fábrica realizados a tal efecto	0,6/1kV	10	16
- Derivaciones Individuales (ITC-BT-15)	- b/tubos empotrados - b/tubos enterrados - b/tubos en montaje superficial - b/canales protectoras cuya tapa solo se pueda abrir con la ayuda de un útil - Canalizaciones eléct. prefabricadas - Conductos cerrados de obra de fábrica realizados a tal efecto	Enterrados y/o multipolares 0,6/1kV resto 450/750 V	6	6(*)

INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS (ITC-BT-20)

			Tensión asignada	Sección mínima	
				Cobre	Aluminio
- bajo tubos protectores			450/750 V	--	--
- fijación directa s/paredes			0,6/1kV		
- enterrados			0,6/1kV		
- empotrados en estructuras			0,6/1kV		
- aéreos			0,6/1kV		
- en huecos de construcción			450/750 V		
- canales protectoras	IP4X o superior		450/750 V		
	Inferior a IP4X		c/cubierta estanca 300/500 V		
- bajo molduras			450/750 V	--	--
- En bandejas o soportes de bandejas			0,6/1kV		

(*) Por condiciones térmicas debe ser de al menos 10 mm² Al

Los sistemas de instalación de las canalizaciones en función de los tipos de conductores o cables estarán de acuerdo con la tabla 1 de la ITC-BT-20

Conductores y cables		Sistemas de instalación							
		Sin fijación	Fijación directa	Tubos	Canales y molduras	Conductos de sección no circular	Bandejas de escalera Bandejas soportes	Sobre aisladores	Con fiador
Conductores desnudos		-	-	-	-	-	-	+	-
Conductores aislados		-	-	+	*	+	-	+	-
Cables con cubierta	Multi-polares	+	+	+	+	+	+	0	+
	Uni-polares	0	+	+	+	+	+	0	+
+ : Admitido - : No admitido 0 : No aplicable o no utilizado en la práctica * : Se admiten conductores aislados si la tapa sólo puede abrirse con útil o con una acción manual importante y la canal es IP 4X o IP XXD									

Los sistemas de instalación de las canalizaciones, en función de la situación estarán de acuerdo con la tabla 2 de la ITC-BT-20

Situaciones		Sistemas de instalación							
		Sin fijación	Fijación directa	Tubos	Canales y molduras	Conductos de sección no circular	Bandejas de escalera Bandejas soportes	Sobre aisladores	Con fiador
Huecos de la construcción	Accesibles	+	+	+	+	+	+	-	0
	no accesibles	+	0	+	0	+	0	-	-
Canal de obra		+	+	+	+	+	+	-	-
Enterrados		+	0	+	-	+	0	-	-
Empotrados en estructuras		+	+	+	+	+	0	-	-
En montaje superficial		-	+	+	+	+	+	+	-
Aéreo		-	-	(*)	+	-	+	+	+
+ : Admitido - : No admitido 0 : No aplicable o no utilizado en la práctica (*) : No se utilizan en la práctica salvo en instalaciones cortas y destinadas a la alimentación de máquinas o elementos de movilidad restringida									

Los sistemas de instalación para las redes de distribución, aéreas según ITC-BT-06 apartado 3.1 y subterráneas según ITC-BT-07 apartado 2.1, serán los siguientes:

Aéreas (cables aislados)	Cables posados
	Cables tensados
Subterráneas (cables aislados)	Directamente enterrados
	En canalizaciones entubadas
	En galerías visitables
	En galerías o zanjas registrables
	En atarjeas o canales revisables
	En bandejas, soportes, palomillas o directamente sujetos a la pared

6.3 Intensidad a transportar.

La intensidad máxima admisible de un conductor aislado, viene condicionada por varios factores, el más destacado es la temperatura máxima que debe alcanzar el conductor, para que no se deteriore el aislamiento, de ahí que para una misma sección de un conductor, su intensidad máxima admisible varíe según el tipo de aislamiento.

El Reglamento y la norma UNE 20.460-5-523 que se menciona en él, contienen una serie de tablas donde podemos obtener la intensidad máxima admisible en servicio permanente de un conductor, en función del sistema de instalación, tipo y nivel de aislamiento, y naturaleza y formación del conductor.

Así, las tablas de la ICT-BT-06 apartado 4 nos dan las intensidades máximas admisibles para conductores aislados de tensión asignada 0,6/1kV y para conductores desnudos, utilizados en las redes de distribución aéreas.

