

Paraninfo

Técnicas y Procesos en las Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión

José Luis Sanz Serrano
Jose Carlos Toledano Gasca

6^a Edición

Instalaciones Electrotécnicas

ELECTRICIDAD - ELECTRÓNICA

Técnicas y Procesos en las instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión

Instalaciones Electrotécnicas

**Técnicas y Procesos en las instalaciones
Eléctricas en Media y Baja Tensión**

**José Luis Sanz Serrano
José Carlos Toledano Gasca**

6ª Edición



Paraninfo

Técnicas y Procesos en las instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión

© José Luis Sanz Serrano y José Carlos Toledano Gasca

Gerente Editorial

María José López Raso

Equipo Técnico Editorial

Alicia Cerviño González
Nuria Duarte González

Editora de Adquisiciones

Carmen Lara Carmona

Producción

Nacho Cabal Ramos

Diseño de cubierta

Digraf

Preimpresión

Copibook, SL

Reservados los derechos para todos los países de lengua española. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 270 del Código Penal vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reprodujeran o plagiaran, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica fijada en cualquier tipo de soporte sin la preceptiva autorización. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea este electrónico, químico, mecánico, electro-óptico, grabación, fotocopia o cualquier otro, sin la previa autorización escrita por parte de la Editorial.

COPYRIGHT © 2008 Ediciones Paraninfo, SA
6ª edición, 2ª reimpression, 2009

Av. Filipinas 50, Bajo A / 28003 Madrid, ESPAÑA
Teléfono: 902 995 240 / Fax: 914 456 218
clientes@paraninfo.es / www.paraninfo.es

ISBN: 978-84-9732-663-6
Depósito legal: M-35578-2009

(081/87/20)

Impreso en España /Printed in Spain

Closas Orcoyen, SL
Polígono Igarsa
naves 21, 22, 23 y 24
Paracuellos del Jarama (Madrid)

Índice

Agradecimientos	IX
Prólogo a la 6. ^a edición actualizada	XI
Introducción	XIII

1. Redes eléctricas	1
1.1. Tipología y características	2
1.2. Constitución de una Red de Distribución	2
1.2.1. Definiciones	2
1.2.2. Tipos de líneas y de conexión en las redes de distribución	5
1.2.3. Tipos de esquemas en redes de Baja Tensión en función de su conexión a tierra	7
1.3. Telemando	8
1.4. Cálculo eléctrico de líneas eléctricas	9
1.5. Reglamentación	10
1.6. Documentación técnica. Simbología e interpretación de planos y esquemas	11
1.6.1. Simbología	11
1.6.2. Signos de identificación de la clase de aparato o elemento	12
1.6.3. Función del aparato o elemento	13
Actividades y prácticas propuestas	16

2. Líneas aéreas y subterráneas de Media Tensión (M.T.) y Baja Tensión (B.T.)	17
2.1. Estructura y elementos de líneas aéreas y subterráneas	18
2.1.1. Aéreas	18
2.1.2. Subterráneas	18
2.2. Equipos, dispositivos y materiales utilizados en las líneas de distribución	18
2.3. Cálculo mecánico de conductores y apoyos de líneas aéreas mediante la utilización de programas informáticos y tablas o prontuarios	34
2.3.1. Acciones a las que se encuentran sometidas las líneas	34
2.3.2. Cimentaciones	42
2.4. Protecciones eléctricas. Instalación de puesta a tierra.	43
2.4.1. Clasificación de las zonas de ubicación de los apoyos	43
2.4.2. Materiales	46
2.4.3. Cálculo de la resistencia a tierra de un electrodo	48
2.4.4. Mejora de las tomas de tierra	49
2.5. Procedimiento de montaje de líneas de distribución. Tipología y características	50

2.5.1. Líneas aéreas con conductores desnudos en M.T.	50	4.3. Determinación del grado de electrificación	143
2.5.2. Líneas aéreas de M.T. realizadas con conductores trenzados en haz	52	4.4. Grado de electrificación proyectado	143
2.5.3. Líneas subterráneas con conductores aislados en media tensión	58	4.5. Previsión de cargas en los edificios	143
2.5.4. Líneas con conductores aislados en media tensión. Montaje en galerías	60	4.5.1. Cálculo de cargas de un edificio destinado principalmente a viviendas	143
2.5.5. Niveles de aislamiento para conductores y accesorios a instalar en redes trifásicas ..	61	4.6. Carga total correspondiente a edificios comerciales, de oficinas o destinados a una o varias industrias .	146
2.5.6. Intensidades nominales y de cortocircuito admisibles en los conductores y en pantallas	62	4.6.1. Edificios comerciales o de oficinas	147
2.5.7. Líneas aéreas con conductores desnudos en baja tensión	62	4.6.2. Edificios destinados a concentración de industrias	147
2.5.8. Líneas aéreas con conductores aislados trenzados en baja tensión	65	4.7. Suministros monofásicos	147
2.5.9. Líneas subterráneas con conductores aislados en baja tensión	71	4.8. Ejemplos de aplicación	147
2.6. Manejo y tendido de los cables eléctricos	76	4.8.1. Calcular la potencia demandada por el grupo de viviendas	147
Actividades y prácticas propuestas	79	4.8.2. Calcular la potencia demandada para un edificio de viviendas, oficinas y locales comerciales	147
3. Centros de transformación	81	4.9. Acometidas	148
3.1. Generalidades	82	4.9.1. Acometida aérea	148
3.2. Clasificación de los centros de transformación ..	82	4.9.2. Acometida subterránea	148
3.3. Partes fundamentales	88	4.10. Instalaciones de enlace: generalidades	148
3.4. Simbología	90	4.11. Caja General de Protección: CGP-BTV	149
3.5. Aparamenta para media tensión	90	4.11.1. Tipos de cajas	149
3.6. Maniobras en un centro de transformación	100	4.11.2. Bases Tripolares Verticales: BTV	151
3.6.1. Instrucciones para maniobras	100	4.11.3. Huecos en la construcción para la caja general de protección	152
3.6.2. Modo de reponer un fusible	100	4.11.4. Ejemplo de cálculo para la CGP	153
3.6.3. Rearme de relés	100	4.12. Línea General de Alimentación	153
3.6.4. Maniobra en la celda del interruptor	101	4.12.1. Instalación	154
3.6.5. Maniobra en la celda del seccionador	101	4.12.2. Dimensionado	154
3.6.6. Condena de aparatos	101	4.12.3. Ejemplo de cálculo rápido para Líneas Generales de Alimentación	154
3.6.7. Enclavamientos	101	4.12.4. Protecciones contra sobrecargas en las Líneas Generales de Alimentación	154
3.6.8. Comprobación de la concordancia de fases.	101	4.12.5. Protección por cortocircuito	155
3.7. Tomas de tierra en centros de transformación. Características	103	4.13. Centralización de contadores	156
3.7.1. Sistemas de puesta a tierra	103	4.13.1. Cuarto de contadores	156
3.7.2. Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación conectados a redes de tercera categoría	105	4.13.2. Composición de la centralización de contadores	157
3.8. Procedimiento de montaje de centros de transformación. Tipología y características	130	4.13.3. Determinación práctica del número de huecos y módulos necesarios en una centralización de contadores	159
3.8.1. Fijación al suelo	131	4.14. Derivaciones individuales	160
3.8.2. Unión entre celdas	132	4.14.1. Composición	160
3.8.3. Compartimento de mecanismos de maniobra .	132	4.14.2. Tipos de derivaciones individuales	160
3.8.4. Secuencia de maniobras	133	4.14.3. Trazado	160
Actividades y prácticas propuestas	142	4.14.4. Características y dimensionado de las canalizaciones	161
4. Instalaciones de enlace e interiores	143	4.14.5. Características de los conductores	161
4.1. Sistema de distribución para edificios	143	4.15. Interruptor de Control de Potencia	162
4.2. Grados de electrificación de una vivienda	143	4.15.1. Ubicación y características	162
		4.15.2. Ejemplo de cálculo de la intensidad de los ICP	162
		4.15.3. Potencias de contratación	162
		4.16. Cuadro General de Mando y Protección	162
		4.16.1. Ubicación	162
		4.16.2. Composición y montaje	163
		4.16.3. Características del Cuadro General de Mando y Protección	164

4.16.4. Tipos de Cuadros Generales específicos para uso de viviendas	164
4.17. Instalación interior	164
4.17.1. Instalaciones interiores específicas para edificios de viviendas	165
4.17.2. Número de circuitos	165
4.17.3. Puntos de utilización	167
4.17.4. Instalación eléctrica de cocinas	170
4.17.5. Instalación de cuartos de baño y aseo ..	170
4.18. Otras instalaciones del edificio	172
4.18.1. Instalaciones de garajes	172
4.18.2. Ascensores y montacargas	173
4.18.3. Servicios generales	173
4.19. Símbolos utilizados en instalaciones de Baja Tensión	174
4.20. Puesta a tierra en edificios	177
4.20.1. Definición	177
4.20.2. Elementos a conectar a la puesta a tierra en los edificios	180
4.20.3. Puesta a tierra en edificios existentes ..	183
4.21. Protección por cortocircuito para línea general de alimentación	183
Actividades y prácticas propuestas	184

5. Instalaciones específicas. Tipología y características. Reglamentación

185

5.1. Instalaciones en locales de pública concurrencia ..	186
5.1.1. Campo de aplicación	186
5.1.2. Alimentación de los servicios de seguridad ..	186
5.1.3. Alumbrado de emergencia	187
5.1.4. Lugares en que deberá instalarse alumbrado de emergencia	189
5.1.5. Prescripciones de los aparatos para alumbrado de emergencia	189
5.1.6. Prescripciones de carácter general	190
5.1.7. Prescripciones complementarias para locales de espectáculos y actividades recreativas ..	191
5.1.8. Prescripciones complementarias para locales de reunión y trabajo	191
5.1.9. Prescripciones complementarias para establecimientos sanitarios	192
5.2. Tipos de suministros eléctricos. Suministros normales y complementarios: Socorro, Reserva y Duplicado	193
5.3. Instalaciones en locales con riesgo de incendio y explosión	198
5.3.1. Terminología	198
5.3.2. Clasificación de emplazamientos	198
5.3.3. Prescripciones generales	203
5.3.4. Emplazamientos de clase I	203
5.3.5. Emplazamientos de clase II	203
5.3.6. Sistemas de cableado	203
5.4. Instalaciones en locales de características especiales	207

5.4.1. Instalaciones en locales húmedos	207
5.4.2. Instalaciones en locales mojados	207
5.4.3. Instalaciones en locales con riesgo de corrosión	208
5.4.4. Instalaciones en estaciones de servicio, garajes y talleres de reparación de vehículos	208
5.5. Instalaciones con fines especiales	210
5.5.1. Instalaciones para piscinas y fuentes	210
5.5.2. Instalaciones para máquinas de elevación y transporte	214
5.5.3. Instalaciones provisionales y temporales de obra	215
5.5.4. Instalaciones de ferias y stands	217
5.6. Receptores. Tipología y características	219
5.6.1. Condiciones generales de instalación	219
5.6.2. Clasificación de los receptores	219
5.6.3. Conexión de los receptores	220
5.6.4. Receptores de alumbrado	220
5.6.5. Instalación de lámparas o tubos de descarga o rótulos luminosos	220
5.6.6. Motores	221
5.6.7. Generadores	224
5.6.8. Utilización simultánea de grupos generadores y de energía de una red de distribución pública	224
Actividades y prácticas propuestas	224

6. Iluminación

225

6.1. Magnitudes y leyes luminotécnicas	226
6.1.1. Naturaleza de la radiación	226
6.1.2. Magnitudes radiométricas y fotométricas utilizadas en luminotecnia	228
6.1.3. Leyes fundamentales de la fotometría	231
6.1.4. Propiedades ópticas de los materiales	233
6.2. Fuentes de luz	237
6.2.1. Procesos productores de luz	237
6.2.2. Piroluminiscencia	237
6.2.3. Incandescencia	237
6.2.4. Electroluminiscencia	239
6.2.5. Fotoluminiscencia	242
6.2.6. Estudio comparativo de características de las fuentes de luz	245
6.2.7. Esquemas de montaje de diferentes tipos de lámparas	249
6.3. Luminarias	251
6.3.1. Definiciones	251
6.3.2. Características	251
6.3.3. Clasificación	251
6.3.4. Clases de protección de luminarias	254
6.4. Diseño de alumbrado de interiores	254
6.4.1. Introducción	254
6.4.2. Sistemas de alumbrado de interiores	254
6.4.3. Cálculo de alumbrado interior	255
6.5. Diseño de alumbrado de exteriores	257

6.5.1. Introducción	257
6.5.2. Proyector de alumbrado	257
6.5.3. Cálculo de un alumbrado por proyección ..	258
6.6. Ejemplos de cálculo	260
6.6.1. Oficina comercial	260
6.6.2. Nave de un taller de matricería	263
6.6.3. Iluminación con proyectores	264
6.6.4. Alumbrado viario y decorativo urbano	267
Actividades y prácticas propuestas	272

7. Medidas eléctricas

7.1. Características y clasificación de los aparatos de medida	274
7.1.1. Conceptos generales	274
7.2. Clasificación de los aparatos de medida	274
7.3. Características de la medición	275
7.4. Alcance del aparato	275
7.5. Sensibilidad del aparato	275
7.6. Simbología de los aparatos de medida	275
7.7. Aparatos de medida	276
7.7.1. Pinza voltamperimétrica	277
7.7.2. Medidas de fugas	278
7.7.3. Medida de aislamiento	279
7.7.4. Medida de la resistividad del terreno	280
7.7.5. Medidas de toma de tierra	280
7.7.6. Medidas de las tensiones de paso y contacto .	282
7.7.7. Medida de relés	283
7.7.8. Medida del nivel de iluminación	283

7.7.9. Aparatos y equipos de medida para la facturación de energía eléctrica	284
7.8. Analizadores de redes	292
7.9. Algunas de las medidas a realizar en quirófano ..	293
Actividades y prácticas propuestas	296

8. Puesta en servicio y mantenimiento

8.1. Seguridad en las operaciones de puesta en servicio. Materiales y medidas de seguridad	298
8.2. Mediciones y verificaciones reglamentarias	299
8.3. Procedimiento para la tramitación, puesta en servicio e inspección de las instalaciones eléctricas no industriales conectadas a una alimentación de Baja Tensión	319
8.4. Memoria Técnica de Diseño	323
8.5. Revisiones periódicas en centros de transformación y líneas de 3. ^a categoría	343
8.6. Protocolos para el área de mantenimiento preventivo	346
8.7. Tipología de averías. Diagnóstico de averías	350
8.7.1. Averías en líneas aéreas	350
8.7.2. Averías en líneas subterráneas	352
8.7.3. Averías en instalaciones eléctricas de baja tensión	353
Actividades y prácticas propuestas	354

Bibliografía

355

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento más sincero a todas las personas y Empresas del Sector Eléctrico que han colaborado con nosotros para poder llevar a cabo todas las modificaciones y actualizaciones que en esta nueva edición se han realizado:

- A nuestro gran amigo don **Juan Luis Castillo Girón**, profesor del I.E.S. Juan de la Cierva de Madrid, por su labor incondicional en la realización y preparación de esquemas eléctricos.
- A nuestros compañeros de profesión don **Mariano Cecilia Fernán**, don **Pedro Castellano Matas** y don **Javier Benito** por ayudarnos a completar y terminar los planos correspondientes a Centros de Transformación.
- A don **Lisardo Recio**, por su magnífica ayuda a la hora de prepararnos los dibujos de los cables de alta tensión.
- A **Ormazabal Media Tensión**, por la información técnica y de montaje correspondiente a sus equipos de Centros de Transformación.
- A **Sanz Blasco Instalaciones Eléctricas**, por facilitarnos información técnica relativa al diseño y ejecución de instalaciones eléctricas.
- A **Prysmian Cables y Sistemas**, por la información técnica facilitada con respecto a sus fabricados de cables y conductores.
- A **Iberdrola y Unión-Fenosa**, por la aportación de sus normas particulares y documentación técnica.
- A **Uriarte Elektro y Caydetel**, por la aportación de documentación técnica relativa a Centralizaciones de Contadores.
- A **Circutor**, por la aportación de documentación técnica relativa a equipos de medida y control.
- A **UNESA**, por la aportación de documentación técnica relativa al sector eléctrico.
- A **R.E.E.**, por su aportación técnica relativa al diseño de subestaciones.
- A **Cotradis**, por la información técnica facilitada con respecto a sus fabricados de transformadores.
- A **Philips, Osram e Indalux**, por la información técnica facilitada con respecto a sus fabricados de lámparas y equipos de iluminación.
- A **ELDU**, por la información técnica facilitada respecto a mantenimiento eléctrico.

Y a todas aquellas personas que, trabajando en la sombra, han aportado sus valiosas ideas y sugerencias para el desarrollo de esta obra.

Prólogo a la 6.^a edición actualizada

A lo largo de las diferentes ediciones de este libro se ha ido adecuando su contenido a los cambios reglamentarios y tecnológicos que han ido apareciendo durante los últimos años.

La normativa y características de los centros de transformación y de las líneas aéreas y subterráneas han evolucionado significativamente en estos últimos años sobre la base de mejoras de seguridad, garantía de suministro, materiales, etc. y se han introducido todas estas variaciones tanto en el texto de los diferentes capítulos como en los esquemas, planos, diseños, proyectos tipo, modelos de centros de transformación, tablas de nuevas secciones, etc. Para esta actualización hemos contado con la inestimable colaboración de fabricantes y empresas de distribución eléctrica que nos han dado todo tipo de facilidades para poder utilizar sus catálogos y normas.

Así, con motivo de la aprobación del nuevo Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, publicado en el BOE de fecha 18 de septiembre de 2002), se ha procedido a actualizar el contenido de los capítulos que tratan de las instalaciones en baja tensión y adecuarlo a las nuevas ITC-BT reflejadas en el nuevo Reglamento. También se han tenido en cuenta las guías de aplicación

que periódicamente publica el Ministerio en su página Web sobre distintas Instrucciones Técnicas Complementarias.

Las normas UNE y UNE-EN contempladas en el REBT se han ido actualizando a partir de aclaraciones y modificaciones técnicas aparecidas a lo largo de estos últimos años, y esto ha dado lugar a cambios reglamentarios que se han incluido igualmente en el texto de los diferentes capítulos.

Igualmente, se han introducido las modificaciones debidas a la entrada en vigor del nuevo decreto de tarifas eléctricas publicado a finales del mes de diciembre de 2006, que afecta debido a la nueva configuración y estructura de las tarifas y los complementos tarifarios, por lo que se ha visto modificado parte del capítulo correspondiente a medidas eléctricas.

Todas estas actualizaciones permiten al lector tener un manual actualizado sobre las Técnicas y Procesos en las Instalaciones Eléctricas de Media y Baja Tensión, de utilidad para todos los profesionales que se dedican al diseño y a la ejecución de las instalaciones y para los futuros profesionales que cursan sus estudios sobre instalaciones eléctricas.

Septiembre de 2007
Los autores

Introducción

Las técnicas y procesos en las instalaciones eléctricas de media y baja tensión son los pilares básicos para los sistemas de distribución de los edificios, que obliga a los profesionales de las instalaciones eléctricas a conocer normas y reglamentos sobre estos temas para aplicarlos en función de la seguridad y de la calidad.

El módulo Técnicas y Procesos en las Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión es una referencia de las necesidades y problemáticas que el futuro profesional de las instalaciones eléctricas necesita conocer del mundo eléctrico, por lo que en el desarrollo curricular de este módulo se dan las herramientas, los procedimientos y los contenidos para que el futuro profesional sea capaz de *definir, realizar, desarrollar y mantener equipos e instalaciones eléctricas de media y baja tensión y centros de transformación*; en concreto:

- Configurar las instalaciones eléctricas de media y baja tensión, bajo la supervisión del ingeniero director del proyecto.
- Realizar, a su nivel, cálculos eléctricos y mecánicos de acuerdo con la reglamentación vigente y bajo la supervisión del ingeniero ejecutor del proyecto.
- Supervisar la elaboración de la documentación técnica y administrativa.
- Realizar, a su nivel, la verificación y puesta en servicio de las instalaciones en función de la calidad, fiabilidad y seguridad.
- Realizar el mantenimiento de las instalaciones de acuerdo con los planes preventivos establecidos.

A partir de estas realizaciones profesionales se consigue alcanzar las siguientes capacidades terminales:

- Analizar las líneas de distribución eléctrica en media y baja tensión basándose en la reglamentación vigente.
- Analizar los centros de transformación, identificando partes y elementos que lo constituyen.
- Analizar las instalaciones eléctricas de las viviendas y edificios a partir de las partes y elementos que las constituyen.
- Realizar con precisión y seguridad medidas en las instalaciones eléctricas de distribución, electrificación, utilizando los instrumentos apropiados y aplicando el procedimiento más adecuado.
- Descubrir las averías e identificar las causas que las producen.

El libro consta de ocho capítulos distribuidos en cuatro grandes grupos: redes eléctricas, donde se incluyen las líneas aéreas y subterráneas; los centros de transformación; las instalaciones de enlace interior, donde se incluyen instalaciones específicas y de alumbrado, y las medidas eléctricas y puesta en servicio y mantenimiento.

A lo largo de los capítulos se han incluido gran número de figuras, tablas, esquemas, cuadros, ejercicios, etc., que le dan al libro un carácter eminentemente práctico, muy útil como libro de texto y posterior libro de consulta del futuro profesional.

Este módulo, y por tanto este libro, está coordinado con el resto de los módulos básicos y transversales, tanto del primero como del segundo curso del ciclo formativo de grado superior «Instalaciones Electrotécnicas».

Los autores.

1

Redes eléctricas

Introducción

En este capítulo se describen las líneas de distribución de Energía Eléctrica de media y baja tensión, tanto aéreas como subterráneas, identificando las partes significativas así como los sistemas de distribución.

Contenido

- 1.1. Tipología y características
 - 1.2. Constitución de una Red de Distribución
 - 1.3. Telemando
 - 1.4. Cálculo eléctrico de líneas eléctricas
 - 1.5. Reglamentación
 - 1.6. Documentación técnica. Simbología e interpretación de planos y esquemas
- Actividades y prácticas propuestas

Objetivos

- ▶ Conocer las distintas líneas de distribución que se utilizan y partes de que se componen.
- ▶ Clasificar y explicar los distintos sistemas de distribución en función de las conexiones a tierra.
- ▶ Calcular las magnitudes y parámetros necesarios para verificar las características de los elementos de una instalación.
- ▶ Interpretar los planos de una red de distribución y conocer la simbología aplicada.
- ▶ Analizar la transmisión de información en los sistemas eléctricos.

1.1 Tipología y características

Existen dos tipos de corriente: **Corriente Continua** (C.C., en inglés D.C.), definida por el flujo de electrones que se mueven siempre en la misma dirección, aunque la intensidad sea variable. Se usa principalmente para los sistemas de movimiento de convoyes de ferrocarril o metro, así como para elementos de acumulación como baterías y pilas. Cuando el flujo de electrones de una corriente cambia periódicamente de sentido, alternativamente de un lado a otro, ésta se denomina **Corriente Alterna** (C.A.). Este tipo de corriente es el que mayores aplicaciones tiene hoy en día.

Los valores con los que deberemos denominar a la C.A. para que podamos saber de qué se trata son:

- La **Frecuencia** de la red, expresada en **Hz** (Figura 1.1). Se denomina frecuencia al número de periodos que comprende un segundo, siendo un periodo el tiempo que dura en dar una vuelta. La frecuencia existente en la mayor parte del mundo es de 50 Hz. En países de América del Norte como Estados Unidos o Canadá la frecuencia con la que trabajan es de 60 Hz.

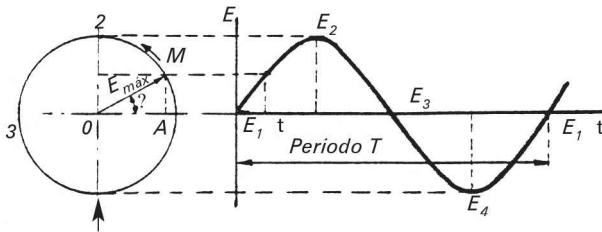


Figura 1.1. Frecuencia y periodo de una C.A.

- La **Tensión** (U) nominal o de servicio U_n , expresada en **voltios (V)**. Es la principal componente de las características que definen las líneas y, además, determina el nivel de aislamiento de los componentes que van a formar la línea, subestación, centro de transformación, etcétera.

En la Tabla 1.1 se reflejan los niveles de tensión existentes según el Reglamento.

Tabla 1.1. Niveles de Tensión en la Red Española

DE LA LÍNEA	NOMINAL EN kV	
1.ª	400	TRANSPORTE
	220	
	132	
2.ª	66	DISTRIBUCIÓN
	45	
	30	
3.ª	20	DISTRIBUCIÓN
	15	
	10	
	6	
	3	
BAJA TENSIÓN	0,400 / 0,230 0,380 / 0,220 0,220 / 0,127	DISTRIBUCIÓN EN BAJA

De entre ellas se recomienda la utilización de las tensiones señaladas en **negrita**.

Las redes de distribución se realizan a cuatro hilos en Baja Tensión. La distribución monofásica sólo se realiza en Baja Tensión y hasta una potencia máxima de 13.860 W.

1.2 Constitución de una Red de Distribución

Se denomina Red de Distribución al conjunto de líneas en Alta y Baja Tensión, así como los equipos, que alimentan a las instalaciones receptoras o puntos de consumo. La Red está compuesta por:

- Subestaciones reductoras de tensión, de 400 o 220 kV a 132, 66, 45 y 20 kV.
- Líneas de Distribución en Alta Tensión, líneas de 66 o 45 kV.
- Centro de Reparto y/o Centro de Reflexión, con niveles de tensión entre 20 y 15 kV.
- Líneas de distribución en Media Tensión, de 20 y 15 kV.
- Centros de Transformación, de 20 y 15 kV.
- Líneas de distribución en Baja Tensión, de $3 \times 400/230$ V.

1.2.1. Definiciones

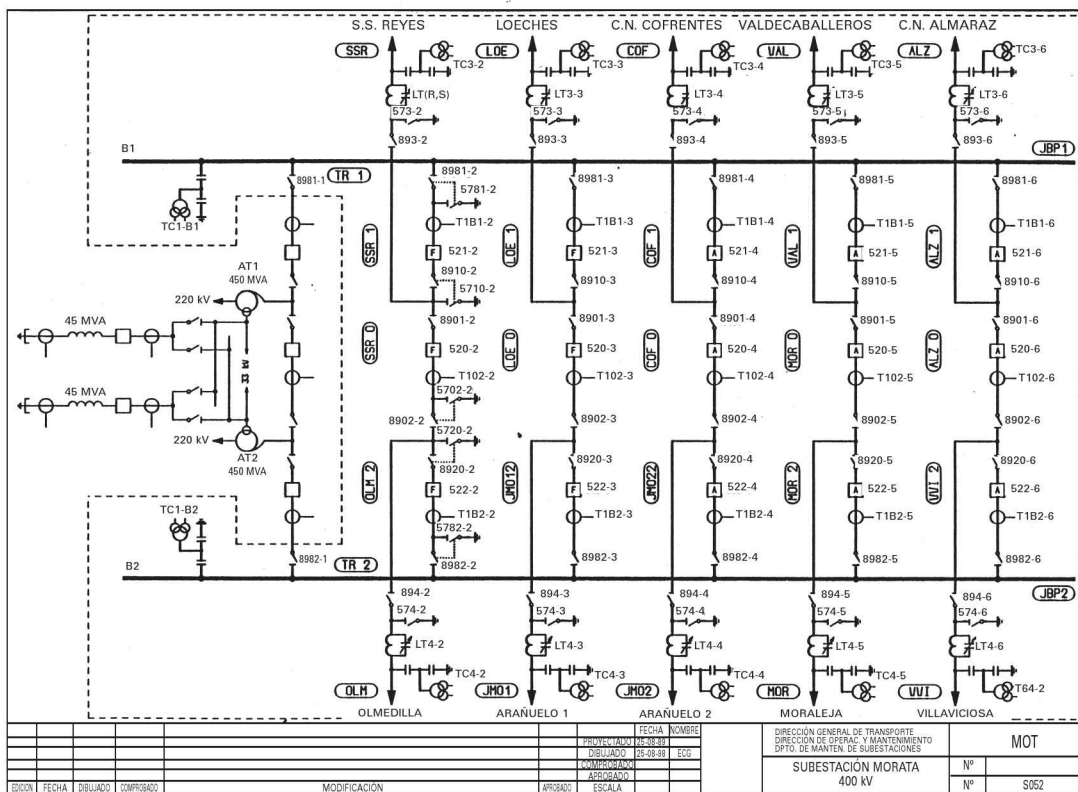
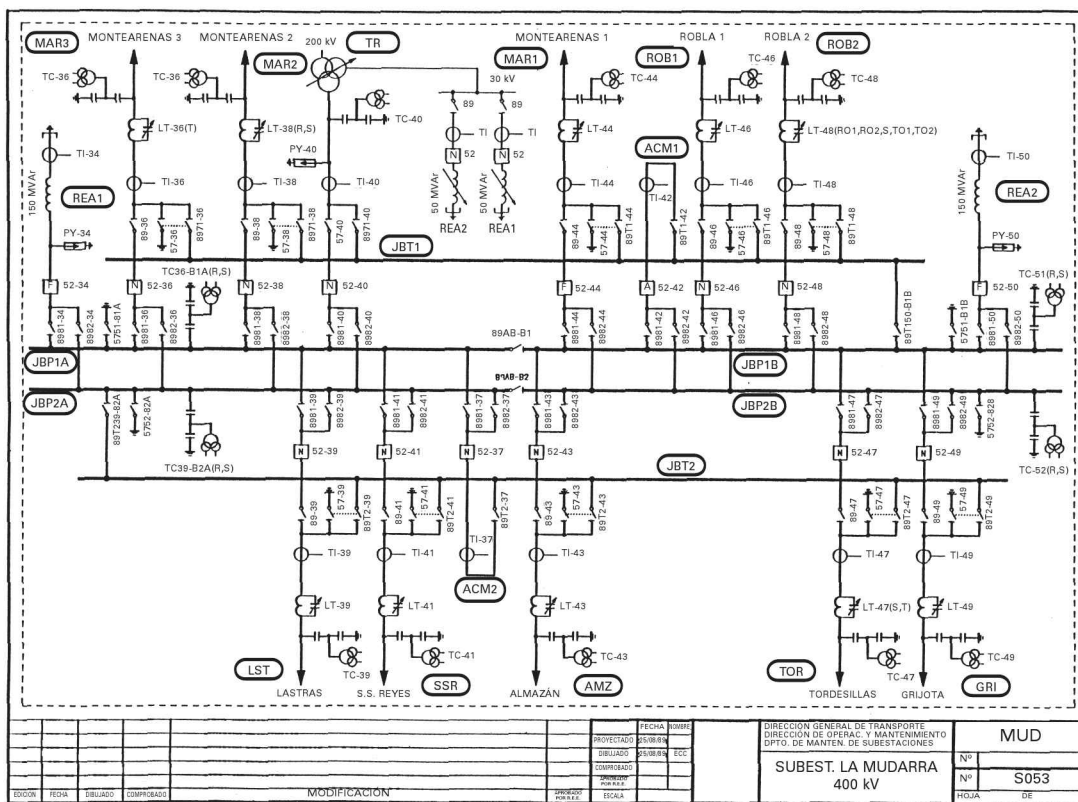
SUBESTACIÓN. Conjunto, situado en un mismo lugar, de la aparatamenta eléctrica y de los edificios necesarios para realizar alguna de las funciones siguientes: transformación de la tensión, de la frecuencia, del número de fases, rectificación, compensación del factor de potencia y conexión de dos o más circuitos. En las Figuras 1.2.a) y 1.2.b) se indican los esquemas unifilares de dos de ellas.

Quedan excluidos de esta definición los Centros de Transformación.

El espacio a reservar para su instalación será de forma preferentemente cuadrada, cuyo lado se obtendrá en la Tabla 1.2, que se incluye a continuación, en función de la tensión primaria y de la potencia final.

Tabla 1.2. Espacio en metros a reservar en función de la tensión y la potencia de la Subestación

66	10	50
	20	70
	40	80
132	40	100
	80	110
220	80	200
	120	200



Figuras 1.2. Esquemas eléctricos unifilares de dos Subestaciones emblemáticas de la Red Nacional Española.
 a) Subestación de 400 kV, La Mudarra (Valladolid). b) Subestación de 400 kV, Morata de Tajuña (Madrid).

Podrá reservarse un espacio de dimensiones inferiores cuando la subestación prevista sea del tipo blindado, en cuyo caso se debe establecer el acuerdo con la E.S.E.

LÍNEA DE TRANSPORTE. Línea aérea de M.A.T., normalmente a 400 o 220 kV, aunque todavía hoy existen muchas líneas a 132 kV, que sirve para unir dos Subestaciones.

CENTRO DE REPARTO. Centro fuertemente alimentado, en el que una o más líneas de Alta Tensión se derivan de otras de la misma tensión.

En su interior se alojarán los dispositivos de protección de las líneas derivadas.

Para su emplazamiento se reservará un espacio de superficie igual a 60 m² para tensiones de 30 kV y a 40 m² para tensiones iguales o inferiores a 20 kV, de forma rectangular, en el que uno de los lados será de longitud no inferior a 4 m.

CENTRO DE REFLEXIÓN. Centro que garantiza la alimentación de las líneas de Alta Tensión que en él concurren, procedentes de una Subestación o de un Centro de Reparto situados en la zona de actuación, mediante un circuito sin carga en explotación normal, denominado circuito cero, alimentado también desde dicha Subestación o Centro de Reparto (Figura 1.3).

Para su emplazamiento se reservará un espacio de iguales características que el considerado para el Centro de Reparto.

LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN. Línea en Alta Tensión, usualmente de 13,2; 15; 20 o 30 kV, que, partiendo de una Subestación, de un Centro de Reparto o del final de la derivación en Alta Tensión, alimenta los Centros de Transformación.

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN. Centro alimentado por una línea de distribución en Alta Tensión, que reduce ésta a 220/380 V (tensión normal de utilización hasta la entrada de España en la C.E.E.) o 230/400 V (tensión a la que se tendrá que ir unificando todas las nuevas líneas) y del cual parten las líneas de distribución en baja tensión. Sus características se adaptarán a lo especificado en la NTE-IET (Instalaciones de Electricidad. Centros de Transformación).

Para su emplazamiento se reservará un espacio accesible a vehículos pesados y de dimensiones según la NTE-IET (Centros de Transformación). En el caso de Centros de Transformación subterráneos en acera o zona ajardinada, deberá preverse, además, el espacio necesario para el acceso al centro.

Cuando los transformadores del centro se conecten directamente a la red, sin celdas de seccionamiento ni de protección, el espacio podrá ser más reducido que los interiormente señalados.

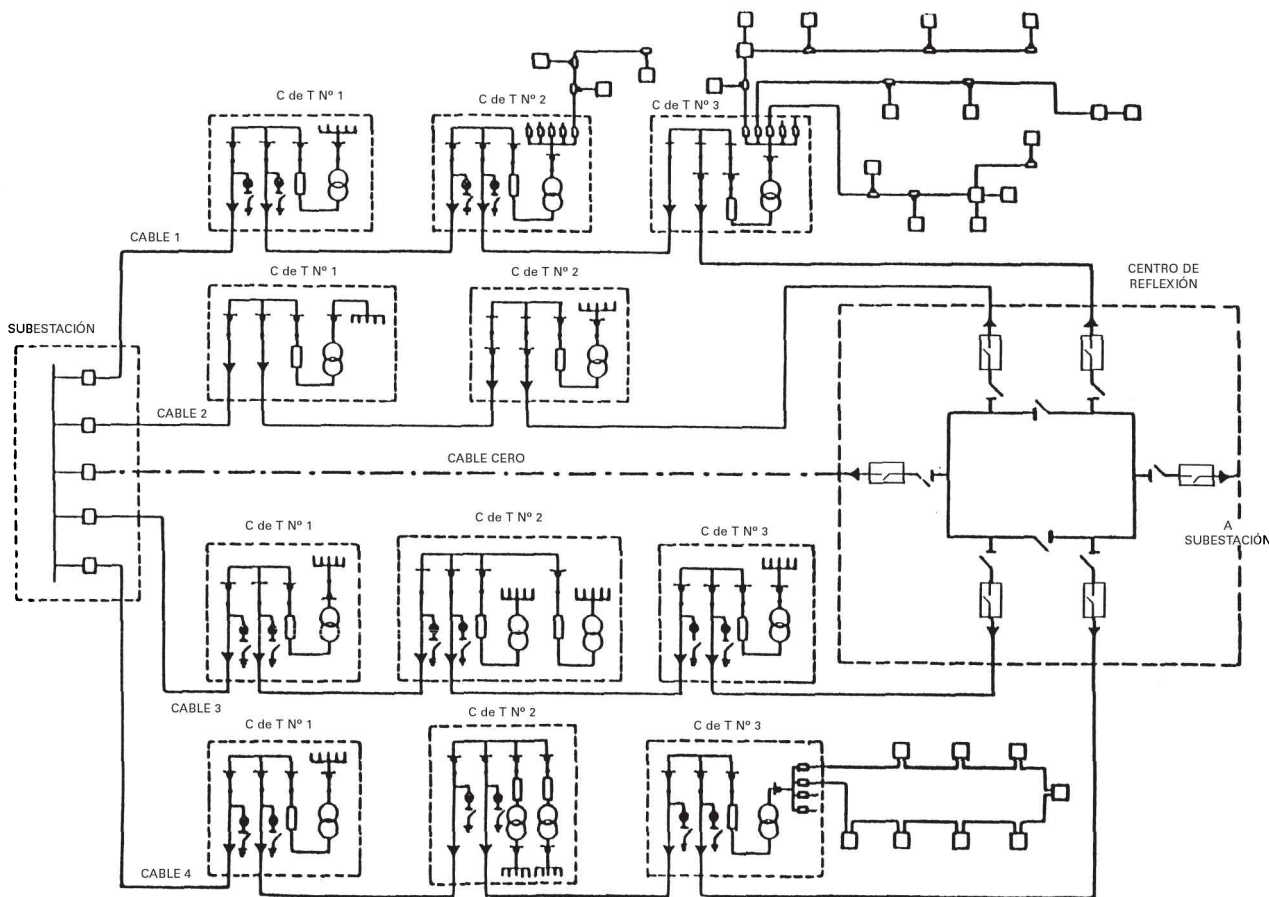


Figura 1.3. Configuración típica de una red de Centros de Transformación en una gran urbe y la importancia de los Centros de Reflexión en ella.

lados y dependerá de la potencia del centro, debiendo fijarse de acuerdo con la E.S.E.

El centro de transformación podrá alojarse en un centro de orden superior.

LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN.

Son las líneas encargadas de alimentar a los puntos de utilización de medio y bajo consumo, a tensiones inferiores a 1 kV, normalmente a cuatro hilos y tensión de 400/230 V, aunque todavía quedan líneas de distribución a la tensión de 380/220 V y 220/127 V, a extinguir.

1.2.2. Tipos de línea y de conexión en las redes de distribución

Las tensiones nominales que se utilizan son las de 20 y 30 kV, entendiéndose por tensión nominal el valor de la tensión eficaz entre fases con que se designa la línea. Aunque todavía quedan muchas líneas en España cuya tensión nominal es de 15 kV.

Otro valor importante a tener en cuenta a la hora de realizar los cálculos para el dimensionado de los conductores a instalar en cualquier tipo de red —aérea o subterránea— es el factor de potencia de ésta; se toma como valor mínimo el $\cos \varphi = 0,90$. Las redes de distribución de energía pueden ser ejecutadas de la siguiente manera:

- Líneas aéreas.
- Líneas subterráneas.
- Líneas mixtas (algunos tramos aéreos + otros subterráneos).

Las líneas aéreas son aquellas en las que los conductores van instalados por encima del suelo. Para mantener los conductores a la distancia mínima que determina el artículo 25 del R.L.A.A.T. se utilizarán apoyos, que pueden ser de madera, hormigón o de celosía metálica. Sobre estos apoyos se deberán disponer otros soportes en posición horizontal a los anteriores llamados crucetas, donde se montarán los diferentes elementos o herrajes, parte conductores, parte aislantes (aisladores), que serán los encargados de sustentar a dichos conductores. La distancia entre dos apoyos o columnas se llama tramo o vano, y la medida entre ambos expresada en metros se denomina luz. La distancia existente entre la línea recta que pasaría por los dos puntos de sujeción de los conductores (aisladores) en un vano consecutivo y el punto más bajo que toma el conductor se denomina flecha.

Los elementos que transportan la energía son los conductores. Éstos pueden ser desnudos o aislados, en función del lugar por donde vayan a discurrir y del tipo de instalación. Los conductores están soportados por apoyos que pueden estar compuestos de distintos tipos de materiales, tales como madera, hormigón armado, celosía metálica, etc. El montaje de dichos conductores podrá realizarse sobre red tensada o en red posada.

En instalaciones de extensión en derivación, la línea nueva que derive deberá disponer de los elementos de protección y

maniobra adecuados a la técnica de protección y explotación de la línea general a que pertenezca.

Cuando se tenga que derivar una línea de otra existente, el primer apoyo de la derivación será del tipo fin de línea, de tal forma que el tense que se pueda producir en el primer vano sea mínimo, con el fin de que pueda utilizarse el apoyo existente en el entronque.

Las líneas aéreas presentan ventajas importantes sobre las líneas subterráneas, ya que tanto el importe inicial de montaje como los gastos de mantenimiento son inferiores a los de las subterráneas; pero tienen la desventaja del peligro potencial que representan para cualquier persona o animal al poder quedarse electrocutados si tocan los conductores ya que éstos son desnudos y están instalados al aire.

Las líneas subterráneas son aquellas en que los conductores van situados por debajo del nivel del suelo. Este tipo de montaje evita el gran peligro que presentan las líneas aéreas, pero el coste de infraestructura e instalación con respecto a las aéreas es muy elevado, pues la ejecución de zanjas, la señalización de las mismas y de los conductores y las reparaciones de tecnología mucho más sofisticada, lo que hace que las instalaciones de este tipo queden reservadas para el interior de las ciudades o centros industriales.

Los conductores aislados podrán instalarse:

- Directamente enterrados.
- Bajo tubo o conducto.
- En galerías de servicio.

De los tipos de conexión más utilizadas en las Redes de Distribución destacan los siguientes:

a) RED LINEAL. Constituida por una línea de distribución en Alta Tensión, un número máximo de 10 Centros de Transformación y las líneas de distribución en Baja Tensión.

Conexión a la red existente: Tipo B o C, con alimentación doble.

Potencia máxima demandada: 8.000 kW.

Superficie máxima alimentada:

- En edificación extensiva: 200 Ha.
- En edificación semiintensiva: 150 Ha.
- En edificación intensiva: 80 Ha.

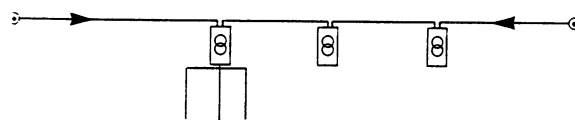


Figura 1.4. Red lineal.

b) RED EN ANILLO. Constituida por una línea de distribución en Alta Tensión cerrada en anillo, con un número máximo de 10 Centros de Transformación y las líneas de distribución en Baja Tensión.

Conexión a la red existente: Tipo B o C, con alimentación única.

Potencia máxima demandada: 8.000 kW.

Superficie máxima alimentada:

- En edificación extensiva: 200 Ha.
- En edificación semiintensiva: 150 Ha.
- En edificación intensiva: 80 Ha.

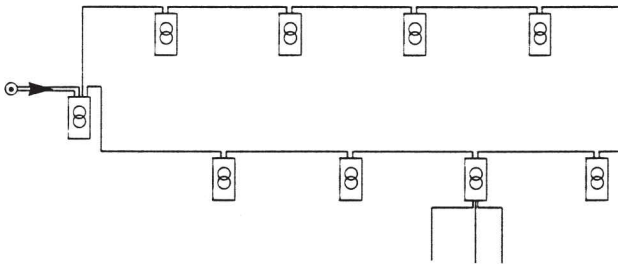


Figura 1.5. Red en anillo.

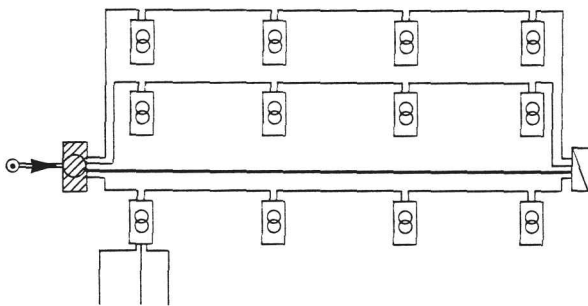
c) RED EN HUSO NORMAL. Constituida por un máximo de seis líneas de distribución en Alta Tensión, conectadas por un extremo a una Subestación o a un Centro de Reparto, y por el otro a un Centro de Reflexión, uno o dos circuitos cero, un máximo de 10 Centros de Transformación por cada línea de distribución en Alta Tensión y las líneas de distribución en Baja Tensión.

Conexión a la red existente: Tipo A o B, con alimentación única.

Potencia máxima demandada: 48.000 kW.

Superficie máxima alimentada:

- En edificación extensiva: 1.200 Ha.
- En edificación semiintensiva: 650 Ha.
- En edificación intensiva: 480 Ha.



Simbología

- | | | | |
|---|------------------------------|---|--|
| ⊙ | Conexión a la red existente: | ▨ | Centro de reflexión |
| → | Derivación en alta tensión | — | Línea de socorro o de interconexión |
| ⊗ | Subestación | — | Línea de distribución interior en alta tensión |
| ▨ | Centro de reparto | ⊗ | Centro de transformación |
| | | — | Línea de distribución inferior en baja tensión |

Figura 1.6. Red en huso normal.

d) RED EN HUSO APOYADO. Constituida por un máximo de seis líneas de distribución en Alta Tensión, conectadas a dos Subestaciones o a dos Centros de Reparto, enlazados entre sí por una línea de interconexión, un máximo de 10 Centros de Transformación por cada línea, y las líneas de distribución en Baja Tensión.

Este tipo de red se utilizará siempre que sea posible por existencia de dos líneas de capacidad suficiente en las proximidades de la zona de actuación. También deberán utilizarse en aquellos casos en que se prevean ampliaciones de la red de distribución o conexiones con otra red, en los cuales uno de los Centros de Reparto se sustituirá por un Centro de Reflexión.

Conexión a la red existente: Tipo A o B, con alimentación doble.

Potencia máxima demandada: 48.000 kW.

Superficie máxima alimentada por cada huso:

- En edificación extensiva: 1.200 Ha.
- En edificación semiintensiva: 650 Ha.
- En edificación intensiva: 480 Ha.

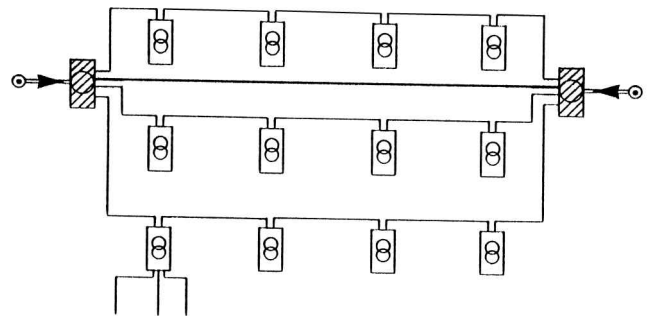


Figura 1.7. Red en huso apoyado.

e) RED EN BAJA TENSIÓN EXCLUSIVAMENTE. Constituida por una o más líneas de distribución en Baja Tensión que parten de un Centro de Transformación ya existente en la zona o en sus proximidades.

Conexión a la red existente:

Tipo D.

Potencia máxima demandada: La disponible en el C.T. en que se conecta.

Superficie máxima alimentada:

- En edificación extensiva: 4 Ha.
- En edificación semiintensiva: 2 Ha.
- En edificación intensiva: 1 Ha.



Figura 1.8. Red en Baja Tensión exclusivamente.

1.2.3. Tipos de esquemas en redes de Baja Tensión en función de su conexión a tierra

En Baja Tensión se establecen tres tipos de esquemas en función de las conexiones a tierra desde la red de distribución o de la alimentación, por un lado, y de las masas de la instalación receptora, por otro.

La denominación se realiza con un código de letras que servirá para determinar el tipo de instalación.

La **primera letra** trata la situación de la red de alimentación con respecto a tierra:

- T = Conexión directa de un punto de la alimentación.**
- I = Aislamiento de todas las partes activas de alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto con tierra a través de una impedancia.**

La **segunda letra** sirve para saber las características de las diferentes masas de los equipos de la instalación con respecto a tierra.

- T = Masas conectadas directamente a tierra, independientemente de la eventual puesta a tierra de la alimentación.**
- N = Masas conectadas directamente al punto de alimentación puesta a tierra (en C.A. este punto suele ser el punto neutro).**

Otras letras de forma eventual indican la situación relativa del conductor neutro y el conductor de protección.

- S = Las funciones del neutro y de protección; están aseguradas por conductores separados.**
- C = Las funciones de neutro y protección; están combinadas en un solo conductor.**

A continuación se reflejan los distintos tipos de esquema de acuerdo con el REBT.

Esquema TN

Los esquemas TN tienen un punto de alimentación, generalmente el neutro, conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas a dicho punto mediante conductores de protección. Se distinguen tres tipos de esquemas TN según la disposición relativa del conductor neutro y del conductor de protección.

ESQUEMA TN-S. En él, el conductor neutro y el de protección son distintos en todo el esquema (Figura 1.9).

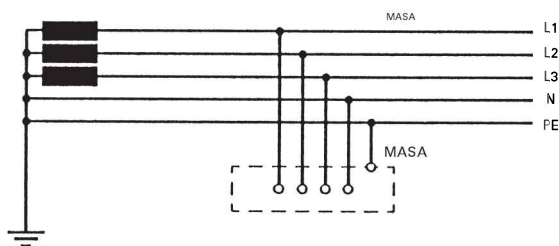


Figura 1.9. Esquema de red TN-S.

ESQUEMA TN-C. En él, las funciones del conductor neutro y el de protección están combinadas en un solo conductor en todo el esquema (Figura 1.10).

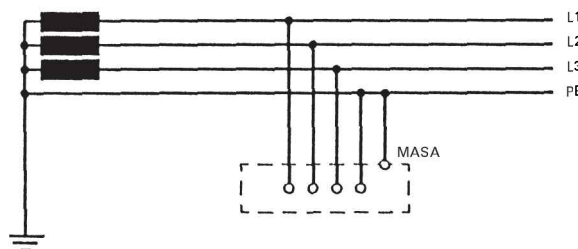


Figura 1.10. Esquema de red TN-C.

ESQUEMA TN-C-S. En él, las funciones del conductor neutro y el de protección están combinadas en un solo conductor únicamente en una parte del esquema o instalación (Figura 1.11).

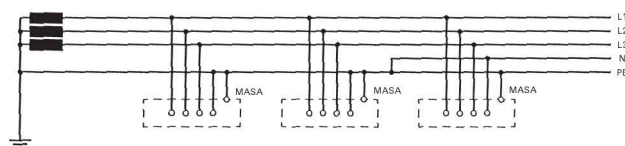


Figura 1.11. Esquema de red TN-C-S.

Esquema IT

El esquema IT no tiene ningún punto de la alimentación conectado directamente a tierra, mientras que las masas de los receptores de la instalación están puestas directamente a tierra (Figura 1.12).

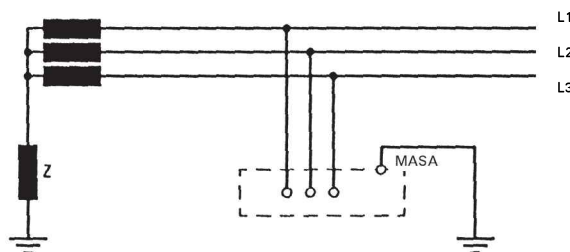


Figura 1.12. Esquema de red IT.

En este tipo de esquema, la intensidad producida en un primer defecto fase-masa o fase-tierra tendrá que ser de un valor pequeño, para que las tensiones de contacto que puedan aparecer no sean peligrosas.

La limitación del valor de la intensidad resultante de un primer defecto fase-masa o fase-tierra se obtiene, bien por la falta de conexión a tierra de la red de alimentación, o bien colocando una impedancia que sea suficiente, instalada entre el punto neutro y tierra. A este efecto puede resultar necesario limitar la extensión de la instalación con el fin de disminuir el efecto capacitivo de los conductores con respecto a tierra.

En este tipo de esquema se recomienda no distribuir el conductor neutro.

Esquema TT

El esquema TT tiene un punto de la red de alimentación conectado directamente a tierra, normalmente en el conductor neutro. Igualmente, las masas de los receptores de la instalación están conectadas también a tierra, pero esta conexión es totalmente independiente de la de la red (Figura 1.13).

En este tipo de esquema, las intensidades de defecto fase-masa o fase-tierra pueden tener valores inferiores a las de cortocircuito, pero pueden ser lo suficientemente altas para provocar la aparición de tensiones peligrosas.

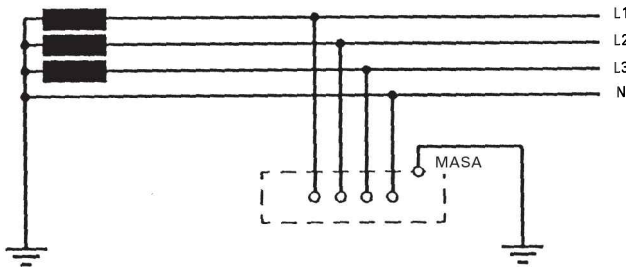


Figura 1.13. Esquema de red TT.

La elección de cualquiera de los esquemas se realizará en función de los condicionantes técnicos y económicos de la instalación. Pero deben tenerse en cuenta los siguientes condicionantes:

- Las redes de distribución públicas de B.T. tendrán un punto puesto directamente a tierra por prescripción reglamentaria; este punto es el punto neutro de la red. El esquema para este tipo de red será el TT.
- En instalaciones alimentadas en B.T. desde un Centro de Transformador de Cliente, podrá elegirse cualquier sistema de los tres citados.
- No obstante lo indicado en el apartado a), puede establecerse un esquema IT en parte o partes de una instalación alimentada directamente de la red de distribución pública, utilizando transformadores adecuados en cuyo bobinado secundario y en la parte de la instalación afectada se establezcan las disposiciones que para dicho esquema se citan anteriormente.

1.2 Telemando

El telemando es la transmisión de procesos técnicos, órdenes de mando, medición, señalización, etc., desde cualquiera de los puntos de producción y/o distribución y el puesto de mando o control.

Para poder llevar a cabo dichas transmisiones, incluso cuando la tensión ha fallado, se preparan fuentes auxiliares de tensión (baterías, grupos electrógenos autónomos, etc.). Las tensiones normales con que se suele dotar a estos aparatos suelen estar comprendidas entre los 48 y los 110 voltios en

corriente continua, y en casos especiales llegan a alcanzar los 220 voltios en corriente alterna.

Cuando el volumen de transmisión es pequeño, la transmisión se suele realizar en sistema multiplex de F.M. en bandas comprendidas entre los 300 y los 3.400 Hz.

Cuando dicho volumen alcanza valores elevados es necesaria la instalación de sistemas multiplex de tiempo, debido a que tiene restringido el número de canales en F.M. Este tipo de sistema manda de una forma seguida la informaciones, como si fueran telegramas, pero con unas velocidades de transmisión muy elevadas, que pueden alcanzar hoy en día los 56.600 Bd (1 Bd = 1 Baud = 1 paso de impulso digital por segundo).

El telemando omnidireccional de audiofrecuencia se utiliza en instalaciones en donde se pueda controlar de forma flexible la carga eléctrica en función del tiempo. Estos impulsos se superponen en las tres fases —L1, L2 y L3— de la red de Media o Alta Tensión de 50 Hz para que sean a su vez transmitidas por la red de Baja Tensión hasta los puntos de utilización donde serán evaluados.

En la Figura 1.14 se representan las frecuencias con que las empresas suelen trabajar y en las que el nivel residual de audiofrecuencia no puede superar el 0,3% de la U_n .

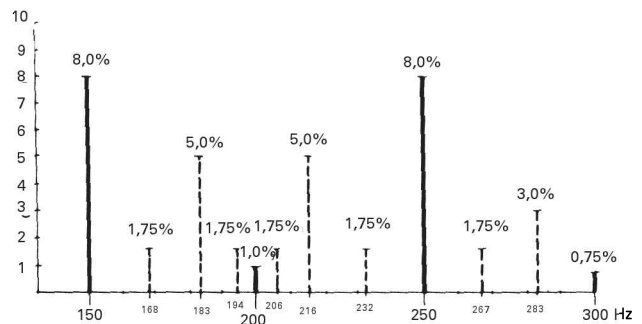


Figura 1.14. Frecuencias a las que suelen trabajar el telemando omnidireccional.

El acoplamiento a la red puede ser en serie cuando se trate de frecuencias de transmisión bajas o en paralelo cuando las frecuencias de transmisión sean altas. En las Figuras 1.15.a) y b) se representan los esquemas de principio.

En ambos esquemas quedan igualmente representadas las tensiones del acoplamiento.

En donde:

- L1 = Línea más elevada de tensión.
- L2 = Línea transmisora y receptora.
- ETO = Emisor de telemando omnidireccional.
- Us = Tensión de la audiofrecuencia del emisor.
- Za = Carga de la red.
- Ut = Tensión del transformador.
- Zt = Impedancia del transformador.
- U_{HT} = Tensión del lado de Alta Tensión.
- Z_{HT} = Impedancia del lado de Alta Tensión.

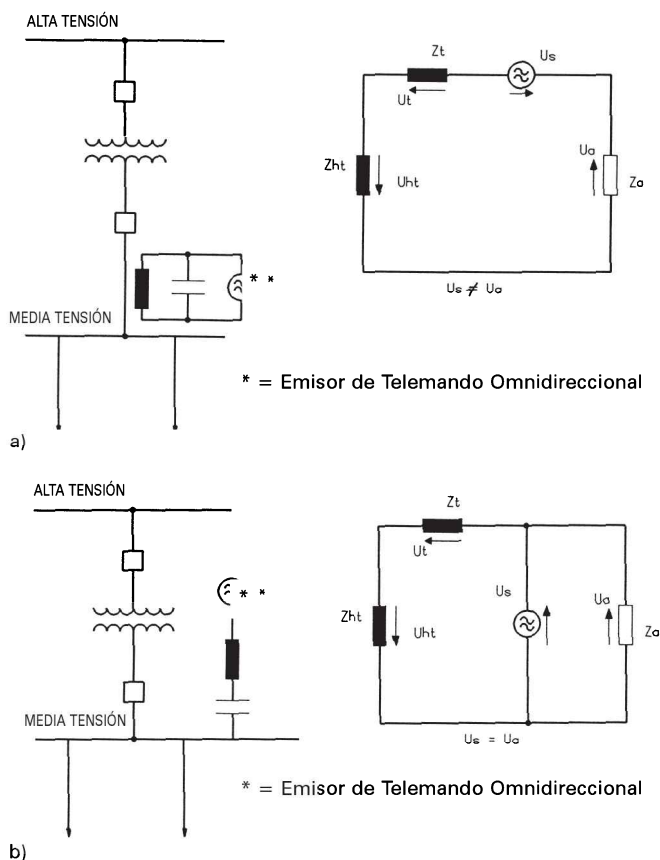


Figura 1.15. Esquemas de principio. a) Esquema de acoplamiento en serie. b) Esquema de acoplamiento en paralelo.

1.4 Cálculo eléctrico de líneas eléctricas

A la hora de llevar a cabo el montaje de una línea o de una instalación, tendremos que tener muy presente una serie de valores, tales como la tensión, la potencia o la intensidad a transportar o a consumir, para que la c.d.t. que podamos tener no alcance o supere el valor máximo permitido, por lo que tendremos que utilizar una serie de fórmulas que nos ayuden a calcular todos los parámetros de las líneas eléctricas.

RESISTENCIA DE LA LÍNEA

$R_L = R$ del conductor en $\Omega/\text{km} \times L$ de la línea en $\text{km} = \Omega$.

REACTANCIA MEDIA POR km:

$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \Omega/\text{km}$.

$L = (0,5 + 4.605 \log (2D/d)) \times 10^{-4} \text{ H/km}$.

$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot (0,5 + 4.605 \log (2D/d)) \cdot 10^{-4} \Omega/\text{km}$.

$D = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3}$.

donde:

- X = Reactancia media kilométrica (Ω/km).
- f = Frecuencia de la red, 50 Hz.
- D = Distancia media geométrica entre conductores (mm).
- d_1, d_2, d_3 = Distancia entre conductores.
- d = Diámetro del conductor (mm).

Aplicando valores para cables Al-Ac de 54,6 tendremos que:

- Separación de 1,50 m entre conductores
 $X = 0,3921 \Omega/\text{km}$
- Separación de 1,75 m entre conductores
 $X = 0,3986 \Omega/\text{km}$
- Separación de 2,00 m entre conductores
 $X = 0,4102 \Omega/\text{km}$

Normalmente se utiliza el valor de $X = 0,40 \Omega/\text{km}$ por aprox.

CAÍDA DE TENSIÓN

$$e = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \cdot L$$

$$e = \frac{P \cdot L}{10 \cdot U^2 \cdot \cos \varphi} \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) =$$

$$e = \frac{P \cdot L}{10 \cdot U^2} \cdot (R + X \cdot \text{tg} \varphi) =$$

no excederá del 5%.

Donde:

- e = Caída de tensión compuesta en voltios.
- I = Intensidad de la línea en amperios.
- X = Reactancia por fase y km (en ohmios).
- R = Resistencia por fase y km (en ohmios).
- φ = Ángulo de fase.
- L = Longitud de la línea en km.
- P = Potencia transportada en kilovatios $P = S \cos \varphi$.
- S = Potencia aparente en kVA.
- U = Tensión compuesta de la línea en kV.
- $\text{tg} \varphi = 0,62$ para $\cos \varphi = 0,85$.
- $= 0,48$ para $\cos \varphi = 0,90$.
- $= 0,33$ para $\cos \varphi = 0,95$.

DENSIDAD DE CORRIENTE

$$\delta = \frac{1}{s} = \text{A/mm}^2$$

PÉRDIDA DE POTENCIA

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot L \cdot I^2$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \text{A}$$

$$\Delta P = \frac{P \cdot L \cdot R}{10 \cdot U^2 \cdot \cos \varphi}$$

Siendo

- ΔP = Pérdida de potencia en W.
- R = Resistencia del conductor en Ω/km .
- L = Longitud de la línea en km.
- I = Intensidad de la línea en A.
- P = Potencia en kW = $S \times \cos \varphi$.
- S = Potencia aparente en kVA.
- U = Tensión compuesta en kV.
- $\cos \varphi$ = Factor de potencia.

INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO

$$I_{cc} = \frac{100 \cdot I_n}{1.000 \cdot u_{cc}} = \text{kA}$$

Siendo:

- I_{cc} = Intensidad de cortocircuito en kA.
- I_n = Intensidad nominal en A.
- u_{cc} = Tensión de cortocircuito en %.

TENSIONES DE PASO Y CONTACTO MÁXIMAS ADMISIBLES

TENSIÓN DE PASO

$$U_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \frac{1 + (6 \cdot \rho)}{1.000} = \text{V}$$

TENSIÓN DE CONTACTO

$$U_c = \frac{K}{t^n} \cdot \frac{1 + (1,5 \cdot \rho)}{1.000} = \text{V}$$

Siendo:

- ρ = Resistividad superficial del terreno en $\Omega \cdot \text{m}$.
- t = Tiempo total de la duración de la falta en s.
- $K = 72$, para tiempos inferiores a 0,9 s.
- $n = 9$, para tiempos inferiores a 0,9 s.
- $K = 78,5$, para $t > 0,9 < 3$ s.
- $n = 0,18$, para $t > 0,9 < 3$ s.

INTENSIDAD DE DEFECTO

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}}$$

Siendo:

- I_d = Intensidad máxima de defecto en A.
- U = Tensión de red entre fases en V.
- R_n = Resistencia de p. a t. del neutro de la red en Ω .
- X_n = Reactancia de p. a t. del neutro de la red en Ω .
- R_t = Resistencia de la tierra de protección del C.T. en Ω .

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS PARA ELEMENTOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES - PARARRAYOS AUTOVALVULAR

TENSIÓN NOMINAL

$$U_n \geq 0,81 \cdot U_{\text{máx}}$$

CORRIENTE DE DESCARGA NOMINAL

$$I_d = \frac{(2U - n \cdot U_r)}{Z_c} = \text{kA}$$

Siendo:

- I_d = Intensidad de descarga en kA (valores normalizados de 1,5; 2,5; 5; 10 kA).
- U_n = Tensión nominal de la red en V.
- $U_{\text{máx}}$ = Tensión máxima de servicio en la red en V.
- U_r = Tensión residual del pararrayos para el valor máximo de la corriente que se va a descargar a través de él.
- Z_c = Impedancia de onda.
- n = Número total de líneas que confluyen en el nudo.

MARGEN DE PROTECCIÓN

$$MP = \left(\frac{NA}{NP} - 1 \right) \cdot 100 =$$

DISTANCIA MÁXIMA DE PROTECCIÓN

$$L < (NA - 1,3NP) \cdot \left(\frac{18}{U_{\text{máx}}} \right) = \text{m}$$

Siendo:

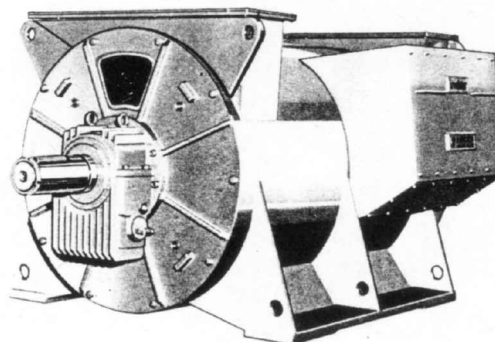
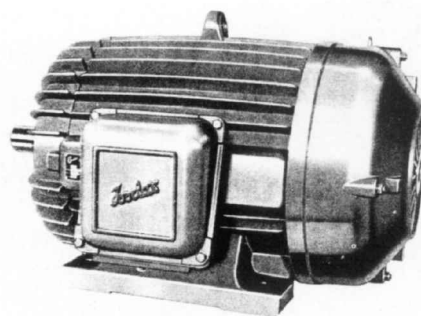
- MP = Margen de protección en %.
- NA = Nivel de aislamiento frente a impulso tipo rayo.
- NP = Nivel de protección, definido por:
 - Valor máx. de la tensión de cebado con imp. tipo rayo 1,2/50.
 - Valor máx. de la tensión residual con onda 8/20 y la I_d .
 - Valor máx. de la tensión de cebado para onda de frente lineal dividido por 1,15.

1.5 Reglamentación

La reglamentación actualmente en vigor sobre las instalaciones eléctricas en media y baja tensión así como legislación colateral que afecta a estos temas es:

- Reglamento electrotécnico para baja tensión.

- Real Decreto 1955/2000 por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Normas tecnológicas de la edificación.
- Ley de suministro.
- Real Decreto 1454/2005 por el que se modifican importantes disposiciones relativas al sector eléctrico.
- Real decreto sobre tarifas eléctricas.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y medidas de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.
- Reglamento y líneas aéreas de alta tensión.
- Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- Ley del sector eléctrico.
- Normas CENELEC y CEI.
- Normas UNE.



1.6 Documentación técnica. Simbología e interpretación de planos y esquemas

A la hora de realizar cualquier tipo de esquema, deberemos seguir criterios y normas generales que estén relacionados con la representación de la simbología eléctrica. Algunos de estos criterios son los siguientes:

1.6.1. Simbología

- Siempre que sea posible, la representación gráfica de los símbolos será lo más parecida posible al dispositivo que representa, con el fin de que se asocien indistintamente (Figura 1.16).

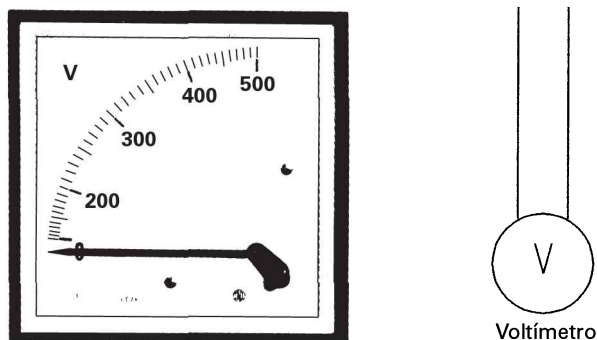
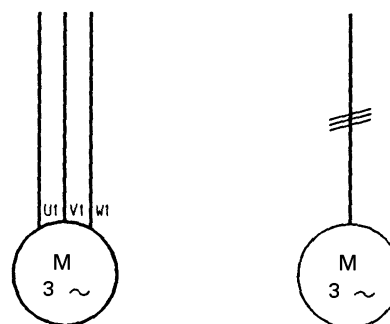


Figura 1.16. Símbolos de aparatos de medida.

- Un aparato puede tener varias formas de representación, en función de sus características específicas y del tipo de esquema en el que se emplea (Figura 1.17).



Motor trifásico de C.A. Esquema desarrollado

Motor trifásico de C.A. Esquema unifilar

Figura 1.17. Símbolos de un motor eléctrico.

- Generalmente, los símbolos eléctricos representan aparatos o dispositivos, pero también hay símbolos que representan grandes instalaciones. La Figura 1.18 muestra los símbolos generales por los que se representan una central hidráulica y otra nuclear.

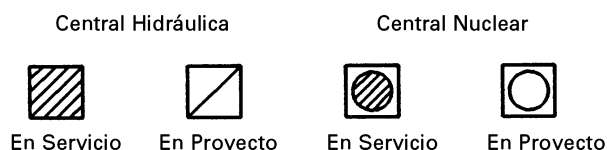


Figura 1.18. Símbolos de centrales eléctricas.

- El símbolo de un aparato o instalación puede variar según el estado en que se encuentre. Normalmente, los símbolos deben representarse en posición de paro de la

instalación o en reposo. No obstante, si el esquema a representar es en funcionamiento, los contactos deberán figurar en el estado en que se encuentre dicha instalación en ese momento (Figura 1.19).

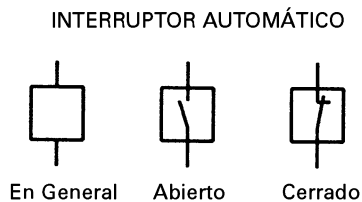


Figura 1.19. Símbolo de un interruptor automático en las posiciones de abierto y cerrado.

- Las dimensiones relativas de los diferentes símbolos de un elemento no tienen por qué guardar proporción con el elemento representado, ya que no se trata de realizar un dibujo a escala.
- Los símbolos utilizados deberán ser lo más sencillos posible, y lo suficientemente diferentes entre sí para evitar errores de interpretación en la lectura del esquema.

A continuación se representan los símbolos más utilizados en instalaciones de Alta y Media Tensión.

SÍMBOLOS ELEMENTOS PARA ALTA TENSIÓN	
Fusible	Mando motorizado
Seccionador de p.a.t.	Autoválvula
Seccionador	Enclavamiento mecánico
Interruptor	Defecto de aislamiento
Interruptor automático en general para subestaciones	Localización de una falta a tierra
Interruptor automático (SF6-vacío) en general para C.T.	Puesta de masa a tierra
Interruptor automático protección por fusible	Tensión peligrosa
Interruptor automático protección por fusible y relé de protección	Transformador de tensión
Interruptor automático protección por relé de protección	Transformador de intensidad
	Transformador de potencia

1.6.2. Signos de identificación de la clase de aparato o elemento

Este signo está formado por una sola letra mayúscula, que representa a una familia de elementos. A veces se pueden utilizar varias letras, debido a la gran cantidad de aparatos existentes, por lo que se agrupan en familias de aparatos que llamamos clase de elemento o aparato.

LETRAS INDICATIVAS PARA DESIGNAR LA CLASE DE ELEMENTO

A	Grupos Constructivos Parte de Grupos Constructivos.	Amplificadores, amplificadores magnéticos, láser, etc.
B	Convertidores de magnitudes.	Sondas termoelectricas, termocélulas, células fotoeléctricas, dinamómetros, cristales de cuarzo, micrófonos, altavoces, pares termoelectricos, etc.
C	Condensadores.	
D	Dispositivos de retardo, dispositivos de memoria, elementos binarios.	Circuitos de retardo, elementos de enlace, elementos biestables, elementos monoestables, memorias de núcleos, registradores, memorias de disco, aparatos de cinta magnética.
E	Diversos.	Instalaciones de alumbrado, instalaciones de calefacción, instalaciones que no estén indicadas en otro lugar de esta relación.
F	Dispositivos de protección.	Fusibles, descargadores de sobretensión, relés de protección.
G	Generadores. Fuentes de alimentación.	Generadores rotativos, convertidores de frecuencia rotativos, baterías, equipos de alimentación, osciladores.
H	Dispositivos de señalización.	Aparatos de señalización óptica y acústica.
J		
K	Relés y contactores.	
L	Inductancias.	Bobinas de inducción, bobinas de bloqueo, bobinas de alisado.
M	Motores.	
N	Amplificadores, reguladores.	

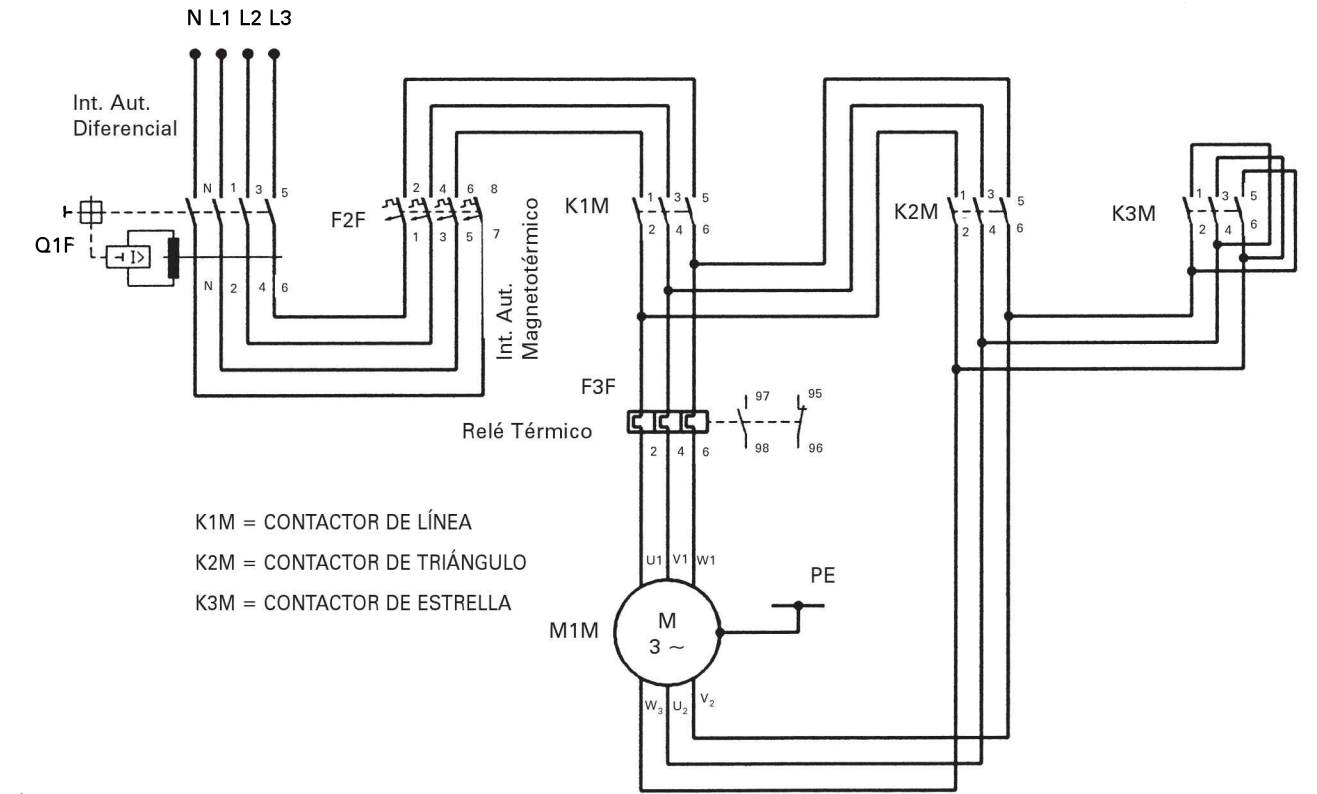
LETRA DISTINTIVA	CLASE DE ELEMENTO	EJEMPLOS
P	Aparatos de medida. Dispositivos de prueba.	Dispositivos de medida, indicadores, registradores y contadores, emisores de impulsos, relojes.
Q	Aparatos mecánicos de conexión para circuitos de potencia.	Interruptores de potencia, seccionadores.
R	Resistencias.	Resistencias regulables, potenciómetros, resistencias de regulación, resistencias calefactoras, etc.
S	Aparatos mecánicos de conexión para circuitos de mando.	Interruptores de mando, pulsadores, finales de carrera, selectores.
T	Transformadores.	Transformadores de tensión, transformadores de intensidad, transformadores de red, separación y control.
U	Moduladores. Convertidores de magnitudes eléctricas en otras también eléctricas.	Discriminadores, demoduladores, transformadores de frecuencia, codificadores, inversores, decodificadores, convertidores telegráficos.
V	Válvulas electrónicas. Semiconductores.	Válvulas electrónicas, tubos de descarga en gases, diodos, transistores, tiristores, triac.
W	Vías de transmisión guiaoondas. Antenas.	Hilos de conexión, cables, bornas de distribución, dipolos, antenas parabólicas.
X	Bornas, Tomas de Corriente, Bases para T.C.	Tomas de corriente y cajas para ellas, tomas de corriente para pruebas, regletas de bornas, regletas de soldadura.
Y	Dispositivos mecánicos accionados eléctricamente.	Frenos, acoplamientos, válvulas de aire, accionamientos de regulación, aparatos de elevación, accionamientos de ajuste, etc.
Z	Obturadores, filtros. Limitadores. (Equipos de compensación)	Redes artificiales, reguladores dinámicos, filtros de cristal, ecualizador. Filtros R/C y L/C.

1.6.3. Función del aparato o elemento

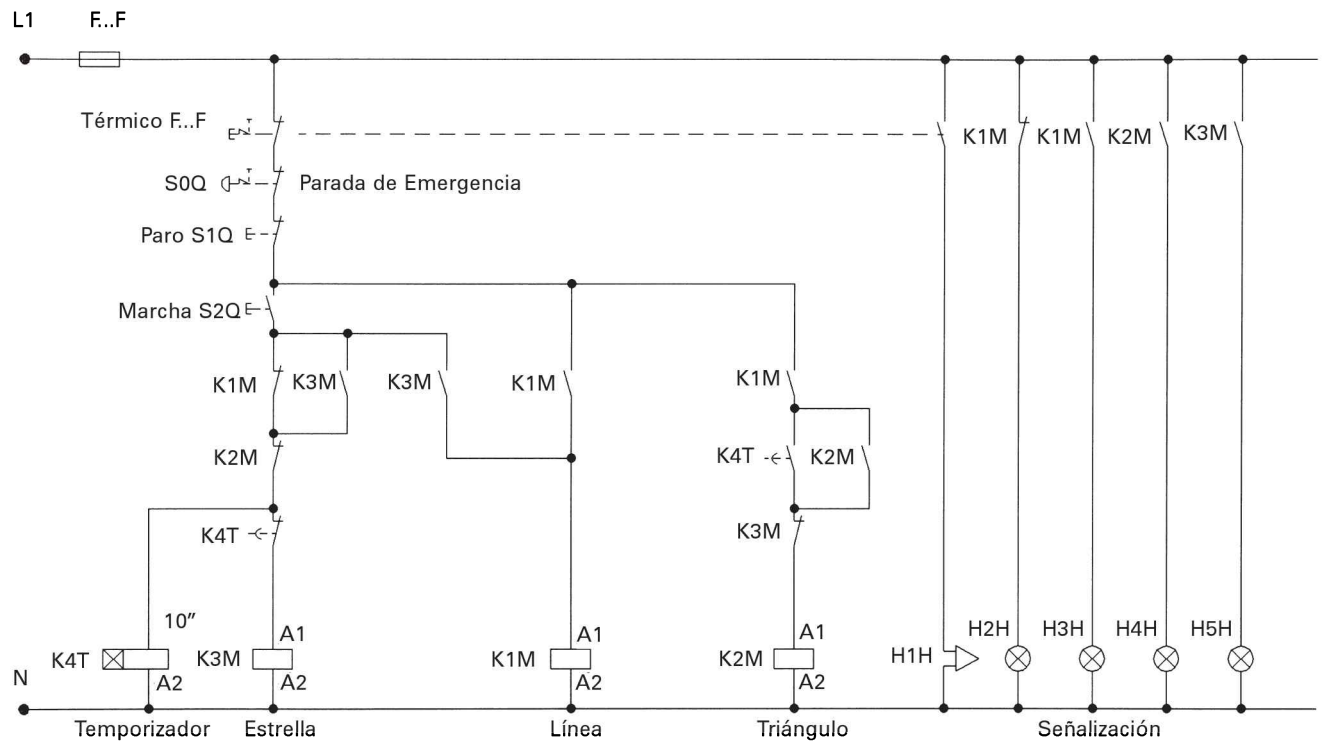
Al igual que con los tipos de aparatos, en el cuadro siguiente se expone la lista que se usa para indicar la función de los diferentes aparatos o elementos.

A	Función auxiliar.
B	Sentido de movimiento (adelante, atrás, subir, bajar, sentido horario y antihorario).
C	Contar.
D	Diferenciar.
E	Función (conexión).
F	Protección.
G	Prueba. Ensayo.
H	Señalización.
J	Integración.
K	Servicio sensorial. Aproximación, nivelar.
L	Denominación del conductor.
M	Función principal.
N	Medida.
P	Proporcional.
Q	Estado (marcha, paro, limitación, etc.).
R	Reposición, bloqueo, borrado, reenganche, anulación.
S	Memorizar, registrar.
T	Medida de tiempo, retardar. Temporización.
U	
V	Velocidad (acelerar, frenar).
W	Sumar.
X	Multiplicar.
Y	Analógica.
Z	Digital. Numérico.

En las Figuras 1.20 y 1.21 se representan algunos ejemplos de aplicación.



a)



b)

Figura 1.20. Esquema perteneciente al arranque de un motor trifásico en estrella-triángulo, con protecciones contra derivaciones a tierra, cortocircuitos y sobrecargas. a) Circuito de potencia. b) Circuito de maniobra o de mando.

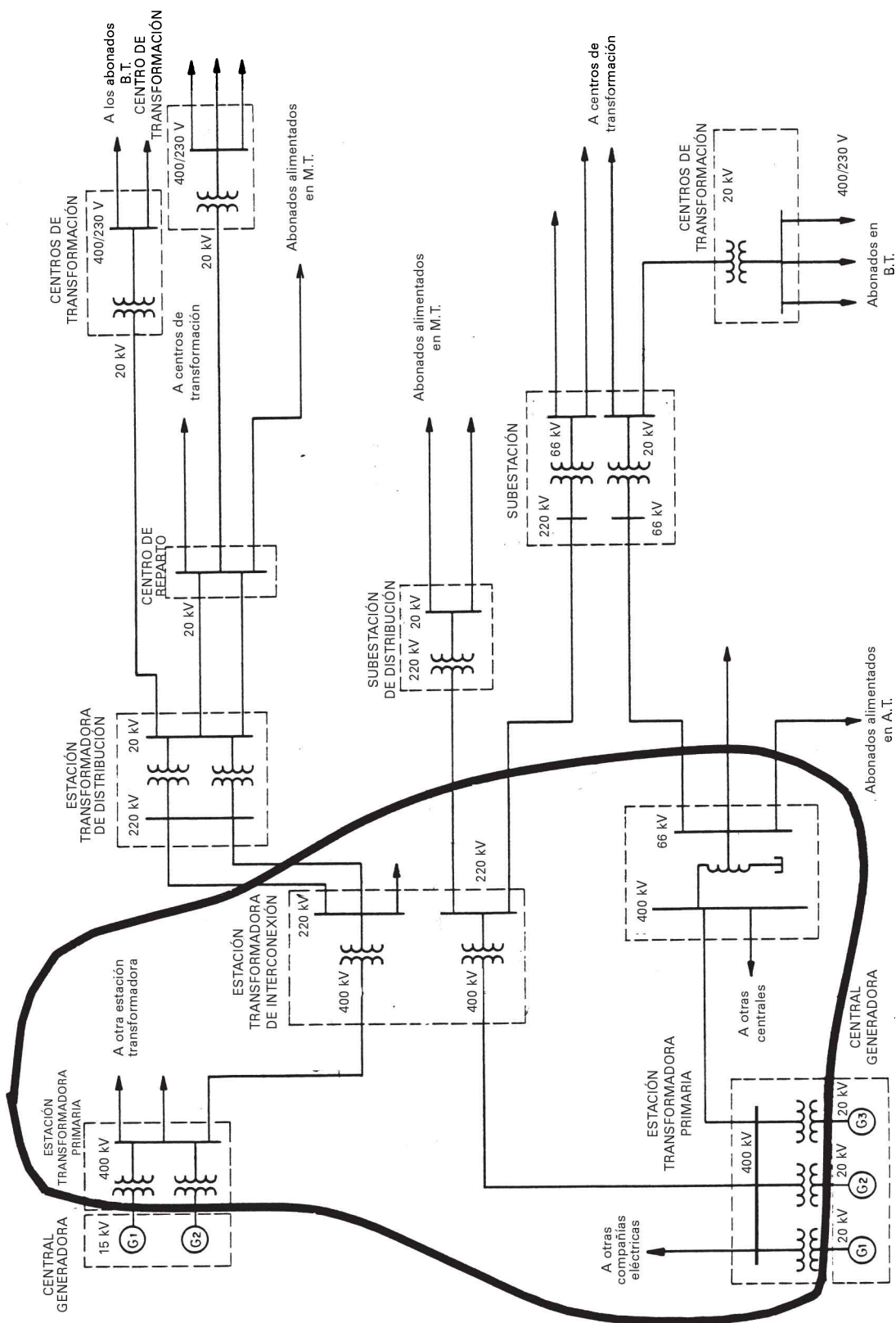


Figura 1.21. Esquema unifilar general de producción, transporte y distribución de la energía eléctrica. En él no figuran las protecciones a instalar. Detalle del parque de intemperie.

- 1.1 Recopilar las normas particulares de las empresas suministradoras de energía de la zona, donde se describan las redes de distribución así como planos y esquemas de las mismas.
- 1.2 Analizar los planos de distribución facilitados por la empresa eléctrica.
- 1.3 Reconocer en los planos los símbolos empleados.
- 1.4 Realizar una visita guiada a un centro de distribución o de reparto.
- 1.5 Elaborar un trabajo donde se describan las redes, las conexiones y características en general del centro de distribución visitado.
- 1.6 Realizar un trabajo donde se recojan las características de los diferentes sistemas de transmisión de información.

Actividades
y prácticas
propuestas

2

Líneas aéreas y subterráneas de Media Tensión (M.T.) y Baja Tensión (B.T.)

Introducción

En este capítulo se describen los componentes fundamentales desde las líneas de distribución aéreas y subterráneas en media y baja tensión. Se desarrolla con ayuda de los esquemas y normas de las principales empresas eléctricas del sector que utilizan las tecnologías más avanzadas para garantizar la seguridad y la calidad en el suministro de la energía eléctrica.

Contenido

- 2.1. Estructura y elementos de líneas aéreas y subterráneas
 - 2.2. Equipos, dispositivos y materiales utilizados en las líneas de distribución
 - 2.3. Cálculo mecánico de conductores y apoyos de líneas aéreas mediante la utilización de programas informáticos y tablas o prontuarios
 - 2.4. Protecciones eléctricas. Instalación de puesta a tierra
 - 2.5. Procedimiento de montaje de líneas de distribución. Tipología y características
 - 2.6. Manejo y tendido de los cables eléctricos
- Actividades y prácticas propuestas

Objetivos

- ▶ Conocer equipos, dispositivos y materiales utilizados en las líneas de distribución.
- ▶ Conocer los distintos tipos de apoyos que se utilizan en las redes de distribución.
- ▶ Analizar el tendido, empalme, tensado y retencionado de las líneas de alta y baja tensión.
- ▶ Identificar e interpretar planos de las redes de distribución.
- ▶ Esquematizar un plan de mantenimiento de las líneas de distribución.
- ▶ Interpretar y comprender información técnica-comercial de los catálogos de los comerciantes.
- ▶ Ser capaz de elaborar un programa de montaje de líneas eléctricas de distribución.

2.1 Estructura y elementos de líneas aéreas y subterráneas

2.1.1. Aéreas

Las estructuras encargadas de soportar los elementos que componen una línea eléctrica aérea, tales como aisladores, conductores y otros componentes para mantenerlos separados del terreno, se denominan apoyos.

Tanto en Media Tensión como en Baja Tensión las redes aéreas pueden estar constituidas por:

- Conductores desnudos tendidos sobre aisladores.
- Conductores aislados trenzados en haz tensados.
- Conductores aislados trenzados en haz posados.

2.1.2. Subterráneas

La distribución en el interior de los grandes núcleos urbanos aconseja en algunos casos y obliga en otros a que dicho suministro se haga mediante canalizaciones enterradas o conductores enterrados directamente, y esto es así, no sólo por el peligro que puede representar el que los conductores vayan instalados al aire, sino por el aspecto físico y estético que representa para una gran ciudad.

Las redes de distribución subterráneas son mucho más costosas que las aéreas, pues además de tener que realizar el calado de la vía pública para poder alojar las canalizaciones, conductores y señalización de los mismos, también tenemos que saber que los diferentes conductores que se vayan a instalar son más sofisticados que cualquier tipo de conductor desnudo.

Igual que en las redes aéreas, las redes subterráneas pueden instalarse con la siguiente configuración.

- Conductores aislados directamente enterrados.
- Conductores aislados alojados en el interior de tubos o conductos.
- Conductores aislados alojados en el interior de galerías.

2.2 Equipos, dispositivos y materiales utilizados en las líneas de distribución

A la hora de llevar a cabo la construcción de cualquier tipo de red, aérea, subterránea o mixta, parte de los tramos van en montaje aéreo y el resto en montaje subterráneo. Es necesario que el material a instalar cumpla tanto con las normas y especificaciones técnicas aprobadas por las Empresas Suministradoras de Energía (E.S.E.), como por las diferentes normas que le sean de aplicación: UNESA, CEI, DIN, UNE, EN, RU, etc.

Los niveles de aislamiento necesarios para las líneas de M.T. tendrán que ser superiores a las prescripciones reglamentarias reflejadas en el R.L.A.A.T. en el art. 24.

- La tensión más elevada, en kV eficaces, será de 24 kV.
- La tensión de ensayo al choque, kV cresta, será de 125 kV.
- La tensión de ensayo a frecuencia industrial, en kV eficaces, será de 50 kV.

Dentro de los materiales y componentes que se suelen instalar en redes de distribución aéreas en M.T., los niveles de aislamiento se determinan en función de los niveles de polución de la zona donde vaya a ser instalada la línea; estos dos niveles son:

Nivel Medio

Zonas con industrias que no produzcan humos particularmente contaminantes y con una densidad media de viviendas equipadas con calefacción.

Zonas de fuerte densidad de población o de industrias, pero sometidas a lluvias limpias.

Zonas expuestas al viento del mar, pero alejadas algunos kilómetros de la costa.

Nivel Fuerte

Zonas generalmente poco extensas sometidas a polvo conductor y a humos que producen depósitos particularmente espesos.

Zonas generalmente poco extensas y muy próximas a la costa expuestas a nieblas o vientos muy fuertes y contaminantes provenientes del mar (en este caso el conductor será de cobre).

Zonas desérticas caracterizadas por largos periodos de lluvia, expuestas a vientos fuertes que transportan arena y sal, y sometidas a una condensación regular.

Para instalaciones aéreas a realizar en zona clasificada de nivel medio los tipos de aisladores a utilizar serán de vidrio o de aislamiento sintético —composite—. Si se utilizan aisladores de vidrio, tipo U 70 BS, se tendrán que colocar dos aisladores por cadena, cuyas características son:

AISLADOR DE VIDRIO U 70 BS

- | | |
|---------------------------------------|-----------|
| ● Carga de rotura | 7.000 daN |
| ● Diámetro máximo parte aislante..... | 255 mm |
| ● Línea de fuga | 310 mm |
| ● Paso nominal..... | 127 mm |
| ● Diámetro de vástago | 16 mm |

En cadenas con dos elementos, las características de los aisladores son:

- Tensión de contorneo bajo lluvia a 50 Hz durante un minuto..... 72 kV eficaces
- Tensión a impulso tipo rayo valor de cresta..... 190 kV

Para zonas de nivel de polución fuerte podrán utilizarse aisladores de vidrio de tipo caperuza; se utilizarán dos aisladores del tipo U 100 BLP por cadena, cuyas características son:

AISLADOR DE VIDRIO U 100 BLP

- Carga de rotura 10.000 daN
- Diámetro máximo parte aislante..... 280 mm
- Línea de fuga 445 mm
- Paso nominal..... 146 mm
- Diámetro de vástago 16 mm

En cadenas con dos elementos, las características de los aisladores son:

- Tensión de contorneo bajo lluvia a 50 Hz durante un minuto..... 75 kV eficaces

- Tensión a impulso tipo rayo valor de cresta 235 kV

AISLADOR SINTÉTICO COMPOSITE U 70 bs y b 20 p

- Carga de rotura 7.000 daN
- Línea de fuga 740 mm
- Tensión de contorneo bajo lluvia a 50 Hz durante un minuto 70 kV eficaces
- Tensión a impulso tipo rayo valor de cresta..... 165 kV

En las siguientes figuras se reflejan parte de los componentes que se suelen instalar en líneas aéreas realizadas, tanto en conductores desnudos como en conductores aislados trenzados en haz.

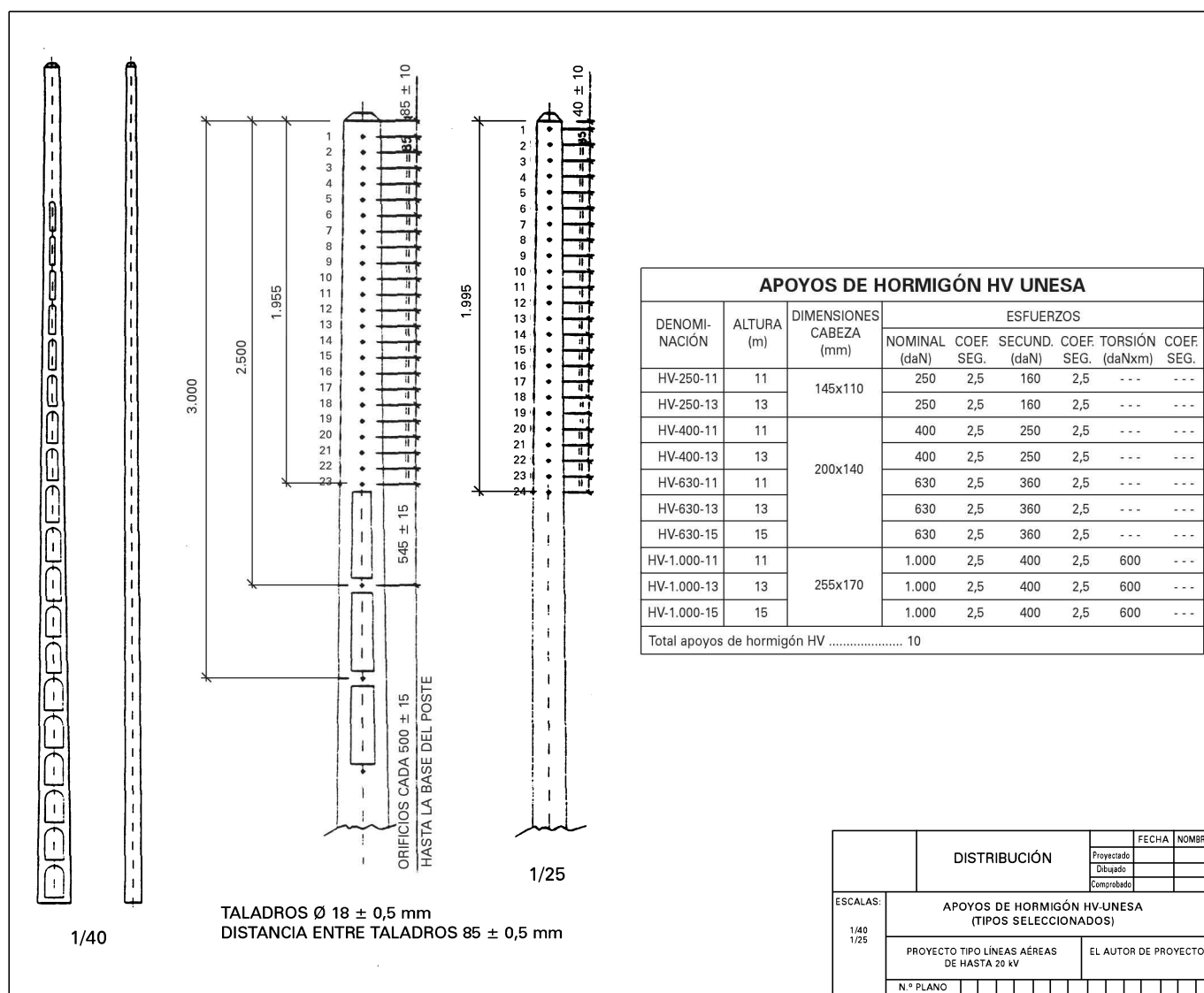


Figura 2.1. Apoyos de hormigón HV.

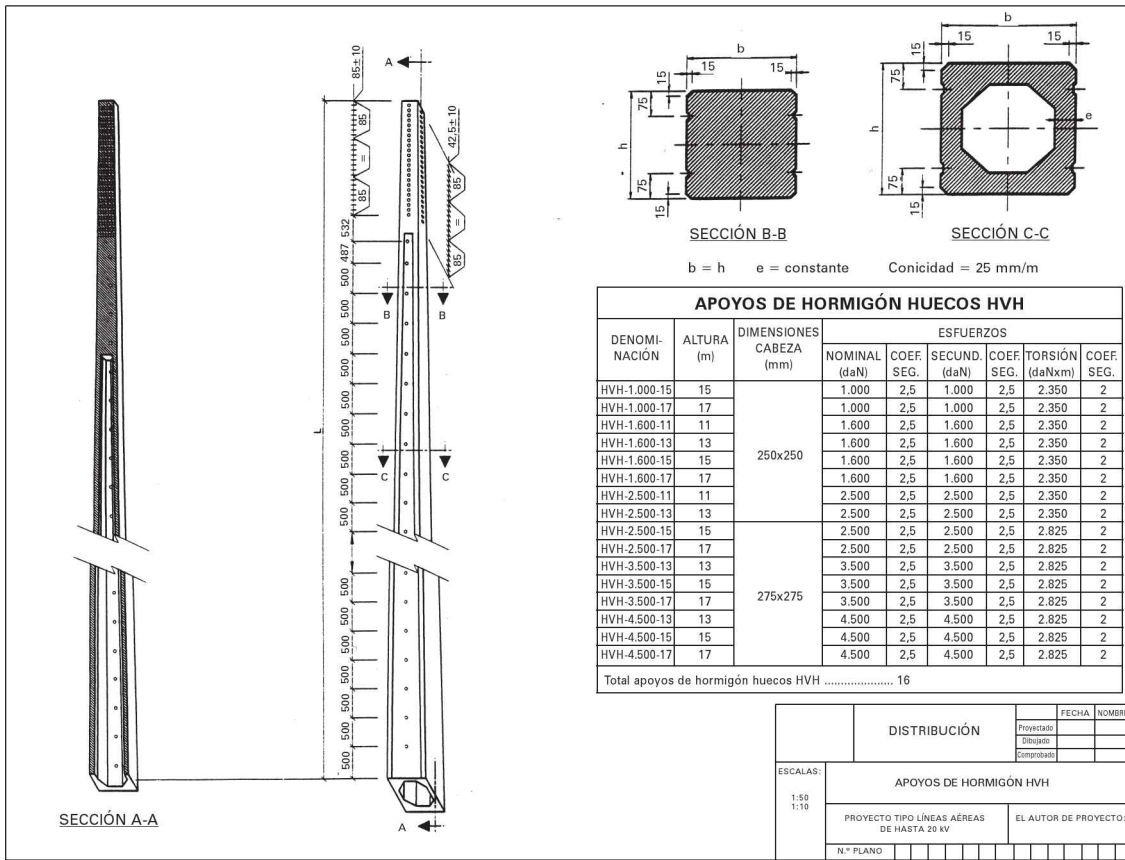


Figura 2.2. Apoyos de hormigón armado vibrado huecos HVH.

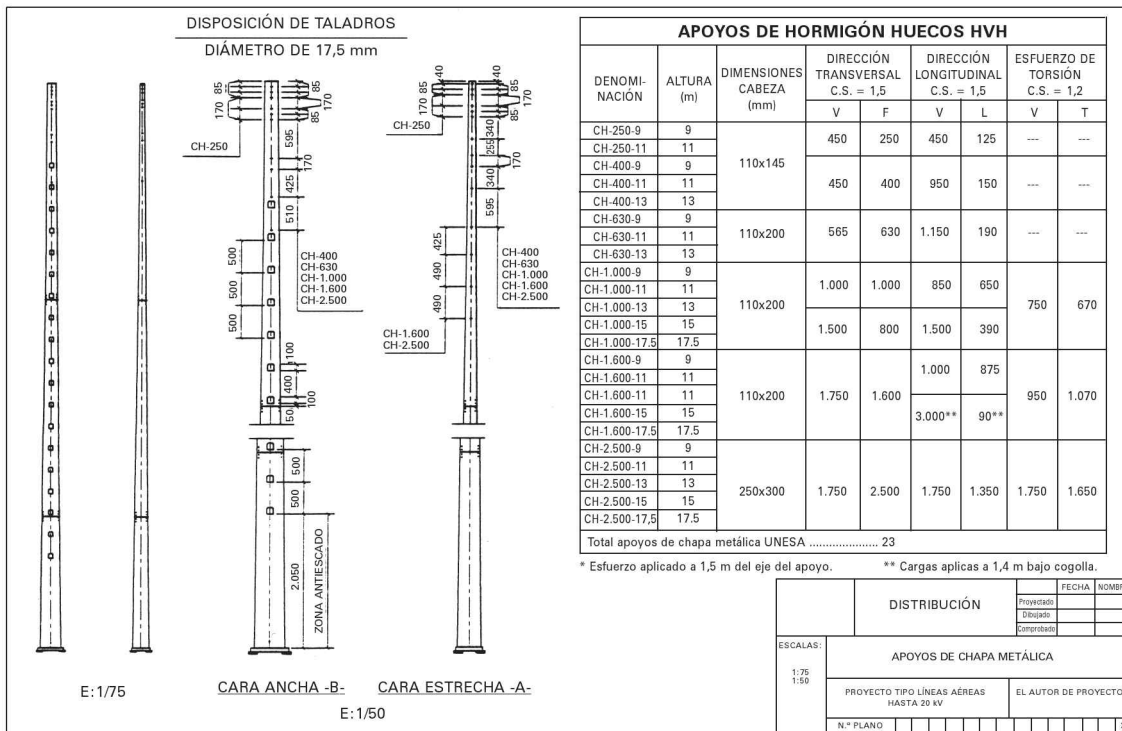


Figura 2.3. Apoyo de chapa metálica HVH.

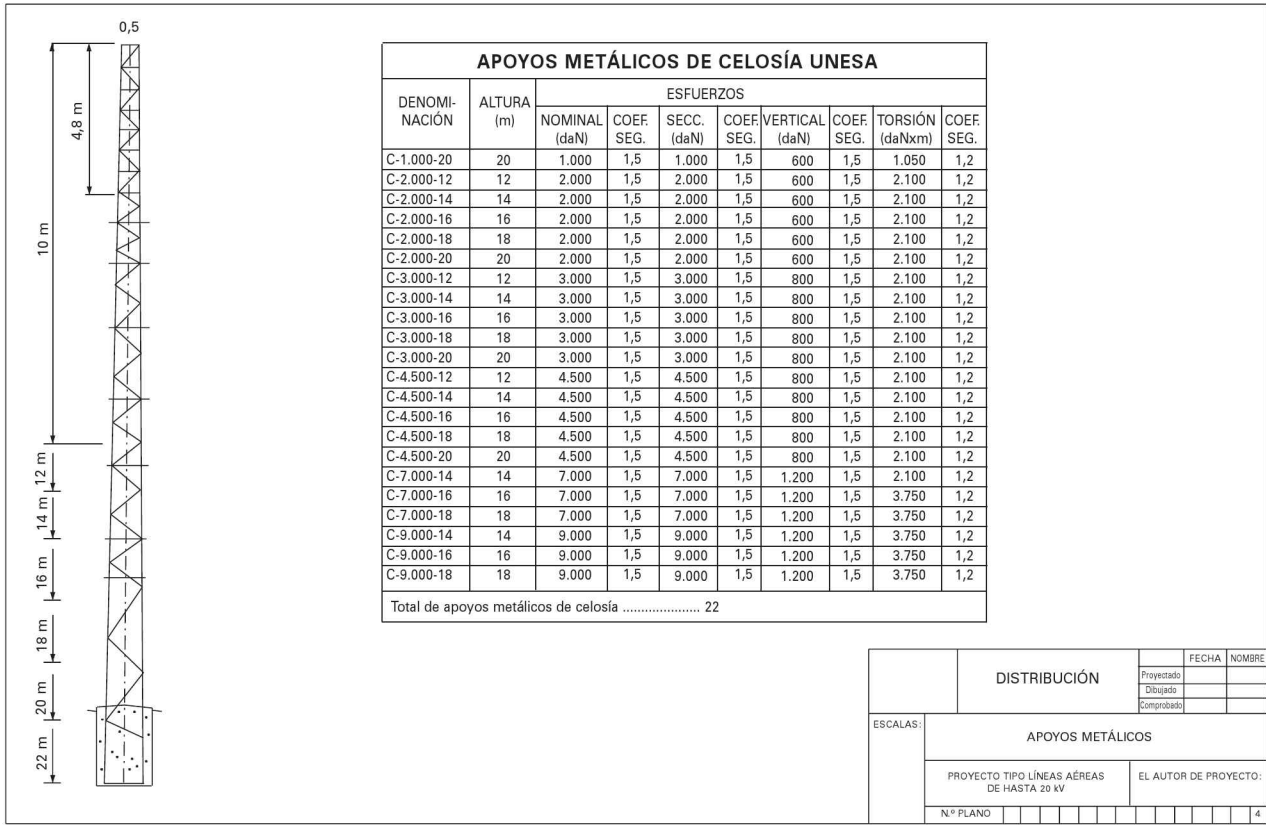


Figura 2.4. Apoyos metálicos.

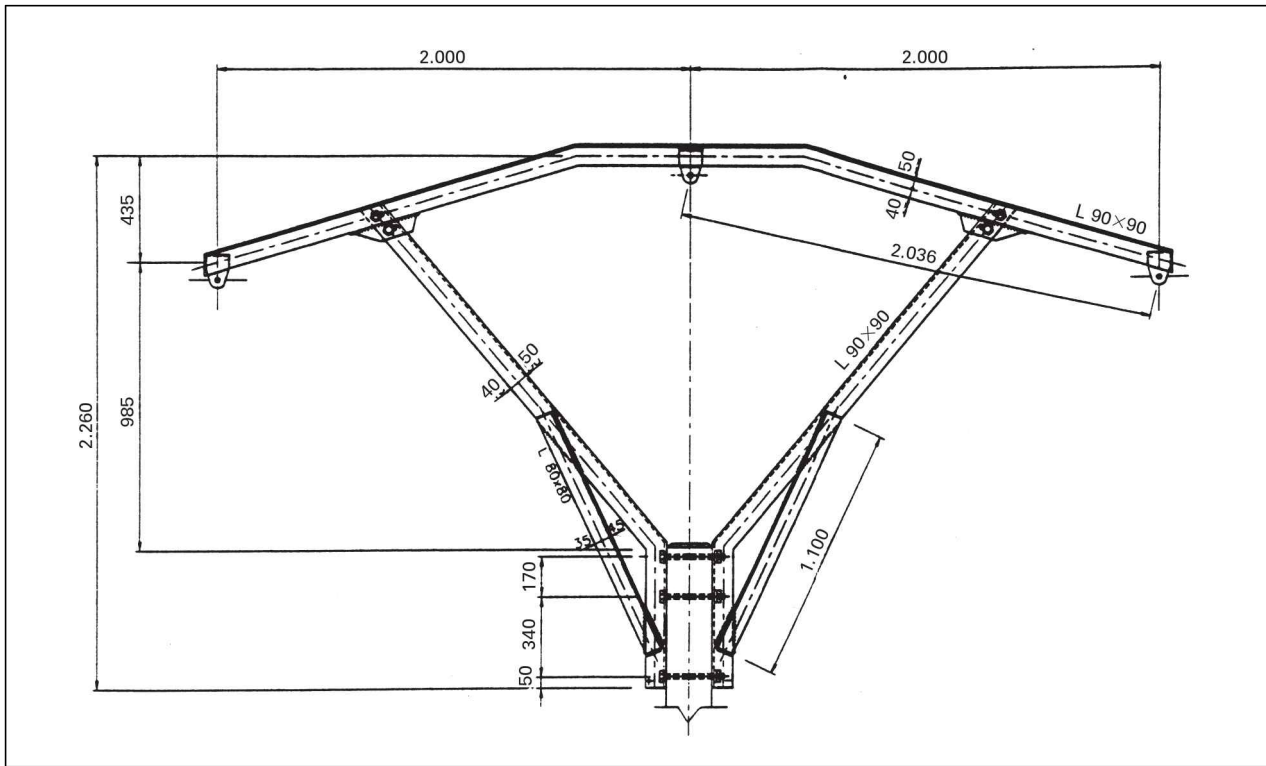


Figura 2.5. Crucetas de bóveda.

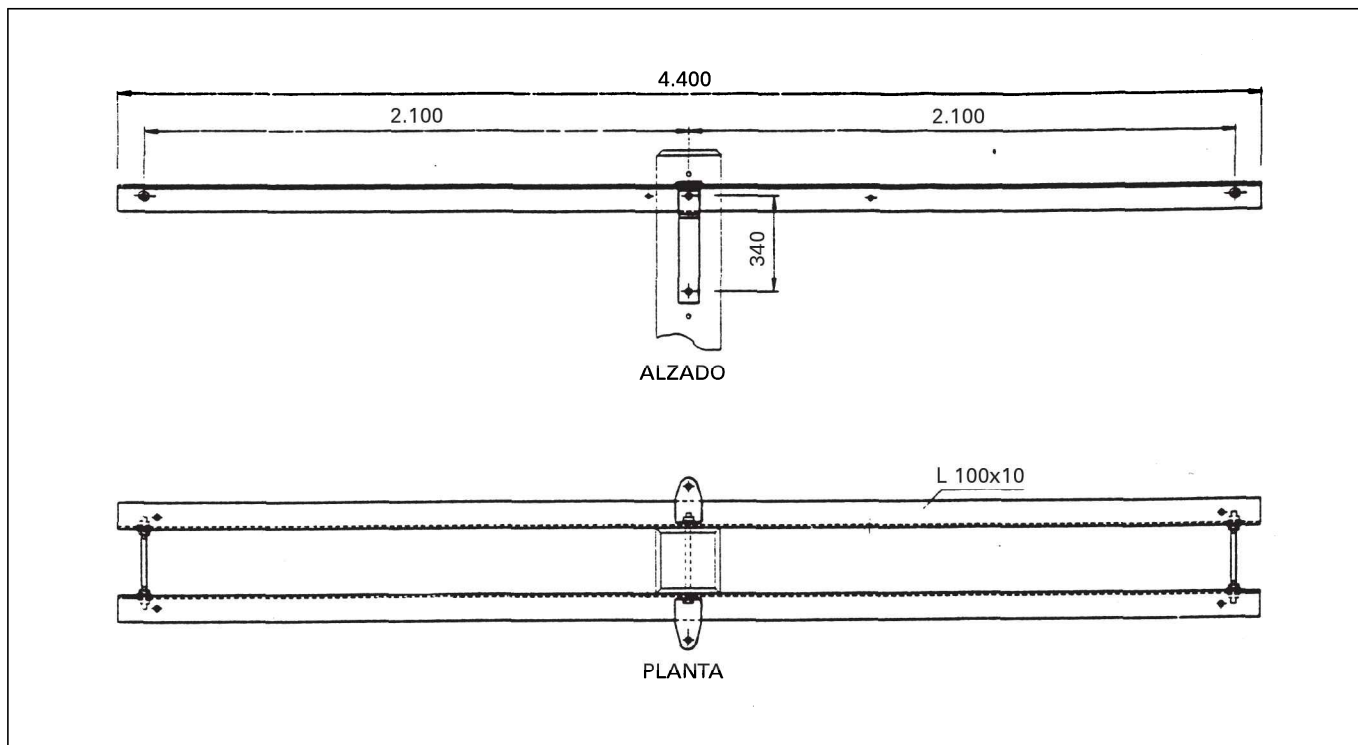


Figura 2.6. Crucetas rectas.

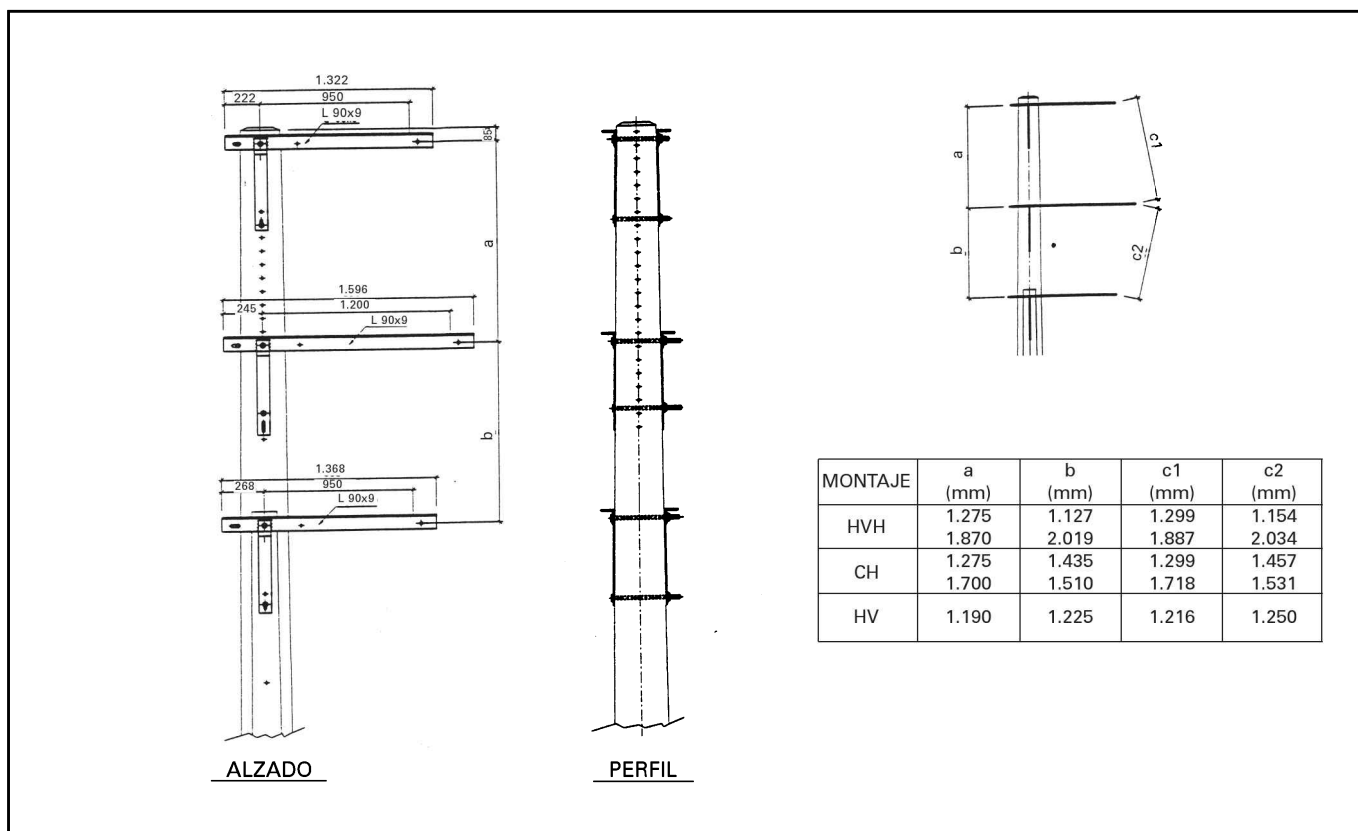


Figura 2.7. Crucetas de bandera.

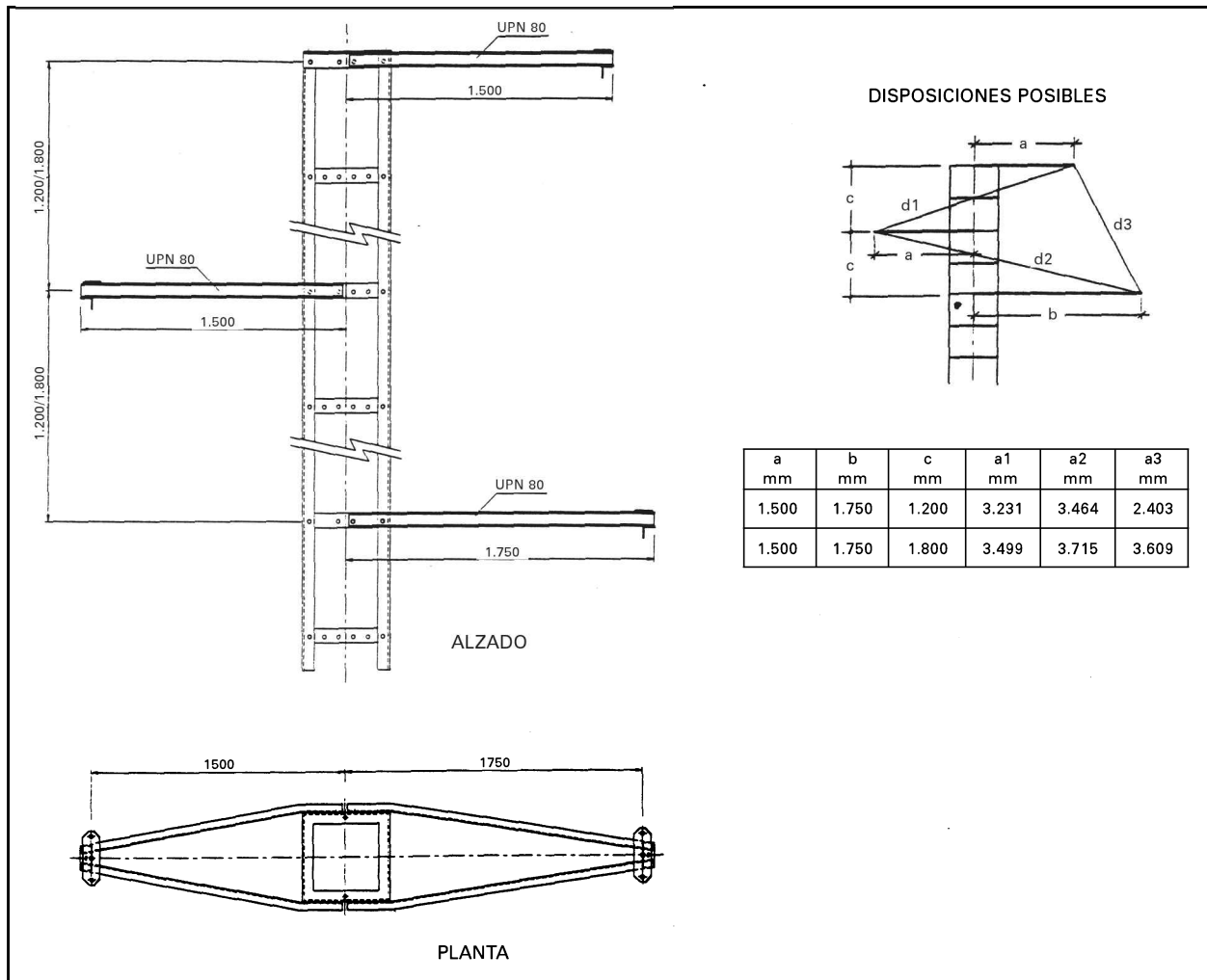


Figura 2.8. Crucetas de tresbolillo.

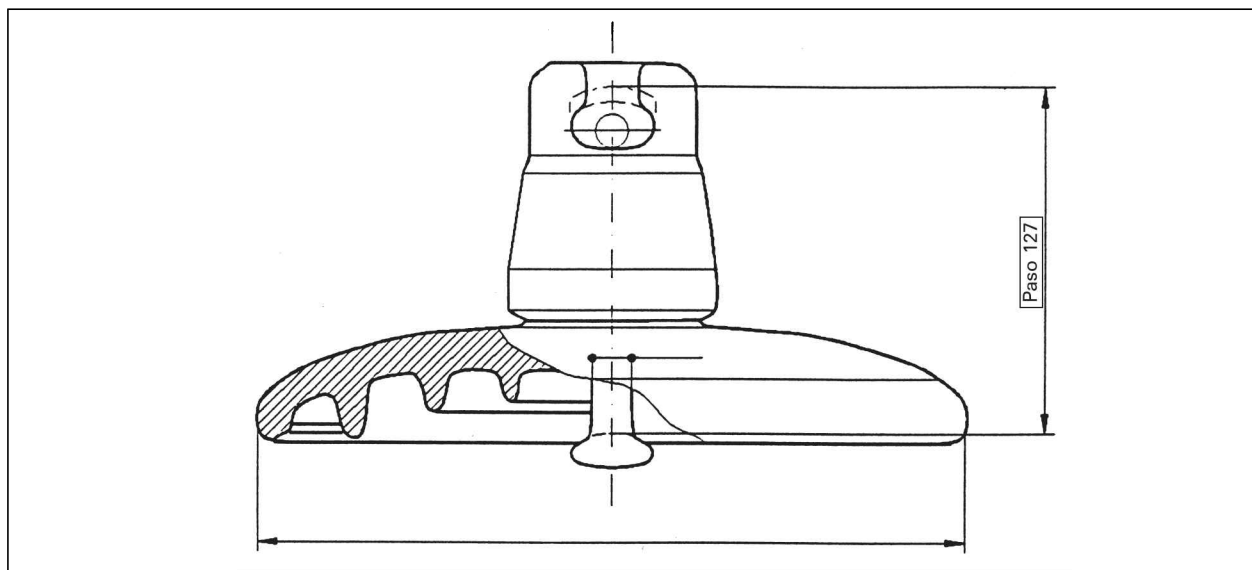


Figura 2.9. Aislador de vidrio U 70 BS.

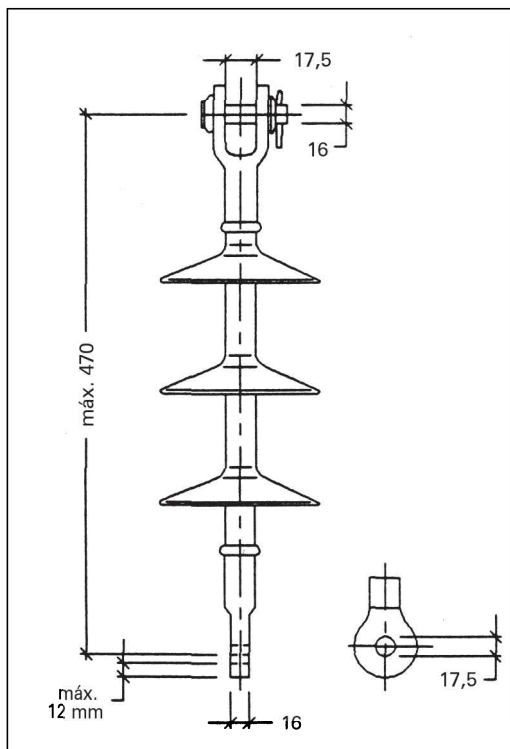


Figura 2.10. Aislador sintético - Composite U 70 BS.

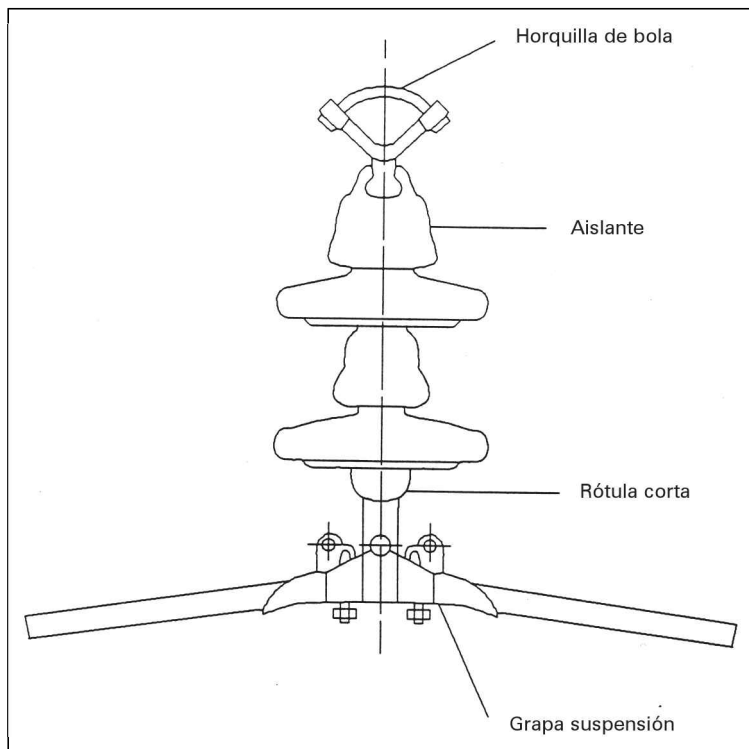


Figura 2.11. Cadenas de suspensión con aisladores de vidrio.

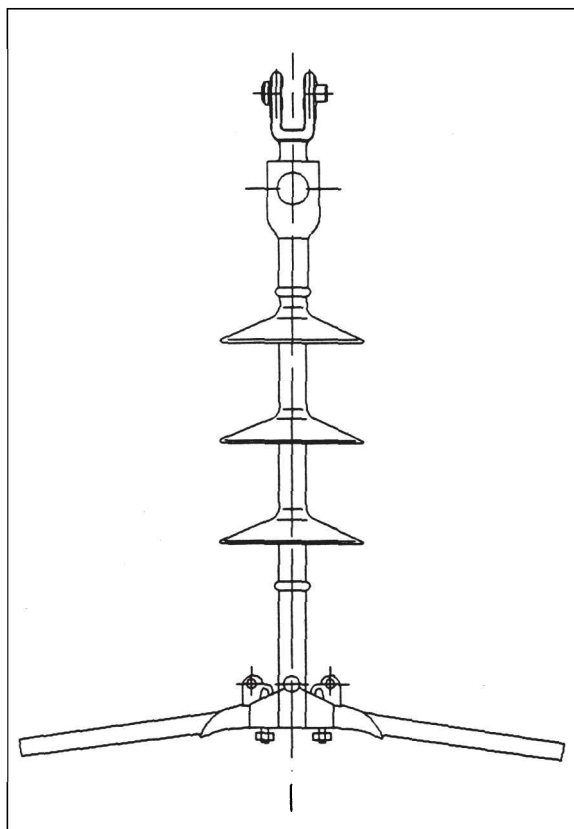


Figura 2.12. Cadenas de suspensión con aisladores sintéticos.

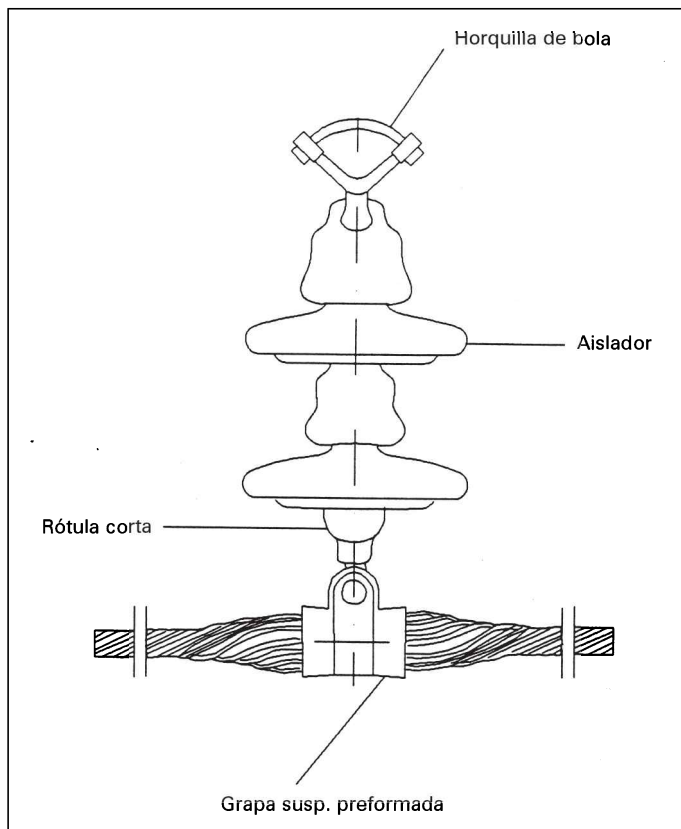


Figura 2.13. Cadenas de suspensión-cruce con aisladores de vidrio.

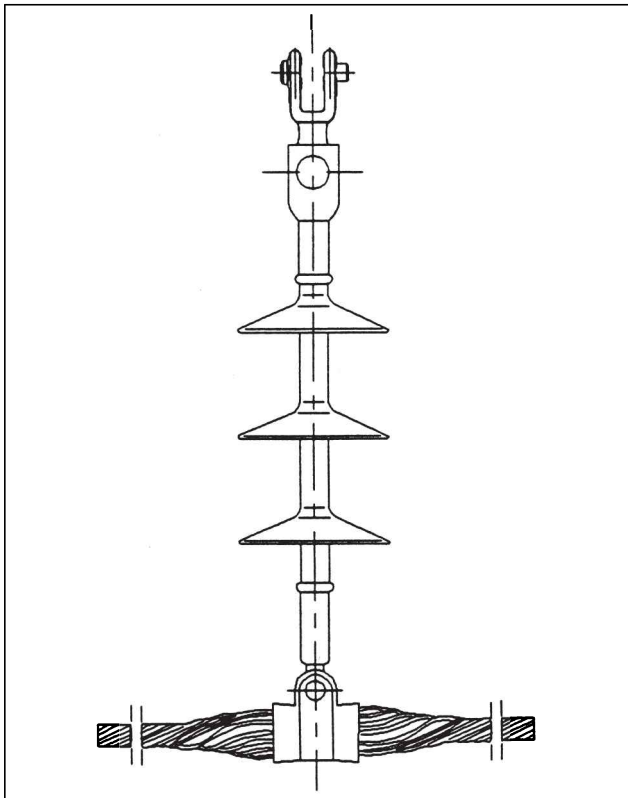


Figura 2.14. Cadenas de suspensión-cruce con aisladores sintéticos.

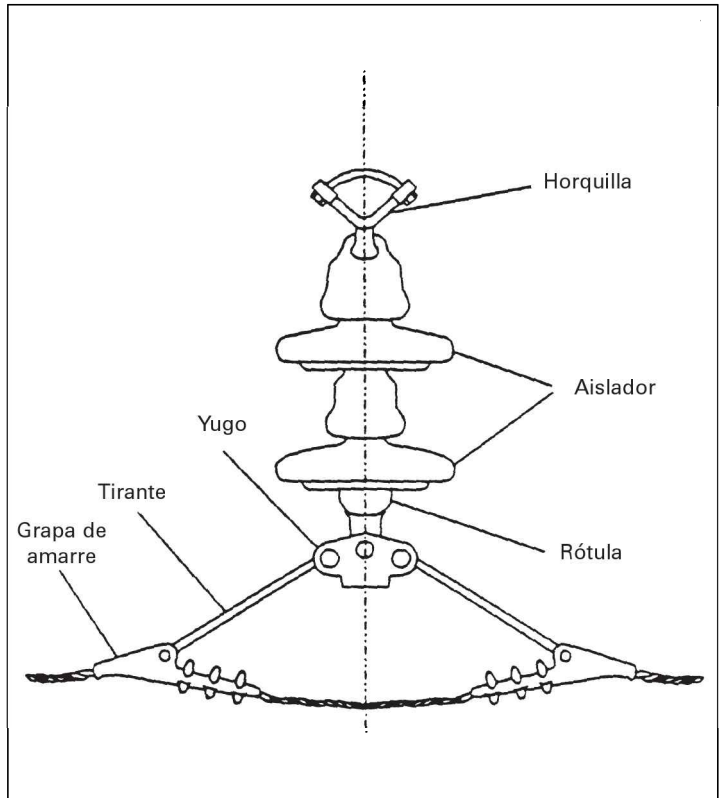


Figura 2.15. Cadenas de suspensión derivación con aisladores de vidrio.

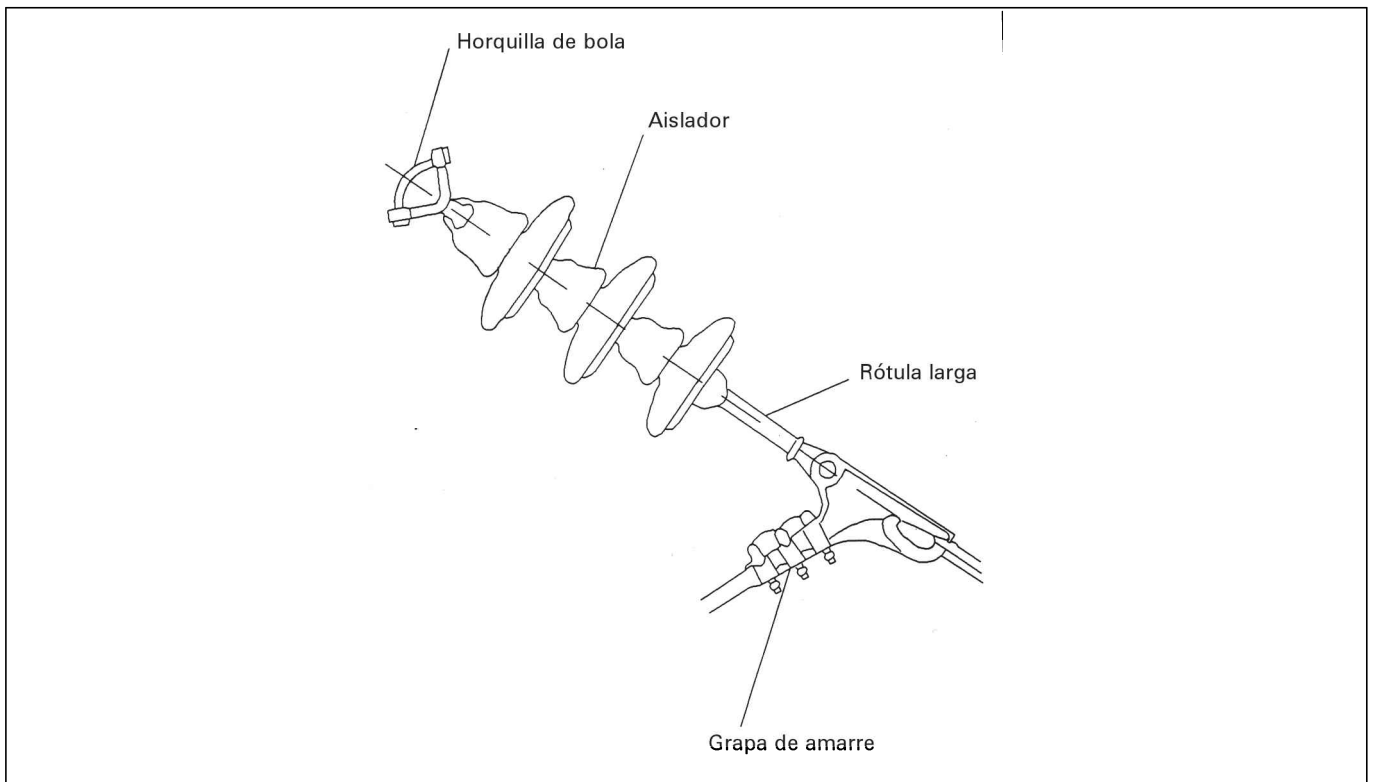


Figura 2.16. Cadenas de amarre con aisladores de vidrio.

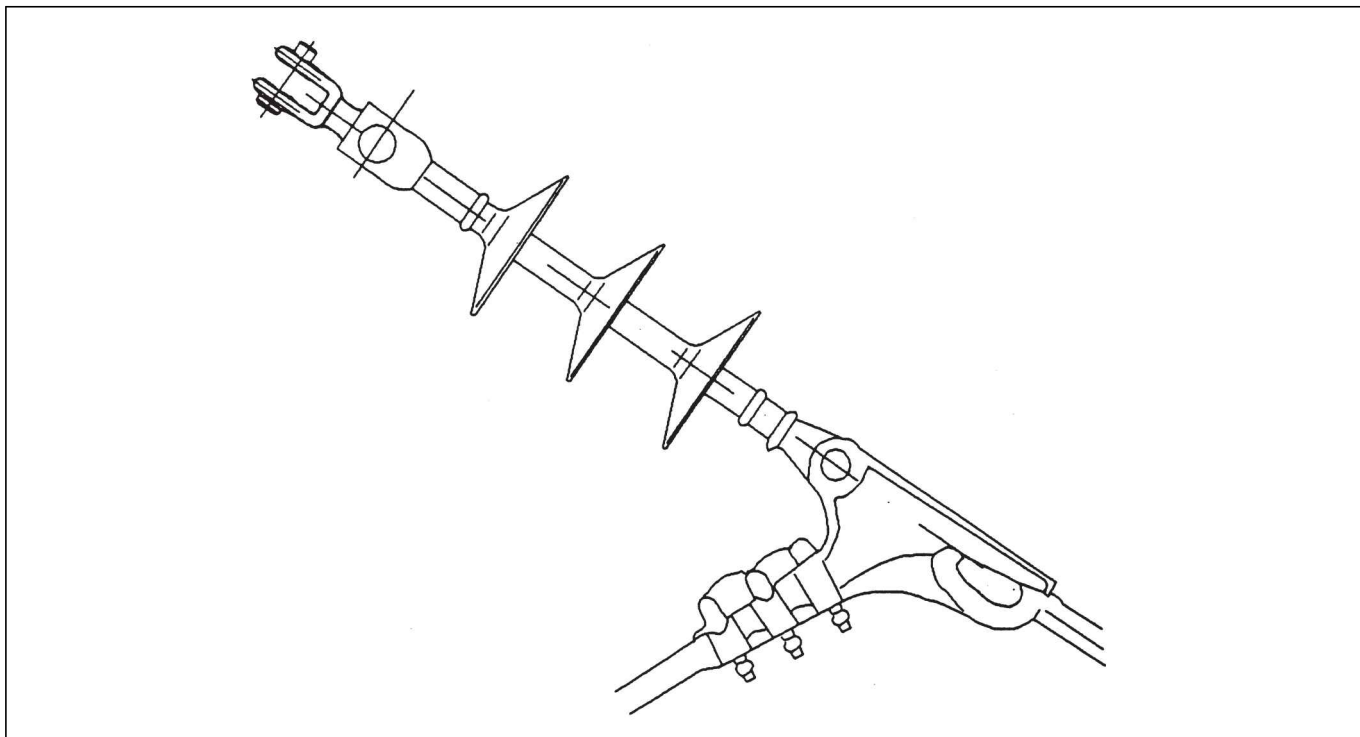


Figura 2.17. Cadenas de amarre con aisladores sintéticos.

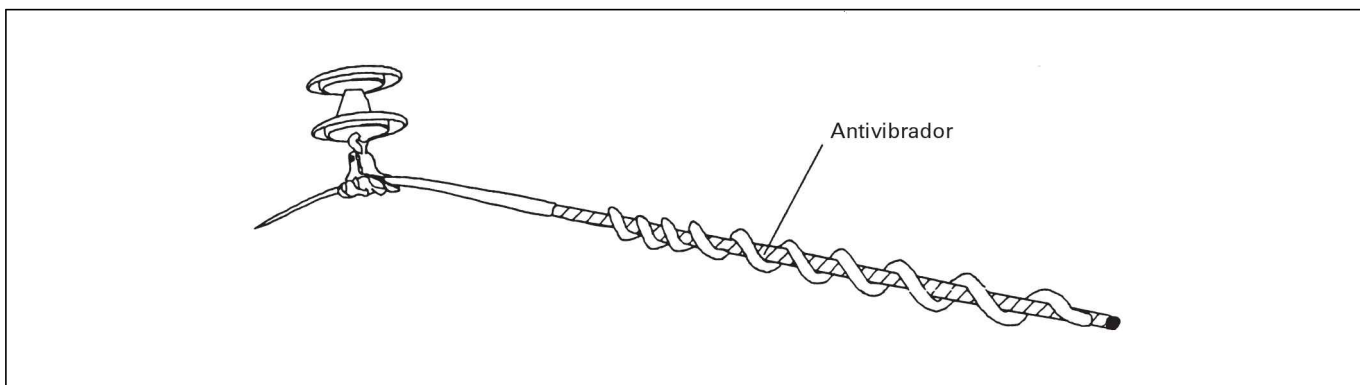


Figura 2.18. Antivibrador helicoidal.

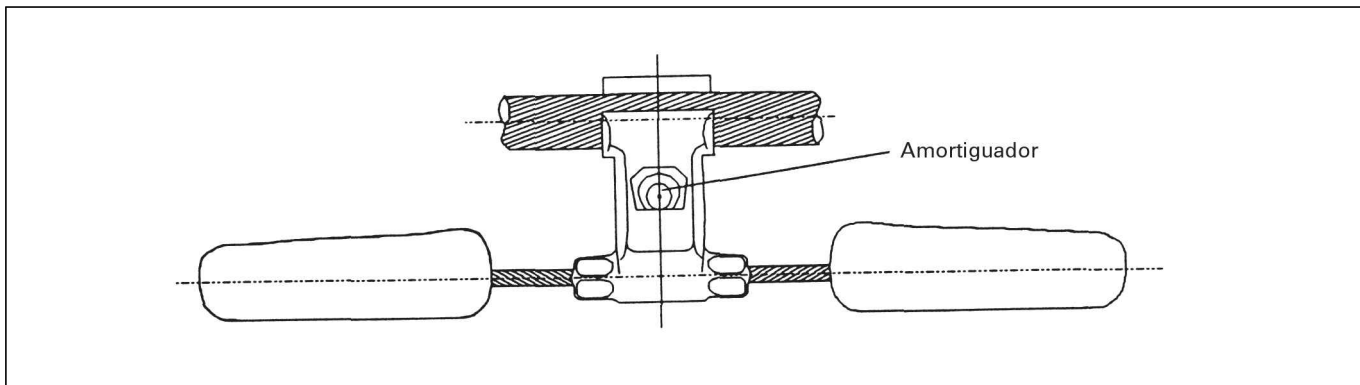


Figura 2.19. Amortiguador Stock-Bridge.

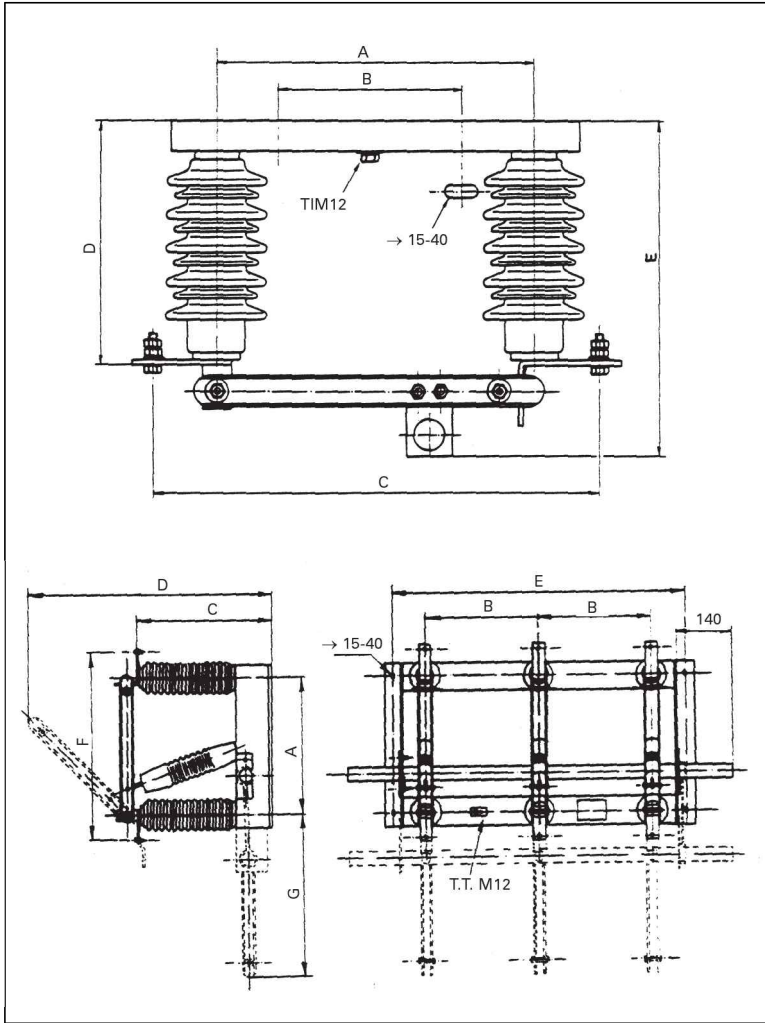


Figura 2.20. Seccionador de línea.

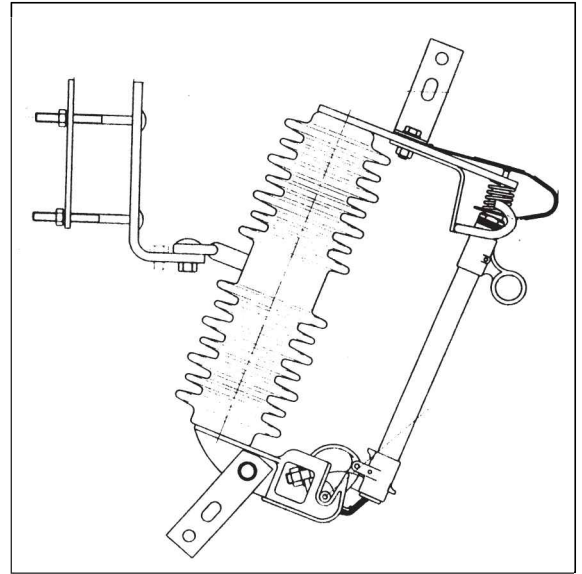
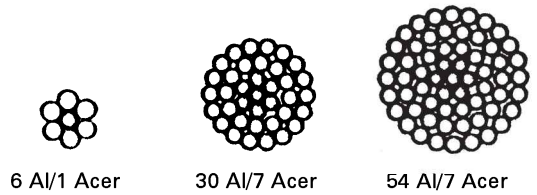


Figura 2.21. Seccionadores con fusible de expulsión tipo XS cot-out.



6 Al/1 Acer 30 Al/7 Acer 54 Al/7 Acer

Figura 2.23. Formas constructivas de los conductores desnudos de aluminio-acero utilizados en líneas aéreas.

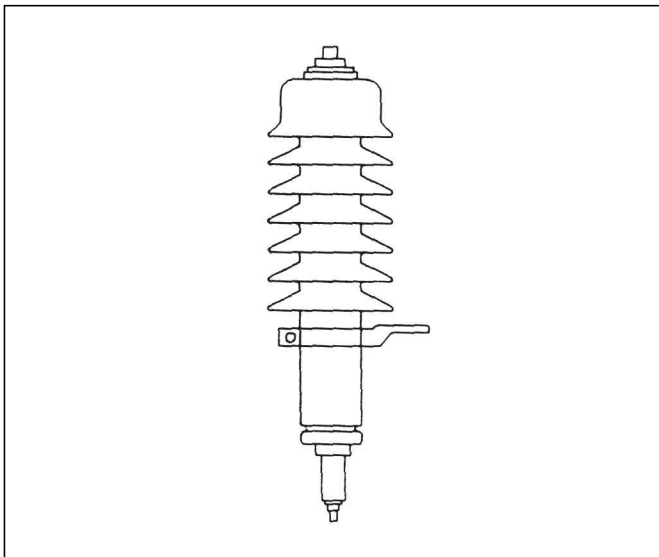


Figura 2.22. Pararrayos autoválvulas.

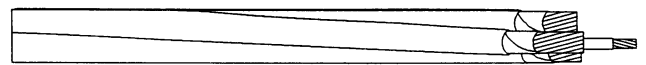


Figura 2.24. Formas constructivas de los conductores aislados de aluminio, incluido el cable fiador.

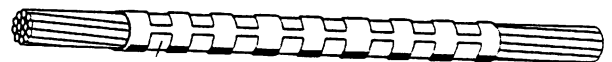


Figura 2.25. Empalme plena-tracción.

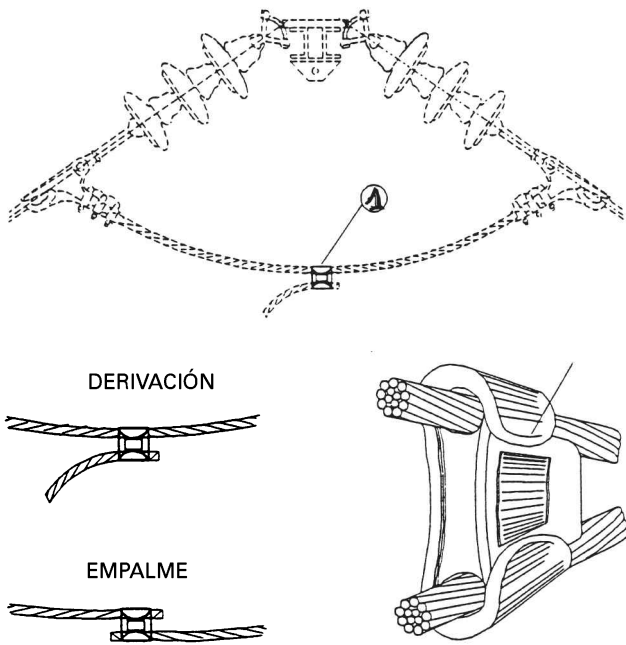


Figura 2.26. Derivación aérea.

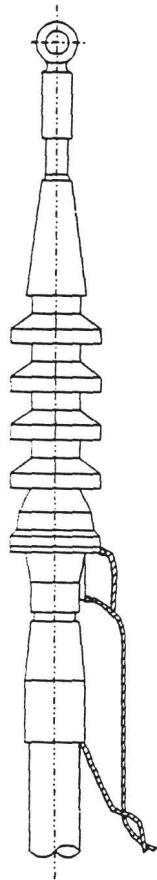
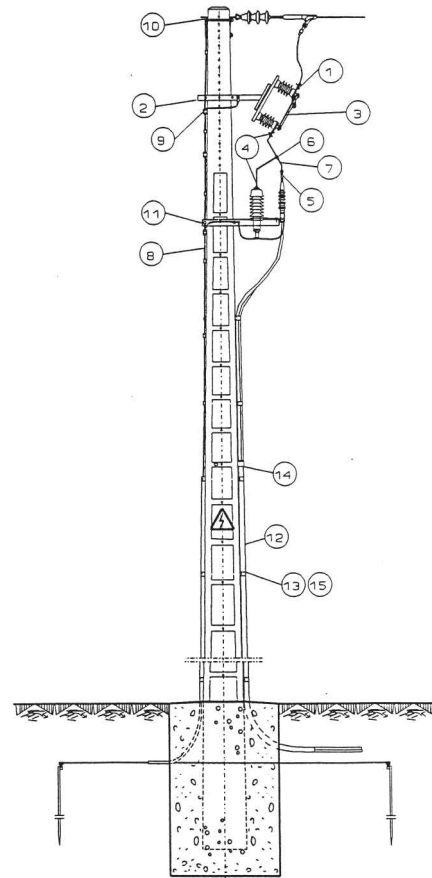


Figura 2.27. Terminal para conductor aislado.



A) Plano de situación de componentes.

CANTIDAD de ELEMENTOS	DESIGNACIÓN
①	3 Terminal bimetalico Al-Cu recto LA-56 / LA-110
②	1 Soporte seccionadores unipolares s/p 4-145-2
③	3 Seccionador I exterior 24 kV/400 A
④	6 Terminal concéntrico recto C-C 12 mm
⑤	3 Terminal concéntrico acod. C-C 90 G 12 mm
⑥	3 Te concéntrica C-C 12 mm
⑦	6 Varilla Cu 12 mm diámetro
⑧	4 Cable Cu desnudo C-50 UNESA 3401
⑨	2 Conector compresión 50-50
⑩	5 Terminal compresión cable Cu 50 mm ²
⑪	1 Soporte autoválvula y terminac. s/p 4-147-2
⑫	5 Tubo plástico protección cable 90-102 D 3 m
⑬	6 Abrazadera sujeción tubo 90 mm diámetro
⑭	1 Capuchón protección tubo 90 mm diámetro 3 salidas
⑮	6 Taco plástico 18x50

B) Descripción de materiales.

Figura 2.28. Paso de línea aérea a subterránea.

Los conductores más utilizados en líneas aéreas de Media Tensión se reflejan en las siguientes tablas:

Tabla 2.1. Características mecánicas y eléctricas de los conductores de cobre

Designación	Formación			Diámetro aparente del cable	Carga total de rotura mínima	Resistencia eléctrica máxima a 20°	Peso
	Sección nominal	Número de alambres	Diámetro nominal de cada alambre				
	mm ²		mm	mm	daN	Ω/km	kg/km
C 10	0,0	7	1,35	4,05	420	1,8400	91
C 16	15,3	7	1,70	5,10	658	1,1600	144
C 25	25,2	7	2,14	6,42	1.011	0,7340	228
C 35	34,9	7	2,52	7,56	1.342	0,5290	317
C 50	49,5	7	3,00	9,00	1.902	0,3720	449
C 70	70,3	19	2,17	10,85	2.735	0,2640	640
C 95	94,8	19	2,52	12,60	3.525	0,1960	864
C 120	121,2	19	2,85	14,25	4.597	0,1530	1.104
C 150	147,1	37	2,25	15,75	5.710	0,1260	1.344
C 185	184,5	37	2,52	17,64	6.844	0,1010	1.687
C 235	236,0	37	2,85	19,05	8.754	0,0789	2.157
C 300	304,2	61	2,52	22,68	10.899	0,0615	2.791
C 400	389,1	61	2,85	25,65	13.940	0,0480	3.570
C 500	490,6	61	3,20	28,80	16.772	0,0374	4.501

Para cualquier composición de los alambres del conductor cableado resulta un valor medio final efectivo para el módulo de elasticidad, $E = 10.500$ daN, y como coeficiente de dilatación lineal, un valor constante, $\alpha = 17 \times 10^{-6}$ por grado centígrado.

Tabla 2.2. Características de los conductores de aluminio utilizados en España tipo AL1

Código	Código antiguo	Sección	N.º de alambres	Diámetro		Masa por unidad de longitud	Resistencia a la tracción asignada	Resistencia en c.c.
				Alambre	Conductor			
		mm ²		mm	mm	kg/km	kN	Ω/km
28-AL1	L 28	27,8	7	2,25	6,75	76,1	5,01	1,0268
43-AL1	L 40	43,1	7	2,80	8,40	117,8	7,33	0,6630
55-AL1	L 56	54,6	7	3,15	9,45	149,1	9,00	0,5239
76-AL1	L 80	75,5	19	2,25	11,30	207,6	13,60	0,3804
117-AL1	L 110	117,0	19	2,80	14,00	321,5	19,89	0,2456
148-AL1	L 145	148,1	19	3,15	15,80	407,0	24,43	0,1941
188-AL1	L 180	188,1	19	3,55	17,80	516,9	30,09	0,1528
279-AL1	L 280	279,3	37	3,10	21,70	770,2	46,08	0,1033
381-AL1	L 400	381,0	61	2,82	25,40	1.054,1	64,77	0,0759
454-AL1	L 450	454,5	61	3,08	27,70	1.257,5	74,99	0,0637
547-AL1	L 550	547,3	61	3,38	30,40	1.514,4	90,31	0,0529
638-AL1	L 630	638,3	61	3,65	32,90	1.766,0	102,12	0,0453

Nota: La dirección de cableado de la capa externa es «a derecha» (Z).

Tabla 2.3. Características principales de los cables de acero (cables de guarda)

T 50	9,0 49,5	7,0	—	420	20.000	12,0	6.250
T 70	10,5 67,3	3,5	—	570			8.550

Nota: La dirección de cableado de la capa externa es «a derecha» (Z).

Tabla 2.4. Valores para conductores trenzados en haz (cobre y aluminio)

	N.º y Sección de los conductores	Ø máximo del haz	Longitud máxima de cable por bobina	Peso aproximado del cable	Radio mínimo de curvatura	Intensidad máxima admisible en régimen permanente a 40 °C
	mm ²	mm	m	kg/km	mm	A
Conductores De Cobre	3 (1 x 50)	66,6	300	3.665	370	205
	3 (1 x 70)	70,8	300	4.520	410	260
	3 (1 x 95)	74,8	300	5.470	440	315
Conductores De Aluminio	3 (1 x 50)	66,6	300	2.775	370	160
	3 (1 x 70)	70,8	300	3.205	410	200
	3 (1 x 95)	74,8	300	3.665	440	245
	3 (1 x 120)	77,4	300	4.000	470	285
	3 (1 x 150)	81,0	200	4.460	500	320

Las características principales de los conductores de aluminio que se instalan en redes de distribución de Media Tensión en montaje subterráneos son las siguientes:

Tabla 2.5. Características generales de los conductores aislados. Tipo HEPRZ1 para 12/20 kV (Iberdrola)

Sección mm ² .	95	150	240	400
Ø Exterior aproximado mm	27,1	30,1	34,7	40,7
Ø Cuerda en mm.	11,2	14,0	17,9	23,1
Radio mínimo curvatura mm.	383	441	526	638
Espesor nominal aislamiento mm.	4,3	4,3	4,3	4,3
Espesor nominal cubierta mm.	2,7	3,0	3,0	3,0
Número mínimo de alambres conductor.	15	15	30	53
Temperatura °C máxima. Normal/CC máx. 5 s	105/250	105/250	105/250	105/250
Nivel de aislamiento impulsos kV.	125	125	125	125
Intensidad admisible CC. 0,1 s kA.	27,9	44,1	79,5	117,6
Intensidad admisible terna al aire a 40 °C en A.	265	345	470	630
Intensidad admisible terna enterrada a 25 °C en A.	255	330	435	560
Intensidad admisible terna bajo tubo enterrado a 1 m y 25 °C en A.	204	264	348	448
Resistencia máxima a 20 °C en Ω/km.	0,320	0,206	0,125	0,0778
Resistencia máxima en C.A. a 90 °C en Ω/km.	0,403	0,262	0,161	0,102
Resistencia máxima en C.A. a 105 °C en Ω/km.	0,427	0,277	0,170	0,108
Capacidad (C) en µF/km.	0,288	0,336	0,421	0,499
Coefficiente de Autoinducción (L) en mH/km.	0,365	0,341	0,321	0,302
Reactancia inductiva en Ω/km.	0,116	0,109	0,103	0,095
Impedancia (Z) a 90 °C en Ω/km.	0,419	0,284	0,191	0,139
Impedancia (Z) a 105 °C en Ω/km.	0,442	0,298	0,199	0,144
Peso aproximado kg/km.	1.098	1.335	1.786	2.386

**Tabla 2.6. Características generales de los conductores aislados.
Tipo XLPE-RHZ1-2OL para 12/20 kV (Unión Fenosa S.A.)**

Sección mm ² .	95	150	240	400
Ø Exterior aproximado mm.	29,5	32,5	37,1	43,1
Ø Cuerda en mm.	11,2	14,0	17,9	23,1
Radio mínimo curvatura mm.	407	465	550	662
Espesor nominal aislamiento mm.	5,5	5,5	5,5	5,5
Espesor nominal cubierta mm.	2,7	3,0	3,0	3,0
Número mínimo de alambres conductor.	15	15	30	53
Temperatura °C máxima. Normal/CC máx. 5 s	90/250	90/250	90/250	90/250
Nivel de aislamiento impulsos kV.	125	125	125	125
Intensidad admisible CC. 0,1 s kA.	27,9	44,1	79,5	117,6
Intensidad admisible terna al aire a 40 °C en A.	245	320	435	580
Intensidad admisible terna enterrada a 25 °C en A.	250	315	415	530
Intensidad admisible terna bajo tubo enterrado a 1 m y 25 °C en A.	200	252	332	424
Resistencia máxima a 20 °C Ω/km.	0,320	0,206	0,125	0,0778
Resistencia máxima en C.A. a 90 °C Ω/km.	0,403	0,262	0,161	0,102
Capacidad (C) en µF/km.	0,221	0,256	0,318	0,375
Coefficiente de Autoinducción (L) en mH/km.	0,382	0,357	0,334	0,313
Reactancia inductiva Ω/km.	0,120	0,112	0,105	0,098
Impedancia (Z) a 90 °C Ω/km	0,420	0,285	0,192	0,141
Peso aproximado kg/km.	1.375	1.620	2.105	2.815

La **Potencia Máxima** que puede transportar el cable se calculará con la siguiente expresión matemática.

$$P_{m\acute{a}x} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{m\acute{a}x}$$

siendo:

$P_{m\acute{a}x}$ = Potencia máxima a transportar en kVA.

U = Tensión de la línea en kV.

$I_{m\acute{a}x}$ = Intensidad máxima admisible del cable en A.

Dando valores a la fórmula anterior tendremos para conductores unipolares de las secciones reflejadas en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Máxima potencia a transportar por los conductores en función de la tensión de red

Sección cable en mm ²	95 Al			150 Al			240 Al		
	95 Al	150 Al	240 Al	95 Al	150 Al	240 Al	95 Al	150 Al	240 Al
Potencia máx. en kVA	6.495	8.184	10.782	8.660	10.912	14.376			

Para la **Caída de Tensión** utilizaremos la siguiente fórmula:

$$U = \sqrt{3} \cdot I_{m\acute{a}x} \cdot L \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sen \varphi)$$

siendo:

U = Máxima caída de tensión en V.

$I_{m\acute{a}x}$ = Intensidad máxima en A.

L = Longitud de la línea en km.

R = Resistencia del conductor en Ω/km.

X = Reactancia del conductor en Ω/km.

$\cos \varphi$ = De la línea.

Si aplicamos valores para los distintos cables obtendremos la c.d.t. por km de los mismos. En la Tabla 2.8 quedan reflejadas las máximas c.d.t.

Tabla 2.8. Máxima c.d.t. en V en función de la sección de los conductores y de su tensión

Sección cable en mm ²	95 Al			150 Al			240 Al		
	95 Al	150 Al	240 Al	95 Al	150 Al	240 Al	95 Al	150 Al	240 Al
Caída de Tensión en V/km para un $\cos \varphi = 0,80$	142	124	117	140	125	115			

La fórmula a aplicar para obtener la **Pérdida de Potencia** de la línea es la siguiente:

$$P = 3 \cdot R \cdot L \cdot I_{m\acute{a}x}^2 \cdot 10^{-3}$$

siendo:

P = Potencia perdida en kW.

R = Resistencia del conductor en Ω/km.

L = Longitud de la línea en km.

$I_{m\acute{a}x}$ = Intensidad máxima en A.

Tabla 2.9. Pérdida de Potencia en los conductores en kW/km

Sección cable en mm ²	95 Al			150 Al			240 Al		
	95 Al	150 Al	240 Al	95 Al	150 Al	240 Al	95 Al	150 Al	240 Al
Pérdida de Potencia kW/km	60	61	65	60	61	65			

Como elementos de protección contra sobretensiones se instalarán pararrayos-autoválvulas.

AUTOVÁLVULAS. Las autoválvulas son pararrayos de resistencia variable (no lineal), son los dispositivos de protección contra sobretensiones, que normalmente se utilizan en las redes de A.T. para proteger transformadores y cables, que puedan estar sometidos a sobretensiones superiores al nivel de aislamiento seleccionado para dichos elementos (Figura 2.29).

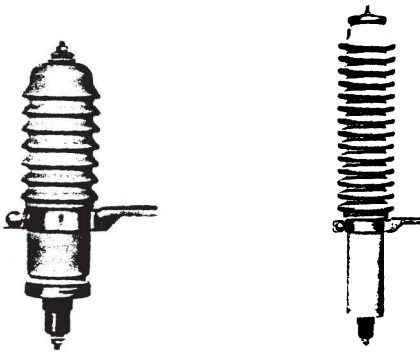


Figura 2.29. Diversos tipos de autoválvulas.

En redes de distribución, la coordinación de aislamiento entre el nivel de protección que proporciona el pararrayos y el nivel de aislamiento seleccionado para el elemento a proteger se realiza según el método denominado convencional (no estadístico).

El mencionado método consiste en determinar el margen existente entre la tensión nominal soportada por el material a impulsos tipo rayo y la sobretensión aceptada como valor máximo previsible en el lugar de emplazamiento del material, que tiene en cuenta las tensiones de cebado del pararrayos. El correspondiente margen determina un coeficiente de seguridad que no debe ser inferior a un valor comprendido entre el 20 y el 30%.

En lo que sigue, se establecen criterios prácticos para la selección e instalación de pararrayos de protección de transformadores MT/BT y cables de M.T., considerando de forma genérica distintos casos que puedan presentarse en redes de distribución de hasta 20 kV de tensión nominal.

La norma UNE 21087 establece los siguientes valores de ensayo que determinan las características de funcionamiento de pararrayos normalizados a utilizar en redes de distribución.

Tabla 2.10. Valores de ensayo para autoválvulas

Tensión nominal (Unp en kV)	Tensión máxima cebado - 1,2/50µs (Uceb en kV cresta)	Tensión residual máxima - 8/20 µs (Ures en kV cresta)	Tensión máxima Cebado-Frente de Onda (Uceb2 en kV cresta)	Tensión mínima Cebado a 50 Hz (Uceb50 en kV)
	Inp = 5 kA y 10 kA	Inp = 5 kA y 10 kA	Inp = 5 kA y 10 kA	
15	54	54	62	23
18	65	65	75	27
21	76	76	88	32
24	87	87	100	36
27	97	97	112	41
30	108	108	125	45

Siendo Inp. la corriente de descarga nominal.

Los anteriores valores de ensayo son los más críticos permisibles. Los pararrayos se fabrican normalmente con tensiones de cebado inferiores a las máximas, y por tanto se pueden obtener mayores márgenes de protección.

Un pararrayos se identifica por su corriente de descarga nominal y por su tensión nominal, y su comportamiento se caracteriza por el margen de protección que proporciona.

En general, los pararrayos de 5 kA y 10 kA, de servicio no intensivo, son adecuados para la protección de elementos en redes de M.T. Los pararrayos de 10 kA se suelen instalar en zonas donde el número de días al año en los que se producen tormentas sea elevado (nivel isocerámico superior a 15) (Figura 2.30).

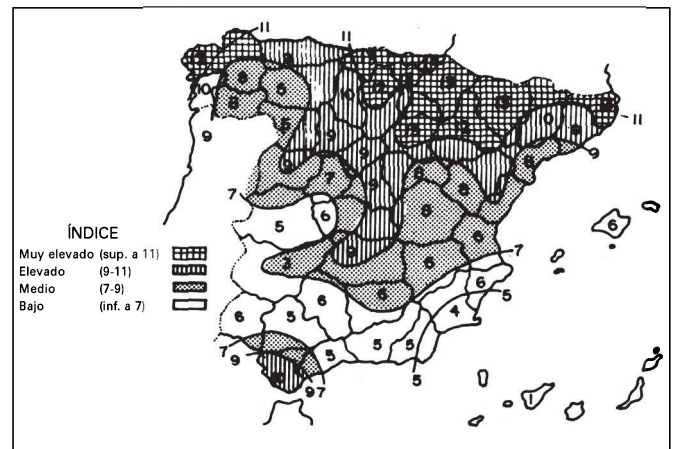


Figura 2.30. Mapa de frecuencias de tormentas. MIE-RAT 09. Plano 1.

La tensión nominal del pararrayos debe ser superior a la tensión más elevada entre fase y tierra a 50 Hz que pueda aparecer



en la red. De esta forma se asegura la extinción de la corriente, a la frecuencia de servicio, subsiguiente a la de la descarga.

La tensión nominal seleccionada puede ser más o menos ajustada a su valor mínimo posible, lo que incidiría en el margen de protección proporcionado por el pararrayos.

Un criterio recomendado consiste en seleccionar, como tensión nominal del pararrayos, un valor superior en al menos un 5% al producto de la tensión más elevada de la red (U_m) por el coeficiente de puesta a tierra (p. a t.) en tanto por uno (C_{pt}), es decir:

$$U_{np} \geq 1,05 \times U_m \times C_{pt}$$

Según el criterio anterior, y para redes con neutro aislado ($C_{pt} = 1$), resultarían pararrayos de 21 kV de tensión nominal normalizada para redes de 15 kV ($21 > 18,4$), y de 27 kV para redes de 20 kV ($27 > 25,2$).

La tensión nominal soportada a impulsos rayo del elemento a proteger, es decir, su nivel de aislamiento (N_a), debe superar el nivel de protección proporcionado por el pararrayos (N_p máximo = U_{ceb1} , U_{res} , $U_{ceb2}/1,15$), en un margen de por lo menos el 20%, siendo recomendable aproximarse al 30%.

Por ejemplo, para los pararrayos normalizados de 21 kV y 27 kV de tensión nominal (10 kA), instalados, respectivamente, en redes de tensiones nominales de 15 kV y 20 kV, con neutro aislado, se obtienen los siguientes valores del margen de protección (MP).

Tabla 2.11. Márgenes de protección, con neutro aislado

20	24	125	27	97,4	28,3

Como puede observarse, las características de funcionamiento normalizadas de estos pararrayos proporcionan un margen de protección, en los dos casos, que no supera el 30% recomendado. Sin embargo, si se consideran niveles de protección correspondientes a pararrayos normalmente existentes en el mercado para tensiones seleccionadas con el criterio indicado, el margen de protección aumenta. En la Tabla 2.12 se muestra un caso práctico real.

Tabla 2.12. Márgenes de protección a diversas tensiones

15	95	21	60	35,7
		($\geq 18,4$)		
20	125	27	89	40,4
		($\geq 25,2$)		

La instalación de los pararrayos se realiza, instalando uno por cada fase, lo más cerca posible del elemento a proteger, sin intercalar entre ambos ningún elemento de corte o seccionamiento.

La p. a t. de los pararrayos (tierra de servicio) puede conectarse a otras tierras de la instalación, de acuerdo con lo establecido en la MIE-RAT 13, aps. 6.2 y 6.3.

El margen de protección que proporciona el pararrayos disminuye conforme aumenta la distancia que lo separa del elemento a proteger, o a la longitud del conductor de p.a.t. del pararrayos, ya que aumenta el correspondiente nivel de protección.

El nivel de protección efectivo del pararrayos ($N'p$) será entonces la tensión (kV cresta) que aparece entre el borne del elemento a proteger y tierra cuando el pararrayos se cebe. Dicha tensión viene dada por la expresión:

$$N'p = Np + L \times I_2 \frac{di}{dt} + \frac{2s}{v} \times I_1$$

en donde:

- L = Inductancia del conductor de tierra por unidad de longitud (puede tomarse $1,4 \mu H/m$).
- I_1 = Distancia de la autoválvula al elemento a proteger.
- I_2 = Distancia del cable de tierra de la autoválvula.
- $\frac{di}{dt}$ = Es la pendiente del frente de onda de la intensidad de descarga (puede tomarse $1 kA/\mu s$).
- s = Pendiente del frente de onda de la tensión viajera (puede tomarse $100 kV/s$ por cada $12 kV$ de tensión máxima de servicio de la instalación).
- v = Es la velocidad de propagación de la onda de tensión ($300 m/\mu s$ en líneas aéreas y $150 m/s$ en cables).

Existen ciertos límites para I_1 y I_2 que no deben ser sobrepasados, por encima de los cuales el margen de protección no alcanzaría los valores recomendados.

A continuación se presentan algunos casos prácticos de instalaciones, en redes de M.T. con neutro aislado de tierra, de los pararrayos de 21 kV y de 27 kV de tensión nominal, seleccionados anteriormente como caso práctico real.

Cuando se trate de proteger elementos conectados directamente a líneas aéreas, como es el caso de

- transformadores sobre apoyos o postes,
- transformadores en edificios con celdas convencionales (no blindadas),
- cables de entrada a CENTRO DE TRANSFORMACIÓN o salida de subestaciones,
- cables entre tramos aéreos (pararrayos en ambos extremos del cable),

el pararrayos se situará en la línea aérea lo más cerca posible del elemento a proteger, sin sobrepasar las distancias máxi-

mas que figuran en la Tabla 2.13, para las cuales se tendría el mínimo margen de protección recomendado del 20%.

Tabla 2.13. Margen de protección mínimo para casos concretos

20 27 11,4 10,9 5,6

Cuando se trate de proteger transformadores conectados a líneas aéreas por medio de cable, este último deberá estar protegido mediante un pararrayos instalado en la unión línea-cable, conforme a lo anteriormente indicado.

La instalación de otro pararrayos en la unión de cable-transformador puede no ser necesaria, pero existe entonces el riesgo de que el rayo caiga sobre la línea aérea, aguas arriba del único pararrayos instalado, a una distancia inferior a 0,135 veces la longitud del cable, en cuyo caso el transformador no quedaría protegido.

Un criterio práctico puede ser el instalar pararrayos en la unión cable-transformador cuando la longitud del cable supere los 50 m.

2.3 Cálculo mecánico de conductores y apoyos de líneas aéreas mediante la utilización de programas informáticos y tablas o prontuarios

2.3.1. Acciones a las que se encuentran sometidas las líneas

A la hora de realizar el tendido de una línea y posteriormente el tense de los conductores, debemos tener presentes varias consideraciones. Las fuerzas que actúan sobre los conductores son, primeramente, el peso propio del conductor. En segundo lugar, también intervienen las inclemencias atmosféricas, como el hielo y el viento, que incrementan el peso del conductor. Otro elemento que interviene en la modificación de las características técnicas del conductor es la temperatura.

El R.L.A.A.T. indica en sus arts. 16, 17 y 27 las distintas acciones que hay que considerar en los cálculos mecánicos.

El art. 16 establece: se considerará un viento de 120 km/hora (33,3 m/s) de velocidad. Se supondrá un viento horizontal actuando perpendicularmente a las superficies sobre las que incide.

La acción de este viento da lugar a las presiones que a continuación se indican, sobre los distintos elementos de la línea:

- Sobre conductores y cables de tierra de un diámetro igual o inferior a 16 mm 60 kg/m².
- Sobre conductores y cables de tierra de un diámetro superior a 16 mm 50 kg/m².
- Sobre superficies planas 100 kg/m².
- Sobre superficies cilíndricas de los apoyos como postes de madera, hormigón, tubos, etc..... 70 kg/m².
- Sobre estructuras de celosía de cuatro caras realizadas con perfiles metálicos normales:
 - Cara de barlovento 160 (1 - η) kg/m².
 - Cara de sotavento 80 (1 - η) kg/m².
- Sobre estructuras de celosía de cuatro caras realizadas con perfiles cilíndricos:
 - Cara de barlovento 90 (1 - η) kg/m².
 - Cara de sotavento 45 (1 - η) kg/m².

Las presiones anteriormente indicadas se considerarán aplicadas sobre las proyecciones de las superficies reales en un plano normal a la dirección del viento.

Estos valores son válidos hasta una altura de 40 m sobre el terreno circundante. Para mayores alturas deben adoptarse otros valores debidamente justificados.

El coeficiente η que interviene en las expresiones relativas a los apoyos de celosía es el coeficiente de opacidad, relación entre la superficie real de la cara y el área definida por su silueta. Las expresiones son válidas hasta η = 0,5, debiendo adoptarse el valor de la expresión correspondiente a η = 0,5 para los valores de η superiores.

El art. 17 trata sobre las sobrecargas motivadas por el hielo a efectos de este país, clasificándola en tres zonas.

- Zona A: La situada a menos de 500 metros de altitud s.n.m.
- Zona B: La situada a una altura entre los 500 y 1.000 metros s.n.m.
- Zona C: La situada a una altura superior a los 1.000 metros s.n.m.

Las sobrecargas serán las siguientes:

- Zona A: No se tendrá en cuenta sobrecarga alguna motivada por el hielo.
- Zona B: Se considerarán sometidos los conductores y cables de tierra a la sobrecarga de un manguito de hielo de valor:

$$180 \sqrt{d} \text{ gramos por metro lineal}$$

siendo *d* el diámetro del conductor o cable de tierra en mm.

Zona C: Se considerarán sometidos los conductores y cables de tierra a la sobrecarga de un manguito de hielo de valor:

$$360 \sqrt{d} \text{ gramos por metro lineal}$$

siendo d el diámetro del conductor o cable de tierra en mm.

El art. 27 se refiere a la tracción máxima admisible y dice:

1.º Tracción máxima admisible. La tracción máxima de los conductores y cables de tierra no resultará superior a la carga de rotura, dividida por 2,5 si se trata de cables, o dividida por 3 si se trata de alambres, considerándolos sometidos a la hipótesis de sobrecarga siguiente en función de las zonas de sobrecarga definidas en el art. 17.

En Zona A: Sometidos a la acción de su propio peso y a una sobrecarga de viento según el Art. 16 a la temperatura de 5 °C.

En Zona B: Sometidos a la acción de su propio peso y a la sobrecarga de hielo correspondiente a la zona, según el art. 17, a la temperatura de -15 °C.

En Zona C: Sometidos a la acción de su propio peso y a la sobrecarga de hielo correspondiente a la zona, según el art. 17, a la temperatura de -20 °C.

En las zonas B y C, en el caso de que pudieran presentarse sobrecargas de viento superiores a las de hielo indicadas, bien fuese por poder preverse sobrecargas de viento de valor excepcional o por tratarse de cables huecos o con rellenos, además de la hipótesis de máxima tensión fijada anteriormente y con el mismo coeficiente de seguridad, se considerará la siguiente:

Hipótesis adicional: Se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a su peso propio y a una sobrecarga del viento. Esta sobrecarga se considerará aplicada a una temperatura de -10 °C en zona B, y en -15 °C en zona C. El valor de esta sobrecarga será fijado por el proyectista en el caso de preverse sobrecargas excepcionales de viento.

2.º Comprobación de fenómenos transitorios. En el caso de que en la zona atravesada por la línea prevea la aparición de vibraciones en los conductores y cables de tierra, se deberá comprobar el estado tensional de los mismos a estos efectos.

3.º Flechas máximas de los conductores y cables de tierra. De acuerdo con la clasificación de las zonas de sobrecargas definidas en el art. 17 se determinará la flecha máxima de los conductores y cables de tierra en las siguientes hipótesis:

En zonas A, B y C:

a) Hipótesis de viento. Sometidos a la acción de su peso propio y a una sobrecarga de viento según el art. 16 a la temperatura de +15 °C.

b) Hipótesis de temperatura. Sometidos a la acción de su peso propio, a la temperatura máxima previsible teniendo en cuenta las condiciones climatológicas y de servicio de la línea. Esta temperatura no será en ningún caso inferior a más de +50 °C.

c) Hipótesis de hielo. Sometidos a la acción de su peso propio y a la sobrecarga de hielo correspondiente a la zona según el art. 17 a la temperatura de 0 °C.

Ante las variaciones de carga que tienen lugar producidas tanto por el hielo como por el viento y/o la temperatura, se produce una modificación sobre la forma de trabajar que tienen los conductores.

Una vez que hayamos tendido los conductores, las dimensiones físicas de los diferentes vanos no podemos variarlas, aunque cambien las condiciones de trabajo en un determinado momento sobre el conductor.

Existe una fórmula, denominada Ecuación Cambio de Condiciones, que relaciona dos situaciones o momentos de una línea eléctrica. Si tenemos en cuenta los datos o parámetros de uno de los estados, inicial o final, y queremos saber el otro estado, partiendo casi siempre como condiciones de tendido inicial a 20 °C.

La expresión matemática de esta fórmula es la siguiente:

$$T_2^3 + T_2^2 \left[\alpha (\sigma_2 - \sigma_1) S \cdot E + \frac{a^2 \cdot m_1^2 \cdot p^2 \cdot S \cdot E}{24 \cdot T_1^2} - T_1 \right] = \frac{a^2 \cdot m_2^2 \cdot p^2 \cdot S \cdot E}{24}$$

Y la flecha máxima:

$$f_2 = \frac{T_2}{p \cdot m_2} \left(\frac{e^{\frac{a \cdot p \cdot m_2}{2T_2^2}} + e^{\frac{a \cdot p \cdot m_2}{2T_1^2}}}{2} - 1 \right)$$

donde:

- a = Vano en metros.
- E = Módulo elástico, en daN/mm².
- S = Sección total, en mm².
- α = Coeficiente de dilatación en °C.
- f = Flecha, en metros.
- p = Peso del conductor, en daN/m.
- σ_1 = Temperatura del conductor en las condiciones iniciales en °C.
- σ_2 = Temperatura del conductor en las condiciones finales en °C.
- T_1 = Tense al que está sometido el conductor en las condiciones iniciales, en daN.
- T_2 = Tense al que está sometido el conductor en las condiciones finales, en daN.
- m_1 = Coeficiente de sobrecarga en las condiciones iniciales.
- m_2 = Coeficiente de sobrecarga en las condiciones finales.

Calculándose los coeficientes de sobrecarga como se indica a continuación:

Condiciones de viento y temperatura		
A $\sigma = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Viento 60 kg/m ² $P_v = 60 \cdot 0,98 \cdot d \cdot 10^{-3}$ $P_a = \sqrt{P^2 + P_v^2}$	$P_h = 0,180 \cdot \sqrt{d} \cdot 0,98$ $P_a = P + P_h$ $m = \frac{P_a}{P}$
B $\sigma = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$		$P_h = 0,360 \cdot \sqrt{d} \cdot 0,98$ $P_a = P + P_h$ $m = \frac{P_a}{P}$
C $\sigma = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$		$P_h = 0,360 \cdot \sqrt{d} \cdot 0,98$ $P_a = P + P_h$ $m = \frac{P_a}{P}$

donde:

P_a = Peso aparente del conductor en condiciones de sobrecarga, en daN/m.

P_v = Acción del viento sobre el conductor.

P_h = Peso sobrecarga hielo, en daN/m.

P = Peso del conductor, en daN/m.

d = Diámetro del conductor, en mm.

Si no existe sobrecarga, este coeficiente tendrá, evidentemente, el valor de uno.

Sustituyendo los valores en las condiciones iniciales se llega a ecuaciones de σ_2 , T_2 y m_2 . De esta forma, para cada σ_2 y m_2 determinados, obtendremos T_2 y f_2 .

De acuerdo con lo expuesto, se llega a algunas de las tablas de valores que se adjuntan a continuación, en función del tense a aplicar en las diferentes zonas A - B - C, para conductores de aluminio con alma de acero y denominación 100-A1/S1A, existen similares para conductores con otras denominaciones.

Conductor 100-A1/S1A ZONA A (Altitud de 0 a 500 m) - TENSE LÍMITE ESTÁTICO DINÁMICO											
Vano Fin Línea m	Apoyos con Seguridad Normal					Apoyos con Seguridad Reforzada					Vano Fin Línea m
	Apoyos sin extensionamiento de cabeza y crucetas distanciadas verticalmente 1,80 m										
	Valores de la pendiente										
	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,30	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,30	
60	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	60
70	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	70
80	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	80
90	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	90
100	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	100
110	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	110
120	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	120
130	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	130
140	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	140
150	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	150
160	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	160
170	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	170
180	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	180
190	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	190
200	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	200
210	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	210
220	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	220
230	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	230
240	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	240
250	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	250
300	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	C-9.000	300

Conductor 100-A1/S1A		ZONA B (Altitud de 500 a 1.000 m) - TENSE LÍMITE ESTÁTICO DINÁMICO										
Vano Fin Línea m	Apoyos con Seguridad Normal					Apoyos con Seguridad Reforzada					Vano Fin Línea m	
	Apoyos sin extensionamiento de cabeza y crucetas distanciadas verticalmente 1,80											
	Valores de la pendiente											
	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,30	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,30		
60	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	60	
70	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	70	
80	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	80	
90	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	90	
100	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	100	
110	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	110	
120	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	120	
130	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	130	
140	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	140	
150	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	150	
160	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	160	
170	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	170	
180	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	180	
190	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	190	
200	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	200	
210	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	210	
220	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	220	
230	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	230	
240	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	240	
250	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	250	
300	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-9.000	300	

Conductor 100-A1/S1A		ZONA C (altitud mayor de 1.000 m) - TENSE LÍMITE ESTÁTICO DINÁMICO										
Vano Fin Línea m	Apoyos con Seguridad Normal					Apoyos con Seguridad Reforzada					Vano Fin Línea m	
	Apoyos sin extensionamiento de cabeza y crucetas distanciadas verticalmente 1,80 m											
	Valores de la pendiente											
	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,10	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,30		
60	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	60	
70	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	70	
80	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	80	
90	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	90	
100	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	100	
110	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	110	
120	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	120	
130	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	130	
140	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	140	
150	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	150	
160	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	160	
170	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	170	
180	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	180	
190	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	190	
200	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	200	
210	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	210	
220	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	220	
230	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	230	
240	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	240	
250	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	250	
300	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	C-7.000	300	

Vano Fin Línea m	Conductor 100-A1/S1A					ZONA A (Altitud de 0 a 500 m) - TENSE REDUCIDO					Vano Fin Línea m
	Apoyos con Seguridad Normal					Apoyos con Seguridad Reforzada					
	Apoyos sin extensionamiento de cabeza y crucetas distanciadas verticalmente 1,80										
	Valores de la pendiente										
	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,30	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,30	
25	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	25
30	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	30
35	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	35
40	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	40
50	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	50
60	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	60
70	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	70
80	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	80
90	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	90
100	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	100
110	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	110
120	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	120
130	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	130
140	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	140
150	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	150
160	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	160
170	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	170
180	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-7.000	180
190	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-7.000	190
200	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-7.000	200
250	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-7.000	C-7.000	C-7.000	250

Vano Fin Línea m	Conductor 100-A1/S1A					ZONA B (Altitud de 500 a 1.000 m) - TENSE REDUCIDO					Vano Fin Línea m
	Apoyos con Seguridad Normal					Apoyos con Seguridad Reforzada					
	Apoyos sin extensionamiento de cabeza y crucetas distanciadas verticalmente 1,80										
	Valores de la pendiente										
	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,30	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,30	
25	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	25
30	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	30
35	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	35
40	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	40
50	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	50
60	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	60
70	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	70
80	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	80
90	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	90
100	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	100
110	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	110
120	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	120
130	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	130
140	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	140
150	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	150
160	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	160
170	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	170
180	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	180
190	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	190
200	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	200
250	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	250



Vano Fin Línea m	Conductor 100-A1/S1A ZONA C (altitud mayor de 1.000 m) - TENSE REDUCIDO										Vano Fin Línea m
	Apoyos con Seguridad Normal					Apoyos con Seguridad Reforzada					
	Apoyos sin extensionamiento de cabeza y crucetas distanciadas verticalmente 1,80 m										
	Valores de la pendiente										
	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,30	-0,30	-0,15	0,00	0,15	0,30	
25	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	25
30	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	30
35	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	35
40	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	40
50	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	50
60	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	60
70	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	70
80	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	80
90	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	90
100	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	100
110	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	110
120	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	120
130	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	130
140	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	140
150	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	150
160	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	160
170	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	170
180	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	180
190	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	190
200	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	200
250	C-3.000	C-3.000	C-3.000	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	C-4.500	250

Conductor 100-A1/S1A ZONA A (Altitud de 0 a 500 m) - TENSE LÍMITE ESTÁTICO DINÁMICO																														
T = Tracción en daN		Carga rotura, en daN = 3.433				Peso, daN/m = 0,396				Diámetro, en mm = 13,80																				
F = Flecha en m		Tensión Máx., en daN = 1.000				Peso+sobrecarga viento, daN/m = 0,904				Coef. de dilatación 1 °C = 0,0000191																				
		CS = Coef. Seguridad Mín. = 3,43								Módulo elast., daN/mm ² = 7.900																				
Vano de regulación m	Tensión máxima		Flechas				Parámetro Catenaria Flecha Máx. Min.	Oscilación de cadenas -5 °C + V/2	Tabla de tendido Temperatura en °C										Vano de regulación m											
	-5 °C + V		15 °C + V		50 °C				Mínima -15 °C		40		35		30		25			20		15		EDS		10		5		
	T	C.S.	T	F	T	F			T	F	T	F	T	F	T	F	T	F		T	F	T	F	% Cr.	T	F	T	F		
60	883	3,89	652	0,62	220	0,81	775	0,23	555	1,955	807	0,32	262	0,68	291	0,61	326	0,55	370	0,48	421	0,42	481	0,37	14,0	547	0,33	619	0,29	60
70	896	3,83	683	0,81	242	1,00	756	0,32	610	1,909	800	0,43	283	0,86	309	0,78	342	0,71	381	0,64	427	0,57	481	0,51	14,0	542	0,45	609	0,40	70
80	909	3,78	711	1,02	262	1,21	737	0,43	660	1,859	792	0,57	301	1,06	326	0,97	355	0,89	391	0,91	432	0,73	481	0,66	14,0	536	0,59	598	0,53	80
90	921	3,73	737	1,24	279	1,44	716	0,56	705	1,808	784	0,73	317	1,27	340	1,18	367	1,09	399	1,00	437	0,92	481	0,84	14,0	531	0,76	587	0,68	90
100	932	3,68	761	1,48	295	1,68	696	0,71	745	1,756	777	0,91	331	1,50	353	1,41	378	1,31	407	1,22	441	1,12	481	1,03	14,0	526	0,94	577	0,86	100
110	943	3,64	783	1,75	310	1,94	676	0,89	781	1,707	770	1,12	343	1,75	364	1,65	387	1,55	414	1,45	445	1,35	481	1,25	14,0	521	1,15	567	1,06	110
120	954	3,60	804	2,02	323	2,21	658	1,08	814	1,659	763	1,34	355	2,01	374	1,91	396	1,80	420	1,70	448	1,59	481	1,48	14,0	517	1,38	559	1,28	120
130	963	3,56	823	2,32	334	2,50	640	1,31	844	1,615	757	1,58	365	2,30	383	2,19	403	2,08	426	1,97	451	1,86	481	1,74	14,0	514	1,63	551	1,52	130
140	972	3,53	840	2,64	345	2,82	624	1,56	871	1,575	751	1,85	374	2,60	391	2,49	410	2,37	431	2,26	454	2,14	481	2,02	14,0	510	1,90	544	1,78	140
150	980	3,50	856	2,97	355	3,14	610	1,83	895	1,539	746	2,14	382	2,92	398	2,80	415	2,68	435	2,56	456	2,44	481	2,32	14,0	508	2,20	538	2,07	150
160	988	3,48	871	3,32	364	3,49	597	2,12	917	1,507	741	2,45	390	3,26	404	3,14	421	3,02	439	2,89	459	2,77	481	2,64	14,0	505	2,51	533	2,38	160
170	995	3,45	885	3,69	372	3,86	586	2,44	938	1,478	737	2,78	396	3,62	410	3,49	425	3,37	442	3,24	460	3,11	481	2,98	14,0	503	2,85	528	2,71	170
180	1.000	3,43	896	4,09	379	4,24	575	2,79	955	1,451	732	3,14	402	4,00	415	3,87	429	3,74	445	3,61	461	3,48	480	3,35	14,0	500	3,21	523	3,07	180
190	1.000	3,43	903	4,52	383	4,67	561	3,19	966	1,414	723	3,55	405	4,42	417	4,29	430	4,16	444	4,03	459	3,90	476	3,76	13,9	494	3,62	514	3,48	190
200	1.000	3,43	910	4,97	387	5,12	548	3,62	977	1,383	714	3,97	407	4,87	418	4,74	431	4,61	444	4,47	458	4,33	473	4,19	13,8	489	4,05	507	3,91	200
210	1.000	3,43	915	5,45	391	5,60	537	4,07	986	1,356	707	4,43	410	5,34	420	5,21	431	5,07	443	4,93	456	4,79	470	4,65	13,7	485	4,51	501	4,36	210
220	1.000	3,43	921	5,95	394	6,09	528	4,54	994	1,333	701	4,90	412	5,83	421	5,70	432	5,56	443	5,42	455	5,28	467	5,14	13,6	481	4,99	495	4,84	220
230	1.000	3,43	926	6,46	397	6,61	520	5,04	1.002	1,312	695	5,40	414	6,34	423	6,21	432	6,07	442	5,93	453	5,79	465	5,64	13,5	477	5,50	491	5,35	230
240	1.000	3,43	930	7,01	400	7,15	513	5,57	1.008	1,295	690	5,93	415	6,88	424	6,74	433	6,60	442	6,46	452	6,32	463	6,17	13,5	474	6,02	486	5,87	240
250	1.000	3,43	934	7,57	402	7,71	507	6,11	1.015	1,279	685	6,48	417	7,44	425	7,30	433	7,16	442	7,01	451	6,87	461	6,72	13,4	471	6,57	483	6,42	250
260	1.000	3,43	938	8,15	404	8,29	501	6,68	1.020	1,265	681	7,05	418	8,02	426	7,88	433	7,74	442	7,59	450	7,45	459	7,30	13,4	469	7,15	479	7,00	260
270	1.000	3,43	941	8,76	406	8,90	497	7,28	1.025	1,253	677	7,64	419	8,62	426	8,48	434	8,34	441	8,19	449	8,04	458	7,90	13,3	467	7,74	476	7,59	270
280	1.000	3,43	945	9,39	408	9,53	492	7,90	1.030	1,242	674	8,26	421	9,25	427	9,10	434	8,96	441	8,81	449	8,67	457	8,52	13,3	465	8,36	474	8,21	280
290	1.000	3,43	948	10,04	410	10,18	488	8,54	1.035	1,232	671	8,90	22	9,89	428	9,75	434	9,61	441	9,46	448	9,31	455	9,16	13,3	463	9,01	471	8,85	290
300	1.000	3,43	950	10,72	412	10,85	485	9,20	1.039	1,224	668	9,56	423	10,57	429	10,42	435	10,27	441	10,13	448	9,98	454	9,83	13,2	462	9,67	469	9,52	300

T = Flecha en m C.S. = Coef. Seguridad Min. = 3,43 Peso + sobrecarga hielo, daN/m = 1,052 Módulo elast., daN/mm² = 7.900

Vano de regulación m	Tensión Máxima				Flechas								Parámetro Catenaria		Oscilación de cadenas		Tabla de tendido														Vano de regulación m			
	-15 °C + H		-5 °C + V		Máxima				Mínima				Flecha		-10 °C + V/2		Temperatura en °C																	
	T	C.S.	T	C.S.	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	EDS %	T		F	T	F
60	1.000	3,43	833	4,12	616	0,66	207	0,86	814	0,58	875	0,20	523	2.208	824	0,31	244	0,73	268	0,66	298	0,60	335	0,53	381	0,47	434	0,41	12,6	495	0,36	563	0,32	60
70	1.000	13,43	836	4,11	639	0,87	226	1,07	830	0,78	834	0,29	570	2.105	799	0,44	260	0,93	282	0,86	309	0,79	341	0,71	380	0,64	426	0,57	12,4	480	0,51	541	0,45	70
80	1.000	3,43	838	4,10	660	1,10	242	1,31	845	1,00	790	0,40	611	1.993	772	0,59	274	1,16	294	1,08	318	1,00	346	0,92	380	0,84	419	0,76	12,2	466	0,68	519	0,61	80
90	1.000	3,43	840	4,0	679	1,35	256	1,57	859	1,24	744	0,54	646	1.877	747	0,77	286	1,41	304	1,32	325	1,23	350	1,15	379	1,06	413	0,97	12,0	453	0,89	499	0,80	90
100	1.000	3,43	842	4,0	695	1,63	268	1,85	871	1,51	698	0,71	677	1.762	723	0,98	296	1,68	312	1,59	331	1,50	353	1,40	379	1,31	408	1,21	11,9	443	1,12	482	1,03	100
110	1.000	3,43	843	4,07	710	1,93	279	2,15	882	1,80	655	0,91	704	1.653	701	1,22	304	1,97	320	1,88	337	1,78	356	1,68	379	1,58	404	1,48	11,8	434	1,38	467	1,28	110
120	1.000	3,43	845	4,06	723	2,25	288	2,48	892	2,12	616	1,16	727	1.555	682	1,50	312	2,29	326	2,19	341	2,09	359	1,99	378	1,89	401	1,78	11,7	426	1,67	455	1,57	120
130	1.000	3,43	846	4,06	735	2,60	296	2,83	901	2,47	582	1,44	748	1.469	665	1,80	318	2,63	331	2,53	345	2,43	361	2,32	378	2,22	398	2,11	11,6	420	2,00	445	1,88	130
140	1.000	3,43	847	4,05	745	2,97	304	3,20	910	2,84	553	1,76	766	1.395	651	2,14	324	3,00	336	2,89	348	2,79	362	2,68	378	2,57	395	2,46	11,5	414	2,34	436	2,23	140
150	1.000	3,43	848	4,05	755	3,37	310	3,60	917	3,23	529	2,11	782	1.334	638	2,50	329	3,39	340	3,28	351	3,18	364	3,06	378	2,95	393	2,84	11,5	410	2,72	429	2,60	150
160	1.000	3,43	849	4,04	763	3,79	316	4,02	924	3,65	508	2,49	797	1.283	627	2,90	333	3,81	343	3,70	354	3,59	365	3,48	378	3,36	391	3,24	11,4	406	3,12	423	3,00	160
170	1.000	3,43	850	4,04	770	4,24	321	4,47	929	4,09	492	2,91	809	1.241	618	3,32	337	4,25	346	4,14	356	4,03	366	3,91	378	3,79	390	3,67	11,4	403	3,55	418	3,43	170
180	1.000	3,43	851	4,04	777	4,71	325	4,94	935	4,56	478	3,36	821	1.206	610	3,77	340	4,72	349	4,61	358	4,49	367	4,37	377	4,26	389	4,13	11,3	00	4,01	413	3,88	180
190	1.000	3,43	851	4,03	783	5,21	329	5,44	940	5,06	466	3,84	831	1.177	603	4,25	343	5,21	351	5,10	359	4,98	368	4,86	377	4,74	387	4,62	11,3	398	4,49	410	4,37	190
200	1.000	3,43	852	4,03	789	5,74	333	5,96	944	5,58	457	4,34	840	1.152	597	4,75	346	5,73	353	5,62	361	5,50	369	5,38	377	5,26	386	5,13	11,3	396	5,01	407	4,88	200
210	1.000	3,43	852	4,03	793	6,29	336	6,51	948	6,13	448	4,88	848	1.131	592	5,29	348	6,28	355	6,16	362	6,04	369	5,92	377	5,80	386	5,67	11,2	394	5,54	404	5,41	210
220	1.000	3,43	853	4,03	798	6,86	339	7,09	951	6,70	441	5,44	855	1.113	588	5,85	350	6,85	357	6,73	363	6,61	370	6,49	377	6,36	385	6,24	11,2	393	6,11	401	5,98	220
230	1.000	3,43	853	4,02	802	7,46	342	7,69	955	7,30	435	6,03	862	1.098	584	6,44	352	7,45	358	7,33	364	7,21	371	7,08	377	6,96	384	6,83	11,2	392	6,70	399	6,57	230
240	1.000	3,43	854	4,02	806	8,09	344	8,31	958	7,92	430	6,64	868	1.085	580	7,05	354	8,07	359	7,95	365	7,83	371	7,70	377	7,58	384	7,45	11,2	390	7,32	398	7,19	240
250	1.000	3,43	854	4,02	809	8,74	346	8,96	960	8,57	425	7,29	873	1.073	577	7,69	356	8,72	361	8,60	366	8,48	371	8,35	377	8,22	383	8,09	11,2	389	7,96	396	7,83	250
260	1.000	3,43	854	4,02	812	9,42	348	9,64	963	9,25	421	7,96	878	1.063	574	8,36	357	9,40	362	9,27	367	9,15	372	9,02	377	8,90	383	8,77	11,1	388	8,64	394	8,50	260
270	1.000	3,43	855	4,02	815	10,13	350	10,35	965	9,96	418	8,65	882	1.055	572	9,06	358	10,10	363	9,98	367	9,85	372	9,72	377	9,59	382	9,46	11,1	388	9,33	393	9,20	270
280	1.000	3,43	855	4,02	817	10,86	351	11,08	967	10,69	415	9,38	887	1.047	569	9,78	359	10,83	364	10,70	368	10,58	372	10,45	377	10,32	382	10,19	11,1	387	10,06	392	9,93	280
290	1.000	3,43	855	4,01	820	11,61	353	11,83	969	11,44	412	10,13	890	1.040	56	10,53	360	11,58	364	11,46	368	11,33	373	11,20	377	11,07	381	10,94	11,1	386	10,81	391	10,68	290
300	1.000	3,43	855	4,01	822	12,40	354	12,62	971	12,22	410	10,91	894	1.033	566	11,31	361	12,37	365	12,24	369	12,11	373	11,98	377	11,85	381	11,72	11,1	386	11,59	390	11,46	300

Conductor 100-A1/S1A ZONA C (Altitud mayor de 1.000 m) - TENSE LÍMITE ESTÁTICO DINÁMICO

T = Tracción en daN Carga rotura, daN = 3.433 Tensión Máx., daN = 1.000 Coef. Seg. Min. = 3,43
 Peso, daN/m = 0,396
 Peso + sobrecarga viento, daN/m = 0,904
 Peso + sobrecarga hielo, daN/m = 1,708
 Diámetro, en mín = 13,80
 Coef. de dilatación/°C = 0,0000191
 Módulo elast., daN/mm² = 7.900

Vano de regulación m	Tensión Máxima				Flechas								Parámetro Catenaria		Oscilación de cadenas		Tabla de tendido														Vano de regulación m					
	-20 °C + H		-5 °C + V		Máxima				Mínima				Flecha		-15 °C + V/2		Temperatura en T																			
	T	C.S.	T	C.S.	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F		EDS %	T	F	T	F
60	1.000	3,43	623	5,51	477	0,95	165	1,08	830	0,93	648	0,28	415	1.635	623	0,41	184	0,97	196	0,91	210	0,85	227	0,79	247	0,72	273	0,65	7,94	304	0,59	342	0,52	60		
70	1.000	3,43	606	5,67	486	1,14	176	1,38	853	1,23	549	0,44	443	1.385	558	0,62	192	1,26	203	1,20	214	1,13	228	1,07	244	1,00	263	0,92	7,65	285	0,85	313	0,78	70		
80	1.000	3,43	592	5,80	493	1,47	185	1,72	873	1,57	463	0,69	466	1.168	505	0,90	199	1,59	208	1,53	218	1,46	229	1,39	241	1,31	256	1,24	7,45	273	1,16	293	1,08	80		
90	1.000	3,43	581	5,91	498	1,84	192	2,10	889	1,95	399	1,01	483	1.007	466	1,23	204	1,96	212	1,89	220	1,82	229	1,75	240	1,68	251	1,60	7,31	264	1,52	279	1,44	90		
100	1.000	3,431	572	6,00	503	2,25	197	2,51	903	2,37	356	1,39	498	898	437	1,62	209	2,38	215	2,31	222	2,23	230	2,16	238	2,08	248	2,00	7,21	258	1,92	270	1,84	100		
110	1.000	3,43	566	6,07	507	2,70	202	2,97	914	2,83	327	1,83	509	825	417	2,06	212	2,83	218	2,76	224	2,68	230	2,61	237	2,53	245	2,45	7,13	253	2,37	263	2,28	110		
120	1.000	3,43	560	6,13	510	3,20	206	3,47	924	3,33	307	2,32	519	775	402	2,54	215	3,33	220	3,25	225	3,18	230	3,10	236	3,02	243	2,94	7,07	250	2,86	257	2,77	120		
130	1.000	3,43	556	6,17	512	3,73	209	4,01	932	3,88	293	2,86	527	739	390	3,07	21	3,87	221	3,79	226	3,71	231	3,63	236	3,55	241	3,47	7,03	247	3,39	253	3,31	130		
140	1.000	3,43	553	6,21	514	4,31	212	4,60	940	4,46	283	3,44	534	713	381	3,65	219	4,45	223	4,37	227	4,29	231	4,21	235	4,13	240	4,05	6,99	245	3,97	250	3,88	140		
150	1.000	3,43	550	6,24	516	4,94	214	5,22	946	5,09	275	4,06	540	694	375	4,27	220	5,07	224	4,99	227	4,91	231	4,83	235	4,75	239	4,67	6,96	243	4,59	248	4,50	150		
160	1.000	3,43	547	6,27	517	5,60	216	5,89	951	5,76	269	4,72	544	678	369	4,93	222	5,74	225	5,66	228	5,58	231	5,50	235	5,42	238	5,33	6,94	242	5,25	246	5,17	160		
170	1.000	3,43	545																																	