Las tablas de la ITC-BT-07 apartado 3, nos dan las intensidades máximas admisibles para los conductores aislados de tensión asignada 0,6/1kV, utilizados en las redes de distribución subterráneas.

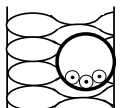
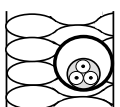
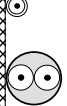
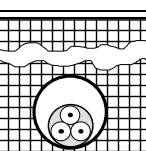
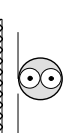
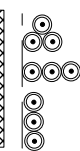
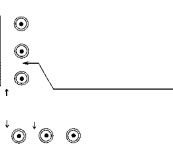
Para los conductores empleados en las instalaciones interiores o receptoras la ITC-BT-19 apartado 2.2.3, nos remite a la norma UNE 20.460-5-523 y su Anexo Nacional, que con fecha 12 de noviembre de 2.004 se anuló la parte 5-523:1.994 y su Anexo Nacional, entrando en vigor la actualización de 2.004, por tanto la actual tabla existente en el Reglamento no es válida. Se incluye a continuación, la tabla en vigor, donde se indican las intensidades máximas admisibles para una temperatura al aire de 40°C y para distintos métodos de instalación, agrupamientos y tipos de cables. Esta tabla es de difícil utilización, al necesitar un conocimiento amplio de los diferentes sistemas de instalación que en ella se indican.

Tabla A.52-1 bis
Intensidades admisibles en amperios
Temperatura ambiente 40 °C en el aire

Método de instalación de la tabla 52-B1	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento											
		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
A1		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
A2	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
B1				PVC3	PVC2		XLPE3		XLPE2			
B2			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2					
C					PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2		
E						PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
F							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sección mm ² Cu												
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
Aluminio												
2,5	11,5	12	13,5	14	16	17	18	20	20	22	25	–
4	15	16	18,5	19	22	24	24	26,5	27,5	29	35	–
6	20	21	24	25	28	30	31	33	36	38	45	–
10	27	28	32	34	38	42	42	46	50	53	61	–
16	36	38	42	46	51	56	57	63	66	70	83	–
25	46	50	54	61	64	71	72	78	84	88	94	105
35	–	61	67	75	78	88	89	97	104	109	117	130
50	–	73	80	90	96	106	108	118	127	133	145	160
70	–	–	–	116	122	136	139	151	162	170	187	206
95	–	–	–	140	148	167	169	183	197	207	230	251
120	–	–	–	162	171	193	196,5	213	228	239	269	293
150	–	–	–	187	197	223	227	246	264	277	312	338
185	–	–	–	212	225	236	259	281	301	316	359	388
240	–	–	–	248	265	300	306	332	355	372	429	461

Es necesario consultar las tablas 52 – C1 a 52 – C12 con el fin de determinar la sección de los conductores para la que la intensidad admisible anterior es aplicable para cada uno de los métodos de instalación.

Tabla 52-B1
Métodos de instalación de referencia

Instalación de referencia		Tabla y columna						
		Intensidad admisible para los circuitos simples					Factor de temperatura ambiente	Factor de reducción de agrupamiento
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR		Aislamiento mineral		
		Número de conductores						
		2	3	2	3	1, 2 y 3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
 habitación (local)	A1	52-C1 Col. 2	52-C3 Col. 2	52-C2 Col. 2	52-C4 Col. 2	–	52-D1	52-E1
 habitación (local)	A2	52-C1 Col. 3	52-C3 Col. 3	52-C2 Col. 3	52-C4 Col. 3	–	52-D1	52-E1
	B1	52-C1 Col. 4	52-C3 Col. 4	52-C2 Col. 4	52-C4 Col. 4	–	52-D1	52-E1
	B2	52-C1 Col. 5	52-C3 Col. 5	52-C2 Col. 5	52-C4 Col. 5	–	52-D1	52-E1
	C	52-C1 Col. 6	52-C3 Col. 6	52-C2 Col. 6	52-C4 Col. 6	Cubierta 70 °C 52-C5 Cubierta 105 °C 52-C6	52-D1	52-E1
	D	52-C1 Col. 7	52-C3 Col. 7	52-C2 Col. 7	52-C4 Col. 7	–	52-D2	52-E3
 Distancia al muro no inferior a 0,3 veces el diámetro del cable	E	Cobre 52-C9 Aluminio 52-C10		Cobre 52-C11 Aluminio 52-C12		Cubierta 70 °C 52-C7 Cubierta 105 °C 52-C8	52-D1	52-E1
 Distancia al muro no inferior al diámetro del cable	F	Cobre 52-C9 Aluminio 52-C10		Cobre 52-C11 Aluminio 52-C12		Cubierta 70 °C 52-C7 Cubierta 105 °C 52-C8	52-D1	52-E1
 Distancia entre ellos como mínimo el diámetro del cable	G	Cobre 52-C9 Aluminio 52-C10		Cobre 52-C11 Aluminio 52-C12		Cubierta 70 °C 52-C7 Cubierta 105 °C 52-C8	52-D1	–