Conductor 100-A1/S1A													ZONA A (Altitud de 0 a 500 m) - TENSE REDUCIDO																	
T = Tracción en daN			Carga rotura, en daN = 3.433						Peso, daN/m = 0,396						Diámetro, en mm = 13,80															
F = Flecha en m			Tensión Máx., en daN = 550						Peso+sobrecarga viento, daN/m = 0,904						Coef. de dilatación /°C = 0,0000191															
			CS = Coef. Seguridad Min. = 6,24												Módulo elast., daN/mm ² = 7.900															
Vano de regulación m	Tensión máxima		Flechas						P-eto Catenaria		Oscilación de cadenas		Tabla de tendido										Vano de regulación m							
			Máxima			Mínima			Flecha		-5°C + V/2		Temperatura en °C																	
	T	C.S.	T	F	T	F	T	F	Máx.	Min	T	F	40	35	30	25	20	15	EDS	10	5									
	daN		daN	m	daN	m	daN	m			daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	% Cr.	daN	m	daN	m			
25	550	6,24	322	0,22	82	0,38	500	0,06	206	1,262	514	0,09	97	0,32	107	0,29	122	0,25	143	0,22	172	0,18	215	0,14	6,26	272	0,11	341	0,09	25
30	550	6,24	344	0,30	95	0,47	480	0,09	239	1,212	501	0,13	110	0,40	121	0,37	136	0,33	155	0,29	181	0,25	218	0,20	6,36	268	0,17	331	0,13	30
35	550	6,24	363	0,38	106	0,57	458	0,13	269	1,156	487	0,18	123	0,50	133	0,45	147	0,41	165	0,37	189	0,32	221	0,27	6,45	264	0,23	319	0,19	35
40	550	6,24	380	0,48	117	0,68	435	0,18	296	1,098	473	0,24	133	0,59	144	0,55	157	0,50	174	0,46	196	0,40	224	0,35	6,53	261	0,30	309	0,26	40
50	550	6,24	409	0,69	136	0,91	390	0,32	343	984	446	0,40	152	0,82	162	0,77	174	0,71	188	0,66	206	0,60	228	0,54	6,65	256	0,48	292	0,42	50
60	550	6,24	431	0,94	152	1,18	352	0,51	383	888	424	0,60	167	1,07	176	1,02	186	0,96	199	0,90	213	0,84	231	0,77	6,73	253	0,71	279	0,64	60
70	550	6,24	450	1,23	165	1,48	324	0,75	415	817	407	0,85	178	1,36	187	1,30	196	1,24	207	1,18	219	1,11	233	1,04	6,79	250	0,97	270	0,90	70
80	550	6,24	465	1,56	175	1,81	304	1,04	442	767	395	1,15	188	1,69	195	1,63	203	1,56	213	1,49	223	1,42	235	1,35	6,84	248	1,28	264	1,20	80
90	550	6,24	477	1,92	184	2,18	290	1,38	464	732	385	1,49	196	2,05	202	1,99	209	1,92	217	1,85	226	1,78	236	1,70	6,87	247	1,63	259	1,55	90
100	550	6,24	486	2,32	191	2,59	280	1,77	483	707	378	1,88	202	2,46	208	2,39	214	2,32	221	2,24	228	2,17	237	2,09	6,90	246	2,02	256	1,93	100
110	550	6,24	495	2,77	197	3,04	273	2,20	498	689	373	2,30	207	2,90	212	2,83	218	2,75	224	2,68	230	2,60	237	2,53	6,92	245	2,45	254	2,36	110
120	550	6,24	501	3,25	203	3,52	268	2,67	511	676	368	2,77	211	3,38	216	3,31	221	3,23	226	3,16	232	3,08	238	3,00	6,93	245	2,92	252	2,84	120
130	550	6,24	507	3,77	207	4,05	264	3,18	522	665	365	3,29	215	3,90	219	3,83	223	3,75	228	3,67	233	3,60	238	3,51	6,95	244	3,43	250	3,35	130
140	550	6,24	512	4,33	211	4,61	260	3,73	532	657	362	3,84	218	4,46	222	4,39	226	4,31	230	4,23	234	4,15	239	4,07	6,96	244	3,99	249	3,90	140
150	550	6,24	516	4,93	214	5,22	258	4,43	540	651	360	4,43	220	5,07	224	4,99	227	4,91	231	4,83	235	4,75	239	4,67	6,96	243	4,59	248	4,50	150
160	550	6,24	519	5,58	217	5,86	256	4,96	547	645	359	5,07	222	5,71	226	5,63	229	5,55	232	5,47	236	5,39	239	5,31	6,97	243	5,22	247	5,14	160
170	550	6,24	522	6,26	219	6,55	254	5,64	553	641	357	5,75	224	6,39	227	6,31	230	6,23	233	6,15	236	6,07	240	5,99	6,98	243	5,90	246	5,82	170
180	550	6,24	525	6,99	221	7,28	253	6,36	558	637	356	6,47	226	7,12	228	7,04	231	6,96	234	6,88	237	6,79	240	6,71	6,98	243	6,62	246	6,54	180
190	550	6,24	527	7,75	223	8,05	251	7,13	562	634	355	7,23	227	7,89	230	7,80	232	7,72	235	7,64	237	7,56	240	7,47	6,99	243	7,39	245	7,30	190
200	550	6,24	529	8,56	224	8,85	250	7,93	566	632	354	8,04	229	8,69	231	8,61	233	8,53	235	8,45	238	8,36	240	8,28	6,99	242	8,19	245	8,11	200
210	550	6,24	531	9,41	226	9,70	250	8,78	570	630	353	8,88	230	9,54	232	9,46	234	9,38	236	9,29	238	9,21	240	9,12	6,99	242	9,04	245	8,95	210
220	550	6,24	532	10,30	227	10,60	249	9,66	573	628	352	9,77	231	10,43	232	10,35	234	10,27	236	10,18	238	10,10	240	10,01	7,00	242	9,93	244	9,84	220
230	550	6,24	534	11,23	228	11,53	248	10,59	575	626	352	10,70	231	11,36	233	11,28	235	11,20	237	11,11	238	11,03	240	10,94	7,00	242	10,85	244	10,77	230
240	550	6,24	535	12,20	229	12,50	248	11,56	578	625	351	11,67	232	12,34	234	12,25	235	12,17	237	12,08	239	12,00	240	11,91	7,00	242	11,83	244	11,74	240
250	550	6,24	536	13,22	230	13,52	247	12,58	580	623	351	12,68	233	13,35	234	13,27	236	13,18	237	13,10	239	13,01	240	12,93	7,00	242	12,84	244	12,75	250

Conductor 100-A1/S1A													ZONA B (Altitud de 500 a 1.000 m) - TENSE REDUCIDO																					
T = Tracción en daN			Carga rotura, en daN = 3.433						Peso, daN/m = 0,396						Diámetro, en mm = 13,80																			
F = Flecha en m			Tensión Máx., en daN = 600						Peso+sobrecarga viento, daN/m = 0,904						Coef. de dilatación /°C = 0,0000191																			
			CS = Coef. Seguridad Min. = 5,72						Peso+sobrecarga hielo, daN/m = 1,052						Módulo elast., daN/mm ² = 7.900																			
Vano de regulación m	Tensión Máxima		Flechas						Parámetro Catenaria		Oscilación de cadenas		Tabla de tendido										Vano de regulación m											
			Máxima			Mínima			Flecha		-10°C + V/2		Temperatura en °C																					
	T	C.S.	T	F	T	F	T	F	T	F	Máx.	Min	T	F	40	35	30	25	20	15	EDS	10		5										
	daN		daN	m	daN	m	daN	m	daN	m			daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	% Cr.	daN	m	daN	m					
25	600	5,72	448	7,67	269	0,26	74	0,42	416	0,20	539	0,06	186	1,360	473	0,09	85	0,37	92	10,34	101	0,31	114	0,27	131	0,24	155	0,20	4,51	190	0,16	240	0,13	25
30	600	5,72	454	7,56	293	0,35	86	0,52	433	0,27	514	0,09	217	1,297	459	0,14	97	0,46	105	0,42	115	0,39	127	0,35	143	0,31	165	0,27	4,80	196	0,23	238	0,19	30
35	600	5,72	460	7,46	315	0,44	97	0,63	449	0,36	486	0,12	245	1,227	444	0,20	109	0,56	117	0,52	126	0,48	138	0,44	153	0,40	173	0,35	5,05	200	0,30	236	0,26	35
40	600	5,72	466	7,37	334	0,54	107	0,74	464	0,45	457	0,17	270	1,153	430	0,26	119	0,66	127	0,62	137	0,58	148	0,54	162	0,49	180	0,44	5,25	204	0,39	234	0,34	40
50	600	5,72	475	7,22	365	0,77	125	0,99	488	0,67	399	0,31	315	1,007	405	0,44	137	0,90	145	0,86	153	0,81	164	0,76	176	0,70	191	0,65	5,56	209	0,59	232	0,53	50
60	600	5,72	483	7,11	390	1,04	140	1,28	507	0,93	351	0,51	353	886	386	0,66	152	1,18	159	1,13	166	1,07	175	1,02	186	0,96	198	0,90	5,78	213	0,84	231	0,77	60
70	600	5,72	489	7,02	409	1,35	152	1,60	522	1,24	316	0,77	384	798	372	0,94	163	1,49	169	1,43	177	1,38	185	1,32	194	1,25	204	1,19	5,94	216	1,13	230	1,06	70
80	600	5,72	493	6,96	425	1,70	162	1,95	534	1,58	293	1,08	410	740	362	1,26	173	1,84	178	1,78	185	1,72	192	1,66	199	1,59	208	1,53	6,06	218	1,46	229	1,39	80
90	600	5,72	497	6,91	438	2,09	171	2,35	544	1,96	278	1,45	431	700	354	1,62	180	2,23	185	2,17	191	2,10	197	2,04	204	1,97	211	1,90	6,15	219	1,83	228	1,76	90
100	600	5,72	500	6,87	449	2,52	178	2,79	552	2,39	267	1,86	449	673	349	2,04	186	2,66	191	2,60	196	2,53	201	2,46	207	2,39	214	2,32	6,22	220	2,25	228	2,18	100
110	600	5,72	502	6,84	457	2,99	184	3,26	558	2,85	259	2,32	464	653	344	2,49	192	3,13	196	3,07	200	3,00	205	2,93	210	2,86	215	2,79	6,27	221	2,71	228	2,64	110
120	600	5,72	504	6,82	464	3,51	189	3,78	563	3,37	253	2,82	477	639	341	3,00	196	3,65	200	3,58	204	3,51	208	3,44	212	3,37	217	3,29	6,32	222	3,22	227	3,14	120
130	600	5,72	505	6,80	470	4,06	193	4,34	568	3,92</																								

Vano de regulación	Tensión				Flechas						Parámetro		Oscilación		Tabla de tendido														Vano de regulación						
	Máxima				Máxima			Mínima			Catenaria		de cadenas		Temperatura en °C																				
	-20 °C + H		-5 °C + V		0 °C + H		15 °C + V		50 °C		-20 °C		Flecha		-15 °C + V/2		40		35		30		25		20		15			EDS		10		5	
	T	C.S	T	C.S	T	F	T	F	T	F	T	F	Máx.	Min	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F		%	T	F	T	F	
m	daN	daN	daN	daN	m	daN	m	daN	m	daN	m			daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	daN	m	daN	m		
25	600	5,72	326	10,53	215	0,33	65	0,48	431	0,1	426	0,07	164	1,075	373	0,12	72	0,43	77	0,40	82	0,38	89	0,35	98	0,32	109	0,29	3,16	124	0,25	145	0,21	25	
30	600	5,72	324	10,59	231	0,44	74	0,60	455	0,42	361	0,12	187	912	332	0,19	81	0,55	86	0,52	91	0,49	98	0,46	105	0,42	115	0,39	3,35	127	0,35	143	0,31	30	
35	600	5,72	323	10,63	245	0,57	82	0,74	475	0,55	300	0,20	207	758	299	0,29	89	0,68	94	0,65	99	0,62	104	0,58	111	0,55	120	0,51	3,48	130	0,47	142	0,43	35	
40	600	5,72	322	10,66	255	0,71	89	0,89	492	0,70	253	0,31	224	638	275	0,41	96	0,83	100	0,79	105	0,76	110	0,72	116	0,68	123	0,64	3,58	132	0,60	142	0,56	40	
50	600	5,72	321	10,71	271	1,04	100	1,24	517	1,03	200	0,62	252	504	246	0,72	106	1,17	110	1,13	113	1,09	118	1,05	122	1,01	128	0,97	3,72	134	0,93	141	0,88	50	
60	600	5,72	320	10,74	282	1,44	108	1,65	535	1,44	176	1,01	272	445	230	1,11	113	1,58	116	1,53	119	1,49	123	1,45	127	1,41	131	1,36	3,81	135	1,32	140	1,27	60	
70	600	5,72	319	10,76	290	1,91	114	2,13	548	1,91	165	1,47	288	416	222	1,57	119	2,05	121	2,01	124	1,96	127	1,92	130	1,87	133	1,83	3,87	136	1,78	140	1,73	70	
80	600	5,72	319	10,77	295	2,45	119	2,68	558	2,45	158	2,01	299	398	216	2,10	123	2,59	125	2,55	127	2,50	129	2,46	132	2,41	134	2,36	3,91	137	2,32	140	2,27	80	
90	600	5,72	319	10,78	299	3,06	122	3,29	565	3,06	153	2,62	308	387	212	2,71	125	3,20	127	3,16	129	3,11	131	3,07	133	3,02	135	2,97	3,94	137	2,92	140	2,88	90	
100	600	5,72	318	10,78	302	3,74	125	3,98	571	3,75	151	3,30	315	380	210	3,39	128	3,89	129	3,84	131	3,79	132	3,75	134	3,70	136	3,65	3,96	138	3,60	140	3,55	100	
110	600	5,72	318	10,79	305	4,50	127	4,73	575	4,50	148	4,05	320	374	208	4,14	129	4,64	131	4,59	132	4,55	134	4,50	135	4,45	136	4,40	3,97	138	4,35	140	4,30	110	
120	600	5,72	318	10,79	307	5,32	129	5,56	579	5,32	147	4,87	325	370	206	4,96	131	5,47	132	5,42	133	5,37	134	5,32	136	5,27	137	5,22	3,99	138	5,18	140	5,13	120	
130	600	5,72	318	10,80	308	6,22	130	6,46	582	6,22	146	5,76	328	367	205	5,85	132	6,36	133	6,31	134	6,27	135	6,22	136	6,17	137	6,12	4,00	138	6,07	139	6,02	130	
140	600	5,72	318	10,80	309	7,18	131	7,43	584	7,19	145	6,73	331	365	205	6,82	133	7,33	134	7,28	135	7,23	136	7,19	137	7,14	137	7,09	4,00	138	7,04	139	6,99	140	
150	600	5,72	318	10,80	310	8,23	132	8,47	596	8,23	144	7,77	333	363	204	7,86	134	8,37	134	8,32	135	8,28	136	8,23	137	8,18	138	8,13	4,01	139	8,08	139	8,03	150	
160	600	5,72	318	10,80	311	9,34	133	9,59	588	9,35	143	8,88	335	362	203	8,97	134	9,49	135	9,44	136	9,39	136	9,34	137	9,29	138	9,24	4,02	139	9,19	139	9,14	160	
170	600	5,72	318	10,80	312	10,52	134	10,77	589	10,53	143	10,07	337	361	203	10,15	135	10,67	135	10,62	136	10,58	137	10,53	137	10,48	138	10,42	4,02	139	10,37	139	10,32	170	
180	600	5,72	318	10,80	312	11,78	134	12,03	590	11,79	142	11,32	339	360	202	11,41	135	11,93	136	11,88	136	11,83	137	11,78	138	11,73	138	11,68	4,02	139	11,63	139	11,58	180	
190	600	5,72	318	10,81	313	13,12	135	13,37	591	13,13	142	12,66	340	359	202	12,74	136	13,27	136	13,22	137	13,17	137	13,12	138	13,07	138	13,02	4,03	139	12,97	139	12,91	190	
200	600	5,72	318	10,81	313	14,52	135	14,78	592	14,53	142	14,06	341	358	202	14,15	136	14,68	136	14,63	137	14,57	137	14,52	138	14,47	138	14,42	4,03	139	14,37	139	14,32	200	
210	600	5,72	318	10,81	314	16,00	135	16,26	593	16,01	142	15,54	342	357	202	15,63	136	16,16	137	16,11	137	16,06	138	16,00	138	15,95	138	15,90	4,03	139	15,85	139	15,80	210	
220	600	5,72	318	10,81	314	17,56	136	17,81	593	17,57	141	17,09	343	357	201	17,18	137	17,71	137	17,66	137	17,61	138	17,56	138	17,51	138	17,46	4,03	139	17,41	139	17,35	220	
230	600	5,72	318	10,81	314	19,19	136	19,44	594	19,20	141	11,72	343	356	201	18,81	137	19,34	137	19,29	137	19,24	138	19,19	138	19,14	139	19,09	4,04	139	19,03	139	18,98	230	
240	600	5,72	318	10,81	315	20,89	136	21,15	594	20,90	141	20,43	344	356	201	20,51	137	21,05	137	21,00	138	20,95	138	20,89	138	20,84	139	20,79	4,04	139	20,74	139	20,69	240	
250	600	5,72	318	10,81	315	22,67	137	22,93	595	22,68	141	22,20	344	355	201	22,29	137	22,83	137	22,78	138	22,73	138	22,67	138	22,62	139	22,57	4,04	139	22,52	139	22,47	250	

Como podemos imaginar, obtener todos los cálculos que hemos visto en las tablas de tendido de forma manual sería muy complicado y nos llevaría mucho tiempo, pues una vez obtenidos los mismos tendríamos que realizar los planos en el que incluiríamos las plantillas de las curvas de las catenarias obtenidas de los diferentes vanos o cantones que la línea tuviese. Hoy en día, gracias a la informática, disponemos de programas en los que de forma sencilla dichos resultados se obtienen con rapidez a la vez que nos puede dibujar dichas curvas. De entre los muchos programas existentes, destaca el realizado por la **Empresa Dmelect S.L.** por la facilidad de manejo y lo completo del mismo.

2.3.2. Cimentaciones

Todos los apoyos estarán anclados al suelo por medio de cimentaciones monobloques de hormigón adecuadas a los esfuerzos a los que vayan a estar sometidos, siendo éstos de dos clases: fuerzas debidas al peso de los conductores y fuerzas debidas a la acción del viento.

Cuando se trata de las fuerzas debidas al peso de los conductores cada apoyo o columna soporta solamente la mitad de las acciones que en cada vano o cantón se nos producen, de tal forma que cada columna soporta la mitad de cada vano en que confluyen, es decir, dos. Cuando tenemos dos vanos cuya longitud es la misma, los esfuerzos o tensiones que se producen

a ambos lados serán simétricas respecto al eje del apoyo y por tanto una única componente vertical (Figura 2.31).

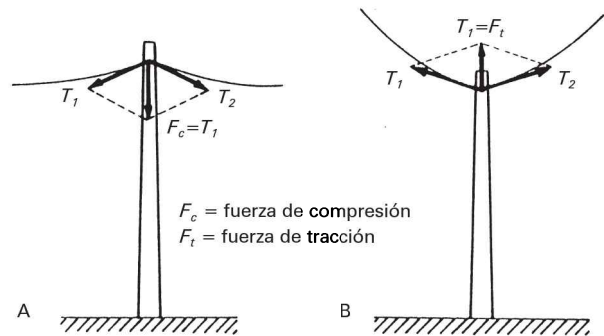


Figura 2.31. Fuerzas verticales producidas en los apoyos:
A) por compresión; B) por tracción.

Los cálculos de estas cimentaciones se realizan por medio de la fórmula de Sulzberger, tomándose unos coeficientes de seguridad de 1,5 teniendo muy presentes, a la hora de diseñar la cimentación, las características del terreno.

El momento del vuelco tiene por valor:

$$M_v = F \left(H_L + \frac{2}{3} h \right) = F_s \left(H - \frac{1}{3} h \right)$$

donde:

- M_V = Momento de vuelco en daNm.
- F = Esfuerzo nominal del poste en daN.
- H_L = Altura libre del poste en m.
- H = Altura del poste en m.
- h = Profundidad del macizo en m.

El momento estabilizador se calcula con la expresión:

$$M_e = \frac{b \cdot h^3}{36} C'_t \cdot \text{tg } \alpha + P \cdot a \left(0,5 - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{P}{2 \cdot a^3 \cdot C'_t \cdot \text{tg } \alpha}} \right)$$

en la cual el primer término del segundo miembro representa el momento debido a la acción lateral del terreno, y el segundo término es el momento de las cargas verticales, que se pueden simplificar para $\text{tg } \alpha = 0,01$:

$$M_e = 139 \cdot k \cdot a \cdot h^4 + 2.200 \cdot a^3 \cdot h \cdot 0,4$$

debiendo cumplirse:

$$C_s = \frac{M_e}{M_V} \geq 1,5$$

siendo:

- M_c = Momento del fallo al vuelco o momento estabilizador, en daNm.
- C_s = Coeficiente de seguridad reglamentario.
- $a = b$ = Anchura del macizo (supuesto cuadrado) en m.
- h = Profundidad del macizo en m.
- C'_t = Coeficiente de compresibilidad del terreno a t metros de profundidad en kg/mm^2 .
- $k...$ = Coeficiente de compresibilidad del terreno a la profundidad de 2 m en $\text{kg/cm}^2 \cdot \text{cm}$.
- P = Peso del conjunto de la cimentación en daN.

Los valores de k correspondientes a distintos terrenos son:

Tabla 2.14. Coeficiente de compresibilidad del terreno a la profundidad de 2 m en $\text{kg/cm}^2 \cdot \text{cm}$

Arcilla húmeda	3 a 6
Arcilla seca	7 a 8
Tierras sueltas	9 a 10
Tierras compactas	11 a 12
Grava gruesa con arena	13 a 15
Grava gruesa	16 a 18
Roca blanda	19 a 20

En las páginas siguientes se reflejan algunas tablas en función del tipo del apoyo, alturas libres y esfuerzo útil (Figuras 2.32 a 2.34).

La composición del hormigón a utilizar para cualquiera de las cimentaciones descritas será la siguiente:

- 200 kg de cemento P-350.
- 1.350 kg de grava $\leq 40 \text{ mm } \varnothing$.
- 675 kg de arena seca.
- 180 kg de agua.
- Resistencia mecánica: 120 kg/cm^2 .

2.4 Protecciones eléctricas. Instalación de puesta a tierra

Toma de Tierra de un apoyo (TT). Se denomina Toma de Tierra de un apoyo al conjunto de su puesta a tierra y de su mejora de puesta a tierra.

Puesta a Tierra de un apoyo. Se denomina Puesta a Tierra de un apoyo a la instalación que es preciso realizar junto al apoyo para materializar la conexión a tierra.

Mejora de Puesta a Tierra. Es la parte suplementaria de la puesta a tierra de un apoyo, constituida por anillos perimetrales y/o antenas y picas, destinadas a disminuir el gradiente de potencial en las proximidades del apoyo y la resistencia de la puesta a tierra hasta alcanzar los valores prescritos.

2.4.1. Clasificación de las zonas de ubicación de los apoyos

De acuerdo con el R.L.A.A.T., las zonas en las que se sitúan los apoyos se clasifican de la siguiente forma:

Zonas de Pública Concurrencia (PC). Se consideran como tales las siguientes:

- Casco urbano y parques urbanos públicos.
- Áreas públicas destinadas al ocio cultural o recreativo, tales como parques deportivos, zoológicos, ferias y otras instalaciones análogas.
- Lugares de celebración habitual de romerías, festivales, concursos, actos políticos, sindicales, religiosos, mercados, ferias de ganado, etc.
- Zonas de equipamiento comunitarios, tanto públicos como privados, tales como hipermercados, hospitales, centros de enseñanza, etc.

Zonas Frecuentadas (F). Se consideran zonas frecuentadas las que, no estando incluidas en el apartado anterior, se hallen próximas a las anteriores. Se consideran también como tales:

- Zonas próximas a viviendas, carreteras, caminos de servicio de los que sean titulares el Estado, entidades autonómicas, entidades locales y demás personas de derecho público, o aquellas constituidas por personas privadas con finalidad análoga.
- Fuentes y pozos de utilización habitual, zonas de huertas.

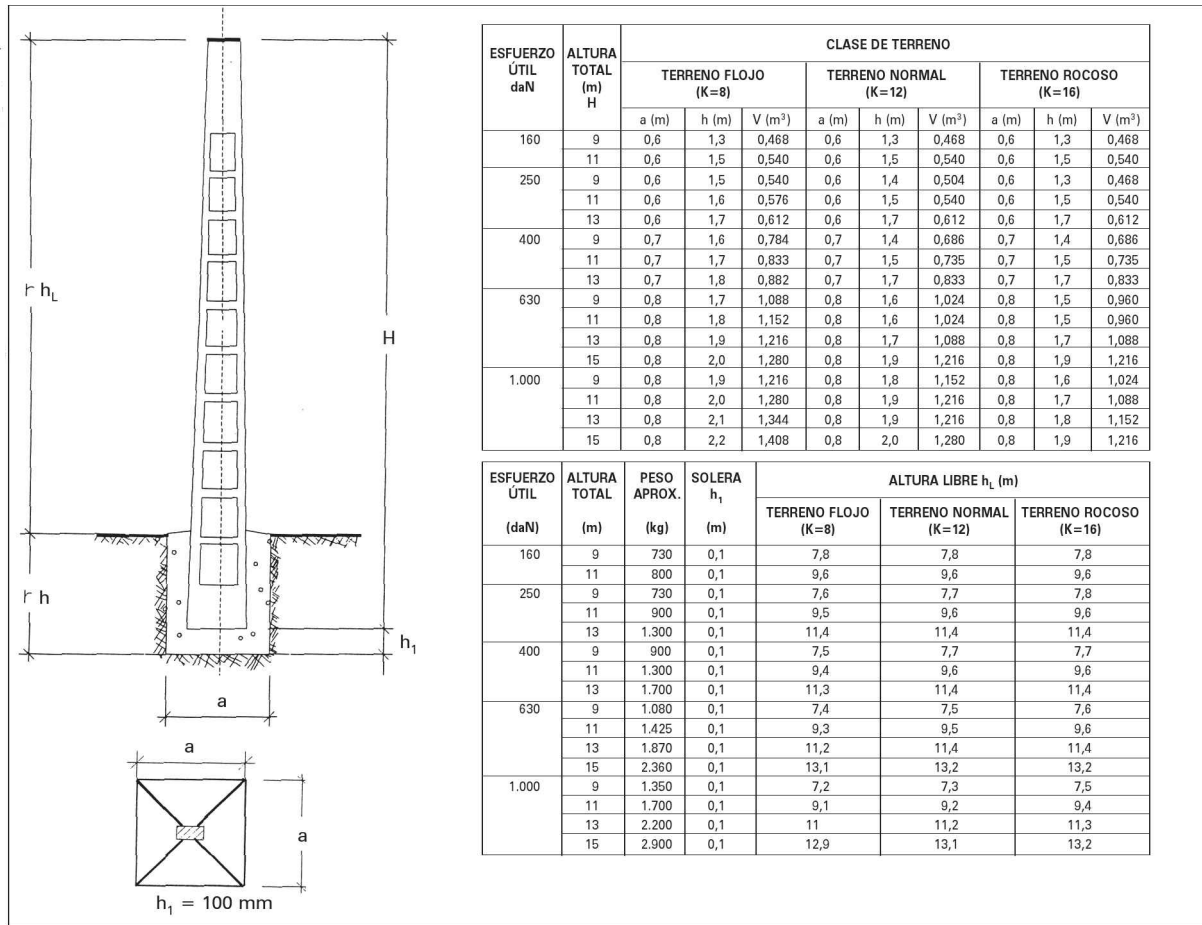


Figura 2.32. Cimentaciones y alturas libres en apoyos de hormigón tipo HV en función de la altura y del esfuerzo útil.

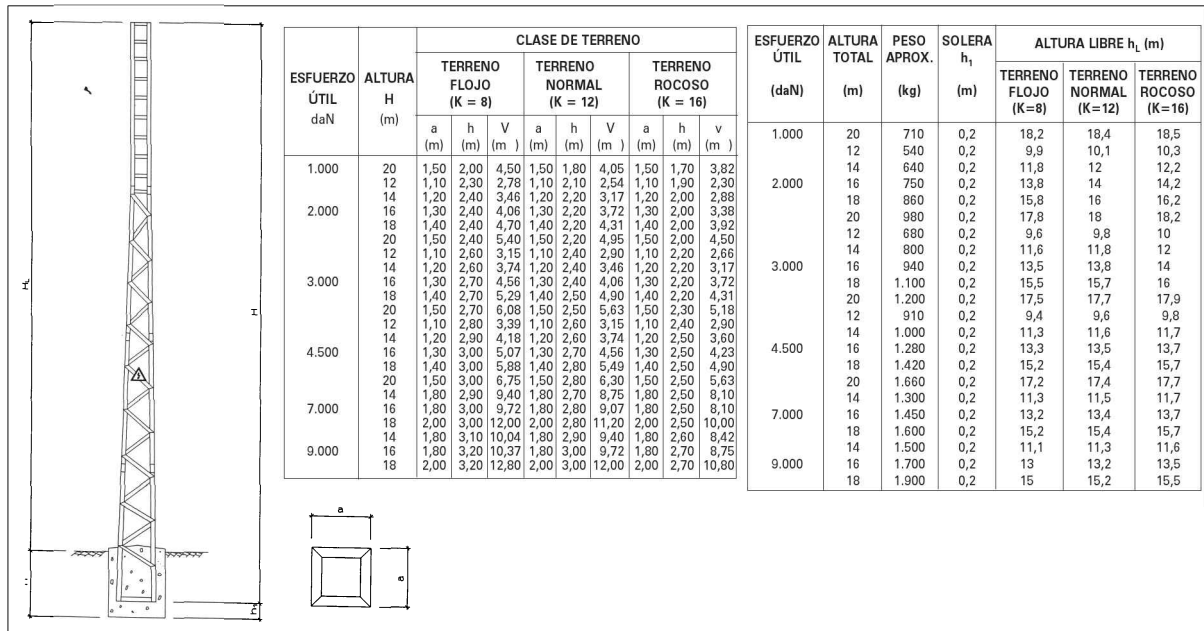


Figura 2.33. Cimentaciones y alturas libres en apoyos metálicos en función de la altura y del esfuerzo útil.

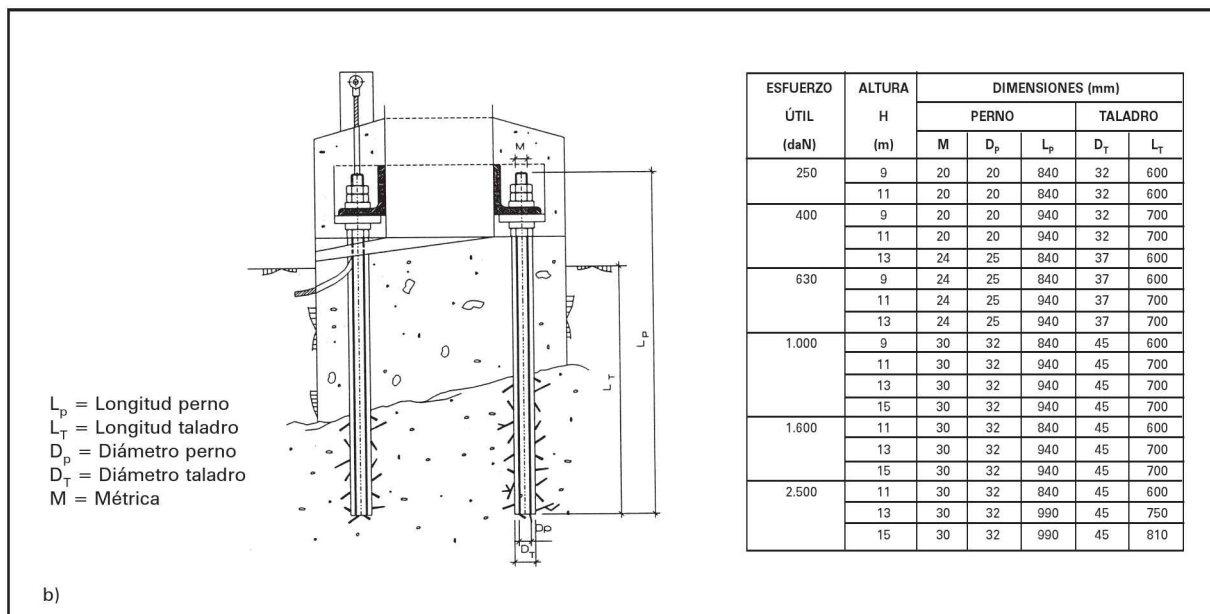
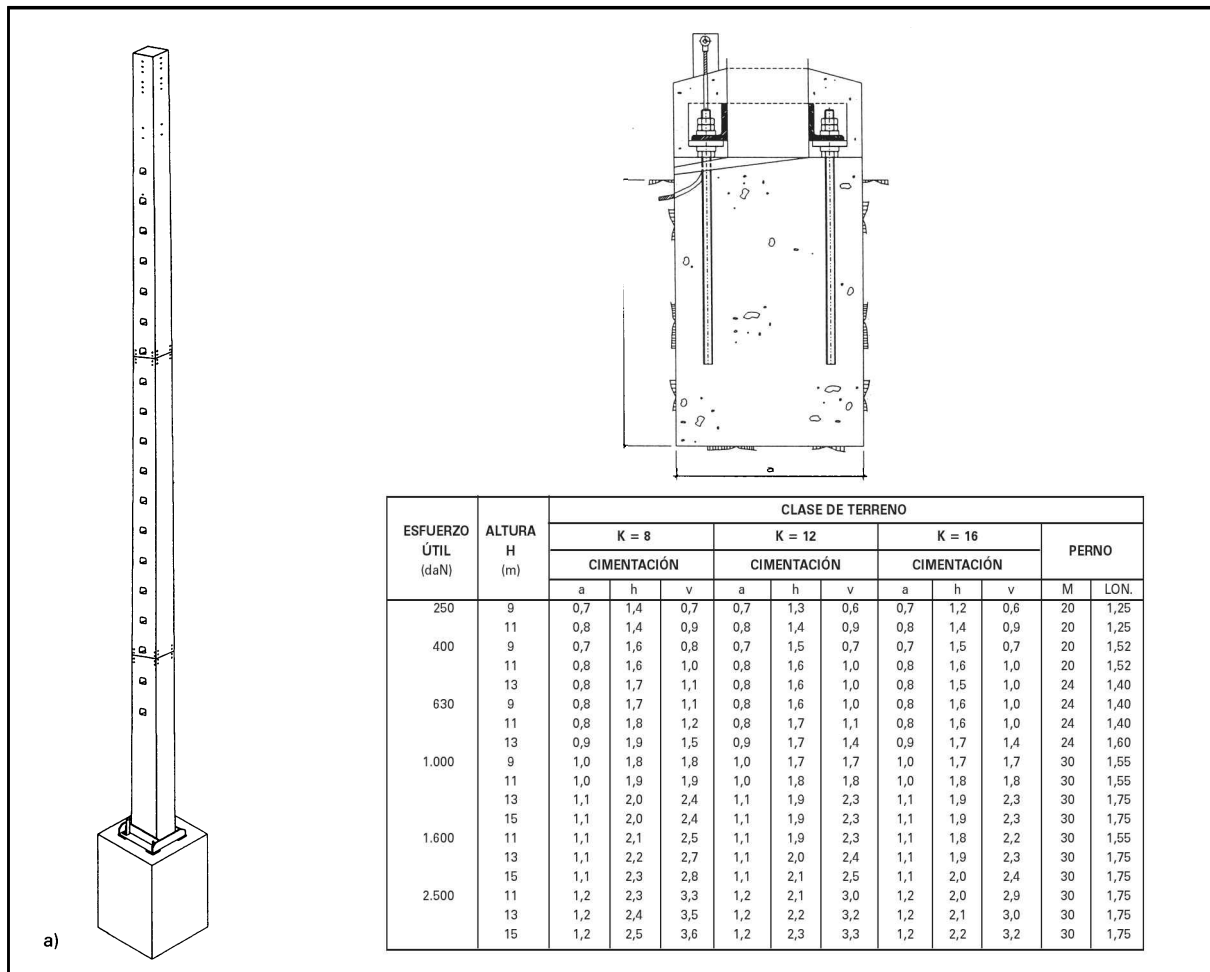


Figura 2.34. Cimentaciones y alturas libres en apoyos de chapa metálica en función de la altura y del esfuerzo útil. A) Con excavación completa. B) Cimentaciones con pilotaje en roca.

- Instalaciones agropecuarias en la proximidad de establos o edificaciones y zonas ganaderas.
- Proximidad de ermitas.

Zonas no frecuentadas agrícolas (A). Se consideran comprendidas en este tipo aquellas zonas que, no estando incluidas en los apartados anteriores, se hallen o puedan estar sometidas a explotación agrícola, o bien a explotación ganadera en terreno cercado.

Zonas NO frecuentadas (N). Se consideran comprendidas en este apartado aquellas zonas que no pueden considerarse incluidas en ninguno de los apartados anteriores.

Zonas de apoyos de maniobra (AM). Se considerarán comprendidas en esta zona todos los apoyos que soporten descargadores (autoválvulas, pararrayos, etc.), conos difusores, botellas terminales, interruptores, seccionadores, o cualquier tipo de aparato de maniobra.

2.4.2. Materiales

Para la realización de las tomas de tierras se utilizarán los elementos indicados en la relación adjunta:

- Picas cilíndricas de acero-cobre de 14 o 19 mm de diámetro.
- Cable de cobre de 50 mm² de sección.
- Grapas paralelas bimetálicas para conexión del cable de cobre de 50 mm² de sección y 9 mm al apoyo.
- Grapas de conexión de dos cables de cobre de 50 mm² de sección y 9 mm entre sí.
- Grapas de conexión de cable de cobre de 50 mm² de sección y 9 mm a pica de acero-cobreado de 14 o 19 mm.
- Las conexiones de cables de cobre entre sí y entre cables y picas pueden realizarse por medio de soldadura aluminotérmica o por otro procedimiento similar.
- Canalización cilíndrica de plástico de 30 mm de diámetro exterior para dejar paso al cable de cobre a través de las cimentaciones.
- Productos químicos utilizados para disminuir la resistividad del terreno, grafito en polvo, etc.

En las siguientes figuras se representan diversos tipos de conexionado a tierra de los apoyos.

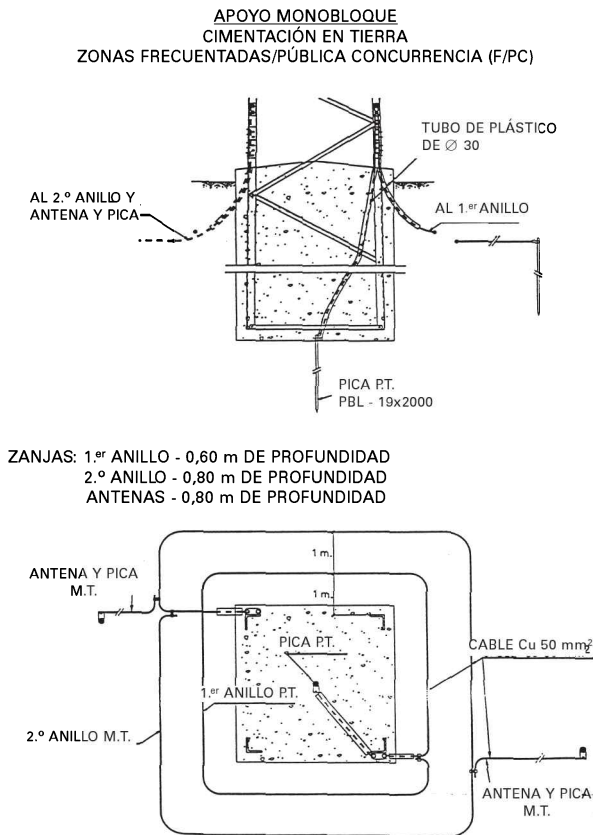


Figura 2.35. Apoyo monobloque. Cimentación en tierra. Zonas frecuentadas. Pública Concurrencia y Apoyos de Maniobra.

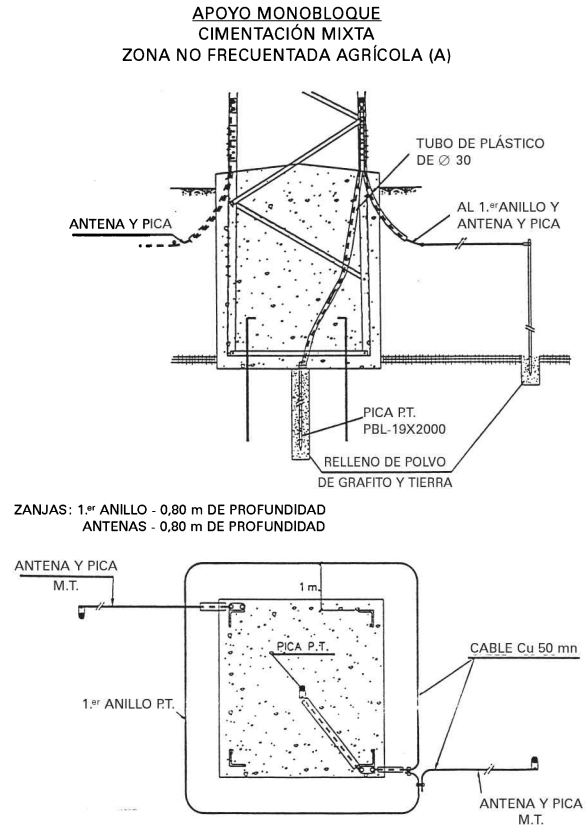


Figura 2.36. Apoyo monobloque. Cimentación mixta. Zona no frecuentada agrícola.

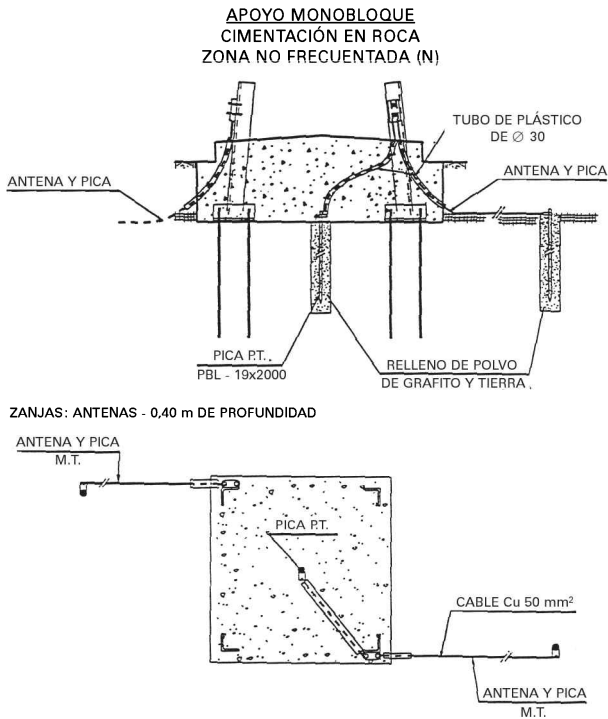


Figura 2.37. Apoyo monobloque. Cimentación en roca. Zona NO frecuentada.

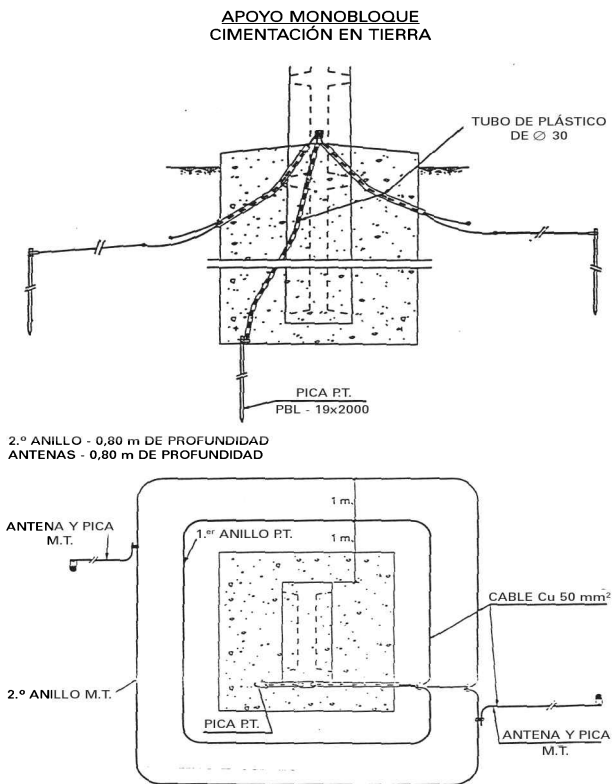


Figura 2.38. Apoyo monobloque. Cimentación en tierra. Apoyo de hormigón.

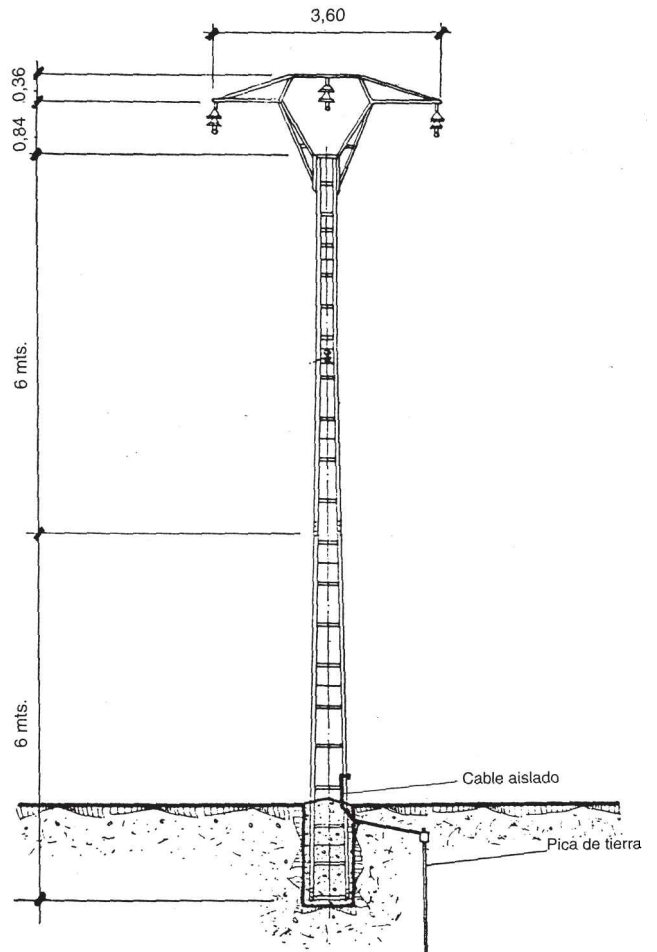


Figura 2.39. Puesta a Tierra de apoyos metálicos tipo presilla, con una pica de tierra.

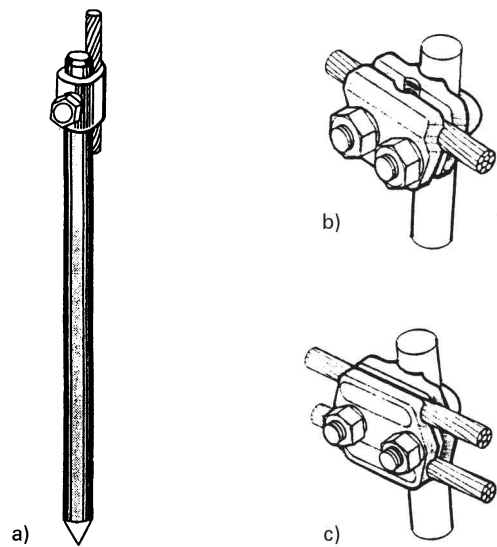


Figura 2.40. Pica y grapas para picas. A) Pica con grapa simple. B) Grapa para pica y un cable de paso. C) Grapa para pica y dos cables de paso.

La distancia entre picas será como mínimo 1,5 veces la longitud de las mismas. Considerando que la longitud de la pica normal es de 2 m, la distancia mínima será de 3 m.

Todos los apoyos metálicos irán puestos a tierra mediante una pica (cimentaciones monobloque) o dos picas (cimentaciones de macizos separados) colocadas en el fondo del hoyo de la cimentación.

Los cables situados en las zanjas se cubrirán con la mejor tierra vegetal extraída de la excavación.

En los apoyos de líneas aéreas que estén ubicados en zonas de Pública Concurrencia, Zonas frecuentadas y Apoyos de Maniobra, y en suelos o recintos hormigonados o asfaltados, los anillos deberán estar a muy poca profundidad (10 cm), y a muy poca distancia entre sí (25 cm), o bien ser sustituidos por una malla metálica conectada a tierra.

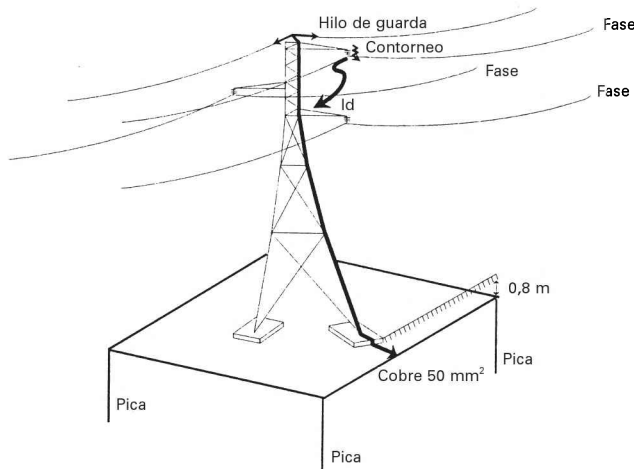


Figura 2.41. Ejemplo de evacuación de una intensidad de defecto por el electrodo de tierra del apoyo, para líneas de A.T. y M.A.T.

Tomas de Tierra especiales. En apoyos situados junto a caminos, lindes con terreno de distinto propietario al que está situado el apoyo, cercados metálicos, tuberías metálicas, etc., puede resultar dificultosa la realización de anillos, por lo que puede resultar más ventajoso sustituirlo por antenas y picas evitando los obstáculos indicados. También tendrá un tratamiento especial la proximidad de viviendas o zonas muy frecuentadas.

2.4.3. Cálculo de la resistencia a tierra de un electrodo

La resistencia a tierra de un electrodo depende de su forma, dimensiones, y resistividad del terreno en la que se realizará la toma de tierra.

En la Tabla 2.15 se dan, a título orientativo, la resistividad de un cierto número de terrenos, lo que nos permitirá una pri-

mera aproximación del valor óhmico a obtener con cada uno de los tipos de electrodos que pueden ser utilizados, aplicando las siguientes fórmulas:

TIPO DE ELECTRODO	RESISTENCIA EN Ω
Placa enterrada profunda	$R = 0,8 \frac{\rho}{P}$
Placa enterrada vertical	$R = 1,6 \frac{\rho}{P}$
Pica vertical	$R = \frac{\rho}{P}$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = \frac{2\rho}{P}$
Malla de tierra	$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$

siendo:

- R = Resistencia de tierra del electrodo en ohmios.
- ρ = Resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$.
- P = Perímetro de la placa en metros.
- L = Longitud en metros de la pica o del conductor, y en malla la longitud total de los conductores enterrados.
- r = Radio en metros de un círculo de la misma superficie del área cubierta por la malla.

Como se puede ver de las fórmulas anteriores, la mejor relación entre el valor óhmico conseguido y las facilidades de instalación es, en la gran mayoría de los casos, indiscutiblemente la conseguida con la instalación de picas verticales, por lo que hablaremos a continuación de los factores determinan-

Tabla 2.15. Valores orientativos de la resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$

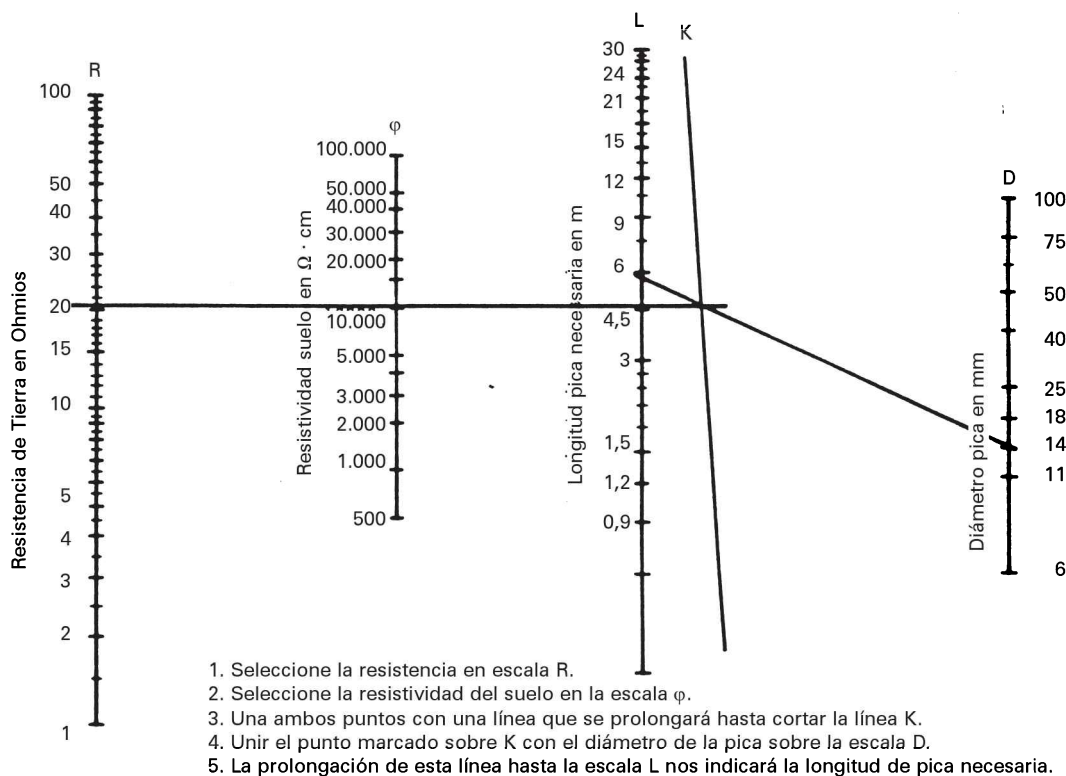
Valores orientativos de la resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$	
Terrenos Pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1.500 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
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600
Hormigón	2.000 a 3.000
Balasto o grava	3.000 a 5.000

tes del valor óhmico conseguido con la instalación de uno de estos electrodos.

Así como la profundidad de incado del electrodo tiene una relación directa con la disminución de su resistencia, según puede comprobarse por las fórmulas anteriores, el incremento de su diámetro apenas tiene influencia en la reducción de la misma, ya que, si incrementamos al doble el diámetro, por ejemplo, apenas lograremos reducir el valor óhmico en un 10%. Consecuente-

mente, debe elegirse para las picas el diámetro mínimo que en cada caso permitan las condiciones del suelo.

Como ayuda, tanto en el cálculo de la longitud de la pica necesaria para conseguir una determinada resistencia, en un terreno de resistividad media conocida, como para determinar, de una forma aproximada, la resistividad media de un terreno, a partir de la resistencia obtenida por el hincado de una pica, puede utilizarse el siguiente Nomograma de Resistencia de Tierra.



2.4.4. Mejora de las tomas de tierra

El potencial del suelo alrededor de una toma de tierra suficientemente concentrada y que disipa una corriente, decrece en razón inversa de la distancia. La caída de tensión en el suelo queda limitada a las proximidades de los electrodos (75% en 4 veces el radio equivalente de la toma de tierra).

En consecuencia, si reducimos, por un tratamiento apropiado, la resistividad del suelo a 1/10 de su valor, en ese espacio, la caída de tensión se reducirá al 7,5%, lo que implica $25\% + 7,5\% = 32,5\%$ para un entorno que tienda a infinito. Dicho de otro modo, la resistividad del sistema se reduce a 13 de su valor inicial. Mediante el empleo de electrolitos alcalino-térreos ionizables (tratados y estabilizados), que son compuestos muy poco solubles pero cuyas soluciones diluidas aportan una gran conductividad, bastará con introducir en la capa superficial del terreno una cantidad tal de dichos compuestos que el arrastre y dilución por el agua de lluvia sea sólo de un 10% anual para lograr una duración del tratamiento de 10 años.

Modo de empleo. En función de los diferentes electrodos utilizados así será su empleo:

- **Placas de tierra o rejas.** Excavar en una superficie de 3 a 4 m² por encima del electrodo tres surcos paralelos separados entre 1 y 0,80 m y de 0,20 m de profundidad. Rellenar con el compuesto y tapan con tierra para evitar el arrastre por el agua de la lluvia. La cantidad aproximada de compuesto a utilizar ronda los 120 kg.

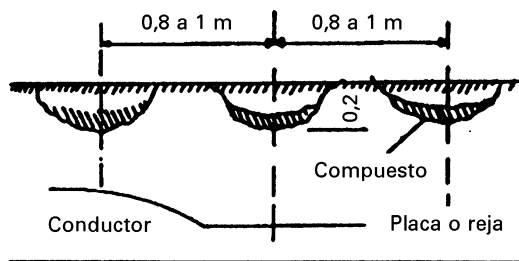


Figura 2.42.

- **Conductor enterrado en zanja (antiguo).** Excavar dos surcos por encima del conductor de 0,20 m de profundidad y a una distancia de 0,60 m. Rellenar con el compuesto y tapar con tierra. La dosis media suele estar sobre los 20 kg por metro lineal.

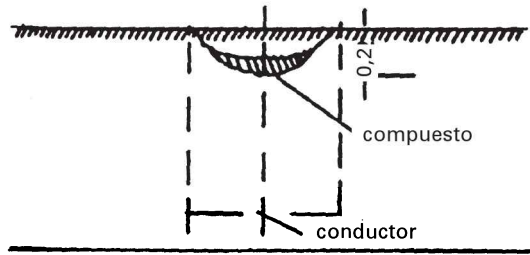


Figura 2.43.

- **Conductor enterrado en zanja (nuevo).** Recubrir el conductor con 0,10 m de tierra y depositar el compuesto antes de cerrar la zanja. Al igual que el caso anterior se suele utilizar unos 20 kg por metro lineal.

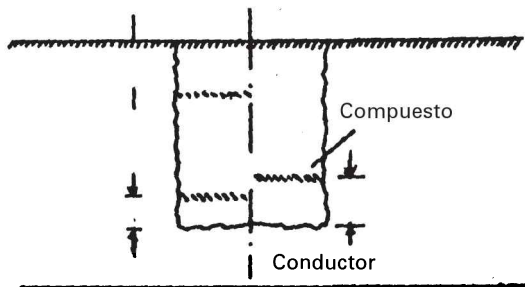


Figura 2.44.

- **Picas de Tierra.** Depositar el compuesto en un embudo de 2 m del centro de la pica y tapar con tierra. En este caso la dosis aumenta a 100 kg.

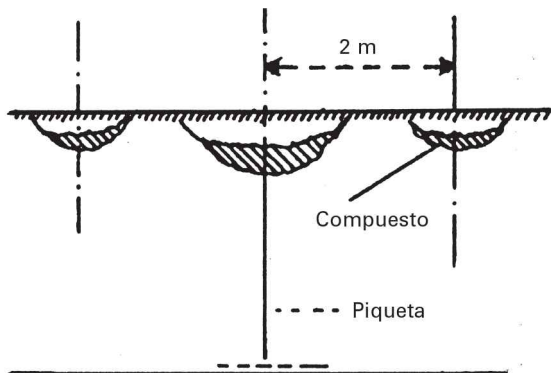


Figura 2.45.

Si la pica sobrepasa los 4 m de longitud, se añadirá un segundo surco concéntrico a 0,90 m del embudo y 0,20 m de ancho alrededor. Rellenar con el compuesto y tapar con tierra. En este caso la cantidad a utilizar será de 15 kg por metro lineal.

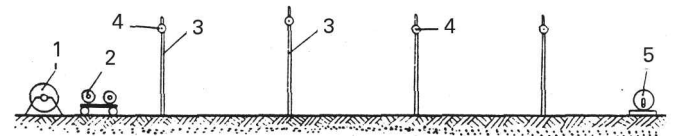
2.5 Procedimiento de montaje de líneas de distribución. Tipología y características

Diferentes y variados son los tipos de montaje que hay que realizar en las líneas de distribución, tanto en Media como en Baja Tensión. Para verlas de forma más clara las dividiremos todas ellas.

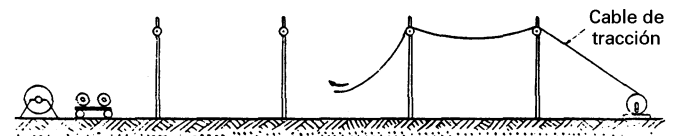
2.5.1. Líneas aéreas con conductores desnudos en M.T.

Tensado de cables

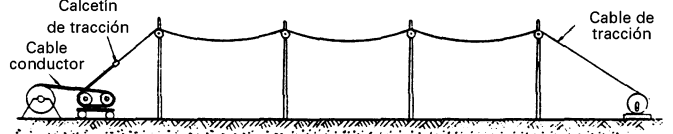
Lo primero que tendremos que realizar es la instalación de un hilo piloto soportado por las diferentes poleas que tendremos que instalar, tres por apoyo, para que puedan ir deslizándose y que nos sirva para arrastrar a los cables a tender, Figura 2.46.



(a) Situación inicial. 1. Bobina del cable. 2. Dispositivo de freno. 3. Postes. 4. Paletas de tracción. 5. Cabestrante.



(b) Tendido del cable de tracción



(c) Unión de los cables de tracción y conductor

Figura 2.46. Tendido del cable piloto.

Al comienzo tendremos que instalar un cabestrante, normalmente a motor, que nos sirva para poder ir recuperando el hilo piloto, cuya cabeza está unida firmemente a los conductores que hay que tender, y colocados en las respectivas bobinas situadas en el otro extremo de la línea.

Una vez que hemos recuperado el hilo piloto en el punto de origen, procederemos a frenar la máquina freno situada junto a las bobinas que contienen los cables a tender. Igualmente, y antes de proceder al tendido, se ajustarán los dinamómetros de control de tense, dotados de control automático de disparo, al tense previamente calculado, teniendo en cuenta la temperatura ambiente

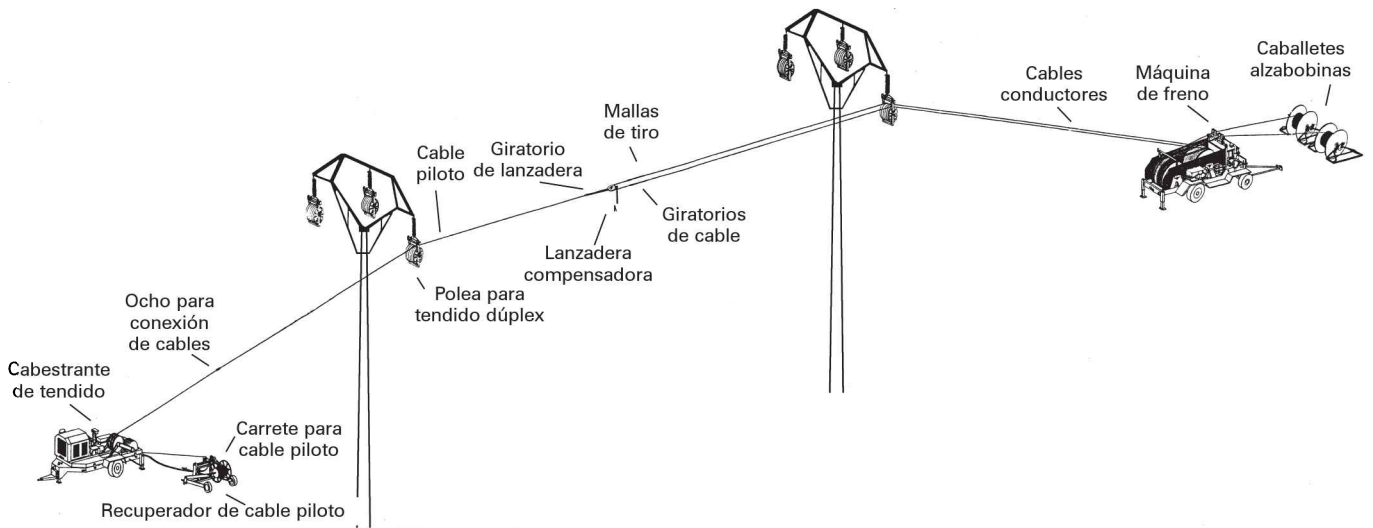


Figura 2.47. Esquema tendido de cables con tensión mecánica.

a la que se está procediendo al tendido de los conductores. Dicho tense se consigue accionado el cabestrante, Figura 2.47.

El tense de conductores puede realizarse de dos formas:

- a) Midiendo la tensión del conductor.
- b) Midiendo la flecha del conductor.

En el caso a) y desde el punto de vista mecánico, el tense se realiza para el conductor más desfavorable, procediendo al tendido de los conductores restantes por el procedimiento de paralelismo, Figura 2.48.

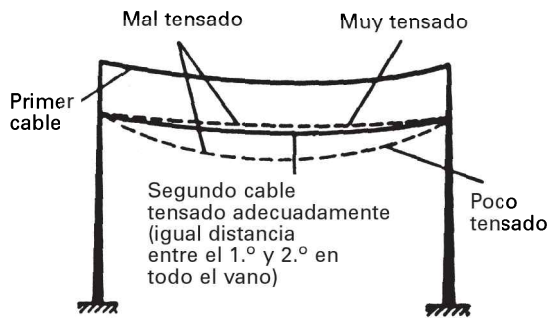


Figura 2.48. Tense de los cables de una línea.

En el caso b) sólo se utiliza cuando los desniveles entre apoyos son muy pequeños y cuando los vanos son reducidos, Figura 2.49.

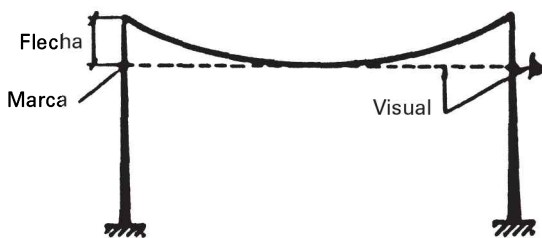


Figura 2.49. Medida de la flecha de forma visual entre dos apoyos.

El tendido manual se realiza cuando las líneas a montar son pequeñas, procediendo a realizar el tense desde cada vano. Los elementos utilizados para este tipo de tendido se representan en la Figura 2.50.

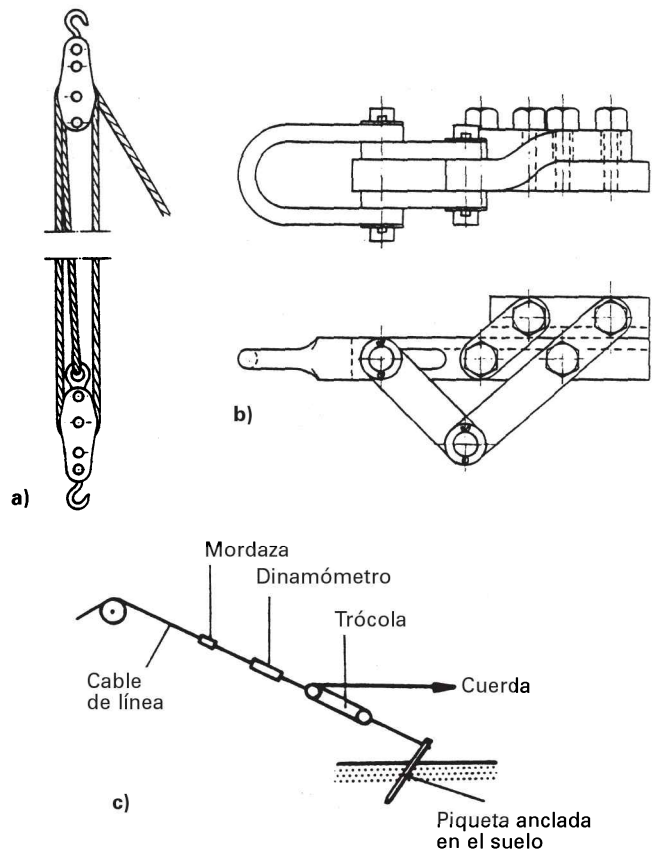


Figura 2.50. Herramientas utilizadas para el tendido de líneas aéreas, de forma manual: a) Trócola; b) Rana para conductores de aluminio; c) Forma de realizar el tensado y la comprobación del tense requerido.

2.5.2. Líneas aéreas de M.T. realizadas con conductores trenzados en haz

Nos permitimos indicar todo el aparellaje que consideramos indispensable para realizar un tendido correcto (los accesorios empleados en la instalación de estos cables serán objeto de otro comentario).

2.5.2.1. Equipo necesario para el tendido

- Un caballete desenrollador o dispositivo equivalente que permita frenar la bobina.
- Un cablecillo de acero de una longitud al menos igual a la mayor longitud del cable a desenrollar y de resistencia mecánica suficiente para permitir la regulación del tiro del cable.
- Poleas de guía para el tendido (al menos tantas como soportes existan en el tendido de la línea correspondiente a la longitud de cable que puede ser tendido de una sola vez), Figura 2.51.
- Una prensa, si se utilizan manguitos de anclaje o de unión a compresión.
- Un dinamómetro, se considera aconsejable y en algunos casos indispensable
- Mangas de tiro especiales.
- Uno o varios soportes de levantamiento para la puesta de las piezas de alineación.
- Radioteléfonos (el número deberá ser según la importancia y dificultades, pero como mínimo 3).
- Pequeño material diverso.

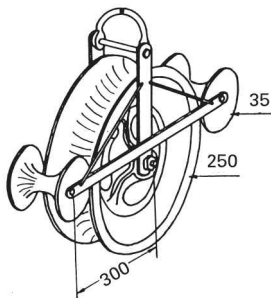


Figura 2.51. Poleas de guía para el tendido.

2.5.2.2. Desenrollado del cable de la bobina

PRECAUCIONES PARTICULARES. El desenrollado de la bobina del cable trenzado en haz de M.T., tipo Eprorret, exige las habituales precauciones indispensables en el tendido de cables secos. Se deberán tomar las disposiciones para evitar dañar el aislamiento de los cables y no se provocarán radios de curvatura del trenzado inferiores o iguales a 16 veces el diámetro de un conductor de fase trenzado.

ANCLAJE DEL CABLECILLO DE TIRO AL FIADOR. El cablecillo se unirá al fiador del cable preferentemente por una manga especial, Figura 2.52.



Figura 2.52. Manga de tiro.

El conjunto del trenzado en la punta será recubierto con una manga, cuya misión es unir los conductores y el fiador con el objeto de permitir un paso fácil por las poleas guías y evitar todos los riesgos de enganche durante el tiro. Esta manga no deberá en ningún caso participar en el tiro. Después del tendido, se eliminará la parte del cable que haya tenido contacto con las mangas.

EQUIPAMIENTO DE LOS SOPORTES. COLOCACIÓN DE LAS POLEAS DE DESLIZAMIENTO. Todos los soportes estarán equipados con herrajes destinados a recibir las pinzas de alineación y amarre. Las poleas se colgarán a estos herrajes, Figura 2.53.

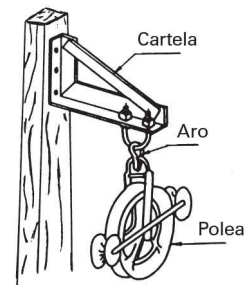


Figura 2.53. Detalle del soporte y polea de deslizamiento.

TENDIDO DEL CABLE. El tendido se hará bajo una tracción mecánica como para una línea desnuda. Se podrá hacer una tirada directa o con reenvío en los casos de accesos difíciles.

Un operario experimentado deberá observar la bobina y especialmente la calidad del frenado.

Otro deberá estar en el cabestrante y otro seguirá el avance del cable, y muy particularmente la entrada de la punta en las poleas de deslizamiento.

Otro personal deberá, igualmente, vigilar en lugares fijos todos los puntos singulares del tendido (poleas de reenvío, cambios importantes de dirección, etc.).

Todo el personal deberá estar provisto de radioteléfonos individuales para poder hacer parar el tendido instantáneamente en el caso de presentarse cualquier incidente.

COLOCACIÓN DE LOS ACCESORIOS DE LÍNEA. Se deberá colocar (todo o en parte).

ANCLAJES

- En los terminales extremos.
- En la línea, particularmente:
 - En las uniones del trenzado sobre los postes.
 - En los cambios de dirección (superiores o iguales a 45°).

ALINEACIONES DOBLES

- En los cambios de dirección (ángulos de 10 a 45°).

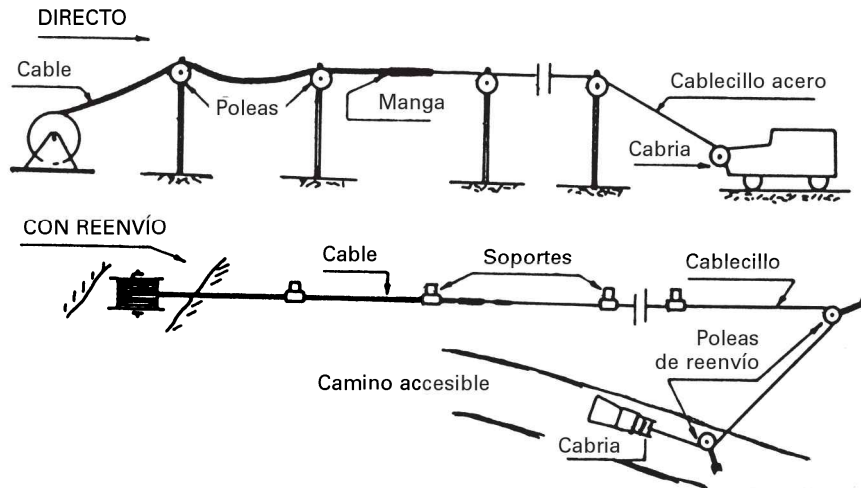


Figura 2.54. Tendido de cables.

ALINEACIONES SIMPLES

- En trazados rectilíneos o para ángulos inferiores o iguales a 10°.

UNIONES DEL FIADOR

- En la línea, en correspondencia con los empalmes del cable en haz en vanos intermedios.

Se deberá tomar el cuidado necesario para no dañar los aislamientos de los cables en el momento de colocación de los accesorios. Se utilizarán particularmente utensilios de madera o específicos para separar el fiador de los cables unipolares.

Cerca de los accesorios el cable en haz deberá disponer ataduras a fin de evitar alargamientos en el descableado.

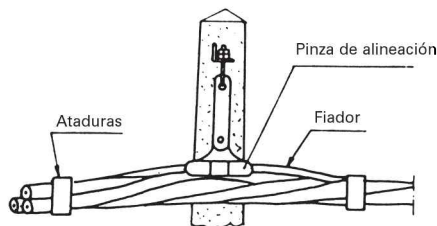


Figura 2.55. Uniones al fiador.

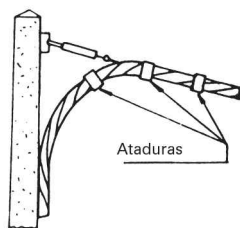


Figura 2.56. Uniones al fiador.

En el caso de fuerte desnivel se tendrá la precaución de atar el haz en toda su tirada a tramos de unos dos metros, para evitar que, por efecto de vibraciones, se produzca un descableado del haz en la parte alta del vano y una compresión del trenzado en la parte baja.

ANCLAJES

Tipos:

- Con manguito de compresión, Figura 2.57. (Se aconseja su montaje, pues permite la reconstrucción del aislamiento del fiador. Su comportamiento en tracción es igual al del fiador).

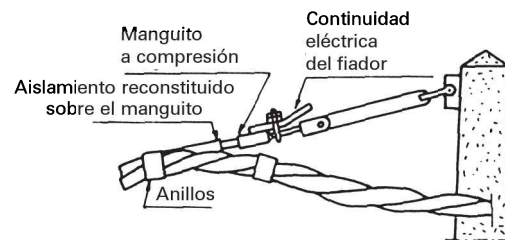


Figura 2.57. Anclaje con manguito de compresión.

- Con pinzas, Figura 2.58. (No permiten la reconstrucción del aislamiento del fiador. No deben utilizarse para las uniones del cable fiador en puntos intermedios de los vanos).

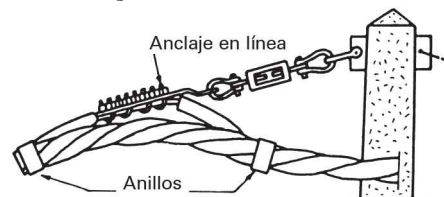
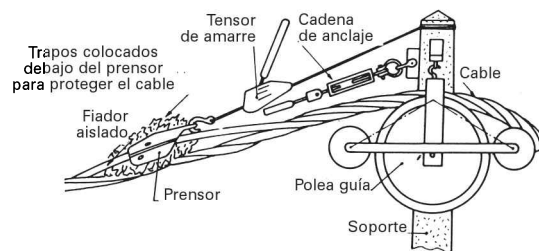


Figura 2.58. Anclaje con pinzas.



a)

Figura 2.59. Detalles de montaje del cable fiador. A) Fiador aislado.

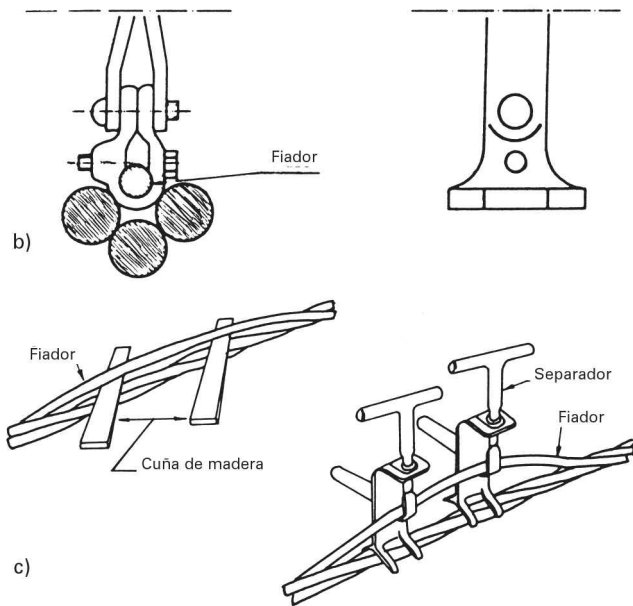


Figura 2.59. Detalles de montaje del cable fiador (continuación).
B) Detalle de sujeción. C) Formas de separar el fiador.

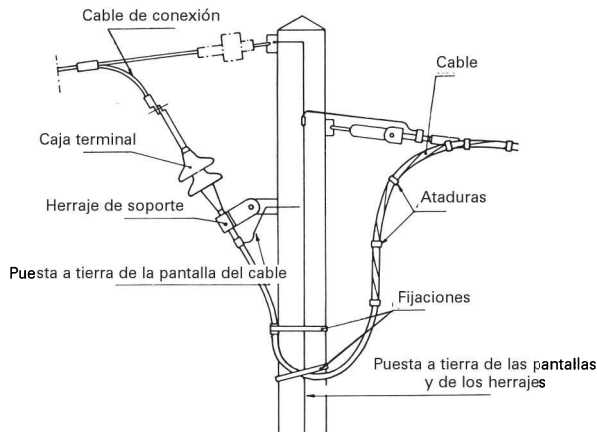
EMPALME DE LOS FIADORES (caso de empalme o reparación en vanos intermedios)

Los fiadores serán unidos con manguitos a compresión por prensado. El aislamiento será reconstituido (preferentemente con funda termoplástica retráctil).

MONTAJE DE ACCESORIOS EN LOS CABLES TRENZADOS EN HACES DE M.T.

GENERALIDADES. Los empalmes y terminales se montan normalmente sobre cada uno de los cables unipolares.

PRINCIPIO DE CONEXIÓN SOBRE UNA LÍNEA AÉREA. Al principio de una línea deberemos de prestar cuidado a la hora de instalar los diferentes componentes que la forman, Figura 2.60.



ATENCIÓN: Respetar los radios de curvatura mínimos.

Figura 2.60. Principio de conexión sobre una línea aérea.

TERMINALES. Se podrá:

- Finalizar sobre un apoyo o poste con cajas terminales estandarizadas.
- Entrar directamente en una celda de MT/BT.
- Realizar una conversión aérea-subterránea, mediante empalme con un cable subterráneo en el interior de una celda de MT/BT o similar.

La conexión de los terminales a la línea aérea se hará siempre con cable flexible para evitar transmitir a los accesorios del cable las vibraciones de la línea.

UNIÓN SIMPLE. El empalme de cada conductor de fase de los cables se realizará a base de aislamiento reconstituido como si se tratara de cable Eprotenax normal monofásico.

Los tres empalmes así realizados podrán localizarse en:

VANOS intermedios. Los empalmes de las tres fases deben estar repartidos sobre varios metros de cable. Se deberá tener la seguridad que, tras colocar en su sitio los cables en haz, los empalmes no sufran ni estén bajo tensión o esfuerzo mecánico alguno, Figura 2.61.

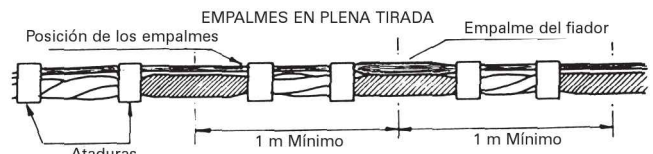
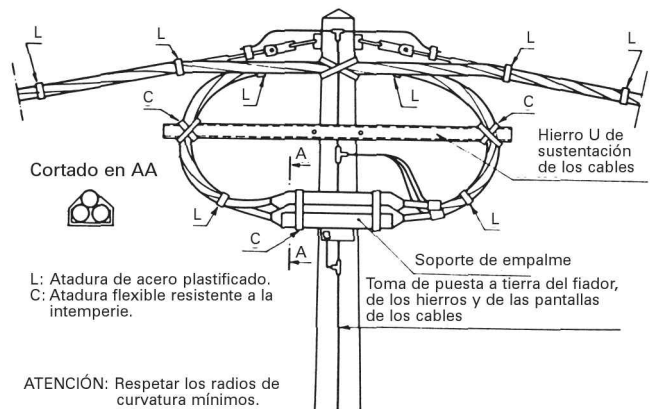


Figura 2.61. Empalmes realizados en cables trenzados en haz.

EMPALMES SOBRE SOPORTES. Los empalmes sobre soportes se harán entre dos amarres tal como puede verse en la Figura 2.62 y deberá preverse la longitud de cable en exceso suficiente. Los tres empalmes se reunirán en triángulo atados y mantenidos sobre un soporte fijo al poste. Los cables no deberán someter a los empalmes a esfuerzos de tracción, por lo que se aconseja el formar un bucle en lo alto del apoyo. Los cables se atarán fuertemente entre sí a lo largo de este bucle.



ATENCIÓN: Respetar los radios de curvatura mínimos.

Figura 2.62. Principio de un empalme sobre soporte.

UNIONES AÉREO-SUBTERRÁNEAS. En este caso los tres cables trenzados descienden a lo largo del apoyo y se acondicionan como si se tratara de una conversión aéreo-subterránea de una línea aérea a media tensión a una celda MT/BT realizada con cable unipolar de M.T., Figura 2.63.

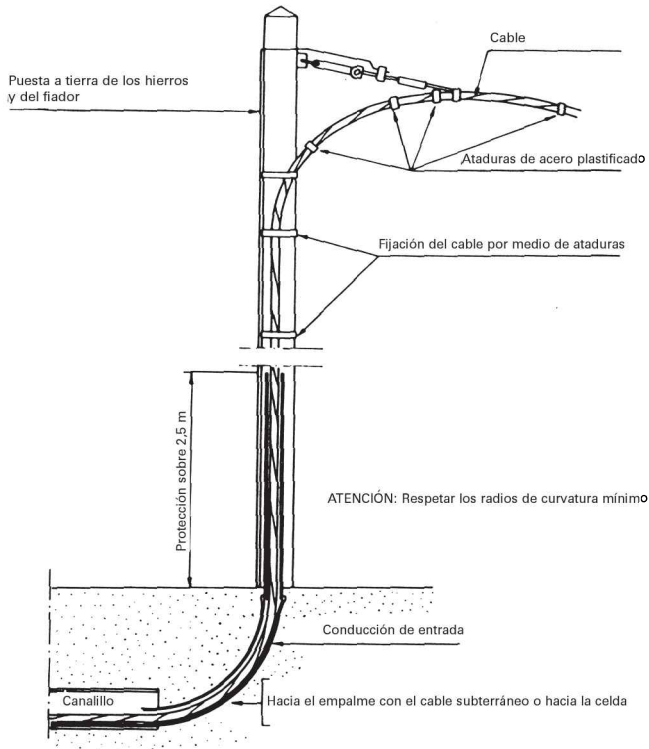


Figura 2.63. Principio de paso aéreo a subterráneo.

DERIVACIONES. Las derivaciones se realizarán de acuerdo con las Figuras 2.64, 2.65 y 2.66. Deberán realizarse por personal experimentado. El anclaje de los fiadores puede estar situado en la parte superior del soporte, o bien debajo de la derivación.

Las derivaciones podrán hacerse mediante cajas terminales montadas sobre cada cable unipolar (9 terminales en total).

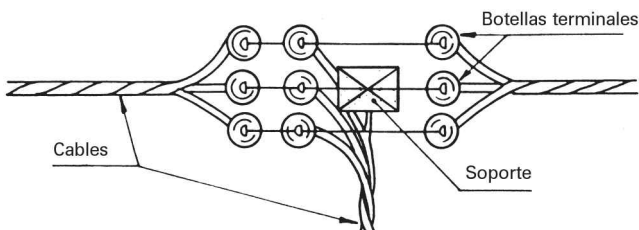


Figura 2.64. Derivación en cables de haces en M.T.

UNIONES DIRECTAS. En la Figura 2.67 representamos las uniones que se suelen llevar a cabo con conductores trenzados en haz en M.T.

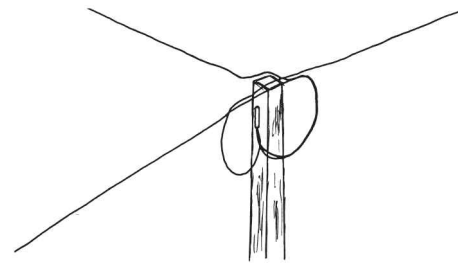
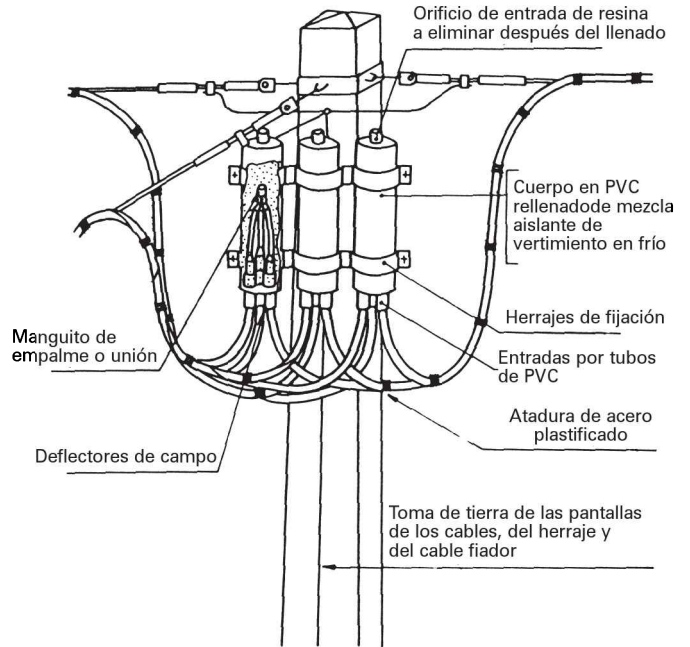


Figura 2.65. Se notará que el anclaje de los fiadores en ambas figuras está situado en la parte superior del soporte.



ATENCIÓN: Respetar los radios de curvatura mínimos.

Figura 2.66. Principio de una derivación sobre apoyo.

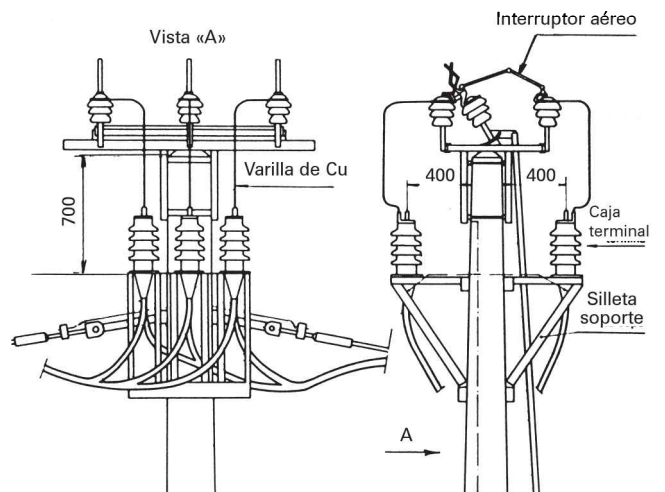


Figura 2.67. Punto de corte por interruptor aéreo de una línea aérea autosuspendida en M.T.

PUESTA A TIERRA DE LAS PANTALLAS DE LOS CABLES. Cada conductor de fase lleva una pantalla que asegura la descarga de corrientes capacitivas y, llegado el caso, de las corrientes de defecto.

Estas pantallas deben, pues, estar obligatoriamente conectadas a tierra en los extremos, como también en los empalmes sobre los soportes y en las derivaciones. Si la conexión es larga o si los empalmes están en vanos intermedios, se conectarán las pantallas a tierra cada 200 o 300 m, por ejemplo en los soportes de anclaje.

La puesta a tierra de las pantallas de los cables se realiza como se indica en la Figura 2.68.

La trenza de cobre que asegura la conexión de la pantalla a tierra debe salir de la envoltura por debajo, a fin de evitar la penetración del agua en la pantalla. Esta trenza se unirá a la toma de tierra del soporte.

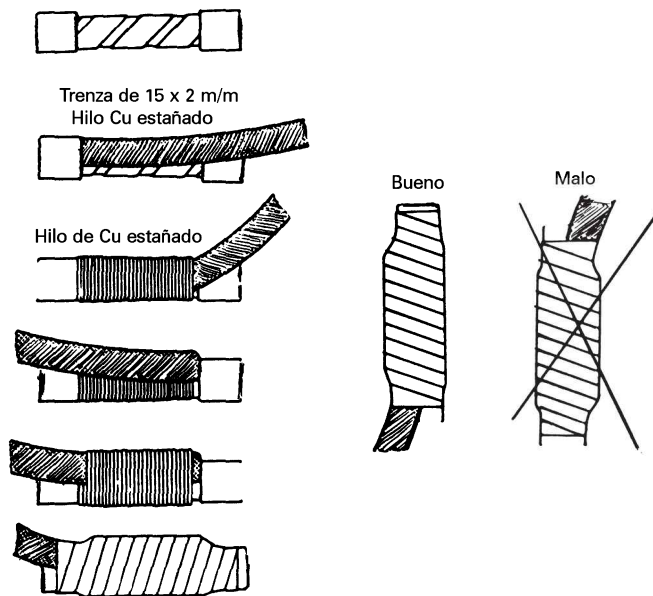


Figura 2.68. Puesta a tierra de las pantallas de los cables.

El modo operativo de realizar dichas operaciones tal como se representa en la figura anterior implica lo siguiente:

- 1) Retirar la cubierta exterior de protección del cable, a fin de poner la pantalla al descubierto en una longitud de aproximadamente 60 mm. Limpiar en caso de necesidad la parte al descubierto de la pantalla de cobre.
- 2) Poner, paralelamente al cable, la trenza de cobre en contacto con la pantalla y atarla con hilo de Cu estañado de 10/10 a espiral continua.
- 3) Doblar la trenza sobre sí misma y reforzar la unión con una segunda atadura también a espiral continua.
- 4) Proteger el conjunto con un encintado de PVC adhesivo dejando salir por su parte inferior la extremidad libre de la trenza que será conectada a tierra.

IMPORTANTE. Estando colocado el cable, la salida de tierra debe situarse hacia la base para evitar que la trenza drene el agua al interior del cable.

CONTINUIDAD ELÉCTRICA Y PUESTA A TIERRA DEL FIADOR. La continuidad eléctrica del fiador debe asegurarse en toda su longitud. El fiador estará además conectado a tierra en sus extremos y en los soportes de anclaje.

En las siguientes figuras se detallan materiales, conjuntos, anclajes, utillajes, accesorios, piezas y material de enlace necesario para realizar dichos tendidos.

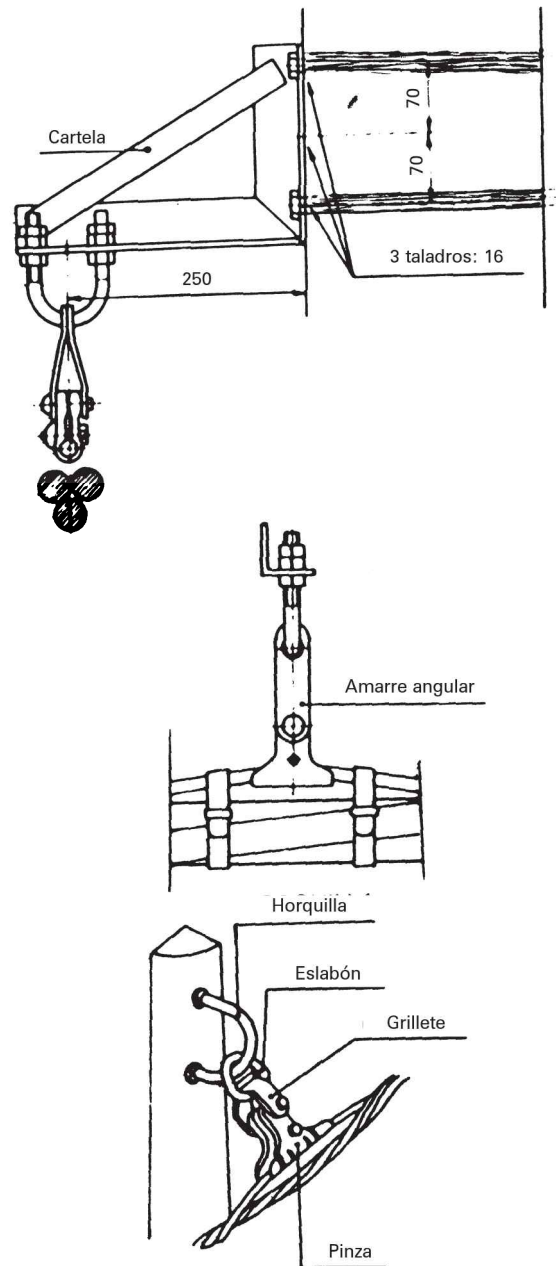


Figura 2.69. Conjunto de alineación para ángulos hasta 10°.

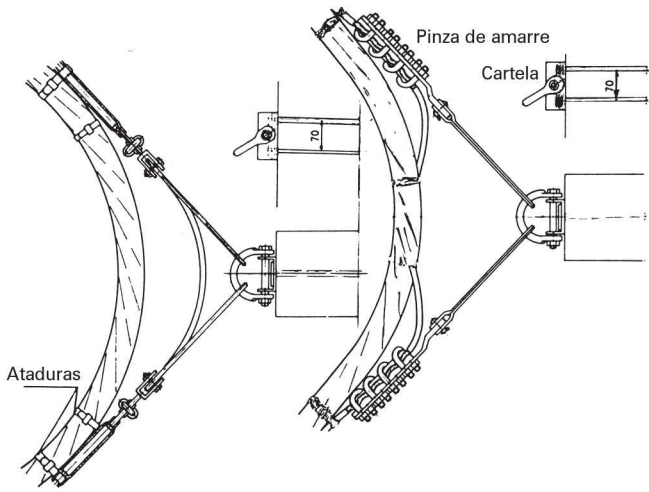


Figura 2.70. Conjuntos para ángulos > 45°.

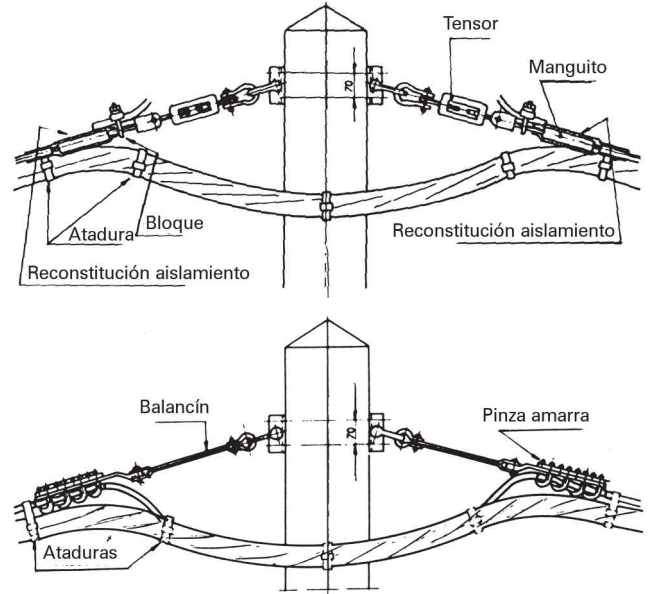
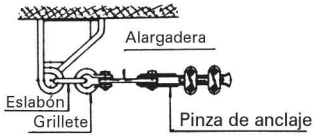


Figura 2.72. Anclajes en tramos rectilíneos.



CARTELAS ACERO GALVANIZADO

SOPORTE DE LEVANTAMIENTO

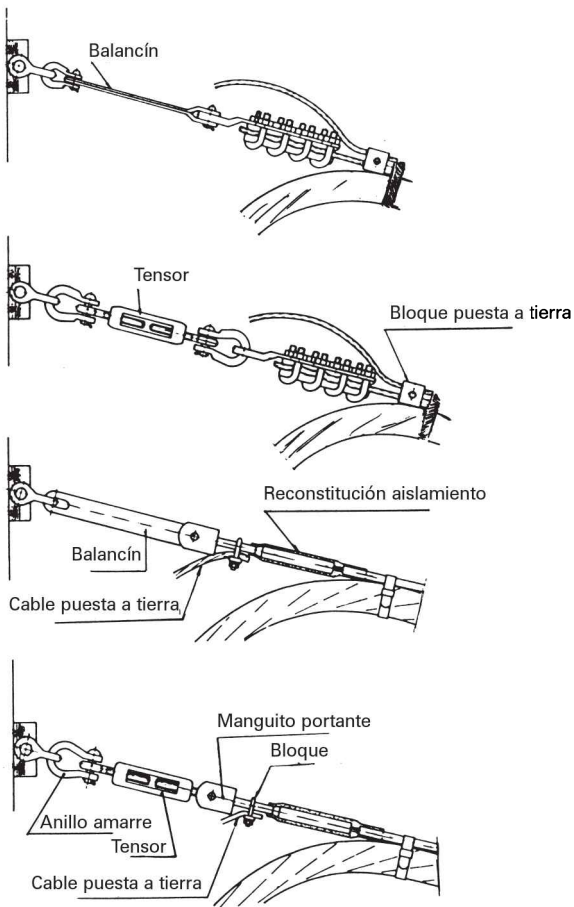
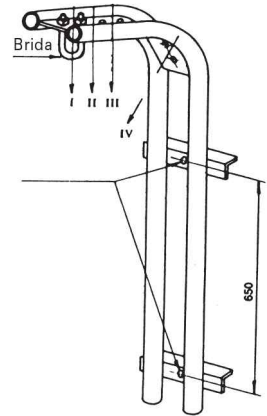
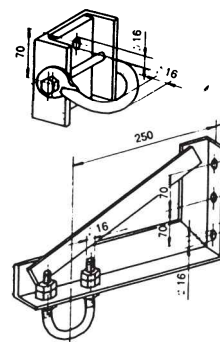
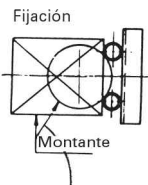
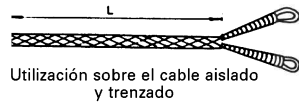


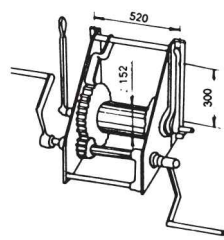
Figura 2.71. Conjuntos de anclajes.



MANGA DE TIRO



CABESTRANTE DE TENDIDO



POLEA

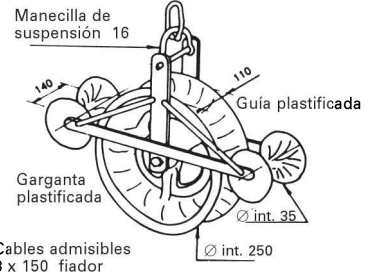
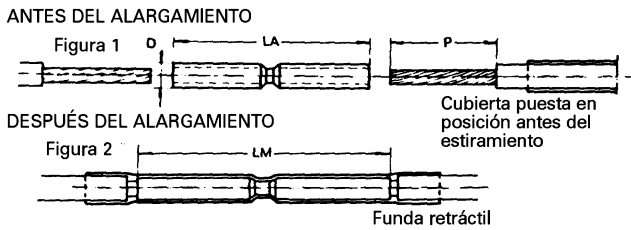


Figura 2.73. Utillajes para la instalación.

Manguitos de unión a compresión por alargamiento



MANGUITOS DE ANCLAJE A COMPRESIÓN POR ALARGAMIENTO

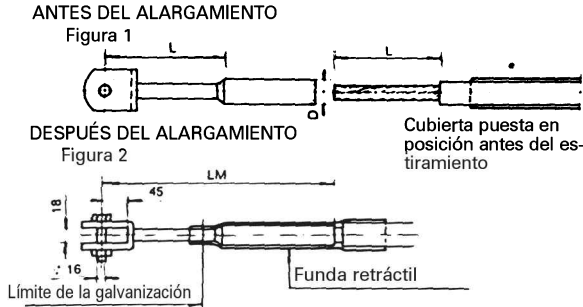


Figura 2.74. Material de enlaces.

2.5.3. Líneas subterráneas con conductores aislados en media tensión

Tendido de canalizaciones

En los tendidos de canalizaciones de líneas subterráneas de A.T., deberán tenerse en cuenta, entre otras, las consideraciones siguientes:

Conductores directamente enterrados. La canalización discurrirá por terrenos de dominio público bajo acera.

No se admitirá su instalación bajo la calzada excepto en los cruces y evitando siempre ángulos pronunciados.

Los radios de curvatura después de haber sido instalados los conductores serán:

Cables unipolares..... 15 veces el diámetro.

Cables tripolares..... 10 veces el diámetro.

Los radios de curvatura en operaciones de tendido serán como mínimo el doble de las indicadas anteriormente.

Los cruces de calzadas serán perpendiculares al eje de la calzada o viales.

Los cables serán alojados en zanjas de 0,80 m de profundidad mínima y un ancho de 0,50 m.

El lecho de la zanja deberá ser liso y estar libre de aristas vivas, piedras, cantos, etc.; en el fondo se colocará una capa de arena de río de 10 cm, sobre la que se depositarán los conduc-

tores. Una vez instalados se los cubrirá con otra capa de arena, de tal forma que queden cubiertos por encima de ellos al menos 25 cm, y sobre ésta, una protección mecánica en sentido transversal a los cables, como pueden ser ladrillos, losetas de hormigón prefabricadas, etc., cubriéndolas posteriormente con capas de tierra procedente de la excavación realizada para alojar dicha línea con un espesor aproximado de 25 cm. Igualmente, encima de dichas protecciones mecánicas y a una distancia comprendida entre los 10 y los 30 cm del suelo se colocará una cinta de señalización como advertencia de la presencia de cables eléctricos.