A los valores obtenidos por las distintas tablas se le aplicarán, si fuese necesario, factores de corrección por temperatura y agrupación de conductores, y/o por temperatura y resistividad del terreno, según los casos.

En los locales con riesgo de incendio o explosión, según la ITC-BT-29 apartado 9.1 la intensidad máxima admisible deberá disminuir en un 15% respecto al valor correspondiente a una instalación convencional

6.4 Caída de Tensión Máxima.

El Reglamento electrotécnico para baja tensión prescribe según la ITC-BT-19 apartado 2.2.2, los valores máximos admitidos, que para los distintos casos son:

Acometida		Fijado por empresa suministradora
Instalación de Enlace	- Línea general alimentación	0,5 o 1 % s/esquema
	- Derivación Individual	1 o 0,5 % s/esquema
Instalación interior o receptora	- Alumbrado y viviendas	3 % (*)
	- Demás usos	5 % (*)
Instalaciones industriales con trafo propio	- Alumbrado	4,5 %
	- Demás usos	6,5 %
Instalaciones generadoras	Entre el generador y el punto de interconexión	1,5%

(*) El valor de la caída de tensión podrá compensarse entre la de la instalación interior y la de las derivaciones individuales, de forma que la caída de tensión total sea inferior a la suma de los valores límites especificados para ambas, según el tipo de esquema utilizado.

6.5 Condiciones ambientales.

De gran importancia para las distintas partes de una instalación son, las condiciones ambientales en que se encuentre, por lo que hemos de tener en cuenta las características especiales de determinadas zonas o locales, como pueden ser:

	<u>ITC-BT</u>
- Locales de pública concurrencia	28
- Locales con riesgo de incendio o explosión	29
- Locales de características especiales, húmedos, mojados, con riesgo de corrosión, de temperaturas extremas, etc.	30

	<u>ITC-BT</u>
- Instalaciones con fines especiales	
- Piscinas y fuentes	31
- Máquinas de elevación y transporte	32
- Instalaciones provisionales y temporales de obras	33
- Ferias y Stands	34
- Establecimientos agrícolas y hortícolas	35
- Instalaciones a muy baja tensión	36
- Instalaciones a tensiones especiales	37
- Quirófanos y salas de intervención	38
- Cercas eléctricas para ganado	39
- Generadoras de baja tensión	40
- Caravanas y parques de caravanas	41
- Puertos y marina para barcos de recreo	42

Prescribiéndose en cada caso, las condiciones que ha de cumplir la instalación en estos locales.

6.6 Otras consideraciones.

Además de los apartados citados anteriormente, hay que tener en cuenta para el cálculo de los circuitos de alimentación a receptores, las siguientes consideraciones:

Para el caso de circuitos de alimentación a motores, el apartado 3 de la ITC-BT-47, nos da las consideraciones a tener en cuenta para que no se produzca un calentamiento excesivo en los conductores y son las siguientes:

- Un solo motor, en servicio continuo. Se dimensionará el circuito para una intensidad no inferior al 125% de la intensidad del motor a plena carga.

- Un motor solo, en servicio intermitente. Se dimensionará el circuito para una intensidad no inferior al 85% de la intensidad del motor a plena carga.

- Varios motores. El circuito se dimensionará para una intensidad no inferior a la suma del 125% de la intensidad a plena carga del motor de mayor potencia, más las intensidades a plena carga de los demás motores.

- Carga combinada. Si el circuito alimenta además de motores otros receptores, se

dimensionará ésta para la intensidad requerida por los otros receptores más la de los motores, calculada como antes se ha indicado.