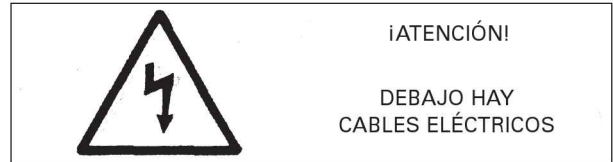
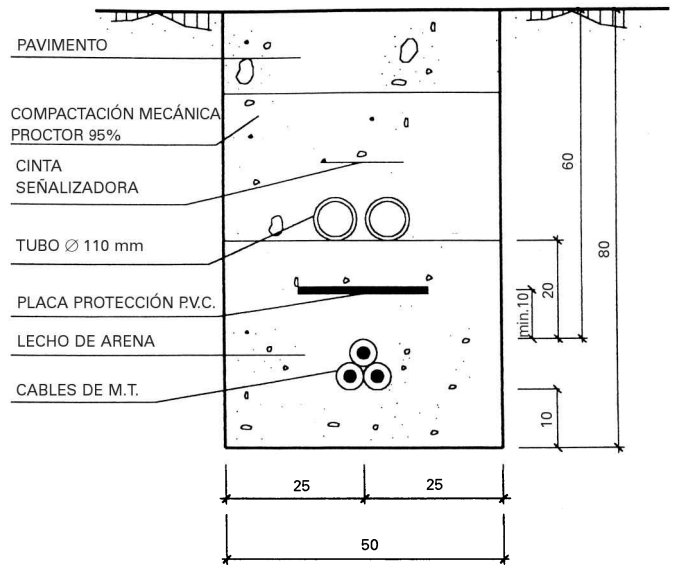


Figura 2.75. Cinta señalizadora de cables.

Las tierras que cubran los conductores alojadas en la zanja preparada al efecto serán apisonadas por medios mecánicos que aseguren una perfecta compactación del terreno.



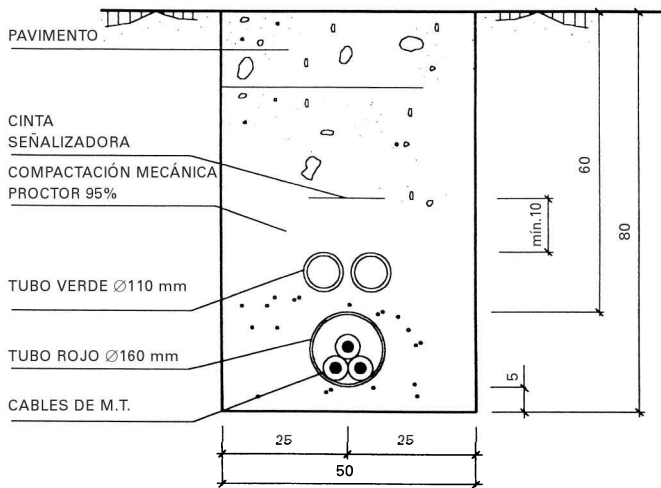
NOTA: PARA POBLACIONES DE MENOS DE 40.000 HABITANTES, SE INSTALARÁ UN SOLO TUBO DE COMUNICACIONES.

Figuras 2.76. Diferentes tipos de montajes subterráneos.

Conductores en canalización entubada. En estas canalizaciones los conductores irán entubados en todo o en gran parte de su recorrido.

Los tubos podrán ser termoplásticos o de fibrocemento (hormigonados).

El diámetro mínimo de los tubos será de 160 mm para cables hasta 240 mm² y de 200 mm para cables de 400 mm² o de 1,6 veces el diámetro de los conductores o cables.

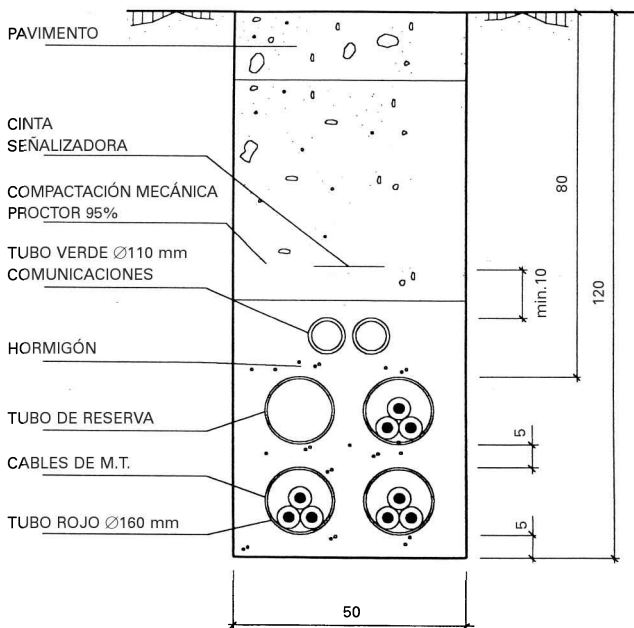


NOTA: PARA POBLACIONES DE MENOS DE 40.000 HABITANTES, SE INSTALARÁ UN SOLO TUBO DE COMUNICACIONES.

Figuras 2.77. Diferentes tipos de montajes subterráneos (continuación). Canalización enterrada.

Cada una de las canalizaciones llevará solamente un circuito, compuesto por un solo cable tripolar o por tres conductores unipolares.

En los lugares donde se tengan que realizar cambios o registros de dirección, se realizarán arquetas registrables para facilitar la manipulación de los conductores, estando dichas canalizaciones selladas a la entrada de cada arqueta.

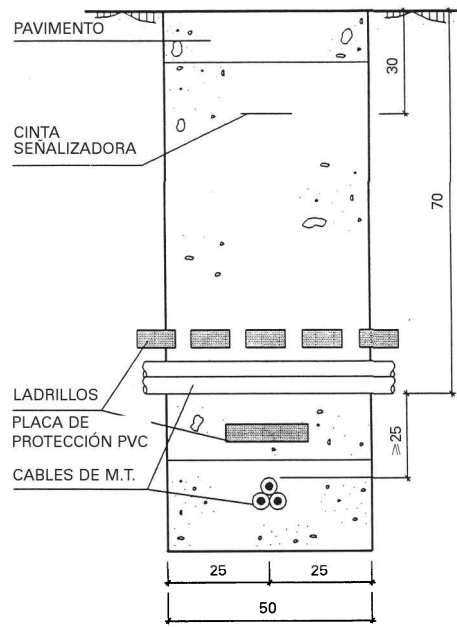


NOTA: PARA POBLACIONES DE MENOS DE 40.000 HABITANTES, SE INSTALARÁ UN SOLO TUBO DE COMUNICACIONES. EN CRUZAMIENTOS CON VÍA PÚBLICA SE DEJARÁ UN TUBO ROJO DE RESERVA.

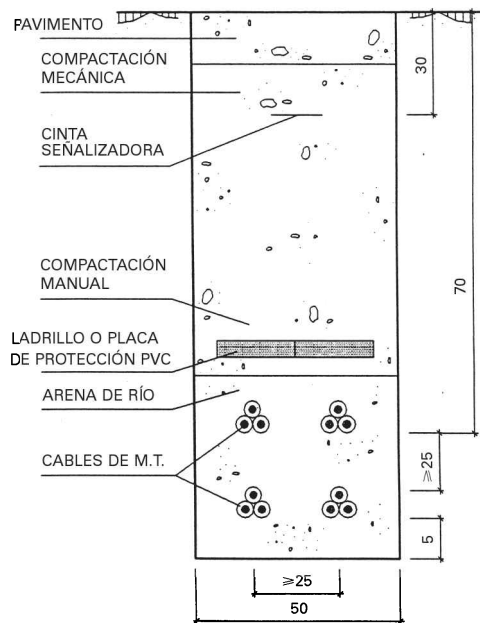
Figuras 2.78. Diferentes tipos de montajes subterráneos (continuación). Cruzamiento con vía pública.

Las canalizaciones podrán situarse en planos horizontales y/o verticales, pero separados unos de otros al menos 2 cm, siendo la separación entre canalizaciones y zanjas de 5 cm.

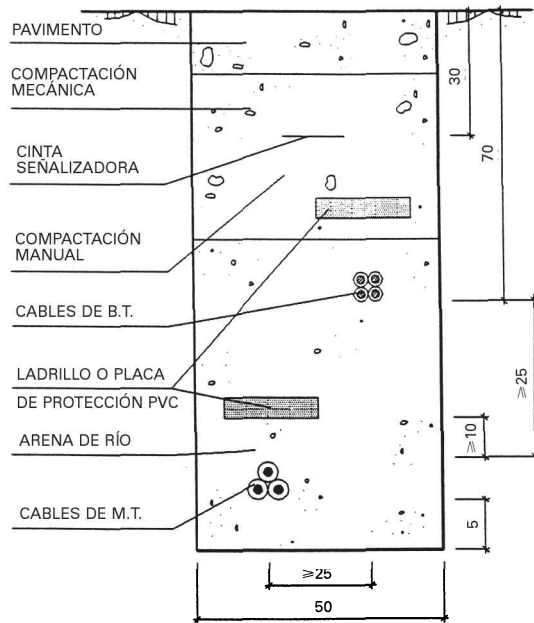
Las condiciones generales para cruzamientos, proximidades y paralelismos, de acuerdo con los artículos 32, 33, 34 y 35 del R.L.A.A.T.



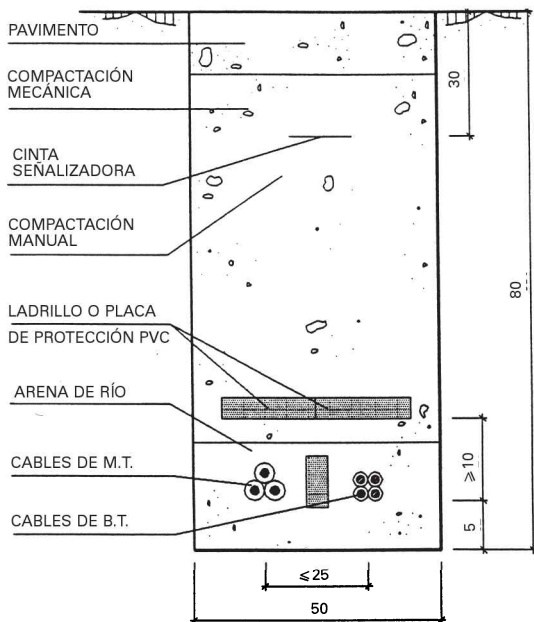
Figuras 2.79. Diferentes tipos de montajes subterráneos (continuación). Cruzamiento entre conductores.



Figuras 2.80. Diferentes tipos de montajes subterráneos (continuación). Paralelismo entre cables de M.T.



Figuras 2.81. Diferentes tipos de montajes subterráneos (continuación).
 Paralelismo con cables de B.T.



Figuras 2.82. Diferentes tipos de montajes subterráneos (continuación).
 Paralelismo con cables de B.T.

La unión de conductores se realizará por medio de empalmes como los reflejados en las Figuras 2.83 y 2.84.

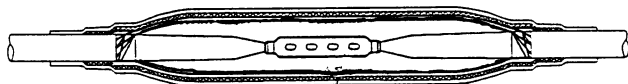


Figura 2.83. Empalme para cable seco unipolar.

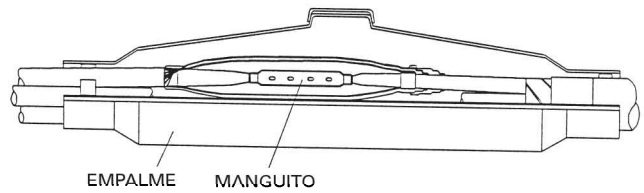


Figura 2.84. Empalme mixto (cables tripolares con cables unipolares).

2.5.4. Líneas con conductores aislados en media tensión. Montaje en galerías

Galerías: En este tipo de canalizaciones, los conductores irán colocados al aire libre, sobre bandejas o palomillas separadas como máximo 0,60 m y al abrigo de los rayos solares.

Las líneas cuyas tensiones son diferentes se dispondrán sobre soportes diferentes. Lo mismo que ocurre cuando se trata de líneas telefónicas o de telecomunicación.

Todos los conductores que compongan una línea deberán estar perfectamente señalizados a lo largo de todo su recorrido.

Todos los conductores deberán estar sujetos correcta y firmemente para evitar su desplazamiento al ser atravesados por las posibles corrientes de cortocircuito a las que pudieran estar sometidos.

Todas las galerías deberán estar dotadas de un correcto sistema de ventilación que sea capaz de evitar condensaciones producidas por la humedad, la acumulación de gases y a la vez que sea capaz de conseguir una buena disipación del calor.

En las Figuras 2.85 y 2.86 se reflejan las dimensiones que suelen tener las galerías de servicio, así como la colocación de los soportes y palomillas.

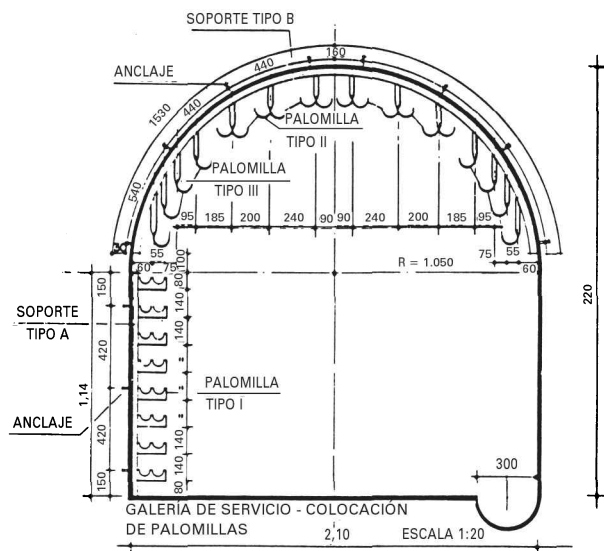


Figura 2.85. Galerías de Servicio.

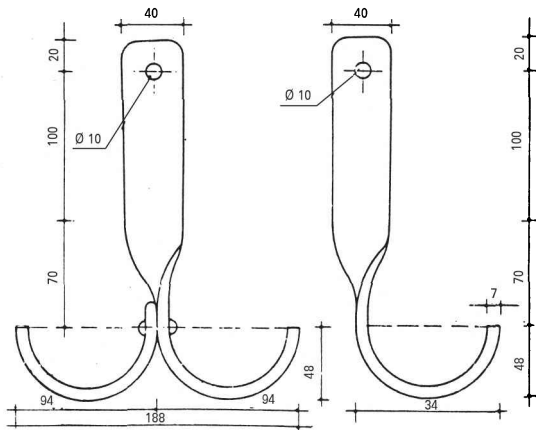


Figura 2.86. Galerías de Servicio. Detalle de palomillas tipos II y III.

2.5.5. Niveles de aislamiento para conductores y accesorios a instalar en redes trifásicas

Categoría de Redes. Según la duración máxima de un eventual funcionamiento con una fase a tierra, que el sistema de puesta a tierra permita, las redes se clasifican en tres categorías:

Categoría A: Los defectos a tierra se eliminan tan rápidamente como sea posible y en cualquier caso antes de 1 minuto.

Categoría B: Comprende las redes que, en caso de defecto, sólo funcionan con una fase a tierra durante un tiempo limitado.

Generalmente la duración de este funcionamiento no deberá exceder de 1 h, pero podrá admitirse una duración mayor cuando así se especifique en la norma particular del tipo de cable y accesorios considerados.

Nota: Conviene tener presente que en una red en la que un defecto a tierra no se elimina automáticamente y rápidamente, los esfuerzos suplementarios soportados por el aislamiento de los cables y accesorios durante el defecto reducen la vida de los cables y accesorios en una cierta proporción. Si se prevé que una red va a funcionar bastante frecuentemente con un defecto permanente, puede ser económico clasificar dicha red dentro de la categoría C.

Categoría C: Esta categoría comprende todas las redes no incluidas ni en la categoría A ni en la categoría B.

En la Tabla 2.16 se especifican las características mínimas de aislamiento de los cables y accesorios en función de las características de la red.

Siendo:

U_o = Tensión nominal eficaz a frecuencia industrial entre cada conductor y la pantalla del cable, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

U = Tensión nominal eficaz a frecuencia industrial entre dos conductores cualesquiera, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

Nota: Esta magnitud afecta al diseño de cables de campo no radial y a sus accesorios.

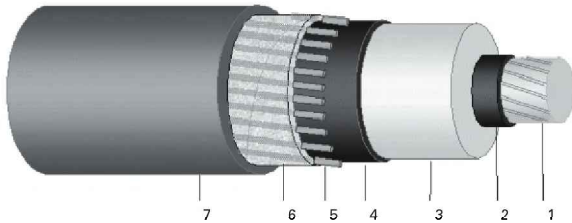
U_m = Tensión nominal eficaz a frecuencia industrial entre dos conductores cualesquiera, para la que se han di-

Tabla 2.16. Nivel de aislamiento de los cables en redes trifásicas de A.T.

Tensión Nominal de la red U (kV)	Red sistema trifásico		Cable a utilizar	
	Tensión más elevada del material U_m (kV)	Categoría de la red	U_o/U (kV)	U_p (kV)
10	12	A - B	6/10	75
		C		
15	17,5	A - B	8,7/15	95
		C		
20	24	A - B	12/20	125
		C		
25	30	A - B	15/25	145
		C		
30	36	A - B	18/30	170
		C		
45	52	A - B	26/45	250
		C		
66	72,5	A - B	36/66	325

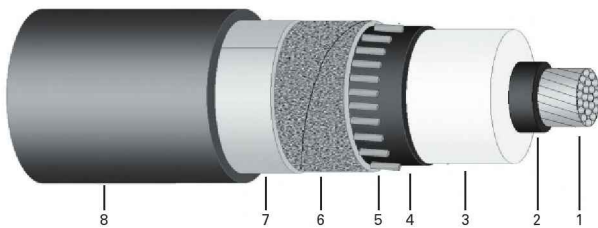


Cable 0,61/1 kV - Aluminio (Voltalene flamex)



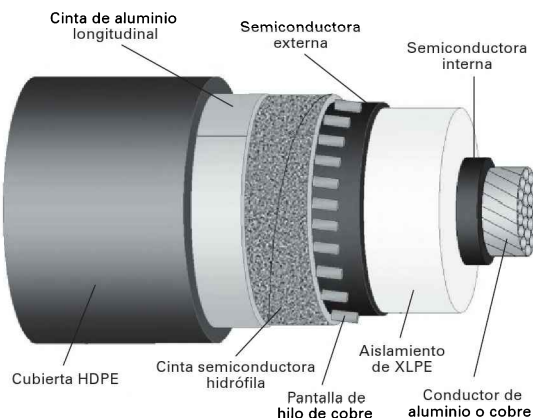
1. Conductor de aluminio o cobre
2. Semiconductora interna
3. Aislamiento etileno propileno de alto módulo (HEPR)
4. Semiconductora externa
5. Pantalla metálica hilos de cobre
6. Separador de cinta
7. Cubierta exterior poliolefina termoplástica, Z1

Cable 12/20 y 18/30 kV - HEPRZ1 (Eprotenax H)



1. Conductor de aluminio o cobre
2. Semiconductora interna
3. Aislamiento XLPE
4. Semiconductora externa
5. Pantalla metálica hilos de cobre
6. Estanqueidad longitudinal al agua (tela hinchante)
7. Protección radial al agua, cinta de aluminio
8. Cubierta exterior

Cable 26/45 y 33/66 kV - (Voltarene H)



Cable 130/220 kV - (Voltarene Composite)

Figura 2.87. Diversos tipos de cables para baja y alta tensión.

señado el cable y sus accesorios. Es el valor eficaz más elevado de la tensión que puede ser soportado permanentemente en condiciones normales de explotación en cualquier instante y en cualquier punto de la red. Excluye las variaciones temporales de tensión debidas a condiciones de defecto o a la supresión brusca de cargas importantes, así como las variaciones transitorias.

U_p = Tensión de cresta de la tensión soportada a impulsos tipo rayo aplicada entre cada conductor y la pantalla o la cubierta para el que se ha diseñado el cable o los accesorios.

2.5.6. Intensidades nominales y de cortocircuito admisibles en los conductores y en pantallas

Es la intensidad que no provoca ninguna disminución de las características de aislamiento de los conductores, incluso después de un número elevado de cortocircuitos.

Se la calcula admitiendo que el calentamiento de los conductores se realiza en un sistema adiabático y para una temperatura máxima admitida por el aislamiento de 250 °C.

En la Tabla 2.17 se indican las intensidades de cortocircuito admisibles en los cables seleccionados, para diferentes tiempos de duración del cortocircuito.

En la Tabla 2.18 se indican, a título orientativo, las intensidades admisibles en las pantallas metálicas, en función del tiempo de duración del cortocircuito.

Esta Tabla corresponde a un proyecto de cable con las siguientes características técnicas:

- Pantalla de hilos de cobre de 0,75 mm de \varnothing , colocada superficialmente sobre la capa semiconductora exterior (alambre no embebidos).
- Cubierta exterior de poliolefina (Z1).
- Temperatura inicial de la pantalla: 70 °C.
- Temperatura final de la pantalla: 180 °C.

El cálculo se ha realizado siguiendo la guía de la norma UNE 21193, aplicando el método indicado en la norma UNE 21192.

2.5.7. Líneas aéreas con conductores desnudos en baja tensión

Hoy en día este tipo de línea está en desuso, debido a la posibilidad de electrocución de las personas y por los problemas medioambientales que nos pueden crear, además de por el aspecto físico y estético que representan los conductores al estar desnudos en una urbe.

Tabla 2.17. Intensidades de cortocircuitos admisibles en conductores aislados para 20 kV

		150	44,7	31,9	25,8	19,9	14,1	11,5	9,9	8,8	8,1
HEPR	12/20	240	71,5	51,1	41,2	31,9	22,5	18,4	15,8	14,1	12,9
	18/30	400	119,2	85,2	68,8	53,2	37,6	30,8	26,4	23,6	21,6

Tabla 2.18. Intensidades de cortocircuitos admisibles en pantallas de cobre instaladas en conductores aislados para 20 kV

25	11.965	8.690	7.245	5.795	4.350	3.715	3.340	3.090	2.900
----	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Las características técnicas de los conductores normalizados para este tipo de montaje se reflejan en la Tabla 2.19, siendo éstos del tipo de Aluminio comprimido.

Tabla 2.19. Características técnicas de los conductores desnudos para Baja Tensión

Sección del conductor en mm ² .	33,0	65,2	91,6
Diámetro nom del conductor en mm.	6,72	9,45	11,20
Resistencia a 20 °C (Ω/km).	0,867	0,438	0,312
Resistencia a 50 °C (Ω/km).	0,972	0,491	0,350
Composición.	1/6	1/6	1/6
Carga de rotura en kg.	563	1.037	1.420
Peso del cable en kg/m.	0,090	0,178	0,250
Módulo elástico en kg/mm ² .	6.000	6.000	6.000
Coefficiente de dilatación.	23x10 ⁻⁶	23x10 ⁻⁶	23x10 ⁻⁶

Las resistencias a 50 °C se han obtenido de la expresión:

$$R_{50} = R_{20} [1 + \alpha (50 - 20)]$$

siendo:

$$\alpha = 4,03 \times 10^{-3}$$

Las intensidades máximas admisibles para estos cables son:

- LC-28 = 153 A
- LC-56 = 238 A
- LC-80 = 297 A

REACTANCIA:

- LC-28 = 0,341 Ω/km
- LC-56 = 0,320 Ω/km
- LC-80 = 0,309 Ω/km

La caída de tensión, en función del momento eléctrico P.L., expresada en kW × km, es la que se deduce de la expresión:

$$e\% = \frac{P \cdot L}{U^2 \cdot \cos \varphi} m \cdot (R_{50} \cos \varphi + \text{sen } \varphi)$$

Si hacemos:

$$M_1 = \frac{1}{10^5} \times \frac{U^2}{R_{50} + X \text{ tg } \varphi}$$

resulta:

$$e\% = \frac{P \cdot L}{M_1}$$

donde:

- P = kilovatios
- U = voltios
- L = kilómetros
- R = Ω/km
- X = Ω/km
- e% = caída de tensión

Calculando M₁ para los distintos conductores y factores de potencia, se obtienen los siguientes valores, expresados en kW·km.

Tabla 2.20. Caída de tensión en los conductores en función del cos φ de la instalación

0,70	1,09	1,76	2,15
0,75	1,13	1,86	2,30
0,80	1,17	1,97	2,47
0,85	1,22	2,09	2,65
0,90	1,27	2,23	2,88
0,95	1,33	2,42	3,19
1,00	1,49	2,94	4,13

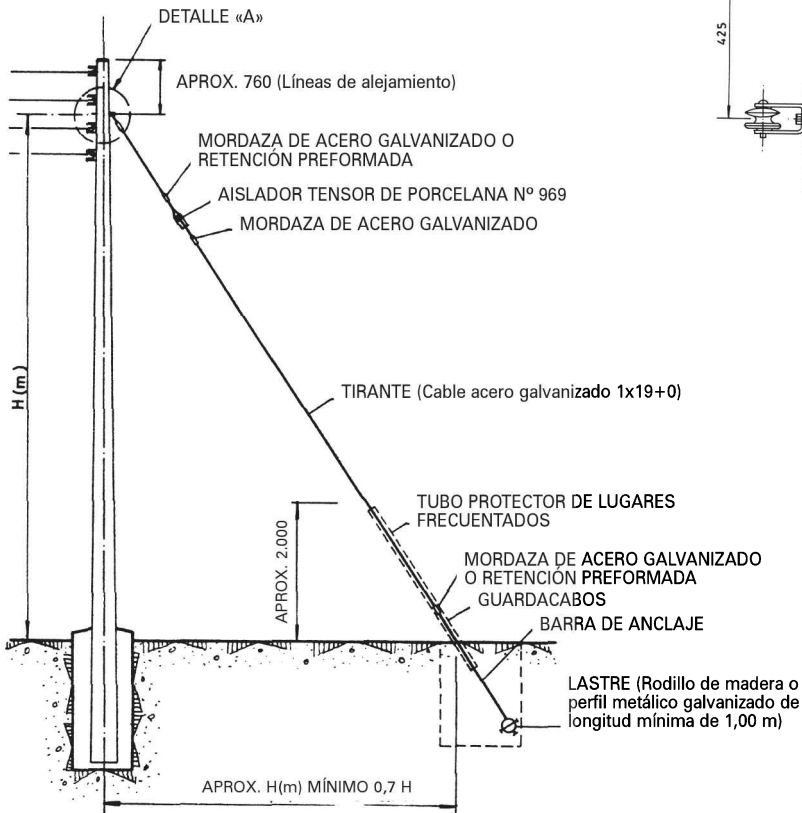
Las pérdidas de potencia, en función del momento eléctrico P.L., expresado en kW × km, se obtiene de la fórmula

$$p\% = \frac{10^5 \cdot P \cdot L \cdot R_{50}}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi}$$

siendo:

- $R_{50} = \Omega/\text{km}$
- $P = \text{kW}$
- $U = \text{voltios}$
- $L = \text{km}$

CONJUNTO DE APOYO CON TIRANTE



GUARDACABOS ACERO FORJADO GALVANIZADO

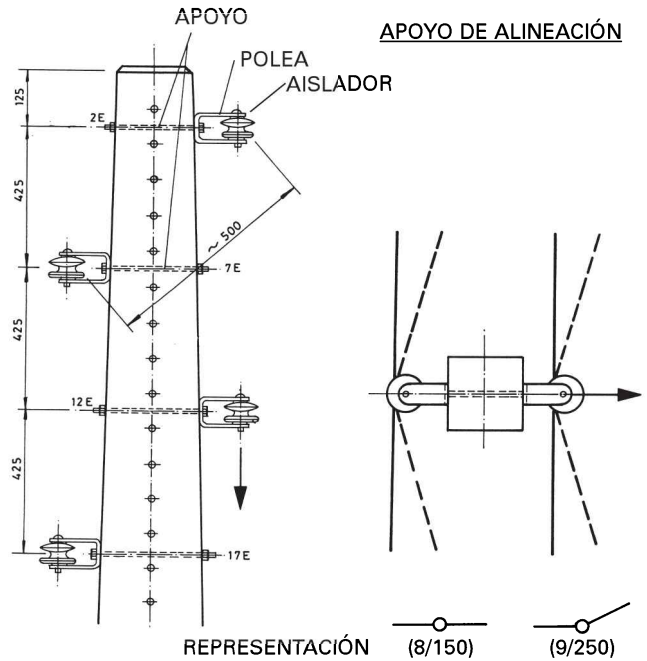
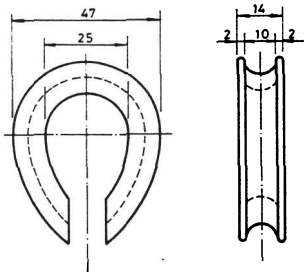
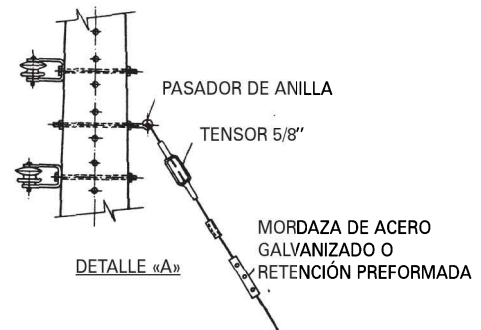
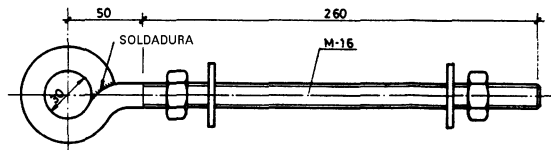


Figura 2.88. Apoyo de alineación.



PASADOR DE ANILLA



BARRA DE ANCLAJE, ACERO GALVANIZADO

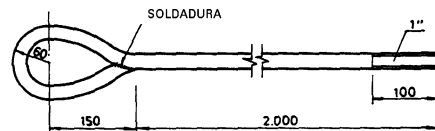
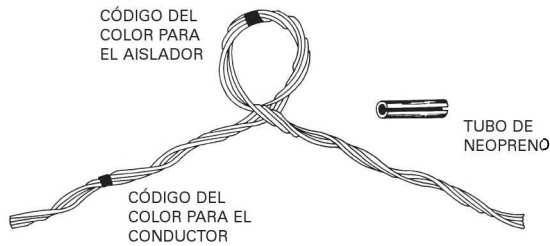


Figura 2.89. Apoyo de hormigón arriostrado.

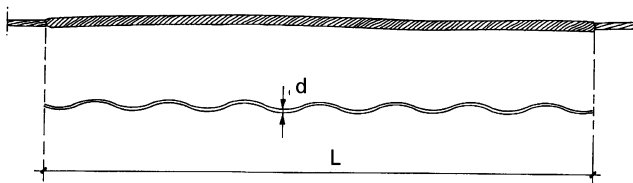
Retenciones de alineación para aisladores tipo PV-1 y PDV-2



Retenciones terminales



Empalmes exteriores para tensión completa



2.5.8. Líneas aéreas con conductores aislados trenzados en baja tensión

Hoy casi todas las instalaciones se realizan con este tipo de conductores cuyo aislamiento suele estar realizado con Polietileno Reticulado (RV) o Polietileno Clorosulfonado y designación:

- RZ 0,6/1 kV 3 × 25 Al/29,5 alm.
- RZ 0,6/1 kV 3 × 50 Al/29,5 alm.
- RZ 0,6/1 kV 3 × 95 Al/54,6 alm.
- RZ 0,6/1 kV 3 × 150Al/80 alm.

Sus características técnicas están reflejadas en la Tabla 2.21.

No se deben utilizar en instalaciones enterradas ni empotradas.

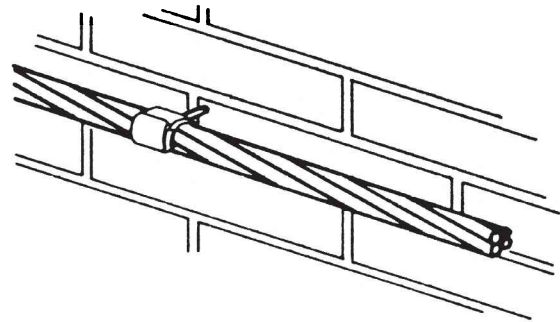


Figura 2.90. Retenciones preformadas.

Tabla 2.21. Conductores trenzados en haz. Características

Sección del Aluminio (mm ²)	25	50	95	150
Sección del Almelec (mm ²)	29,5	29,5	54,6	80
Formación del Aluminio (n.º × Ø mm)	7 × 2,14	19 × 1,78	19 × 2,52	37 × 2,25
Formación del Almelec (n.º × Ø mm)	7 × 2,32	7 × 2,32	7 × 3,15	19 × 2,31
Aislamiento	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE
Diámetro del haz (mm)	27,1	32,1	44,0	51,0
Peso del haz (kg/km)	425	640	1.260	1.700
Carga de rotura del Almelec (daN/m)	870	870	1.660	2.000
Resistencia óhmica a 20 °C (Ω/km)	1,200	0,641	0,320	0,206
Resistencia óhmica a 50 °C (Ω/km)	1,345	0,718	0,359	0,231
Reactancia inductiva (Ω/km)	0,100	0,100	0,100	0,100
Módulo de elasticidad del Almelec (daN/mm ²)	6.200	6.200	6.200	6.200
Coefficiente de dilatación del Almelec	23 × 10 ⁻⁶	23 × 10 ⁻⁶	23 × 10 ⁻⁶	23 × 10 ⁻⁶
Intensidad admisible a 40 °C	100	150	230	305
Intensidad admisible a 50 °C	90	135	207	274
Norma	UNE 21030:2003			

Cálculo eléctrico

La resistencia del conductor, en ohmios por kilómetro, varía con la temperatura **T** de funcionamiento de la línea. Se adopta el valor correspondiente a **T = 50 °C** que viene determinado de la expresión:

$$R_{50} = R_{20} [1 + \alpha(50 - 20)]$$

siendo:

$\alpha = 0,00403$ para el aluminio y $\alpha = 0,0036$ para el almelec.

La resistencia lineal máxima a 20 °C del neutro portante de 54,6 mm² de almelec es 0,630 Ω/km, valor que corresponde, aproximadamente, a la resistencia lineal de un conductor de 50 mm² de aluminio.

La Tabla 2.22 indica la resistencia lineal de los conductores normalizados.

Tabla 2.22. Valores de la resistencia lineal de los conductores normalizados en función de la temperatura

Sección	20 °C	50 °C	75 °C	100 °C
25 Al	1,200	1,297	1,345	1,538
50 Al	0,641	0,693	0,718	0,822
95 Al	0,320	0,346	0,359	0,410
150 Al	0,206	0,223	0,231	0,264
29,5 Alm	1,150	1,232	1,274	1,439
54,6 Alm	0,630	0,675	0,676	0,789
80,0 Alm	0,430	0,461	0,476	0,538

Reactancia

La reactancia **X** del conductor, en ohmios por kilómetro, varía con el diámetro y la separación entre los conductores.

En el caso de conductores aislados trenzados en haz, la reactancia es sensiblemente constante. Se adopta el valor **X = 0,1 Ω/km**, que puede introducirse en los cálculos sin error apreciable.

Intensidad máxima admisible

El valor de la intensidad **I** que puede circular en régimen permanente, sin provocar un calentamiento exagerado del conductor, depende de la **S** y de la temperatura **T**, de funcionamiento de la línea.

Para la ejecución de proyectos se tomarán los valores indicados en la Tabla 2.23.

Intensidad máxima de cortocircuito

Es la intensidad que no provoca ninguna disminución de las características mecánicas de los conductores, incluso des-

Tabla 2.23. Valores de la Intensidad máxima admisible de los conductores en función del cos φ

Sección en mm ²	Intensidad máx. admisible a 50 °C (A).	Potencias máximas en kW U = 400/230 V			
		Cos φ = 1	Cos φ = 0,9	Cos φ = 0,85	Cos φ = 0,8
25	80	10,8	10,8	10,8	10,8
50	127	16,2	16,2	16,2	16,2
95	207	27,3	27,3	27,3	27,3
150	274	36,5	36,5	36,5	36,5

pués de un número elevado de cortocircuitos. Se la calcula admitiendo que el calentamiento de los conductores se realiza en un sistema adiabático y para una temperatura máxima admitida por el aislamiento de 250 °C.

La intensidad máxima de cortocircuito para un conductor de sección **S** viene determinada por la expresión:

$$I_{cc} = 93 \cdot S \cdot \sqrt{\frac{1}{t}}$$

siendo:

t = Tiempo en segundos.
S = Sección en mm².

Tabla 2.24. Intensidades de cortocircuito admisible para cables trenzados en haz aislados con polietileno reticulado (RV) o (XLPE), en amperios

Sección	20 °C	50 °C	75 °C	100 °C	125 °C	150 °C	175 °C	200 °C	225 °C
25	7.352	5.199	4.245	3.288	2.325	1.898	1.644	1.470	1.342
50	14.704	10.396	8.490	6.576	4.650	3.797	3.288	2.941	2.684
95	27.938	19.756	16.130	12.494	8.835	7.214	6.247	5.587	5.100
150	44.113	31.194	25.469	19.728	13.950	11.390	9.864	8.822	8.053
Densidad en A/mm ²	294	208	170	132	93	76	66	59	54

Factor de potencia

Para los proyectos pueden admitirse sin error importante los valores cos φ = 0,8 y cos φ = 0,9, que corresponde a un reparto normal de la energía para alumbrado y suministros industriales en zonas urbanas y rurales, respectivamente.

Caída de tensión

En general el cálculo se fundamentará en la caída de tensión **e**, que deberá ser inferior al 5%.

La siguiente expresión nos da la c.d.t. entre fases para circuitos trifásicos, con una aproximación muy suficiente:

$$e = 10^3 \frac{R + X \operatorname{tag} \varphi}{U} P \cdot L$$

Y la c.d.t. relativa en tanto por ciento:

$$\Delta_e = 10^2 \frac{e}{U} = 10^5 \frac{P \cdot L \cdot (R + X \operatorname{tag} \varphi)}{U^2}$$

siendo:

R = Resistencia del conductor en Ω/km .

X = Reactancia del conductor en Ω/km .

Al producto $M = P \cdot L$ se lo denomina momento eléctrico de la carga trifásica equilibrada P (en kW), situada a la distancia L (en km) del origen de la energía y viene expresada en $\text{kW} \times \text{km}$.

El momento eléctrico de una potencia P uniformemente repartida a lo largo de una línea de longitud L es:

$$M = \frac{P \cdot L}{2}$$

Pérdida de potencia

Las pérdidas de potencia, en función del momento eléctrico $P \cdot L$, expresado en $\text{kW} \times \text{km}$, son las que se deducen de la expresión:

$$p\% = 10^5 \frac{R_{50} \cdot P \cdot L}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi}$$

en la que:

P = Potencia en kW.

R_{50} = Resistencia del conductor a 50°C en Ω/km .

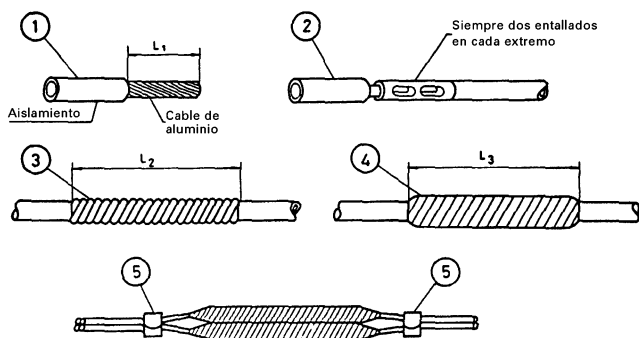
U = Tensión entre fases de la red en voltios.

L = Longitud en km.

En función del tipo de montaje las líneas de distribución realizadas con conductores aislados trenzados en haz pueden ser:

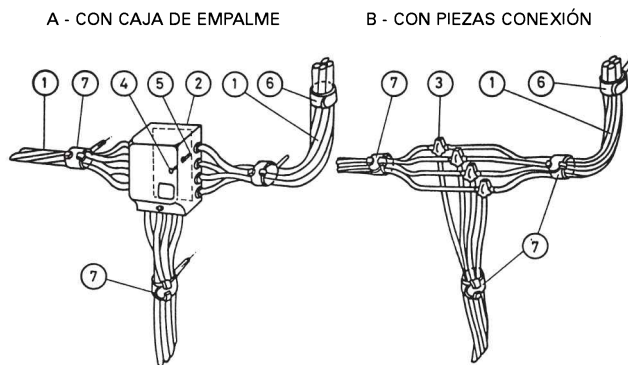
- Red posada sobre fachadas.
- Red posada en red existente.
- Red tensada sobre apoyos.

En las siguientes figuras se reflejan los distintos componentes y la forma de llevar a cabo dichos montajes:



1. Cable - 2. Manguito empalme - 3. Cinta goma autovulcanizable - 4. Cinta adhesiva PVC - 5. Abrazadera de suspensión.

Figura 2.91. Empalmes de red trenzada sin tracción mecánica.



1. Cable - 2. Caja derivación completa - 3. Piezas conexión - 4. Tornillo rosca madera - 5. Taco - 6. Soporte con brida. Normal o larga - 7. Abrazadera de suspensión

Figura 2.92. Disposición empalme derivación.

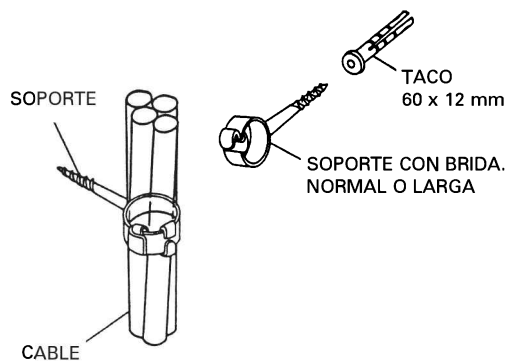
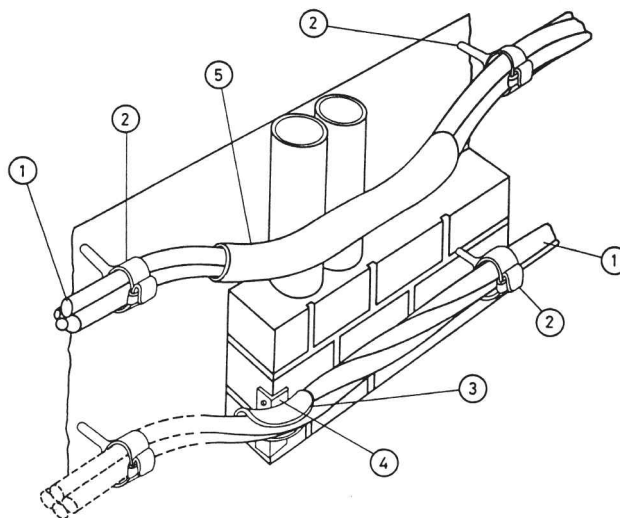


Figura 2.93. Fijación normal sobre fachada.



1. Cable - 2. Soporte con brida. Normal o larga - 3. Soporte de protección contra esquinas - 4. Fijación sobre fachada - 5. Cubierta protectora de 350 mm longitud.

Figura 2.94. Disposición protección contra esquinas o servicios.

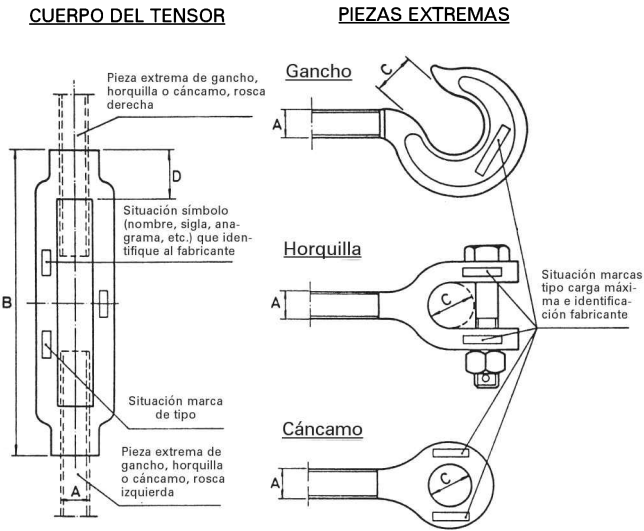
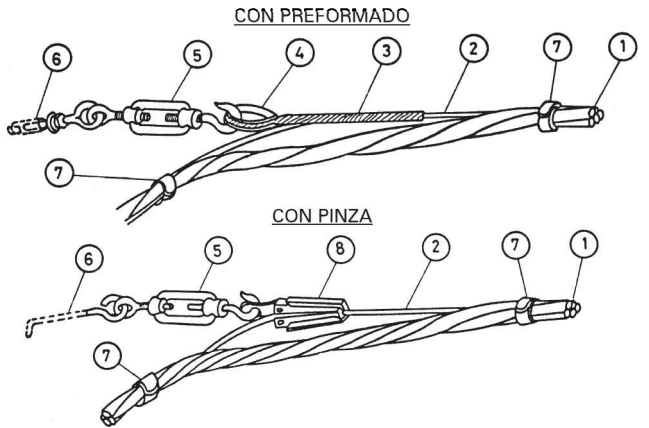
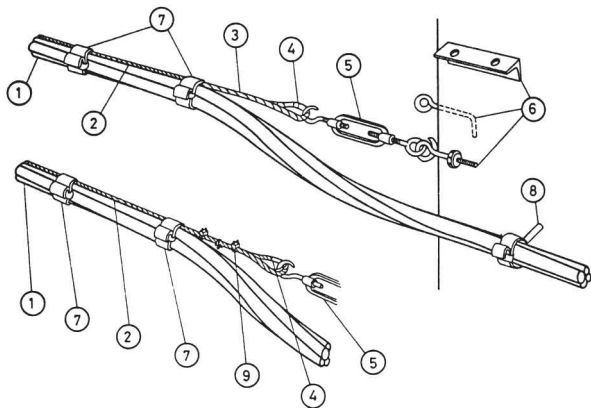


Figura 2.95. Tensores.



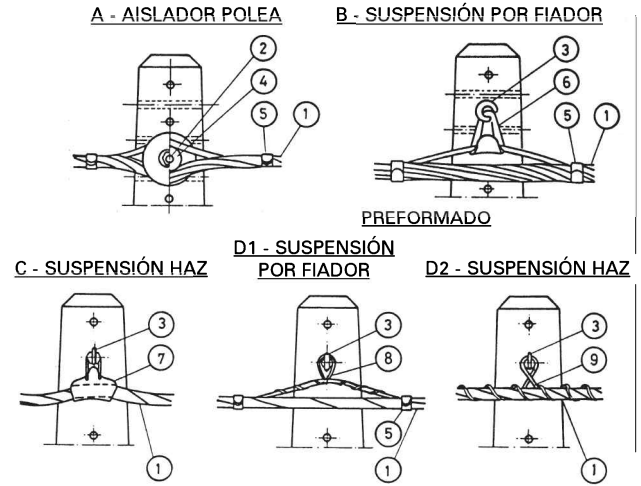
1. Cable - 2. Cable de acero - 3. Retención de anclaje preformado. 4. Guardacabo - 5. Tensor - 6. Dispositivo de amarre - 7. Abrazaderas - 8. Pinza.

Figura 2.96. Disposición amarre sencillo. Neutro fiador sobre fachada.



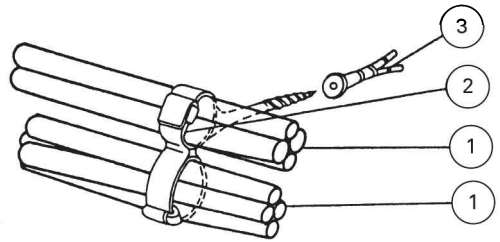
1. Cable - 2. Cable de acero 21,6 mm² - 3. Retención anclaje preformada - 4. Guardacabos 3/8" - 5. Tensor - 6. Dispositivo de amarre sobre fachada - 7. Abrazadera de suspensión - 8. Soporte con brida. Normal o larga - 9. Sujetacables 3/8".

Figura 2.97. Disposición amarre sencillo. Fiador sobre fachada.



1. Cable - 2. Tornillo y tuerca M12x220 - 3. Anclaje poste, cerrado abierto - 4. Polea de apoyo - 5. Abrazadera de suspensión - 6. Soporte suspensión fiador - 7. Soporte suspensión haz - 8. Soporte preformado suspensión fiador - 9. Soporte preformado suspensión haz.

Figura 2.98. Disposición suspensión en apoyo red tensada.



1. Cable. - 2. Abrazadera doble. - 3. Taco 60 x 12 mm.

Figura 2.99. Disposición lineal doble posada.

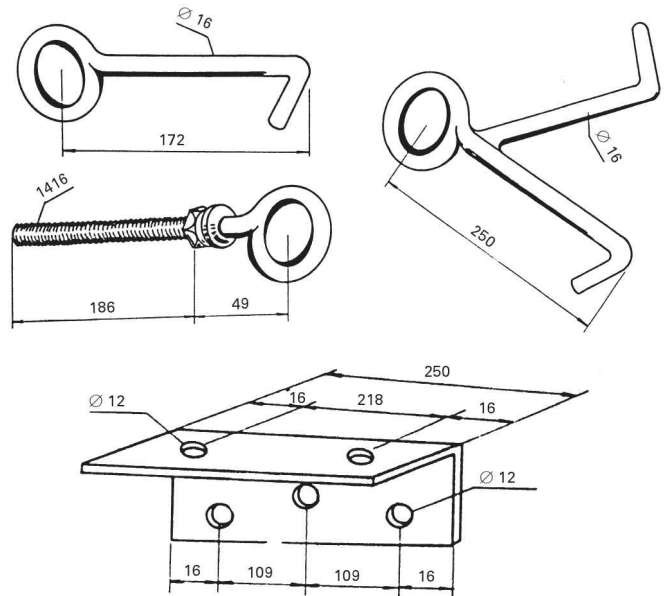
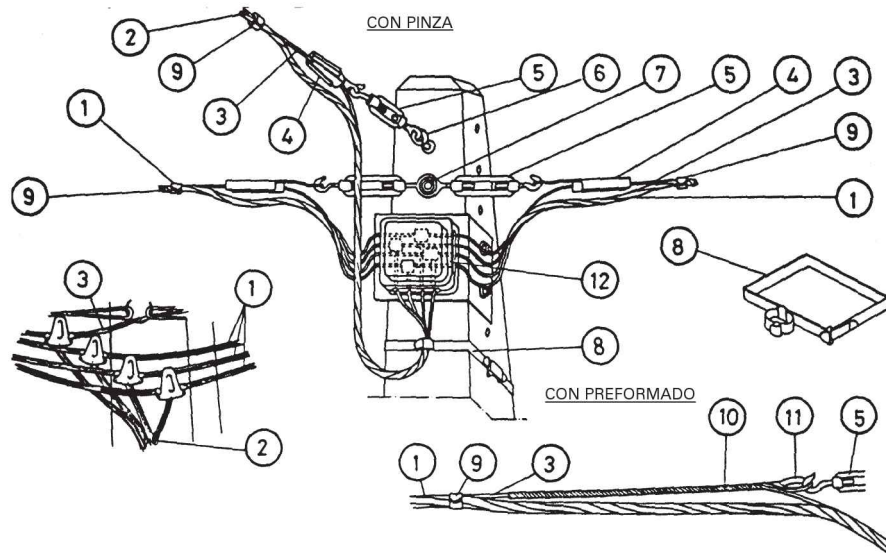
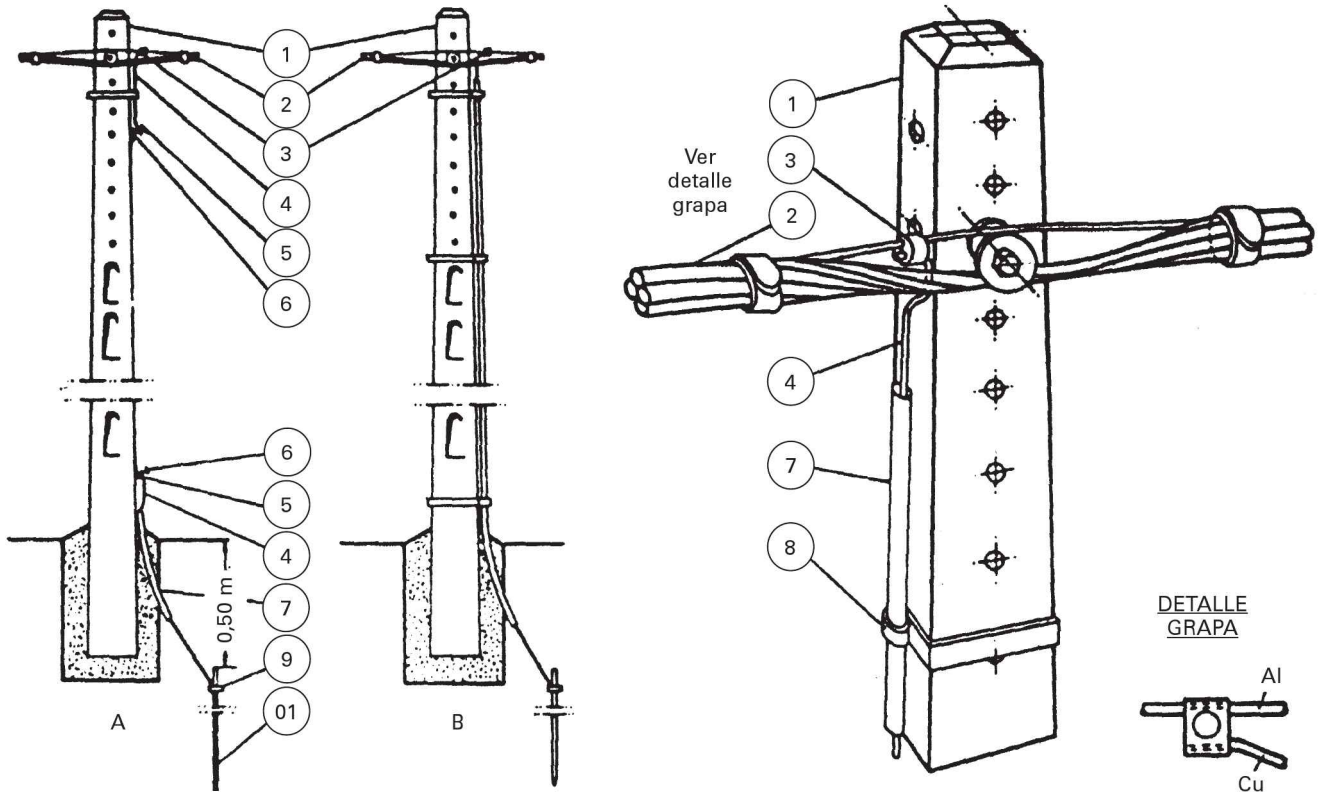


Figura 2.100. Dispositivos anclaje sobre fachada.



1. Cable principal - 2. Cable derivación - 3. Neutro ALMELEC o fiador - 4. Pinza de amarre - 5. Tensor 3/8" - 6. Anclaje poste anilla cerrada o abierta - 7. Tornillo M 16 x 220 c/tuerca - 8. Abrazadera poste y cable - 9. Abrazaderas de suspensión - 10. Preformado de amarre - 11. Guardacabos 3/8" - 12. Caja derivación completa.

Figura 2.101. Disposición amarre derivación sobre apoyo red tensada.



1. Apoyo - 2. Cable - 3. Grapa conexión toma tierra - 4. Cable Cu desnudo de 50 mm² - 5. Terminal 50 mm² - 6. Tornillo M10 x 25 c/tuerca y arandela - 7. Tubo protección cable tierra - 8. Abrazadera poste y cable - 9. Grapa o soldadura - 10. Electrodo.

Figura 2.102. Disposición toma de tierra.

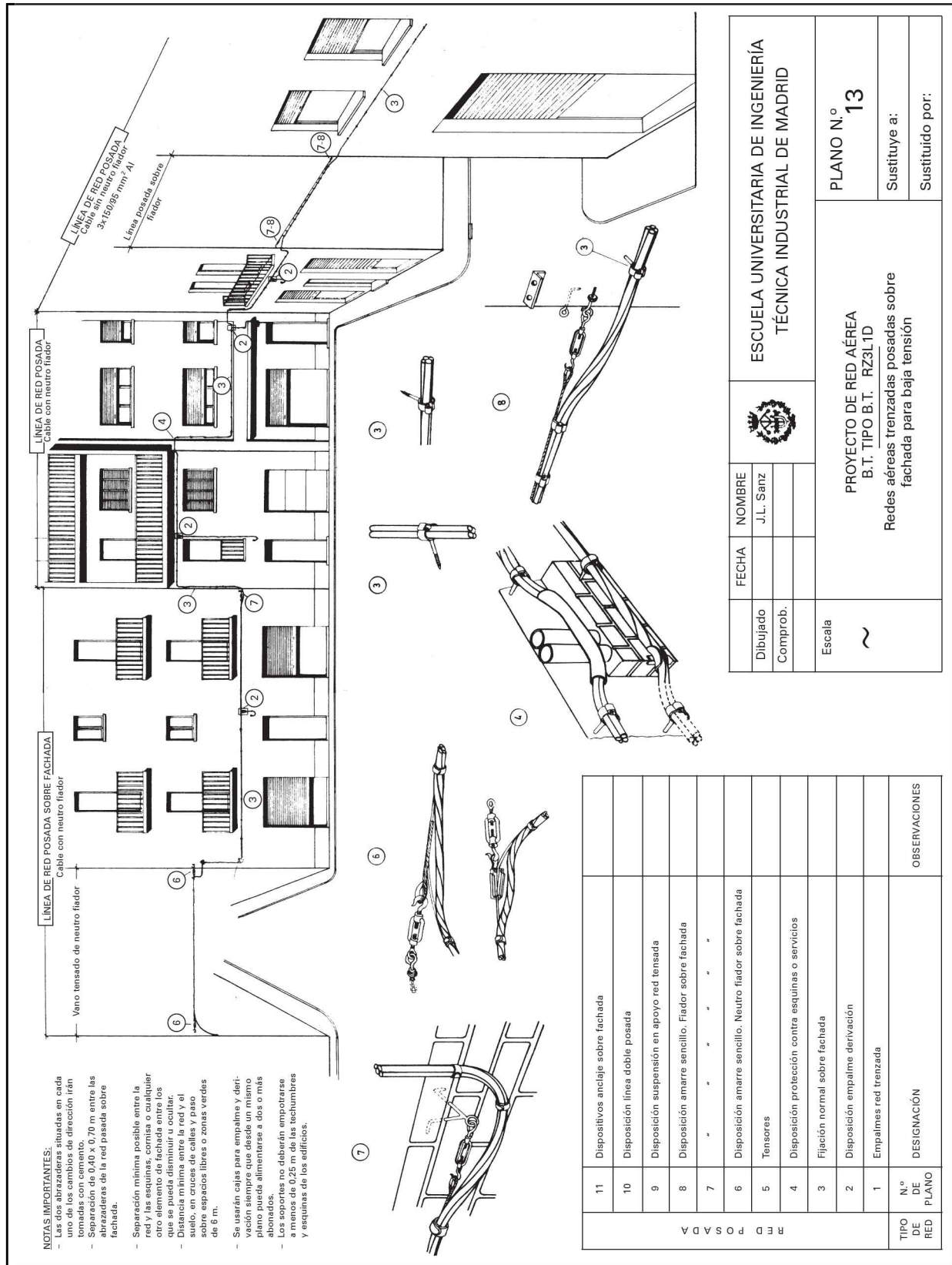


Figura 2.103. Redes aéreas trenzadas posadas sobre fachadas para Baja Tensión.



2.5.9. Líneas subterráneas con conductores aislados en baja tensión

Los conductores que se utilizarán serán unipolares de Aluminio, compactos de sección circular de varios alambres cableados y de 0,6/1 kV de U_n , siendo las características principales de los mismos las reflejadas en la Tabla 2.25.

Tabla 2.25. Características técnicas de los conductores unipolares de aluminio tipo XLPE (RV) de 0,6/1 kV

Sección transversal (mm ²)	50	95	150	240
Ø exterior aproximado (mm)	13,7	17,8	21,8	27,1
Cuerda en mm	Mínimo	7,7	11,0	13,9
	Máximo	8,6	12,0	15,0
N.º mín. alambres del conductor	6	15	15	30
Int. adm. Enterrado a 25 °C (A)	180	260	330	430
Int. adm. al aire a 40 °C (A)	140	220	300	420
Int. adm. cc 0,5 S (kA)	6,60	12,54	19,80	31,68
R. máx. conductor 20 °C (Ω/km)	0,640	0,320	0,206	0,125
R. máx. conductor 90 °C (Ω/km)	0,819	0,409	0,263	0,160
Reactancia líneas X_L (Ω/km)	0,107	0,100	0,098	0,094
c.d.t. $\cos \varphi = 0,8$ V/A x km	1,23	0,65	0,45	0,31
Peso aprox. (kg/km)	247	434	646	1.008
Espesor nom. Aislamiento (mm)	1,0	1,1	1,4	1,7
Espesor nom. Cubierta (mm)	1,4	1,5	1,6	1,7

2.5.9.1. Protección de sobreintensidad

Con carácter general, los conductores se protegerán por medio de Interruptores Automáticos magnetotérmicos o por fusibles. Si se utilizan fusibles serán de clase g_1 (antiguamente se los denominaba gt) según Norma UNE 21 103. Se indican en la Tabla 2.26 las intensidades nominales de los mismos.

Cuando se produzca un cambio de sección se colocará, en general, la protección adecuada para la evolución de intensidad admisible.

Tabla 2.26. Intensidades nominales en función de la sección de los conductores tipo RV 0,6/1 kV

50	125
95	160
150	200
240	315

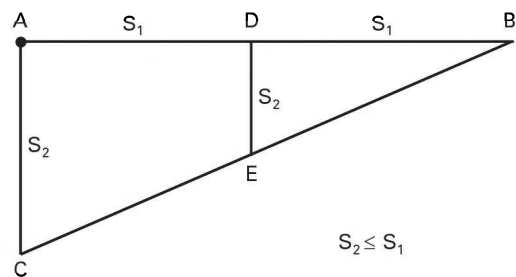
Se podrá disponer la protección por fusible en un punto situado antes si se protege efectivamente la derivación contra cortocircuitos. Se tendrán en cuenta las longitudes que realmente protegen los fusibles g_L de acuerdo con la Tabla 2.27.

Tabla 2.27. Longitudes máximas protegidas por fusible en función de la sección de los conductores tipo XLPE de 0,6/1 kV (de acuerdo con la MT 2.51.01 - IBERDROLA, S.A.)

4 x 50	190	155	115	—	—	—
3 x 95 + 1 x 50	255	205	155	120	—	—
3 x 150 + 1 x 95	470	380	285	215	165	—
3 x 240 + 1 x 150	—	605	455	345	260	195

Estas longitudes se refieren a una sección homogénea. En casos de cambio de sección se puede emplear el método del triángulo para hallar si la derivación queda protegida por un determinado fusible.

En el gráfico se desarrolla el método a seguir:



Siendo:

- A = Origen de la instalación. Situación del fusible.
- AB = Longitud máxima de cable de sección S_1 , protegido por el fusible en A, según la Tabla 2.26.
- AC = Longitud máxima del cable de sección S_2 , protegido por el fusible A, según la Tabla 2.26.
- AD = Longitud real del cable principal, entre el fusible A y el punto de derivación D.
- DE = Longitud máxima del cable derivado en D.

El valor real de la longitud de la derivación tiene que ser igual o menor que DE. Caso contrario, se volverá a efectuar una composición análoga, bien con fusible de intensidad nominal menor o bien con una sección (S_1 o S_2) mayor. Se pueden conjugar ambas posibilidades.

Intensidades de cortocircuito admisible en los conductores

Como ya se explicó en el apartado 2.5.8, es la intensidad que no provoca ninguna disminución de las características de aislamiento de los conductores.

En la Tabla 2.28 se indican las intensidades de cortocircuito admisibles en los cables seleccionados, para diferentes tiempos de duración del cortocircuito.

Tabla 2.28. Intensidades de cortocircuito admisible para cables unipolares de polietileno reticulado (RV) o (XLPE) en kA para conductores de aluminio

en mm ²									
50	14,70	10,15	8,50	6,60	4,65	3,80	3,30	2,95	2,70
95	27,93	19,29	16,15	12,54	8,84	7,22	6,27	5,61	5,13
150	44,10	30,45	25,50	19,80	13,95	11,40	9,90	8,85	8,10
240	70,56	48,72	40,80	31,68	22,32	18,24	15,84	14,16	12,96
Densidad en A/mm ²	294	208	170	132	93	76	66	59	54

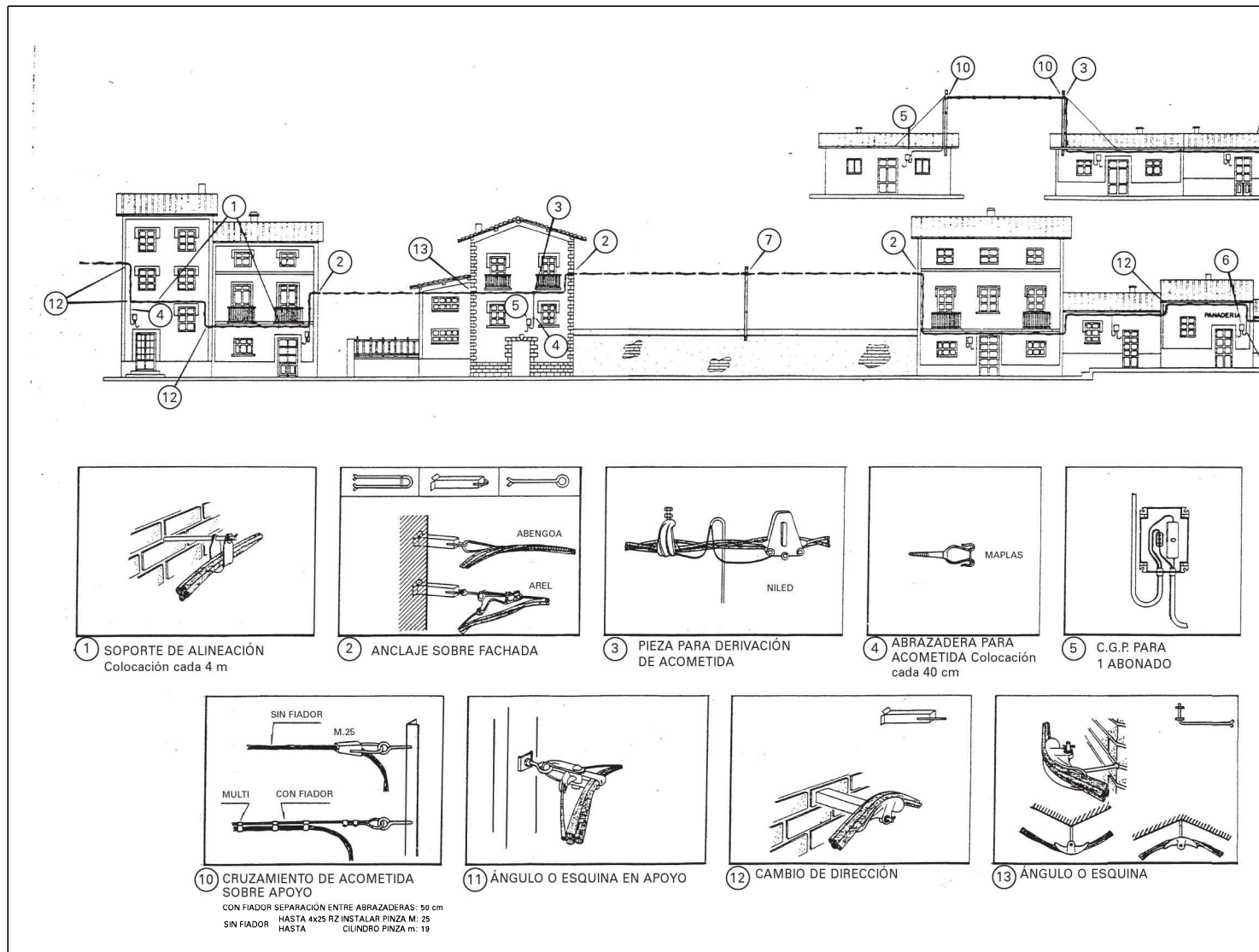


Figura 2.104. Redes aéreas tensadas sobre fachada para Baja Tensión.

Caída de tensión

La caída de tensión que se produce en la línea para una determinada sección va en función de la potencia, longitud y el $\cos \varphi$; en la Tabla 2.29 se reflejan las mismas, siendo la máxima permitida del 5%.

La potencia máxima a transportar se refleja en la Tabla 2.30.

Pérdida de potencia

La pérdida de potencia que tendremos en la línea se refleja en la Tabla 2.31.

Los diferentes tipos de montaje se reflejan en las Figuras 2.106 a 2.111 que se dan a continuación.

Tabla 2.29. Caídas de tensión en la línea en las diferentes secciones

Sección mm^2	Caída de tensión ($\Delta e\%$)		
	$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi = 0,9$	$\cos \varphi = 0,8$
50	0,514 P.L	0,545 P.L	0,563 P.L
95	0,256 P.L	0,286 P.L	0,303 P.L
150	0,165 P.L	0,195 P.L	0,211 P.L
240	0,100 P.L	0,128 P.L	0,144 P.L

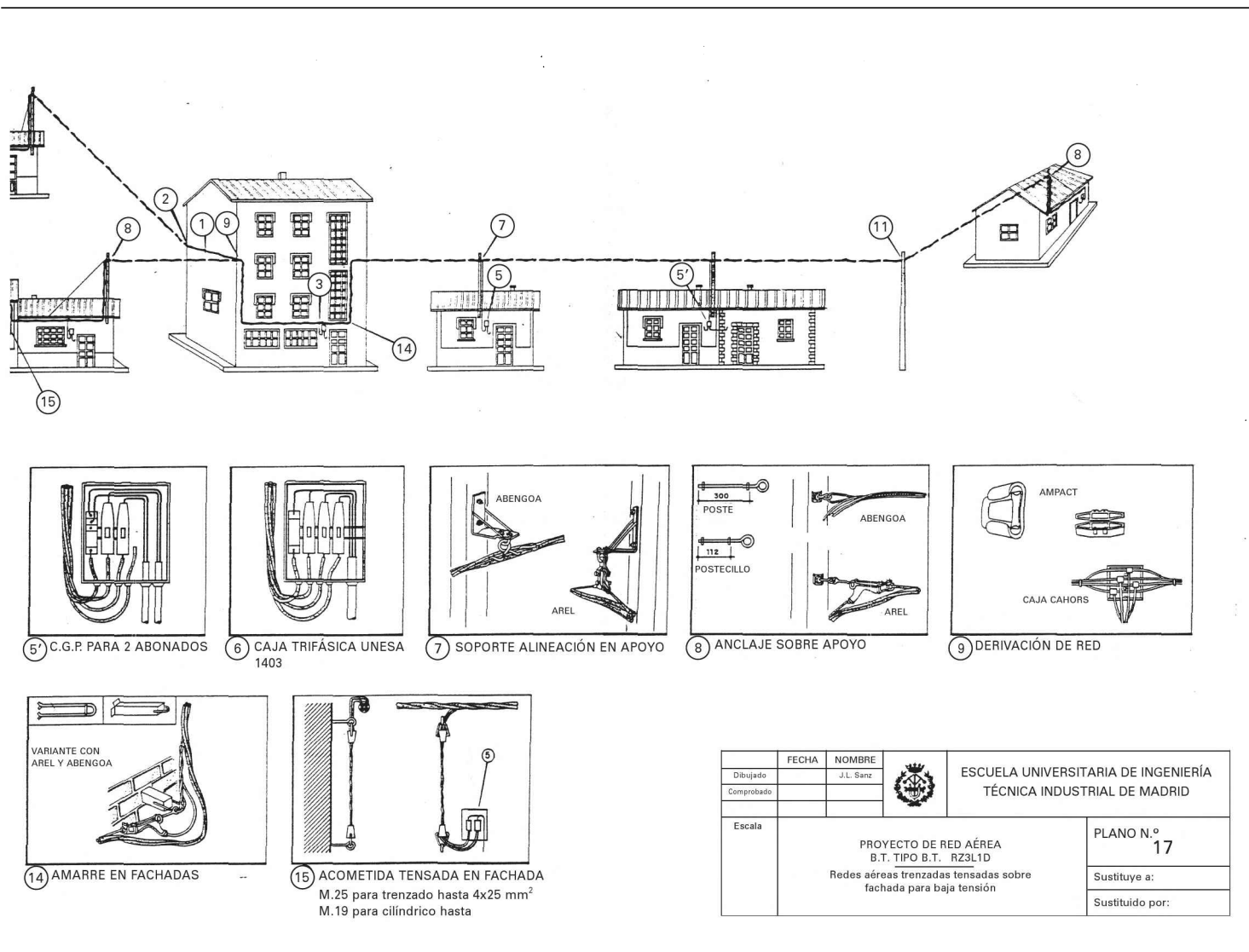


Figura 2.104. Redes aéreas trenzadas tensadas sobre fachada para Baja Tensión (continuación).

Tabla 2.30. Potencia máxima a transportar en kW

50	180	124,5	112,1	99,6
95	260	179,9	161,9	143,9
150	330	228,3	205,5	182,6
240	430	297,5	267,8	238,0

Tabla 2.31. Pérdida de potencia en porcentaje

50	0,640	0,819	0,512 PL	0,632 PL	0,800 PL
95	0,320	0,409	0,255 PL	0,315 PL	0,398 PL
150	0,206	0,263	0,164 PL	0,202 PL	0,256 PL
240	0,125	0,160	0,100 PL	0,123 PL	0,156 PL

2.5.9.2. Tendido de canalizaciones

Al igual que sus hermanos de Media Tensión, en los tendidos de Baja Tensión deberán tenerse en cuenta, entre otras, las siguientes consideraciones:

Conductores directamente enterrados. La canalización discurrirá por terrenos de dominio público bajo acera.

La longitud de la canalización será lo más corta posible.

No se admitirá su instalación bajo la calzada excepto en los cruces y evitando siempre ángulos pronunciados.

Los radios de curvatura después de haber sido instalados los conductores serán, como mínimo, de 10 veces el diámetro exterior del cable.

Los cruces de calzadas serán perpendiculares a sus ejes, salvo en casos especiales, debiendo realizarse en posición horizontal y en línea recta.

Los cables serán alojados en zanjas de 0,80 m de profundidad mínima y un ancho de 0,50 m.

En todo caso irán enterrados a una profundidad no inferior a 0,6 m. Si no fuese posible conseguir esa distancia por cualquier motivo, los cables irán entubados.

El lecho de la zanja deberá ser liso y estar libre de aristas vivas, piedras, cantos, etc. En el fondo y debajo del cable irá una capa de arena de 12 cm y una capa de arena de río de 10 cm, sobre la que se depositarán los conductores. Una vez instalados

se los cubrirá con otra capa de arena, de tal forma que queden cubiertos por encima de ellos al menos 25 cm, y sobre ésta, una protección mecánica en sentido transversal a los cables, como pueden ser ladrillos, losetas de hormigón prefabricadas, etc., cubriéndolas posteriormente con capas de tierra procedente de la excavación realizada para alojar dicha línea con un espesor aproximado de 25 cm. Igualmente, encima de dichas protecciones mecánicas y a una distancia comprendida entre los 10 y los 30 cm del suelo se colocará una cinta de señalización como advertencia de la presencia de cables eléctricos.

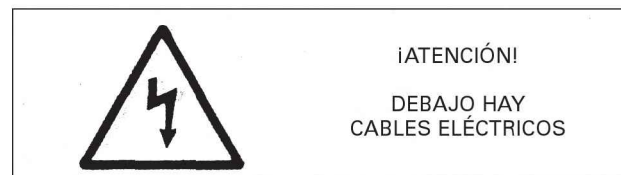


Figura 2.105. Cinta señalizadora de cables.

Las tierras que cubran los conductores alojadas en la zanja preparada al efecto, serán apisonadas por medios mecánicos que aseguren una perfecta compactación del terreno.

Conductores en canalización entubada. En estas canalizaciones los conductores irán entubados en todo o en gran parte de su recorrido.

Los tubos podrán ser:

- Termoplásticos o de fibrocemento (hormigonados).

El diámetro mínimo de los tubos será de 160 mm o el de 1,6 veces el diámetro de los conductores o cables.

Cada una de las canalizaciones llevará, solamente, un circuito, compuesto por un solo cable tripolar o por tres conductores unipolares.

En los lugares donde se tengan que realizar cambios o registros de dirección, se realizarán arquetas registrables para

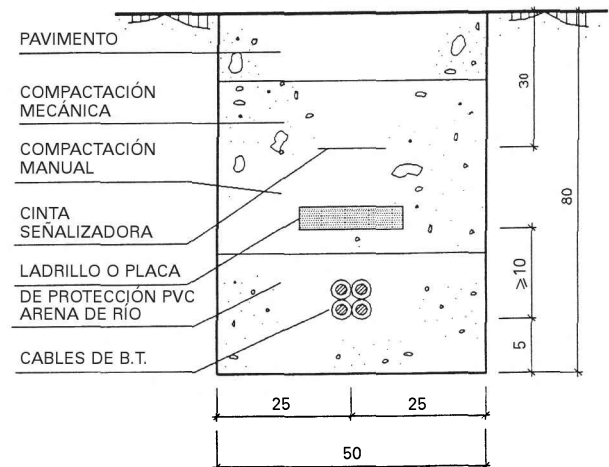


Figura 2.106. Diferentes tipos de montajes subterráneos. Canalización para cable enterrado.

facilitar la manipulación de los conductores, estando dichas canalizaciones selladas a la entrada de cada arqueta.

Las canalizaciones podrán situarse en planos horizontales y/o verticales, pero separados unos de otros al menos 2 cm, siendo la separación entre canalizaciones y zanjas de 5 cm.

No será necesario colocar dispositivo de protección por encima del tubo, pero sí la cinta señalizadora.

Las condiciones generales para cruzamientos, proximidades y paralelismos, de acuerdo con la ITC-BT 07 del REBT.

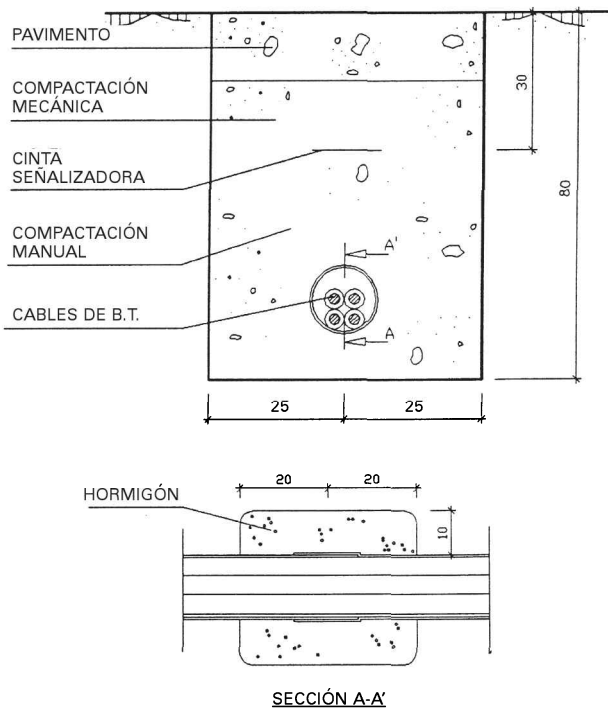


Figura 2.107. Diferentes tipos de montajes subterráneos (continuación).
Canalización entubada bajo acera.

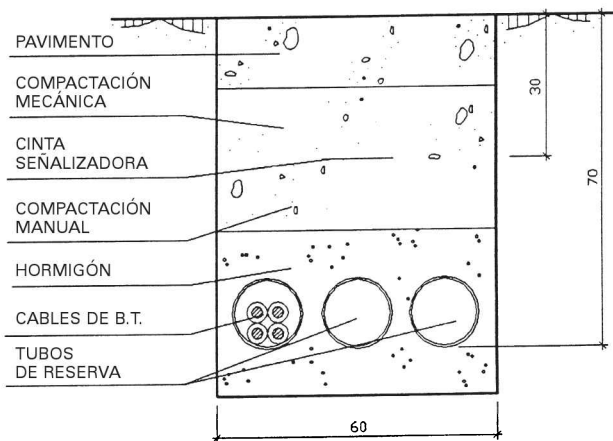


Figura 2.108. Diferentes tipos de montajes subterráneos (continuación).
Cruzamiento con vía pública.

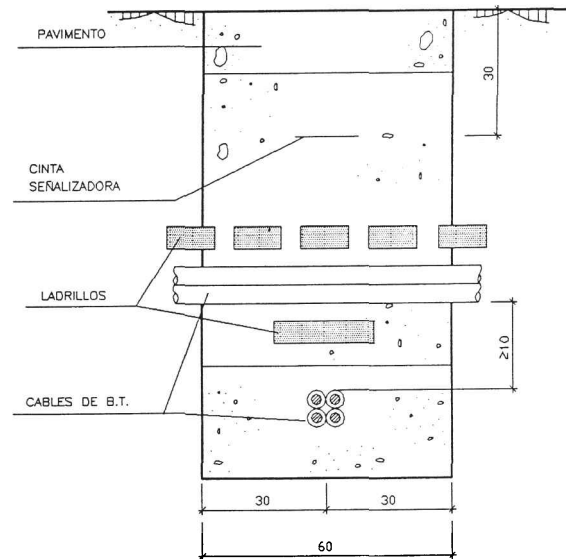


Figura 2.109. Diferentes tipos de montajes subterráneos (continuación).
Cruzamiento entre conductores de B.T.

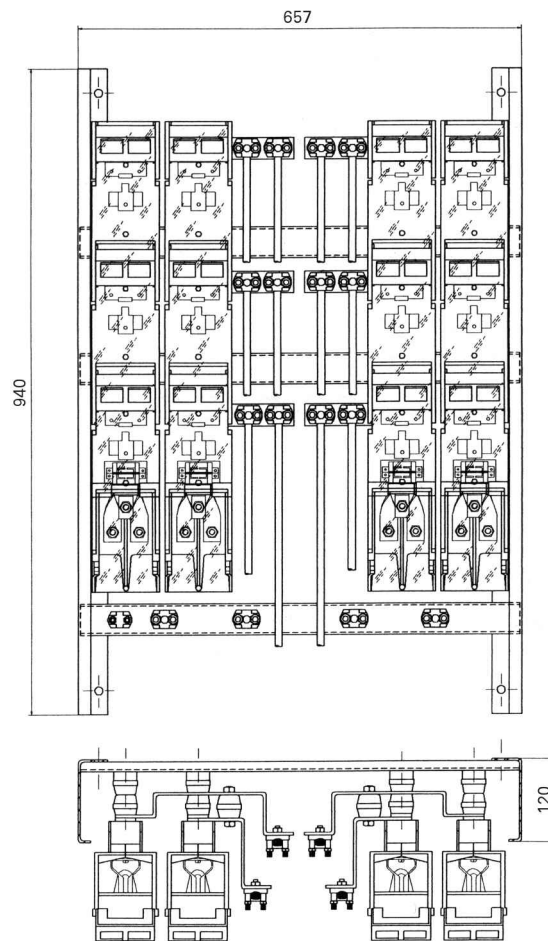


Figura 2.110. Armarios de distribución.

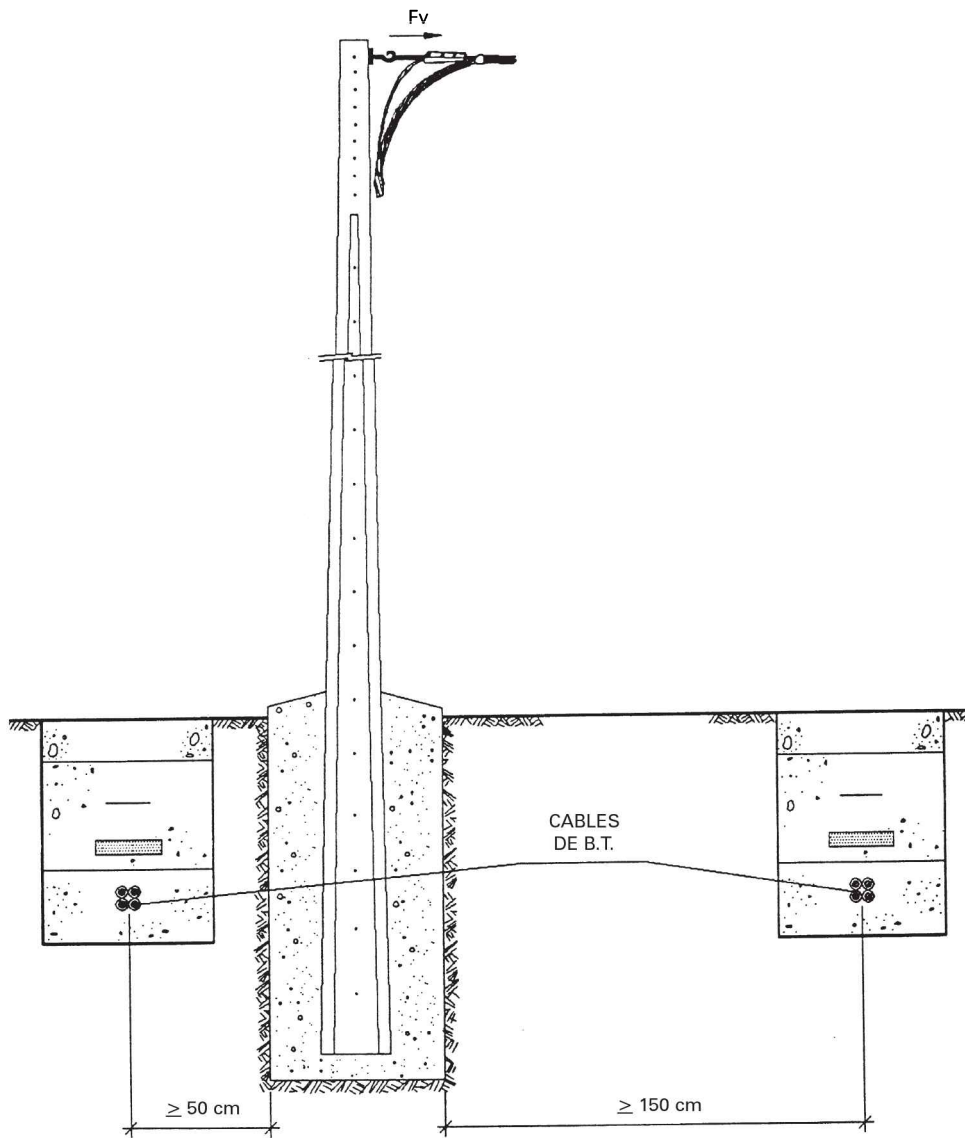


Figura 2.111. Distancia a apoyos.

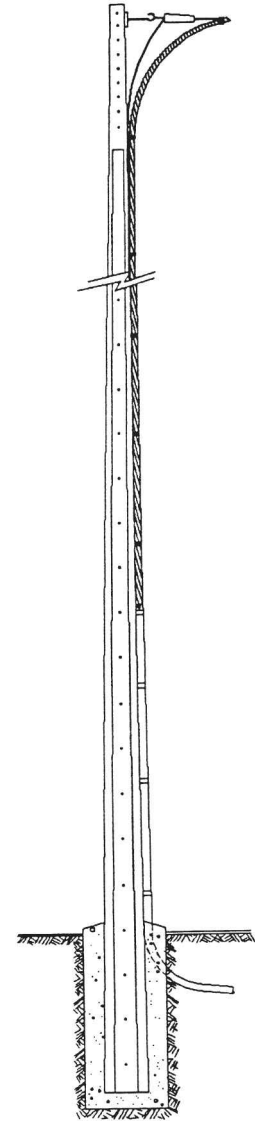


Figura 2.112. Paso aéreo-subterráneo.

2.6 Manejo y tendido de los cables eléctricos

Los conductores que forman hoy en día los cables eléctricos son el resultado de los grandes estudios que los fabricantes encargan a sus departamentos de I+D, para que puedan trabajar estos cables en las más duras condiciones que en cada momento le sean demandados.

La elevada tecnología que presentan estos cables obliga a que el manejo y la instalación de éstos se tenga que realizar de una forma adecuada para que no puedan ser dañadas sus características técnicas.

Si estos cables son tratados de forma inadecuada pueden ocasionárseles daños, que, si no son detectados de forma inmediata y son instalados, pudieran disminuir su vida útil de forma considerable.

Los mayores peligros que pueden sufrir los cables se suceden en el transporte y en el tendido de los mismos.

En el transporte se distinguen, principalmente, tres periodos:

- El transporte desde la fábrica hasta el almacén.
- En el almacén, propiamente dicho.
- En el traslado al lugar del tendido.

Los cables se suministran, principalmente, en bobinas de madera cuyos diámetros totales de ala van, desde los 250 cm en los

casos más grandes, hasta los 60 cm en el caso de los más pequeños, todo ello dependiendo de la longitud, el peso y el diámetro exterior de los cables.

La longitud aproximada del cable que contiene una bobina se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$L = \frac{\pi \cdot H}{4} \cdot \frac{D_2^2 - D_1^2}{d^2} = m$$

donde:

- L = Longitud del cable en m.
- H = Distancia interior entre las alas de la bobina en cm.
- D_2 = Diámetro exterior de la capa de cable superficial en cm.
- D_1 = Diámetro exterior del tambor de la bobina en cm.
- d = Diámetro exterior del cable en mm.

Ejemplo: Si tenemos una bobina en la que el diámetro exterior de capa de cable más superficial fuera de 120 cm, el diámetro del tambor de 90 cm, el diámetro del cable de 35 mm y la distancia interior entre alas de 100 cm, la longitud de cable que tendríamos sería de:

$$L = \frac{3,14 \times 100}{4} \times \frac{120^2 - 90^2}{35^2} = 403 \text{ m}$$

El transporte de las diferentes formas de embalar a las diversas formas constructivas de los cables, como pueden ser cajas, rollos o bobinas y muy especialmente estas últimas, se realizará de tal forma que deban ir siempre de pies y nunca apoyadas por una de sus caras, por lo que los medios de transporte que utilizemos (tren, camiones, etc.) deberán disponer de los elementos adecuados de anclaje para que éstas no rueden.

Para proceder a la carga y a la descarga de las bobinas en el medio de transporte seleccionado, deberán ser suspendidas de una barra adecuada a su peso para poder situarlas en el sitio adecuado, o bien, si utilizásemos rampas o muelles, éstas estarán construidas de tal forma que puedan deslizarse las bobinas. La pendiente máxima recomendada, en el caso de tratarse de rampas, no será superior al 25%.

Nunca deberán arrojarse ni las bobinas ni los rollos desde los vehículos al suelo, aunque tanto sus dimensiones como su peso sean pequeños, pues el golpe o impacto podrían dañar a los cables.

En el almacenamiento, nunca deberán guardarse los rollos o las cajas a la intemperie, y siempre que sea posible, también las bobinas, pues la presencia del sol y de la humedad pueden llegar a deteriorarlos. En el caso de las bobinas, la madera podrá sufrir daños graves, que supongan problemas importantes tanto para el transporte como para el posterior tendido de los mismos.

Cuando los cables alojados en las bobinas tengan que permanecer a la intemperie, deberán ser instalados capuchones que los cubran por completo, esto es, a todos los conductores y a la cubierta exterior del propio cable.

Durante el traslado de los cables desde el almacén hasta el punto de tendido, tendremos que tomar las mismas precauciones que cuando los trasladamos desde la fábrica hasta el almacén por lo que respecta a la carga, transporte y descarga.

Las bobinas deberán rodarse en el mismo sentido que el fabricante enrolló a los cables.

Si es necesario revirar la bobina, se realizará por medio de una barra o bastón haciendo palanca para facilitar el giro. En la Figura 2.115 se muestra cómo revirar una bobina por medio de dicha barra.

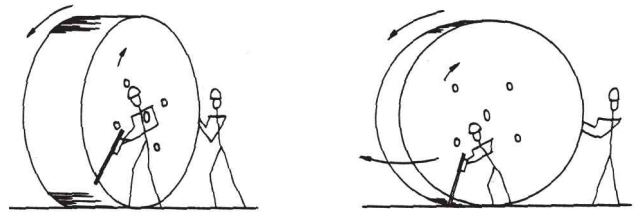


Figura 2.113. Revirado de una bobina.

Los preparativos que tendremos que realizar para el tendido de los cables será una de las labores más importantes a llevar a cabo para que éstos no sufran ningún deterioro. Lo primero que haremos será colocar la bobina sobre un apoyo cuyo eje deberá estar situado a una altura tal, que no impida girar libremente a la bobina para un correcto tendido de los cables. Debemos instalar un freno, aunque sea de una forma muy sencilla o elemental, que nos permita frenar la bobina en el caso de que se nos produzcan cocas o curvaturas peligrosas en el cable, así como la inercia propia del giro de la bobina cuando se está tendiendo el cable que pueda poner en peligro o cause un accidente al personal que allí trabaja.

El emplazamiento de la bobina será de tal forma que el cable no tenga que forzarse para tomar la alineación del tendido, Figura 2.114.

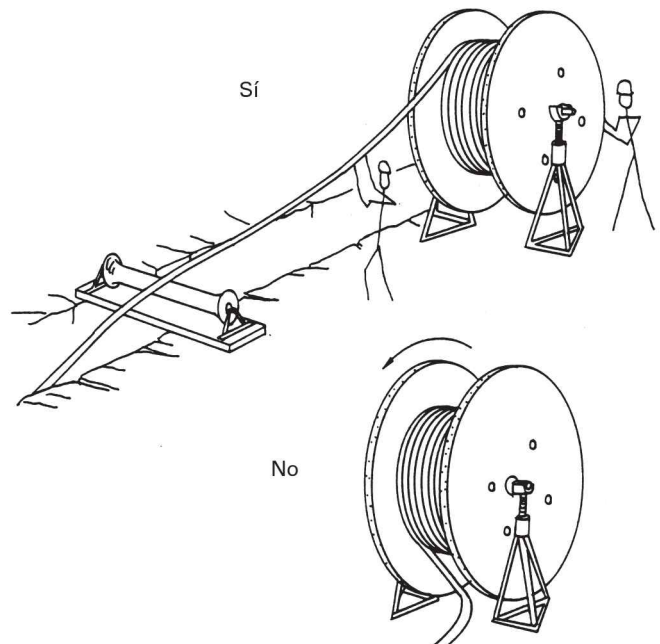


Figura 2.114. Situación de la bobina para el tendido.

El tendido de cables cuya cubierta sea termoplástica deberá hacerse a temperaturas superiores a los 0 °C para que no se agrieten.

Es importante, igualmente, que el fabricante indique cuál es el radio mínimo de curvatura con los que deben tenderse los cables para que éstos no sufran ni cambien las características técnicas para lo que han sido fabricados.

Para el tendido del cable, lo primero que haremos es soltar de la bobina el inicio del cable, instalándole un cabezal que nos sirva para poder tirar de él.

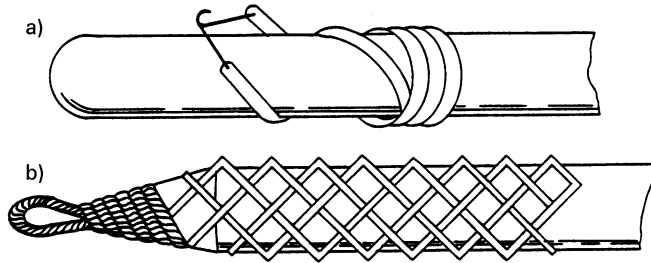


Figura 2.115. Cabezal de tracción para el tendido de cables ligeros.

El cable puede tenderse de una de estas formas:

- Tendido a mano.
- Tendido desde un vehículo en marcha.
- Tendido con rodillos accionados por motor.
- Tendido por medio de torno o cabestrante.

En todos los casos, el tendido se realizará utilizando rodillos preparados al efecto, que sirvan para disminuir el rozamiento sobre el suelo en el caso de ser enterrados directamente.

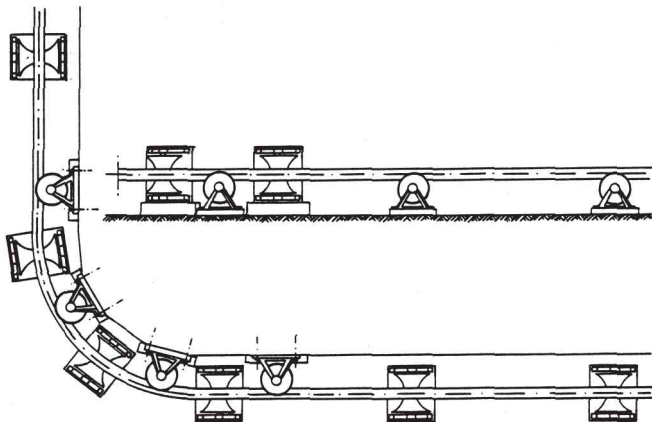


Figura 2.116. Disposición de los rodillos para el tendido de cables.

En el tendido a mano, los rodillos evitarán que el cable se arrastre por el suelo o que roce con las paredes laterales de la zanja en los cambios de dirección.

Si no existen obstáculos en la zanja o en sus proximidades, se podrán tender los cables directamente desde un vehículo, sobre

el cual, utilizando los correspondientes gatos y el eje de giro, está colocada la bobina.

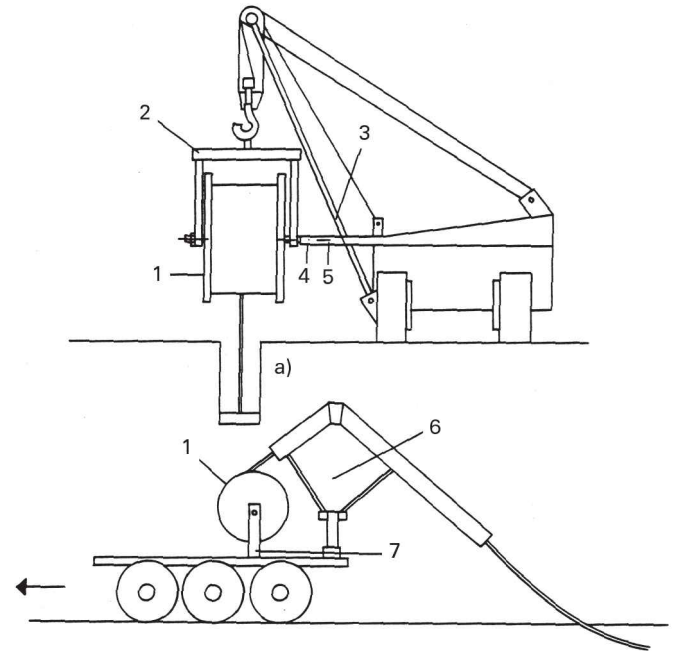


Figura 2.117. Tendido desde un medio de transporte.

El tendido con los rodillos motorizados es un sistema más reciente que consiste en disponer a lo largo de la zanja, a distancias entre los 20 y 30 metros, unos rodillos accionados por sendos motores eléctricos. Con este sistema la tracción se distribuye uniformemente a lo largo del cable.

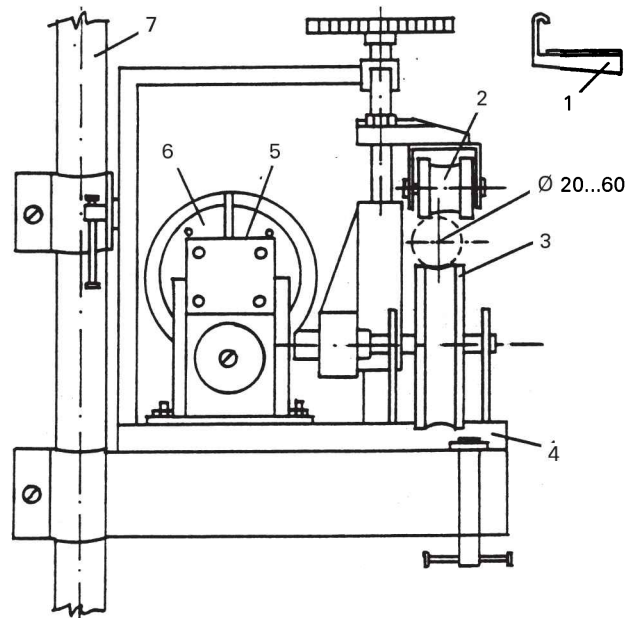


Figura 2.118. Accionamiento eléctrico de rodillos.

El sistema más utilizado es, sin duda, el del tiro mecánico mediante cabestrante, cuya seguridad es total, si previamente se han preparado los útiles adecuados y se adoptan las medidas oportunas.

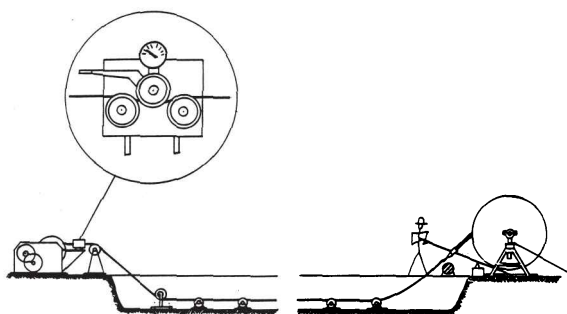


Figura 2.119. Tendido mecánico mediante cabestrante.

Este sistema de tendido puede efectuarse de las siguientes maneras:

- Tendido con esfuerzo aplicado sobre el extremo del cable.
- Tendido con esfuerzo repartido a lo largo de todo el cable con auxilio de un cable fiador y ataduras adecuadas.

En el primer caso, la cuerda de tiro sujeta al cable, como ya se ha indicado, por medio de una manga tiracables, o cabezal de tracción si se trata de cables de mayor sección y peso, con el fin de evitar daños ocasionados por el deslizamiento del aislamiento sobre los conductores, por medio de un cabezal de tiro, unido directamente a los conductores del cable, con auxilio de un disco taladrado por donde se pasarán los citados conductores, que se mantienen en posición mediante unos manguitos y unos tornillos.

En el segundo caso, se utiliza un fiador de doble longitud que la zanja, ya que la tracción se efectúa desde el extremo opuesto al de la bobina y al comienzo se ha de tener cubierta con el fiador toda la zanja, más una longitud igual al lado de la bobina llena de cable. Este segundo tramo es el que irá atando el cable, según se desenrolla éste de la bobina, por medio de ataduras sen-

cillas y de rápida ejecución que se irán colocando al cable cada cinco metros.

Los esfuerzos de tracción máximos aconsejables son de 5 kg/mm^2 de sección en el caso de conductores de cobre y de la mitad en el caso de conductores de aluminio. La velocidad de tendido no debe exceder de 5 metros por minuto.

Durante el tendido tendremos que tomar las siguientes precauciones:

- Controlaremos de forma constante con un dinamómetro el esfuerzo de tracción, con el fin de no pasarnos de los esfuerzos máximos permitidos.
- Tendremos que colocar un pasador calibrado de protección por ruptura, de tal forma que se interrumpa la tracción en el momento que se superen los esfuerzos indicados.
- Mantendremos los rodillos en los puntos previstos para que el cable no toque ni roce el suelo ni las paredes de la zanja.
- Si el recorrido del cable va por conductos sinuosos, la suma total de las curvas superan los 300° , el esfuerzo de tracción puede llegar a ser equivalente al peso del cable, lo que puede obligar a limitar la longitud a tender en cada operación.

La unión entre conductores se realiza por medio de empalmes premoldeados como el representado en la Figura 2.120.

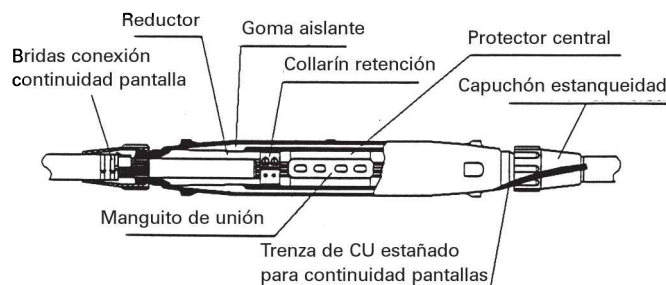


Figura 2.120. Empalme premoldeado para conductores unipolares.

- Recopilar catálogos comerciales de apoyos, manguitos, empalmes, conexiones, conductores, etc.
- Recopilar las normas particulares de la empresa suministradora eléctrica de la zona.
- Analizar, comparar y describir las diferencias entre aisladores de vidrio y de composite.
- Montar una cadena de aisladores de vidrio.
- Montaje de un apoyo metálico.
- Realizar el montaje de dos crucetas con sus aisladores correspondientes.
- Montar los cables sobre los aisladores realizando el tensado y comprobando la flecha y el vano.

Actividades
y prácticas
propuestas

- 2.8** Confeccionar un empalme para cable seco.
- 2.9** Realizar la conexión de una botella terminal con cable seco.
- 2.10** Asistir a la realización de una zanja para canalización subterránea y realizar un informe sobre el proceso de colocación de los conductores, materiales utilizados, relleno de la zanja y señalizaciones de seguridad utilizadas.
- 2.11** Visionar películas sobre seguridad en trabajos y maniobras eléctricas.
- 2.12** Hacer prácticas del uso de equipos de protección personal.

3

Centros de transformación

Introducción

En este capítulo se estudia el conjunto de elementos que configuran los centros de transformación. Tienen una gran importancia desde el punto de vista del proyecto, del diseño, de la ubicación, del montaje, del mantenimiento, de las maniobras propias del centro, etc., al ser el último eslabón de la red de distribución y el elemento más cercano a los usuarios.

El conocimiento del diseño de un centro de transformación, clasificación, partes de que se componen, etc., permite al técnico poder realizar el montaje, las maniobras propias del centro y un mantenimiento preventivo, eficaz y seguro.

Contenido

- 3.1. Generalidades
 - 3.2. Clasificación de los centros de transformación
 - 3.3. Partes fundamentales
 - 3.4. Simbología
 - 3.5. Aparamenta para media tensión
 - 3.6. Maniobras en un centro de transformación
 - 3.7. Tomas de tierra en centros de transformación. Características
 - 3.8. Procedimiento de montaje de centros de transformación. Tipología y características
- Actividades y prácticas propuestas

Objetivos

- ▶ Clasificar los centros de transformación según sus características.
- ▶ Definir las partes de un centro de transformación.
- ▶ Realizar las maniobras propias de un centro de transformación.
- ▶ Realizar el mantenimiento preventivo de un centro de transformación.
- ▶ Analizar las operaciones de montaje de un centro de transformación.
- ▶ Analizar las operaciones de puesta en servicio de un centro de transformación.

3.1 Generalidades

Como veíamos en el Capítulo 1, la tensión de los alternadores de las Centrales Eléctricas era muy baja, y por razones económicas se necesitaba realizar el transporte de la energía eléctrica hasta los puntos de consumo situados en las grandes urbes, en donde las subestaciones transformadoras rebajan la tensión de transporte (400 - 220 - 132 kV) en tensiones de distribución (66 - 45 kV), mientras que las de suministro y distribución en los puntos de utilización se realizan a (30 - 20 - 15 kV) alimentando a nuevos puntos reductores de tensión llamados Centros de Transformación, siendo estas nuevas tensiones las utilizadas por los receptores normalmente instalados en industrias o viviendas. Las tensiones trifásicas de utilización que salen de los diferentes Centros de Transformación son actualmente de $3 \times 400/230$ V, mientras que las anteriores eran de $3 \times 380/220$ V, aunque todavía quedan en algunos puntos de España tensiones de alimentación a $3 \times 220/127$ V. De acuerdo con el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (R.S.C.T.G.S.C.E.S.C.T.) en su Artículo 1 nos dice: se denomina Centro de Transformación (C.T.) a la instalación provista de uno o varios transformadores reductores de Alta a Baja Tensión con la aparamenta y obra complementaria precisa.

3.2 Clasificación de los centros de transformación

El mismo Reglamento en su artículo 3 clasifica las instalaciones en función de sus tensiones, por lo que la clasificación en categorías es la siguiente:

- Primera Categoría: Las de tensión nominal superior a 66 kV.
- Segunda Categoría: Las de tensión nominal igual o inferior a 66 kV y superior a 30 kV.
- Tercera Categoría: Las de tensión nominal igual o inferior a 30 kV y superior a 1 kV.

Las tensiones normalizadas para instalaciones de tercera categoría son:

Tensión nominal de la red en kV	Tensión más elevada para el material en kV
3	3,6
6	7,2
10	12
15	17,5
20	24
30	36

A efectos profesionales las empresas productoras y distribuidoras de energía eléctrica y los fabricantes de material eléctrico han convenido en seccionar la denominada A.T., o sea, según el Reglamento en las siguientes parcelas:

MEDIA TENSIÓN (M.T.): Tensión superior a 1 kV hasta unos 50 kV.

ALTA TENSIÓN (A.T.): Tensiones comprendidas entre los 50 y 300 kV.

MUY ALTA TENSIÓN (M.A.T.): Tensiones superiores a 300 kV e inferiores a 800 kV.

ULTRA ALTA TENSIÓN (U.A.T.): Tensión igual o superior a 800 kV.

El cálculo teórico para la potencia de cada CENTRO DE TRANSFORMACIÓN irá en función de los servicios que alimenta. A continuación se indican de forma resumida la previsión para los casos más usuales:

Viviendas	$PCT(kVA) = \frac{\sum PBT(kW) \times 0,4}{0,9}$
Polígonos Industriales	$PCT(kVA) = \frac{\sum PBT(kW) \times 0,5}{0,9}$
Zonas Comerciales	$PCT(kVA) = \frac{\sum PBT(kW) \times 0,6}{0,9}$
Potencia a nivel de línea de M.T.	$PLMT(kVA) = 0,85 \times \sum PCT(kVA)$
En Barras de E.T.	$P_b(kVA) = 0,95 \times \sum PLMT(kVA)$

Las cargas en MVA que pueden disponer los Centros de Transformación en función de la tensión serán de:

15	0,5	1,3	2,6
20	0,7	1,7	3,4
25	0,9	2,2	4,3
30	1,0	2,6	5,2

Los C.T. pueden ser instalados en el interior o en el exterior o intemperie.

Los CENTROS DE TRANSFORMACIÓN de interior se instalan en edificios independientes o en edificios destinados a otros usos, pero sus dimensiones deberán permitir:

- El movimiento y colocación en su interior de los elementos y maquinaria necesarios para la realización adecuada de la instalación.

- La ejecución de las maniobras propias de la explotación en condiciones óptimas de seguridad para las personas que las realicen.
- El mantenimiento del material, así como la sustitución de cualquiera de los elementos que lo constituyen, sin necesidad de proceder a su desmontaje o desplazamiento.

Las dimensiones de los pasillos de acuerdo con el R.C.T.G.S.C.E.S.C.T. en la MIE-RAT 14.5.1.1.

Para Pasillos de Maniobra.

Con elementos en Tensión a un solo lado: 1,0 m.

Con elementos en Tensión a ambos lados: 1,2 m.

Para Pasillos de Inspección.

Con elementos en Tensión a un solo lado: 0,8 m.

Con elementos en Tensión a ambos lados: 1,0 m.

Los valores que aquí se indican deberán ser totalmente libres, es decir, medidos entre las partes más salientes que pudieran existir, tales como mandos de aparatos, barandillas, etc.

En cualquier caso, los pasillos deberán estar libres de todo obstáculo hasta una altura de 2,30 m.

Deberán poseer ventilación natural para la renovación del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.

La altura entre la entrada y salida del aire será máxima.

Sus dimensiones dependerán de las potencias de los transformadores.

Las rejillas situadas en la zona del transformador serán flotantes respecto del sistema de tierras y con un IP 33.

El volumen de aire a renovar en el CENTRO DE TRANSFORMACIÓN va en función de las pérdidas totales de los transformadores y de la diferencia de temperaturas que se admite entre el aire a la salida y a la entrada del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN, como máximo 20 °C (según el Proyecto tipo UNESA sólo 15 °C).

Recordando que el calor específico del aire es 0,24 kcal/kg/°C, que un m³ de aire seco a 20 °C tiene un peso de 1,16 kg y que 1 kcal equivale a 4.187 kJ, tendremos que 1 m³ de aire absorbe por cada grado centígrado de aumento de temperatura:

$$0,24 \times 1,16 \times 4.187 = 1,15 \text{ kJ/m}^3/\text{°C}.$$

Por tanto, el volumen de aire necesario por segundo para absorber las pérdidas de los transformadores será de:

$$V = \frac{P_t}{(1,16 \times \theta_a)} = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

siendo:

P_t = Pérdidas totales de los transformadores en kW.

θ_a = Aumento de temperatura admitido en el aire (máximo 20 °C).

Los **CENTROS DE TRANSFORMACIÓN** situados en **edificios independientes** suelen alojarse en espacios abiertos, en zonas rurales, urbanizaciones, polígonos industriales, etc., en locales construidos especialmente para su instalación. Los tipos principales son:

En Superficie. Situados en la superficie del terreno, preparados para alojar un trafo, Figura 3.1, o dos trafos, Figura 3.2.

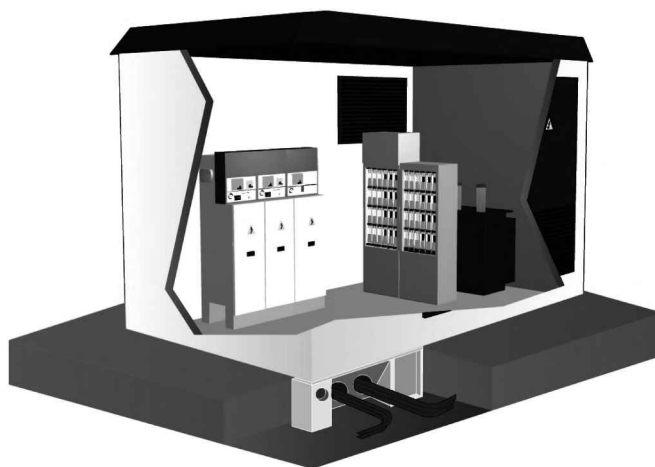


Figura 3.1. Centro de Transformación Prefabricado de Superficie.

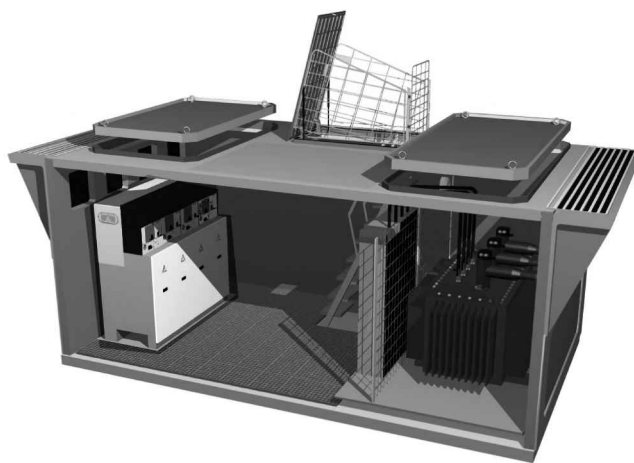


Figura 3.2. Centro de Transformación Subterráneo para un transformador.

Subterráneo. Alojados en el subsuelo; la alimentación será subterránea, Figura 3.3.

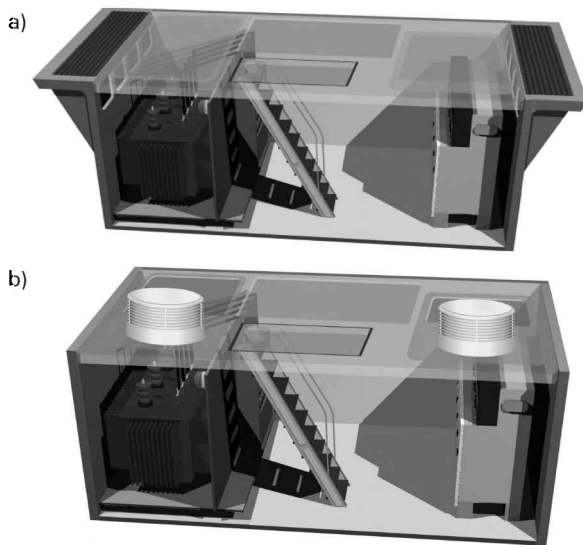


Figura 3.3. Centros de Transformación Subterráneos. a) Con ventilación horizontal. b) Con ventilación vertical.

Los **CENTROS DE TRANSFORMACIÓN** también pueden instalarse en edificios destinados a otros usos, alojándose en locales exclusivamente dedicados a estas instalaciones. Pueden situarse:

En planta baja del edificio, generalmente de viviendas o de locales comerciales.

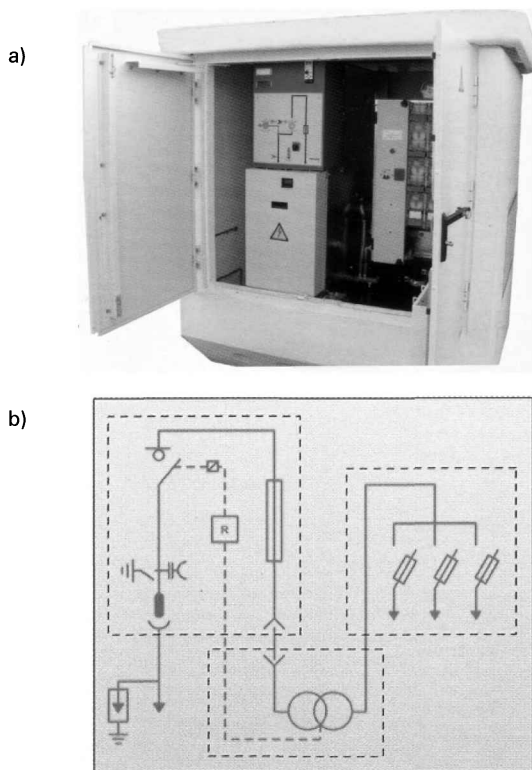


Figura 3.4. Centro de Transformación Prefabricado para Redes Rurales. a) Vista desde el exterior. b) Esquema eléctrico.

En planta sótano, instalándose en la primera planta sótano del edificio, Figura 3.5.

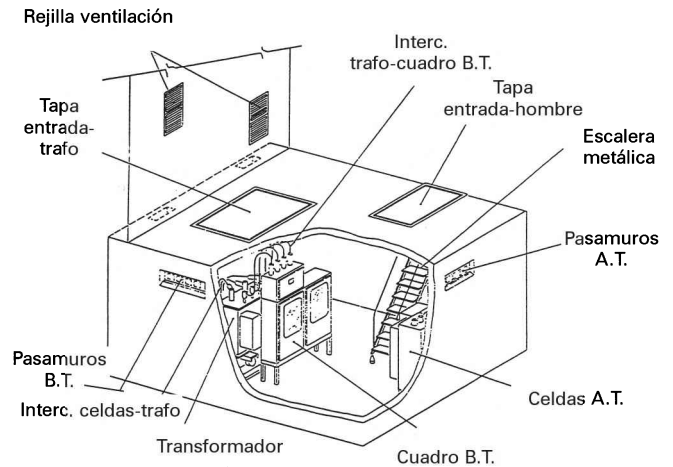


Figura 3.5. Centro de Transformación situado en planta sótano.

Los **CENTROS DE TRANSFORMACIÓN de intemperie** se instalan sobre apoyos, no superando las 160 kVA de potencias, cuando son del tipo de empresa. La protección contra cortocircuitos y/o sobrecargas se realiza por medio de fusibles de expulsión XS de a.p.r. montados sobre seccionadores tipo COT-OUT o a puntos concretos, Figura 3.6. La protección contra descargas o sobretensiones de origen atmosféricos se realiza por medio de autoválvulas.

Según su alimentación éstos pueden ser:

- **Alimentación en Puntos.** Únicamente tienen una línea de alimentación, es decir, parten de la red principal en derivación o constituyen el punto final de la misma, Figura 3.7.

Existen también los **Centros de Seccionamiento o de Entronque.**

Los **Centros de Seccionamiento o de Paso.** Se utilizan para el seccionamiento de una línea, y para mejorar la maniobrabilidad de ésta. Normalmente en todo Centro de Seccionamiento existen varias cabinas o elementos de corte en carga preparadas/os para poder realizar las maniobras adecuadas sobre las líneas de entrada y salida. Cuando el **CENTRO DE TRANSFORMACIÓN** es propiedad del cliente, al ser las celdas de acometidas de uso exclusivo de la E.S.E., será necesario la instalación de elementos de corte, seccionadores o interruptores, que puedan dejar sin servicio dicho **CENTRO DE TRANSFORMACIÓN**. A este tipo centro se lo denomina centro de transformación de seccionamiento y abonado, Figura 3.8.

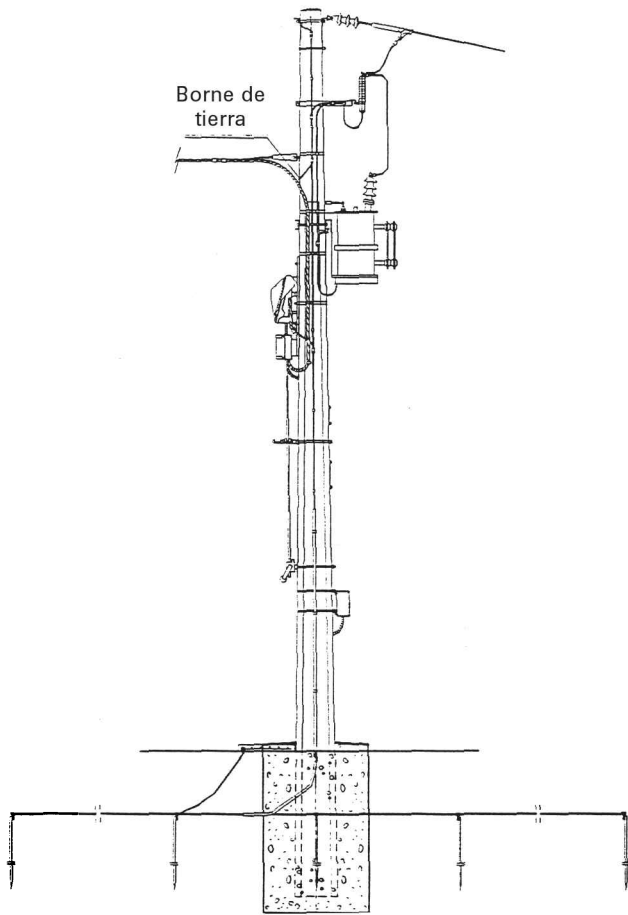


Figura 3.6. Centro de Transformación de Intemperie.

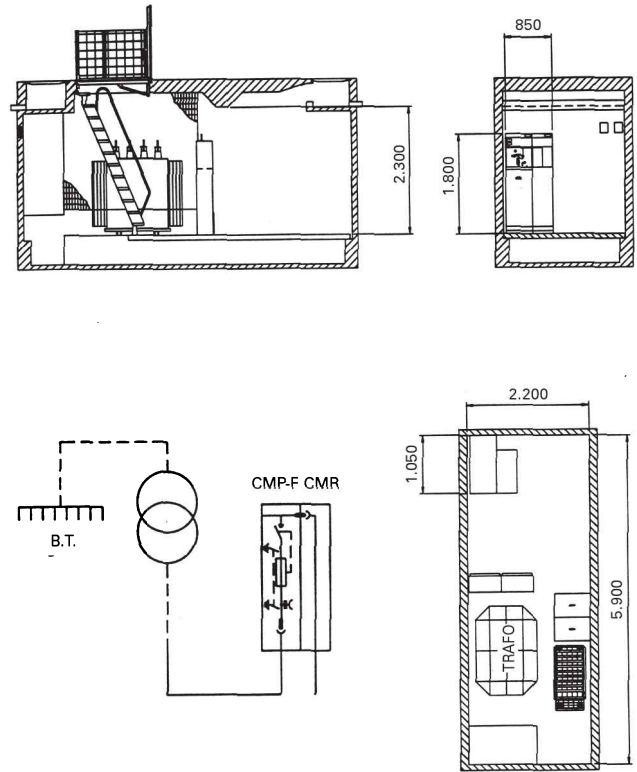


Figura 3.7. Esquema unifilar de un CENTRO DE TRANSFORMACIÓN en Puntas.

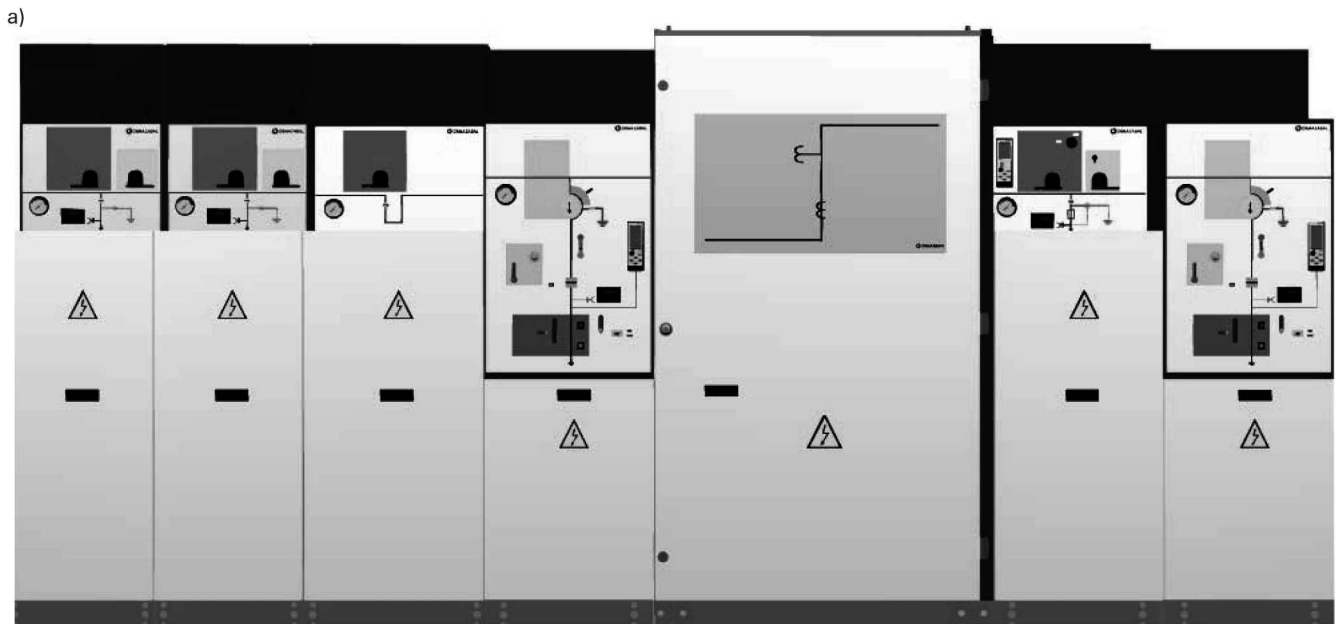


Figura 3.8. Centro de Seccionamiento y Transformación de Cliente para dos Transformadores. a) Distribución de Celdas.

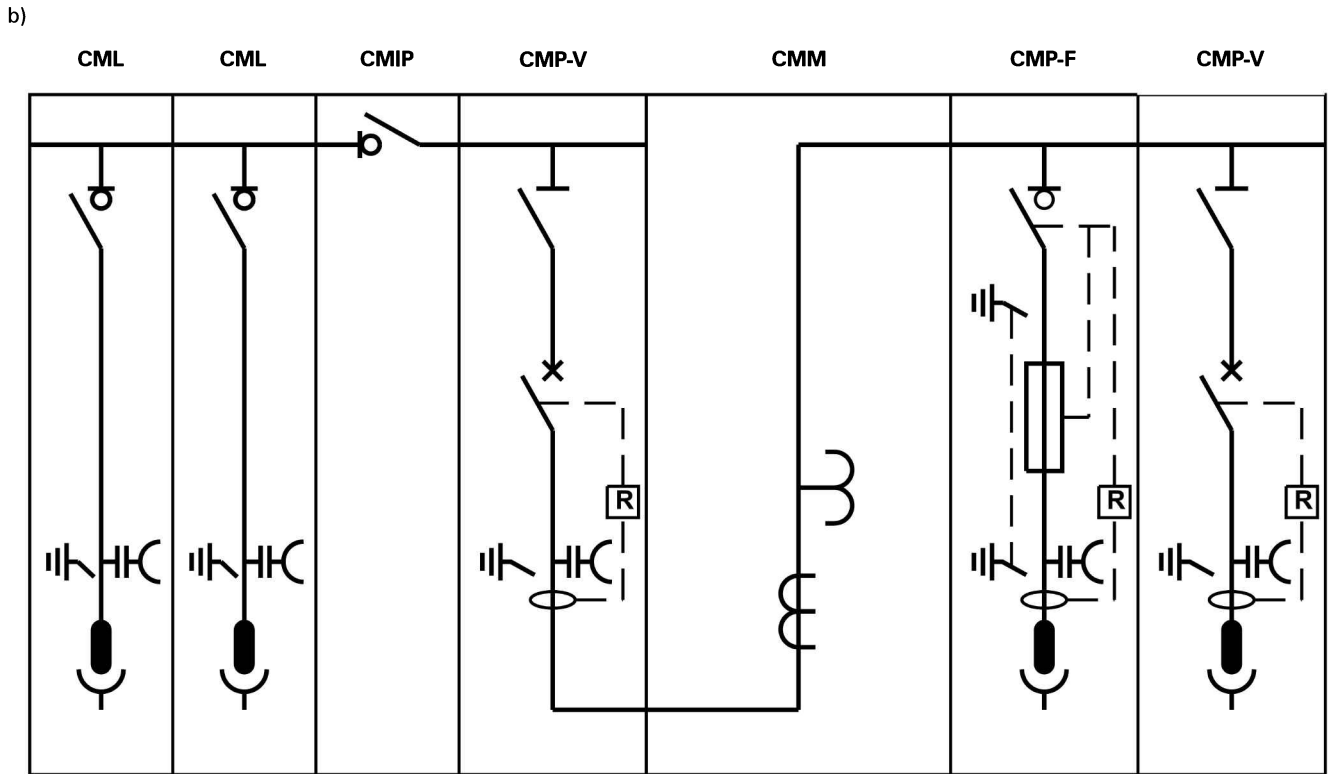


Figura 3.8. Centro de Seccionamiento y Transformación de Cliente para dos Transformadores. b) Esquema Eléctrico. (Cont.)

Los Centros de Entronque constituyen un caso particular de los Centros de Seccionamiento. Destinados igualmente a la maniobra y protección de la instalación que alimenta a un abonado o cliente. Puede existir el equipo de medida general de la instalación de A.T. Es obligatorio cuando la instalación del abonado o cliente se alimenta de la red en subterráneo y su potencia es superior a 1.000 kVA.

Según su utilización se dividen en:

- **Centros de Distribución o de Empresa.** Son aquellos que pertenecen a las E.S.E. De estos centros parten las diferentes redes de Baja Tensión para la alimentación a los clientes.

Tienen una o varias celdas de alimentación, entrada, salida (Figura 3.9), y en algunos casos seccionamiento a centros en punta y una celda de protección por cada transformador montado (Figura 3.10). El número máximo de transformadores por centro de empresa suele ser de dos y la potencia máxima por transformador de 630 kVA, aunque algunas empresas, en función de que tengan que alimentar elevadas cargas, en puntos muy concretos, pueden llegar a alcanzar la potencia de los transformadores a 1.000 kVA cada uno y hasta tres unidades.

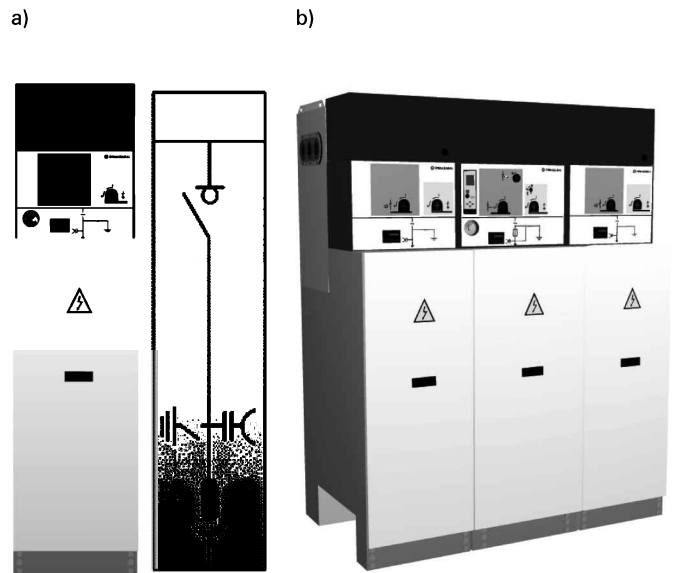


Figura 3.9. a) Celda de de línea. b) Composición de celdas de alimentación y protección.

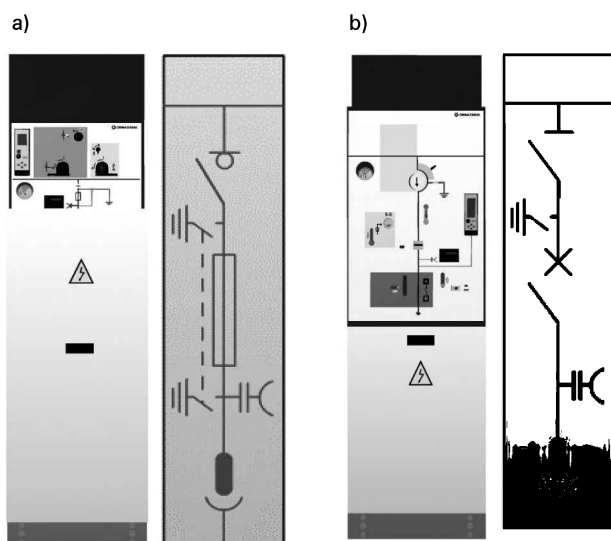


Figura 3.10. Celdas de Protección.
a) Con fusible. b) Con interruptor automático.

El porqué de esto se halla el coste económico de estos centros. Pongamos un ejemplo de dicho coste en función del número de trafos instalados y de la potencia de éstos.

Si tomamos como valor base 100, tendremos que:

- 3 C.T. con un transformador de 400 kVA, su valor será de 100.
- 2 C.T. con un transformador de 630 kVA, su valor será de 107.
- 1 C.T. con dos transformadores de 630 kVA, su valor será de 180.

Siendo los valores de las intensidades nominales admisibles de cortocircuito de corta duración los siguientes:

36	16/20	40/50
----	-------	-------

La intensidad de falta a tierra en la práctica en el CENTRO DE TRANSFORMACIÓN suele ser < 500 A y normalmente < 200 A.

Por este motivo, la tendencia es la de instalar más CENTROS DE TRANSFORMACIÓN pero de menor potencia, aunque muchas veces, por fuertes cargas en grandes edificios o fábricas, esto es inviable.

La valoración cualitativa de lo visto nos da como resultados los siguientes:

- Limitación de la Potencia de cortocircuito en B.T.
- Posibilidad de ampliación, paso de 400 a 630 kVA.

- Se reduce la caída de tensión.
- Facilidad de encontrar locales adecuados para centros más pequeños.
- Menor riesgo de averías en la red de B.T.
- Caso de que un centro falle, el número de incidencias es menor.
- Globalmente se ocupa menos terreno.

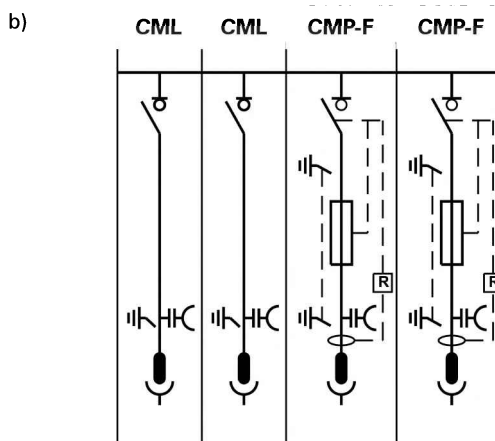


Figura 3.11. Centro de Transformación de E.S.E. con dos transformadores.
a) Distribución de celdas. b) Esquema eléctrico.

Centros de abonado o cliente. Son propiedad del cliente. Su tensión de alimentación viene condicionada por la tensión de red de la E.S.E. que distribuya en la zona.

Dentro de este tipo de centros podemos distinguir dos grupos:

- Con equipos de medida en B.T. Normalmente estos centros son de pequeña potencia y de tipo intemperie.
- Con equipo de medida en A.T. Para esto es obligatorio que dicho centro disponga de una celda de medida en la que irán alojados los transformadores de intensidad y de

tensión respectivamente, y en ese orden en el sentido de la corriente. Además será obligatoria la instalación de un armario que se encuentre separado de dichas celdas, donde irán alojados los diferentes componentes que forman el equipo de medida, tales como contador electrónico multifunción, placas de comprobación, etc., siendo las relaciones de transformación de 15.000-20.000/110 V en los de tensión y de .../5 A en los de intensidad.

Todo CENTRO DE TRANSFORMACIÓN de cliente cuya potencia alcance las 1.000 kVA, deberán disponer de relés de protección de puesta a tierra (corriente homopolar) (Figura 3.12).

Si se trata de un centro en puntas y un solo transformador, estará dotado de celda de seccionamiento general, celda de interruptor de protección de transformador (también pueden ir

alojadas ambas en una sola celda siempre que ésta pueda admitirlas) y celda de medida.

3.3 Partes fundamentales

De forma general, los diferentes elementos que constituyen las instalaciones de los centros de transformación son: interruptores, seccionadores, barras colectoras, transformadores de medida, transformadores de potencia, etc.

Estos elementos se montan en celdas, y en cada una de ellas se agrupan los correspondientes a cada circuito, como los de entrada y/o salida de línea o los correspondientes a la protección de transformador o total del centro. También se agrupan funciones, como la medida de la energía.

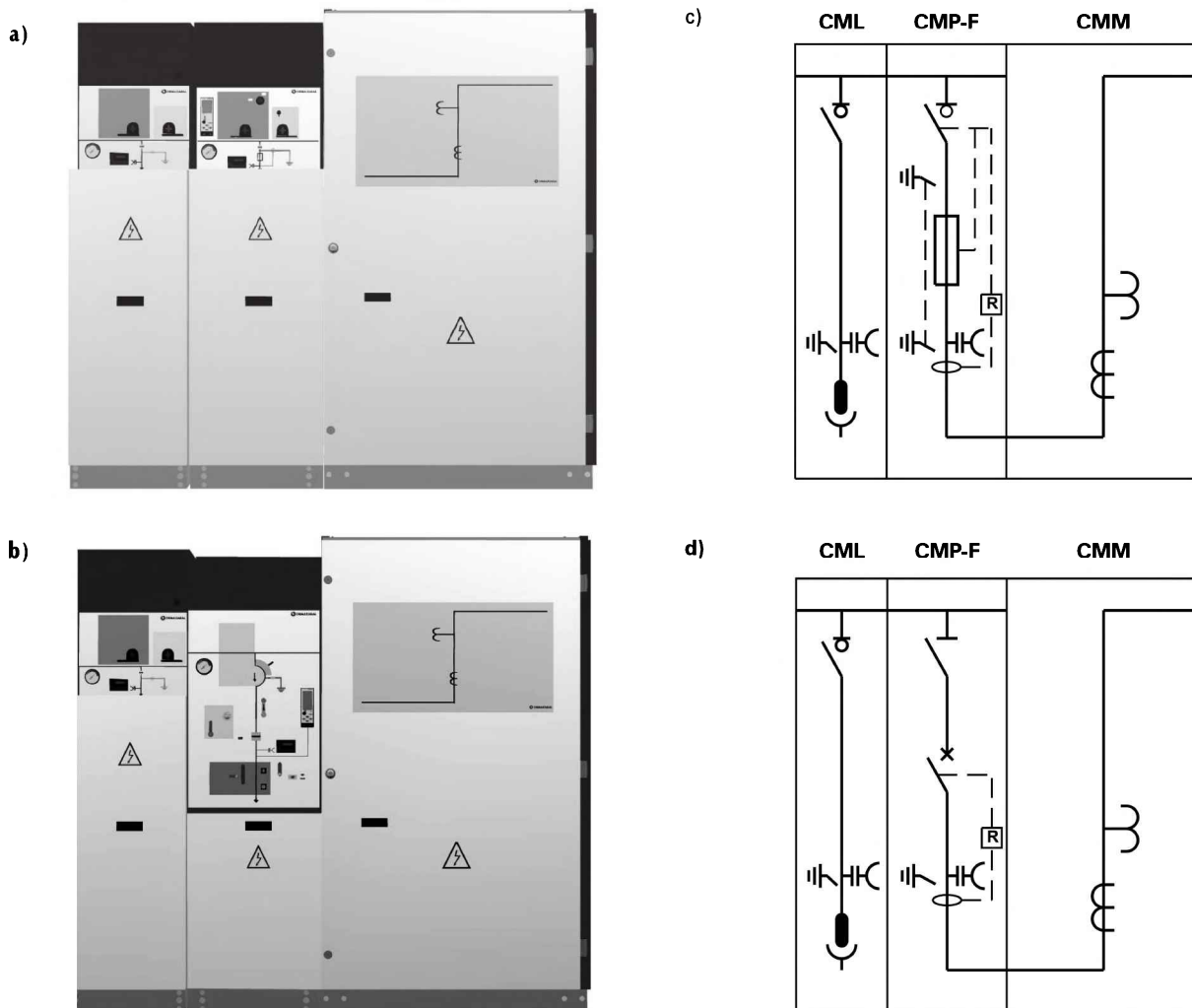


Figura 3.12. Centros de Transformación de Cliente.

a) y c) Para potencias < 1.000 kVA. Configuración de celdas y esquema.
 b) y d) Para potencias ≥ 1.000 kVA. Configuración de celdas y esquema.

Atendiendo a este criterio se dispondrán como sigue:

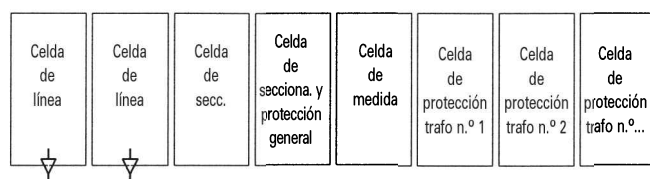


Figura 3.13. Esquema de las celdas del Centro de Transformación de Abonado o Cliente.

Celda de entrada de línea. Es la encargada de recibir el conductor que alimenta al CENTRO DE TRANSFORMACIÓN. Está equipada con interruptor de corte en carga y seccionador de puesta a tierra.

Celda de salida de línea. Es la encargada de interrumpir el conductor de salida a otros CENTROS DE TRANSFORMACIÓN. Si desde este CENTRO DE TRANSFORMACIÓN se alimenta a un centro en puntas existirá otra celda que será la encargada de seccionar dicha línea. Está equipada igualmente con interruptor de corte en carga y seccionador de puesta a tierra.

Celda de Seccionamiento. Es la encargada de dejar fuera de servicio la parte del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN propio del abonado. En función de la potencia del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN estará dotada de seccionador si la potencia del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN es inferior a 1.000 kVA o de interruptor automático si la potencia es superior.

Celda de Seccionamiento y Protección General. Es la encargada de alojar los elementos de seccionamiento y protección general del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN, esto es, cuando el mismo posee más de un transformador. El interruptor automático general será el encargado de la protección del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN cuando la sobrecarga o cortocircuitos que se pudieran formar estén aguas arriba de los elementos de protección individual que llevan cada uno de los transformadores. El corte (operación que tiene por objeto interrumpir el paso de la corriente eléctrica por un circuito. La operación de corte incluye la interrupción de la corriente por las tres fases del sistema eléctrico) se realizará en un medio aislante, donde el interruptor automático realiza la apertura de sus contactos; este medio aislante podrá ser aire, aceite o gas —hexafluoruro de azufre SF₆—, igualmente dentro de la celda, como se ha dicho anteriormente. Si la potencia del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN supera los 1.000 kVA, se instalará un relé direccional homopolar autónomo de protección contra derivaciones a tierra con un transformador toroidal sobre el cable que haga actuar al interruptor automático en caso de que la intensidad de defecto sea superior a la tarada. El interruptor automático general, en el caso de que el CENTRO DE TRANSFORMACIÓN sólo tuviera un transformador, sería el encargado de la protección del mismo.

Las maniobras a realizar se explicarán en este mismo capítulo, en el Apartado 3.6.

Celda de Medida. Compuesta por tres transformadores de intensidad y tres de tensión. El equipo de medida compuesto por los contadores, placas de comprobación y reloj se en-

cuentran situados fuera de la celda para evitar cualquier riesgo para el personal que realiza su lectura. Dicha celda se encuentra precintada por la E.S.E.

Celda de Protección de Máquina o de Transformador. Se encarga de la protección individual del transformador. Generalmente se realiza con interruptor y fusibles de a.p.r. combinados, o con interruptor automático, gobernados éstos bien por relés directos o bien con relés indirectos en función de las intensidades aportadas por los transformadores de intensidad. Si la potencia del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN, como hemos visto antes, supera en el conjunto total de la suma de los transformadores los 1.000 kVA, se aconseja la colocación de relés autónomos de protección a tierra (homopolar) con el fin de que, en caso de que uno de los trafos sea el causante de la avería, dispense su protección y no deje a todo el CENTRO DE TRANSFORMACIÓN sin servicio.

Celda de Transformación. Punto donde se coloca el transformador de potencia. Deberá estar protegido por tabiques o muros, que impidan la proyección de material y aceite al resto de las instalaciones, en caso de proyección de éstos.

De igual forma deberá preverse la recogida del aceite en caso de accidente.

Cuadro de Baja Tensión (a instalar en CENTRO DE TRANSFORMACIÓN de Empresa). De la salida de cada uno de los transformadores se deriva al cuadro de Baja Tensión (Figura 3.14), desde donde partirán debidamente protegidas las líneas de B.T. que alimentarán, respectivamente, a las diferentes Cajas Generales de Protección (C.G.P.) o Bases Tripolares Verticales (B.T.V.) y desde éstas a los diferentes puntos de consumo.

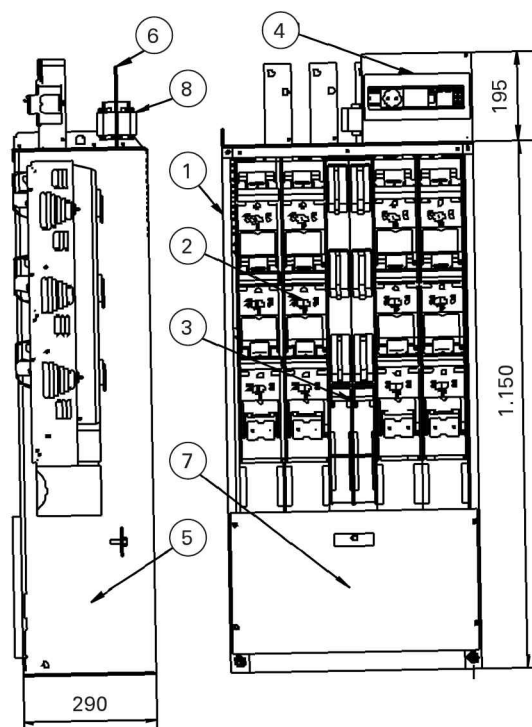


Figura 3.14. Cuadro de Baja Tensión.

3.4 Simbología

Los símbolos más utilizados para componentes de Centros de Transformación son los representados en el Esquema 1.1 del Capítulo 1.

3.5 Aparamenta para media tensión

Se denomina **aparamenta eléctrica** a todos aquellos equipos o aparatos que permiten controlar el sistema eléctrico a voluntad.

La aparamenta que se dispone en un CENTRO DE TRANSFORMACIÓN, sea de interior o de intemperie, cumple las funciones de:

- Maniobra de Circuitos.
- Transformación de la Energía.
- Protección de bienes y personas.

Además las canalizaciones eléctricas, aislamiento eléctrico a masa y entre fases, medidas de la energía, etc., complementan las funciones anteriores.

Para que las finalidades expuestas se consigan correctamente, el recinto donde se ubique la aparamenta requiere unas instalaciones complementarias, entre las más importantes:

- Instalación de Puesta a Tierra.
- Instalación de protección contra incendios.
- Instalación de ventilación.
- Iluminación del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.

A continuación veremos parte de las funciones e instalaciones que deben existir en un CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.

AISLADORES. Son piezas de material aislante que sirven para soportar o sujetar conductores o equipos eléctricos. En función de dónde se sitúen podrán ser de interior, Figura 3.15.a), o de exterior, Figura 3.15.b).

Los materiales más utilizados en la fabricación de aisladores para equipos de maniobra interior en CENTRO DE TRANSFORMACIÓN son la esteatita y las resinas de epoxy, por su gran capacidad para soportar los grandes esfuerzos mecánicos que se producen cuando se realiza la apertura y cierre de los elementos de conexión.

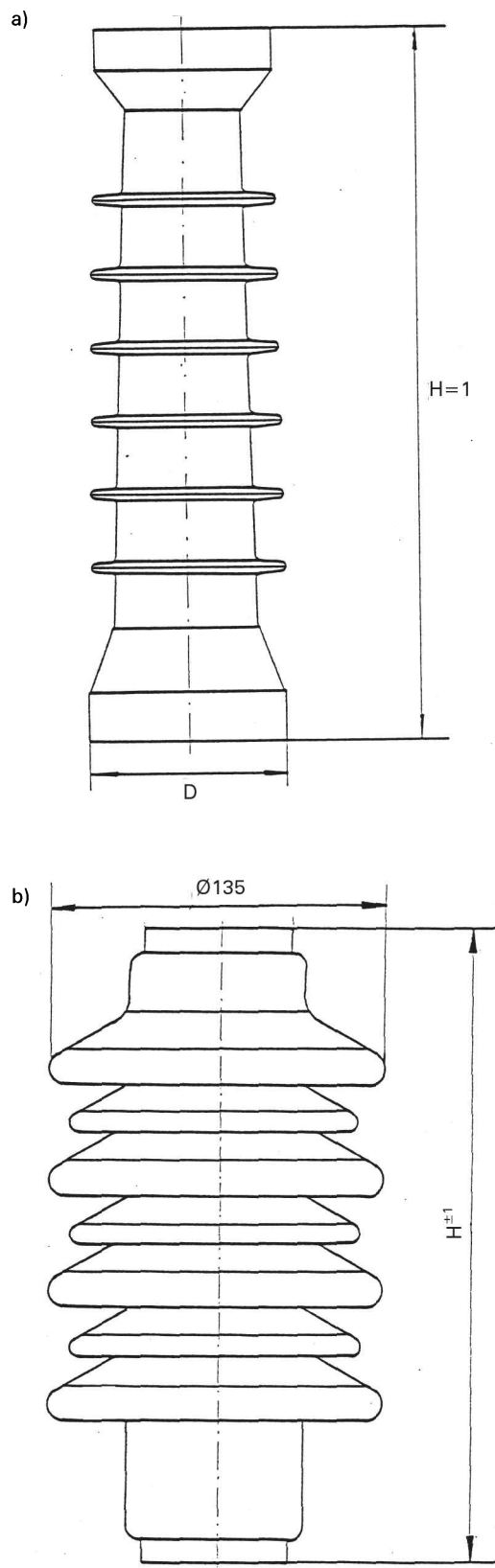


Figura 3.15. Aisladores. a) De interior. b) Para exteriores.

CONDUCTORES. La entrada a los CENTROS DE TRANSFORMACIÓN se realizará con cable seco de tensión nominal en función de la de red, hasta el Int.-Sec. de Línea, conectándose a éstos por medio de conectores o terminales (Figura 3.16).

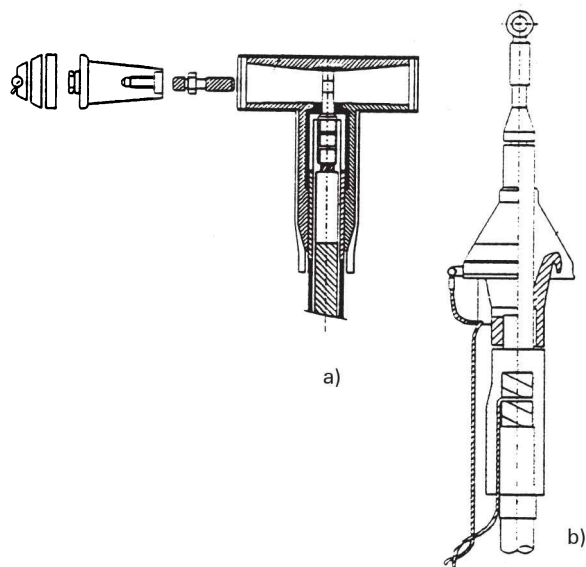


Figura 3.16. a) Conector enchufable acodado. b) Cono difusor.

Para el dimensionado del embarrado entre los diferentes equipos tendremos que tener presente lo siguiente:

1.º Comprobación por Densidad de Corriente. La densidad de corriente viene dada por la fórmula:

$$\delta = \frac{I}{S} \text{ en A/mm}^2$$

siendo:

- δ = Densidad en A/mm².
- I = Intensidad de paso 400 A.
- S = Sección del conducto, en la mayoría pletina de aluminio de 200 mm².

Sustituyendo valores tendremos una densidad de 2 A/mm².

2.º Comprobación por Solicitación Electrodinámica. Como hemos dicho que el embarrado es de pletina de aluminio de 200 mm² de sección, de símbolo H-14, vamos a calcular la máxima intensidad de cortocircuito, por tanto, la máxima potencia de red a que se puede conectar el CENTRO DE TRANSFORMACIÓN. Este cálculo se realiza teniendo en cuenta el coeficiente debido a la oscilación propia del material y la posibilidad de resonancia mecánica-eléctrica del embarrado.

Las características mecánicas del aluminio que se suele emplear son las siguientes:

- Límite elástico..... $R 0,2 \geq 1.500 \text{ kg/cm}^2$
- Carga de rotura..... 18 kg/mm^2
- Módulo de elasticidad..... $6,8 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$

Frecuencia propia de la oscilación del embarrado. Siguiendo el proceso de cálculo del F.U.T. de Siemens, emplearemos la fórmula:

$$N = \frac{C \cdot d}{L^2}$$

siendo:

- C = Constante = $5 \cdot 10^5$.
- d = Anchura del conductor en cm, en el sentido del esfuerzo.
- L = Distancia entre apoyos.

Las frecuencias propias de oscilación se hacen más peligrosas cuando su relación con respecto a la frecuencia de la red es del orden de 2. Todo ello como consecuencia de que los esfuerzos electrodinámicos del cortocircuito son pulsatorios y con una frecuencia principal doble que la de las corrientes que los originan.

Como puede verse, estamos muy alejados de posibles resonancias.

Si se considerase la influencia de las placas pasabarras o soportes intermedios, la relación N/F aumentaría aún más, por lo que nos alejaríamos de la zona de resonancia.

Cálculo del coeficiente de vibración (Vemb). La relación calculada en el apartado anterior está muy alejada de la zona de resonancia. Podemos, en consecuencia, estimar, tal como se indica en la norma VDE-0103/02.82, que el coeficiente de corrección de cargas por la característica de pulsación del esfuerzo no será superior a 1. Éste será el factor de cálculo utilizado en el estudio.

Simplificaciones para el cálculo. Con objeto de simplificar el cálculo, se realizan las siguientes simplificaciones.

- a) Se considera que los tramos de barras horizontales trabajan como vigas apoyadas. Esta consideración es pesimista, ya que en algunos casos se trata de vigas con cierto empotramiento. Se adopta, sin embargo, este criterio que redundaría en un mayor margen de seguridad en el cálculo.
- b) Se considera el coeficiente de distribución de esfuerzos en el caso de deformación plástica $r = 2$ para barras rectangulares.

Cálculo del esfuerzo máximo soportable por el embarrado horizontal. Si consideramos que el tramo de mayor longitud es de 700 mm, tendremos:

$$\text{Momento Flector Máximo... } M = \frac{P \cdot L^2}{8}$$

$$\text{Momento Resistente... } M = \frac{R \cdot I}{Z} = \frac{R \cdot h \cdot d^3 \cdot 2}{12 \cdot d}$$

Por tanto, igualando ambas expresiones tendremos que:

$$\frac{P \cdot L^2}{8} = \frac{R \cdot h \cdot d^2}{6}$$

de donde:

$$P = \frac{R \cdot h \cdot d^2 \cdot 8}{6 \cdot L^2}$$

Y si consideramos el factor r de distribución de esfuerzos en deformación plástica, tenemos:

$$P = \frac{8 \cdot R \cdot h \cdot d^2 \cdot r}{6 \cdot L^2 \cdot V_{emb}}$$

Si $R \cdot 0,2 = 1.500 \text{ kg/cm}^2$

$d = 4 \text{ cm}$

$r = 2$

$V_{emb} = 1$

$L = 70 \text{ cm}$

$h = 0,5 \text{ cm}$

$P = 6,53 \text{ kg/cm}$

tendremos que el máximo esfuerzo que puede soportar el embarrado es de 6,53 kg/cm.

Cálculo de la intensidad máxima admisible. Partiendo del dato obtenido por unidad máxima admisible podemos calcular la intensidad máxima que provoca dicho esfuerzo sobre las barras horizontales. Según la conocida fórmula:

$$P = \frac{2,04 \cdot 10^{-8} \cdot I_s^2}{a}$$

siendo:

I_s = Valor de cresta máximo de la intensidad.

a = Distancia entre conductores.

De ahí:

$$I_s = \sqrt{\frac{A \cdot P \cdot 10^8}{2,04}}$$

Para $P = 6,53 \text{ kg/cm}$ $I_s = 91,22 \text{ kA}$ $a = 26 \text{ cm}$

Con lo que la **intensidad máxima de cortocircuito** admisible correspondiente será:

$$I_{cc} = \frac{91,22}{2,5} = 36,50 \text{ kA} \quad (\text{valor eficaz})$$

La **potencia de cortocircuito admisible**, de acuerdo con el resultado anterior y considerando una tensión nominal de 24 kV, será:

$$P_{cc} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{cc} = 1,73 \times 24 \times 36,5 = 1.515 \text{ MVA}$$

La **intensidad máxima permanente**, de acuerdo con la norma DIN para una barra de 200 mm² y una temperatura ambiente de 35 °C, será del orden de los 400 A.

Por todo lo anterior, vemos que la potencia de cortocircuito a la que puede ser conectado un CENTRO DE TRANSFORMACIÓN es superior al que existe realmente en el punto de enganche a dicha red.

Cálculo por sollicitación térmica. Partiendo de los datos antes indicados de temperatura ambiente y sobrecalentamiento, se debe considerar que la temperatura máxima de servicio en régimen es de 65 °C.

Si admitimos que la temperatura final no debe sobrepasar los 175 °C, cifra conservadora, la intensidad máxima de corta duración, calculada por la fórmula:

$$I_{Th} = S \cdot K \cdot \sqrt{\lg \frac{234 + T_e}{234 + T_i} \cdot \frac{1}{t}}$$

siendo:

S = Sección de la barra en mm².

T_e = Temperatura final de la barra, 175 °C.

T_i = Temperatura inicial de la barra, 65 °C.

t = Duración del paso de la Intensidad, en segundos.

K = Constante: 220.

Para 1 s de duración, según es práctica común, nos dará una $I_{th} = 16 \text{ kA}$.

SECCIONADOR. De acuerdo con la MIE-RAT 01.50 es un aparato mecánico de conexión que, por razones de seguridad en posición abierto, asegura una distancia de seccionamiento que satisface a condiciones especificadas. También es capaz de abrir y cerrar un circuito cuando es despreciable la corriente a interrumpir o a establecer, o bien cuando no se produce cambio apreciable de tensión en bornes de cada uno de los polos del seccionador. Es también capaz de soportar corrientes de paso en las condiciones normales del circuito, así como durante un tiempo especificado en condiciones anormales, tales como las de cortocircuito. Los seccionadores pueden ser unipolares y tripolares, según la instalación y la función que vayan a realizar.

Su montaje deberá realizarse de tal modo que no pueda cerrarse de forma imprevista, por gravedad o vibraciones.

Pueden ser igualmente del tipo giratorio o basculante.

INTERRUPTOR. La MIE-RAT 01.29 dice: es el aparato dotado de poder de corte, destinado a efectuar la apertura y el cierre de un circuito, que tiene dos posiciones en las que puede permanecer en ausencia de acción exterior y que corresponden una a la apertura y otra al cierre del circuito.

Puede cerrar, pero no interrumpir intensidades de cortocircuito.

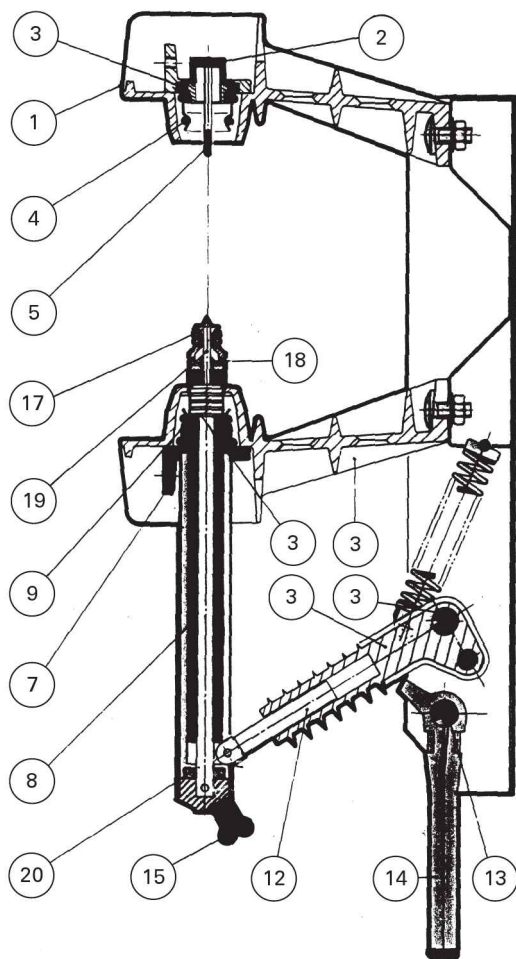
Los procedimientos utilizados más comúnmente para la extinción del arco son:

- Aéreos con apagachispas o cuernos.
- De soplado magnético.
- De soplado neumático o autoneumático.
- En baño de aceite, pequeño volumen de aceite, gas (SF₆) hexafluoruro de azufre.

En estos aparatos, además de sus características eléctricas de intensidad y tensión nominal, es fundamental conocer su:

- **PODER DE CORTE.** Valor de la intensidad que el aparato es capaz de cortar bajo una tensión de restablecimiento determinada y en las condiciones prescritas de funcionamiento. Se expresa en kA y MVA.
- **PODER DE CIERRE.** Valor de la intensidad que el aparato es capaz de restablecer, bajo una tensión dada, en las condiciones prescritas de funcionamiento.

Existen muchos tipos. En la Figura 3.17 se representa uno de ellos.



- | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Aislador superior. | 11. Eje de mando. |
| 2. Terminal superior. | 12. Elemento aislante cilíndrico. |
| 3. Contacto fijo superior. | 13. Eje de las cuchillas de tierra. |
| 4. Dedos de contacto. | 14. Cuchillas de tierra. |
| 5. Varilla de contacto. | 15. Contacto fijo. |
| 6. Aislador inferior. | 16. Pistón fijo. |
| 7. Terminal inferior. | 17. Tobera. |
| 8. Cilindro de contacto móvil. | 18. Contacto móvil. |
| 9. Contacto guía fijo. | 19. Varilla. |
| 10. Biela aislante. | 20. Amortiguador. |

Figura 3.17. Interruptor.

INTERRUPTOR-SECCIONADOR. Es un interruptor que en la posición abierto satisface las condiciones de aislamiento especificadas para un seccionador.

INTERRUPTOR AUTOMÁTICO. La MIE-RAT 01.30 dice: Interruptor Automático es el interruptor capaz de establecer, mantener e interrumpir la intensidad de la corriente de servicio, o interrumpir automáticamente o establecer, en condiciones predeterminadas, intensidades de corriente anormalmente elevadas, tales como las corrientes de cortocircuito (Figura 3.18).

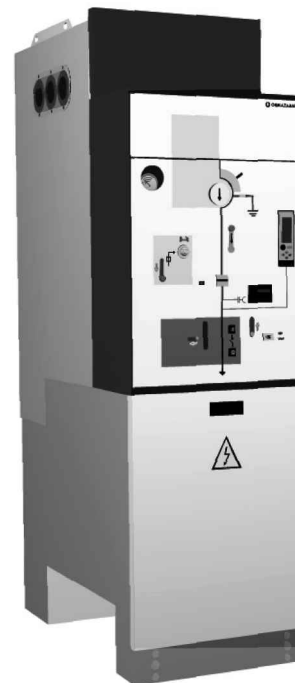


Figura 3.18. Interruptor Automático.

Se utilizan para la protección de instalaciones y transformadores.

El accionamiento de estos aparatos, además de manual, será automático, dando la orden, relés de sobreintensidad (directos o indirectos), relés de corriente homopolar o bobinas de disparo, bien de mínima tensión o a emisión de corriente.

Una de las características más importantes de estos aparatos es su poder de corte, que deberá estar en función del tipo y forma de explotación de la red, así como del punto en donde se instalen, dependiendo de la potencia de cortocircuito de la misma.

SECCIONADORES DE PUESTA A TIERRA. Aparatos de conexión utilizados para poner a tierra partes de un circuito o instalación. Puede soportar durante determinado tiempo intensidades en condiciones anormales como las de cortocircuito, pero no están previstos para soportar la intensidad en las condiciones normales del circuito o instalación.

En algunos casos tienen un poder de cierre nominal.

La maniobra de estos aparatos puede considerarse a la posición de un interruptor o seccionador, es decir, estar enclavados mecánicamente. Hay aparatos que llevan incorporados el seccionador de puesta a tierra.

RELÉS DIRECTOS. Son los excitados por la propia intensidad que pasa por cada fase que alimenta al transformador

o al receptor a proteger. Si la intensidad es superior a la que se ha tarado el relé, provoca el disparo del interruptor asociado a él, Figura 3.19.

Cuando se asocia el relé con fusibles de a.p.r., los valores adecuados de los mismos, en función de la potencia del transformador y de la tensión de alimentación, son los que se aconsejan en la Tabla 3.1.

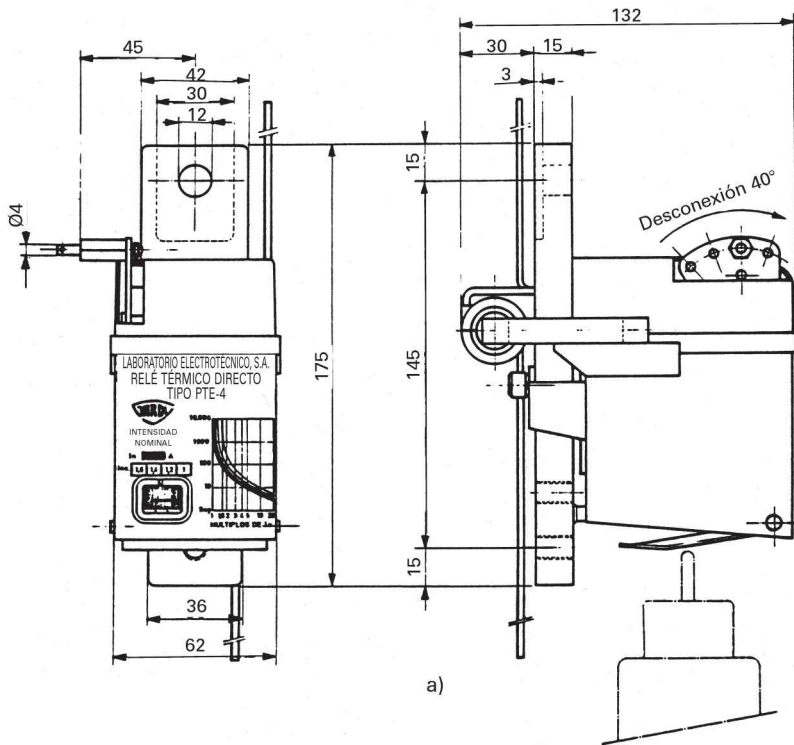


Figura 3.19. Relé directo. a) Vista del relé. b) Curvas de disparo.

Tabla 3.1. Valores de regulación para relés térmicos y fusibles de a.p.r. asociados para diversas potencias y tensiones de alimentación a transformadores.

POTENCIA TRANSFORMADOR en kVA	U _{más elevada} kV/U _n kV	
	17,5/15	30/24
	I _n del Relé Térmico en A	
	I _n del Fusible a.p.r. asociado en A	
250	7/30	5/25
400	12,5/50	10/40
630	30/100	15/63

RELÉS INDIRECTOS. Los relés indirectos están excitados por una intensidad reducida, imagen de la intensidad pri-

maria que toma el transformador de potencia, haciendo uso de transformadores de intensidad de relación $I_n/5 A$, Figura 3.20.

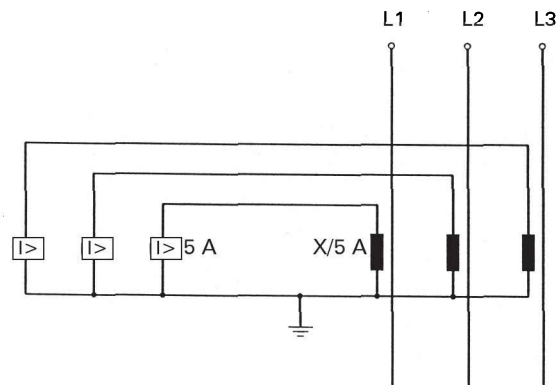


Figura 3.20. Esquema de conexión de relés indirectos.

La saturación magnética de los transformadores de intensidad limita las puntas de intensidad susceptibles de dañar los relés utilizados, siendo lo suficientemente precisos para las necesidades de tipo industrial.

La armonización entre los relés indirectos y los transformadores de intensidad hace posible:

- Una temporización a tiempo inverso o constante.
- Una desconexión instantánea para corrientes excesivas durante el periodo transitorio.
- Retorno a valores más bajos de intensidad de disparo, pasado el periodo transitorio.

De todas maneras, el sistema precisa de:

- Los transformadores de intensidad de relación $I_n/5$ A.
- Los relés indirectos normalizados, 5 A.
- Normalmente de una fuente auxiliar de intensidad —acumulador— y su equipo de mantenimiento —cargador.

TERMÓMETROS. Para el control de la temperatura a la que se encuentra el aceite de los transformadores de M.T. se suelen utilizar termómetros. Si la potencia del transformador es pequeña, se suelen instalar termómetros de columna sobre la tapa del transformador. Este aparato está dotado en su interior de alcohol coloreado de color rojo y alojado dentro de una ampolla de cristal en la que se ha grabado una escala donde se realiza la lectura.

El termómetro de esfera, Figura 3.21, además de señalar la lectura directa, va equipado con dos contactos, regulares, que permiten:

- Accionar una alarma a una temperatura predeterminada t_1 .
- Ordenar la desconexión del transformador por alcanzar una temperatura t_2 .

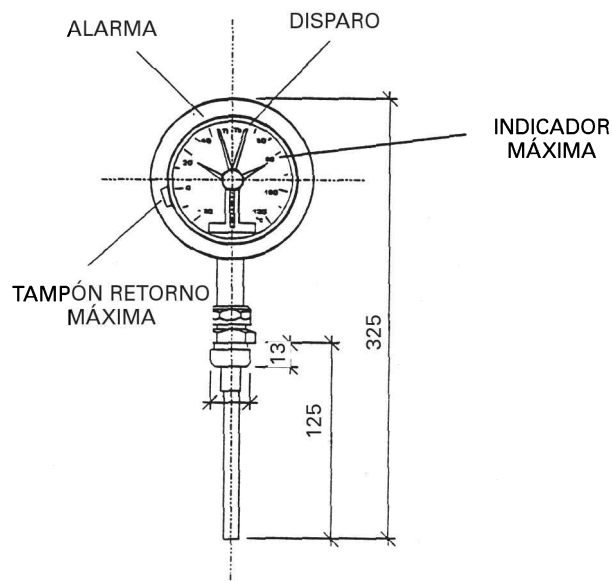


Figura 3.21. Termómetro de esfera.

Algunos equipos están equipados con agujas conducidas que permiten registrar los límites máximo y mínimo de temperatura en un periodo a partir del instante de una puesta a cero.

De todas formas, no podemos olvidar que estos equipos son adecuados para la protección contra sobrecargas medias mantenidas en el tiempo, pero son incapaces de detectar un incremento brusco y rápido de temperatura de los arrollamientos por efecto de fuertes sobreintensidades breves.

Para que estos equipos entren en acción tendremos que esperar el tiempo necesario para que el calor desprendido por los arrollamientos del transformador caliente la masa líquida del dieléctrico alojado en el interior del transformador y alcance el valor prefijado. Este tiempo puede ser de 15 a 20 minutos para los transformadores de 1.000 kVA para un cortocircuito franco que se pueda producir en los bornes del secundario del transformador.

RELÉ BUCHHOLZ. Los incidentes eléctricos que puedan afectar a los bobinados sumergidos en aceite se traducen en un desprendimiento de gases cuya composición es función de la naturaleza de los aislantes líquidos sometidos a la acción del arco de defecto, Figura 3.22.

La primera acción del Buchholz es la recuperación de los gases producidos y la señalización de su aparición. Hay que tener en cuenta que al poner en servicio el transformador se pueden producir desprendimientos de burbujas internas de aire. Este aire proviene de pequeñas burbujas aprisionadas en los bobinados, los radiadores, los tubos y conductos de circulación o refrigeración. La elevación de la temperatura, las vibraciones, el movimiento circular del aceite, eliminan poco a poco estas burbujas de aire.

La presencia de un desprendimiento gaseoso no es, pues, criterio absoluto de incidente; es necesario determinar la naturaleza de los gases producidos para descubrir si se trata de un fenómeno de orden eléctrico.

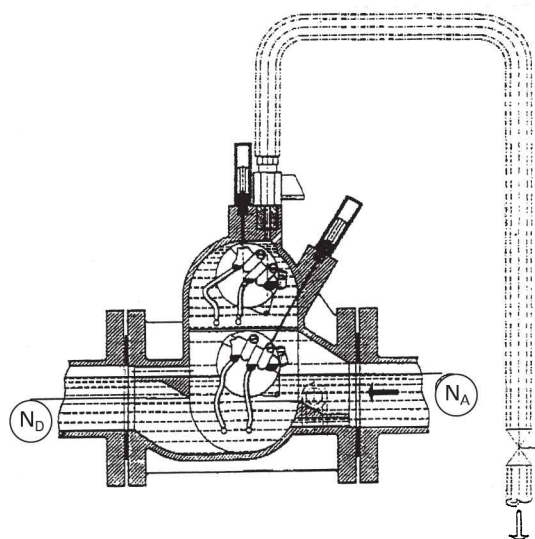


Figura 3.22. Relé Buchholz.

El funcionamiento del mismo es el siguiente. Para permitir recoger la totalidad de los gases, el relé Buchholz ha de colocarse en el punto más alto del sistema a controlar, es decir, entre el tubo de salida del transformador y el depósito de expansión del mismo para que esté siempre lleno de aceite.

El interior del cuerpo del relé Buchholz tiene dos flotadores: el F1, situado en la parte superior y que sirve para dar la alarma previa, y el F2, situado en la parte inferior y que da la orden de desconexión.

El flotador F1 es controlado por medio de un recinto transparente que nos da la información necesaria para ver el estado en que se encuentra.

Cualquier aumento de gases produce un basculamiento del flotador F1, conectando su contacto NA (normalmente abierto), con el consiguiente aviso. De forma similar y si el nivel del aceite baja hasta hacer actuar al flotador F2, el cual acciona su contacto NA y manda la señal a la bobina de emisión de corriente que lleva el interruptor automático para que proceda a la desconexión del transformador.

Es importante comprobar rápidamente la naturaleza del gas recogido en la parte alta del relé Bulchholz para analizarlo. Si el gas recogido no es combustible es porque se trata de aire,

por lo que el transformador puede seguir en servicio. En caso de que la muestra de gases analizados sea inflamable, eso nos indica que tiene un defecto importante, por lo que procederemos a poner fuera de servicio el transformador.

- Bloques de Protección DGPT, Figura 3.23: este modelo está equipado con las funciones de detección de gas, exceso de presión, termostato con dos puntos de regulación. Agrupa en un solo aparato las señalizaciones:

Por visión directa: Ligero descenso de nivel.
Valor instantáneo de la temperatura del aceite de 40 °C a 120 °C.

Por contacto eléctrico: Acumulación importante de gas.
Pérdida de dieléctrico.
Sobrepresión interna anormal.
Temperatura anormal del dieléctrico en dos niveles de regulables entre 50 °C y 110 °C.

TRANSFORMADOR. Es una máquina estática, de inducción electromagnética, destinada a transformar un sistema de corrientes variables en otro de intensidades y tensiones generalmente distintas, pudiendo ser su aislamiento en aceite, Figura 3.24.a), o encapsulados en resina, Figura 3.24.b).

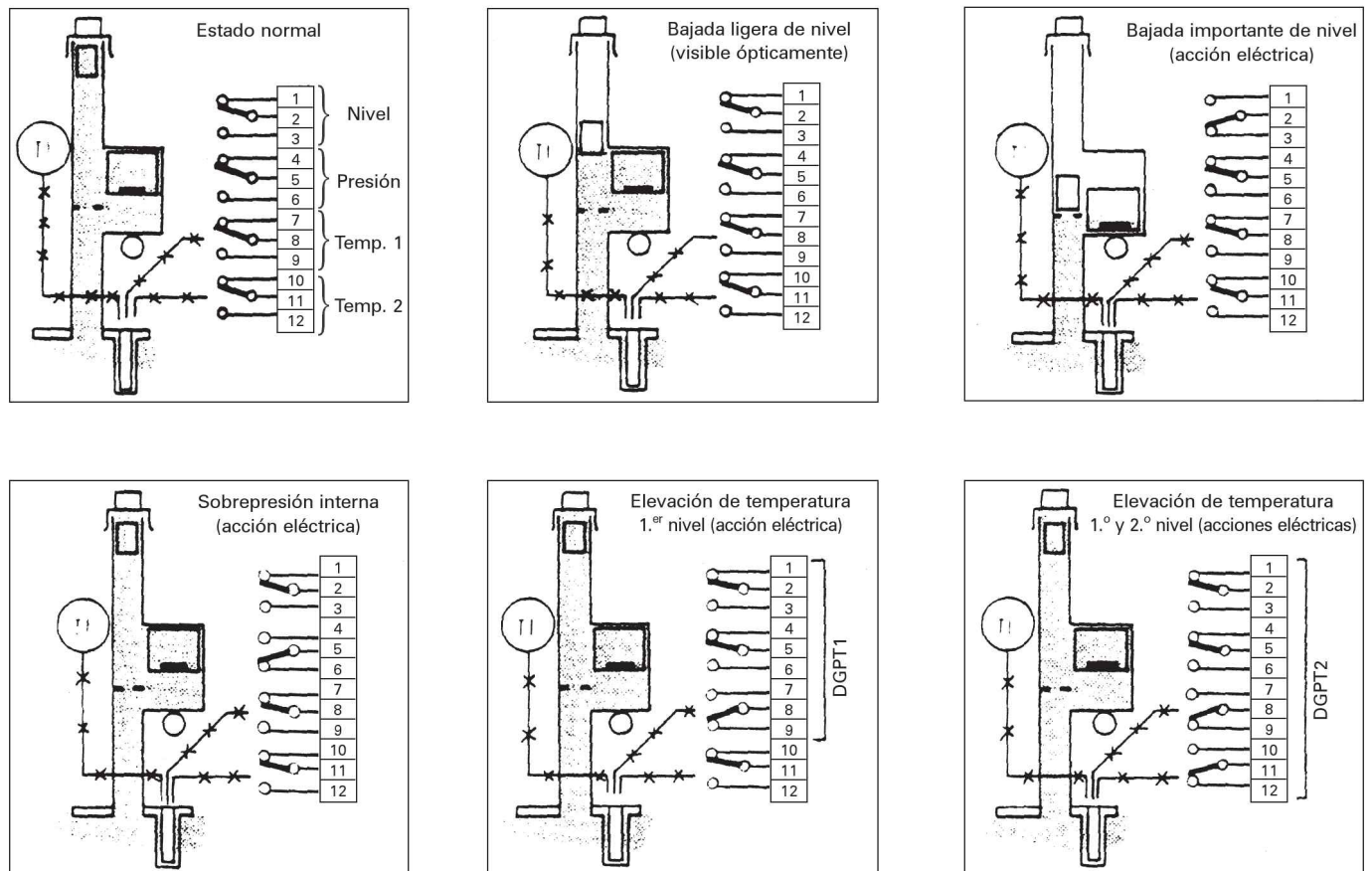


Figura 3.23. Esquemas de funcionamiento de los Bloques de Protección DGPT.

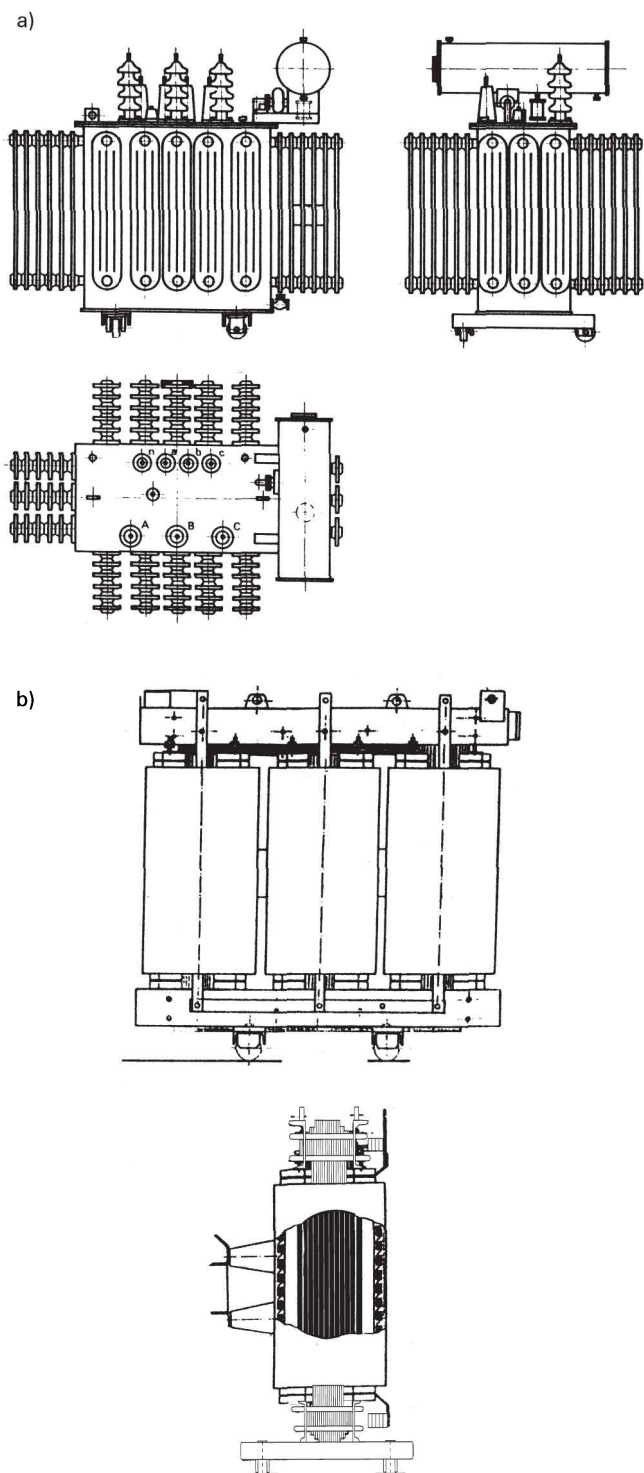


Figura 3.24. Transformador de Potencia. a) En aceite.
b) Encapsulados en resina.

Para este caso de distribución de la energía eléctrica serán normalmente trifásicos, si bien se admiten bancos construidos con tres transformadores monofásicos y excepcionalmente se

admitirán transformadores monofásicos, siempre que su potencia sea inferior a 5 kVA.

Funcionando en vacío, es decir, sin carga, la relación de transformación entre las tensiones de fase del primario U_1 y del secundario U_2 es igual a la relación del número de espiras primarias N_1 y las secundarias N_2 :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Sus características fundamentales son:

- Tensión primaria, U_1 .
- Tensión secundaria, U_2 .
- Grupo de conexiones.
- Tensión de cortocircuito, u_{cc} .

Estas características deberán ser iguales en caso de trabajar dos o más transformadores en paralelo.

Las potencias unitarias recomendadas expresadas en kVA para transformadores de distribución son:

10 - 25 - 50 - 100 - 160 - 250 - 400 - 630 - 800 - 1.000

Para la instalación de centros de cliente las potencias de los transformadores, además de las anteriores, pueden llegar a ser, expresadas en kVA, de:

1.250 - 1.600 - 2.000 - 2.500

Todos los transformadores estarán provistos de un dispositivo de regulación $\pm 5\%$ de tensión.

Irán colocados sobre la tapa y actuarán sobre los arrollamientos de A.T., permitiéndose, únicamente, variar la relación de transformación estando el transformador desconectado.

Los tipos de transformadores son:

Clase B1: Apto para alimentar redes a tensiones nominales de 230 V.

Clase B2: Apto para alimentar redes a tensiones nominales de 400 V.

Los grupos de conexión más utilizados son:

Y zn 11 para transformadores de pequeña potencia de 25 a 100 kVA.

D yn 11 para todas las potencias de 160 a 2.500 kVA.

Siendo:

- D = Conexión triángulo.
- Y = Conexión estrella.
- z = Conexión zigzag.
- n = Neutro accesible.

El desfase entre arrollamientos se expresa por un índice horario, Figura 3.25, que es la hora indicada sobre el cuadrante de un reloj cuya aguja grande (aguja de los minutos) está a las 12 horas y coincide con el vector de la tensión entre el punto neutro (real o ficticio) y un borne de línea del arrollamiento de B.T.

Tabla 3.2. Grupos de Conexión. Designación de las conexiones de transformadores trifásicos con arrollamientos separados

Índice de Conexión	Grupo de conexión C.E.I.	Grupo de conexión V.D.E.	Diagrama vectorial		Esquema de conexiones		Relación de transformación V_{UV}/V_{uv}
			Alta tensión	Baja tensión	Alta tensión	Baja tensión	
0	Dd0	A1					$\frac{n_1}{n_2}$
	Yy0	A2					$\frac{n_1}{n_2}$
	Dz0	A3					$\frac{2}{3} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
6	Dd6	B1					$\frac{n_1}{n_2}$
	Yy6	B2					$\frac{n_1}{n_2}$
	Dz6	B3					$\frac{2}{3} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
5	Dy5	C1					$\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
	Yd5	C2					$\sqrt{3} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
	Yz5	C3					$\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
11	Dy11	D1					$\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
	Yd11	D2					$\sqrt{3} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
	Yz11	D3					$\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{n_1}{n_2}$

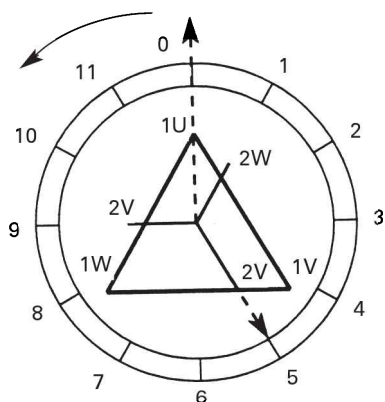


Figura 3.25. Índice horario.
Diagrama para la utilización de los grupos de conexión.

TRANSFORMADORES DE MEDIDA. Son pequeños transformadores de aislamiento seco, que reproducen magnitudes proporcionales a las originales del circuito principal, tanto en intensidad como en tensión, Figura 3.26.

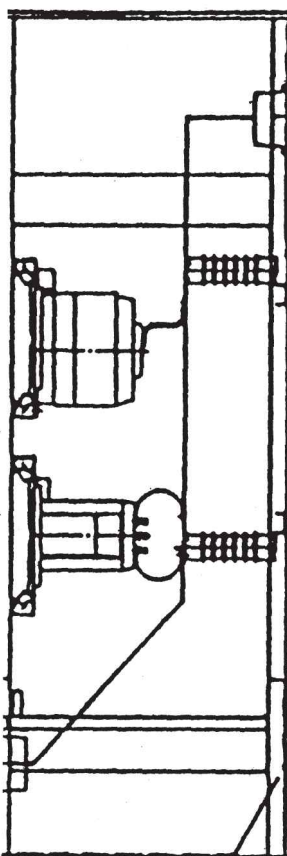


Figura 3.26. Transformadores de intensidad y de tensión colocados por este orden, de abajo hacia arriba en la celda de medida.

Los objetos principales de los transformadores de medida son:

- Aislar o separar los circuitos y aparatos de medida de la A.T., evitando accidentes.
- Evitar perturbaciones electromagnéticas de las corrientes elevadas y reducir las intensidades de cortocircuito a valores admisibles en delicados aparatos de medida.
- Obtener magnitudes proporcionales de intensidad y tensión evitando dificultades para manejar tensiones e intensidades tan elevadas.

Las características de estos aparatos vendrán en función de las características de la red y del equipo de medida.

EQUIPOS DE MEDIDA. La necesidad de medir la energía eléctrica consumida por un cliente obliga a la instalación de un equipo de medida de energía eléctrica.

Hasta hace poco tiempo estos equipos estaban formados por:

Un contador de energía activa (simple, doble, triple tarifa, con o sin maxímetro).

Un contador de energía reactiva.

Un interruptor horario.

Hoy en día los equipos anteriormente indicados, que eran del tipo «ferrari», han sido sustituidos por un único contador del tipo electrónico (Figura 3.27) que registra y realiza todos los parámetros indicados anteriormente.

No obstante, sigue siendo obligatoria la instalación de 3 transformadores de intensidad, 3 transformadores de tensión y 1 placa de comprobación de 10 elementos para el conexionado entre estos transformadores y el equipo de medida.



Figura 3.27. a) Vista exterior de un contador electrónico multifunción para A.T.

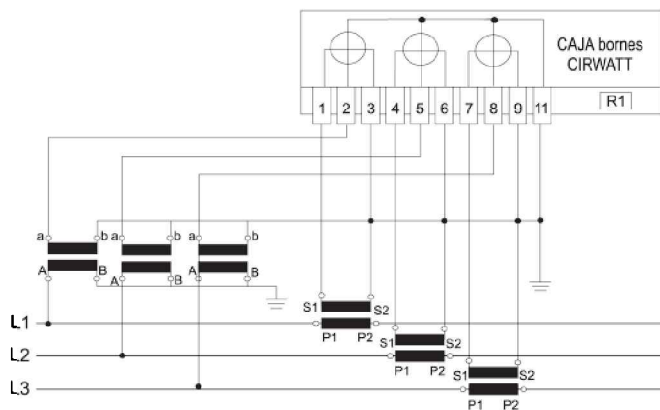


Figura 3.27. b) Esquema de conexionado equipo multifunción para A.T.

3.6 Maniobras en un centro de transformación

3.6.1. Instrucciones para maniobras

Antes de realizar una maniobra, habrá que tener en cuenta las siguientes premisas:

- 1.^a No accionar **nunca** un **seccionador** en **carga**.
- 2.^a Siempre que tengamos que **cortar servicio** en un circuito en carga, se deberá **accionar primeramente** el interruptor de apertura de carga o del **interruptor automático**.
- 3.^a **Antes de cerrar** un seccionador de puesta a tierra (p. a t.), **comprobar la ausencia de tensión**.
- 4.^a **Antes de reestablecer servicio** en un circuito, comprobar que están **abiertos los seccionadores** de p. a t.
- 5.^a Familiarizarse con el centro y **observar** detenidamente la **señalización** si es que la hay.
- 6.^a Utilizar el **material de seguridad** necesario en cada maniobra.

Todas ellas deberán hacerse extensivas a todos los tipos de centros y siempre que sea necesaria la realización de una maniobra, complementándose en cada caso con las instrucciones particulares de cada aparato.

3.6.2. Modo de reponer un fusible

Siempre que tengamos que actuar en la celda de protección del transformador para la reposición de fusibles, bien por haberse fundido o simplemente para sustituir éstos por

otros de distinto tipo o calibre, se deberá actuar del siguiente modo:

- 1.^o Abrir el interruptor de protección. En caso de ser por fusión de uno de los fusibles, al ser automático este aparato, deberá estar abierto.
- 2.^o Abrir el seccionador tripolar correspondiente a la celda de protección, con lo cual independizaremos el interruptor de protección del barraje, que está en tensión, y nos proporciona un corte visible. ¡OJO a las posibles tensiones de retorno! Deberemos, igualmente, abrir el interruptor automático del cuadro de B.T., para evitar alimentaciones por el lado de baja procedentes de grupos electrógenos, etc.
- 3.^o Comprobar la ausencia de tensión.
- 4.^o Conexionar el seccionador de p.a.t. en caso de existir o descargar el circuito a tierra por medio de una pértiga.
- 5.^o Apertura de la celda y reposición de los fusibles.

En todas estas operaciones deberán tomarse las medidas de seguridad necesarias y utilizar el material adecuado.

3.6.3. Rearme de relés

En los interruptores de protección, el accionamiento automático se realiza en muchas ocasiones, por medio de relés directos de A.T.

Rearmar el relé es ponerle en posición tal, que no dé orden de apertura al interruptor en caso de cerrarle sobre un circuito sin avería ni sobrecarga.

Podemos distinguir dos casos de rearme:

- Automático al accionar el aparato.
- Manual.

Si un aparato, con rearme manual, ha sido accionado por los relés, de no rearmar éstos, el aparato volverá a abrir inmediatamente de accionarle o en algunos casos se quedará bloqueado hasta que sean rearmados los relés.

Algunas veces, en caso de rearme automático, el aparato al accionarlo dispara. En estas circunstancias se deberá actuar levemente, por medio de la pértiga de maniobra, sobre el dispositivo de accionamiento del relé, pero en sentido contrario al que nos produce el disparo. Realizada esta operación, se podrá accionar de nuevo el interruptor, comprobando que queda en posición de cerrado.

Otro relé a rearmar es el del cuadro de B.T., si el accionamiento es por bobinas de disparo, en caso de montarlo.

Cuando la apertura del interruptor se ha producido por accionamiento de la bobina, se deberá reponer el relé situado en el cuadro de B.T. Lleva bandera señalizadora.

3.6.4. Maniobra en la celda del interruptor

Cuando el circuito que alimenta al centro está de paso, es decir, continúa a otros centros, la celda del interruptor deberá colocarse como celda de salida respecto al funcionamiento habitual del mismo. La razón se halla en que, al tener que cortar el servicio en ese circuito a partir de dicho centro, éste no se quede sin alimentación en ningún momento.

El proceso de realización de la maniobra es el siguiente:

- 1.º Abrir el interruptor-seccionador o interruptor.
- 2.º Abrir el seccionador tripolar, intercalado entre el interruptor y el barraje.

En caso de ser necesario entrar a la celda, se deberá comprobar:

- Ausencia de tensión.
- Descargar el cable a tierra por medio del seccionador de p. a t. o con la pértiga de p. a t.

Si al comprobar la ausencia de tensión detectamos que sí hay tensión, se deberá ir al centro del que procede dicho cable, accionando el aparato correspondiente a la celda de salida del mismo.

Comprobar de nuevo la ausencia de tensión, descargar el cable y realizar las operaciones previstas.

Se deberá utilizar el material de seguridad necesario, como pértiga detectora de tensión con su comprobador, banqueta, guantes, gafas, casco, etc.

3.6.5. Maniobra en la celda del seccionador

Al igual que en el aparato anterior, con el circuito de paso, esta celda de seccionador se colocará en el cable de llegada.

Puede darse el caso de que interese montar en esta celda un interruptor de apertura en carga por el modo de explotación.

El proceso de realización de la maniobra en esta celda será el siguiente:

- 1.º Comprobar que no existe carga en el circuito que es alimentado a partir de esta celda. Se tendrá seguridad de ello cuando:
 - El interruptor de protección esté abierto.
 - El interruptor de la celda de salida esté abierto.
- 2.º Abrir el seccionador tripolar.

Antes de entrar a la celda se deberán tomar las medidas indicadas en el apartado anterior, que son:

- Comprobar la ausencia de tensión.
- Descargar el cable a tierra.

3.6.6. Condena de aparatos

Todos los aparatos de maniobra deberán tener dispositivos para ser condenados, tanto en posición «abierto» como en posición «cerrado». De igual modo sucederá con las puertas y paneles de acceso a las celdas. Estos dispositivos podrán ser cerraduras, candados, etc.

3.6.7. Enclavamientos

Todas las celdas de maniobra podrán estar dotadas de estos enclavamientos, en particular las celdas de tipo prefabricado.

Son de tipo mecánico y tienen por finalidad evitar accidentes o falsas maniobras, obligando a que en todo momento la secuencia de maniobras sea la correcta entre:

- Interruptor.
- Seccionador.
- Pantalla seccionadora aislante.
- Puerta de acceso.
- Seccionador de p. a t.

A continuación, se indica la Tabla 3.1 con las posibilidades de accionamiento en celdas con enclavamientos. Todos los elementos o aparatos expresados se consideran montados en la misma celda. Si en algún caso alguno no existiese no se tendrá en cuenta la columna o pila correspondiente.

Este cuadro indica los enclavamientos posibles de modo general, debiéndose, posteriormente, ajustar cada uno a cada caso.

3.6.8. Comprobación de la concordancia de fases

Antes de realizar una maniobra de acoplamiento entre dos circuitos, bien en una celda o bien en un cuadro de distribución, se deberá comprobar que se corresponden las fases. A esto se lo denomina «Concordancia de Fases».

Esta concordancia se realiza por medio de unos pilotos señalizadores de tensión (Pilotos de Neón) conectados al circuito por medio de unos divisores capacitivos, como se indica en la Figura 3.28 montados sobre aisladores.

Para la comprobación de concordancia de fases se deberá operar del modo siguiente:

- En celdas prefabricadas. Se utilizará un piloto señalizador de tensión con unos conductores y terminales de conexión, como se indica en la Figura 3.29.

Tabla 3.1. Cuadro de accionamiento de aparatos en celdas de enclavamiento

ELEMENTO A ACCIONAR	celda con tensión	POSICIÓN DEL RESTO DE LOS APARATOS									
		secc. abierto	secc. cerrado	interr. abierto	interr. cerrado	con pantalla	sin pantalla	puerta abierta	puerta cerrada	secc. tierra abierta	secc. tierra cerrada
SECCIONADOR	X			X	--	--	X	--	X	X	--
INTERRUPTOR	X	X	X			--	X	--	X	X	--
PANTALLA	X	X	--	X	--			--	X	X	--
PUERTA	--	X	--	X	--	X	--			--	X
SECC. TIERRAS	--	X	--	X	--	X	--	X	X		

X = Sí se puede accionar el aparato. -- = No se puede accionar el aparato.

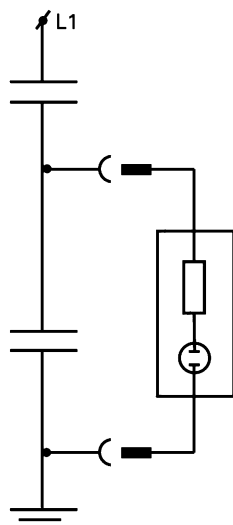


Figura 3.28. Pilotos señalizadores de Neón.

Después, sucesivamente, conectar la clavija A en la borna L1 de la primera celda y la clavija B en la borna L1 de la segunda celda y así para las fases L2 y L3.

Si la lámpara queda apagada, las dos entradas están en fase.

Si la lámpara no queda apagada, las dos entradas están en discordancia de fases.

- En celdas de tipo convencional, sin divisores capacitivos. En este caso se realizará la misma operación con unas pértigas para comprobación de concordancia de fases. Estas pértigas están unidas por medio de un conductor y una de ellas lleva el piloto señalizador incorporado.

Las operaciones para la comprobación de fases son idénticas a las descritas en el caso anterior; únicamente se deberá indicar que estas últimas se realizan en una misma celda y comprobando entre los bornes de un mismo seccionador, como se aprecia en la Figura 3.30.

Después de la comprobación, en caso de que haya concordancia de fases, se realizará la maniobra de acoplamiento.

Si no hubiera concordancia se procedería a intercambiar los puntos de conexión al barraje hasta conseguir dicha concordancia.

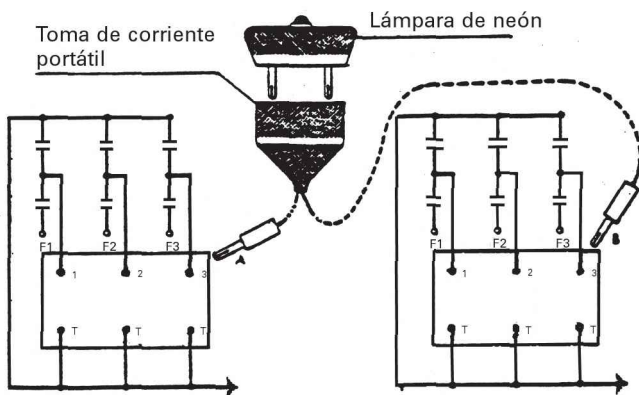


Figura 3.29. Esquema de Principio.

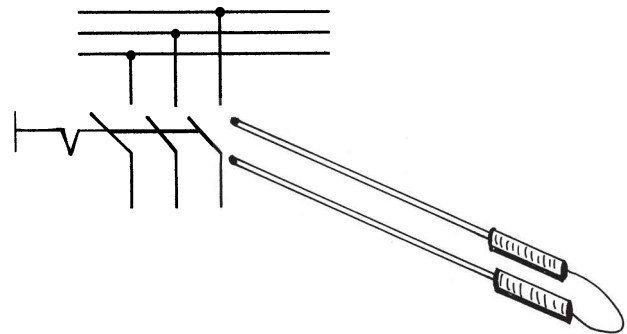


Figura 3.30. Comprobación de concordancia de fases en celdas de tipo convencional.

Esta operación es necesario realizarla siempre que se ponen en funcionamiento nuevas instalaciones o siempre que se repare una avería que pueda dar lugar a un intercambio de fases.

3.7 Tomas de tierra en centros de transformación. Características

Todos los CENTROS DE TRANSFORMACIÓN estarán previstos de una instalación de puesta a tierra, con objeto de limitar las tensiones de defecto a tierra que puedan producirse en la propia instalación. Este sistema de puesta a tierra (p. a t.), complementada con los dispositivos de interrupción de corriente, deberá asegurar la descarga a tierra de la intensidad homopolar de defecto, contribuyendo a la eliminación del riesgo eléctrico debido a la aparición de tensiones peligrosas en el caso de contacto con las masas puestas en tensión.

El diseño en cada caso de las p. a t. del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN se efectuará mediante la aplicación del documento UNESA «Método de Cálculo y Proyecto de Instalaciones de Puesta a Tierra para CENTROS DE TRANSFORMACIÓN conectados a Redes de Tercera Categoría».

De acuerdo con la instrucción MIE-RAT 13, Apartado 6.1, se pondrán a las puestas a tierra de protección, todas las partes metálicas de una instalación que no estén en tensión, normalmente, pero pueda estarlo a consecuencia de averías, accidentes, descargas atmosféricas o sobretensiones.

La instrucción MIE-RAT 13, Apartado 6.2, dice: Se conectarán a la tierra de servicio los elementos de la instalación necesarios, y entre ellos:

- Los neutros de los transformadores.
- Los circuitos de B.T. de los transformadores de medida.
- Los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de p. a t.
- Las autoválvulas, limitadores, descargadores, etc.

3.7.1. Sistemas de puesta a tierra

3.7.1.1. Instalación de tierra general

Cuando la tensión de defecto a tierra en el CENTRO DE TRANSFORMACIÓN no sea superior a 1.000 V se conectarán, a una instalación de tierra general (de protección y de servicio), los siguientes elementos:

- Masas de A.T.
- Masas de B.T.
- Envolturas o pantallas metálicas de los cables.

- Pantallas o enrejados de protección.
- Armaduras metálicas interiores de la edificación.
- Cuba metálica de los transformadores.
- Autoválvulas de A.T. y de B.T.
- Bornes de tierra de los detectores de tensión.
- Neutro de los transformadores.
- Bornes de p. a t. de los dispositivos portátiles de p. a t.
- Bornes de p. a t. de los trafos de intensidad de B.T.

3.7.1.2. Instalaciones de tierras separadas

Cuando la tensión de defecto a tierra en el CENTRO DE TRANSFORMACIÓN sea superior a 1.000 V los neutros de los transformadores, los bornes de p. a t. de los trafos de intensidad de B.T. y las autoválvulas de B.T. segregados de la instalación de tierra general indicada en el apartado anterior, se unirán a una instalación de tierra separada, que se llamará de Neutro o de Servicio, la cual tendrá un valor de resistencia de p.a.t. tal que la tensión transferida a la B.T. debida a la intensidad de defecto no sea superior a 1.000 V.

En función de las intensidades de defecto I_d y de la resistividad del terreno ρ , las distancias que como mínimo deben mantenerse entre las instalaciones de tierras separadas, se obtienen de la siguiente expresión:

$$D \geq \frac{\rho \cdot I_d}{2\pi \cdot U_i}$$

donde:

- D = Distancia en metros.
- I_d = Intensidad de defectos en amperios.
- ρ = Resistividad del terreno en Ωm .
- U_i = 1.000 V.

3.7.1.3. Elementos constitutivos de los sistemas de puesta a tierra

Los elementos que constituyen el sistema de p. a t. en el CENTRO DE TRANSFORMACIÓN son los siguientes:

- Líneas de tierra.
- Electrodos de puesta a tierra.