Para el caso de líneas de conexión de instalaciones generadoras, conforme al punto 5 de la ITC-BT-40, los cables se dimensionarán para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador.

Para el caso de circuitos de alimentación a receptores con lámparas de descarga, el apartado 3.1 de la ITC-BT-44, dice que la carga mínima prevista en voltiamperios será de 1,8 veces la potencia en vatios de la lámpara. Será aceptable un coeficiente diferente para el cálculo de la sección de los conductores, siempre y cuando el factor de potencia de cada receptor sea mayor o igual a 0,9 y si se conoce la carga que supone cada uno de los elementos asociados a las lámparas y las corrientes de arranque, que tanto éstas como aquéllos puedan producir. En este caso, el coeficiente será el que resulte.

7 PROTECCIONES DE LA INSTALACIÓN.

El Reglamento prevé los sistemas de protección de una instalación eléctrica de baja tensión, unos encaminados a proteger los circuitos contra los efectos de sobreintensidad y sobretensión y otros orientados a efectos de seguridad general, para evitar los contactos directos y anular el efecto de los indirectos.

7.1 Protecciones de los circuitos contra sobreintensidades.

Según la ITC-BT-22, las sobreintensidades pueden estar motivadas por:

- Sobrecargas, debidas a los receptores o a defectos de aislamiento de gran impedancia.
- Cortocircuitos.
- Descargas eléctricas atmosféricas

Contra sobrecargas, se garantizará el límite de intensidad máxima admisible del conductor. Los dispositivos de protección que se utilizarán serán, los cortacircuitos fusibles calibrados o los interruptores automáticos con curva térmica de corte.

Contra cortocircuitos, se instalará en el origen de todo circuito, un dispositivo de protección cuya capacidad de corte estará de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en el punto de su conexión. Se admiten como dispositivos de protección, los cortacircuitos fusibles calibrados de características de funcionamiento adecuadas y los interruptores automáticos con sistema de corte omnipolar.

7.2 Protección contra sobretensiones.

La ITC-BT-23 indica que esta protección se refiere a instalaciones eléctricas interiores contra las sobretensiones transitorias que se transmiten por las redes de distribución (líneas de alimentación principal) y que se originan, fundamentalmente, como consecuencia de las descargas atmosféricas, conmutación de redes y defectos en las mismas, no tratando el caso de descarga directa del rayo.

El Reglamento contempla dos situaciones diferentes.

- Situación natural (no se precisa la protección), cuando se prevé un bajo riesgo de sobretensiones en una instalación (alimentación mediante red subterránea), se considera suficiente la resistencia a las sobretensiones de los equipos que se indican en la Tabla 1 de esta ITC.
- Situación controlada (se considera necesaria la protección en el origen de la instalación), cuando esta se alimenta por, o incluye, una línea aérea.

Se considera situación controlada también, aquella situación natural en la que conviene incluir la protección para una mayor seguridad (continuidad del servicio, valor de los equipos, etc.).

Los descargadores deben seleccionarse de manera que su nivel de protección sea inferior a la tensión soportada a impulsos de la categoría de los equipos y materiales a instalar.

En redes TT y IT los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores, incluyendo el neutro y la tierra de la instalación.

Las categorías indicadas en la tabla 1 del ITC-BT-23 son:

- Categoría I. Se aplica a equipos muy sensibles y destinados a ser conectados a la instalación eléctrica fija (ordenadores, equipos electrónicos muy sensibles, etc.)
- Categoría II. Se aplica a equipos destinados a ser conectados a la instalación eléctrica fija (electrodomésticos, herramientas portátiles, etc.)
- Categoría III. Se aplica a los equipos y materiales que forman parte de la instalación eléctrica y a otros equipos para los que se requiere un alto nivel de fiabilidad (Cuadros, embarrados, aparamenta, cables, canalizaciones...), motores con conexión eléctrica fija, (ascensores, máquinas industriales, etc.)

- Categoría IV. Se aplica a equipos y materiales conectados en el origen de la instalación o muy próximos (equipos de medida, dispositivos generales de protección, etc.)

Los equipos y materiales deben escogerse de manera que su tensión soportada a impulsos no sea inferior, según su categoría, a la tensión soportada prescrita en la citada tabla 1.