Las **líneas de tierra** estarán constituidas por conductores de cobre o su sección equivalente en otro tipo de material. En función de la I_d y la duración del mismo, las secciones (S) mínimas del conductor a emplear en cada línea de tierra a efectos de no alcanzar una temperatura elevada se deducen a partir de la expresión siguiente:

$$S \geq \frac{I_d}{\alpha} \sqrt{\frac{t}{\Delta\theta}}$$

siendo:

- I_d = Intensidad de defecto en amperios.
- t = Tiempo de duración de la falta en segundos.
- α = Para $t < 5$ s = 13 para conductor de cobre.
Para $t = 5$ s = 4,5 para conductor de acero.
- $\Delta\theta$ = 160 °C para conductor aislado.
180 °C para conductor desnudo.

Una vez calculada la sección, se elegirá de las normalizadas, el valor igual o inmediatamente superior al calculado.

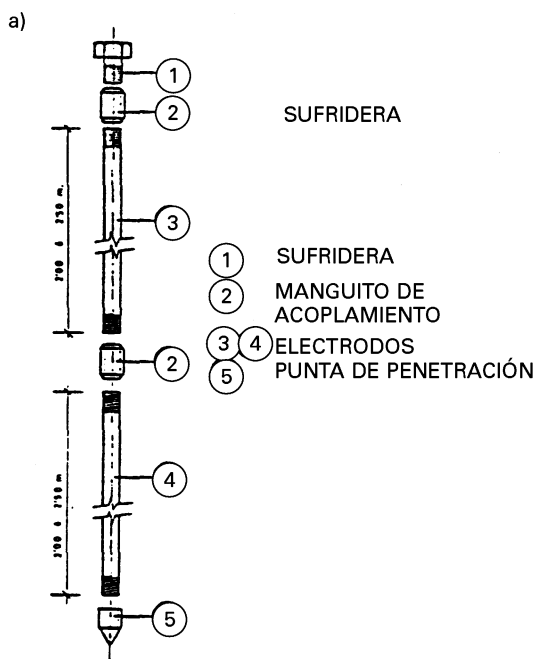
Los conductores a utilizar cumplirán con la RU 3401 para los cables de cobre, UNE 21019 para cables de acero y UNE 36080 para los cables redondos de acero.

En el caso de tierras separadas, la línea de tierra de neutro estará aislada en todo su trayecto con un nivel de aislamiento de 10 kV a frecuencia industrial (1 minuto) y de 20 kV a impulso tipo rayo de onda 1,2/50 μ s.

3.7.1.4. Electrodo de puesta a tierra

Estarán constituidos por cualquiera de los siguientes elementos:

- **Picas** de acero con protección catódica y de acero-cobre, Figura 3.31.a).
- **Conductores enterrados horizontalmente**, Figura 3.31.b).



3.7.1.5. Condiciones de instalaciones de los electrodos

Las picas se hincarán verticalmente quedando la parte superior a una profundidad no inferior a 0,5 m. En terrenos donde se prevean heladas, se aconseja una profundidad de 0,8 m.

Los electrodos horizontales se enterrarán a una profundidad igual a la parte superior de las picas.

El valor mínimo de la superficie total del electrodo será tal que la densidad de corriente disipada (que es igual al cociente entre la intensidad de defecto y la superficie total del electrodo de puesta a tierra) sea inferior al valor dado por la expresión:

$$\delta = \frac{11.600}{\sqrt{\rho \cdot t}}$$

En la que:

- δ = Densidad de corriente disipada en A/m².
- ρ = Resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$.
- t = Tiempo de duración del defecto en segundos.

3.7.1.6. Ejecución de la puesta a tierra

La base del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN estará rodeada por un electrodo horizontal, Figura 3.32, de forma cuadrada o rectangular, constituido por los elementos descritos en el Apartado 3.7.1.4 (electrodos de p. a t.), complementados con un número suficiente de picas para conseguir la resistencia de tierra prevista.

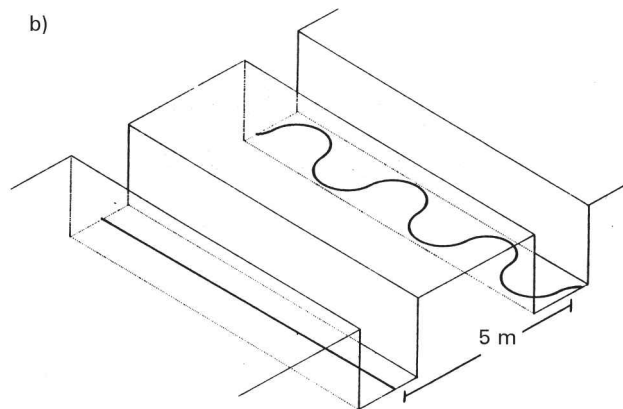


Figura 3.31. Electrodo de puesta a tierra. a) Picas. b) Conductores enterrados en horizontal.

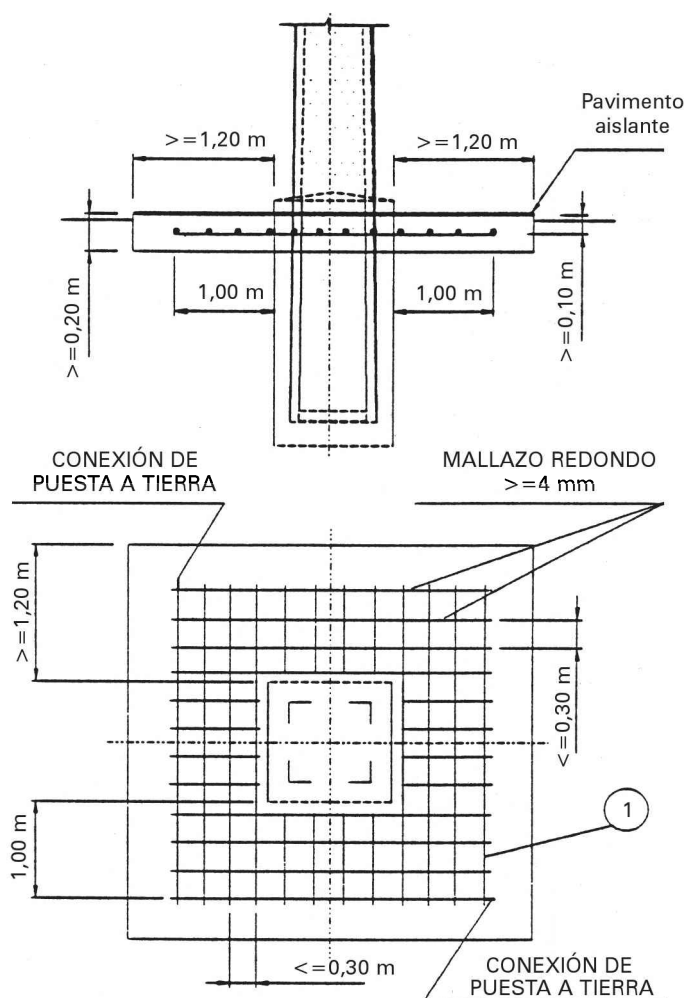


Figura 3.32. Medidas adicionales de seguridad para las tensiones de contacto en C.T. sobre apoyos.

En el caso de emplear únicamente electrodos de pica, la separación entre ellos será, a ser posible, superior a 1,5 veces su longitud.

En la instalación de p. a t. y elementos a ella conectados, se cumplirán las siguientes condiciones:

- Llevarán un borne accesible para la medida de la resistencia de tierra.
- Se unirán al conductor de la línea de tierra previsto en el Apartado 3.7.1.3, Líneas de tierra.
- Todos los elementos que constituyen la instalación de p. a t., estarán protegidos, adecuadamente, contra deterioros por acciones mecánicas o de cualquier otra índole.
- Los elementos conectados a tierra no estarán intercalados en el circuito como elementos eléctricos en serie, sino que su conexión al mismo se efectuará mediante derivaciones individuales.
- La resistencia eléctrica entre cualquier punto de la masa o cualquier elemento metálico unido a ella y el conduc-

tor de la línea de tierra, en el punto de penetración en el terreno, será tal que el producto de la misma por la intensidad de defecto máxima prevista en amperios sea igual o inferior a 50 V.

- No se unirá a la instalación de p. a t. ningún elemento metálico situado en los paramentos exteriores del CENTRO DE TRANSFORMACIÓN (puertas, rejillas ventilación, estructuras, etc.).

En el caso de sistemas de p. a t. separadas, ambos estarán distanciados entre sí una longitud no inferior a las calculadas según el Apartado 3.7.1.2 (instalación de tierras separadas).

La línea de tierra del neutro de B.T. se instalará siempre antes del dispositivo de seccionamiento de B.T. y preferentemente partiendo de la borna del neutro del transformador o junto a ella.

Los circuitos de p.a.t. del neutro cumplirán las condiciones a) y c).

3.7.1.7. Medidas adicionales de seguridad para las tensiones de paso y contacto

Además de las resistencias de p. a t. anteriormente exigidas, las instalaciones de tierra se han de realizar de forma que no se superen los valores de las tensiones máximas de paso y contacto peligrosas.

Se ha de tener en consideración el cuadro siguiente:

1.º Reducir el valor de la resistencia de p. a t., aumentando la longitud de electrodos y/o disminuyendo de la resistividad del terreno.	Tensiones de paso y contacto.
2.º Realizar aceras aislantes de 1 m de anchura mínima.	Tensión de contacto.
3.º Situar el punto superior del electrodo a una profundidad superior a 0,80 m indicada en el punto 6.5.1.5.	Tensión de paso.
4.º Instalación de anillos difusores de dimensiones crecientes, enterrados en disposición piramidal.	Tensión de paso.

3.7.2. Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación conectados a redes de tercera categoría

El Apartado 1.1.12 de la RAT 13, perteneciente al R.S.C.T.G.S.C.E.S.C.T., señala en su último párrafo lo siguiente: «Para instalaciones de 3.ª categoría que respon-

Tabla 3.2. Medidas adicionales de seguridad

SEGURIDAD		
INTEMPERIE SOBRE APOYO	FORMA DEL ELECTRODO	<ul style="list-style-type: none"> • U_c y U_p SEGÚN MIE RAT 13⁽¹⁾ • PROTECCIÓN: BUCLE O COMBINACIÓN BUCLE(S) Y PICAS⁽²⁾ SERVICIO: PICA
	LÍNEA DE TIERRA. MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: BAJADA COBRE AISLADO • UNIÓN DESCARGADOR A CUBA TRAFOS CON COBRE DESNUDO SERVICIO: COBRE AISLADO
	MATERIAL DEL ELECTRODO	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE SERVICIO: COBRE
INTEMPERIE COMPACTOS	SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • U_c y U_p SEGÚN MIE RAT 13⁽¹⁾ • PROTECCIÓN: BUCLE O COMBINACIÓN BUCLES(S) Y PICAS SERVICIO: PICA
	FORMA DEL ELECTRODO	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE DESNUDO SERVICIO: COBRE AISLADO
	LÍNEA DE TIERRA. MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC SERVICIO: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC
MATERIAL DEL ELECTRODO	SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • U_c y U_p SEGÚN MIE RAT 13⁽¹⁾ • PROTECCIÓN: BUCLE O COMBINACIÓN BUCLES(S) Y PICAS SERVICIO: PICA
	FORMA DEL ELECTRODO	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE DESNUDO SERVICIO: COBRE AISLADO
	LÍNEA DE TIERRA. MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC SERVICIO: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC
PREFABRICADOS DE SUPERFICIE	SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • U_c y U_p SEGÚN MIE RAT 13⁽¹⁾ • PROTECCIÓN: BUCLE O COMBINACIÓN BUCLES(S) Y PICAS SERVICIO: PICA
	FORMA DEL ELECTRODO	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE DESNUDO SERVICIO: COBRE AISLADO
	LÍNEA DE TIERRA. MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC SERVICIO: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC
MATERIAL DEL ELECTRODO	SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • U_c y U_p SEGÚN MIE RAT 13⁽¹⁾ • PROTECCIÓN: UNO, DOS O TRES BUCLES SERVICIO: PICA
	FORMA DEL ELECTRODO	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE DESNUDO SERVICIO: COBRE AISLADO
	LÍNEA DE TIERRA. MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC SERVICIO: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC
PREFABRICADOS SUBTERRÁNEOS	SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • U_c y U_p SEGÚN MIE RAT 13⁽¹⁾ • PROTECCIÓN: DISPOSICIONES LINEALES SERVICIO: PICA
	FORMA DEL ELECTRODO	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE DESNUDO SERVICIO: COBRE AISLADO
	LÍNEA DE TIERRA. MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC SERVICIO: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC
MATERIAL DEL ELECTRODO	SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • U_c y U_p SEGÚN MIE RAT 13⁽¹⁾ • PROTECCIÓN: DISPOSICIONES LINEALES SERVICIO: PICA
	FORMA DEL ELECTRODO	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE DESNUDO SERVICIO: COBRE AISLADO
	LÍNEA DE TIERRA. MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC SERVICIO: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC
EN EDIFICIOS DE OTROS USOS	SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • U_c y U_p SEGÚN MIE RAT 13⁽¹⁾ • PROTECCIÓN: DISPOSICIONES LINEALES SERVICIO: PICA
	FORMA DEL ELECTRODO	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE DESNUDO SERVICIO: COBRE AISLADO
	LÍNEA DE TIERRA. MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC SERVICIO: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC
MATERIAL DEL ELECTRODO	SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • U_c y U_p SEGÚN MIE RAT 13⁽¹⁾ • PROTECCIÓN: DISPOSICIONES LINEALES SERVICIO: PICA
	FORMA DEL ELECTRODO	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE DESNUDO SERVICIO: COBRE AISLADO
	LÍNEA DE TIERRA. MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> • PROTECCIÓN: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC SERVICIO: COBRE o HIERRO/ACERO + ÁNODO DE ZINC

(1) U_c y U_p : tensiones de contacto y de paso.

(2) En zonas con frecuentes descargas atmosféricas, disposición complementaria a base de conductores radiales enterrados horizontalmente.

LÍNEA DE TIERRA	COBRE AISLADO: 50 mm ² DE SECCIÓN, U_n 0,6/1 kV COBRE DESNUDO: 50 mm ² DE SECCIÓN
ELECTRODO DE PaT	BUCLE COBRE: 50 mm ² DE SECCIÓN HIERRO: 16 mm ² DE DIÁMETRO
	PICAS COBRE: 14,6 mm DE DIÁMETRO Y 2 m DE LONGITUD HIERRO: 20 mm DE DIÁMETRO Y 2 m DE LONGITUD

dan a configuración tipo, como es el caso de la mayoría de los C.T., el órgano territorial competente podrá admitir que se omita la realización de las anteriores mediciones, sustituyéndolas por la correspondiente a la resistencia de puesta a tierra, si se ha establecido la correlación, sancionada por la práctica, en situaciones análogas, entre tensiones de paso y contacto y resistencia de puesta a tierra».

Con el fin de facilitar a todos los proyectistas los cálculos pertinentes a dicho estudio, Unidad Eléctrica S.A. —UNESA— elaboró un DOCUMENTO —del que reproducimos una parte— en el que de una forma rápida y sencilla normaliza dicho cálculo, de acuerdo con la reglamentación vigente, sien-

do aprobado el mismo por el Ministerio de Industria y Energía, Dirección General de la Energía.

3.7.2.1. Objeto y campo de aplicación

El documento expone un método de cálculo basado en electrodos de configuración geométrica tipo, utilizando la terminología del R.S.C.T.G.S.C.E.S.C.T. y siendo el proceso de diseño el siguiente:

- Proyecto de instalación de puesta a tierra utilizando alguno de los electrodos tipo.

- Construcción de la instalación de puesta a tierra con la configuración elegida.
- Comprobación práctica mediante medidas.

Con el presente documento se pretende que el Organismo Territorial competente admita que para los C.T. cuyos electrodos de puesta a tierra respondan a las configuraciones tipo indicadas, se omita la medición de las tensiones de paso y contacto, sustituyéndolas por las mediciones del valor óhmico de la correspondiente resistencia de puesta a tierra.

3.7.2.2. Consideraciones sobre el uso de electrodos de tierra tipo

Conociendo la tensión de servicio de la red que va a alimentar al C.T., el tiempo de actuación de las protecciones, la impedancia de puesta a tierra del neutro, y la resistividad del terreno donde se va ubicar dicho Centro de Transformación, se obtiene la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto, mediante métodos de cálculo laboriosos.

En el documento UNESA se ha utilizado el método de HOWE y por medio de programas informáticos se han obtenido una serie de tablas que en función de su configuración y cualquier resistividad del terreno mediante cálculos sencillos, podamos obtener los valores de la resistencia de puesta a tierra en ohmios y las tensiones de paso y contacto en voltios.

Las configuraciones de electrodos consideradas son:

- Cuadrados o rectángulos sin picas.
- Cuadrados o rectángulos con 4 y 8 picas.
- Electrodo longitudinal con 2, 3, 4, 6 y 8 picas alineadas.

La profundidad de enterramiento de 0,5 y 0,8 m y en el caso de picas de distintas longitudes: 2, 4, 6 y 8 metros.

Se aprovecharán las dimensiones del C.T. para colocar dichos electrodos.

En el caso de que en el subsuelo del C.T. esté ocupado, se colocarán electrodos longitudinales con picas exteriores en hileras.

3.7.2.3. Prescripciones generales

Cuando se produce un defecto a tierra en las instalaciones de Media Tensión, se provoca una elevación del potencial del electrodo a través del cual circula una corriente de defecto. Al disiparse esa corriente por tierra, aparecerán en terreno gradientes de potencial, por lo que al diseñar el tipo de configuración, y sus electrodos, hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- La seguridad de las personas en relación con las elevaciones de potencial.
- Las sobretensiones peligrosas que pueden aparecer y perjudicar las instalaciones.

- Que el valor de la intensidad de defecto haga actuar las protecciones, asegurando la eliminación de la falta.

3.7.2.4. Seguridad de las personas

En la MIE-RAT 13, Apartado 1.1, establece la tensión máxima aplicable al cuerpo humano, entre manos y pies, que se permite; es la siguiente:

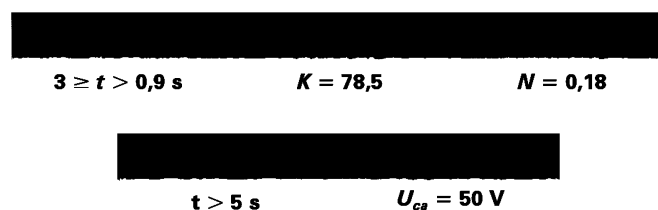
$$U_{ca} = \frac{K}{t^n}$$

siendo:

U_{ca} = La tensión aplicada en V.

t = La duración de la falta en segundos.

K y n son constantes en función del tiempo.



En el Gráfico 3.1 se detalla la variación de la tensión máxima aplicable al cuerpo humano entre manos y pies en función del tiempo de despeje de la falta.

Pensando que la tensión máxima aplicable al cuerpo humano, no supere el valor obtenido por la fórmula anterior para las tensiones de contacto — U_c —, ni supere 10 veces dicho valor para las tensiones de paso — U_p — (pies separados 1 m), los valores máximos admisibles de las U_p y U_c , y que por tanto no pueden ser superados en una instalación, son los siguientes:

$$U_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho_s}{1.000}\right)$$

Tensión de paso en V

$$U_c = \frac{K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{1,5 \cdot \rho_s}{1.000}\right)$$

Tensión de contacto en V

Estas fórmulas se obtuvieron teniendo en cuenta que la resistencia del cuerpo humano es de 1.000 Ω y cada pie se ha asimilado a un electrodo en forma de placa de 200 cm² de superficie que ejerza sobre el suelo una fuerza de 250 N, lo que representa una resistencia de contacto con el suelo evaluada en 3 ρ_s, siendo ρ_s la resistividad superficial del terreno.

En caso de que la resistividad superficial del terreno sea distinta para cada pie (caso de acceso al C.T.), la tensión de paso será:

$$U_{p(acc)} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot \rho_s + 3'_s}{1.000} \right)$$

Tensión de paso en acceso en V

En la que ρ_s y ρ'_s son las resistividades superficiales del terreno en el que apoya cada pie.

En las Tablas 3.3 y 3.4 figuran, para resistividades del terreno comprendidas entre 20 y 3.000 Ω , las tensiones de paso y contacto admisibles que pueden aparecer en una instalación en función del tiempo de despeje de la falta.

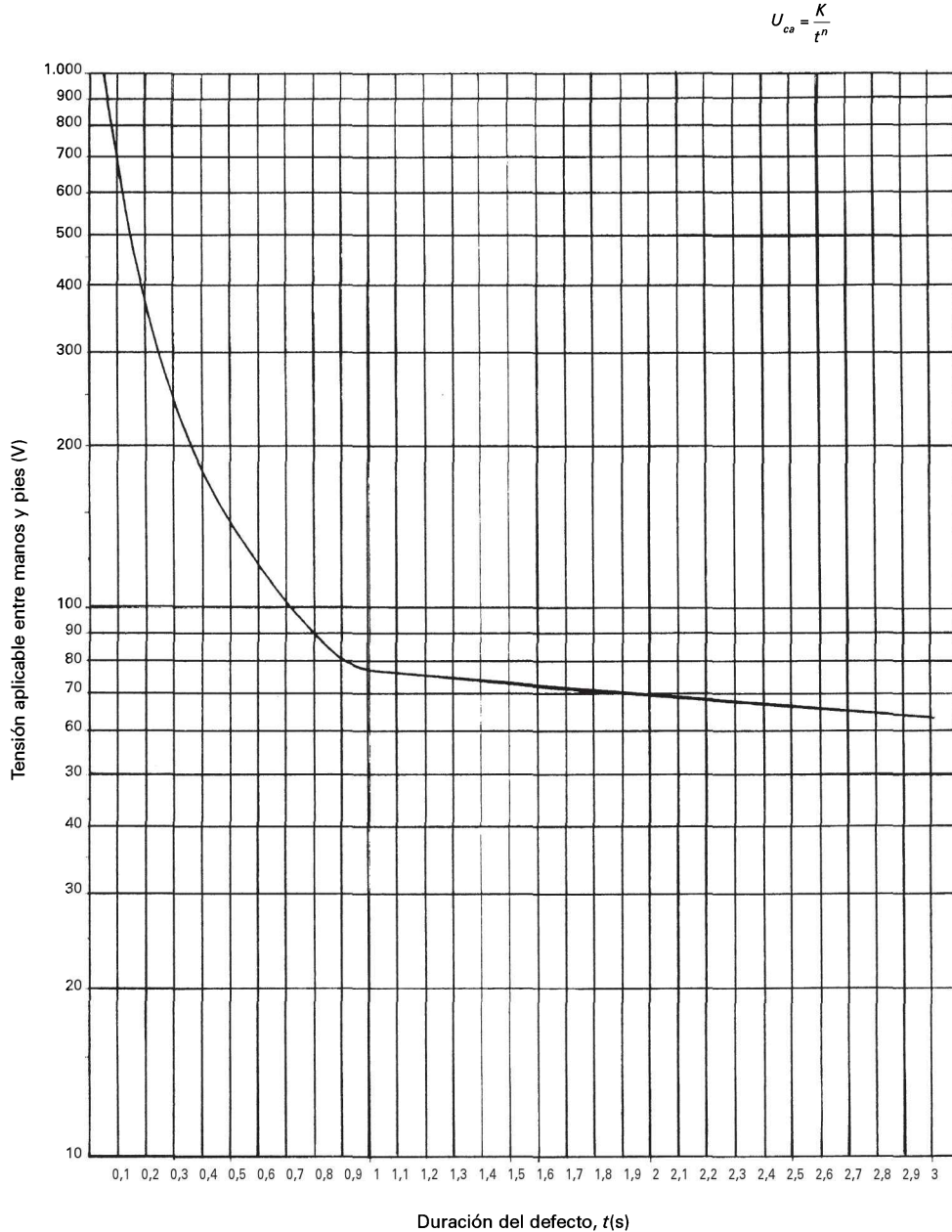


Gráfico 3.1. Tensión aplicable entre manos y pies en función de la duración del defecto.

Tabla 3.3. Tensiones máximas de paso admisibles que pueden aparecer en una instalación

$$U_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho_s}{1.000} \right)$$

Resistividad terreno $\Omega \cdot m$	Tiempo de actuación de las protecciones (segundos)																														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3 a 5	> 5
20	8.064	4.032	2.688	2.016	1.613	1.344	1.152	1.008	896	879	864	851	839	828	817	808	799	791	783	776	769	763	757	751	746	740	735	730	726	717	560
40	8.928	4.464	2.976	2.232	1.786	1.488	1.275	1.116	992	973	957	942	928	916	905	894	885	876	867	859	852	845	838	831	825	820	814	809	804	794	620
60	9.792	4.896	3.264	2.448	1.958	1.632	1.399	1.224	1.088	1.068	1.049	1.033	1.018	1.005	992	981	970	960	951	942	934	926	919	912	905	899	893	887	881	870	680
80	10.656	5.328	3.552	2.664	2.131	1.776	1.522	1.332	1.184	1.162	1.142	1.124	1.108	1.094	1.080	1.068	1.056	1.045	1.035	1.026	1.017	1.008	1.000	992	985	978	972	965	959	947	740
100	11.520	5.760	3.840	2.880	2.304	1.920	1.646	1.440	1.280	1.256	1.235	1.215	1.198	1.182	1.168	1.154	1.142	1.130	1.119	1.109	1.099	1.090	1.081	1.073	1.065	1.058	1.050	1.044	1.037	1.024	800
150	13.680	6.840	4.560	3.420	2.736	2.280	1.954	1.710	1.520	1.492	1.466	1.443	1.423	1.404	1.387	1.371	1.356	1.342	1.329	1.317	1.305	1.294	1.284	1.274	1.265	1.256	1.247	1.239	1.231	1.216	950
200	15.840	7.920	5.280	3.960	3.168	2.640	2.263	1.980	1.760	1.727	1.698	1.671	1.647	1.626	1.605	1.587	1.570	1.554	1.539	1.524	1.511	1.498	1.487	1.475	1.464	1.454	1.444	1.435	1.426	1.408	1.100
250	18.000	9.000	6.000	4.500	3.600	3.000	2.571	2.250	2.000	1.963	1.929	1.899	1.872	1.847	1.824	1.803	1.784	1.765	1.748	1.732	1.717	1.703	1.689	1.676	1.664	1.652	1.641	1.631	1.620	1.600	1.250
300	20.160	10.080	6.720	5.040	4.032	3.360	2.880	2.520	2.240	2.198	2.161	2.127	2.097	2.069	2.043	2.020	1.998	1.977	1.958	1.940	1.923	1.907	1.892	1.878	1.864	1.851	1.838	1.826	1.815	1.792	1.400
350	22.320	11.160	7.440	5.580	4.464	3.720	3.189	2.790	2.480	2.434	2.392	2.355	2.321	2.290	2.262	2.236	2.212	2.189	2.168	2.148	2.129	2.112	2.095	2.079	2.063	2.049	2.035	2.022	2.009	1.984	1.550
400	24.480	12.240	8.160	6.120	4.896	4.080	3.497	3.060	2.720	2.669	2.624	2.583	2.546	2.512	2.481	2.452	2.426	2.401	2.378	2.356	2.335	2.316	2.297	2.280	2.263	2.247	2.232	2.217	2.204	2.176	1.700
450	26.640	13.320	8.880	6.660	5.328	4.440	3.806	3.330	2.960	2.905	2.855	2.811	2.771	2.734	2.700	2.669	2.640	2.613	2.588	2.564	2.541	2.520	2.500	2.481	2.463	2.446	2.429	2.413	2.398	2.368	1.850
500	28.800	14.400	9.600	7.200	5.760	4.800	4.114	3.600	3.200	3.140	3.087	3.039	2.995	2.955	2.919	2.885	2.854	2.825	2.797	2.772	2.747	2.725	2.703	2.682	2.663	2.644	2.626	2.609	2.592	2.560	2.000
550		15.480	10.320	7.740	6.192	5.160	4.423	3.870	3.440	3.376	3.318	3.267	3.220	3.177	3.138	3.102	3.068	3.037	3.007	2.980	2.954	2.929	2.906	2.883	2.860	2.842	2.823	2.804	2.787	2.752	2.150
600		16.560	11.040	8.280	6.624	5.520	4.731	4.140	3.680	3.611	3.550	3.494	3.444	3.399	3.357	3.318	3.282	3.248	3.217	3.187	3.160	3.133	3.108	3.085	3.062	3.040	3.020	3.000	2.981	2.944	2.300
650		17.640	11.760	8.820	7.056	5.880	5.040	4.410	3.920	3.847	3.781	3.722	3.669	3.620	3.576	3.534	3.496	3.460	3.427	3.395	3.366	3.338	3.311	3.286	3.262	3.239	3.217	3.196	3.176	3.136	2.450
700		18.720	12.480	9.360	7.488	6.240	5.349	4.680	4.160	4.082	4.013	3.950	3.894	3.842	3.795	3.751	3.710	3.672	3.637	3.603	3.572	3.542	3.514	3.487	3.461	3.437	3.414	3.391	3.370	3.328	2.600
750		19.800	13.200	9.900	7.920	6.600	5.657	4.950	4.400	4.318	4.244	4.178	4.118	4.064	4.014	3.967	3.924	3.884	3.846	3.811	3.778	3.746	3.716	3.688	3.661	3.635	3.611	3.587	3.565	3.520	2.750
800		20.880	13.920	10.440	8.352	6.960	5.966	5.220	4.640	4.553	4.476	4.406	4.343	4.285	4.233	4.184	4.138	4.096	4.056	4.019	3.984	3.951	3.919	3.889	3.851	3.834	3.808	3.783	3.759	3.712	2.900
850		21.960	14.640	10.980	8.784	7.320	6.274	5.490	4.880	4.789	4.707	4.634	4.568	4.507	4.451	4.400	4.352	4.308	4.266	4.227	4.190	4.155	4.122	4.090	4.060	4.032	4.005	3.978	3.953	3.904	3.050
900		23.040	15.360	11.520	9.216	7.680	6.583	5.760	5.120	5.024	4.939	4.862	4.792	4.729	4.670	4.616	4.566	4.520	4.476	4.435	4.396	4.359	4.325	4.292	4.260	4.230	4.201	4.174	4.148	4.096	3.200
950		24.120	16.080	12.060	9.648	8.040	6.891	6.030	5.360	5.260	5.170	5.090	5.017	4.950	4.889	4.833	4.780	4.731	4.686	4.643	4.602	4.564	4.527	4.493	4.460	4.428	4.398	4.370	4.342	4.288	3.350
1.000		25.200	16.800	12.600	10.080	8.400	7.200	6.300	5.600	5.495	5.402	5.318	5.242	5.172	5.108	5.049	4.994	4.943	4.895	4.850	4.808	4.768	4.730	4.694	4.659	4.627	4.595	4.565	4.537	4.480	3.500
1.200		29.520	19.680	14.760	11.808	9.840	8.434	7.380	6.560	6.437	6.328	6.229	6.140	6.059	5.984	5.915	5.851	5.791	5.735	5.682	5.632	5.585	5.541	5.499	5.458	5.420	5.383	5.348	5.314	5.248	4.100
1.400			22.560	16.920	13.536	11.280	9.669	8.460	7.520	7.373	7.253	7.141	7.039	6.945	6.860	6.780	6.707	6.638	6.574	6.513	6.457	6.403	6.352	6.303	6.257	6.213	6.171	6.131	6.092	6.016	4.700
1.600			25.440	19.080	15.264	12.720	10.903	9.540	8.480	8.321	8.179	8.052	7.937	7.832	7.735	7.646	7.563	7.486	7.413	7.345	7.281	7.220	7.162	7.108	7.056	7.006	6.959	6.913	6.870	6.784	5.300
1.800			28.320	21.240	16.992	14.160	12.137	10.620	9.440	9.263	9.105	8.964	8.836	8.719	8.611	8.512	8.419	8.333	8.252	8.176	8.105	8.037	7.973	7.912	7.855	7.799	7.747	7.696	7.648	7.552	5.900
2.000				23.400	18.720	15.600	13.371	11.700	10.400	10.205	10.031	9.876	9.734	9.605	9.487	9.377	9.275	9.180	9.092	9.008	8.929	8.855	8.784	8.717	8.653	8.592	8.534	8.479	8.425	8.320	6.500
2.200				25.560	20.448	17.040	14.606	12.780	11.360	11.147	10.957	10.787	10.633	10.492	10.362	10.243	10.132	10.028	9.931	9.839	9.753	9.672	9.595	9.522	9.452	9.386	9.322	9.261	9.203	9.088	7.100
2.400				27.720	22.176	18.480	15.840	13.860	12.320	12.089	11.883	11.699	11.531	11.379	11.238	11.108	10.988	10.875	10.770	10.671	10.578	10.489	10.406	10.326	10.251	10.179	10.110	10.044	9.981	9.856	7.700
2.600				29.880	23.904	19.920	17.074	14.940	13.280	13.031	12.809	12.610	12.430	12.265	12.114	11.974	11.844	11.723	11.609	11.503	11.402	11.307	11.217	11.131	11.050	10.972	10.898	10.827	10.758	10.624	8.300
2.800					25.632	21.360	18.039	16.020	14.240	13.973	13.735	13.522	13.328	13.152	12.990	12.839	12.700	12.570	12.448	12.334	12.226	12.124	12.028	11.936	11.848	11.765	11.685	11.609	11.536	11.392	8.900
3.000					27.360	22.800	19.543	17.100	15.200	14.915	14.661	14.433	14.227	14.038	13.865	13.705	13.556	13.418	13.288	13.166	13.050	12.942	12.838	12.740	12.647	12.558	12.473	12.392	12.314	12.160	9.500

Los valores no indicados corresponden a tensiones superiores a 30.000 V.

Tabla 3.4. Tensiones máximas de contacto admisibles que pueden aparecer en una instalación

$$U_c = \frac{K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{1,5\rho_s}{1.000} \right)$$

Resistividad terreno $\Omega \cdot m$	Tiempo de actuación de las protecciones (segundos)																														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3 a 5	> 5
20	742	371	247	185	148	124	106	93	82	81	79	78	77	76	75	74	73	73	72	71	71	70	70	69	69	68	68	67	67	66	52
40	763	382	254	191	153	127	109	95	85	83	82	81	79	78	77	76	76	75	74	73	73	72	72	71	71	70	70	69	69	68	53
60	785	392	262	196	157	131	112	98	87	86	84	83	82	81	80	79	78	77	76	76	75	74	74	73	73	72	72	71	71	70	55
80	806	403	269	202	161	134	115	101	90	88	86	85	84	83	82	81	80	79	78	78	77	76	76	75	75	74	74	73	73	72	56
100	828	414	276	207	166	138	116	104	92	90	89	87	86	85	84	83	82	81	80	80	79	78	78	77	77	76	75	75	74	58	
150	882	441	294	221	176	147	126	110	98	96	95	93	92	91	89	88	87	87	86	85	84	83	83	82	82	81	80	80	79	78	61
200	936	468	312	234	187	156	134	117	104	102	100	99	97	96	95	94	93	92	91	90	89	89	88	87	87	86	85	85	84	83	65
250	990	495	330	248	198	163	141	124	110	108	106	104	103	102	100	99	98	97	96	95	94	94	93	92	92	91	90	90	89	88	69
300	1.044	522	348	261	209	174	149	131	116	114	112	110	109	107	106	105	103	102	101	100	100	99	98	97	97	96	95	95	94	93	73
350	1.098	549	366	275	220	183	157	137	122	120	118	116	114	113	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	102	101	100	99	99	98	76
400	1.152	576	384	288	230	192	165	144	128	126	123	122	120	118	117	115	114	113	112	111	110	109	108	107	107	106	105	104	104	102	80
450	1.206	603	402	302	241	201	172	151	134	131	129	127	125	124	122	121	120	118	117	116	115	114	113	112	111	111	110	109	109	107	84
500	1.260	630	420	315	252	210	180	158	140	137	135	133	131	129	128	126	125	124	122	121	120	119	118	117	116	116	115	114	113	112	88
550	1.314	657	438	329	263	219	188	164	146	143	141	139	137	135	133	132	130	129	128	126	125	124	123	122	121	121	120	119	118	117	91
600	1.368	684	456	342	274	228	195	171	152	149	147	144	142	140	139	137	136	134	133	132	131	129	128	127	126	126	125	124	123	122	95
650	1.422	711	474	356	284	237	203	178	158	155	152	150	148	145	144	142	141	139	138	137	136	135	133	132	131	131	130	129	128	126	99
700	1.476	738	492	369	295	246	211	185	164	161	158	156	154	151	150	148	146	145	143	142	141	140	139	137	136	135	135	134	133	131	103
750	1.530	765	510	383	306	255	219	191	170	167	164	161	159	157	155	153	152	150	149	147	146	145	144	142	141	140	140	139	138	136	106
800	1.584	792	528	396	317	264	226	198	175	173	170	167	165	163	161	159	157	155	154	152	151	150	149	148	146	145	144	143	143	141	110
850	1.638	819	546	410	328	273	234	205	182	179	175	173	170	168	166	164	162	161	159	158	156	155	154	153	151	150	149	148	147	146	114
900	1.692	846	564	423	338	282	242	212	188	184	181	179	176	174	171	170	168	166	164	163	161	160	159	158	156	155	154	153	152	150	118
950	1.746	873	582	437	349	291	249	218	194	190	187	184	182	179	177	175	173	171	170	168	167	165	164	163	161	160	159	158	157	155	121
1.000	1.800	900	600	450	360	300	257	225	200	196	193	190	187	185	182	180	178	177	175	173	172	170	169	168	166	165	164	163	162	160	125
1.200	2.016	1.008	672	504	403	336	288	252	224	220	216	213	210	207	204	202	200	198	196	194	192	191	189	188	186	185	184	183	181	179	140
1.400	2.232	1.116	744	558	446	372	319	279	248	243	239	235	232	229	226	224	221	219	217	215	213	211	209	208	206	205	204	202	201	198	155
1.600	2.448	1.224	816	612	490	408	350	306	272	267	262	258	255	251	248	245	243	240	238	236	234	232	230	228	226	225	223	222	220	218	170
1.800	2.664	1.332	888	666	533	444	381	333	296	290	286	281	277	273	270	267	264	261	259	256	254	252	250	248	246	245	243	241	240	237	185
2.000	2.880	1.440	960	720	576	480	411	360	320	314	309	304	300	296	292	289	285	282	280	277	275	272	270	268	266	264	263	261	259	256	200
2.200	3.096	1.548	1.032	774	619	516	442	387	344	338	332	327	322	318	314	310	307	304	301	298	295	293	291	288	286	284	282	280	279	275	215
2.400	3.312	1.652	1.104	828	662	552	473	414	368	361	355	349	344	340	336	332	328	325	322	319	316	313	311	306	306	304	302	300	298	294	230
2.600	3.528	1.764	1.176	882	706	588	504	441	392	385	378	372	367	362	358	353	350	346	343	340	337	334	331	329	326	324	322	320	318	314	245
2.800	3.744	1.872	1.248	936	749	624	535	468	416	408	401	395	389	384	379	375	371	367	364	360	357	354	351	349	346	344	341	339	337	333	260
3.000	3.960	1.980	1.320	990	792	660	566	495	440	432	424	418	412	406	401	397	392	388	385	381	378	375	372	369	366	364	361	359	356	352	275

Los valores no indicados corresponden a tensiones superiores a 30.000 V.

Tabla 3.5. Tensiones máximas de paso admisibles que pueden aparecer en la entrada a los C.T.

$$U_{p(acc)} = \frac{10K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot \rho_s + 3\rho'_s}{1.000} \right)$$

Resistividad terreno $\Omega \cdot m$	Tiempo de actuación de las protecciones (segundos)																															
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3 a 5	> 5			
20	24.144	18.108	14.486	12.072	10.347	9.054	8.048	7.897	7.763	7.642	7.533	7.433	7.341	7.256	7.178	7.104	7.035	6.971	6.910	6.852	6.798	6.746	6.696	6.649	6.604	6.561	6.520	6.438	5,030			
40	24.288	18.216	14.573	12.144	10.409	9.108	8.096	7.944	7.809	7.688	7.578	7.477	7.385	7.300	7.221	7.147	7.077	7.012	6.951	6.893	6.838	6.786	6.736	6.689	6.644	6.600	6.559	6.477	5,060			
60	24.432	18.324	14.659	12.216	10.471	9.162	8.144	7.991	7.855	7.733	7.623	7.522	7.429	7.343	7.263	7.189	7.119	7.054	6.992	6.934	6.879	6.826	6.776	6.729	6.683	6.639	6.598	6.515	5,090			
80	24.576	18.432	14.746	12.288	10.533	9.216	8.192	8.038	7.902	7.779	7.668	7.566	7.473	7.386	7.306	7.231	7.161	7.096	7.033	6.975	6.919	6.866	6.816	6.768	6.722	6.679	6.636	6.554	5,120			
100	24.720	18.540	14.832	12.360	10.594	9.270	8.240	8.086	7.948	7.824	7.713	7.610	7.516	7.430	7.349	7.274	7.203	7.131	7.075	7.016	6.960	6.907	6.856	6.808	6.762	6.718	6.675	6.592	5,150			
150	25.080	18.810	15.048	12.540	10.749	9.405	8.360	8.203	8.064	7.938	7.825	7.721	7.625	7.538	7.456	7.380	7.308	7.241	7.178	7.118	7.061	7.007	6.956	6.907	6.860	6.815	6.773	6.688	5,225			
200	25.440	19.080	15.264	12.720	10.903	9.540	8.480	8.321	8.179	8.052	7.937	7.832	7.735	7.646	7.563	7.486	7.413	7.345	7.281	7.220	7.162	7.108	7.056	7.006	6.959	6.913	6.870	6.784	5,300			
250	25.800	19.350	15.480	12.900	11.057	9.675	8.600	8.439	8.295	8.166	8.049	7.943	7.845	7.754	7.670	7.592	7.518	7.449	7.384	7.322	7.264	7.208	7.156	7.105	7.057	7.011	6.967	6.880	5,375			
300	26.160	19.620	15.696	13.080	11.211	9.810	8.720	8.557	8.411	8.280	8.152	8.054	7.954	7.862	7.777	7.697	7.623	7.553	7.487	7.424	7.365	7.309	7.255	7.204	7.156	7.109	7.064	6.976	5,450			
350	26.520	19.890	15.912	13.260	11.366	9.945	8.840	8.674	8.527	8.394	8.247	8.164	8.064	7.971	7.884	7.803	7.728	7.657	7.590	7.527	7.467	7.410	7.355	7.304	7.254	7.207	7.161	7.072	5,525			
400	26.880	20.160	16.128	13.440	11.520	10.080	8.960	8.792	8.642	8.508	8.386	8.275	8.173	8.079	7.991	7.909	7.833	7.761	7.693	7.629	7.568	7.510	7.455	7.403	7.353	7.305	7.259	7.168	5,600			
450	27.240	20.430	16.344	13.620	11.674	10.215	9.080	8.910	8.758	8.622	8.499	8.386	8.283	8.187	8.098	8.015	7.938	7.865	7.796	7.731	7.669	7.611	7.555	7.502	7.451	7.402	7.356	7.264	5,675			
500	27.600	20.700	16.560	13.800	11.829	10.350	9.200	9.028	8.874	8.736	8.611	8.497	8.392	8.295	8.205	8.121	8.043	7.969	7.899	7.833	7.771	7.711	7.655	7.601	7.550	7.500	7.453	7.360	5,750			
550	27.960	20.970	16.776	13.980	11.983	10.485	9.320	9.145	8.990	8.850	8.723	8.608	8.502	8.403	8.312	8.227	8.147	8.073	8.002	7.935	7.872	7.812	7.755	7.700	7.648	7.598	7.550	7.456	5,825			
600	28.320	21.240	16.992	14.160	12.137	10.620	9.440	9.263	9.105	8.964	8.836	8.719	8.611	8.512	8.419	8.333	8.252	8.176	8.105	8.037	7.973	7.912	7.855	7.799	7.747	7.696	7.648	7.552	5,900			
650	28.680	21.510	17.208	14.340	12.291	10.755	9.560	9.381	9.221	9.078	8.948	8.829	8.720	8.620	8.526	8.439	8.357	8.280	8.208	8.140	8.075	8.013	7.954	7.898	7.845	7.794	7.745	7.648	5,975			
700	29.040	21.780	17.424	14.520	12.446	10.890	9.680	9.499	9.337	9.192	9.060	8.940	8.830	8.728	8.633	8.545	8.462	8.384	8.311	8.242	8.176	8.114	8.054	7.998	7.943	7.892	7.842	7.744	6,050			
750	29.400	22.050	17.640	14.700	12.600	11.025	9.800	9.616	9.453	9.300	9.173	9.051	8.939	8.836	8.740	8.651	8.567	8.488	8.414	8.344	8.277	8.214	8.154	8.097	8.042	7.989	7.939	7.840	6,125			
800	29.760	22.320	17.856	14.880	12.754	11.160	9.920	9.734	9.568	9.420	9.285	9.162	9.049	8.944	8.847	8.757	8.672	8.592	8.517	8.446	8.379	8.315	8.254	8.196	8.140	8.087	8.036	7.936	6,200			
850		22.590	18.072	15.060	12.909	11.295	10.040	9.852	9.684	9.534	9.397	9.273	9.158	9.053	8.954	8.863	8.777	8.696	8.620	8.548	8.480	8.415	8.354	8.295	8.239	8.185	8.134	8.032	6,275			
900		22.860	18.288	15.240	13.063	11.430	10.160	9.970	9.800	9.648	9.510	9.384	9.268	9.161	9.061	8.969	8.882	8.800	8.723	8.650	8.581	8.516	8.454	8.394	8.337	8.283	8.231	8.128	6,350			
950		23.130	18.504	15.420	13.217	11.565	10.280	10.087	9.916	9.762	9.622	9.494	9.377	9.269	9.168	9.075	8.987	8.904	8.826	8.753	8.683	8.617	8.553	8.493	8.436	8.381	8.328	8.224	6,425			
1.000		23.400	18.720	15.600	13.371	11.700	10.400	10.205	10.031	9.876	9.734	9.605	9.487	9.377	9.275	9.180	9.092	9.008	8.929	8.855	8.784	8.717	8.653	8.592	8.534	8.479	8.425	8.320	6,500			
1.200		24.480	19.584	16.320	13.989	12.240	10.880	10.676	10.494	10.331	10.184	10.049	9.925	9.810	9.703	9.604	9.511	9.424	9.341	9.263	9.190	9.119	9.053	8.989	8.928	8.870	8.814	8.704	6,800			
1.400		25.560	20.448	17.040	14.606	12.780	11.360	11.147	10.957	10.787	10.633	10.492	10.362	10.243	10.132	10.028	9.931	9.839	9.753	9.672	9.595	9.522	9.452	9.386	9.322	9.261	9.203	9.088	7,100			
1.600		26.640	21.312	17.760	15.223	13.320	11.840	11.618	11.420	11.243	11.082	10.935	10.800	10.676	10.560	10.452	10.350	10.255	10.166	10.081	10.000	9.924	9.851	9.782	9.716	9.653	9.592	9.472	7,400			
1.800		27.720	22.176	18.480	15.840	13.860	12.320	12.089	11.883	11.699	11.531	11.379	11.238	11.108	10.988	10.875	10.770	10.671	10.578	10.489	10.406	10.326	10.251	10.179	10.110	10.044	9.981	9.856	7,700			
2.000		28.800	23.040	19.200	16.457	14.400	12.800	12.560	12.346	12.154	11.981	11.822	11.676	11.541	11.416	11.299	11.190	11.087	10.990	10.898	10.811	10.729	10.650	10.575	10.504	10.435	10.370	10.240	8,000			
2.200		29.880	23.904	19.920	17.074	14.940	13.280	13.031	12.809	12.610	12.430	12.265	12.114	11.974	11.844	11.723	11.609	11.503	11.402	11.307	11.217	11.131	11.050	10.972	10.898	10.827	10.758	10.624	8,300			
2.400			24.768	20.640	17.691	15.480	13.760	13.502	13.272	13.066	12.879	12.709	12.552	12.407	12.272	12.146	12.029	11.918	11.814	11.716	11.622	11.533	11.449	11.368	11.292	11.218	11.147	11.008	8,600			
2.600				25.632	21.360	18.309	16.020	14.240	13.973	13.735	13.522	13.328	13.152	12.990	12.839	12.700	12.570	12.448	12.334	12.226	12.124	12.028	11.936	11.848	11.765	11.685	11.609	11.536	11.392	8,900		
2.800					26.496	22.080	18.926	16.560	14.720	14.444	14.198	13.978	13.778	13.595	13.427	13.272	13.128	12.994	12.868	12.750	12.638	12.533	12.433	12.338	12.248	12.162	12.079	12.000	11.925	11.776	9,200	
3.000						27.360	22.800	19.543	17.100	15.200	14.915	14.661	14.433	14.227	14.038	13.865	13.705	13.556	13.418	13.288	13.166	13.050	12.942	12.838	12.740	12.647	12.558	12.473	12.392	12.314	12.160	9,500

Los valores no indicados corresponden a tensiones superiores a 30.000 V.

En la Tabla 3.5 se reflejan las tensiones máximas de paso admisibles que pueden aparecer en la entrada a los C.T. El suelo es de hormigón y posee una resistividad de $3.000 \Omega \cdot m$.

3.7.2.5. Sobretensiones admisibles para las instalaciones de baja tensión del centro de transformación

Con objeto de evitar que la sobretensión que aparece al producirse un defecto en el aislamiento de A.T., deteriore los elementos de B.T. del Centro de Transformación, el electrodo de puesta a tierra debe tener un efecto limitador de forma que la tensión de defecto (U'_d) sea inferior a la que soportan dichos elementos (U_{BT}).

Siendo:

$$U'_d = R_t \cdot I'_d$$

$$U_{BT} \geq U'_d$$

En la que:

- U'_d = Tensión de defecto en voltios.
- U_{BT} = Tensión soportada a frecuencia industrial por la instalación de B.T., en voltios.
- R_t = Resistencia del electrodo en ohmios.
- I'_d = Intensidad de defecto en amperios.

Los valores que se suelen utilizar para instalaciones de B.T. son:

(4.000 – 6.000 – 8.000 – 10.000)

siendo el valor de 10.000 V el recomendado por UNESA.

3.7.2.6. Limitación del valor de la corriente de defecto

La intensidad máxima de defecto debe ser lo más baja posible para que la tensión de defecto, que es el producto de la resistencia de tierra por la intensidad de defecto vista anteriormente, sea lo más baja posible.

Pero dicha intensidad tiene que tener un valor tal, que sea capaz de poder arrancar las protecciones encargadas de interrumpir la alimentación.

$I'_d >$ Valor de arranque de las protecciones.

3.7.2.7. Procedimiento de cálculo

Para cumplir con las condiciones de seguridad requeridas anteriormente:

- Limitación de la resistencia de p. a t. (R_t) de protección.
- Definición de una configuración geométrica del electrodo de p. a t.

Para cumplir con las condiciones de seguridad requeridas, se seguirá el procedimiento de cálculo indicado en la MIE-RAT 13, Apartado 2.1.

- 1.º Investigación de las características del terreno.
- 2.º Determinación de las corrientes máximas de p. a t. y del tiempo de eliminación del defecto.
- 3.º Diseño preliminar de la instalación de tierra.
- 4.º Cálculo de la resistencia del sistema de p. a t.
- 5.º Cálculo de las tensiones de paso en el exterior de las instalaciones.
- 6.º Cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de las instalaciones.
- 7.º Comprobación de que las U_p y U_c calculadas sean inferiores a los valores máximos admisibles definidos en las ecuaciones correspondientes.
- 8.º Investigación de las tensiones transferibles al exterior. Separación entre electrodos de tierra (*) de protección (masas) y de servicio (neutro de B.T.).
- 9.º Corrección y ajuste del diseño inicial.

3.7.2.8. Investigación de las características del terreno

Para instalaciones de 3.ª categoría que alimenten a C.T. cuya intensidad de cortocircuito a tierra sea inferior a 16 kA, la MIE-RAT 13 admite la posibilidad de estimar la resistividad del terreno o medirla, pero se aconseja en todos los casos medirla.

3.7.2.9. Medida de la resistividad del terreno

En el Capítulo 7, Medidas Eléctricas, se refleja cómo se realizan dichas mediciones. En la Tabla 3.6 se recogen los valores del coeficiente $K = 2 \cdot \pi \cdot a$, que junto con la lectura del aparato (r) determina la resistividad media ρ_h del terreno en la franja comprendida entre la superficie y la profundidad:

$$h = \frac{3}{4} \cdot a$$

Tabla 3.6. Cálculo de la resistividad media del terreno

(a)	($2 \cdot \pi \cdot a$)	(r)
2	1,5	12,57
4	3,0	25,13
6	4,5	37,70
8	6,0	50,27
10	7,5	62,83
12	9,0	75,40
14	10,5	87,96
16	12,0	100,53
18	13,5	113,10
20	15,0	125,66
22	16,5	138,23
24	18,0	150,80
26	19,5	163,36
28	21,0	175,93
30	22,5	188,50
32	24,0	201,06
34	25,5	213,63
36	27,0	226,20
38	28,5	238,76
40	30,0	251,33
42	31,5	263,89
44	33,0	276,46
46	34,5	289,03
48	36,0	301,59
50	37,5	314,16

(*) Se entiende por electrodos de tierra el conjunto formado por los conductores horizontales y picas verticales enterradas.

3.7.2.10. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo de eliminación

Corrientes máximas de puesta a tierra

Dependerán de la resistencia y reactancia de las líneas. Al intercalar nuevos circuitos estos parámetros varían, por lo que se realizarán cálculos simplificados que tengan en cuenta estas posibles variaciones.

El aspecto más importante que debe tenerse en cuenta en el cálculo de la corriente máxima de p. a t. es el tratamiento del neutro de la red.

Normalmente, en las redes de 3.^a categoría, las variantes son:

- Neutro aislado.
- Neutro unido a tierra.
 - Directamente.
 - Mediante impedancia.

El neutro unido directamente a tierra es una variante de la conexión mediante impedancia, dado que la conexión a tierra siempre presenta una resistencia de cierto valor, por reducido que éste sea.

Neutro aislado: Corriente máxima a tierra

La intensidad de defecto a tierra es la capacitiva de la red respecto a tierra, siendo directamente proporcional a la longitud de la red.

Para el cálculo de la corriente máxima a tierra con neutro aislado, se aplicará la siguiente expresión:

$$I'_d = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot (\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)}{\sqrt{1 + (\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)^2 \cdot (3 \cdot R_t)^2}}$$

siendo:

- I'_d = Intensidad máxima de defecto a tierra en el centro considerado, en A.
- U = Tensión compuesta de servicio de la red, en V.
- C_a = Capacidad homopolar de la línea aérea, en faradios/kilómetro.
- L_a = Longitud total de las líneas aéreas de A.T. subsidiarias de la misma transformación AT/AT, en kilómetros.
- C_c = Capacidad homopolar de los cables subterráneos, en faradios/kilómetro.
- L_c = Longitud total de los cables subterráneos de A.T. subsidiarios de la misma transformación AT/AT, en kilómetros.
- R_t = Resistencia de la puesta a tierra de protección del centro, en Ω .

- ω = Pulsación de la corriente, valor de $2 \cdot \pi \cdot f$.
- $C_a = 0,006 \cdot 10^{-6}$ F/km.
- $C_c = 0,250 \cdot 10^{-6}$ F/km.

Se considerará, salvo que el proyectista determine lo contrario:

$$C_a = 0,006 \mu\text{F/km}$$

$$C_c = 0,25 \mu\text{F/km}$$

Neutro a tierra: Corriente máxima a tierra

La intensidad de defecto a tierra es inversamente proporcional a la impedancia del circuito que debe recorrer, no considerándose la impedancia homopolar de la red.

Para el cálculo se aplicará la siguiente expresión:

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3 \cdot (\sqrt{R_n + R_t})^2 + X_n^2}}$$

siendo:

- I'_d = Intensidad máxima de defecto a tierra en el centro considerado, en A.
- U = Tensión compuesta de servicio de la red, en V.
- R_n = Resistencia de la puesta a tierra del neutro de la red, en Ω .
- R_t = Resistencia de la puesta a tierra de protección del centro, en Ω .
- X_n = Reactancia de la puesta a tierra del neutro de la red, en Ω .

Los valores de R_n y X_n son característicos de cada red.

Tiempos máximos de eliminación del defecto

Cuando se produce un defecto a tierra, éste se elimina mediante la apertura de un elemento que actúa por el orden que le transmite un dispositivo que controla la intensidad de defecto.

No se considerarán los fusibles como elementos de interrupción de la intensidad de defecto, salvo que el proyectista justifique lo contrario.

Se emplearán interruptores controlados por relés, siendo los tiempos de apertura del interruptor y de extinción del arco los incluidos en el tiempo de actuación del relé.

La variante de los tiempos de actuación de los relés normales son las siguientes:

Relés a tiempo independiente. Actúan al superarse la intensidad de arranque.

Relés a tiempo dependiente. El tiempo de actuación depende inversamente de la sobreintensidad. La respuesta de los relés más utilizados responden a la expresión:

$$t = \frac{K'}{r'_n - 1}$$

siendo:

- t = Tiempo de actuación del relé, en segundos.
- r = Cociente entre la intensidad de defecto a tierra y la intensidad de arranque del relé (I_a) referida al primario.

$$r = \frac{I'_d}{I_a}$$

K' y n' dependen de la curva característica intensidad-tiempo del relé.

Las curvas más utilizadas son las indicadas a continuación:

n'	K'	t (s)
0,014	1,35	8
0,028	2,70	16
0,042	4,05	24
0,056	5,40	32
0,070	6,70	40
0,084	8,10	48
0,098	9,45	56
0,112	10,80	64
0,126	12,15	72
0,140	13,50	80

Para definir el tiempo de actuación de las protecciones a tiempo dependiente se indicarán las características del relé, el tipo de curva (n'), la constante K' y la intensidad de arranque (I_a).

Diseño preliminar de la instalación de tierra

Se realizará basándose en alguna de las configuraciones «TIPO» presentadas.

Para cada configuración se calculará la resistencia de puesta a tierra y las correspondientes tensiones de paso y contacto.

3.7.2.11. Cálculo de la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto

La resistencia de p. a t. es la resistencia que existe entre el electrodo y un punto lejano del terreno a potencial cero.

El método de cálculo con el que se ha realizado todo el estudio se basa en la descomposición del electrodo en infinitas esferas diferenciales que disipan una intensidad « dI ».

Para determinar el potencial en un punto se integrará el aporte de las infinitas esferas diferenciales.

La aplicación de esta integración conduce a la obtención de fórmulas matemáticas simples de fácil aplicación, que permi-

ten determinar directamente la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto.

3.7.2.12. Electrodo de tierra. Parámetros característicos

Cada configuración aporta la resistencia de puesta a tierra (K_r) en $\Omega/(\Omega \cdot m)$, la tensión de paso máxima (K_p) en $V/(\Omega \cdot m)$ (A) y la tensión de contacto exterior máxima (kc) en $V/(\Omega \cdot m)$ (A).

Con estos valores podemos calcular:

- La resistencia de puesta a tierra..... $R_t = K_r \cdot \rho = \Omega$
- La intensidad de defecto, mediante fórmulas.
- La tensión de paso máxima..... $U'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d = V$
- La tensión de contacto exterior máxima $U'_c = kc \cdot \rho \cdot I'_d = V$

Cuando exista una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra, la tensión de paso de acceso es equivalente a la tensión de contacto exterior máxima.

Si las picas se colocan frente a los accesos del C.T., paralelos a la fachada, no debe considerarse la tensión de paso de acceso (tensión de contacto exterior).

Si las picas se ubican lejos de los accesos del C.T., deberá considerarse como tensión de paso de acceso la tensión de defecto.

La conexión desde el C.T., hasta la primera pica se realizará con conductores aislados de tensión nominal de aislamiento de 0,6/1 kV y se recomienda protegerlo con canalización blindada de P.V.C. de grado de protección 7 como mínimo, contra daños mecánicos.

3.7.2.13. Relación entre las tensiones de paso y contacto y la resistencia de puesta a tierra

La relación entre las tensiones de paso y contacto y la resistencia de puesta a tierra se desarrolla a continuación. En ella se pone de manifiesto que para una red concreta, tanto U'_p como U'_c son funciones únicamente de la variable R_t .

Para demostrar la relación que existe entre la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto, inicialmente se analiza el caso de una pica.

Para el caso de una pica son las siguientes:

$$R_t = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot L}{d} \right)$$

$$U_x = \frac{I_d \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \left[\frac{L + \sqrt{X^2 + L^2}}{X} \right]$$

siendo:

- R_t = Resistencia de puesta a tierra, en Ω .
- U_X = Potencial en el punto «X», en V.
- ρ = Resistividad del terreno, en $\Omega \cdot m$.
- I_d = Intensidad de defecto, en A.
- L = Longitud de la pica, en m.
- d = Diámetro de la pica, en mm^2 .
- X = Distancia de la pica al punto «X», en m.

Las fórmulas anteriores pueden expresarse en la forma siguiente:

$$R_t = \rho \cdot K_r$$

$$U_X = \rho \cdot I_d \cdot K_X$$

donde:

K_r es sólo función de «d» (diámetro de la pica) y «L» (longitud de la pica).

K_X es sólo función de «L» (longitud de la pica) y «X» (distancia a la pica).

Con lo cual, para una longitud y diámetro de pica concretos, y un punto a la distancia «X» fijo, K_r y K_X son parámetros constantes, siendo sus dimensiones:

$$K_r = \text{Resistencia «unitaria» en } \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$$

$$K_X = \text{Potencial «unitario» del punto «X» en } \frac{V}{(\Omega \cdot m) \cdot (A)}$$

Análogamente se determinan para las tensiones de paso y contacto, las expresiones siguientes:

$$U'_p = U_{X1} - U_{X2} = \rho \cdot I_d \cdot K_{X1} - \rho \cdot I_d \cdot K_{X2} = \rho \cdot I_d \cdot K_p$$

$$U'_c = R_t \cdot I_d - U_{X1} = \rho \cdot I_d \cdot K_r - \rho \cdot I_d \cdot K_{X1} = \rho \cdot I_d \cdot kc$$

siendo:

$$K_p = \text{Tensión «unitaria» de paso, en } \frac{V}{(\Omega \cdot m) \cdot (A)}$$

$$kc = \text{Tensión «unitaria» de contacto, en } \frac{V}{(\Omega \cdot m) \cdot (A)}$$

De las expresiones anteriores se deduce que la relación entre la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto, para una geometría de electrodo concreta, quedarán determinadas por las siguientes fórmulas:

$$\frac{U'_p}{R_t} = \frac{I_d \cdot K_t}{K_r} \quad \frac{U'_c}{R_t} = \frac{I_d \cdot kc}{K_r}$$

Para el caso de electrodos más complicados, se llega igualmente a expresiones de K_r , K_p y kc , en función de las

distintas distancias que intervienen según la geometría del electrodo, y para cada geometría definida, se obtiene un valor de los parámetros K_r , K_p y kc . En las Tablas de configuraciones «Tipo» de electrodos de tierra, se indican los valores de dichos parámetros para las geometrías en ellas consideradas.

En las Tablas 3.3, 3.4 y 3.5 se detallan los valores para resistividades del terreno comprendidas entre 20 y 3.000 $\Omega \cdot m$ y distintos tiempos de duración de la falta.

A título de ejemplo, en las mencionadas tablas pueden apreciarse, para tiempos de respuesta de las protecciones de 0,5 segundos y terrenos de resistividad media de 300 $\Omega \cdot m$, las siguientes tensiones admisibles:

- Tensión de paso admisible en la instalación 4.032 V, Tabla 3.3
- Tensión de contacto admisible en la instalación 209 V, Tabla 3.4
- U_p admisible a la entrada al C.T. con pavimento 15.696 V, Tabla 3.5

La utilización de cualquier electrodo «Tipo» para las tensiones de paso calculadas nos dará muchas veces como resultado que sean inferiores a las admisibles, pero puede pasar que las tensiones de contacto calculadas sean superiores al valor de la tensión de contacto máxima admisible, pues presentaría tener que realizar la instalación de unos electrodos muy dimensionados cuya configuración no sería posible, ni física ni económica. En estos casos el RAT permite la posibilidad de recurrir al empleo de medidas adicionales de seguridad a fin de reducir los riesgos de las personas y cosas, por lo que en este caso no será necesario calcular el valor de las tensiones de paso y contacto, tanto interiores como exteriores, ya que estos valores serán prácticamente iguales a cero.

3.7.2.14. Medidas adicionales de seguridad para las tensiones de contacto

Entre las medidas aceptadas se encuentran:

- **Disponer de suelos o pavimentos que aislen suficientemente de tierra las zonas peligrosas.**
- **Establecer conexiones equipotenciales entre la zona de acceso para el personal de servicio y todos los elementos conductores accesibles desde la misma.**

Las medidas concretas consideradas están reflejadas en los puntos 3.7.1.6 y 3.7.1.7, a los que se añadirá la Figura 3.33.

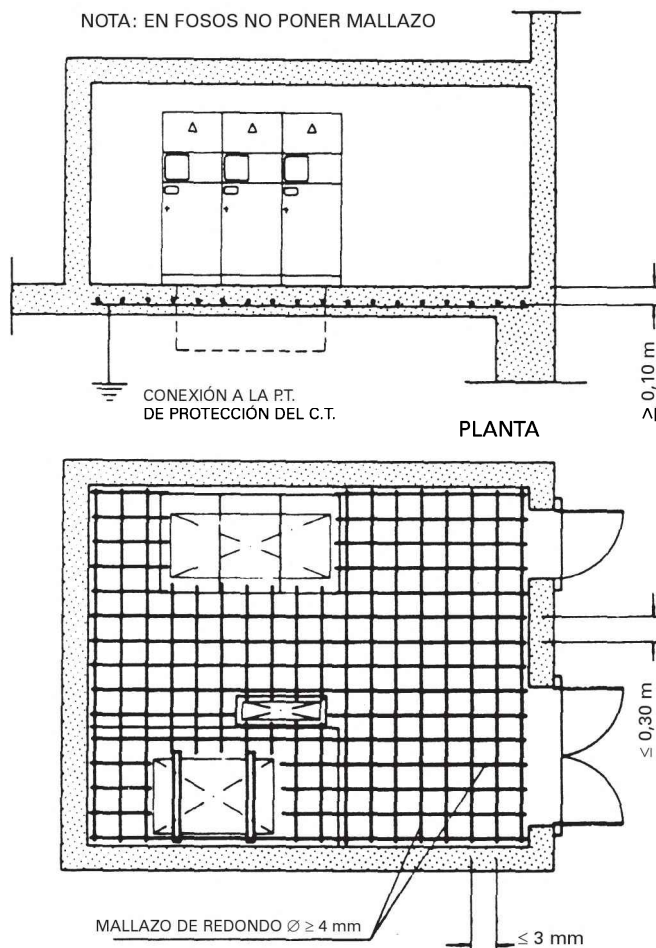


Figura 3.33. Medidas adicionales de seguridad para las tensiones de contacto en C.T. de edificio.

3.7.2.15. Condiciones a cumplir por el electrodo de tierra

Además de conseguir que los valores de las tensiones de paso y contacto admisibles no sean superadas, existen otros aspectos que deben tenerse en cuenta al diseñar los electrodos de puesta a tierra, para evitar sobretensiones que se puedan presentar en el caso de defecto o avería, que superen los límites considerados.

3.7.2.16. Investigación de las tensiones transferidas al exterior

Una vez diseñado el electrodo, deberá verificarse que no puedan transmitirse tensiones al exterior. En concreto deberá estudiarse la posible transferencia a través de la puesta a tierra del neutro y determinar las características eléctricas de este último.

Tabla 3.7. Condiciones a cumplir por el electrodo de tierra

SEGURIDAD DE LAS PERSONAS	
Tensión máxima calculada	\leq Tensión máxima adm. en la instalación
De paso en el exterior	\leq De paso (U_p)
De paso en el interior	\leq De paso (U_p)
De contacto en el interior	\leq De contacto (U_c)
De no cumplirse alguna de estas condiciones el proyectista deberá justificar las medidas adicionales de seguridad adoptadas para no superar las tensiones máximas admisibles.	
PROTECCIÓN DEL MATERIAL	
El nivel de aislamiento del equipo de B.T. del C.T. a frecuencia industrial	
Será	\geq Que la tensión de defecto
La tensión en B.T.	$\geq R_t \cdot I'_d$
Se deberá definir el valor de la U_{BT} , y si no se cumple con la relación anterior, deberá utilizarse un transformador de separación de circuitos.	
LIMITACIÓN DE LA CORRIENTE DE DEFECTO	
La Int. de defecto	$I'_d >$ La Int. de arranque de las protecciones I'_a

3.7.2.17. Separación de los sistemas de puesta a tierra de protección (masas) y de servicio (neutro)

La máxima diferencia de potencial que puede aparecer entre el Neutro de B.T. y una tierra lejana no afectada, no deberá superar los 1.000 V (1.200 según REBT ITC18 ap. 11).

Este valor se establece al tener presente lo indicado en la ITC 19 del REBT, como tensión de ensayo para las instalaciones interiores durante 1 minuto, $2U + 1.000$ V, siendo U la tensión máxima de servicio con un mínimo de 1.500 V.

La distancia entre el electrodo de protección y de servicio será:

$$D = \frac{\rho \cdot I'_d}{2 \cdot \pi \cdot U_i}$$

Tabla 3.8. Separación de los sistemas puestos a tierra, en metros

Resistividad terreno $\Omega \cdot m$	Intensidad de defecto (amperios)																						
	20	40	60	80	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
20	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
40	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6
60	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9
80	0	1	1	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	10	10	11	11	12	13
100	0	1	1	1	2	2	3	4	5	6	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14	14	15	16
150	0	1	1	2	2	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	23	24
200	1	1	2	3	3	5	6	8	10	11	13	14	16	18	19	21	22	24	25	27	29	30	32
250	1	2	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
300	1	2	3	4	5	7	10	12	14	17	19	21	24	26	29	31	33	36	38	41	43	45	48
350	1	2	3	4	6	8	11	14	17	19	22	25	28	31	33	36	39	42	45	47	50	53	56
400	1	3	4	5	6	10	13	16	19	22	25	29	32	35	38	41	45	48	51	54	57	60	64
450	1	3	4	6	7	11	14	18	21	25	29	32	36	39	43	47	50	54	57	61	64	68	72
500	2	3	5	6	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80
550	2	4	5	7	9	13	18	22	26	31	35	39	44	48	53	57	61	66	70	74	79	83	88
600	2	4	6	8	10	14	19	24	29	33	38	43	48	53	57	62	67	72	76	81	86	91	95
650	2	4	6	8	10	16	21	26	31	36	41	47	52	57	62	67	72	78	83	88	93	98	103
700	2	4	7	9	11	17	22	28	33	39	45	50	56	61	67	72	78	84	89	95	100	106	111
750	2	5	7	10	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	95	101	107	113	119
800	3	5	8	10	13	19	25	32	38	45	51	57	64	70	76	83	89	95	102	108	115	121	127
850	3	5	8	11	14	20	27	34	41	47	54	61	68	74	81	88	95	101	108	115	122	129	135
900	3	6	9	11	14	21	29	36	43	50	57	64	72	79	86	93	100	107	115	122	129	136	143
950	3	6	9	12	15	23	30	38	45	53	60	68	76	83	91	98	106	113	121	129	136	144	151
1.000	3	6	10	13	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	95	103	111	119	127	135	143	151	159
1.200	4	8	11	15	19	29	38	48	57	67	76	86	95	105	115	124	134	143	153	162	172	181	191
1.400	4	9	13	18	22	33	45	56	67	78	89	100	111	123	134	145	156	167	178	189	201	212	223
1.600	5	10	15	20	25	38	51	64	76	89	102	115	127	140	153	166	178	191	204	216	229	242	255
1.800	6	11	17	23	29	43	57	72	86	100	115	129	143	158	172	186	201	215	229	244	258	272	286
2.000	6	13	19	25	32	48	64	80	95	111	127	143	159	175	191	207	223	239	255	271	286	302	318
2.200	7	14	21	28	35	53	70	88	105	123	140	158	175	193	210	228	245	263	280	298	315	333	350
2.400	8	15	23	31	38	57	76	95	115	134	153	172	191	210	229	248	267	286	306	325	344	363	382
2.600	8	17	25	33	41	62	83	103	124	145	166	186	207	228	248	269	290	310	331	352	372	393	414
2.800	9	18	27	36	45	67	89	111	134	156	178	201	223	245	267	290	312	334	357	379	401	423	446
3.000	10	19	29	38	48	72	95	119	143	167	191	215	239	263	286	310	334	358	382	406	430	454	477

Si $U_i \leq 1.000$ V, nos da:

$$D \geq \frac{\rho \cdot I'_d}{2.000 \cdot \pi}$$

En la Tabla 3.8 se recogen las distancias mínimas entre electrodos para intensidades de defecto comprendidas entre 20 y 1.000 A y resistividades del terreno entre 20 y 3.000 $\Omega \cdot m$.

3.7.2.18. Sistema único de puesta a tierra de protección y de servicio

Cuando la $U_d = R_t \cdot I'_d \leq 1.000 \text{ V}$, se podrá disponer de una puesta a tierra única para los sistemas de protección y de servicio.

En la Tabla 3.9 se reflejan, en función de las intensidades de defecto, los valores de la resistencia que permiten la interconexión de los dos sistemas a una tierra única.

Tabla 3.9. Resistencia máxima del electrodo, para puesta a tierra única

50	20
100	10
150	6,5
200	5
300	3
500	2
1.000	1

Resistencia de la puesta a tierra de servicio

Una vez conectada a la red de puesta a tierra de servicio al neutro de la red de B.T. el valor de esta resistencia de puesta a tierra general deberá ser inferior a 10Ω .

De esta forma se consigue que una instalación interior protegida por interruptores automáticos diferenciales no ocasione en el electrodo de puesta a tierra de servicio una tensión superior a:

$$10 \Omega \times 0,300 \text{ A} = 3 \text{ V}$$

3.7.2.19. Puesta a tierra en centros de transformación conectados a redes de cables subterráneos

El RAT admite el empleo de un electrodo único en los C.T., conectados a una red general, si se cumple una de estas dos condiciones:

1. Que la alimentación en A.T. forme parte de una red de cables subterráneos con envolventes conductoras, de suficiente conductibilidad.
2. Que la alimentación en A.T. forme parte de una red mixta de líneas aéreas y cables subterráneos con envolventes conductoras, y existan en ella dos o más tramos de cables subterráneos con una longitud total mínima de 3 km con trazados diferentes y una longitud de cada uno de ellos de más de 1 km.

Se considera que la red tiene suficiente conductibilidad si se cumple:

$$R'_m \cdot I'_d \leq 1.000 \text{ V}$$

Siendo:

R'_m = La resistencia en Ω , de la malla de p. a t. formada por los cables subterráneos de A.T. con cubierta conductora y las picas verticales conectadas a dicha malla, ampliada con los cables de cubierta aislante.

$$R'_m = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L + L'}$$

donde:

ρ = Resistividad del terreno, en $\Omega \cdot \text{m}$.

r = Radio de un círculo de la misma superficie que el área cubierta por la malla, en m.

L = Longitud total de los cables existentes en la malla cubierta conductora, en m.

L' = Longitud total de las picas verticales incluidas en la malla, en m.

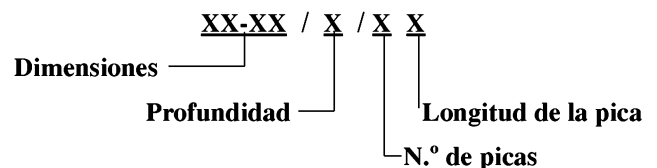
1.000 V = Tensión que deben soportar las instalaciones interiores y receptoras, tal como se ha indicado anteriormente.

3.7.2.20. Tablas de configuración tipo de electrodos de tierra con sus respectivos parámetros característicos

Los valores que se indican en las tablas corresponden a electrodos con picas de 14 mm de \varnothing y conductor desnudo de cobre de 50 mm^2 de sección. Para otros diámetros de pica y otras secciones de conductor, de los empleados en la práctica, pueden utilizarse igualmente estas tablas, ya que estas magnitudes no afectan prácticamente al comportamiento del electrodo.

A efectos de designación, se han incluido los códigos relativos a la configuración del electrodo, que hacen referencia en cada caso:

Electrodos horizontales



Electrodos para picas alineadas

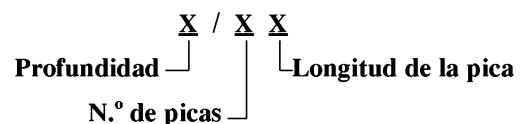


Tabla 3.10. Cuadrado de 2,0 × 2,0 m

Sección conductor = 50 mm²
Diámetro picas = 14 mm
L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _r (P _{EXT})	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,216	0,0485	0,1470	20-20/5/00
4 picas	2	0,135	0,0335	0,0723	20-20/5/42
	4	0,101	0,0236	0,0467	20-20/5/44
	6	0,081	0,0181	0,0341	20-20/5/46
8 picas	8	0,069	0,0146	0,0267	20-20/5/48
	2	0,116	0,0290	0,0548	20-20/5/82
	4	0,084	0,0191	0,0324	20-20/5/84
8 picas	6	0,067	0,0140	0,0227	20-20/5/86
	8	0,056	0,0110	0,0173	20-20/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _r (P _{EXT})	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,216	0,0485	0,1470	20-20/5/00
4 picas	2	0,135	0,0335	0,0723	20-20/5/42
	4	0,101	0,0236	0,0467	20-20/5/44
	6	0,081	0,0181	0,0341	20-20/5/46
8 picas	8	0,069	0,0146	0,0267	20-20/5/48
	2	0,116	0,0290	0,0548	20-20/5/82
	4	0,084	0,0191	0,0324	20-20/5/84
8 picas	6	0,067	0,0140	0,0227	20-20/5/86
	8	0,056	0,0110	0,0173	20-20/5/88

Tabla 3.12. Rectángulo de 2,0 × 3,0 m

Sección conductor = 50 mm²
Diámetro picas = 14 mm
L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _r (P _{EXT})	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,181	0,0395	0,1188	20-30/5/00
4 picas	2	0,121	0,0291	0,0632	20-30/5/42
	4	0,093	0,0213	0,0421	20-30/5/44
	6	0,076	0,0166	0,0312	20-30/5/46
8 picas	8	0,065	0,0136	0,0246	20-30/5/48
	2	0,105	0,0252	0,0486	20-30/5/82
	4	0,077	0,0171	0,0293	20-30/5/84
8 picas	6	0,062	0,0128	0,0206	20-30/5/86
	8	0,053	0,0102	0,0157	20-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _r (P _{EXT})	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,172	0,0273	0,1128	20-30/8/00
4 picas	2	0,116	0,0201	0,0611	20-30/8/42
	4	0,089	0,0149	0,0411	20-30/8/44
	6	0,073	0,0117	0,0307	20-30/8/46
8 picas	8	0,062	0,0096	0,0244	20-30/8/48
	2	0,100	0,0180	0,0470	20-30/8/82
	4	0,074	0,0124	0,0289	20-30/8/84
8 picas	6	0,060	0,0094	0,0206	20-30/8/86
	8	0,051	0,0075	0,0159	20-30/8/88

Tabla 3.11. Rectángulo de 2,0 × 2,5 m

Sección conductor = 50 mm²
Diámetro picas = 14 mm
L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _r (P _{EXT})	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,196	0,0435	0,1313	20-25/5/00
4 picas	2	0,128	0,0312	0,0674	20-25/5/42
	4	0,097	0,0224	0,0442	20-25/5/44
	6	0,079	0,0173	0,0325	20-25/5/46
8 picas	8	0,067	0,0141	0,0256	20-25/5/48
	2	0,110	0,0269	0,0514	20-25/5/82
	4	0,080	0,0180	0,0307	20-25/5/84
8 picas	6	0,064	0,0134	0,0215	20-25/5/86
	8	0,054	0,0106	0,0164	20-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _r (P _{EXT})	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,186	0,0299	0,1247	20-25/8/00
4 picas	2	0,122	0,0215	0,0651	20-25/8/42
	4	0,093	0,0156	0,0432	20-25/8/44
	6	0,076	0,0121	0,0320	20-25/8/46
8 picas	8	0,064	0,0099	0,0253	20-25/8/48
	2	0,104	0,0192	0,0497	20-25/8/82
	4	0,077	0,0131	0,0303	20-25/8/84
8 picas	6	0,062	0,0098	0,0215	20-25/8/86
	8	0,053	0,0078	0,0166	20-25/8/88

Tabla 3.13. Cuadrado de 2,5 × 2,5 m

Sección conductor = 50 mm²
Diámetro picas = 14 mm
L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _r (P _{EXT})	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,180	0,0395	0,1188	25-25/5/00
4 picas	2	0,121	0,0291	0,0633	25-25/5/42
	4	0,093	0,0213	0,0422	25-25/5/44
	6	0,076	0,0166	0,0312	25-25/5/46
8 picas	8	0,065	0,0136	0,0247	25-25/5/48
	2	0,104	0,0252	0,0487	25-25/5/82
	4	0,077	0,0171	0,0294	25-25/5/84
8 picas	6	0,062	0,0128	0,0206	25-25/5/86
	8	0,053	0,0102	0,0158	25-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _r (P _{EXT})	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,171	0,0272	0,1128	25-25/8/00
4 picas	2	0,116	0,0201	0,0612	25-25/8/42
	4	0,089	0,0149	0,0412	25-25/8/44
	6	0,073	0,0117	0,0307	25-25/8/46
8 picas	8	0,062	0,0096	0,0244	25-25/8/48
	2	0,100	0,0180	0,0470	25-25/8/82
	4	0,074	0,0125	0,0289	25-25/8/84
8 picas	6	0,060	0,0094	0,0206	25-25/8/86
	8	0,051	0,0075	0,0159	25-25/8/88

Tabla 3.14. Rectángulo de 3,0 × 2,5 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro pica = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(mcc)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,167	0,0361	0,1083	30-25/5/00
4 picas	2	0,115	0,0274	0,0595	30-25/5/42
	4	0,089	0,0203	0,0402	30-25/5/44
	6	0,074	0,0160	0,0300	30-25/5/46
8 picas	2	0,063	0,0131	0,0238	30-25/5/48
	4	0,100	0,0236	0,0462	30-25/5/82
	6	0,074	0,0163	0,0281	30-25/5/84
8 picas	6	0,060	0,0123	0,0198	30-25/5/86
	8	0,051	0,0098	0,0151	30-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(mcc)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,159	0,0250	0,1030	30-25/8/00
4 picas	2	0,110	0,0189	0,0576	30-25/8/42
	4	0,086	0,0142	0,0393	30-25/8/44
	6	0,071	0,0112	0,0295	30-25/8/46
8 picas	2	0,061	0,0093	0,0235	30-25/8/48
	4	0,095	0,0169	0,0446	30-25/8/82
	6	0,072	0,0119	0,0277	30-25/8/84
8 picas	6	0,058	0,0090	0,0198	30-25/8/86
	8	0,050	0,0072	0,0153	30-25/8/88

Tabla 3.16. Rectángulo de 3,0 × 3,5 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro pica = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(mcc)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,145	0,0308	0,0921	30-35/5/00
4 picas	2	0,105	0,0244	0,0532	30-35/5/42
	4	0,083	0,0185	0,0369	30-35/5/44
	6	0,069	0,0148	0,0279	30-35/5/46
8 picas	2	0,060	0,0123	0,0223	30-35/5/48
	4	0,091	0,0210	0,0419	30-35/5/82
	6	0,069	0,0149	0,0261	30-35/5/84
8 picas	6	0,057	0,0114	0,0185	30-35/5/86
	8	0,049	0,0092	0,0142	30-35/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(mcc)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,139	0,0214	0,0876	30-35/8/00
4 picas	2	0,101	0,0168	0,0516	30-35/8/42
	4	0,080	0,0129	0,0361	30-35/8/44
	6	0,067	0,0104	0,0275	30-35/8/46
8 picas	2	0,058	0,0087	0,0221	30-35/8/48
	4	0,088	0,0151	0,0406	30-35/8/82
	6	0,067	0,0108	0,0256	30-35/8/84
8 picas	6	0,055	0,0084	0,0184	30-35/8/86
	8	0,047	0,0068	0,0142	30-35/8/88

Tabla 3.15. Cuadrado de 3,0 × 3,0 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro pica = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(mcc)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,155	0,0332	0,0996	30-30/5/00
4 picas	2	0,110	0,0258	0,0563	30-30/5/42
	4	0,086	0,0193	0,0386	30-30/5/44
	6	0,071	0,0154	0,0290	30-30/5/46
8 picas	2	0,061	0,0127	0,0231	30-30/5/48
	4	0,095	0,0222	0,0440	30-30/5/82
	6	0,072	0,0155	0,0271	30-30/5/84
8 picas	6	0,058	0,0118	0,0191	30-30/5/86
	8	0,050	0,0095	0,0146	30-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(mcc)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,148	0,0231	0,0947	30-30/8/00
4 picas	2	0,105	0,0178	0,0545	30-30/8/42
	4	0,083	0,0135	0,0377	30-30/8/44
	6	0,069	0,0108	0,0285	30-30/8/46
8 picas	2	0,059	0,0090	0,0228	30-30/8/48
	4	0,091	0,0160	0,0425	30-30/8/82
	6	0,069	0,0113	0,0266	30-30/8/84
8 picas	6	0,057	0,0087	0,0191	30-30/8/86
	8	0,048	0,0070	0,0147	30-30/8/88

Tabla 3.17. Rectángulo de 4,0 × 2,5 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro pica = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(mcc)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,146	0,0309	0,0924	40-25/5/00
4 picas	2	0,105	0,0244	0,0534	40-25/5/42
	4	0,083	0,0185	0,0370	40-25/5/44
	6	0,069	0,0148	0,0280	40-25/5/46
8 picas	2	0,060	0,0123	0,0223	40-25/5/48
	4	0,092	0,0211	0,0420	40-25/5/82
	6	0,069	0,0149	0,0261	40-25/5/84
8 picas	6	0,057	0,0114	0,0185	40-25/5/86
	8	0,049	0,0092	0,0142	40-25/5/88

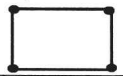
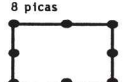
PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(mcc)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,139	0,0215	0,0879	40-25/8/00
4 picas	2	0,101	0,0168	0,0517	40-25/8/42
	4	0,080	0,0129	0,0362	40-25/8/44
	6	0,067	0,0104	0,0275	40-25/8/46
8 picas	2	0,058	0,0087	0,0221	40-25/8/48
	4	0,088	0,0151	0,0407	40-25/8/82
	6	0,067	0,0108	0,0257	40-25/8/84
8 picas	6	0,055	0,0083	0,0184	40-25/8/86
	8	0,047	0,0068	0,0143	40-25/8/88

Tabla 3.18. Rectángulo de 4,0 × 3,0 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro plicas = 14 mm
 L_p = Longitud de la plica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,137	0,0287	0,0858	40-30/5/00
	2	0,100	0,0231	0,0506	40-30/5/42
	4	0,080	0,0178	0,0355	40-30/5/44
	6	0,067	0,0143	0,0270	40-30/5/46
	8	0,058	0,0119	0,0217	40-30/5/48
	2	0,088	0,0200	0,0402	40-30/5/82
	4	0,067	0,0143	0,0252	40-30/5/84
	6	0,055	0,0110	0,0179	40-30/5/86
	8	0,047	0,0089	0,0137	40-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

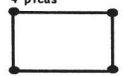
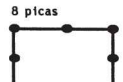
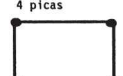

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,131	0,0200	0,0816	40-30/8/00
	2	0,096	0,0160	0,0491	40-30/8/42
	4	0,077	0,0124	0,0347	40-30/8/44
	6	0,065	0,0101	0,0266	40-30/8/46
	8	0,056	0,0084	0,0214	40-30/8/48
	2	0,084	0,0143	0,0389	40-30/8/82
	4	0,065	0,0104	0,0247	40-30/8/84
	6	0,054	0,0081	0,0178	40-30/8/86
	8	0,046	0,0066	0,0138	40-30/8/88

Tabla 3.20. Rectángulo de 4,0 × 4,0 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro plicas = 14 mm
 L_p = Longitud de la plica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,123	0,0252	0,0753	40-40/5/00
	2	0,092	0,0210	0,0461	40-40/5/42
	4	0,075	0,0164	0,0330	40-40/5/44
	6	0,064	0,0134	0,0254	40-40/5/46
	8	0,056	0,0113	0,0205	40-40/5/48
	2	0,082	0,0181	0,0371	40-40/5/82
	4	0,063	0,0132	0,0237	40-40/5/84
	6	0,053	0,0103	0,0170	40-40/5/86
	8	0,045	0,0084	0,0131	40-40/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

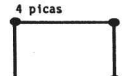

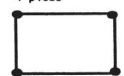
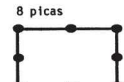
CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,117	0,0176	0,0717	40-40/8/00
	2	0,089	0,0144	0,0447	40-40/8/42
	4	0,073	0,0114	0,0323	40-40/8/44
	6	0,062	0,0094	0,0250	40-40/8/46
	8	0,054	0,0079	0,0203	40-40/8/48
	2	0,079	0,0130	0,0359	40-40/8/82
	4	0,061	0,0096	0,0233	40-40/8/84
	6	0,051	0,0075	0,0169	40-40/8/86
	8	0,044	0,0062	0,0131	40-40/8/88

Tabla 3.19. Rectángulo de 4,0 × 3,5 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro plicas = 14 mm
 L_p = Longitud de la plica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,129	0,0268	0,0801	40-35/5/00
	2	0,096	0,0220	0,0482	40-35/5/42
	4	0,078	0,0171	0,0341	40-35/5/44
	6	0,066	0,0138	0,0261	40-35/5/46
	8	0,057	0,0116	0,0210	40-35/5/48
	2	0,085	0,0190	0,0385	40-35/5/82
	4	0,065	0,0137	0,0244	40-35/5/84
	6	0,054	0,0106	0,0174	40-35/5/86
	8	0,046	0,0086	0,0134	40-35/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

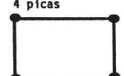

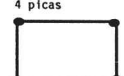
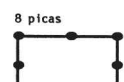
CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,124	0,0187	0,0763	40-35/8/00
	2	0,092	0,0152	0,0468	40-35/8/42
	4	0,075	0,0119	0,0334	40-35/8/44
	6	0,063	0,0097	0,0257	40-35/8/46
	8	0,055	0,0082	0,0208	40-35/8/48
	2	0,081	0,0136	0,0373	40-35/8/82
	4	0,063	0,0100	0,0239	40-35/8/84
	6	0,052	0,0078	0,0173	40-35/8/86
	8	0,045	0,0064	0,0134	40-35/8/88

Tabla 3.21. Rectángulo de 5,0 × 2,5 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro plicas = 14 mm
 L_p = Longitud de la plica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,130	0,0269	0,0806	50-25/5/00
	2	0,097	0,0221	0,0483	50-25/5/42
	4	0,078	0,0171	0,0342	50-25/5/44
	6	0,066	0,0138	0,0262	50-25/5/46
	8	0,057	0,0116	0,0211	50-25/5/48
	2	0,085	0,0191	0,0386	50-25/5/82
	4	0,066	0,0137	0,0244	50-25/5/84
	6	0,054	0,0106	0,0174	50-25/5/86
	8	0,046	0,0086	0,0134	50-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

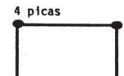

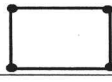

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,124	0,0188	0,0767	50-25/8/00
	2	0,093	0,0152	0,0469	50-25/8/42
	4	0,075	0,0119	0,0335	50-25/8/44
	6	0,064	0,0097	0,0258	50-25/8/46
	8	0,055	0,0082	0,0209	50-25/8/48
	2	0,082	0,0136	0,0375	50-25/8/82
	4	0,063	0,0100	0,0240	50-25/8/84
	6	0,053	0,0078	0,0174	50-25/8/86
	8	0,045	0,0063	0,0135	50-25/8/88

Tabla 3.22. Rectángulo de 5,0 × 3,0 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,123	0,0252	0,0755	50-30/5/00
 4 picas	2	0,093	0,0210	0,0461	50-30/5/42
	4	0,076	0,0164	0,0329	50-30/5/44
	6	0,064	0,0134	0,0253	50-30/5/46
 8 picas	2	0,082	0,0182	0,0371	50-30/5/82
	4	0,064	0,0132	0,0236	50-30/5/84
	6	0,053	0,0103	0,0169	50-30/5/86
	8	0,045	0,0084	0,0130	50-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.



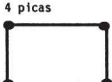
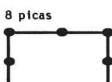
CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,118	0,0177	0,0719	50-30/8/00
 4 picas	2	0,089	0,0145	0,0447	50-30/8/42
	4	0,073	0,0114	0,0323	50-30/8/44
	6	0,062	0,0094	0,0250	50-30/8/46
 8 picas	2	0,079	0,0130	0,0359	50-30/8/82
	4	0,062	0,0096	0,0232	50-30/8/84
	6	0,051	0,0075	0,0169	50-30/8/86
	8	0,044	0,0062	0,0131	50-30/8/88

Tabla 3.24. Rectángulo de 5,0 × 4,0 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,111	0,0225	0,0670	50-40/5/00
 4 picas	2	0,086	0,0192	0,0421	50-40/5/42
	4	0,071	0,0153	0,0307	50-40/5/44
	6	0,061	0,0126	0,0239	50-40/5/46
 8 picas	2	0,076	0,0166	0,0344	50-40/5/82
	4	0,060	0,0123	0,0223	50-40/5/84
	6	0,050	0,0097	0,0161	50-40/5/86
	8	0,043	0,0079	0,0124	50-40/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

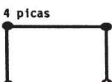
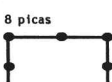

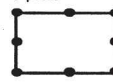
CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,107	0,0157	0,0639	50-40/8/00
 4 picas	2	0,083	0,0132	0,0410	50-40/8/42
	4	0,068	0,0106	0,0301	50-40/8/44
	6	0,059	0,0088	0,0235	50-40/8/46
 8 picas	2	0,074	0,0118	0,0334	50-40/8/82
	4	0,058	0,0089	0,0219	50-40/8/84
	6	0,049	0,0071	0,0160	50-40/8/86
	8	0,042	0,0058	0,0125	50-40/8/88

Tabla 3.23. Rectángulo de 5,0 × 3,5 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,117	0,0238	0,0710	50-35/5/00
 4 picas	2	0,089	0,0201	0,0440	50-35/5/42
	4	0,073	0,0158	0,0318	50-35/5/44
	6	0,062	0,0130	0,0246	50-35/5/46
 8 picas	2	0,079	0,0174	0,0357	50-35/5/82
	4	0,062	0,0127	0,0229	50-35/5/84
	6	0,051	0,0100	0,0165	50-35/5/86
	8	0,044	0,0081	0,0127	50-35/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.





CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,112	0,0166	0,0676	50-35/8/00
 4 picas	2	0,086	0,0138	0,0428	50-35/8/42
	4	0,071	0,0110	0,0311	50-35/8/44
	6	0,060	0,0091	0,0242	50-35/8/46
 8 picas	2	0,076	0,0124	0,0346	50-35/8/82
	4	0,060	0,0092	0,0225	50-35/8/84
	6	0,050	0,0073	0,0164	50-35/8/86
	8	0,043	0,0060	0,0128	50-35/8/88

Tabla 3.25. Cuadrado de 5,0 × 5,0 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,102	0,0203	0,0605	50-50/5/00
 4 picas	2	0,080	0,0177	0,0390	50-50/5/42
	4	0,067	0,0143	0,0288	50-50/5/44
	6	0,058	0,0119	0,0227	50-50/5/46
 8 picas	2	0,072	0,0154	0,0322	50-50/5/82
	4	0,057	0,0115	0,0212	50-50/5/84
	6	0,048	0,0091	0,0155	50-50/5/86
	8	0,042	0,0076	0,0120	50-50/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

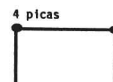



CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,098	0,0142	0,0577	50-50/8/00
 4 picas	2	0,077	0,0122	0,0379	50-50/8/42
	4	0,065	0,0099	0,0283	50-50/8/44
	6	0,056	0,0083	0,0223	50-50/8/46
 8 picas	2	0,069	0,0109	0,0313	50-50/8/82
	4	0,055	0,0083	0,0208	50-50/8/84
	6	0,047	0,0067	0,0153	50-50/8/86
	8	0,040	0,0055	0,0120	50-50/8/88

Tabla 3.26. Rectángulo de 6,0 × 2,5 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CON- TACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,118	0,0239	0,0715	60-25/5/00
 4 picas	2	0,090	0,0202	0,0442	60-25/5/42
	4	0,074	0,0159	0,0318	60-25/5/44
	6	0,063	0,0130	0,0246	60-25/5/46
 8 picas	2	0,080	0,0175	0,0358	60-25/5/82
	4	0,062	0,0128	0,0229	60-25/5/84
	6	0,052	0,0100	0,0165	60-25/5/86
8	0,045	0,0082	0,0127	60-25/5/88	

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

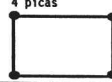

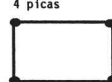

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CON- TACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,113	0,0167	0,0681	60-25/8/00
 4 picas	2	0,087	0,0139	0,0430	60-25/8/42
	4	0,071	0,0110	0,0312	60-25/8/44
	6	0,061	0,0091	0,0243	60-25/8/46
 8 picas	2	0,077	0,0124	0,0348	60-25/8/82
	4	0,060	0,0092	0,0226	60-25/8/84
	6	0,050	0,0073	0,0165	60-25/8/86
8	0,043	0,0060	0,0128	60-25/8/88	

Tabla 3.28. Rectángulo de 6,0 × 3,5 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CON- TACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,107	0,0213	0,0637	60-35/5/00
 4 picas	2	0,083	0,0185	0,0405	60-35/5/42
	4	0,069	0,0148	0,0297	60-35/5/44
	6	0,059	0,0122	0,0232	60-35/5/46
 8 picas	2	0,074	0,0160	0,0332	60-35/5/82
	4	0,059	0,0119	0,0216	60-35/5/84
	6	0,049	0,0094	0,0157	60-35/5/86
8	0,043	0,0077	0,0121	60-35/5/88	

PROFUNDIDAD = 0,8 m.



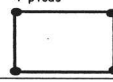

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CON- TACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,102	0,0149	0,0608	60-35/8/00
 4 picas	2	0,080	0,0127	0,0394	60-35/8/42
	4	0,067	0,0103	0,0291	60-35/8/44
	6	0,058	0,0085	0,0229	60-35/8/46
 8 picas	2	0,072	0,0114	0,0322	60-35/8/82
	4	0,057	0,0086	0,0213	60-35/8/84
	6	0,048	0,0068	0,0156	60-35/8/86
8	0,041	0,0057	0,0122	60-35/8/88	

Tabla 3.27. Rectángulo de 6,0 × 3,0 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CON- TACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,112	0,0225	0,0674	60-30/5/00
 4 picas	2	0,087	0,0193	0,0423	60-30/5/42
	4	0,071	0,0153	0,0307	60-30/5/44
	6	0,061	0,0126	0,0239	60-30/5/46
 8 picas	2	0,077	0,0167	0,0344	60-30/5/82
	4	0,061	0,0123	0,0223	60-30/5/84
	6	0,050	0,0097	0,0161	60-30/5/86
8	0,044	0,0079	0,0124	60-30/5/88	

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

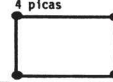
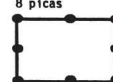


CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CON- TACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,107	0,0158	0,0642	60-30/8/00
 4 picas	2	0,083	0,0132	0,0411	60-30/8/42
	4	0,069	0,0106	0,0301	60-30/8/44
	6	0,059	0,0088	0,0236	60-30/8/46
 8 picas	2	0,074	0,0119	0,0335	60-30/8/82
	4	0,059	0,0089	0,0219	60-30/8/84
	6	0,049	0,0070	0,0160	60-30/8/86
8	0,042	0,0058	0,0125	60-30/8/88	

Tabla 3.29. Rectángulo de 6,0 × 4,0 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CON- TACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,102	0,0203	0,0605	60-40/5/00
 4 picas	2	0,080	0,0177	0,0389	60-40/5/42
	4	0,067	0,0143	0,0287	60-40/5/44
	6	0,058	0,0119	0,0226	60-40/5/46
 8 picas	2	0,072	0,0154	0,0321	60-40/5/82
	4	0,057	0,0115	0,0211	60-40/5/84
	6	0,048	0,0091	0,0154	60-40/5/86
8	0,042	0,0075	0,0119	60-40/5/88	

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

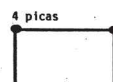

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CON- TACTO EXT K _c =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,098	0,0142	0,0577	60-40/8/00
 4 picas	2	0,078	0,0122	0,0379	60-40/8/42
	4	0,065	0,0099	0,0282	60-40/8/44
	6	0,056	0,0083	0,0223	60-40/8/46
 8 picas	2	0,069	0,0109	0,0312	60-40/8/82
	4	0,055	0,0083	0,0208	60-40/8/84
	6	0,047	0,0067	0,0153	60-40/8/86
8	0,041	0,0055	0,0119	60-40/8/88	

Tabla 3.30. Cuadrado de 6,0 × 6,0 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro plicas = 14 mm
 L_p = Longitud de la plica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,087	0,0169	0,0506	60-60/5/00
4 plicas	2	0,071	0,0154	0,0337	60-60/5/42
	4	0,061	0,0127	0,0256	60-60/5/44
	6	0,053	0,0108	0,0205	60-60/5/46
8 plicas	2	0,047	0,0093	0,0170	60-60/5/48
	4	0,064	0,0134	0,0285	60-60/5/82
	6	0,052	0,0103	0,0193	60-60/5/84
8 plicas	6	0,044	0,0083	0,0143	60-60/5/86
	8	0,039	0,0069	0,0112	60-60/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,084	0,0119	0,0483	60-60/8/00
4 plicas	2	0,069	0,0105	0,0329	60-60/8/42
	4	0,059	0,0088	0,0252	60-60/8/44
	6	0,051	0,0075	0,0202	60-60/8/46
8 plicas	2	0,046	0,0065	0,0168	60-60/8/48
	4	0,062	0,0094	0,0277	60-60/8/82
	6	0,050	0,0074	0,0190	60-60/8/84
8 plicas	6	0,043	0,0060	0,0142	60-60/8/86
	8	0,038	0,0050	0,0111	60-60/8/88

Tabla 3.32. Rectángulo de 7,0 × 3,0 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro plicas = 14 mm
 L_p = Longitud de la plica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,103	0,0203	0,0610	70-30/5/00
4 plicas	2	0,081	0,0178	0,0391	70-30/5/42
	4	0,068	0,0143	0,0288	70-30/5/44
	6	0,058	0,0119	0,0226	70-30/5/46
8 plicas	2	0,051	0,0102	0,0185	70-30/5/48
	4	0,073	0,0155	0,0322	70-30/5/82
	6	0,058	0,0115	0,0211	70-30/5/84
8 plicas	6	0,048	0,0091	0,0154	70-30/5/86
	8	0,042	0,0075	0,0119	70-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,099	0,0142	0,0581	70-30/8/00
4 plicas	2	0,078	0,0122	0,0381	70-30/8/42
	4	0,066	0,0099	0,0283	70-30/8/44
	6	0,057	0,0083	0,0223	70-30/8/46
8 plicas	2	0,050	0,0071	0,0184	70-30/8/48
	4	0,070	0,0110	0,0314	70-30/8/82
	6	0,056	0,0083	0,0208	70-30/8/84
8 plicas	6	0,047	0,0066	0,0153	70-30/8/86
	8	0,041	0,0055	0,0120	70-30/8/88

Tabla 3.31. Rectángulo de 7,0 × 2,5 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro plicas = 14 mm
 L_p = Longitud de la plica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,108	0,0214	0,0645	70-25/5/00
4 plicas	2	0,084	0,0186	0,0409	70-25/5/42
	4	0,070	0,0148	0,0299	70-25/5/44
	6	0,060	0,0123	0,0233	70-25/5/46
8 plicas	2	0,053	0,0104	0,0190	70-25/5/48
	4	0,076	0,0162	0,0335	70-25/5/82
	6	0,060	0,0120	0,0218	70-25/5/84
8 plicas	6	0,050	0,0094	0,0158	70-25/5/86
	8	0,043	0,0078	0,0122	70-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,103	0,0151	0,0615	70-25/8/00
4 plicas	2	0,081	0,0128	0,0397	70-25/8/42
	4	0,068	0,0103	0,0293	70-25/8/44
	6	0,058	0,0086	0,0231	70-25/8/46
8 plicas	2	0,051	0,0073	0,0189	70-25/8/48
	4	0,073	0,0115	0,0326	70-25/8/82
	6	0,058	0,0086	0,0215	70-25/8/84
8 plicas	6	0,048	0,0068	0,0158	70-25/8/86
	8	0,042	0,0057	0,0123	70-25/8/88

Tabla 3.33. Rectángulo de 7,0 × 3,5 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro plicas = 14 mm
 L_p = Longitud de la plica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,098	0,0193	0,0579	70-35/5/00
4 plicas	2	0,078	0,0171	0,0376	70-35/5/42
	4	0,066	0,0138	0,0279	70-35/5/44
	6	0,057	0,0116	0,0220	70-35/5/46
8 plicas	2	0,050	0,0099	0,0181	70-35/5/48
	4	0,070	0,0149	0,0311	70-35/5/82
	6	0,056	0,0112	0,0206	70-35/5/84
8 plicas	6	0,047	0,0089	0,0150	70-35/5/86
	8	0,041	0,0074	0,0117	70-35/5/88

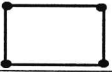

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _C =K _{p(EXT)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin plicas	-	0,094	0,0136	0,0553	70-35/8/00
4 plicas	2	0,076	0,0117	0,0366	70-35/8/42
	4	0,064	0,0096	0,0274	70-35/8/44
	6	0,055	0,0081	0,0217	70-35/8/46
8 plicas	2	0,049	0,0069	0,0179	70-35/8/48
	4	0,068	0,0105	0,0303	70-35/8/82
	6	0,054	0,0080	0,0203	70-35/8/84
8 plicas	6	0,046	0,0065	0,0150	70-35/8/86
	8	0,040	0,0054	0,0117	70-35/8/88

Tabla 3.34. Rectángulo de 7,0 × 4,0 m

Sección conductor = 50 mm²
Diámetro picas = 14 mm
L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(sect)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,094	0,0184	0,0553	70-40/5/00
4 picas 	2	0,076	0,0165	0,0362	70-40/5/42
	4	0,064	0,0134	0,0271	70-40/5/44
	6	0,056	0,0113	0,0215	70-40/5/46
8 picas 	2	0,068	0,0143	0,0302	70-40/5/82
	4	0,055	0,0108	0,0201	70-40/5/84
	6	0,046	0,0087	0,0148	70-40/5/86
	8	0,040	0,0072	0,0115	70-40/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

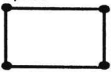

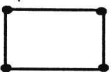

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(sect)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,091	0,0129	0,0528	70-40/8/00
4 picas 	2	0,073	0,0113	0,0353	70-40/8/42
	4	0,062	0,0093	0,0266	70-40/8/44
	6	0,054	0,0079	0,0212	70-40/8/46
8 picas 	2	0,066	0,0101	0,0294	70-40/8/82
	4	0,053	0,0078	0,0198	70-40/8/84
	6	0,045	0,0063	0,0147	70-40/8/86
	8	0,039	0,0053	0,0115	70-40/8/88

Tabla 3.36. Rectángulo de 8,0 × 3,0 m

Sección conductor = 50 mm²
Diámetro picas = 14 mm
L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(sect)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,095	0,0185	0,0557	80-30/5/00
4 picas 	2	0,077	0,0165	0,0364	80-30/5/42
	4	0,065	0,0135	0,0272	80-30/5/44
	6	0,056	0,0113	0,0215	80-30/5/46
8 picas 	2	0,069	0,0145	0,0303	80-30/5/82
	4	0,055	0,0109	0,0201	80-30/5/84
	6	0,047	0,0087	0,0148	80-30/5/86
	8	0,041	0,0072	0,0115	80-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

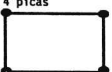
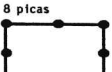
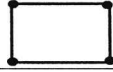
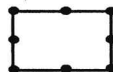
CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(sect)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,091	0,0130	0,0532	80-30/8/00
4 picas 	2	0,074	0,0113	0,0355	80-30/8/42
	4	0,062	0,0093	0,0267	80-30/8/44
	6	0,054	0,0079	0,0213	80-30/8/46
8 picas 	2	0,067	0,0102	0,0296	80-30/8/82
	4	0,054	0,0078	0,0199	80-30/8/84
	6	0,045	0,0063	0,0147	80-30/8/86
	8	0,040	0,0052	0,0116	80-30/8/88

Tabla 3.35. Rectángulo de 8,0 × 2,5 m

Sección conductor = 50 mm²
Diámetro picas = 14 mm
L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(sect)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,099	0,0194	0,0587	80-25/5/00
4 picas 	2	0,079	0,0173	0,0379	80-25/5/42
	4	0,067	0,0139	0,0281	80-25/5/44
	6	0,058	0,0116	0,0221	80-25/5/46
8 picas 	2	0,072	0,0151	0,0314	80-25/5/82
	4	0,057	0,0113	0,0207	80-25/5/84
	6	0,048	0,0090	0,0151	80-25/5/86
	8	0,042	0,0074	0,0117	80-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

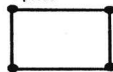

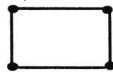
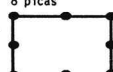
CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(sect)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,095	0,0137	0,0560	80-25/8/00
4 picas 	2	0,077	0,0119	0,0369	80-25/8/42
	4	0,064	0,0097	0,0276	80-25/8/44
	6	0,056	0,0081	0,0219	80-25/8/46
8 picas 	2	0,069	0,0107	0,0306	80-25/8/82
	4	0,055	0,0081	0,0205	80-25/8/84
	6	0,047	0,0065	0,0151	80-25/8/86
	8	0,040	0,0054	0,0118	80-25/8/88

Tabla 3.37. Rectángulo de 8,0 × 3,5 m

Sección conductor = 50 mm²
Diámetro picas = 14 mm
L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(sect)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,091	0,0176	0,0531	80-35/5/00
4 picas 	2	0,074	0,0159	0,0351	80-35/5/42
	4	0,063	0,0130	0,0264	80-35/5/44
	6	0,055	0,0110	0,0210	80-35/5/46
8 picas 	2	0,067	0,0139	0,0294	80-35/5/82
	4	0,054	0,0106	0,0196	80-35/5/84
	6	0,046	0,0085	0,0144	80-35/5/86
	8	0,040	0,0070	0,0113	80-35/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.


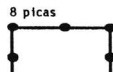
CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(sect)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,088	0,0124	0,0507	80-35/8/00
4 picas 	2	0,071	0,0109	0,0342	80-35/8/42
	4	0,061	0,0090	0,0259	80-35/8/44
	6	0,053	0,0076	0,0207	80-35/8/46
8 picas 	2	0,065	0,0098	0,0286	80-35/8/82
	4	0,052	0,0076	0,0194	80-35/8/84
	6	0,044	0,0061	0,0144	80-35/8/86
	8	0,039	0,0051	0,0113	80-35/8/88

Tabla 3.38. Rectángulo de 8,0 x 4,0 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(max)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,088	0,0169	0,0508	80-40/5/00
4 picas	2	0,072	0,0154	0,0338	80-40/5/42
	4	0,061	0,0127	0,0255	80-40/5/44
	6	0,053	0,0107	0,0204	80-40/5/46
8 picas	2	0,047	0,0093	0,0169	80-40/5/48
	4	0,065	0,0134	0,0284	80-40/5/82
	6	0,053	0,0103	0,0192	80-40/5/84
8 picas	8	0,045	0,0083	0,0141	80-40/5/86
	8	0,039	0,0069	0,0110	80-40/5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

CONFIGURACIÓN	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	TENSIÓN DE CONTACTO EXT K _c =K _{p(max)}	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
Sin picas	-	0,084	0,0119	0,0485	80-40/8/00
4 picas	2	0,069	0,0105	0,0329	80-40/8/42
	4	0,059	0,0088	0,0251	80-40/8/44
	6	0,052	0,0074	0,0202	80-40/8/46
8 picas	2	0,046	0,0065	0,0168	80-40/8/48
	4	0,063	0,0095	0,0277	80-40/8/82
	6	0,051	0,0073	0,0189	80-40/8/84
8 picas	8	0,043	0,0060	0,0141	80-40/8/86
	8	0,038	0,0050	0,0111	80-40/8/88

Tabla 3.40. Picas en hilera unidas por un conductor horizontal
 Separación entre picas: 6 m - Longitud pica = 4 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

NÚMERO DE PICAS	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
2	0,113	0,0208	5/24
3	0,075	0,0128	5/34
4	0,0572	0,00919	5/44
6	0,0399	0,00588	5/64
8	0,0311	0,00432	5/84

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

NÚMERO DE PICAS	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
2	0,110	0,0139	8/24
3	0,073	0,0087	8/34
4	0,0558	0,00633	8/44
6	0,0390	0,00408	8/64
8	0,0305	0,00301	8/84

Tabla 3.39. Picas en hilera unidas por un conductor horizontal
 Separación entre picas: 3 m - Longitud pica = 2 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

NÚMERO DE PICAS	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
2	0,201	0,0392	5/22
3	0,135	0,0252	5/32
4	0,104	0,0184	5/42
6	0,073	0,0120	5/62
8	0,0572	0,00345	5/82

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

NÚMERO DE PICAS	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
2	0,194	0,0253	8/22
3	0,130	0,0170	8/32
4	0,100	0,0127	8/42
6	0,0707	0,00833	8/62
8	0,0556	0,00255	8/82

Tabla 3.41. Picas en hilera unidas por un conductor horizontal
 Separación entre picas: 9 m - Longitud pica = 6 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

NÚMERO DE PICAS	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
2	0,0802	0,0141	5/26
3	0,0528	0,00853	5/36
4	0,0401	0,00610	5/46
6	0,0278	0,00388	5/66
8	0,0217	0,00285	5/86

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

NÚMERO DE PICAS	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
2	0,0782	0,00948	8/26
3	0,0516	0,00583	8/36
4	0,0393	0,00419	8/46
6	0,0273	0,00268	8/66
8	0,0213	0,00197	8/86

Tabla 3.41. Picas en hilera unidas por un conductor horizontal
Separación entre picas: 9 m - Longitud pica = 6 m

Sección conductor = 50 mm²
 Diámetro picas = 14 mm
 L_p = Longitud de la pica en m

PROFUNDIDAD = 0,5 m.

NÚMERO DE PICAS	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
2	0,0627	0,0107	5/28
3	0,0410	0,00640	5/38
4	0,0311	0,00456	5/48
6	0,0215	0,00290	5/68
8	0,0167	0,00212	5/88

PROFUNDIDAD = 0,8 m.

NÚMERO DE PICAS	RESISTENCIA K _r	TENSIÓN DE PASO K _p	CÓDIGO DE LA CONFIGURACIÓN
2	0,0612	0,00720	8/28
3	0,0402	0,00437	8/38
4	0,0305	0,00313	8/48
6	0,0211	0,00200	8/68
8	0,0164	0,00146	8/88

Siendo para configuraciones cuadradas o rectangulares:

$$K_r \text{ } (\Omega/(\Omega \cdot \text{m}))$$

$$K_p, kc = K_p(\text{acc}) \text{ } \text{V}/(\Omega \cdot \text{m}) \text{ (A)}$$

Y para configuraciones por conductor horizontal:

$$K_r \text{ } (\Omega/(\Omega \cdot \text{m}))$$

$$K_p \text{ } \text{V}/(\Omega \cdot \text{m}) \text{ (A)}$$

EJEMPLO 3.1. NEUTRO PUESTO A TIERRA

DATOS DE PARTIDA:

- Tensión de Red U = 20 kV
- Puesta a tierra del neutro R_n = 0 Ω
- X_n = 25 Ω

Duración de la falta. Desconexión inicial

- Por medio de relé a tiempo independiente t' = 0,5 s
- Intensidad de arranque de las protecciones I' _a = 50 A
- Nivel de aislamiento en las instalaciones de Baja Tensión del Centro de Transformación U_{BT} = 10 kV
- Intensidad de defecto máxima permitida de acuerdo con las normas dadas por las E.S.E. I_d = 500 A
- Las características del Centro son:
 Se encuentra situado en un edificio aislado y de dimensiones:
 4 m de largo y 3 m de ancho.

- La resistividad del terreno es de 200 Ω · m
- Resistividad del hormigón 3.000 Ω · m

CÁLCULO

Lo primero que haremos será calcular la resistencia máxima de la p.a.t. de las masas del C.T. (R_t).

$$R_t = \frac{U_{BT}}{I_d} = \frac{10.000}{500} = 20 \Omega$$

A continuación procedemos a seleccionar el electrodo «Tipo».

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho} = \frac{20}{200} = 0,100 \frac{\Omega}{\Omega \cdot \text{m}}$$

La sección del conductor de cobre desnudo será de 50 mm² y la profundidad del electrodo horizontal será de 0,80 m con una geometría en anillo.

El número de picas a instalar será de 8, de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro.

Inicialmente la configuración 40-30/5/42 nos valdría, pero como medida de seguridad tomamos la **40-30/8/82**, Tabla 3.18, con lo que los parámetros característicos del electrodo serán:

- de la Resistencia K_r = 0,084 $\frac{\Omega}{\Omega \cdot \text{m}}$
- de la tensión de paso ... K_p = 0,0143 $\frac{\text{V}}{(\Omega \cdot \text{m}) \text{ (A)}}$
- de la tensión de contacto exterior kc = 0,0389 $\frac{\text{V}}{(\Omega \cdot \text{m}) \text{ (A)}}$

Las medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto exteriores e interiores serán las siguientes:

- Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del C.T. no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías.
- En el piso del C.T. se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm conectado a la puesta a tierra de protección del C.T.
- El suelo estará pintado por medio de pinturas aislantes.

Valores de resistencia de p. a t. (R'_t), intensidad de defecto (I'_d) y tensiones de paso y contacto (U'_p y U'_{p(acc)}) del electrodo tipo seleccionado, para la resistividad media del terreno ρ de 200 Ω.

Resistencia de puesta a tierra (R'_t ≤ R_t)

$$R'_t = K_r \cdot \rho = 0,084 \times 200 = 16,8 \Omega$$

Intensidad de defecto ($I'_d > I'_a$)

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R'_t)^2 + X_n^2}} = \frac{20.000}{1,73 \times \sqrt{(0 + 16,8)^2 + 25^2}} = 384 \text{ A}$$

Tensión de paso en el exterior ($U'_p \leq U_p$)

$$U'_p = K_p \cdot I'_d \cdot \rho = 0,143 \times 384 \times 200 = 1.098 \text{ V}$$

Tensión de paso en el acceso al C.T. ($U'_{p(acc)} \leq U_{p(acc)}$)

$$U'_{p(acc)} = U'_c = kc \cdot I'_d \cdot \rho = 0,0389 \times 384 \times 200 = 2.987 \text{ V}$$

Tensión de defecto ($U'_d \leq U_{BT}$)

$$U'_d = R'_t \cdot I'_d = 16,8 \times 384 = 6.451 \text{ V}$$

Separación entre los sistemas de p. a t. de protección (masas) y de servicio (neutro de B.T.).

Si la tensión de defecto U'_d fuera menor de 1.000 V, tendríamos la posibilidad de tener un sistema de puesta a tierra único, pero como es superior tendremos que ir a un sistema de puesta a tierra separado e independiente.

La distancia mínima de separación será de:

$$D \geq \frac{I'_d \cdot \rho}{2.000 \times \pi} = \frac{384 \times 200}{6.283} \geq 12,22 \text{ m}$$

Valores para un $t = 0,5 \text{ s}$

$$0,9 > t > 0,1 \quad K = 72 \quad N = 1$$

La tensión de paso exterior será

$$U_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1.000}\right) = \frac{10 \times 72}{0,5^1} \cdot \left(1 + \frac{6 \times 200}{1.000}\right) = 3.168 \text{ V}$$

La tensión de paso en el acceso al C.T. será

$$U_{p(acc)} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3\rho + 3\rho'}{1.000}\right) = \frac{10 \times 72}{0,5^1} \cdot \left(1 + \frac{3 \times 200 + 3 \times 3.000}{1.000}\right) = 15.264 \text{ V}$$

Comprobación de que los valores calculados satisfacen las condiciones exigidas.

Tensiones de paso y contacto. Se han adoptado las medidas de seguridad reflejadas anteriormente (puertas y rejillas

metálicas de acceso sin poner a tierra; mallazo cubierto de hormigón en el suelo del C.T.; pintura aislante en el suelo del C.T.), por lo que no será necesario calcular las tensiones de paso y contacto en el interior, ya que éstas serán prácticamente cero.

Tensiones de contacto exterior. Se han adoptado las medidas de seguridad expuestas, por lo que no será preciso calcular la tensión de contacto exterior, ya que ésta será prácticamente cero.

Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso al C.T.

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$U'_p = 1.098 \text{ V}$	\leq	$U_p = 3.168 \text{ V}$
Tensión de paso en el acceso al C.T.	$U'_{p(acc)} = 2.987 \text{ V}$	\leq	$U_{p(acc)} = 15.264 \text{ V}$

Tensión e intensidad de defecto

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$U'_d = 6.451 \text{ V}$	\leq	$U_{BT} = 10.000 \text{ V}$
Intensidad de defecto	$I'_d = 384 \text{ A}$	$>$	$I'_a = 50 \text{ A}$

El esquema de tierras quedaría:

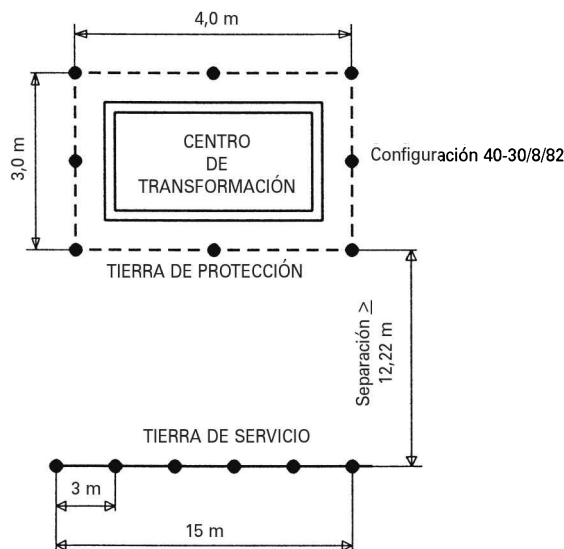


Figura 3.34. Esquema de las tierras de protección y servicio así como la distancia entre ellas.

EJEMPLO 3.2. NEUTRO AISLADO

- Tensión de Red $U = 15 \text{ kV}$
- Longitud línea aérea $L_a = 10 \text{ km}$
- Capacidad línea aérea $C_a = 0,006 \mu\text{F/km}$
- Longitud línea subterránea $L_c = 2 \text{ km}$
- Capacidad línea subterránea $C_c = 0,25 \mu\text{F/km}$

Duración de la falta. Desconexión inicial.

- Por medio de relé a tiempo independiente $t' = 0,5 \text{ s}$

Reenganche en menos de 0,5 s.

- Por medio de relé a tiempo independiente $t'' = 0,5 \text{ s}$
- Nivel de aislamiento en las instalaciones de Baja Tensión del Centro de Transformación $U_{BT} = 6 \text{ kV}$
- Intensidad de defecto máxima permitida de acuerdo con las normas dadas por las E.S.E. $I_d = 400 \text{ A}$

Las características del Centro son:

Sobre un apoyo de celosía metálica.

- La resistividad del terreno es de $300 \Omega \cdot \text{m}$.
- Resistividad del hormigón $3.000 \Omega \cdot \text{m}$.

CÁLCULO

Al igual que el ejercicio anterior, lo primero que haremos será calcular la resistencia máxima de la p.a.t. de las masas del C.T. (R_t).

$$R_t = \frac{U_{BT}}{I_d} = \frac{6.000}{400} = 15 \Omega$$

A continuación procedemos a seleccionar el electrodo «Tipo».

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho} = \frac{15}{300} = 0,05 \frac{\Omega}{\Omega \cdot \text{m}}$$

La sección del conductor de cobre desnudo será de 50 mm^2 y la profundidad del electrodo horizontal será de $0,80 \text{ m}$ con una geometría en anillo cuadrado de $5,0 \times 5,0 \text{ m}$.

El número de picas a instalar será de 4, de 8 m de longitud y 14 mm de diámetro.

La configuración «Tipo» de electrodo es **50-50/8/48**, Tabla 3.25.

Los parámetros característicos del electrodo serán:

- de la resistencia $K_r = 0,049 \frac{\Omega}{\Omega \cdot \text{m}}$

- de la tensión de paso ... $K_p = 0,0071 \frac{\text{V}}{(\Omega \cdot \text{m})} (\text{A})$

- de la tensión de contacto exterior $k_c = 0,0184 \frac{\text{V}}{(\Omega \cdot \text{m})} (\text{A})$

Valores de resistencia de p.a.t. (R'_t), intensidad de defecto (I'_d) y tensiones de paso y contacto (U'_p y $U'_{p(acc)}$) del electrodo tipo seleccionado, para la resistividad media del terreno ρ de 300Ω .

Resistencia de puesta a tierra ($R'_t \leq R_t$)

$$R'_t = K_r \cdot \rho = 0,049 \times 300 = 14,7 \approx 15 \Omega$$

Intensidad de defecto ($I'_d > I'_a$)

$$I'_d = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot (\omega \cdot C_a \cdot 10^{-6} \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot 10^{-6} \cdot L_c)}{\sqrt{1 + (\omega \cdot C_a \cdot 10^{-6} \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot 10^{-6} \cdot L_c)^2 \cdot (3 \cdot R'_t)^2}} =$$

$$I'_d = \frac{1,73 \times 15.000 (314 \times 0,006 \times 10^{-6} \times 10 + 314 \times 0,25 \times 10^{-6} \times 2)}{\sqrt{1 + (314 \times 0,006 \times 10^{-6} + 314 \times 0,25 \times 10^{-6} \times 10)^2 \times (3 \times 15)^2}} = 4,56 \text{ A}$$

Tomaremos como valor de $I'_d = 5 \text{ A}$ para los cálculos.

Las medidas de seguridad adicionales, para evitar tensiones de contacto exteriores e interiores, serán las siguientes:

- Se colocará una losa de hormigón de 20 cm de espesor como mínimo que cubra, igualmente como mínimo, hasta $1,20 \text{ m}$ de aristas exteriores de la cimentación de los apoyos. Dentro de la losa se colocará un mallazo que sobresalga 1 m en todas las direcciones respecto a la base del apoyo, que se conectará a la tierra de protección, y se cubrirá luego con una capa de hormigón de 10 cm de espesor.

Tensión de paso exterior ($U'_p \leq U_p$)

$$U'_p = K_p \cdot I'_d \cdot \rho = 0,049 \times 5 \times 300 = 73,5 \text{ V}$$

Tensión de paso en el acceso al C.T. ($U'_{p(acc)} \leq U_{p(acc)}$)

$$U'_{p(acc)} = U'_c = k_c \cdot I'_d \cdot \rho = 0,0184 \times 5 \times 300 = 27,6 \text{ V}$$

Tensión de defecto ($U'_d \leq U_{BT}$)

$$U'_d = R'_t \cdot I'_d = 12 \times 5 = 60 \text{ V}$$

Duración total de la falta $t = t' + t'' = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ s}$

Separación entre los sistemas de p.a.t. de protección (masas) y de servicio (neutro de B.T.).

Con la tensión $U'_d = 60 \leq 1.000 \text{ V}$ tendremos un sistema de puesta a tierra único; las p. a t. de protección y servicio estarán unidas.

Valores admisibles para un $t = 1,0 \text{ s}$

$3,0 \geq t > 0,9$	$K = 78,5$	$N = 0,18$
--------------------	------------	------------

La tensión de paso exterior será

$$U_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1.000}\right) = \frac{10 \times 78,5}{1^{0,18}} \cdot \left(1 + \frac{6 \times 300}{1.000}\right) = 2,198 \text{ V}$$

La tensión de paso en el acceso al C.T. será

$$U_{p(acc)} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3\rho \cdot 3\rho'}{1.000}\right) = \frac{10 \times 78,5}{1^{0,18}} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot 200 + 3 \times 3.000}{1.000}\right) = 8.556 \text{ V}$$

Comprobación de que los valores calculados satisfacen las condiciones exigidas.

Tensiones de paso y contacto. Se han adoptado las medidas de seguridad reflejadas anteriormente (losa de hormigón alrededor del apoyo), por lo que no será necesario calcular las tensiones de paso y contacto en el interior, ya que éstas serán prácticamente cero.

Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso al C.T.

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$U'_p = 73,5 \text{ V}$	\leq	$U_p = 2.198 \text{ V}$
Tensión de paso en el acceso al C.T.	$U'_{p(acc)} = 27,6 \text{ V}$	\leq	$U_{p(acc)} = 8.556 \text{ V}$

Tensión e intensidad de defecto

El esquema de tierras quedaría:

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$U'_d = 60 \text{ V}$	\leq	$U_{BT} = 6.000 \text{ V}$

El esquema de tierras quedaría:

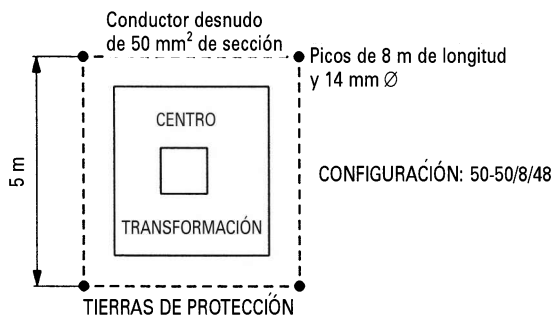


Figura 3.35. Esquema de la tierra común para protección y servicio.

3.8 Procedimiento de montaje de centros de transformación. Tipología y características

A la hora de realizar el montaje de un centro de transformación compuesto por celdas prefabricadas, deberemos de saber que las celdas se compone de una serie de compartimientos independientes:

1. Cuba SF₆.
2. Compartimento de mecanismos de maniobra.
3. Base:
 - 3a. Compartimento de cables.
 - 3b. Compartimento de salida de gases.

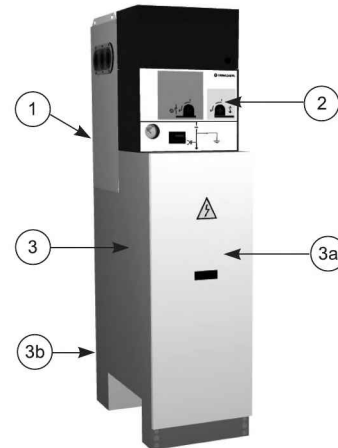


Figura 3.36. Elementos principales de las celdas modulares.

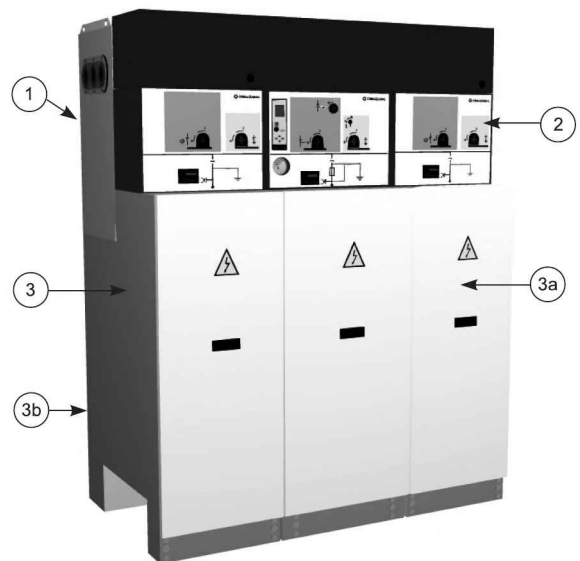


Figura 3.37. Elementos principales de las celdas compactas.

3.8.1. Fijación al suelo

Para el montaje de las celdas es necesaria una buena nivelación del suelo con el fin de evitar deformaciones que dificulten la unión con el resto de las celdas.

La fijación de las celdas al suelo puede realizarse de dos formas:

- a) **Sobre perfil:** si el piso del Centro de Transformación carece de la suficiente uniformidad, se recomienda instalar el conjunto de celdas sobre un perfil auxiliar, que facilita su conexión. Este perfil, que puede ser suministrado bajo pedido, debe anclarse al piso, especialmente si existe riesgo de inundación.

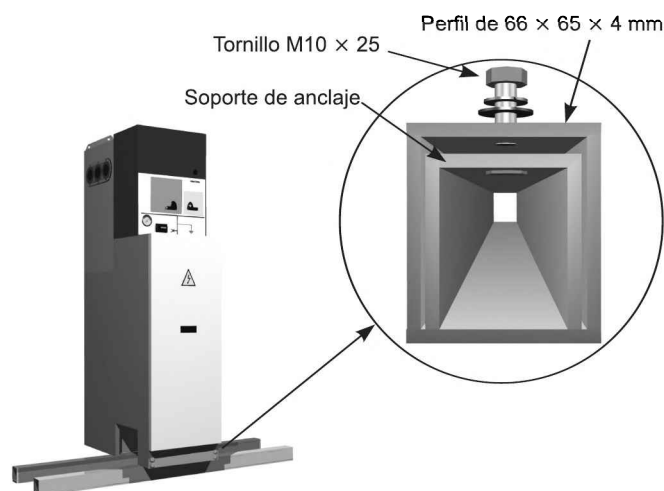


Figura 3.38. Ubicación celdas sobre perfil.

- b) **Sin perfil:** Si el suelo tiene la suficiente nivelación las celdas pueden anclarse directamente al mismo.

El proceso de fijación al suelo es el siguiente:

1. El interruptor de la celda debe estar en la posición de puesta a tierra.
2. A continuación, retirar la tapa inferior tirando hacia arriba hasta extraerla de su posición.

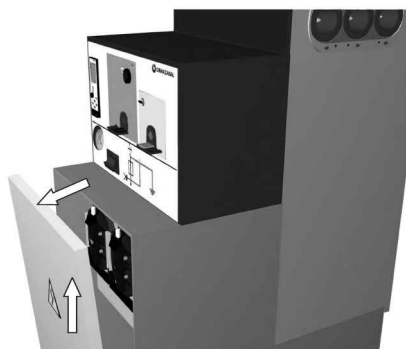


Figura 3.39. Retirada de tapa inferior.

3. Colocar y fijar al suelo los angulares suministrados con el equipo de tal forma que, una vez completado el proceso de anclaje, queden aproximadamente en el medio de la salida de gases trasera. Se coloca un angular por cada función y dos en celdas compactas.

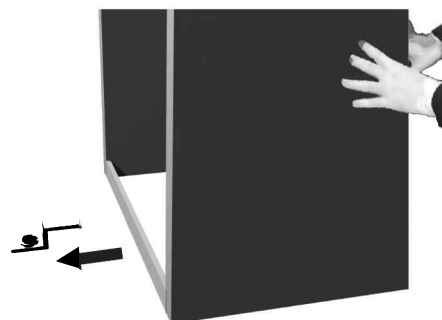


Figura 3.40. Empujar desde el frontal de la celda.

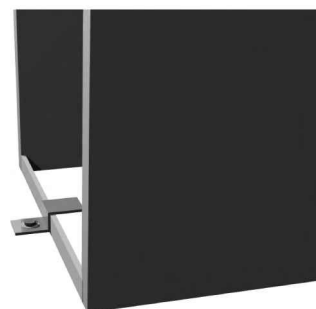


Figura 3.41. Celda con angular en posición central.

4. Anclar la primera celda al suelo del Centro de Transformación mediante tornillos en los puntos preparados de la base de la celda. De esta manera se evitan desplazamientos o vibraciones debidas a causas tales como cortocircuito, posible inundación del Centro de Transformación, etc.

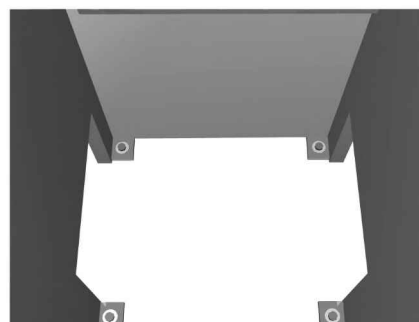


Figura 3.42. Ubicación puntos angulares en celdas.

Después de una correcta nivelación, el montaje del grupo únicamente requiere el acoplamiento mecánico y eléctrico entre las celdas y su sucesivo anclaje al suelo según lo indicado en el punto 4 de esta secuencia.

3.8.2. Unión entre celdas

El conjunto de unión empleado para realizar la conexión eléctrica y mecánica entre celdas se denomina **ORMALINK**. Este elemento patentado por Ormazabal, permite la unión del embarrado de las celdas sin necesidad de reponer gas SF₆.



Figura 3.43. Conjunto de unión.

El ORMALINK está formado por tres adaptadores elásticos enchufables que, montados entre las tulipas (salidas de los embarrados) existentes en los laterales de las celdas a unir, dan continuidad al embarrado y sellan la unión, controlando el campo eléctrico.

Mientras no se realice la ampliación del Centro de Transformación, las celdas ampliables de los extremos del conjunto deben disponer de elementos de sellado (tapones finales) para las tulipas.



Figura 3.44. Tapones finales.

Para la correcta operación de la unión de celdas o colocación de tapones finales del sistema CGMCOSMOS, es necesario asegurarse previamente de disponer de las siguientes herramientas y elementos básicos:

- 2 llaves fijas 12-13.
- 1 llave dinamométrica con boquilla de «13» y boquilla de «10».
- 1 bulón o destornillador robusto.
- 1 bote de alcohol.
- 1 paño seco que no suelte pelusas o papel resistente.
- 1 maceta de plástico.

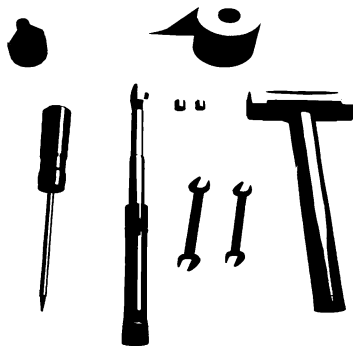


Figura 3.45. Material necesario.

Una vez alineadas y perfectamente niveladas, desplazar la celda a unir hacia la celda en posición definitiva, hasta hacer tope sin forzar, poniendo atención a que los ORMALINK penetran en las tres tulipas.

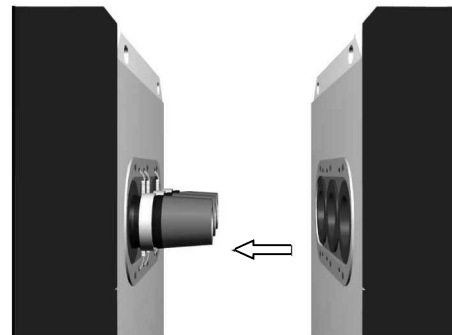


Figura 3.46. Correcto alineado de las celdas.

Unir el sistema de tierra de cada celda entre las bases, introduciendo las correspondientes pletinas de interconexión en sus respectivos orificios, situados en el lateral del compartimento de cables de la celda, ayudado por un bulón o destornillador robusto (no abocar tornillos).

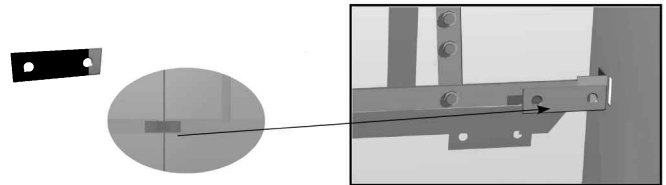


Figura 3.47. Apriete de la parte superior.

3.8.3. Compartimento de mecanismos de maniobra

En este compartimento se realiza la actuación sobre el interruptor-seccionador, o sobre el interruptor automático, dependiendo del tipo de celda. En la tapa de este compartimento está reflejado el esquema sinóptico del circuito principal o de MT.

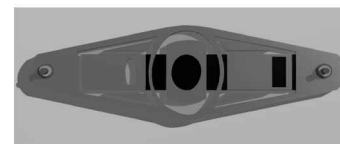


Figura 3.48. Dispositivo de fijación.

Los indicadores de posición de los elementos de maniobra están totalmente integrados en el sinóptico.

Los mecanismos de maniobra tienen la posibilidad de ser sustituidos, por aumento de prestaciones, en cualquiera de las tres posiciones del interruptor-seccionador. Estas posiciones se pueden bloquear mediante un dispositivo de fijación, condenable por candado, estando o no la celda en servicio.

ELEMENTOS DE LA ZONA DE MANDO:

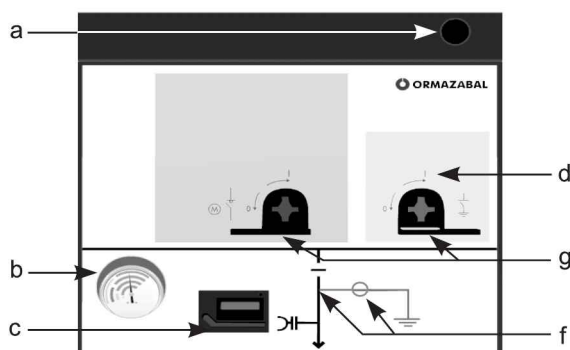


Figura 3.49. Sinóptico de celda L (línea).

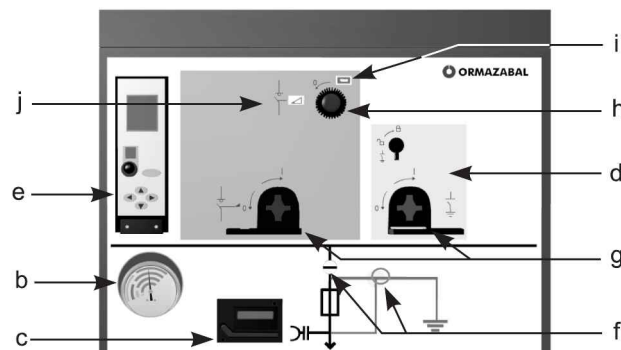


Figura 3.50. Sinóptico de celda P (protección).

donde:

a: ekorSAS, Alarma Sonora de Prevención de PaT.

b: Mirilla del Manómetro.

c: ekorVPIS, Detector de Presencia de Tensión.

d: Zona de Maniobras:

- GRIS para Interruptor-Seccionador.
- AMARILLA para Seccionador de PaT.

e: Unidad de Protección ekorRPT.

f: Indicadores de Estado:

- NEGRO para Interruptor-Seccionador.
- ROJO para Seccionador de PaT.

g: Condenaciones por Candado.

h: Maneta de Disparo Manual.

i: Indicador de Estado del Fusible:

- VERDE: Normal.
- ROJO: Percutor Disparado.

j: Indicador de Carga de Muelles mando BR.

- VERDE: Sin Carga.
- ROJO: Cargado.

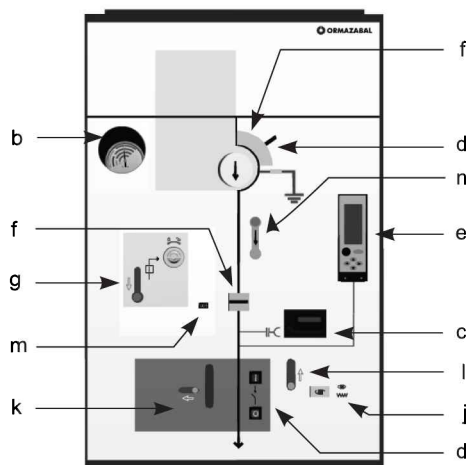


Figura 3.51. Sinóptico de celdas V (interruptor automático).

b: Mirilla del Manómetro.

c: ekorVPIS, Detector de Presencia de Tensión.

d: Zona de Maniobras:

- GRIS para Interruptor Automático.
- Pulsador ROJO para Apertura.
- Pulsador VERDE para Cierre.
- AMARILLO para Seccionador-Seccionador PaT.

e: Unidad de Protección ekorRPG.

f: Indicadores de Estado.

g: Enclavamiento por Candado del sistema de PaT.

j: Indicador de Carga de Muelles.

k: Carga de muelles manual de Interruptor Automático.

l: Desenclavamiento de Tapa de Cables.

m: Contador de Maniobras.

n: Enclavamiento del seccionador.

3.8.4. Secuencia de maniobras

¡ATENCIÓN!

Antes de realizar algún tipo de maniobra con tensión, es aconsejable comprobar la presión de gas SF₆ mediante el manómetro.

3.8.4.1. Celda de línea

Maniobra de seccionamiento desde la posición de puesta a tierra

1. Llevar la corredera amarilla a su posición derecha (de esta forma se libera el acceso para realizar la desconexión del seccionador de puesta a tierra).

- Introducir la palanca en el acceso del seccionador de puesta a tierra y girar 90° en sentido ANTIHORARIO.

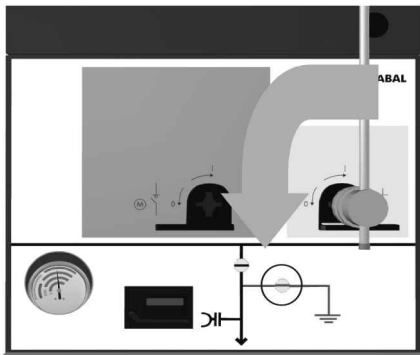


Figura 3.52. Proceso giro de la palanca.

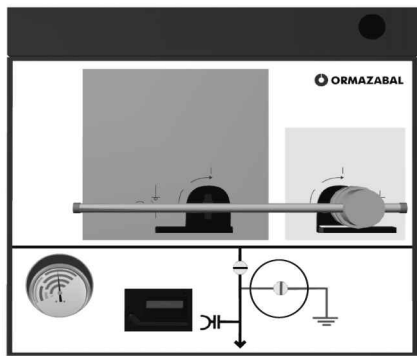


Figura 3.53. Seccionador de PaT seccionado.

Maniobra de conexión del interruptor desde la posición de seccionado

- Llevar la corredera negra de la zona gris a su posición izquierda (de esta manera se libera el acceso de palanca para realizar la conexión del interruptor).
- Maniobra de Conexión Manual (**Mando B**).

Introducir la palanca en el acceso del interruptor (zona gris) y girar 90° en sentido HORARIO.

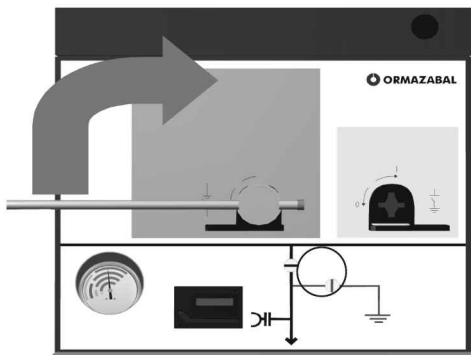


Figura 3.54. Proceso giro de la palanca.

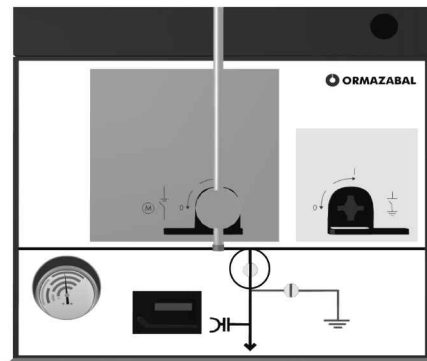


Figura 3.55. Interruptor-seccionador conectado.

Maniobra de seccionamiento desde la posición de conectado

- Llevar la corredera negra de la zona gris a su posición izquierda, al igual que en la situación anterior (de esta manera se libera el acceso para realizar la desconexión del interruptor).
- Maniobra de Desconexión.

6.1. Maniobra manual (**Mando B**).

Introducir la palanca en el acceso del interruptor (zona gris), y girar 90° en sentido ANTIHORARIO.

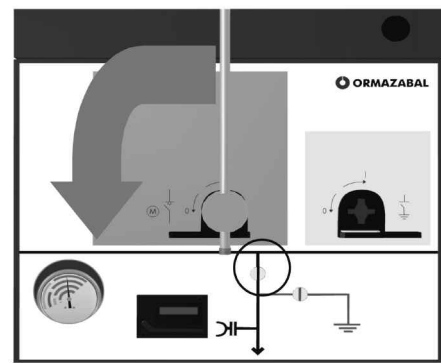


Figura 3.56. Proceso giro de la palanca.

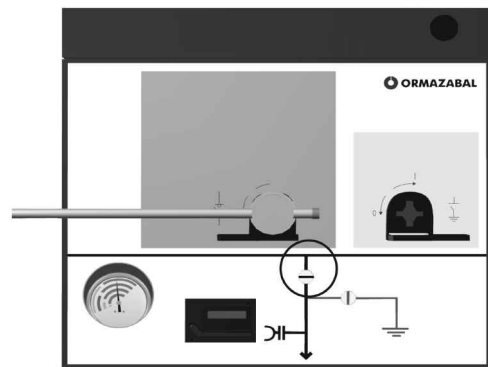


Figura 3.57. Interruptor-seccionador seccionado.

Maniobra de puesta a tierra desde la posición de seccionado

7. Llevar la corredera de color amarillo en la zona del mismo color, a su posición derecha (de esta manera se libera el acceso de palanca para realizar la conexión del seccionador de puesta a tierra).
8. Introducir la palanca en el acceso del seccionador de puesta a tierra (zona amarilla), y girar 90° en sentido HORARIO.

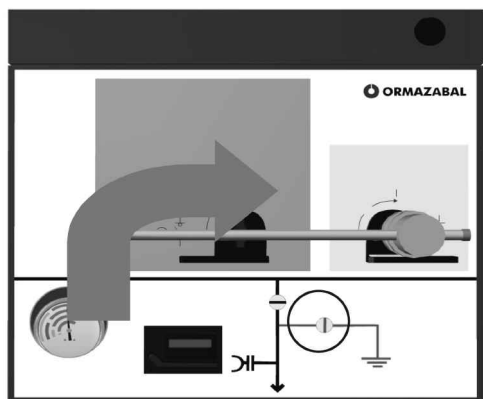


Figura 3.58. Proceso giro de la palanca.

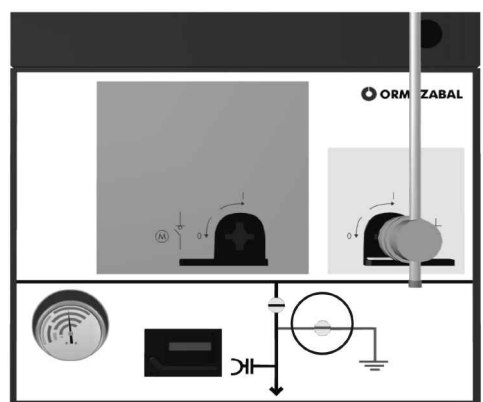


Figura 3.59. Seccionador de PaT conectado.

3.8.4.2. Celda de protección con fusibles

Maniobra de seccionamiento desde la posición de puesta a tierra

1. Llevar la corredera de color amarillo a su posición derecha (de esta manera se libera el acceso de palanca para realizar la desconexión del seccionador de puesta a tierra).
2. Introducir la palanca en el acceso del seccionador de puesta a tierra, y girar 90° en sentido ANTIHORARIO.

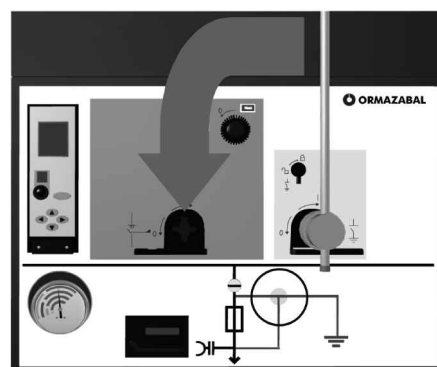


Figura 3.60. Proceso giro de la palanca.

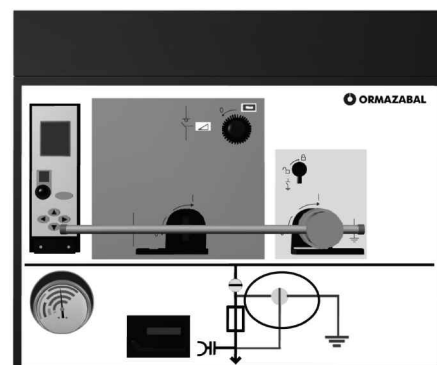


Figura 3.61. Seccionador de PaT seccionado.

Maniobra de conexión desde la posición de seccionamiento

3. Llevar la corredera negra de la zona gris a su posición izquierda (de esta manera se libera el acceso de palanca para realizar la conexión del seccionador).
4. Realizar la Maniobra de Conexión:
 - 4.1. Maniobra Manual (**Mando BR**).

Introducir la palanca en el acceso del interruptor, y girar 90° en sentido HORARIO.

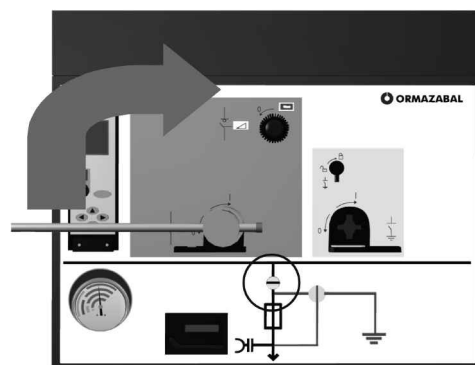


Figura 3.62. Proceso de giro de la palanca.

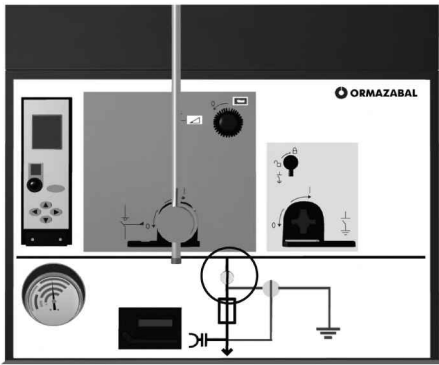


Figura 3.63. Interruptor-seccionador conectado.

Tensado de muelles desde la posición de conectado

- Manteniendo la palanca de maniobra dentro del acceso del interruptor, se debe realizar la operación de tensado de muelles.

⚠ IMPORTANTE

No se podrá extraer la palanca del acceso del interruptor tras la conexión del mismo, hasta que se haya realizado la operación de tensado de muelles.

- Maniobrar la palanca en sentido ANTIHORARIO.
- Extraer la palanca del acceso del interruptor.

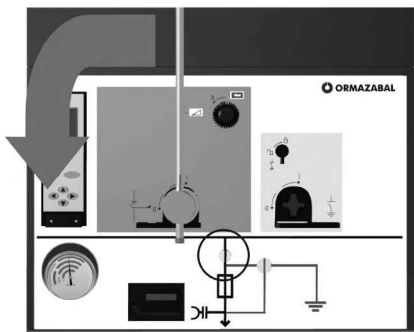


Figura 3.64. Proceso de giro de la palanca.

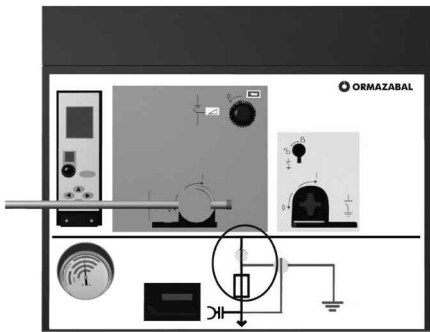


Figura 3.65. Interruptor permanece conectado.

Maniobra de seccionamiento desde la posición de conectado

- Partiendo del interruptor cerrado, y muelles tensados.
- Realizar la Maniobra de Desconexión:
 - Maniobra Manual (**Mando BR**).

Abrir el interruptor girando la maneta de disparo (f), en la posición indicada en la Figura 3.66.

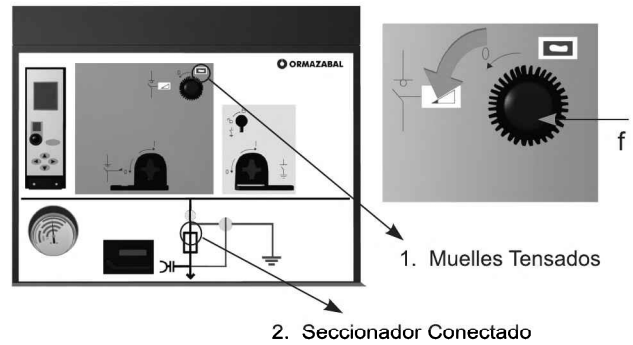


Figura 3.66. Maniobra de desconexión del seccionador.

Maniobra de puesta a tierra desde la posición de seccionado

- Llevar la corredera de color amarillo a su posición derecha (de esta manera se libera el acceso de palanca para realizar la conexión del seccionador de puesta a tierra).
- Introducir la palanca en el acceso del seccionador de puesta a tierra, y girar 90° en sentido HORARIO.

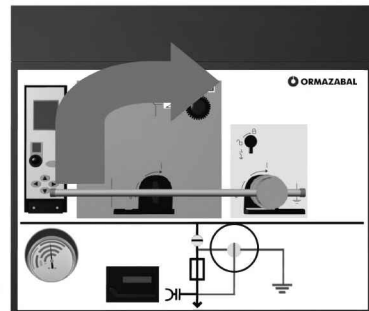


Figura 3.67. Proceso de giro de la palanca.

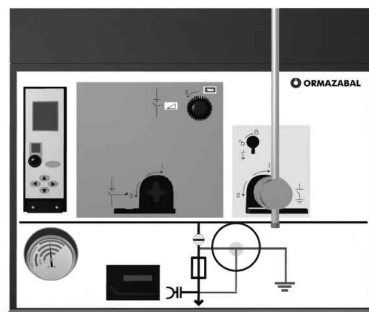


Figura 3.68. Seccionador de PaT conectado.

3.8.4.3. Celda de protección con interruptor automático (V)

Maniobra de seccionamiento desde la posición de puesta a tierra

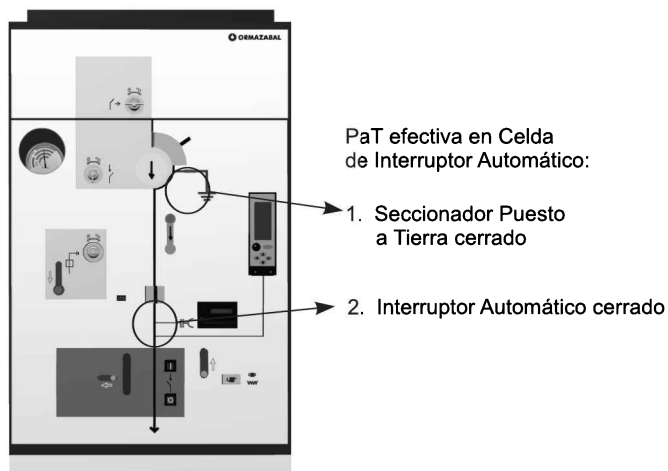


Figura 3.69. Celda V-Puesta a tierra.

Paso desde la posición de puesto a tierra a la posición «preparado a tierra»

1. Abrir el interruptor automático pulsando el botón de apertura (a) y comprobar el indicador de estado (b). El seccionador se encuentra en la posición «preparado a tierra».

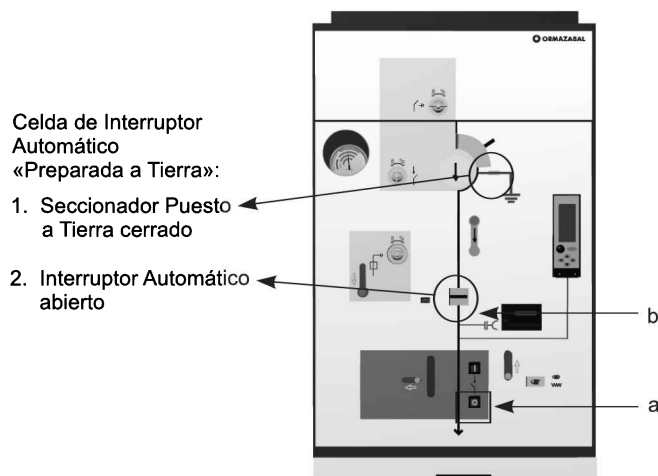


Figura 3.70. Celda de protección (V) «preparada a tierra».

⚠ ¡ATENCIÓN!

Si los muelles no están tensados, realizar la maniobra de tensado mediante maniobra manual. Si la celda dispone de mando motorizado RAMV, este proceso se realiza de manera automática.

Paso desde la posición de «preparado a tierra» a la posición de seccionado

2. Se parte de la posición del interruptor automático abierto y el seccionador en la posición de «preparado a tierra».
3. Girar la pieza de bloqueo (c) y deslizar el tirador hasta abajo para retirar la chapa de enclavamiento. Volver a girarla para bloquear su posición.
4. Introducir la palanca por el lado ROJO hasta librar la chaveta, y girar en sentido ANTIHORARIO hasta el tope, para pasar el seccionador de «preparado a tierra» a posición seccionado.

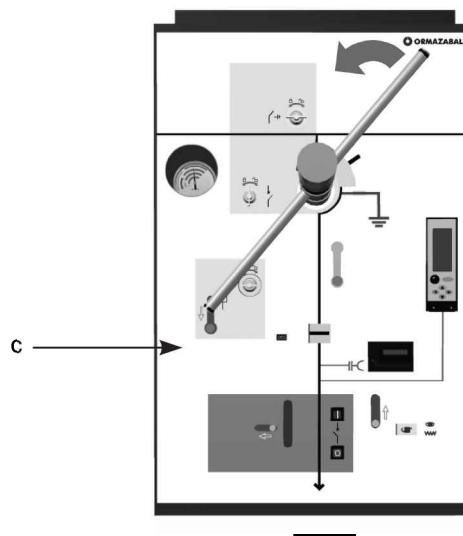


Figura 3.71. Proceso de giro de la palanca.

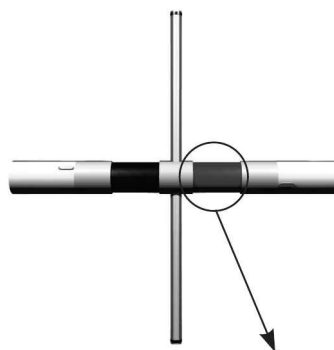


Figura 3.72. Palanca interruptor-seccionador.

5. Sacar la palanca. Por diseño, sólo es posible retirarla en una posición segura.
6. Girar nuevamente la pieza (c) para anular el enclavamiento.

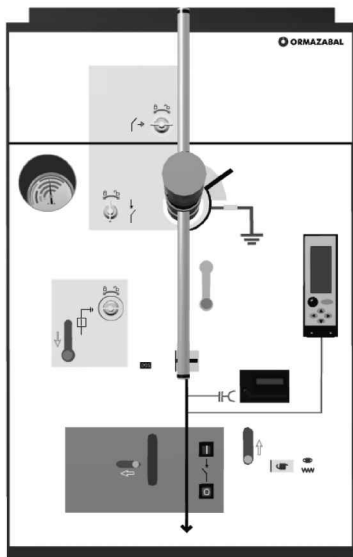


Figura 3.73. Posición final de la palanca.

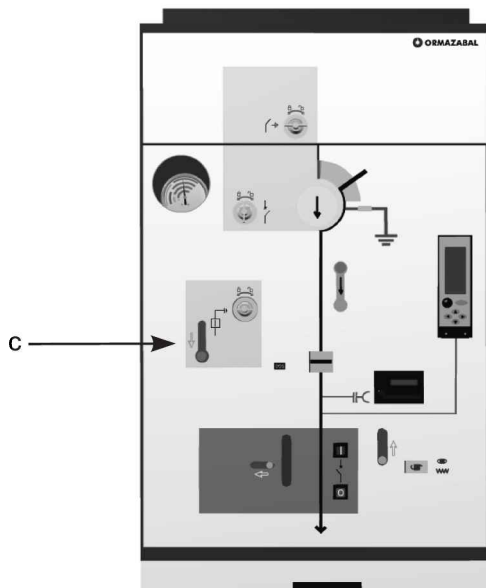


Figura 3.74. Celda interruptor automático seccionada.

Maniobra de conexión desde la posición de seccionado

7. Verificar que el interruptor automático está abierto.
8. Girar la pieza de bloqueo (c) y deslizarla hasta abajo para retirar la chapa de enclavamiento (ver figuras). Volver a girarla para bloquear su posición.
9. Introducir la palanca por el lado NEGRO hasta librar la chaveta y girar en sentido ANTIHORARIO hasta el tope, para pasar el seccionador de seccionado a conectado.

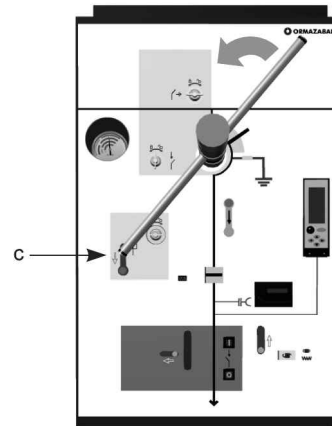
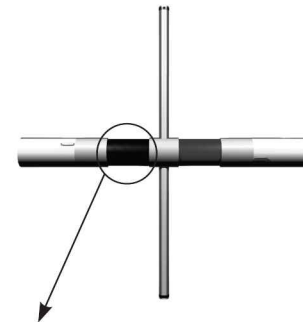


Figura 3.75. Posición final de la palanca.



Extremo NEGRO de la palanca

Figura 3.76. Palanca del seccionador.

10. Sacar la palanca totalmente para poder cerrar el interruptor automático. Por diseño, sólo se permite sacar la palanca en una posición segura.
11. Girar nuevamente la pieza (c) para anular el enclavamiento (la chapa de enclavamiento subirá).

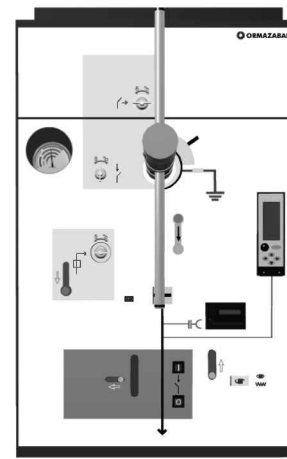


Figura 3.77. Posición final seccionador.

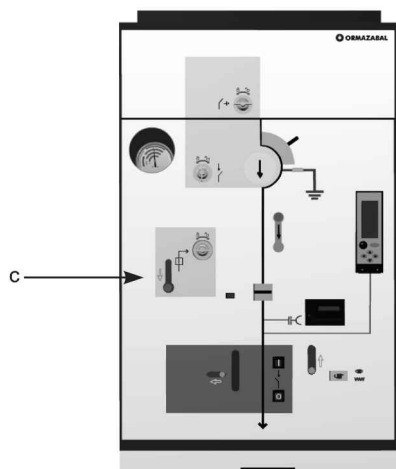


Figura 3.78. Posición final de la palanca.

12. Cerrar el interruptor automático.

a) Mando manual (**Mando RAV**):

Cargar resortes, accionando la palanca de carga (d), actuando hasta que se indique que el resorte de cierre se ha tensado TM Carga de muelles (e).

Para cerrar el interruptor automático, pulsar el botón de cierre (f).

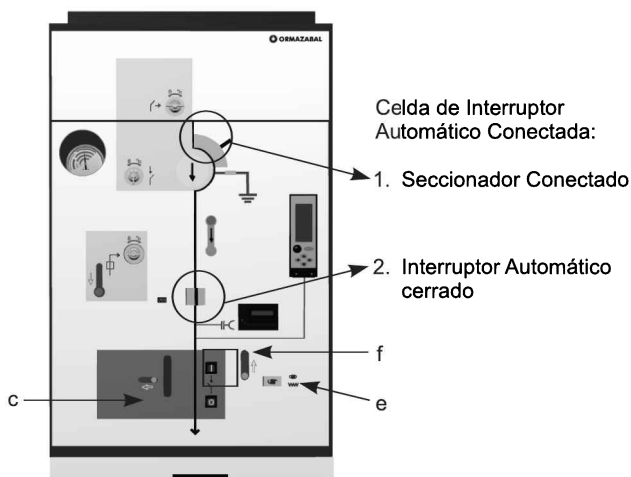


Figura 3.79. Celda de protección (V) conectada.

b) Mando motorizado (**Mando RAMV**):

Pulsar el botón de cierre (f) del interruptor automático.

13. Verificar presencia de tensión (ekorVPIS).

Maniobra de seccionamiento desde la posición de conectado

Las condiciones de partida son: Interruptor automático cerrado y seccionador cerrado.

1. Abrir el interruptor automático pulsando el botón de apertura (a) y comprobar el indicador de estado (b).

⚠ ¡ATENCIÓN!

Para realizar la apertura del interruptor automático, comprobar la indicación de carga de muelles (e), y en caso de estar destensado, se debe realizar el tensado del resorte, mediante la maniobra manual. Si la celda dispone de mando motorizado RAMV, este proceso se realiza de manera automática.

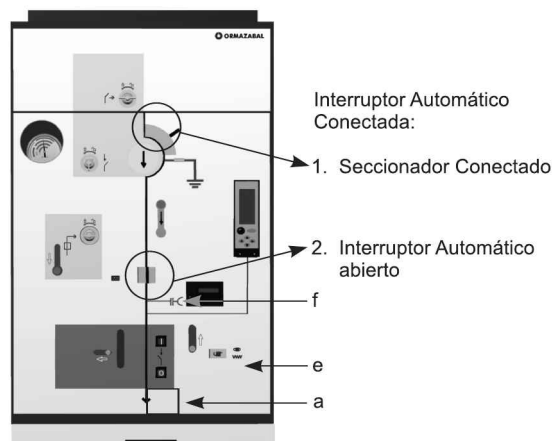


Figura 3.80. Apertura interruptor automático.

2. Comprobar la no presencia de tensión.
3. Verificar que el interruptor automático está abierto.
4. Girar la pieza de bloqueo (c) y deslizarla hasta abajo para retirar la chapa de enclavamiento (véase Figura 5.52). Volver a girarla para bloquear su posición.
5. Introducir la palanca por el lado NEGRO hasta librar la chaveta y girar en sentido HORARIO hasta el tope, para pasar el seccionador de conectado a seccionado.

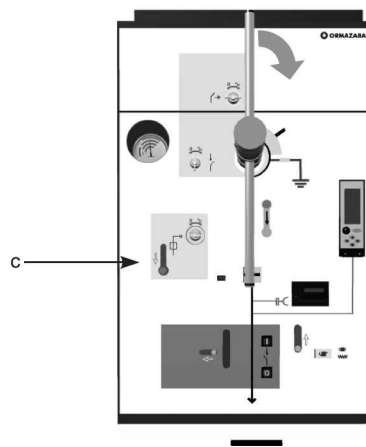
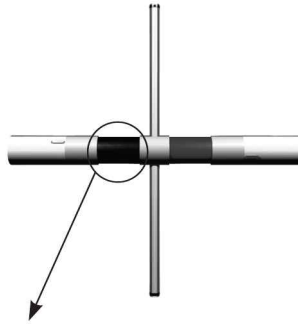


Figura 3.81. Proceso de giro de la palanca.



Extremo NEGRO de la palanca

Figura 3.82. Palanca interruptor-seccionador.

6. Sacar la palanca totalmente para poder cerrar el interruptor automático. Por diseño, sólo se permite sacar la palanca en una posición segura.
7. Girar nuevamente la pieza (c) para anular el enclavamiento (la chapa de enclavamiento subirá).

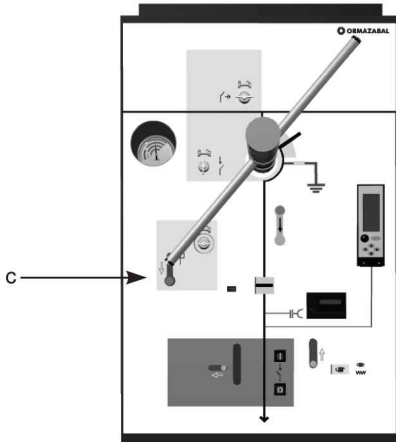


Figura 3.83. Posición final de la palanca.

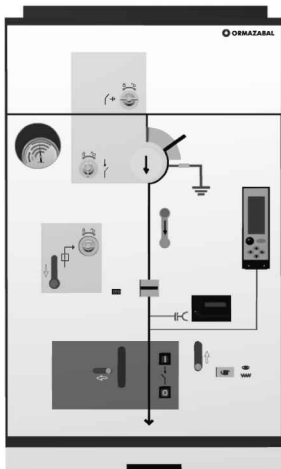


Figura 3.84. Celda interruptor automático seccionada.

Maniobra de puesta a tierra desde la posición de seccionamiento

Paso desde la posición de seccionado a la posición «preparado a tierra»

8. Se parte de la posición del interruptor automático abierto y el seccionador en la posición de «preparado a tierra».
9. Girar la pieza de bloqueo (c) y deslizar el tirador hasta abajo para retirar la chapa de enclavamiento. Volver a girarla para bloquear su posición.
10. Introducir la palanca por el lado ROJO hasta librar la chaveta, y girar en sentido HORARIO hasta el tope, para pasar el seccionador de «Preparado a tierra» a posición seccionado.

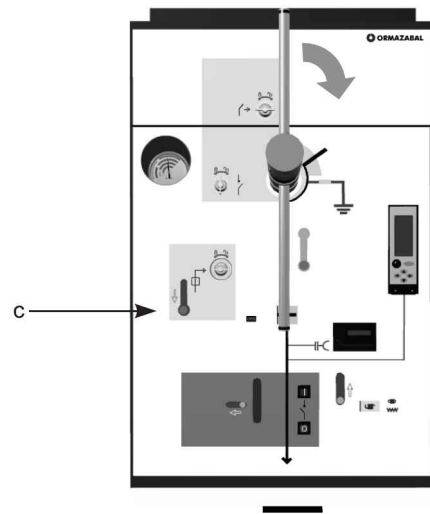
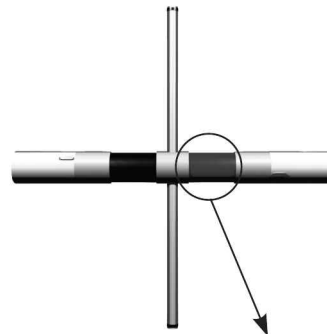


Figura 3.85. Procesos de giro de la palanca.



Extremo ROJO de la palanca

Figura 3.86. Palanca interruptor-seccionador.

11. Sacar la palanca. Por diseño, sólo se permite retirarla en una posición segura.
12. Girar nuevamente la pieza (b) para anular el enclavamiento.

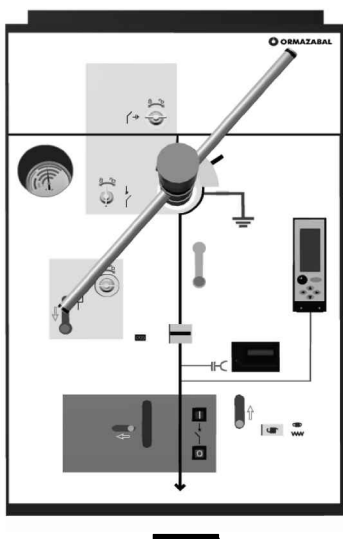


Figura 3.87. Posición final de la palanca.

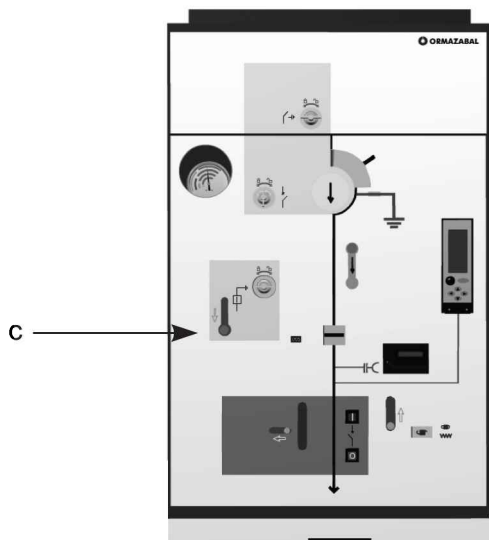


Figura 3.88. Celda interruptor automático «preparada a tierra».

¡ATENCIÓN!

Para que el cable esté efectivamente puesto a tierra, se debe cerrar el interruptor automático, tal y como se describe a continuación.

Paso desde la posición de «preparado a tierra» a la posición de puesto a tierra

13. Cerrar el interruptor automático pulsando el botón de apertura (f) y comprobar el indicador de estado (b). El seccionador se encuentra puesto a tierra.

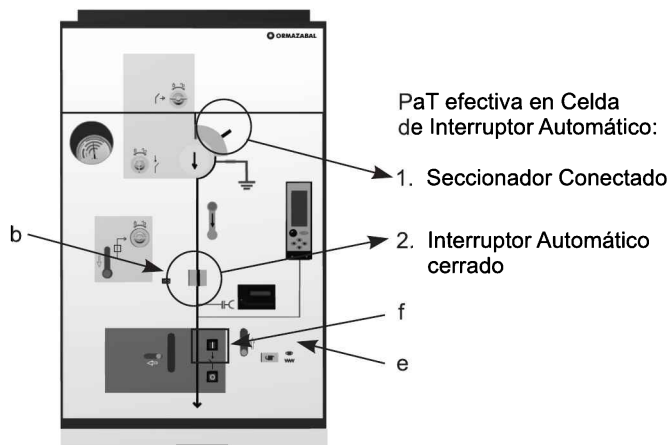


Figura 3.89. Celda de protección (V). Puesta a tierra.

14. Comprobar la no presencia de tensión.

¡ATENCIÓN!

Para poder ejecutar el cierre del interruptor automático, se comprueba la carga de muelles (f), y en caso de estar destensado, se debe realizar el tensado del resorte, mediante la maniobra manual.

Para realizar trabajos sin tensión, se debe obligatoriamente enclavar la posición puesta a tierra cerrada, bien con candado o bien por cerradura.

3.8.4.4. Enclavamientos

Condenación por Candado

Cada eje de accionamiento puede ser condenado por medio de hasta un máximo de tres candados normalizados, de diámetro máximo de asa de 8 mm.

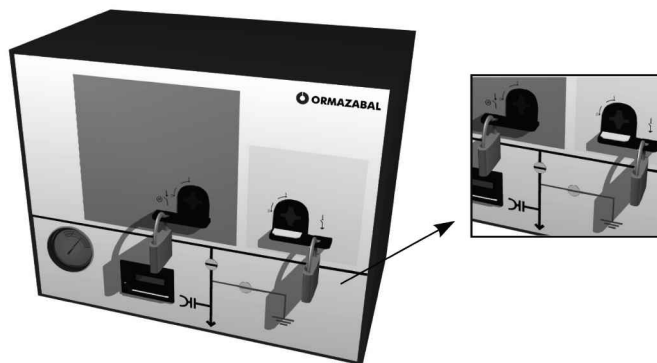


Figura 3.90. Condenación por candado en celdas de línea.

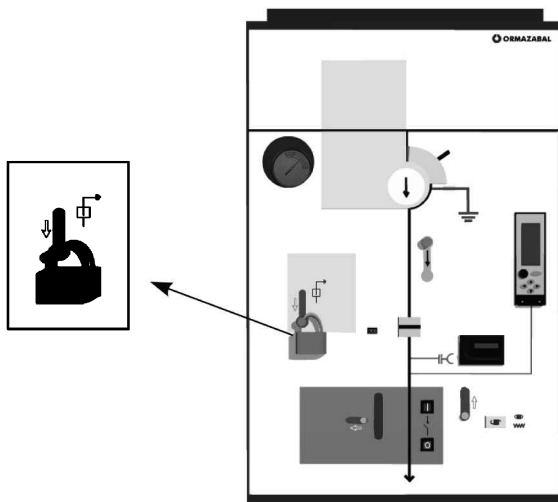


Figura 3.91. Condenación por candado en celdas de interruptor.

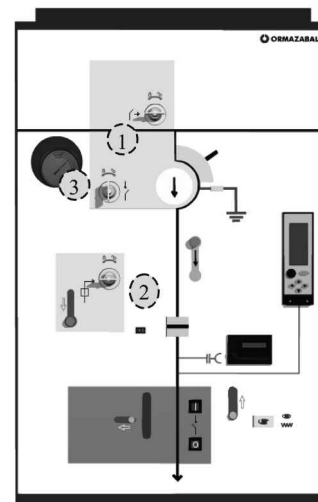


Figura 3.92. Condenación por cerradura en celda de protección (V).

Condenación por cerradura

Las celdas están preparadas para incorporar opcionalmente bloques de cerraduras, tanto en abierto como en cerrado.

Ejemplos de condenaciones por cerradura (opcionales):

- **Cerradura 1: sistema de Puesta a Tierra enclavada en abierto.** Evita poner el seccionador en la posición «puesto a tierra/preparado a tierra» hasta recuperar la llave de la cerradura del seccionador de baja tensión, pero sí permite maniobrar a posición principal.

- **Cerradura 2: puesta a Tierra enclavada en cerrado (ENCLAVAR SIEMPRE para trabajos sin tensión).** Evita que alguien abra por descuido el interruptor quitando la puesta a tierra del cable.
- **Cerradura 3: seccionador Enclavado en Abierto.** Evita poner el seccionador en posición «conectado», permitiendo la maniobra de poner el seccionador en la posición de «puesto a tierra/preparado a tierra».

Enclavando la cerradura 1 y la cerradura 3 conjuntamente, se evita cualquier maniobra del seccionador desde la posición de «desconectado».

- 3.1 Recopilar catálogos comerciales sobre centros de transformación, transformadores, etcétera.
- 3.2 Recopilar las normas particulares de la empresa suministradora eléctrica de la zona.
- 3.3 Identificar las diferentes partes de un centro de transformación sobre un proyecto tipo.
- 3.4 Confeccionar una guía práctica de las operaciones básicas previas a la puesta en marcha de un centro de transformación.
- 3.5 Simulación de una petición de descarga para trabajos en un centro de transformación.
- 3.6 Calcular el diseño de una red de tierra para un centro de transformación, si la resistividad del terreno es de $50 \Omega \cdot m$ y la intensidad máxima de defecto facilitado por la empresa suministradora de energía es de 400 A.

Actividades
y prácticas
propuestas

4

Instalaciones de enlace e interiores

Introducción

En este capítulo se estudian las previsiones de carga de los edificios destinados principalmente a viviendas así como las instalaciones eléctricas de enlace e interior de un edificio como el conjunto de instalaciones necesarias, que partiendo de la red de distribución de la empresa suministradora de energía, llega a los diferentes puntos de utilización interior de los usuarios.

Para realizar el estudio de las instalaciones se hace la división siguiendo la norma del R.E.B.T., en instalaciones comunes o de enlace y en instalaciones privativas o de interior, así como en las redes de protección a tierra.

Contenido

- 4.1. Sistema de distribución para edificios
 - 4.2. Grados de electrificación de una vivienda
 - 4.3. Determinación del grado de electrificación
 - 4.4. Grado de electrificación proyectado
 - 4.5. Previsión de cargas en los edificios
 - 4.6. Carga total correspondiente a edificios comerciales, de oficinas o destinados a una o varias industrias
 - 4.7. Suministros monofásicos
 - 4.8. Ejemplos de aplicación
 - 4.9. Acometidas
 - 4.10. Instalaciones de enlace: generalidades
 - 4.11. Caja General de Protección: CGP-BTV
 - 4.12. Línea General de Alimentación
 - 4.13. Centralización de contadores
 - 4.14. Derivaciones individuales
 - 4.15. Interruptor de Control de Potencia
 - 4.16. Cuadro General de Mando y Protección
 - 4.17. Instalación interior
 - 4.18. Otras instalaciones del edificio
 - 4.19. Símbolos utilizados en instalaciones de Baja Tensión
 - 4.20. Puesta a tierra en edificios
 - 4.21. Protección por cortocircuito para línea general de alimentación
- Actividades y prácticas propuestas

Objetivos

- ▶ Describir la previsión de cargas de un edificio.
- ▶ Calcular la carga total correspondiente a un edificio destinado principalmente a viviendas.
- ▶ Definir y enumerar las partes en que se divide la instalación de enlace de un edificio.
- ▶ Describir las centralizaciones de contadores, su ubicación, sistemas de protección y equipos de medida que se instalan.
- ▶ Describir el sistema de puesta a tierra de un edificio.
- ▶ Sintetizar un esquema de la instalación de enlace de un edificio.
- ▶ Interpretar y manejar catálogos técnico-comerciales de fabricantes de materiales utilizados en las instalaciones de enlace.

Tabla 4.2. Valores del factor de simultaneidad

1	1,0
2	2,0
3	3,0
4	3,8
5	4,6
6	5,4
7	6,2
8	7,0
9	7,8
10	8,5
11	9,2
12	9,9
13	10,6
14	11,3
15	11,9
16	12,5
17	13,1
18	13,7
19	14,3
20	14,8
21	15,3
$n > 21$	$15,3 + (n - 21) \cdot 0,5$

La tabla se aplica directamente hasta la vivienda 21, lo que facilita los cálculos.

Ejemplo 4.1.

Supongamos un edificio de 20 viviendas con un grado de electrificación básica (5.750 W).

$$P = 5.750 \text{ W} \times 14,8 = 85.100 \text{ W}$$

Edificio de 14 viviendas de electrificación elevada, con una potencia prevista por vivienda de 14,49 kW.

$$P = 14,49 \times 11,3 \approx 163,74 \text{ kW}$$

Edificio de 30 viviendas de electrificación básica.

$$\text{Coef. simultaneidad} = 15,3 + [(30 - 21) \times 0,5] = 19,8$$

$$P = 5.750 \times 19,8 = 113.850 \text{ W}$$

b) Viviendas con calefacción por acumulación nocturna

A las viviendas previstas para calefacción por acumulación nocturna se les aplicará un coeficiente de simultaneidad 1, por lo que no tendrá reducción.

Ejemplo 4.2.

Un bloque de 20 viviendas con una potencia por vivienda de 15 kW.

$$P = 20 \times 15 \text{ kW} = 300 \text{ kW}$$

4.5.1.2. Carga correspondiente a los servicios generales

Será la suma de la potencia instalada en alumbrado de portal y escalera, garajes, bombas de elevación de agua, etc.

- Alumbrado de zonas comunes.

Se recomienda una potencia de 20 W/m² si se utiliza iluminación incandescente y 10 W/m² si se utiliza iluminación fluorescente. Es muy útil la utilización de lámparas compactas electrónicas de bajo consumo.

- Grupos de presión.

Es preferible conocer el grupo que se va a instalar y su potencia.

En caso de no conocerlo debemos saber que la presión mínima por planta, suponiendo una altura de 3 m, es:

$$\text{Presión mínima admisible} = n.^{\circ} \text{ plantas} \times 3 + 9 \text{ (metros de columna de agua m.c.d.a.)}$$

Se puede desarrollar en la siguiente tabla:

Tabla 4.3. Presión mínima de distribución de agua según alturas en m.c.d.a.

1	12	16	57
2	15	17	60
3	18	18	63
4	21	19	66
5	24	20	69
6	27	21	72
7	30	22	75
8	33	23	78
9	36	24	81
10	39	25	84
11	42	26	87
12	45	27	90
13	48	28	93
14	51	29	96
15	54	30	99

En función de esta tabla, cuando la presión de la red no llega hasta la última planta es necesario colocar un grupo de presión.

A efectos de cálculo del grupo elevador se considera que el número de tomas de agua que suele haber en una vivienda es de 17, repartidas de la siguiente forma:

Tabla 4.4. Número de tomas de agua por vivienda

Cocina	4	1	5
Total	11	6	17

Asimismo, la potencia dependerá de la altura a la que haya que elevar el agua, y la combinación de las dos nos da la potencia en kW, que se representa en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Potencia de la bomba de elevación

150	1	1	1	1
300	1	1	2	2
450	1	2	4	4
900	2	4	6	6
1.800	2	4	6	9
3.500	4	6	9	11

● Otros elementos comunes.

En este apartado se incluyen otros servicios comunes, tales como depuradoras de piscinas (8 kW/m³), calefacción (según cálculo), aire acondicionado (según cálculo), bombas de calefacción, etc.

● Carga correspondiente a ascensores y montacargas.

Lo ideal es conocer la potencia del ascensor a instalar, pero si no se conoce se pueden utilizar las tablas que se exponen a continuación.

El cálculo de la potencia de un elevador se hace en función de la siguiente fórmula:

$$P = \frac{Q \cdot V \cdot C}{\rho}$$

de donde:

- Q = Carga útil.
- V = Velocidad.
- C = Coeficiente.
- ρ = Rendimiento.
- P = Potencia del elevador en kg/s.

Las tablas NTE ITA del Ministerio de Fomento (antiguo Ministerio de Obras Públicas) nos dan los valores aproximados de la potencia de los elevadores en función de la fórmula descrita anteriormente, y que describimos a continuación:

Tabla 4.6. Previsión de cargas para ascensores y montacargas

ITA-1	400	5	0,63	4,5
ITA-2	400	5	1,00	7,5
ITA-3	630	8	1,00	11,5
ITA-4	630	8	1,60	18,5
ITA-5	1.000	13	1,60	29,5
ITA-6	1.000	13	2,50	46,0
ITA-7	1.600	21	2,50	73,5
ITA-8	1.600	21	3,50	103,0

4.5.1.3. Carga correspondiente a locales comerciales y oficinas, o edificios de locales y oficinas

Se hará una previsión de 100 W/m², con un mínimo de 3.450 W a 230 V. El coeficiente de simultaneidad será 1.

4.5.1.4. Carga correspondiente a garajes

Se calculará un mínimo de 10 W/m² y planta para garajes de ventilación natural y de 20 W/m² para garajes de ventilación forzada, con un mínimo de 3.450 W a 230 V. El coeficiente de simultaneidad será 1.

4.5.1.5. Carga total del edificio

El resultado será la suma de la previsión de cargas de todos los apartados descritos anteriormente;

$$P_T = P_V + P_{SG} + P_{AS} + P_{LC} + P_{OF} + P_{OT}$$

donde:

- P_T = Previsión total de cargas.
- P_V = Previsión viviendas.
- P_{SG} = Previsión servicios generales.
- P_{LC} = Previsión locales.
- P_{OF} = Previsión oficinas.
- P_{OT} = Previsión otros.

4.6 Carga total correspondiente a edificios comerciales, de oficinas o destinados a una o varias industrias

En general, la demanda de potencia determinará la carga a prever en estos casos, que no podrá ser nunca inferior a los siguientes valores.

4.6.1. Edificios comerciales o de oficinas

Se calculará considerando un mínimo de 100 W por m² y planta, con un mínimo por local de 3.450 W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1.

4.6.2. Edificios destinados a concentración de industrias

Se calculará considerando un mínimo de 100 W por m² y planta, con un mínimo por local de 10.350 W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1.

4.7 Suministros monofásicos

Las empresas suministradoras de energía estarán obligadas, siempre que lo solicite el cliente, a efectuar el suministro de forma que permita el funcionamiento de cualquier receptor monofásico de potencia inferior o igual a 5.750 W a 230 V, hasta un suministro de potencia máxima de 14.490 W a 230 V.

4.8 Ejemplos de aplicación

Para tener una mejor comprensión del proceso de determinación de la potencia e intensidad que demanda una instalación eléctrica, seguidamente se indican algunas de las formas de proceder para ello. Inicialmente se considera un edificio de viviendas, posteriormente una instalación usual reducida en la que se conoce la forma de trabajo y en la que no se conocería y finalmente un planteamiento general de resolución de una instalación con un número elevado de receptores.

4.8.1. Calcular la potencia demandada por el grupo de viviendas

- 12 viviendas de grado electrificación básica.
- 18 viviendas de grado electrificación elevada.

Aplicaremos directamente la Tabla 1 de la ITC-BT 10.

SOLUCIÓN:

La media aritmética de la potencia de las viviendas de este edificio será de:

$$\frac{12 \times 5.750 + 18 \times 9.200}{12 + 18} = \frac{234.600}{30} = \mathbf{7.820 \text{ W}}$$

Si aplicamos a esta potencia media el coeficiente de simultaneidad correspondiente a 30 viviendas, tendremos:

Coeficiente de simultaneidad
para 30 viviendas = $15,3 + [(n - 21) \times 0,5] =$

$$\mathbf{C.S. = 15,3 + [(30 - 21) \times 0,5] = 19,8}$$

Con lo que la potencia prevista para este edificio será de:

$$7.820 \times 19,8 = \mathbf{154.836 \text{ W}}$$

4.8.2. Calcular la potencia demandada para un edificio de viviendas, oficinas y locales comerciales

- 16 viviendas de 90 m².
- 10 oficinas de 120 m².
- 6 despachos profesionales de 25 m².
- 2 locales comerciales de 90 m² y 200 m².
- El edificio dispone de:
 - 2 ascensores de 4,5 kW c/u.
 - 40 lámparas halógenas de 50 W/12 V.
 - 1 grupo de presión de 7,5 kW.

SOLUCIÓN:

El resultado será la suma total de la previsión de cargas demandada por cada uno de los puntos anteriores.

$$\mathbf{P_T = P_V + P_{SG} + P_O + P_{LC}}$$

Lo primero que haremos será obtener la previsión de potencia para las viviendas de este edificio:

A las viviendas de 90 m² les corresponde un grado de electrificación básica, es decir, de 5.750 W, por lo que tendremos (véase Tabla 1 de la ITC-BT 10) para el conjunto total de viviendas una previsión de potencia de

$$\mathbf{P_V = 5.750 \times 12,5 = 71.875 \text{ W}}$$

La carga correspondiente a servicios generales será de acuerdo con la ITC-BT 10 Apartado 3.2, siendo en todos los casos el coeficiente de simultaneidad = 1, por lo que tendremos una potencia de:

$$\begin{aligned} 2 \times 4.500 &= 9.000 \text{ W} \\ 40 \times 50 &= 2.000 \text{ W} \\ 1 \times 7.500 &= 7.500 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\mathbf{P_{SG} = 18.500 \text{ W}}$$

En los Apartados 3.3 y 4.1 de la ITC-BT 10 se indica cómo realizar la previsión de potencia tanto en oficinas como en locales comerciales (100 W por m² con un mínimo de 3.450 W a 230 V), siendo en todos los casos el coeficiente de simultaneidad = 1. En nuestro caso obtendremos los siguientes valores:

Oficinas

$$120 \text{ m}^2 \times 100 \text{ W/m}^2 = 12.000 \text{ W} \times 10 \text{ oficinas} = 120.000 \text{ W}$$

En lo relativo a despachos profesionales, al ser el producto de la superficie que ocupa cada uno de ellos (25 m^2) por la potencia a considerar (100 W/m^2) inferior al valor mínimo exigido en el reglamento, se tomará el valor mínimo previsto en él, que corresponde a 3.450 W .

$$3.450 \text{ W} \times 6 \text{ despachos} = 20.700 \text{ W}$$

$$PO = 140.700 \text{ W}$$

Locales comerciales

$$90 \times 100 = 9.000 \text{ W}$$

$$200 \times 100 = 20.000 \text{ W}$$

$$PLC = 29.000 \text{ W}$$

Con lo que la potencia prevista para este edificio será de:

$$P_T = 71.875 + 18.500 + 140.700 + 29.000 = 260.075 \text{ W}$$

4.9 Acometidas

Se denomina acometida a la parte de la red de distribución que alimenta a la caja general de protección.

Es propiedad de la empresa eléctrica y hay una por edificio (excepto casos especiales).

Las acometidas pueden ser aéreas o subterráneas, dependiendo del tipo de distribución de la zona. En zonas urbanas es subterránea y en zonas rurales suele ser aérea.

El material utilizado normalmente es el aluminio, con tres conductores de fase y uno de neutro de secciones de 50 , 95 , 150 o 240 mm^2 .

Los cables llegarán aislados a la caja general de protección, de forma que si la acometida es aérea se efectuará un entronque cerca de la caja con cable aislado, independiente de la longitud y características de la acometida (apoyos, cable desnudo, protecciones, etc.).

Las acometidas deben cumplir las instrucciones ITC-BT 11-06 y 07 y las normas particulares de la empresa eléctrica de la zona. La sección y número de conductores dependerá de la previsión de cargas del edificio, de las características de la distribución y de la tensión de suministro ($230/400 \text{ V}$ para edificios de viviendas que no necesiten centro de transformación).

La caída máxima de tensión admisible está regulada por el decreto de verificaciones, de forma que el conjunto de la red hasta la caja general de protección no sobrepase los límites prefijados por el R.D. 1955/2000, art. 104, en el que se fija en un $\pm 7\%$ en tensión.

4.9.1. Acometida aérea

Se caracteriza por sus cables resistentes a la intemperie y con aislamiento no inferior a 1.000 V .

En este caso, la caja general de protección estará posada sobre la fachada, a una altura de 3 m como mínimo, y la acometida entrará por debajo y estará provista de un codo vierteaguas para evitar que entre la humedad en la caja.

También puede ir alojada en un mechinal o hueco y en este caso se colocará un tubo de 100 mm de \varnothing desde el mechinal hasta 3 m sobre la rasante del terreno. Dispondrá de codo vierteaguas.

En las actuales distribuciones, aunque la acometida sea aérea se llevará hasta el terreno debidamente entubada, y acometerá la caja general de protección por debajo como si fuera una acometida subterránea, dejando la instalación preparada para en su día hacer la distribución subterránea.

4.9.2. Acometida subterránea

Se caracteriza por estar formada por cables con aislamiento superior a 1.000 V , resistentes a la corrosión del terreno, irán bajo la rasante del terreno debidamente entubados, a una profundidad mínima de $0,60 \text{ m}$ y debidamente señalizados (preferentemente debajo de la acera).

Entrarán en el mechinal por la parte inferior a través de dos tubos de material rígido y autoextinguible, de sección de 160 o 200 mm e inclinados desde la acera hacia el interior del mechinal (se colocan dos tubos para permitir la entrada y la salida de la acometida en el Esquema 10 de distribución). En edificios de gran volumen, o que se prevea un aumento de potencia, es conveniente dejar previsto un tubo vacío que permita aumentar la potencia del edificio sin complicaciones.

4.10 Instalaciones de enlace: generalidades

Las instalaciones de enlace se definen como el conjunto de instalaciones que unen las CGP o BTV hasta el inicio de las instalaciones interiores.

Las instalaciones de enlace comprenden las siguientes partes:

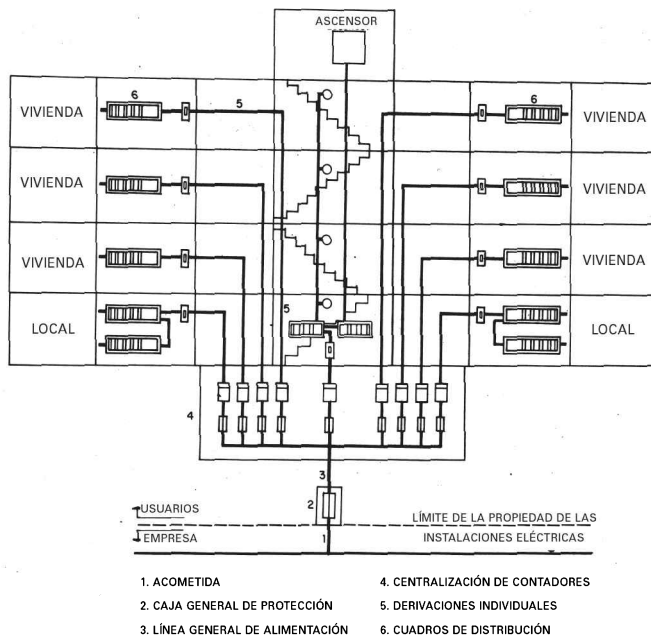
- Caja General de Protección —CGP— o Base Tripolar Vertical —BTV.
- Línea General de Alimentación —LGA.
- Centralización de Contadores —CC.
- Derivación Individual —DI.
- Caja para Interruptor Control de Potencia —ICP.

La instalación interior se define como el conjunto de líneas, conductores y mecanismos que unen las instalaciones de enlace con los receptores de los usuarios.

Las instalaciones interiores o receptoras comprenden las siguientes partes o mecanismos:

- Cuadro General de Mando y Protección —CGMP.
- Instalaciones interiores.
- Otras Instalaciones Comunitarias del edificio —IC.

El esquema representativo de las instalaciones de enlace e interiores se representa en el Esquema 4.1.



Esquema 4.1. Instalaciones de enlace e interiores de un edificio.

Todos estos aspectos están recogidos en el Reglamento de Baja Tensión, describiéndose a continuación todos ellos a partir de este reglamento, de las normas tecnológicas de la edificación NTE IB, las normas de las empresas eléctricas más representativas de España y de la experiencia del diseño y montaje de las instalaciones.

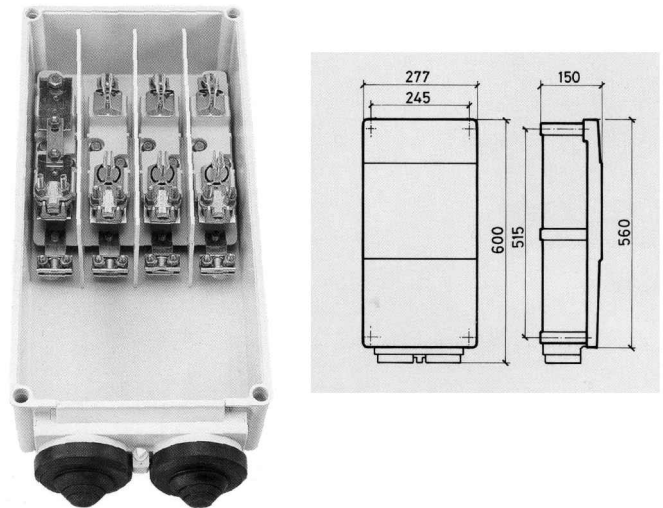
Todas las instalaciones de enlace e interiores de un edificio deberán cumplir con lo indicado en los diferentes apartados que conforman las normas UNE 20460 y complementarias a las mismas.

4.11 Caja General de Protección: CGP-BTV

Es la caja que alberga los fusibles de protección de la línea repartidora (de la instalación de enlace del edificio o la nave industrial). Marca el límite de propiedad entre la empresa eléctrica y los usuarios.

Se coloca en la fachada del edificio, lo más cerca posible de la red de distribución o del centro de transformación, y la elección del sitio se determina de común acuerdo entre la propiedad del edificio y la empresa eléctrica.

Se elegirá un lugar de uso común, de libre y fácil acceso para que se pueda llegar a él rápidamente en caso de necesidad y poder cortar el suministro de la finca. Asimismo, estará separada de las instalaciones de agua, gas y teléfono.



Esquema 4.2. Caja general de protección.

Cumplirá la recomendación UNESA 1403 y las normas particulares de la empresa eléctrica, y se caracterizará por:

- Será de material aislante, de doble aislamiento y de clase térmica A.
- Resistente al calor y al fuego.
- Autoextinguible según la norma UNE 20672-2-1.
- De grado de protección IK-09 (10 julios) contra impactos según la norma UNE CN 50102.
- Resistente a las inclemencias meteorológicas. IP43 según EN 50102.
- No higroscópico.
- Resistente a los álcalis. UNE 20501-2-11.
- Con un sistema de ventilación natural, mediante orificios, que permita el movimiento y convección del aire y evite condensaciones.
- La tensión nominal será para 440 V.
- Precintable.
- Cerradura normalizada.

En el exterior, y en sitio visible, se marcará el anagrama de UNESA con la norma 1403, la marca del fabricante y la capacidad de la caja (en amperios). En su interior se alojarán tres fusibles para cada una de las fases, y un borne con una pletina rígida para el cable de neutro.

Los cortacircuitos fusibles tendrán un poder de corte igual o mayor que la mayor corriente de cortocircuito que se pueda presentar en algún punto de la instalación.

4.11.1. Tipos de cajas

Las cajas se dividen en primer lugar por su capacidad en amperios, siendo los valores normalizados más comunes:

100, 160, 250, 400 amperios

En segundo lugar se dividen en función del esquema de conexión que lleven y que a su vez depende del sistema de distribución.

4.11.1.1. Caja general de protección monofásica

Para un solo abonado en distribución monofásica. La caja tiene una capacidad para 100 A, y es muy poco utilizada. Se denomina Esquema 1 o CGP 1.

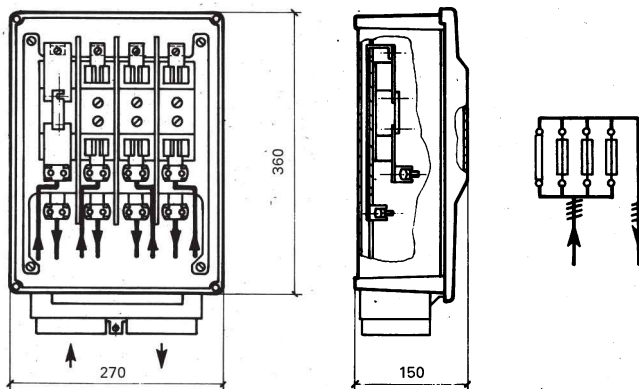
Consta de un portafusibles de fase y una pletina de neutro. La entrada de la acometida se realiza por debajo y se colocan posadas en la fachada a 3 m de altura.

4.11.1.2. Caja general de protección trifásica

Las distribuciones a edificios se realizan en trifásico, con tres cables de fase y uno de neutro, bien sea en aérea o en subterránea. Las cajas se adaptarán al sistema de distribución, aérea o subterránea.

- En distribuciones aéreas:

Cuando la acometida entra por la parte inferior de la caja general de protección y la Línea General de Alimentación también sale por la parte inferior de la caja se tiene el denominado Esquema 7 o CGP 7.