TENSIÓN NOMINAL DE LA INSTALACIÓN		TENSIÓN SOPORTADA A IMPULSOS 1,2/50 (kV)			
SISTEMAS TRIFÁSICOS	SISTEMAS MONOFÁSICOS	CATEGORÍA IV	CATEGORÍA III	CATEGORÍA II	CATEGORÍA I
230/400	230	6	4	2,5	1,5
400/690 1000	-- --	8	6	4	2,5

7.3 Protecciones contra contactos directos.

Contacto directo es el contacto de personas o animales con partes activas de los materiales y equipos de la instalación.

Según el apartado 3 de la ITC-BT-24, los medios a utilizar vienen expuestos y definidos en la norma UNE 20.460-4-41, que son habitualmente:

- Protección por aislamiento de las partes activas, recubriéndolas por un aislamiento que sólo pueda quitarse por destrucción. Las pinturas, barnices, lacas y productos similares, no se consideran como aislamiento apropiado.
- Protección por medios de barreras o envolventes, serán fijadas de manera segura, y ser robustas y de durabilidad suficiente para mantener los grados de protección mínimos exigidos.
- Protección por medios de obstáculos, impedirán una aproximación física no intencionada o los contactos no intencionados, (los obstáculos están destinados a impedir los contactos fortuitos con las partes activas, pero no los contactos voluntarios mediante un intento deliberado de contornear el obstáculo). Esta medida no garantiza una protección completa.
- Protección por puesta fuera de alcance por alejamiento, destinada solamente a impedir los contactos fortuitos con las partes activas. Esta medida no garantiza una protección completa.

- Protección complementaria por dispositivo de corriente diferencial residual, cuyo valor de corriente diferencial asignada de funcionamiento sea inferior o igual a 30 mA. Esta destinada solamente a completar otras medidas, no constituyendo por sí mismo, una medida de protección completa.

7.4 Protección contra contactos indirectos.

Se define como el contacto de personas o animales domésticos con partes que se han puesto bajo tensión como resultado de un fallo de aislamiento.

El Reglamento en el apartado 4 de la ITC-BT-24, contempla las medidas de protección, siendo las más habituales:

7.4.1 Protección por corte automático de la alimentación.

El corte automático está prescrito cuando puede producirse un efecto peligroso en las personas y animales domésticos en caso de defecto, debido al valor y duración de la tensión de contacto.

La tensión límite convencional es igual a 50 V, valor eficaz de la corriente alterna, en condiciones normales. En ciertas condiciones puede especificarse valores menos elevados, como por ejemplo, 24 V para instalaciones de alumbrado público según ITC-BT-09 apartado 10.

Este sistema de protección para el esquema de conexión TT, presenta las siguientes características y prescripciones:

- Todas las masas de los equipos eléctricos protegidos por un mismo dispositivo de protección, deben ser interconectadas y unidas por un conductor de protección a una misma toma de tierra.
- El neutro del transformador debe ponerse a tierra.
- Se cumplirá la siguiente condición:

$$R_A \times I_a \leq U$$

donde:

R_A es la suma de las resistencias de la toma de tierra y de los conductores de protección de masas.

I_a es la corriente que asegura el funcionamiento automático del dispositivo de protección.

U es la tensión de contacto límite convencional (50, 24 V u otras, según los casos).

Para este esquema TT, se utilizan los dispositivos de protección siguientes:

- Dispositivos de protección de corriente diferencial-residual.
- Dispositivos de protección de máxima corriente, tales como fusibles, interruptores automáticos. Estos dispositivos solamente son aplicables cuando la resistencia R_A tiene un valor muy bajo.

El tiempo de funcionamiento de los diferenciales puede ser de hasta 1 s.

7.4.2 Protección por empleo de equipos de la clase II o por aislamiento equivalente

Los equipos o materiales clase II son los que la protección contra el choque eléctrico no se basa únicamente en el aislamiento principal, sino que comporta una medida de seguridad complementaria tales como el doble aislamiento o aislamiento reforzado. Estas medidas no suponen la utilización de puesta a tierra para la protección y no dependen de las condiciones de la instalación. Estos materiales u equipos deben alimentarse con cables con doble aislamiento o aislamiento reforzado.

La norma UNE 20.460-4-41 describe las características y revestimientos que deben cumplir las envolventes de estos equipos.

Estos equipos vienen marcados por el símbolo 

7.4.3 Protección en los locales o emplazamientos no conductores

Esta medida está destinada a impedir en caso de fallo del aislamiento principal de las partes activas, el contacto simultáneo con partes que pueden ser puestas a tensiones diferentes.

La norma UNE 20.460-4-41 indica las características de las protecciones y medios para estos casos.

7.4.4 Protección mediante conexiones equipotenciales locales no conectadas a tierra

Los conductores de equipotencialidad deben conectar todas las masas y todos los elementos conductores que sean simultáneamente accesibles.

La conexión equipotencial local así realizada no debe estar conectada tierra, ni directamente ni a través de masas o elementos conductores.

7.4.5 Protección por separación eléctrica

El circuito debe alimentarse a través de una fuente de separación, es decir:

- un transformador de aislamiento,
- una fuente que asegure un grado de seguridad equivalente al transformador de aislamiento anterior, por ejemplo un grupo motor generador que posea una separación equivalente.

En el caso de que el circuito separado solo alimente a un aparato, las masas del circuito no deben ser conectadas a un conductor de protección.

En el caso de un circuito separado que alimente muchos aparatos, será necesario cumplir las siguientes prescripciones:

- Las masas del circuito separado deben conectarse entre sí mediante conductores de equipotencialidad aislados, no conectados a tierras.
- Todos los cables flexibles de equipos que no sean de clase II, deben tener un conductor de protección utilizado como conductor de equipotencialidad.

El símbolo que indica la separación eléctrica de circuitos es



7.5 Protecciones contra contactos directos e indirectos

La ITC-BT-24 apartado 2, establece que la protección contra contactos directos e indirectos a la vez se realiza mediante la utilización de muy baja tensión de seguridad MBTS, que según la ITC-BT-36, comprenden aquellas cuya tensión nominal no excede de 50 V en c.a. ó 75 V c.c, alimentadas mediante una fuente con aislamiento de protección, tales como un transformador de seguridad o fuentes equivalentes cuyos circuitos disponen de aislamiento de protección y no están conectados a tierra. Las masas no deben estar intencionadamente conectadas a tierra o a un conductor de protección.

El símbolo que identifica la utilización de MBTS es

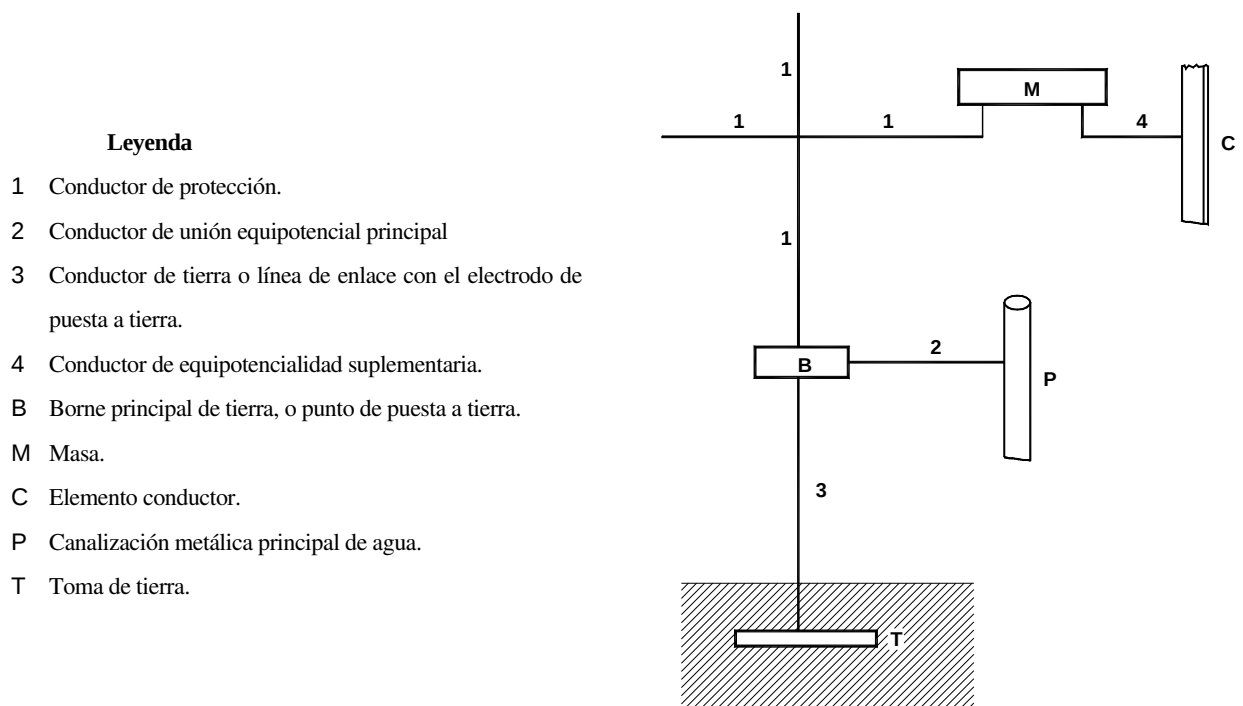


8 PUESTA A TIERRA DE LA INSTALACIÓN.

Tiene por objeto, limitar la tensión que con respecto a tierra puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

Se define la puesta a tierra o conexión a tierra como la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo mediante una toma de tierra con un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo.

En la figura se indican las partes típicas de una instalación de puesta a tierra:



8.1 Toma de tierra.

Para la toma de tierra se pueden utilizar electrodos formados por:

- barras, tubos
- pletinas, conductores desnudos
- placas
- anillos o mallas metálicas constituidas por los elementos anteriores o sus combinaciones
- armaduras de hormigón enterradas, con excepción de las armaduras pretensadas
- otras estructuras enterradas que se demuestre que son apropiadas

De los distintos tipos que contempla el apartado 3.1 de la ITC-BT-18, los más utilizados son:

- Placas de cobre de 2 mm de espesor, o de hierro galvanizado de 2,5 mm de espesor, ambos con una superficie útil no inferior a 0,5 m².

Se colocarán en posición vertical y en el caso de necesitar más de una se distanciarán 3 m.

- Picas verticales de tubo de acero galvanizado de 25 mm de diámetro mínimo o de barra de acero cobrizado de 14 mm de diámetro como mínimo y ambos de una longitud no inferior a 2 m.

En el caso de necesitarse más de una, se distanciarán una longitud igual, a la de las picas enterradas.

- Anillos de cobre desnudo de 35 mm² mínimos, enterrados horizontalmente a una profundidad no inferior a 50 cm.

Los materiales utilizados y la realización de las tomas de tierra deben ser tales que no se vea afectada la resistencia mecánica y eléctrica por efecto de la corrosión de forma que comprometa las características del diseño de la instalación.

Las canalizaciones metálicas de otros servicios (agua, calefacción, etc.) no deben ser utilizadas como tomas de tierra por razones de seguridad.

8.2 Conductores de tierra.

Son los conductores que unen los electrodos con el borne principal de tierra. Su sección estará de acuerdo con el apartado 3.4 de la ITC-BT-18, y cuando estén enterrados, estarán de acuerdo con los valores de la tabla 1 de la citada Instrucción. La sección no será inferior a la exigida para los conductores de protección.

Tabla 1. Secciones mínimas de los conductores de tierra

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 envoltura		

Durante la ejecución de las uniones entre conductores de tierra y electrodos de tierra debe extremarse el cuidado para que resulten eléctricamente correctas.

Debe cuidarse, en especial, que las conexiones, no dañen ni a los conductores ni a los electrodos de tierra.

8.3 Borne principal de puesta a tierra.

Toda instalación de puesta a tierra debe preverse un borne principal de tierra, al cual deben unirse los conductores siguientes:

- Los conductores de tierra
- Los conductores de protección
- Los conductores de unión equipotencial principal
- Los conductores de puesta a tierra funcional, si son necesarios

El Reglamento prevé que sobre los conductores de tierra y en lugar accesible, se instale un dispositivo (punto de puesta a tierra) que permita realizar la medida de resistencia de la toma de tierra correspondiente. Este dispositivo puede estar combinado con el borne principal de tierra, debe ser desmontable necesariamente por medio de un útil, tiene que ser mecánicamente seguro y debe asegurar la continuidad eléctrica

8.4 Conductores de protección.

Los conductores de protección sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos con el fin de asegurar la protección contra contactos indirectos. En el circuito de conexión a tierra, los conductores de protección unirán las masas al conductor de tierra.

La sección de los conductores de protección será la indicada en la tabla 2 de la ITC-BT-18 apartado 3.4 o se obtendrán por cálculo conforme a lo indicado en la norma UNE 20.460-5-54 apartado 543.1.1

Tabla 2. Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase.

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$ (*)
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

(*) si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación serán de cobre, con una sección mínima de:

2,5 mm² si los conductores de protección disponen de una protección mecánica.

4 mm² si los conductores de protección no disponen de una protección mecánica.

Si la aplicación de la tabla conduce a valores no normalizados, se han de utilizar conductores que tengan la sección normalizada superior más próxima.

Los valores de la tabla 2 solo son válidos para conductores de igual naturaleza, de no ser así, las secciones se determinarán de forma que presenten una conductividad equivalente a la que resulta aplicando la tabla 2.

Cuando el conductor de protección sea común a varios circuitos, la sección de ese conductor debe dimensionarse en función de la mayor sección de los conductores de fase.

Como conductores de protección pueden utilizarse:

- conductores en los cables multipolares, o
- conductores aislados o desnudos que posean una envolvente común con los conductores activos, o
- conductores separados desnudos o aislados

También se pueden utilizar como conductores de protección, las canalizaciones prefabricadas o partes de envolventes de conjuntos montados en fábrica, si satisfacen, simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) Su continuidad eléctrica debe ser tal que no resulte afectada por deterioros mecánicos, químicos o electroquímicos.
- b) Su conductividad debe ser, como mínimo, igual a la que resulta por la aplicación del apartado 3.4 de la ITC-BT-18.
- c) Deben permitir la conexión de otros conductores de protección en toda derivación predeterminada.

Ningún aparato debe estar intercalado en el conductor de protección.

Las masas de los equipos a unir con los conductores de protección no deben ser conectadas en serie en un circuito de protección, con excepción de las canalizaciones prefabricadas y las envolventes montadas en fábrica antes mencionadas.

8.6 Resistencia de las tomas de tierra

El electrodo se dimensionará de forma que su resistencia de tierra, en cualquier circunstancia previsible, no sea superior al valor especificado para ella, en cada caso. Este valor será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a:

- 24 V en local o emplazamiento conductor
- 50 V en los demás casos.

Mediante las tablas 3, 4 y 5 de la ITC-BT-18 del Reglamento, puede hacerse una estimación del electrodo necesario (número de picas, superficie de la placa ó longitud del conductor, según los casos), en función del tipo de terreno existente en el lugar de ubicación de la instalación.

8.7 Elementos que deben ser puestos a tierra.

En la instalación se deberán poner a tierra los siguientes elementos:

- La estructura del edificio o nave.
- Las zapatas de hormigón armado (al menos un hierro).
- Los sistemas de tuberías metálicas.
- Toda masa metálica importante en la zona de instalación.
- Depósitos, instalaciones calefacción, antenas, pararrayos, etc.
- Cubierta metálicas de los aparatos receptores.
- Masas metálicas accesibles en cuartos de baño y aseos.

8.8 Separación entre la puesta a tierra de la instalación eléctrica de baja tensión y la tierra general del centro de transformación.

A fin de evitar transferencias de tensiones cuando un centro de transformación forma parte de una nave o edificio, o bien se encuentra en sus proximidades, se debe tener en cuenta que la tierra general del centro de transformación ha de estar eléctricamente separada de la tierra de la instalación de baja tensión. Por ello, al proyectar las distintas instalaciones, se cumplirán las siguientes condiciones:

- No existirán canalizaciones metálicas conductoras (cubiertas metálicas de cable no aislada especialmente, canalizaciones de agua, gas, etc.) próximas a la zona de influencia de los electrodos de la toma de tierra general del centro de transformación.

- La distancia entre las tomas de tierras del centro de transformación y las tomas de tierra de la instalación eléctrica de baja tensión u otros elementos conductores enterrados, debe ser al menos igual a 15 metros para terrenos de resistividad no muy elevada (<100 ohmios · metro). Cuando el terreno sea muy mal conductor, la distancia se calculará, aplicando la fórmula:

$$D = \frac{\rho \cdot I_d}{2 \cdot \pi \cdot U}$$

siendo:

- D : distancia entre electrodos, en metros.
- ρ : resistividad media del terreno en ohmios · metro
- I_d : intensidad de defecto a tierra, en amperios, para el lado de alta tensión, que será facilitado por la empresa eléctrica
- U : 1.200 V para sistemas de distribución TT, para tiempo de eliminación del defecto en alta tensión menor o igual a 5 segundos y 250 V, en caso contrario.

- En el caso de encontrarse el centro de transformación contiguo o en el interior de una nave o edificio, los elementos instalados en él deberán estar aislados de los elementos constructivos de la nave o edificio.