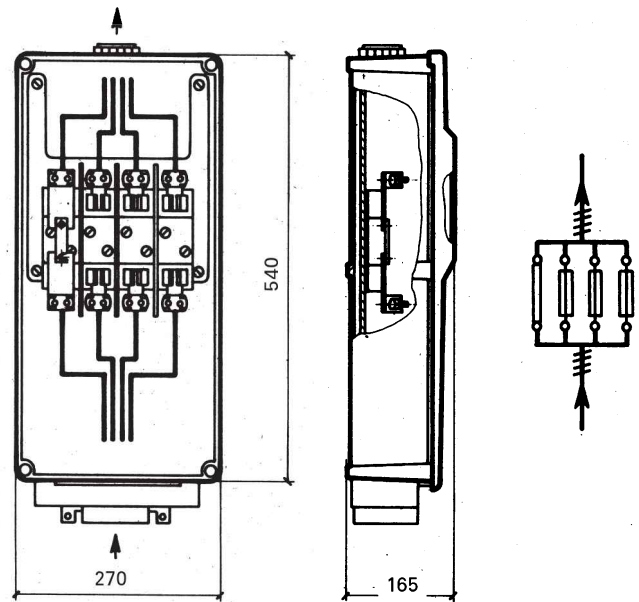


Esquema 4.3. Esquema de protección 7: CGP 7.

La caja es estanca por la parte superior, para evitar la entrada de agua, y en los orificios inferiores, por donde entran los cables de la acometida (manguera o red trenzada), se colocarán tapones o prensaestopas a fin de evitar que queden espacios entre los cables y el orificio de la caja, para que no entren alimañas, humedad, etc.

Si la salida de la Línea General de Alimentación se hace por la parte superior, ya que está dentro de un mechinal o hueco en fachada, se denomina Esquema 9 o CGP 9.

Tanto el Esquema 7 como el 9 pueden utilizarse en distribuciones aéreas o subterráneas.



Esquema 4.4. Esquema de protección 9 o CGP 9.

Las capacidades normales de las cajas son:

Tabla 4.7. Capacidades normalizadas de las CGP

CGP 7	40	160	250
	25	95	150
CGP 9	100	160	250
	50	95	150

En todas las cajas, a partir de 100 A y cuando se montan bases de cortacircuitos fusibles, se instalan pantallas separadoras, fijas o desmontables, de material aislante y autoextinguible para evitar que durante la maniobra se puedan producir arcos que se ceban entre fases o entre fase y neutro.

Las bornas de conexión son bimetálicas, ya que las acometidas suelen ser de aluminio y las Líneas Generales de Alimentación de cobre, para evitar problemas de electropositividad.

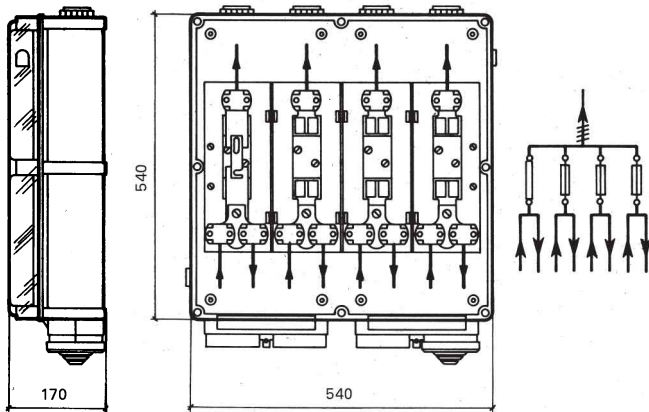
- En distribuciones subterráneas:

Los esquemas de conexión que se utilizan son los que permiten la distribución en anillo, sistemas muy utilizados en los cascos urbanos.

Los bornes de conexión, también bimetálicos, donde se abrocha la acometida, deberán estar contruidos de tal forma que se pueda entrar y salir con la línea de acometida.

La entrada de la acometida se realiza por la parte inferior y la salida por la superior, ya que estas cajas suelen estar en huecos o mechinales en fachada.

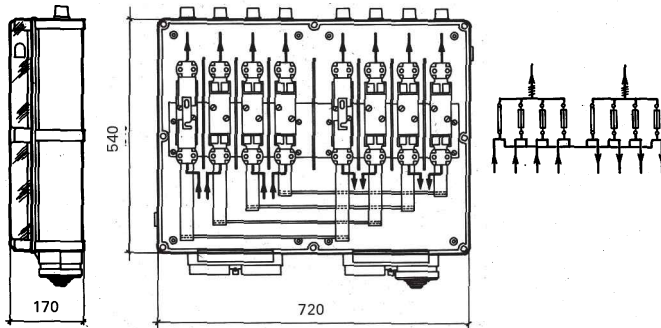
El esquema más utilizado es el 10 o CGP 10.



Esquema 4.5. Esquema de protección 10: CGP 10.

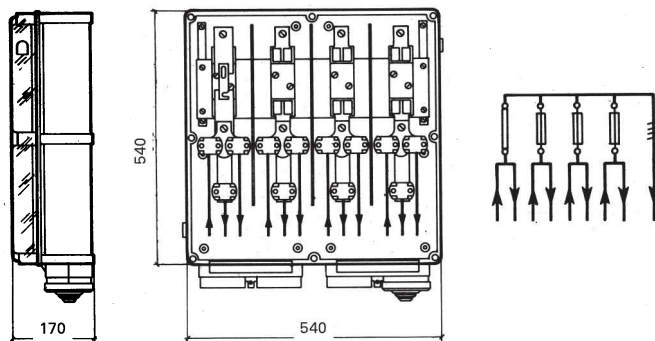
Las cajas tienen una capacidad máxima para 150 kW, por lo que si la previsión de cargas es superior a 150 kW habrá que poner 2, 3 o más cajas.

Si se ponen dos cajas de Esquema 10 unidas, eso da lugar al Esquema 11 o CGP 11.



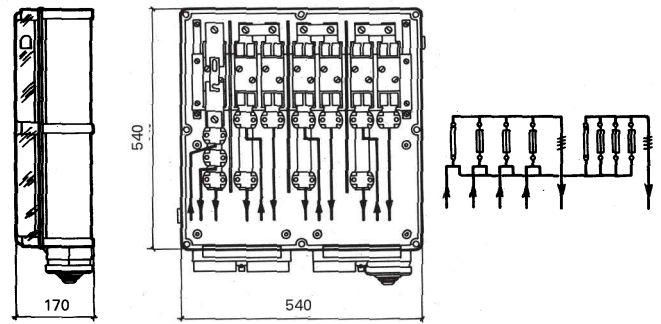
Esquema 4.6. Esquema de protección 11: CGP 11.

Si la Línea General de Alimentación sale por la parte inferior de la caja, la variante de la CGP 10 será la CGP 14.



Esquema 4.7. Esquema de protección 14 o CGP 14.

Y la variante de la CGP 11 es la CGP 12.

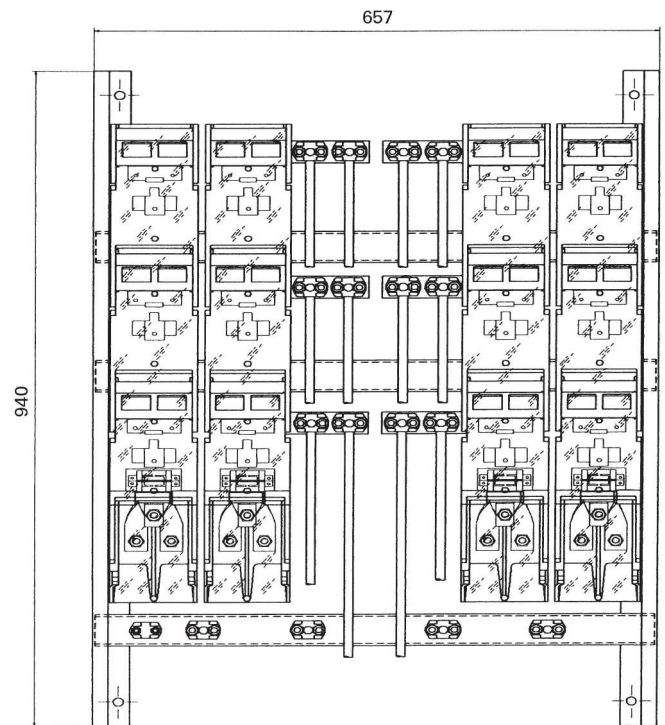


Esquema 4.8. Esquema de protección 12 o CGP 12.

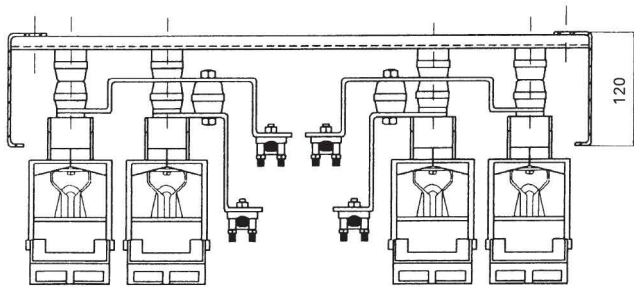
4.11.2. Bases Tripolares Verticales: BTV

Si las necesidades de potencia superan los 300 kW se tendrán que colocar las denominadas BTV, que tienen la ventaja de ahorrar espacio.

REFERENCIA	FUSIBLE MÁXIMO	BORNES ENTRADA mm ²	BORNES SALIDA	PESO kg
GLBTV-2503	250 A.	150	Terminal	27
GLBTV-2504	250 A.	150	Terminal	32
GLBTV-4003	400 A.	240	Terminal	28
GLBTV-4004	400 A.	240	Terminal	33



Esquema 4.9. Esquema de BTV.



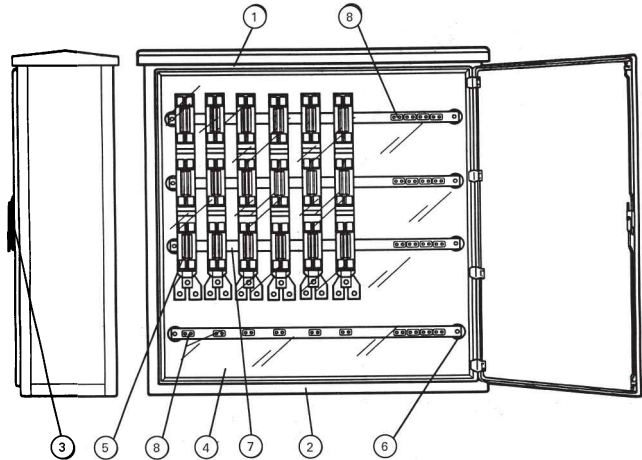
B.T.V. para 4 líneas repartidoras.

Esquema 4.9. Esquema de BTV (continuación).

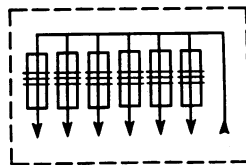
Las BTV disponen de las bases portafusibles una encima de otra, como se indica en el esquema, sobre un zócalo o armazón aislante, por dentro del cual circulan los conductores de las tres fases. La conexión de la acometida a las pletinas de tensión se realiza por medio de bornas bimetalicas. Se pueden conectar cables de 50, 95, 150 y 240 mm².

En la parte inferior del zócalo están las tres bornas bimetalicas correspondientes a cada una de las fases donde se conecta la línea general de alimentación. El neutro va en una pletina independiente, en la parte inferior, común a todas las líneas repartidoras.

Actualmente se fabrican BTV para 2, 4 y 6 Líneas Generales de Alimentación, con capacidad para 250, 400 y 630 A.



1. Tejadillo autoventilado de 1.036x340 mm de poliéster autoextinguible, prensado en caliente, reforzado con fibra de vidrio y con rejilla antiinsectos.
2. Envoltorio de 1.000x1.000x300 mm de poliéster prensado en caliente reforzado con fibra de vidrio abierto por la base para entrada de cables.
3. Maneta giratoria con cerradura normalizada por U.F. de triple acción.
4. Velo transparente y precintable de policarbonato de 3 mm.
5. Zócalo tripolar 250, 400 o 630 A.
6. Aisladores de resina epoxi.
7. Pletina (3F+N) 50x10 mm de Cu.
8. Bornas bimetalicas de 240 mm².



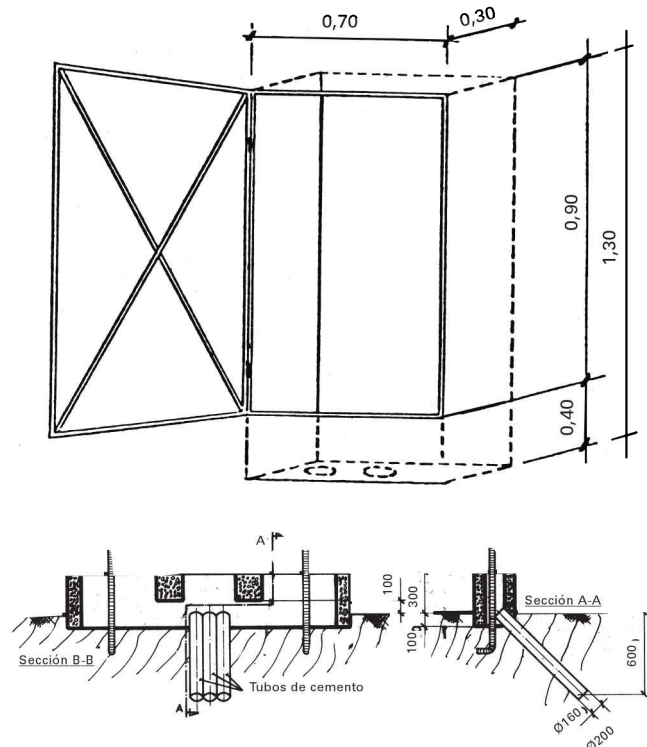
Esquema 4.10. Armario de reparto de una BTV.

Las BTV se pueden presentar sobre bastidores metálicos o más modernamente dentro de armarios, que facilitan su manipulación y conexión, y se pueden colocar tanto en el interior como a la intemperie.

Como se observa en el esquema, la BTV no es más que varias CGP 10 en un solo armario, dispuestas para la distribución en anillo, con bornes de conexión de acometida que permiten la entrada y salida de la misma.

4.11.3. Huecos en la construcción para la caja general de protección

Las cajas colocadas en fachada en la distribución subterránea se colocan en armarios o en huecos o mechinales. Este hueco para una caja CGP 10 tiene unas medidas mínimas, como aparece en el siguiente esquema.



Esquema 4.11. Dimensiones del hueco para una CGP 10.

Como es natural, las dimensiones del mechinal dependen de la caja o esquema, como se describe en la Tabla 4.8.

El hueco dispondrá de un bastidor metálico, con puerta de una o dos hojas, que pueden chaparse de cualquier material y con cerradura normalizada.

La altura del borde inferior del mechinal sobre la rasante del terreno será de 80 cm para que facilite la labor de conexión de las acometidas y de las Líneas Generales de Alimentación.

Tabla 4.8. Dimensión de los mechinales según esquemas

CGP		DIMENSIONES PARED (cm)					
Número de cajas	Tipo o esquema	Ancho	Hueco			Puerta	
			Alto	Fondo	Ancho	Alto	
1	7	50			50	90	
1	10 (*)	70			70	90	
1	7 (*)						
2	7	100	130	30	100 en 2 hojas		
2	10 (*)	140			140 en 2 hojas	90	
1	11 (*)						
2	7 (*)						

(*) Caja de fusibles con bases unipolares cerradas (BUC) con dispositivo extintor de arco, para fusibles tipo cuchilla.

Desde el borde del bastidor hacia abajo habrá un hueco al menos de 20 cm que facilite la curvatura de los cables de la acometida, de 95 a 150 mm² o 240 mm² y que presentan gran dificultad de manejo.

Los dos tubos que llegan al mechinal desde la red de distribución serán de PVC o fibrocemento, como se comentó anteriormente, tendrán una dirección inclinada hacia el centro de la acera y llegarán hasta 60 cm por debajo de la rasante del terreno (recordamos la conveniencia de dejar un tubo vacío de reserva en edificios de gran volumen).

4.11.4. Ejemplo de cálculo para la CGP

La designación de la CGP se hará a partir de los siguientes criterios:

- Esquema eléctrico de conexión de la CGP.
- Intensidad nominal de las bases de cortacircuitos de un circuito en amperios.
- Intensidad nominal de las bases de cortacircuitos de un segundo circuito (si lo hubiera), en amperios.
- Intensidad máxima de paso.

Con las CGP más usuales tenemos:

Tabla 4.9. CGP más usuales

CGP	Número de cajas	Ancho	Alto	Fondo	Puerta
CGP 7 100	7	100	—	100	
CGP 7 250	7	250	—	250	
CGP 9 250	9	250	—	250	
CGP10 250/400	10	250	—	400	
CGP 11 250/250/400	11	250	250	400	
CGP 12 250/250/400	12	250	250	400	

El criterio de dimensionamiento es la potencia máxima de paso por la CGP.

Pero en función de la acometida (y en particular la sección), la CGP debe estar prevista para la sección del indicado conductor. Por ello, se dan a continuación los criterios de selección, debiéndose elegir siempre el más estricto.

Tabla 4.10. CGP y Potencia máxima de paso

CGP	100	160	250	400
90	62	100	156	249
144	56	90	140	224
225	53	85	132	212
360	50	80	125	199

También se debe seleccionar la capacidad de los bornes de la CGP.

Tabla 4.11. Capacidad de los bornes de la CGP

CGP	250 A	400 A	25 - 150	16 - 95	25 - 150	16 - 95
100	400 A	400 A	50 - 240	50 - 240	50 - 240	50 - 240
160	400 A	400 A	50 - 240	50 - 240	50 - 240	50 - 240
250	400 A	400 A	50 - 240	50 - 240	50 - 240	50 - 240
400	400 A	400 A	50 - 240	50 - 240	50 - 240	50 - 240

4.12 Línea General de Alimentación

Es la línea que une la Caja General de Protección, CGP, con la centralización de contadores. Termina en el interruptor de corte en carga situado en la centralización de contadores.

Hay una Línea General de Alimentación por cada caja general de protección; tiene que discurrir por lugares de uso común y estará formada por tres cables de fase y uno de neutro de cobre, unipolares aislados para 1.000 V y dimensionados de acuerdo con la previsión de cargas del edificio.

El aislamiento estará constituido por un dieléctrico seco extruido a base de mezclas termoestables ignífugas y sin halógenos.

Los conductores están definidos en la norma UNE 21123-4, siendo los más utilizados los de polietileno reticulado (XLPE) y etileno propileno (EPR).

La Línea General de Alimentación se dimensionará siguiendo las normas por caída de tensión, por densidad de corriente y por I_{cc}, siendo la capacidad máxima para cada repartidora de 150 kW, ya que tiene que haber una repartidora por cada caja, y cada caja general de protección no puede admitir más de 150 kW.

4.12.1. Instalación

La Línea General de Alimentación se alojará en canaladuras siguiendo las cajas de escalera, tanto si se trata de edificios con una centralización de contadores como si existen centralizaciones por plantas.

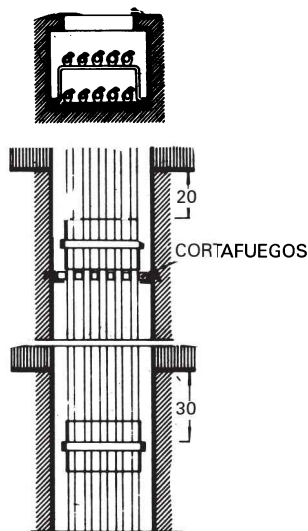
La canaladura tendrá unas dimensiones mínimas de 30 × 30 cm, carecerá de cambios de dirección y tendrá una caja de registro precintable por planta. Si la canaladura es vertical se colocarán placas cortafuegos cada tres plantas como máximo y las paredes serán RF-120.

En las centralizaciones por plantas, la Línea General de Alimentación estará compuesta por los tres conductores de fase, el neutro y una línea principal de tierra, para llevar hasta la centralización de contadores la tierra del edificio.

Las Líneas Generales de Alimentación se podrán construir de la siguiente forma:

- Conductores aislados en el interior de tubos empotrados.
- Conductores aislados en el interior de tubos de montaje superficial.
- Canalizaciones prefabricadas.
- Conductores aislados con cubierta metálica en montaje superficial.
- Conductores aislados en el interior de tubos enterrados.

Los tubos mencionados tendrán un diámetro nominal que permita ampliar la sección de la línea general de alimentación en un 100% en caso de necesidad.



Esquema 4.12. Canaladura vertical para Línea General de Alimentación.

4.12.2. Dimensionado

Para calcular la sección de una Línea General de Alimentación hay que conocer la previsión de cargas del edificio, la máxima tensión admisible, el tipo de conductor a instalar y la distancia desde la CGP a la Centralización de Contadores.

La máxima caída de tensión admisible es:

- 1% en edificios de viviendas con contadores centralizados por plantas.
- 0,5% en edificios de viviendas con contadores concentrados en un solo lugar.

La densidad de corriente depende de las características del conductor, del aislamiento y de su configuración. Se calcula en función de la instrucción del reglamento de baja tensión ITC-BT 19.

4.12.3. Ejemplo de cálculo rápido para Líneas Generales de Alimentación

En conductores para 1.000 V las intensidades máximas admisibles vienen dadas por las normas UNE 20460-5-523:2004.

Para las tablas de cálculo rápido que se describen a continuación se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los conductores a utilizar serán de cobre unipolares y aislados.
- Habrá tres conductores de fase, uno de neutro y uno de protección.

Tabla 4.12. Intensidad admisibles en LGA según instalación

NORMA UNE 20460-5-523:2004		
Sección (mm ²)	Tabla A.52-1bis Referencia B1-8	Tabla A.52-2bis Referencia D
	Instalación bajo tubo en montaje superficial Int. máx. en A	Instalación bajo tubo en montaje enterrado Int. máx. en A
10	54	58
16	73	75
25	95	96
50	145	138
95	224	202
150	299	260
240	401	336

4.12.4. Protecciones contra sobrecargas en las Líneas Generales de Alimentación

La protección contra sobrecargas de la línea repartidora se realizará mediante fusibles del tipo gL, que se alojarán en la caja general de protección CGP, de forma que se cumpla:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_Z$$

$$I_2 = 1,6 \times I_N$$

siendo:

- I_B = Intensidad utilizada en el circuito.
- I_N = Intensidad nominal del dispositivo de protección.
- I_Z = Intensidad admisible en la canalización.
- I_2 = Intensidad de fusión del fusible gI.

Combinando estos valores tenemos:

$$1,6 \times I_N \leq 1,45 \times I_Z$$

$$I_N \leq 0,906 \times I_Z$$

4.12.4.1. Aplicación del cálculo rápido de Líneas Generales de Alimentación

Tendremos que tener presente el factor de potencia, \cos , que se va a aplicar a la instalación.

Como orientación se pueden dar estos valores:

- Edificio destinado a un solo local comercial: 0,80.
- Edificio destinado a varios locales comerciales: 0,85.
- Edificio destinado a viviendas y locales: 0,90.
- Edificio destinado sólo a viviendas: 0,90.

Según el $\cos \varphi$ y el aislamiento de la Línea General de Alimentación, y considerando una caída de tensión del 0,5% (contadores centralizados), tenemos las siguientes tablas:

Tabla 4.13. Cálculo rápido de LGA realizada con conductores XLPE y $\cos \varphi = 0,8$

Potencia máx. (W)	Sección Fase = Neutro (mm ²)	Longitud máx. (m)	Diámetro tubo (mm)	CGP	
				In. nom. (A)	Fusible (A)
22.144	10	15	75	100	40
34.876	16	16	75	100	63
44.288	25	19	110	100	80
69.200	50	25	125	160	125
110.720	95	30	160	250	200
138.400	150	38	160	250	250
196.528	240	43	200	400	355

Tabla 4.14. Cálculo rápido de LGA realizada con conductores XLPE y $\cos \varphi = 0,85$

Potencia máx. (W)	Sección Fase = Neutro (mm ²)	Longitud máx. (m)	Diámetro tubo (mm)	In. nom. (A)	Fusible (A)
23.528	10	15	75	100	40
37.056	16	15	75	100	63
47.056	25	18	110	100	80
73.525	50	24	125	160	125
117.640	95	28	160	250	200
147.050	150	36	160	250	250
208.811	240	40	200	400	355

Tabla 4.15. Cálculo rápido de LGA realizada con conductores XLPE y $\cos \varphi = 0,9$

Potencia máx. (W)	Sección Fase = Neutro (mm ²)	Longitud máx. (m)	Diámetro tubo (mm)	In. nom. (A)	Fusible (A)
24.912	10	14	75	100	40
39.236	16	14	75	100	63
49.824	25	17	110	100	80
77.850	50	22	125	160	125
124.560	95	26	160	250	200
155.700	150	34	160	250	250
221.094	240	38	200	400	355

En el supuesto de cálculo de Líneas Generales de Alimentación con caída de tensión del 1% (contadores no centralizados), las longitudes máximas serían el doble, permaneciendo igual el resto de los valores.

Se aconseja que la sección del neutro sea igual que los de fase.

4.12.5. Protección por cortocircuito

La intensidad máxima de cortocircuito de un conductor según la norma UNE 20-460-4-43-2003 (instalaciones en interior de edificios) será tal que:

$$\sqrt{t} = K \times S / I$$

donde:

t = Tiempo en segundos del cortocircuito.

S = Sección del conductor en mm².

I = Valor eficaz de la corriente de cortocircuito prevista (en amperios).

K = Constante en función del tipo de conductor, que para el PVC y el XLPE es:

$K = 115$ para conductores aislados de PVC.

$K = 143$ para conductores aislados con XLPE.

Con estos valores, para un tiempo de 5 segundos se tendrán los siguientes valores:

Tabla 4.16. Líneas Generales de Alimentación: intensidad de cortocircuito

Sección (mm ²)	Intensidad de cortocircuito (A)
10	639
16	1.023
25	1.598
50	3.197
95	6.075
150	9.592
240	15.348

La intensidad de fusión de los fusibles (que protegen la línea general de alimentación en la CGP) es inferior a los valores anteriores, por lo que los fusibles protegerán contra cortocircuitos siempre y cuando la intensidad de fusión, en 5 segundos, sea inferior a la corriente que resulte de un cortocircuito en cualquier punto de la instalación.

Con los valores nominales de los fusibles de la Tabla 4.12, las líneas generales de alimentación estarán protegidas contra sobrecargas y cortocircuitos con los fusibles indicados.

4.12 Centralización de contadores

Se define como el conjunto de equipos de medida que, estando situados en un mismo local o emplazamiento, y colocados en módulos prefabricados, están alimentados por una misma Línea General de Alimentación.

A cada Línea General de Alimentación le corresponde una centralización, por lo que la máxima potencia admisible en las centralizaciones de contadores es de 150 kW.

4.13.1. Cuarto de contadores

En los edificios de viviendas de nueva construcción se reserva un local o cuarto para las centralizaciones de contadores, que se caracteriza por que:

- No podrá destinarse a otra utilidad.
- Se situará en planta baja o sótano.

- Estará próximo a las canaladuras de las líneas generales de alimentación.
- Cada cuarto puede albergar 1, 2, 3 o más centralizaciones.
- Será de fácil y libre acceso desde las zonas comunes del edificio.
- La altura del local será al menos de 2,30 m.
- La anchura mínima entre la pared y la parte saliente de los módulos de la pared opuesta será de 1,10 m.
- Las dimensiones serán tales que permitan colocar todas las centralizaciones del edificio (a excepción de los edificios de gran volumen).
- No será húmedo.
- Estará por encima del nivel freático del lugar. En lugares de nivel 0 sólo se permiten locales en planta baja o superiores.
- La resistencia de las paredes será como mínimo de tabicón.
- Tendrá sumidero si la cota del suelo es igual o inferior a la de los pasillos o locales colindantes.
- Tendrá ventilación natural.
- La puerta tendrá unas dimensiones de 2,00 × 0,70 como mínimo.
- La puerta abrirá hacia fuera.
- Dispondrá de un punto de luz (como mínimo).
- Estará lejos de locales con riesgo de incendio o explosión.
- Estará lejos de locales que produzcan gases corrosivos.

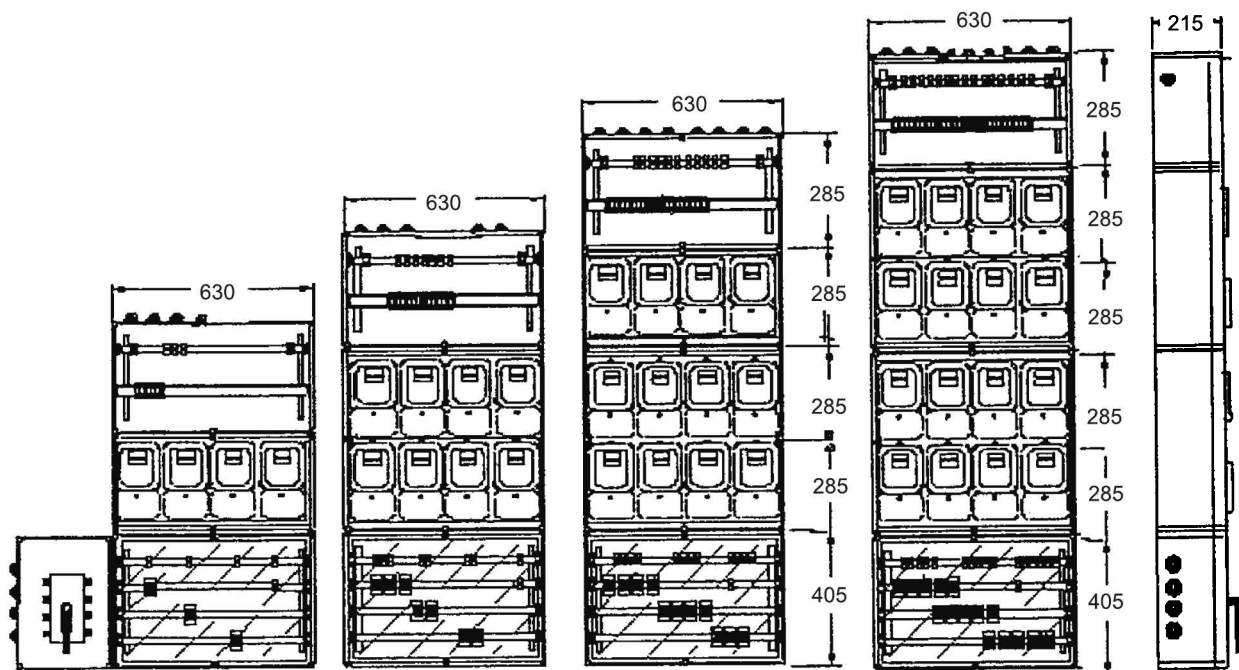


Figura 4.13. Centralización de contadores monofásicos.

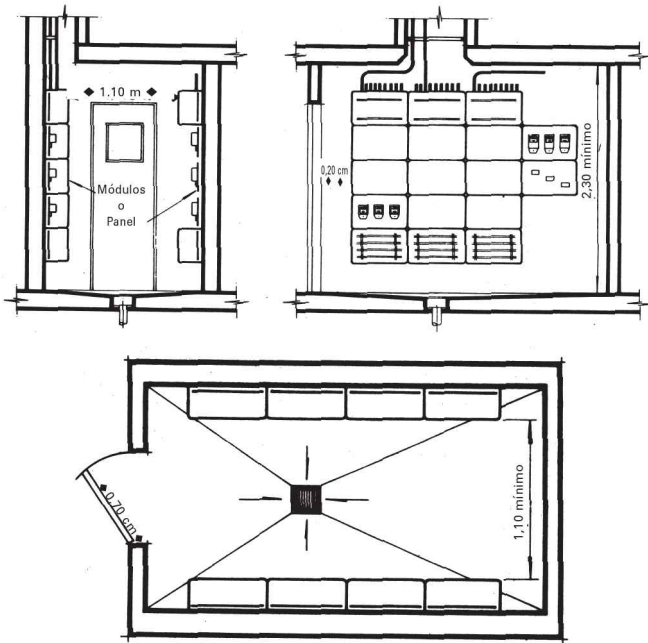


Figura 4.14. Cuarto de contadores.

- En el exterior del local y lo más próximo a la puerta de entrada existirá un extintor móvil de eficacia mínima 21A-113B.
- No será atravesado por otras conducciones distintas de las eléctricas.
- Tendrá alumbrado de emergencia.

En los edificios de gran volumen se podrán colocar varios armarios o cuartos de contadores en plantas intermedias, recordando que se definen como edificios de gran volumen aquellos que cumplen algunas de estas condiciones:

- Los que posean más de 12 plantas.
- Los que posean más de 16 viviendas por planta.

4.13.2. Composición de la centralización de contadores

La centralización de contadores contiene los equipos de medida, los fusibles de protección y los embarrados de protección.

La centralización está compuesta por cuatro unidades funcionales, que siguiendo la dirección de la corriente son:

1. Unidad funcional de corte, colocada a la llegada de la línea general de alimentación. Está compuesta por un interruptor general omnipolar con capacidad de corte en carga. Su función es dejar sin servicio a la centralización de contadores propiamente dicha.

La intensidad de corte estará de acuerdo con la potencia de la Línea General de Alimentación (máximo 150 kW).

El interruptor se suele alojar en un módulo transparente, de doble aislamiento, autoextinguible, que irá unido a la unidad funcional de embarrado y fusibles de seguridad.

Centralización para contadores.

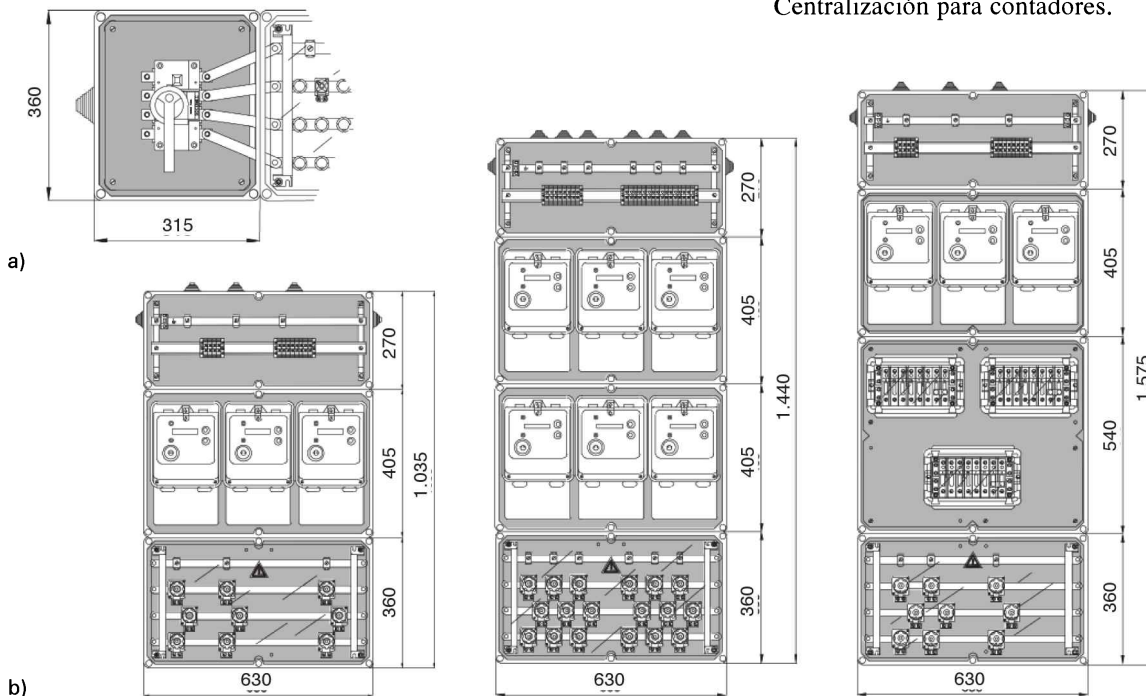


Figura 4.15. Centralización de contadores trifásicos para más de 15 kW (contadores electrónicos). a) Interruptor General de Maniobra. b) Módulos para instalación de elementos de protección, medida, comprobación y bornas de salida.

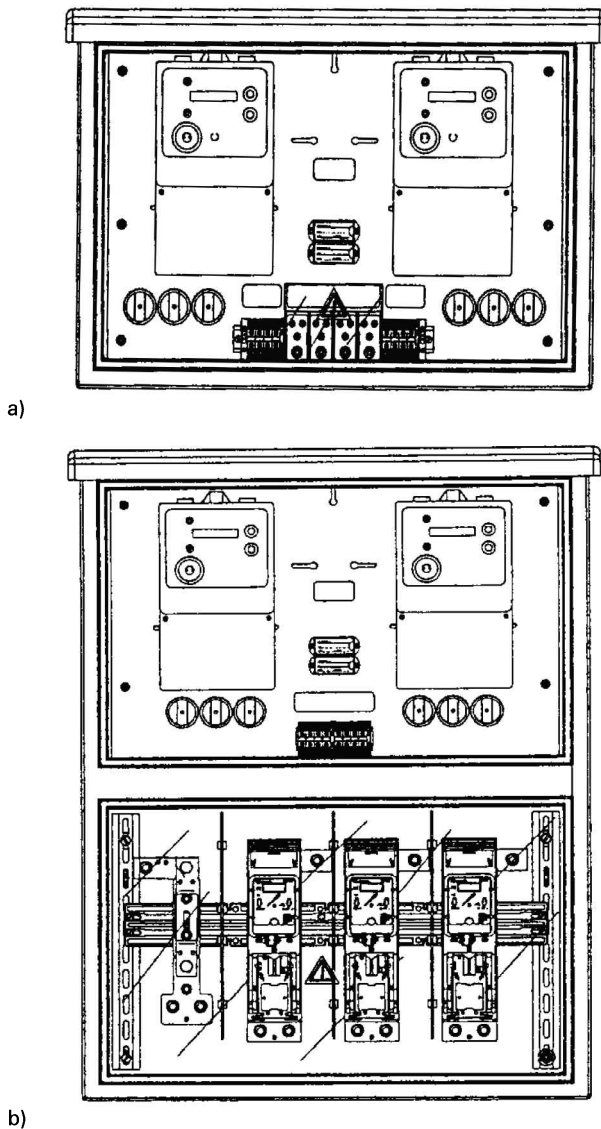


Figura 4.16. Caja de Protección y Medida destinada para 2 suministros monofásicos de menos de 15 kW. a) Sin seccionamiento. b) Con seccionamiento.

- Unidad funcional de embarrado y fusibles, compuesta por cuatro pletinas de cobre de 20 por 4 mm aproximadamente, tres para las fases y una para el neutro (que suele ser la superior), y es de donde parten las derivaciones individuales. Se incorporan sobre las pletinas de fase los cortacircuitos fusibles de protección de las derivaciones individuales.

Los cortacircuitos fusibles son por lo general de tipo Neozed, con capacidad de corte de acuerdo con el tipo de centralización (pequeño 63 amperios para centralizaciones de contadores monofásicos y grande 100 amperios para centralizaciones de contadores trifásicos). Habrá tantos fusibles como derivaciones individuales haya, más uno para el reloj para la discriminación horaria.

- Unidad funcional de medida, que es donde se alojan los contadores y los relojes para la discriminación horaria.

Pueden alojarse contadores monofásicos o contadores trifásicos. Por lo general, en un mismo módulo no se suelen mezclar los contadores monofásicos y los trifásicos, sino que se ponen dos módulos independientes.

- Unidad funcional de embarrado de protección y bornes de salida, de donde parten las derivaciones individuales. Está compuesta por unas clemas de conexión, con capacidad para cables de hasta 25 mm², una barra de cobre de 20 por 4 mm para la conexión del conductor de protección (tierra), bornas seccionables de aproximadamente 4 mm² para la conexión del sistema de doble tarifa (tarifa nocturna) y contactores, uno por contador, que sirven para el accionamiento y mando de la tarifa nocturna tanto de los contadores de doble tarifa como del contactor y el puenteo del ICP que está en la vivienda.

Esta parte del módulo estará cableada con cable rígido de clase 2 de 10 mm², del tipo no propagador de la llama y reducida emisión de humos sin halógenos. Estará prevista la conexión reloj-contadores-contactores, que se realizará con cable de 2,5 mm².

4.13.2.1. Módulo para centralizaciones de viviendas

La potencia normal de suministro es inferior o igual a 15 kW. Se preverá un contador de energía activa por suministro (pueden ser monofásicos o trifásicos), y un reloj para el conjunto del módulo, de forma que si algún usuario contrata la tarifa nocturna no necesitará realizar ninguna obra.

Los módulos tendrán en el embarrado de salida los contactores y las bornas seccionables que se describen en el párrafo anterior.

Los módulos prefabricados se construyen para una capacidad máxima de 250 A y pueden alojar 2, 3, 5, 7, 8, 11 o 15 contadores dependiendo del fabricante y de la carga prevista para cada vivienda (recordamos que la potencia máxima del módulo es de 250 A y la máxima potencia por derivación individual es de 14,49 kW para monofásicos y 15 kW para trifásicos).

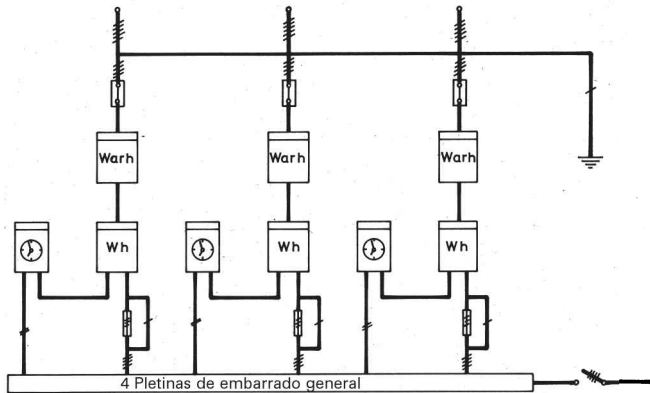
Módulo para viviendas.

(Véase Esquema 4.13.)

4.13.2.2. Módulo para centralizaciones de locales comerciales y oficinas con medida directa

Para suministros con potencia inferior o igual a 15 kW, la unidad funcional de medida estará constituida por un hueco para un contador de activa, monofásico o trifásico, y un hueco para un reloj de discriminación horaria.

Por lo general, se debe prever que la potencia que demande del local o la oficina sea superior a 15 kW, por lo que se preverá un módulo por local u oficina, con tres huecos, uno para activa (monofásico o trifásico), otro para reactiva (monofásico o trifásico) y un hueco para el reloj, o preparado para alojar contadores electrónicos multifunción.

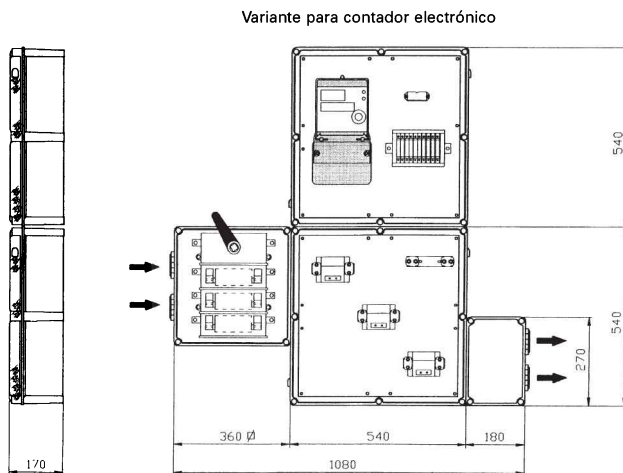


Esquema 4.17. Centralización de contadores para locales y oficinas. Medida directa. Esquema de conexión.

4.13.2.3. Módulo para centralizaciones de locales comerciales y oficinas con medida indirecta

La potencia prevista para los locales u oficinas es superior a 50 kW, por lo que es necesaria la medida indirecta.

La centralización constará, para cada uno de los suministros, de un módulo con un hueco para un contador de activa trifásico, otro para un contador de reactiva trifásico y un hueco para el reloj. En la parte inferior se colocará un módulo adicional donde se ubiquen los transformadores de intensidad y las regletas de comprobación.



Esquema 4.18. Centralización de contadores para locales y oficinas. Medida indirecta.

Estos módulos incorporan un desconectador (interruptor de corte en carga) en el mismo módulo.

Observación:

Hasta ahora se ha descrito la Línea General de Alimentación de un edificio que tiene varios abonados.

Si el edificio tiene un solo abonado, no existe línea general de alimentación y la Caja General de Protección enlaza directamente con el equipo de medida del usuario, y éste a su vez con los mecanismos de mando y protección.

4.13.3. Determinación práctica del número de huecos y módulos necesarios en una centralización de contadores

4.13.3.1. Huecos

Un punto importante en el diseño de la instalación eléctrica de un edificio es la previsión de huecos y espacios para la ubicación de las instalaciones, y en concreto la ubicación de los equipos de medida.

Los módulos para la colocación de los contadores y equipos de medida están normalizados, y las empresas eléctricas los tienen descritos en sus normas particulares, indicando forma, capacidad, etc., pero no está de más conocer algún método de cálculo que permita saber el criterio seguido por las empresas a la hora de dimensionar las centralizaciones de contadores.

En edificios de viviendas, los módulos se calculan dejando un espacio para alojar en cada centralización un reloj para la tarifa nocturna, siempre que se prevean potencias de menos de 15 kW.

Para viviendas donde se prevean potencias de más de 15 kW hacen falta tres huecos, pues se necesitarán contadores de activa, reactiva y reloj.

En locales comerciales se dejarán tres huecos por cada 50 m² de superficie o fracción y/o 5 metros lineales de fachada.

Para garajes se preverán tres huecos.

Para los servicios generales, tres huecos.

El número de módulos a instalar se calculará de la siguiente manera:

Tabla 4.17. Cálculo de módulos de una centralización de contadores

Viviendas	Módulos según los huecos calculados anteriormente
Servicios generales	Módulo específico de tres huecos (más de 15 kW)
Garaje	Módulo específico de tres huecos (más de 15 kW)
Locales comerciales determinados	Módulo específico de tres huecos (más de 15 kW)
Locales comerciales sin determinar	Módulo específico de tres huecos (más de 15 kW) por cada 200 m ² de superficie

4.13.3.2. Tipo de centralización

Queda un elemento a determinar, que es el tipo de centralización de contadores, bien tipo armario o tipo cuarto de contadores.

Lo más general es la instalación de las centralizaciones en cuartos de contadores; no obstante, cuando se trata de pequeños edificios se pueden utilizar los armarios. Los criterios seguidos por algunos autores son:

Tabla 4.18. Determinación de la centralización de contadores

Hasta 16 contadores	Armario o cuarto de contadores
Hasta 16 contadores	1,50 m de pared libre
De 17 a 24 contadores	2,40 m de pared libre
De 25 a 36 contadores	3,30 m de pared libre
De 16 contadores en adelante	Cuarto de contadores

4.14 Derivaciones individuales

Se definen como las líneas que unen la centralización de contadores, y en concreto el contador o equipo de medida de cada cliente con los dispositivos privados de mando y protección que estarán en el interior del local o vivienda del cliente.

Están descritas en la instrucción ITC-BT 15.

4.14.1. Composición

Las derivaciones individuales estarán compuestas por los conductores de fase: uno si la distribución es monofásica y tres si la distribución es trifásica, el conductor de neutro, el de protección y el hilo rojo de mando (en el caso de viviendas y locales preparados para tarifa nocturna), para accionamiento de los contactores que estén alojados en la vivienda.

El hilo de mando será un cable de color rojo, de 1,5 mm² de sección, que actuará de neutro, y que estará conectado al contactor de la centralización de contadores.

Los conductores de fase serán de color negro o marrón en el caso de ser monofásico, y si es trifásico además se añadirá

el gris. El dimensionado se realizará de acuerdo con el grado de electrificación o potencia máxima prevista y la distancia de la centralización al cuadro general de mando y protección.

El conductor de neutro es de color azul claro y se dimensiona igual que los conductores de fase hasta 16 mm², y la mitad de la sección de fase para secciones superiores. Hay E.S.E. que exigen que la sección de conductor neutro sea igual que el de las fases.

El conductor de protección es de color amarillo y verde a rayas, y se conecta en el embarrado de protección de la salida de la centralización de contadores. Se dimensiona igual que un conductor neutro.

4.14.2. Tipos de derivaciones individuales

Según el reglamento de Baja Tensión se pueden realizar de cuatro formas:

- Conductores aislados en el interior de tubos empotrados.
- Conductores aislados en el interior de tubos en montaje superficial.
- Canalizaciones prefabricadas.
- Conductores aislados con cubierta metálica en montaje superficial.

Aunque se puede utilizar cualquiera de ellos, es necesario seguir las instrucciones particulares de las empresas eléctricas, que por lo general utilizan conductores aislados en el interior de tubos empotrados.

4.14.3. Trazado

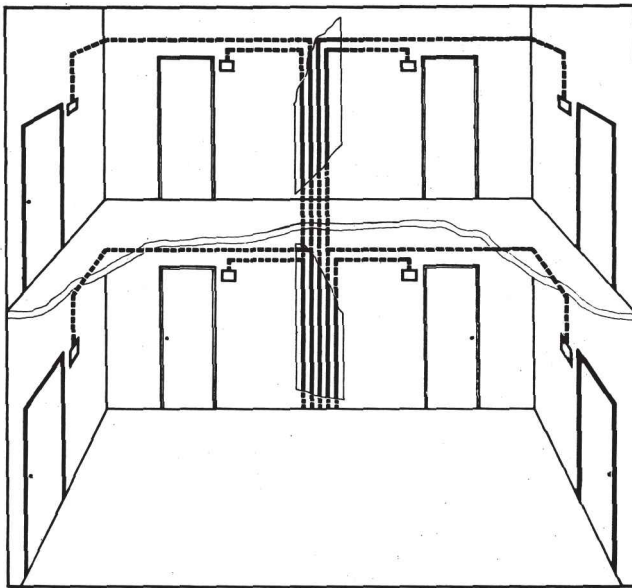
Las derivaciones individuales deben circular por lugares de uso común, utilizando el menor recorrido posible desde la centralización a cada uno de los suministros.

Por lo general, los tubos se alojan en canaladuras preparadas para este fin, que suelen ir por la vertical de la escalera, a los lados del ascensor si lo hubiere, y evitando cambios bruscos de dirección, y cerradas para evitar ser practicadas, excepto en la parte superior de cada descansillo donde se practica un registro a 20 cm del techo, que permite tanto el trabajo del instalador como la inspección de las instalaciones.

El registro debe ser precintable y tendrá unas dimensiones de 30 cm de altura y de ancho el mismo de la canaladura.

También se pueden plantear canaladuras horizontales cuando los suministros estén en la misma planta, como puede ser una galería comercial, un edificio con centralizaciones por planta, etc. En este caso se realizarán también registros cuando haya cambios de dirección o cuando se queden derivaciones individuales para el suministro de los diferentes clientes.

La canaladura tendrá un fondo de 15 cm por fila de tubos superpuestos, dejando una distancia entre ejes de tubos de 5 cm para facilitar los trabajos del instalador.



Esquema 4.19. Trazado de una canaladura de un edificio de viviendas.

La sujeción de los tubos se hará exclusivamente a la altura de los registros y no a lo largo de la canaladura, que impediría trabajos posteriores de sustitución de tubos. Esta sujeción se hará mediante abrazaderas metálicas, de plástico, etc., que faciliten su colocación, así como su eventual sustitución.

Las derivaciones que se queden en cada piso serán las de los extremos y de la fila delantera, evitando pasar por delante de otras derivaciones. Los conductores irán sin protección de tubo rígido, dentro del registro de cada piso, desde la salida del tubo de la derivación individual hasta la entrada en el tubo empotrado que lo lleve al interior de la vivienda o el local, por lo que es necesario aumentar las medidas de protección, precintando los registros para evitar deterioros o conexiones fraudulentas. En ocasiones se coloca una protección de tubo flexible que evita la manipulación.

En todas las canaladuras verticales es necesaria la colocación de placas cortafuegos al menos cada tres plantas, y lo ideal es una por planta. La pared tendrá un RF-120.

4.14.4. Características y dimensionado de las canalizaciones

Los tubos serán rígidos, no propagarán la llama, serán autoextinguibles y de características mínimas 4321.

Se colocará uno por cada derivación individual, de un diámetro mínimo de 40 mm, dimensionados de acuerdo con la sección de la fase de los conductores activos y con un diámetro nominal que permita ampliar la sección de los conductores en un 100%.

En locales comerciales y oficinas, se dejará, como mínimo, un tubo de 50 mm \varnothing por cada 50 m² si no se conoce la utilidad ni la división de los locales.

4.14.5. Características de los conductores

Los conductores serán de cobre aislado, con aislamiento para 750 V y con materiales exentos de halógenos, a base de mezclas termoestables ignífugas.

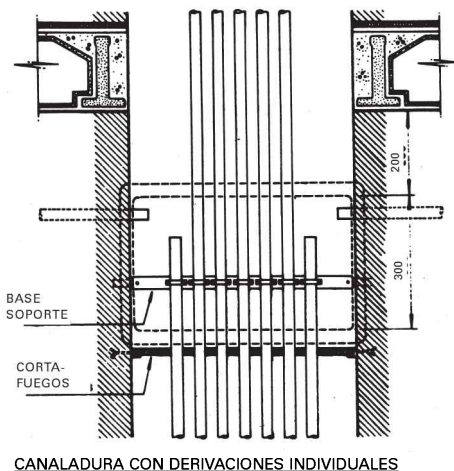
Para el dimensionado de los conductores se tendrá en cuenta:

- El grado de electrificación o la máxima potencia prevista.

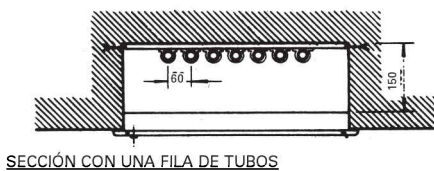
La longitud desde la centralización de contadores hasta el Cuadro General de Mando y Protección, y la máxima caída de tensión admisible.

En instalaciones con contadores totalmente centralizados:	1%
En instalaciones de otro tipo:	0,5%

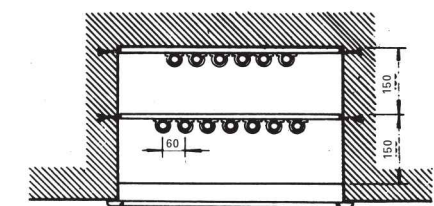
El cálculo de la sección de la derivación individual se realiza por densidad de corriente de acuerdo con la norma UNE 20460-5-523:2004, por caída de tensión y por corriente de cortocircuito.



CANALADURA CON DERIVACIONES INDIVIDUALES



SECCIÓN CON UNA FILA DE TUBOS



SECCIÓN CON DOS FILAS DE TUBOS

Esquema 4.20. Detalle de una canaladura de un edificio.

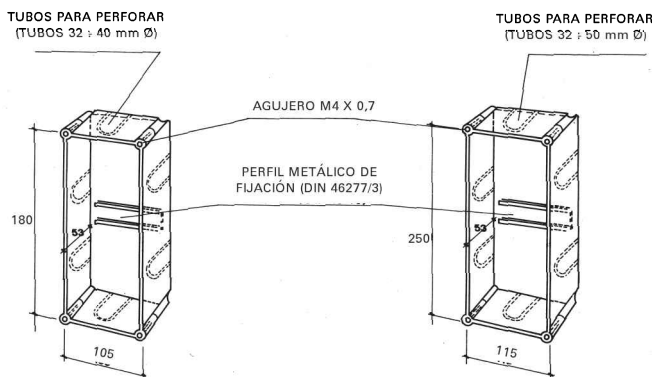
4.15 Interruptor de Control de Potencia

El último elemento de la instalación de enlace lo constituye el emplazamiento del Interruptor de Control de Potencia, ICP.

El interruptor de Control de Potencia es un elemento de medida, en forma de interruptor magnetotérmico, que se instala de acuerdo con la potencia contratada en el caso de que el cliente quiera limitar su potencia mediante un sistema fijo.

4.15.1. Ubicación y características

El ICP se coloca a la entrada de la vivienda o del local, a una altura de 1,80 m del suelo aproximadamente, inmediatamente antes del cuadro general de mando y protección. Se instala en una caja precintable, normalizada por UNESA con la norma 1407 y de dimensiones 105 × 180 × 53 mm para cables de hasta 10 mm² y de 250 × 115 × 53 mm para secciones superiores a 10 mm² con huellas para tubos de 32 a 50 mm.



Esquema 4.21. Detalle de cajas para ICP.

En estas cajas también se aloja el contactor para tarifa nocturna en el caso de que el cliente contrate más potencia de noche que de día. En este caso es necesario colocar un contactor que puentea el limitador o ICP por la noche. Este contactor estará conectado con la centralización de contadores a través del hilo rojo de mando descrito anteriormente en el apartado relativo a la derivación individual.

Cuando el usuario contrata dos potencias distintas, una para el día y otra para la noche, es necesaria la colocación de dos ICP, y por tanto dos cajas o una caja adaptada para la colocación de los dos mecanismos. En estos casos es necesario contactar con la empresa eléctrica de la zona para que nos facilite las cajas y mecanismos que tenga normalizados dentro de sus normas particulares.

4.15.2. Ejemplo de cálculo de la intensidad de los ICP

Como en capítulos anteriores, se ha diseñado una tabla para el cálculo rápido y dimensionado de los ICP en función de la potencia contratada por el usuario, para suministros monofásicos y suministros trifásicos.

Suministros monofásicos:

Tabla 4.19. Intensidad ICP. Suministro monofásico

Intensidad del ICP en amperios	15	25	40	50	63
--------------------------------	----	----	----	----	----

Para suministros trifásicos:

Tabla 4.20. Intensidad ICP. Suministro trifásico

Potencia contratada	3.460 W	6.920 W	10.390 W	13.850 W	17.320 W	20.780 W
Intensidad del ICP por fase en A	5	10	15	20	25	30

4.15.3. Potencias de contratación

Independientemente de las potencias de cálculo de ICP que el proyectista maneja a la hora de diseñar una vivienda, posteriormente el dueño del edificio puede contratar con la empresa eléctrica la potencia que él desee en función de sus necesidades y siempre por debajo de la capacidad técnica de la instalación.

Las potencias normalizadas de contratación aparecidas en el BOE se describen en el capítulo sobre tarifas eléctricas de este libro.

4.16 Cuadro General de Mando y Protección

Es el elemento de la instalación que aloja todos los mecanismos de seguridad, protección y control de la vivienda o local.

Está regulado en el REBT instrucción ITC-BT 17 bajo el epígrafe «dispositivos privados de mando y protección».

4.16.1. Ubicación

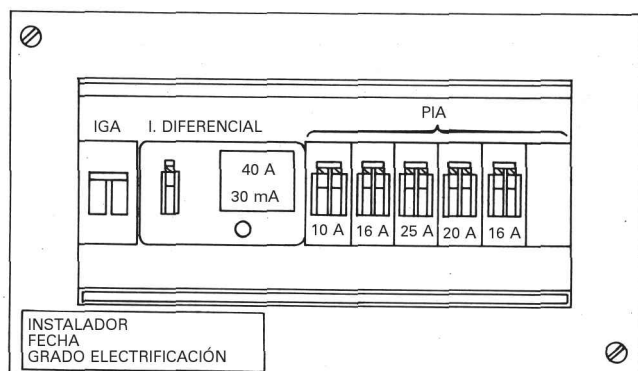
Se coloca al principio de la instalación interior, después de la caja de ICP y lo más cerca posible de la entrada.

El cuadro general puede ser único o pueden existir varios que cuelguen de uno general, dependiendo de la configuración de la instalación interior.

4.16.2. Composición y montaje

Los elementos que como mínimo componen un cuadro general de mando y protección son:

- Elemento general de corte de la instalación.
- Protección diferencial.
- Protección magnetotérmica.
- Borne de tierra.



Esquema 4.22. Cuadro General de Mando y Protección.

La conexión se hace en este orden siguiendo el sentido de la corriente. La conexión de los mecanismos IGA y Diferencial se realizará con cable de cobre de sección igual a la sección de fase que llegue al cuadro. La conexión del diferencial con el resto de los Interruptores Automáticos se realizará con barras colectoras.

Cuando existe un solo cuadro general en la instalación, los elementos de los que se compone son:

a) IGA, Interruptor General Automático (interruptor magnetotérmico) es el encargado de proteger a la instalación contra sobrecargas y cortocircuitos.

Se coloca en el primer lugar del cuadro a la entrada de la corriente.

Serán bipolares o tetrapolares según el suministro.

Se utiliza como elemento de corte general de la instalación.

Será dimensionado de acuerdo con la sección de la derivación individual.

Se recomienda que la intensidad de cortocircuito sea como mínimo de 4,5 kA.

b) ID, Interruptor Diferencial, de alta sensibilidad, de 30 mA de intensidad máxima de defecto y 40 ms de tiempo máximo de respuesta, dimensionado de acuerdo con la potencia máxima prevista en la instalación.

Tiene como misión proteger a las personas y a los animales contra corrientes de falta, contactos directos y contactos indirectos.

No se debe utilizar como elemento general de corte, porque para eso está el IGA. Debe probarse periódicamente utilizando el botón de prueba que llevan estos mecanismos.

No se debe olvidar que los diferenciales de alta sensibilidad aportan una protección muy eficaz contra los incendios, al limitar a potencias muy bajas las eventuales fugas de energía eléctrica debidas a defectos de aislamiento.

c) PIA, varios pequeños interruptores automáticos, cada uno destinado a proteger un circuito interior, por lo que habrá tantos como circuitos interiores haya.

Se dimensionan de acuerdo con la sección del circuito interior que protegen.

Se recomienda que la intensidad de cortocircuito sea de 6 kA como mínimo.

Tienen como misión proteger las instalaciones y los receptores que están conectados a ellas contra sobrecargas y cortocircuitos.

La intensidad nominal de los PIA se calcula en función de la potencia máxima para la que se ha diseñado el circuito, y por tanto de su sección.

Según esto, se puede establecer la siguiente tabla de cálculo rápido:

Tabla 4.21. Cálculo de PIA

Intensidad nominal del PIA en amperios	10	16	20	25

d) Bornes de tierra, un borne con una regleta para conectar el conductor de protección procedente de la centralización de contadores, y dividir en tantos conductores de protección como circuitos interiores haya.

e) Otros mecanismos.

En instalaciones de calefacción con tarifa nocturna se colocan contactores y en algunos casos relojes de conexión-desconexión, para el manejo de la tarifa nocturna.

En viviendas o locales con instalaciones domóticas se colocan los elementos de regulación y control de las instalaciones domóticas, así como los módulos de conexión telefónica.

Descargadores de sobretensiones cuando proceda.

Cuando existen varios cuadros en la instalación:

Cuando existen varios cuadros, como por ejemplo en una instalación eléctrica de obra, el cuadro general se coloca a la entrada, cerca de la llegada del suministro.

En este cuadro están las protecciones diferenciales, los elementos generales de corte y un protector para cada cuadro secundario que se vaya a instalar.

El IGA tendrá capacidad de corte para el total de la instalación, el diferencial será de media sensibilidad, de 300 mA

selectivo, y dimensionado de acuerdo con la potencia de la instalación. Los PIA, tantos como cuadros secundarios, se dimensionarán de acuerdo con la sección del circuito que llegue al cuadro secundario y el borne de tierra.

Estos PIA tendrán como misión proteger a la línea y a los cuadros secundarios contra sobrecargas y cortocircuitos.

Los cuadros secundarios serán como los cuadros generales descritos anteriormente, con su IGA correspondiente, su diferencial de alta sensibilidad, sus PIA según los circuitos que protejan y el borne de tierra.

4.16.3. Características del Cuadro General de Mando y Protección

El cuadro donde se alojan los mecanismos de seguridad y protección es aislante, de material autoextinguible y no propagador de la llama; en el caso de ser metálico debe llevar un punto de puesta a tierra, de tamaño variable según los elementos que se vayan a instalar en el cuadro.

El sistema de colocación de los mecanismos es a base de carriles DIN.

Puede ser de superficie o para empotrar, que suele ser lo más general.

Llevan una tapa de protección que oculta todas las conexiones eléctricas e impiden contactos accidentales con elementos activos, dejando al exterior los elementos de manipulación de los mecanismos.

En esa tapa, y de forma bien visible, deberá colocar el instalador una etiqueta donde figuren al menos los siguientes datos:

- Nombre y datos del instalador.
- Grado de electrificación de la vivienda.
- Fecha de instalación.

4.16.4. Tipos de Cuadros Generales específicos para uso de viviendas

Dependiendo del grado de electrificación o del equipamiento que se decida, los cuadros tendrán diferentes composiciones. A modo de ejemplo se describen los más comunes, teniendo presente que el cuadro es muy particular de cada instalación, por lo que se puede decir que cada instalación lleva su propio cuadro.

4.16.4.1. Cuadro para grado de electrificación básica

Está compuesto, como mínimo, por:

- Un IGA de 25 o 32 A.
- Un interruptor diferencial de 40 A-30 mA.

- Cinco PIA de 10, 16, 25, 20 y 16 A.
- Borne de protección.

De este cuadro saldrán cinco circuitos en sus respectivos tubos.

4.16.4.2. Cuadro para grado de electrificación elevada

Está compuesto, al menos, por:

- Un IGA de 40, 50 o 63 A.
- Dos interruptores diferenciales de 40 A-30 mA como mínimo.
- Ocho PIA de 10, 10, 16, 16, 25, 20, 16 y 25 A y los necesarios según los circuitos (véase Apartado 4.17.2.3).
- Borne de protección.

De este cuadro saldrán ocho circuitos, para alumbrado, para pequeños electrodomésticos, para aparatos de lavar, para cocina y horno y para aparatos de calefacción o aire acondicionado, etc.

4.17 Instalación interior

Es la parte de la instalación eléctrica, propiedad del usuario, que partiendo del cuadro general de mando y protección enlaza con todos los receptores fundamentalmente a través de puntos de luz y tomas de corriente.

Las tensiones de utilización en corriente alterna no serán superiores a 250 V con relación a tierra, y los conductores utilizados en la instalación interior serán rígidos o flexibles, pero de cobre, con una tensión nominal de 750 V.

De forma general se pueden distinguir dos tipos de instalaciones:

- Las de viviendas.
- Otras actividades y usos.

Las instalaciones de viviendas están muy definidas en el REBT/2002, donde se indica el número de tomas de corriente, circuitos, etc., que deben tener, por lo que la actividad del proyectista está muy guiada por el REBT.

El resto de las instalaciones se tiene que realizar de acuerdo con la normativa vigente, pero el proyectista tiene amplia libertad para el diseño y ejecución de la obra, no existiendo dos proyectos iguales. Siguen siendo válidas todas las recomendaciones sobre protección de circuitos a la salida de los cuadros, protección a contacto directo e indirecto, etc. En estas instalaciones se recomienda de forma general no poner secciones inferiores a:

Circuitos de alumbrado	1,5 mm ²
Circuito de fuerza y tomas de corriente	2,5 mm ²

A continuación se recoge la particularización de la instalación interior de un edificio de viviendas.

4.17.1. Instalaciones interiores específicas para edificios de viviendas

Las secciones de los conductores dependen de los diferentes circuitos, y como orientación las secciones mínimas utilizadas son:

Alumbrado	1,5 mm ²
Tomas de corrientes	2,5 mm ²
Circuitos de máquinas de lavar y calentadores	4 mm ²
Circuito de cocina	6 mm ²
Circuito de calefacción y aire acondicionado	6 mm ²

Los conductores de protección serán de cobre de la misma sección que los conductores de fase.

Los colores normalizados son:

Fase: Negro o marrón.

Neutro: Azul claro.

Protección: Amarillo-verde a rayas.

No se utilizará un mismo conductor de neutro para varios circuitos.

Los interruptores se colocarán sobre el conductor de fase.

Las conexiones de los conductores se harán dentro de cajas de derivaciones mediante bornes de conexión y nunca por retorcimiento.

Los circuitos se realizarán a base de conductores aislados bajo tubo en montaje superficial o empotrado preferentemente.

4.17.2. Número de circuitos

El número de circuitos que debe llevar una instalación interior dependerá del equipamiento eléctrico y la utilidad que se le vaya a dar al local o la vivienda.

En cualquier caso, el Reglamento de Baja Tensión establece unos mínimos de calidad para que existan unos puntos de utilización habitación por habitación que garanticen la satisfacción de las necesidades mínimas de los usuarios.

Estos mínimos se establecen en función del grado de electrificación de la vivienda, e insistiendo en que se tienen que considerar como mínimos, tenemos:

4.17.2.1. Electrificación básica

La electrificación básica cuenta con los siguientes circuitos independientes:

C1 Circuito de distribución interna, destinado a alimentar los puntos de iluminación.

C2 Circuito de distribución interna, destinado a tomas de corriente de uso general y frigorífico.

C3 Circuito de distribución interna, destinado a alimentar la cocina y horno.

C4 Circuito de distribución interna, destinado a alimentar la lavadora, lavavajillas y termo eléctrico.

Tabla 4.22. Características eléctricas de los circuitos de una electrificación básica

Código	Descripción	Longitud (m)	Sección (mm ²)	Sección (mm ²)	Base	Nº de bases	Nº de puntos	Sección (mm ²)	Nº de puntos
C ₁	Iluminación	200	0,75	0,50	Punto de luz ⁽⁹⁾	10	30	1,5	20
C ₂	Tomas de uso general	3.450	0,20	0,25	Base 16A 2p+PE	16	20	2,5	20
C ₃	Cocina y horno	5.400	0,50	0,75	Base 25 A 2p+PE	25	2	6	25
C ₄	Lavadora, lavavajillas y termo eléctrico	3.450	0,66	0,75	Base 16A 2p+PE combinadas con fusibles o interruptores automáticos de 16 A ⁽⁸⁾	20	3	4 ⁽⁶⁾	20
C ₅	Baño, cuarto de cocina	3.450	0,40	0,5	Base 16A 2p+PE	16	6	2,5	20

⁽¹⁾ La tensión considerada es de 230 V entre fase y neutro.
⁽³⁾ Diámetros externos según ITC-BT 21.
⁽⁵⁾ Este valor corresponde a una instalación de dos conductores y tierra con aislamiento de PVC bajo tubo empotrado en obra, según tabla 1 de ITC-BT-19. Pueden requerirse otras secciones para otros tipos de cable o condiciones de instalación.
⁽⁶⁾ En este circuito exclusivamente, cada toma individual puede conectarse mediante un conductor de sección 2,5 mm² que parta de una caja de derivación del circuito de 4 mm².
⁽⁷⁾ Las bases de toma de corriente de 16 A 2p+PE serán fijas del tipo indicado en la figura C2a y las de 25 A 2p+PE serán del tipo indicado en la figura ESB 25-5A, ambas de la norma UNE 20315.
⁽⁸⁾ Los fusibles o interruptores automáticos no son necesarios si se dispone de circuitos independientes para cada aparato, con interruptor automático de 16 A en cada circuito. El desdoblamiento del circuito con este fin no supondrá el paso a electrificación elevada ni la necesidad de disponer de un diferencial adicional.
⁽⁹⁾ El punto de luz incluirá conductor de protección PE.

C5 Circuito de distribución interna, destinado a alimentar tomas de corriente de los cuartos de baño, así como las bases auxiliares del cuarto de cocina.

4.17.2.2. Electrificación elevada

Es el caso de viviendas con una previsión importante de aparatos electrodomésticos que obligue a instalar más de un circuito de cualquiera de los tipos descritos en el Apartado 4.17.2.1, así como con previsión de sistemas de calefacción eléctrica, acondicionamiento de aire, automatización, gestión técnica de la energía y seguridad o con superficies útiles de las viviendas superiores a 160 m². En este caso se instalarán, además de los correspondientes a la electrificación básica, los siguientes circuitos:

- C6 Circuito adicional del tipo C1 por cada 30 puntos de luz.
- C7 Circuito adicional del tipo C2, por cada 20 tomas de corriente de uso general o si la superficie útil de la vivienda es mayor de 160 m².

C8 Circuito de distribución interna, destinado a la instalación de calefacción eléctrica, cuando exista previsión de ésta.

C9 Circuito de distribución interna, destinado a la instalación de aire acondicionado, cuando exista previsión de éste.

C10 Circuito de distribución interna, destinado a la instalación de secadora independiente.

C11 Circuito de distribución interna, destinado a la alimentación de automatización, gestión técnica de la energía y de seguridad cuando exista previsión de éste.

C12 Circuitos adicionales de cualquiera de los tipos C3 o C4 cuando se prevean, o circuito adicional del tipo C5, cuando su número de tomas de corriente exceda de 6.

Tanto para la electrificación básica como para la elevada, se colocará, como mínimo, un interruptor diferencial de las características indicadas en la ITC-25, por cada cinco circuitos instalados.

Tabla 4.23. Características eléctricas de los circuitos de una electrificación elevada

C ₁ Iluminación	200	0,75	0,50	Punto de luz ⁽⁹⁾	10	30	1,5	16
C ₂ Tomas de uso general	3.450	0,20	0,25	Base 16A 2p+PE	16	20	2,5	20
C ₃ Cocina y horno	5.400	0,50	0,75	Base 25 A 2p+PE	25	2	6	25
C ₄ Lavadora, lavavajillas y termo eléctrico	3.450	0,66	0,75	Base 16A 2p+PE combinadas con fusibles o interruptores automáticos de 16 A ⁽⁸⁾	20	3	4 ⁽⁶⁾	20
C ₅ Baño, cuarto de cocina	3.450	0,40	0,50	Base 16A 2p+PE	16	6	2,5	20
C ₈ Calefacción	⁽²⁾	---	---	---	25	---	6	25
C ₉ Aire acondicionado	⁽²⁾	---	---	---	25	---	6	25
C ₁₀ Secadora	3.450	1,0	0,75	Base 16A 2p+PE	16	1	2,5	20
C ₁₁ Automatización	⁽⁴⁾	---	---	---	10	---	1,5	16

⁽¹⁾ La tensión considerada es de 230 V entre fase y neutro.
⁽²⁾ La potencia máxima permisible por circuito será de 5.750 W.
⁽³⁾ Diámetros externos según ITC-BT 21.
⁽⁴⁾ La potencia máxima permisible por circuito será de 2.300 W.
⁽⁵⁾ Este valor corresponde a una instalación de dos conductores y tierra con aislamiento de PVC bajo tubo empotrado en obra, según tabla 1 de ITC-BT-19. Pueden requerirse otras secciones pueden ser requeridas para otros tipos de cable o condiciones de instalación.
⁽⁶⁾ En este circuito exclusivamente, cada toma individual puede conectarse mediante un conductor de sección 2,5 mm² que parta de una caja de derivación del circuito de 4 mm².
⁽⁷⁾ Las bases de toma de corriente de 16 A 2p+PE serán fijas del tipo indicado en la figura C2a y las de 25 A 2p+PE serán del tipo indicado en la figura ESB 25-5A, ambas de la norma UNE 20315.
⁽⁸⁾ Los fusibles o interruptores automáticos no son necesarios si se dispone de circuitos independientes para cada aparato, con interruptor automático de 16 A en cada circuito. El desdoblamiento del circuito con este fin no supondrá el paso a electrificación elevada ni la necesidad de disponer de un diferencial adicional.
⁽⁹⁾ El punto de luz incluirá conductor de protección PE.

4.17.2.3. Cálculo de la potencia para cada circuito

El valor de la intensidad de corriente prevista en cada circuito se calculará de acuerdo con la fórmula:

$$I = N \times I_a \times F_s \times F_u$$

donde:

- N : Número de tomas o receptores.
 I_a : Intensidad prevista por toma o receptor.
 F_s (factor de simultaneidad): Relación de receptores conectados simultáneamente sobre el total.

F_u (factor de utilización): Factor medio de utilización de la potencia máxima del receptor.

Para las instalaciones de viviendas los conductores a utilizar sólo podrán ser de cobre.

4.17.3. Puntos de utilización

Como se ha comentado y descrito anteriormente, cada pieza de la vivienda tendrá que tener un número mínimo de tomas de corriente y puntos de utilización según la ITC-BT 25, pág. 7, y que son alimentados por los diferentes circuitos que debe tener la vivienda.

Tabla 4.24. Puntos de utilización mínimos de cada estancia

Estancia	Circuito	Mecanismo	N.º mínimo	Superficie/Longitud
Acceso	C ₁	Pulsador - timbre	1	---
Vestíbulo	C ₁	Punto de luz	1	---
		Interruptor 10 A	1	---
Sala de estar o Salón	C ₂	Base 16 A 2p+ PE	1	---
	C ₁	Punto de luz	1	hasta 10 m ² (dos si S > 10 m ²)
		Interruptor 10 A	1	uno por cada punto de luz
	C ₂	Base 16 A 2p + PE	3 ⁽¹⁾	una por cada 6 m ² , redondeado al entero superior
Dormitorios	C ₈	Toma de Calefacción	1	hasta 10 m ² (dos si S > 10 m ²)
	C ₉	Toma de Aire Acondicionado	1	hasta 10 m ² (dos si S > 10 m ²)
	C ₁	Puntos de luz	1	hasta 10 m ² (dos si S > 10 m ²)
		Interruptor 10 A	1	uno por cada punto de luz
	C ₂	Base 16 A 2p + PE	3 ⁽¹⁾	una por cada 6 m ² , redondeado al entero superior
	C ₈	Toma de Calefacción	1	---
Baños	C ₁	Puntos de luz	1	---
		Interruptor 10 A	1	---
	C ₅	Base 16 A 2p + PE	1	---
	C ₈	Toma de Calefacción	1	---
Pasillos o distribuidores	C ₁	Puntos de luz	1	uno cada 5 m de longitud
		Interruptor/Conmutador 10 A	1	uno en cada acceso
	C ₂	Base 16 A 2p + PE	1	hasta 5 m (dos si L > 5 m)
Cocina	C ₈	Toma de Calefacción	1	---
		C ₁	Puntos de luz	1
	C ₁	Interruptor 10 A	1	uno por cada punto de luz
		C ₂	Base 16 A 2p + PE	2

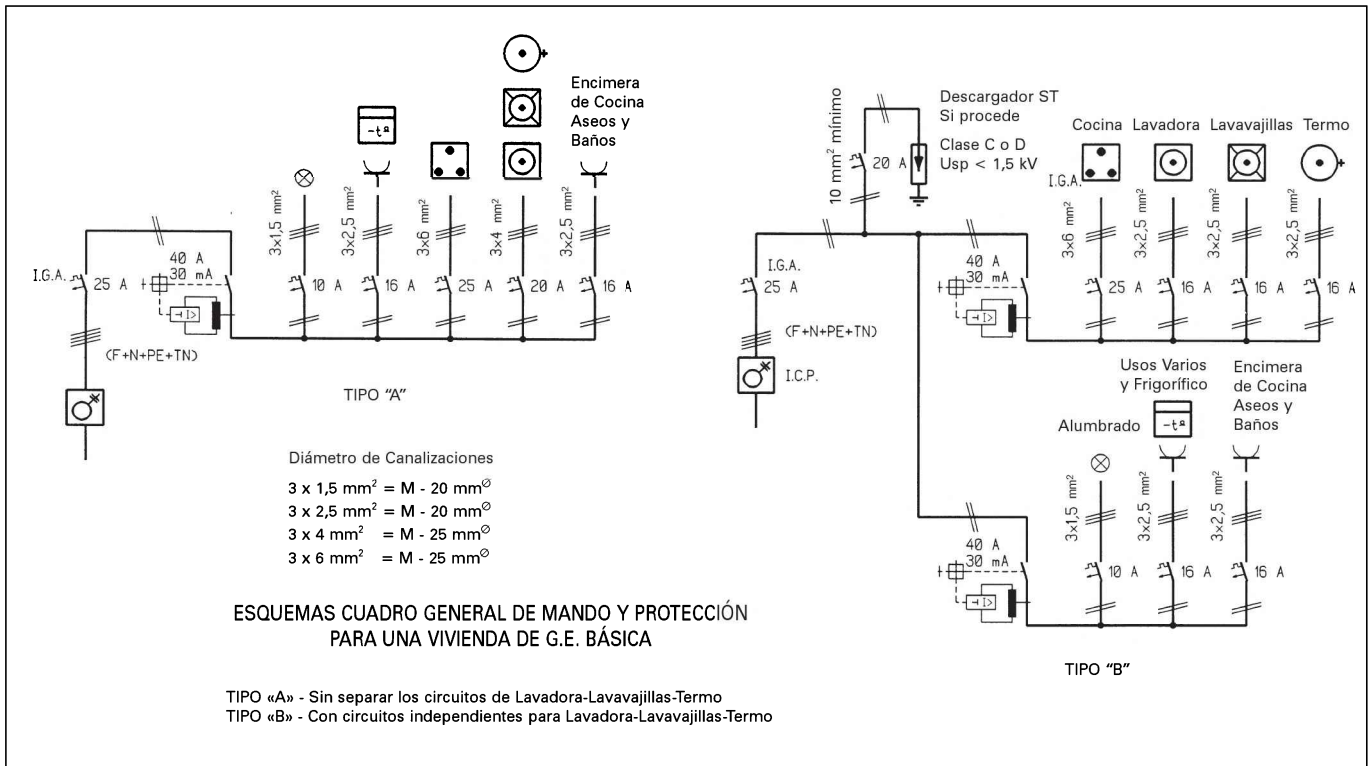
⁽¹⁾ Donde se prevea la instalación de una toma para el receptor de TV, la base correspondiente deberá ser múltiple, y en este caso se considerará como una sola base a los efectos del número de puntos de utilización de la Tabla 1.

Tabla 4.24. Puntos de utilización mínimos de cada estancia (continuación)

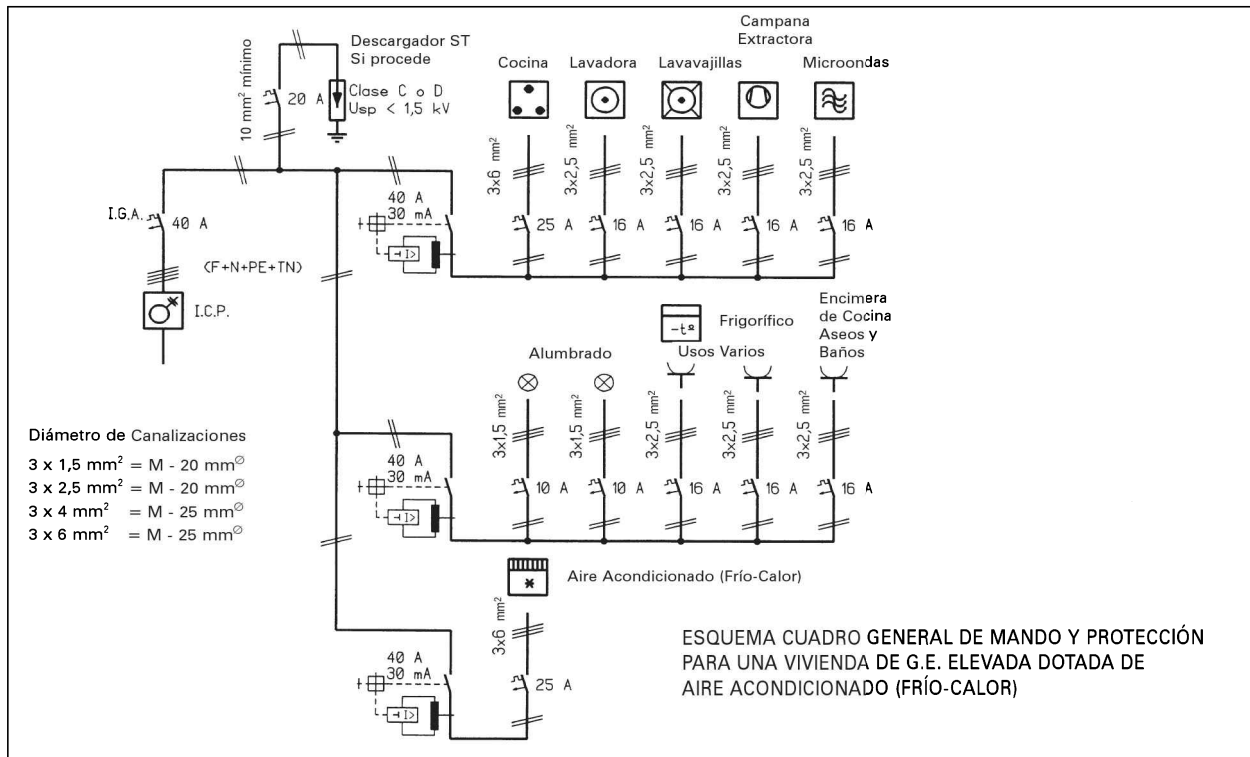
	C ₃	Base 25 A 2p + PE	1	cocina/horno
	C ₄	Base 16 A 2p + PE	3	lavadora, lavavajillas y termo
	C ₅	Base 16 A 2p + PE	3 ⁽²⁾	encima del plano de trabajo
	C ₈	Toma de Calefacción	1	---
	C ₁₀	Base 16 A 2p + PE	1	secadora
Terrazas y Vestidores	C ₁	Puntos de luz	1	hasta 10 m ² (dos si S > 10 m ²)
		Interruptor 10 A	1	uno por cada punto de luz
Garajes unifamiliares y Otros	C ₁	Puntos de luz	1	hasta 10 m ² (dos si S > 10 m ²)
		Interruptor 10 A	1	uno por cada punto de luz
	C ₂	Base 16 A 2p + PE	1	hasta 10 m ² (dos si S > 10 m ²)

⁽²⁾ Se colocarán fuera de un volumen delimitado por los planos verticales situados a 0,5 m del fregadero y de la encimera de cocción o cocina.

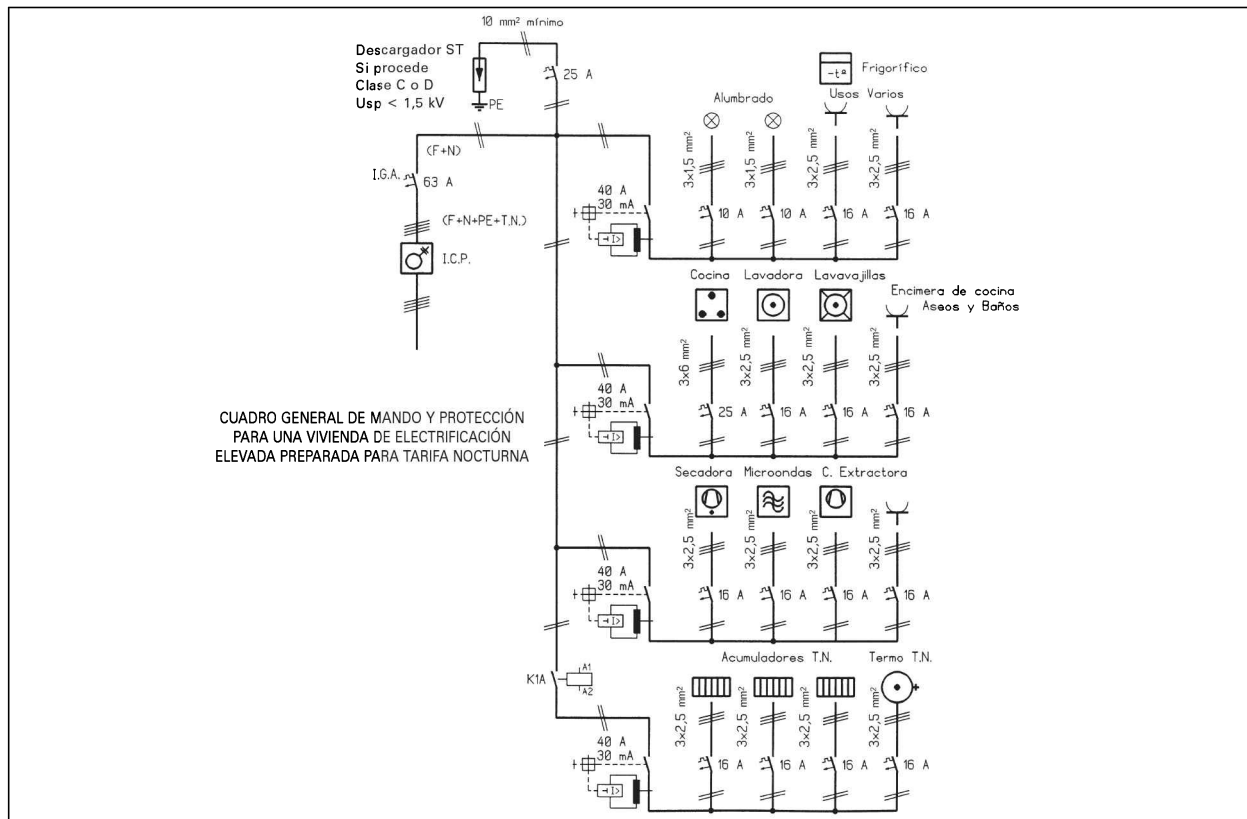
Los esquemas unifilares de los grados de electrificación básica y elevada son:



Esquema 4.23. Grado de electrificación básica.



Esquema 4.24. Grado de electrificación elevada.

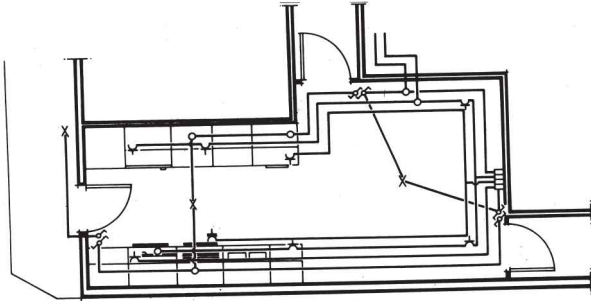


Esquema 4.25. Grado de electrificación elevada preparada para Tarifa Nocturna.

4.17.4. Instalación eléctrica de cocinas

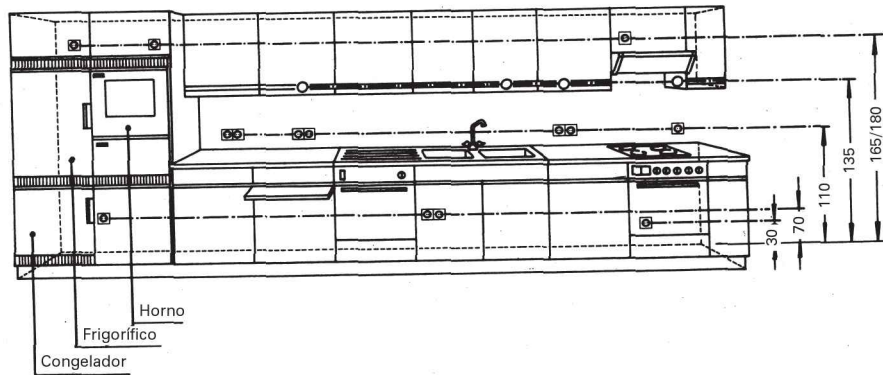
Es una de las zonas más peculiares de la vivienda, por su alto grado de equipamiento eléctrico.

Circuito electrificación cocina.



Esquema 4.26. Representación gráfica de las cotas de situación de cada uno de los elementos de la instalación interior.

Tomas de corriente cocina.



Esquema 4.27. Distribución de las tomas de corriente de una cocina.

Los puntos de utilización en una cocina según el grado de electrificación media serán:

- Uno o dos puntos de luz, según la capacidad y disposición de la cocina (C1).
- Dos o más tomas de corriente de 10 A provistas de toma de tierra, destinadas a frigoríficos y pequeños aparatos (C2).
- Para la instalación de lavadora, lavavajillas y secadora, se instalará una toma de corriente de 20 A con toma de tierra para cada una de ellas (C4).
- Para la alimentación del calentador de agua, se instalará un interruptor de corte bipolar de 10 A, sin olvidar la puesta a tierra del aparato (C4).
- La cocina eléctrica dispondrá de una toma de corriente de 25 A con toma de tierra; los hornos normales o microondas tendrán su toma de corriente específica de 16 A o 25 A con toma de tierra (C3).
- Circuito de bases auxiliares de cocina, de 16 A con toma de tierra (C5).

4.17.5. Instalación de cuartos de baño y aseo

La instalación de los cuartos de baño y aseo representan una de las partes más importantes de la instalación interior desde el punto de vista de la seguridad.

En estas estancias las personas estarán en contacto con el agua y en ocasiones descalzas o con las manos húmedas, por lo que es necesario extremar las precauciones para evitar accidentes eléctricos.

Además del interruptor diferencial de alta sensibilidad que existe en la entrada de la vivienda, el Reglamento de Baja tensión, en su ITC-BT-27 página 2, desarrolla una serie de medidas adicionales de seguridad que es necesario cumplir en cuartos de baño y aseo.

En primer lugar se definen los cuatro volúmenes, así como las redes equipotenciales de cuartos de baño.

4.17.5.1. Clasificación de los volúmenes

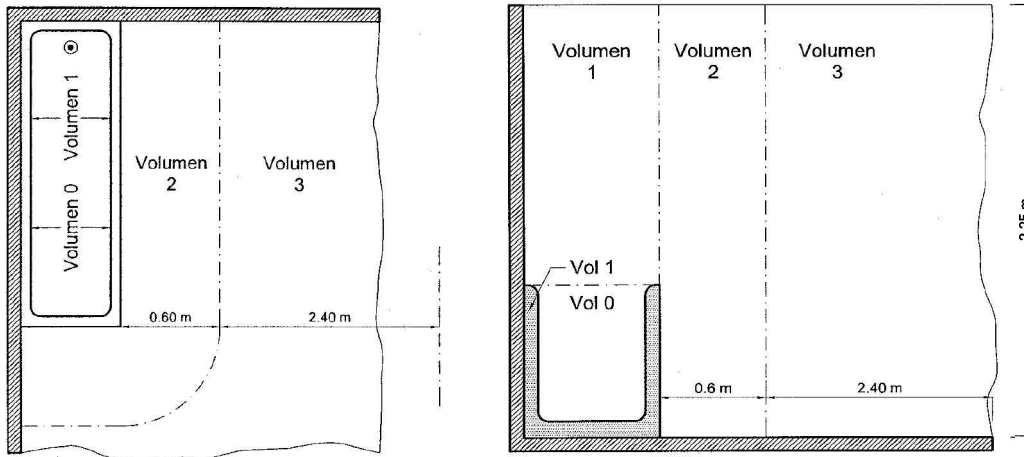
Para las instalaciones de estos locales se tendrán en cuenta los cuatro volúmenes 0, 1, 2 y 3 que se definen a continuación.

En el Esquema 4.28 se presentan figuras aclaratorias para la clasificación de los volúmenes. Los falsos techos y las mamparas no se consideran barreras a los efectos de separación de volúmenes.

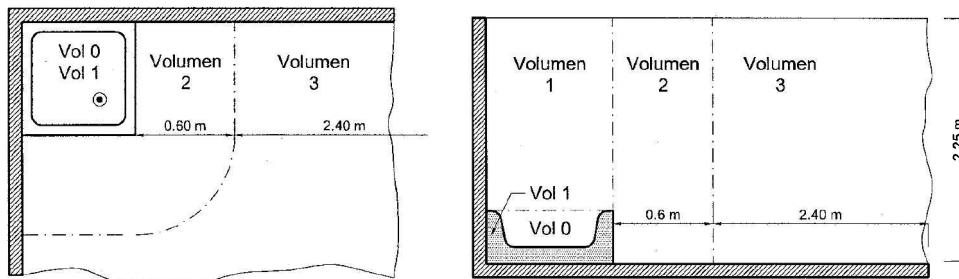
Volumen 0 Comprende el interior de la bañera o ducha.

En un lugar que contenga una ducha sin plato, el volumen 0 estará delimitado por el suelo y por un plano horizontal situado a 0,05 m por encima del suelo. En este caso:

- Si el difusor de la ducha puede desplazarse durante su uso, el volumen 0 estará limitado por el plano generatriz vertical situado a un radio de 1,2 m alrededor de la toma de agua de la pared o el plano vertical que encierra el



Bañera



Duchas

Esquema 4.28. Volúmenes de prohibición y protección de un cuarto de baño.

área prevista para ser ocupada por la persona que se ducha.

- b) Si el difusor de la ducha es fijo, el volumen 0 estará limitado por el plano generatriz vertical situado a un radio de 0,6 m alrededor del difusor.

Volumen 1

Está limitado por:

- El plano horizontal superior al volumen 0 y el plano horizontal situado a 2,25 m por encima del suelo.
- El plano vertical alrededor de la bañera o ducha y que incluye el espacio por debajo de los mismos, cuando este espacio sea accesible sin el uso de una herramienta, o
 - Para una ducha sin plato con un difusor que pueda desplazarse durante su uso, el volumen 1 estará limitado por el plano generatriz vertical situado a un radio de 1,2 m desde la toma de agua de la pared o el plano vertical que encierre el área prevista para ser ocupada por la persona que se ducha, o
 - Para una ducha sin plato y con un rociador fijo, el volumen 1 estará delimitado por la superficie generatriz vertical situada a un radio de 0,6 m alrededor del rociador.

Volumen 2

Está limitado por:

- El plano vertical exterior al volumen 1 y el plano vertical paralelo situado a una distancia de 0,6 m, y
- El suelo y plano horizontal situado a 2,25 m por encima del suelo.

Además, cuando la altura del techo exceda los 2,25 m por encima del suelo, el espacio comprendido entre el volumen 1 y el techo o hasta una altura de 3 m por encima del suelo, cualquiera que sea el valor menor, se considerará volumen 2.

Volumen 3

Está limitado por:

- El plano vertical límite exterior del volumen 2 y el plano vertical paralelo situado a una distancia de éste de 2,4 m, y
- El suelo y el plano horizontal situado a 2,25 m por encima del suelo.

Además, cuando la altura del techo exceda los 2,25 m por encima del suelo, el espacio comprendido entre el volumen 2 y el techo o hasta una altura de 3 m por encima del suelo, cualquiera que sea el valor menor, se considerará volumen 3.

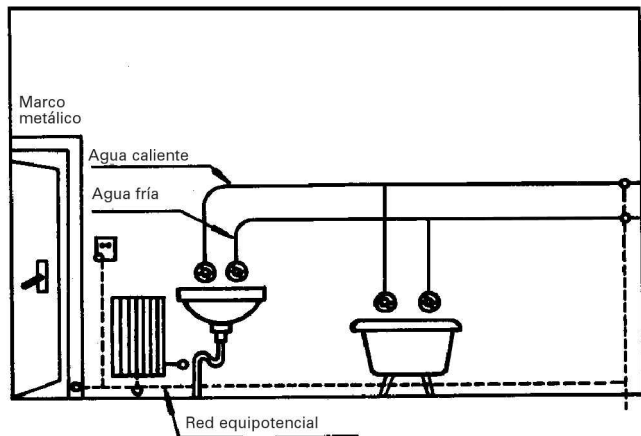
El volumen 3 comprende cualquier espacio por debajo de la bañera o ducha que sea accesible sólo mediante el uso de una herramienta, siempre que el cierre de dicho volumen garantice una protección como mínimo IP X4. Esta clasificación no es aplicable al espacio situado por debajo de las bañeras de hidromasaje y cabinas.

4.17.5.2. Protección para garantizar la seguridad: Red equipotencial de cuartos de baño y aseo

Una conexión equipotencial local suplementaria debe unir el conductor de protección asociado con las partes conductoras accesibles de los equipos de clase 1 en los volúmenes 1, 2 y 3, incluidas las tomas de corriente y las siguientes partes conductoras externas de los volúmenes 0, 1, 2 y 3:

- Canalizaciones metálicas de los servicios de suministro y desagües (por ejemplo: agua, gas).
- Canalizaciones metálicas de calefacciones centralizadas y sistemas de aire acondicionado.
- Partes metálicas accesibles de la estructura del edificio. Los marcos metálicos de puertas, ventanas y similares no se consideran partes externas accesibles, a no ser que estén conectadas a la estructura metálica del edificio.
- Otras partes conductoras externas, por ejemplo partes que sean susceptibles de transferir tensiones.

Las bañeras y duchas metálicas deben considerarse partes conductoras externas susceptibles de transferir tensiones, a menos que se instalen de forma que queden aisladas de la estructura y de otras partes metálicas del edificio.



Esquema 4.29. Red equipotencial de un cuarto de baño.

4.18 Otras instalaciones del edificio

Dentro de este apartado se van a describir las instalaciones comunitarias más normales de un edificio, teniendo presente que se diseñan y se construyen como si fueran instalaciones

interiores, que parten de un cuadro general de mando y protección y se dimensionan de acuerdo con la potencia de los aparatos a ellas conectados y de su longitud.

Las instalaciones comunitarias más normales son:

- Garaje.
- Ascensores y montacargas.
- Servicios generales.

Todas estas instalaciones se han tratado en capítulos anteriores desde el punto de vista de la previsión de cargas y por tanto de la potencia máxima que van a demandar, y como consecuencia de ello tendremos la intensidad nominal de la protección, PIA, y la sección del conductor.

4.18.1. Instalaciones de garajes

Se considera un emplazamiento de Clase I, según ITC-BT 29.

Se definirán como volúmenes peligrosos los comprendidos entre el suelo y un plano situado a 0,60 m por encima de la parte más baja de las puertas exteriores. Al estar los garajes en plantas sótanos, todo el volumen del garaje se suele considerar como peligroso, a no ser que esté suficientemente ventilado y sólo sea volumen peligroso el comprendido entre el suelo y un plano a 0,60 m del mismo.

Por ello, es fundamental establecer en los garajes un buen sistema de ventilación.

4.18.1.1. Ventilación del local

En cualquier caso, a efectos de diseño y cálculo siempre se debe considerar un local suficientemente ventilado.

El CTE en su DB HS3 indica en la Tabla 2.1 que el caudal mínimo exigido es de 120 l/s por plaza.

Otras normas, como el P.G.O.U. Madrid, que define un buen sistema de ventilación forzada como aquel que es capaz de hacer 7 renovaciones por hora.

La norma UNE 100-011-88 establece para garajes un caudal mínimo de renovación de 7,5 l/m²s o 50 l/m² coche cuando la ventilación mecánica es intermitente, y que equivale a 27 m³/m² h.

Los sistemas de ventilación de los garajes serán del tipo automático y manuales, deberán funcionar 6 horas como mínimo al día y se colocarán, al menos, 2 extractores por planta.

Los garajes subterráneos dispondrán de un sistema de alumbrado de emergencia y de un sistema complementario de suministro de energía de reserva que actúe al menos sobre el 50% de las instalaciones de ventilación forzada, y de detectores de CO (uno cada 200 m²) situados a una altura entre 1,5 y 2 m máximo, de forma que si se detecta un valor de CO de 50 p.p.m. accionen automáticamente sobre la ventilación forzada.

4.18.1.2. *Composición y dimensionado de la derivación individual de los garajes*

Partirá de la centralización de contadores, donde tendrá un módulo propio de medida y llegará a la caja de ICP del garaje.

Dependiendo de la potencia solicitada y de los ventiladores, la derivación será monofásica (fase, neutro y protección), o trifásica (tres fases, neutro y protección).

Después de la Caja de ICP se tiene el Cuadro General de Mando y Protección del garaje, compuesto por los siguientes elementos:

Interruptor General Automático, IGA, omnipolar, calibrado para la protección de la derivación individual contra sobrecargas.

- N Interruptores diferenciales, de 30 mA; 40 A de In.
- N PIAs para el circuito o circuitos de ventilación.
- N PIAs para alumbrado.
- N PIAs para tomas de corriente.
- N PIAs otros circuitos.

4.18.2. Ascensores y montacargas

Las instalaciones de ascensores y montacargas están reguladas por el RAE, reglamento de aparatos elevadores y manutención en las instrucciones AEM 1.13 y AEM 1.14.

4.18.2.1. *Descripción de la instalación eléctrica*

La instalación eléctrica de los ascensores y montacargas se divide en dos circuitos con alimentación independiente, bien por provenir de dos derivaciones individuales, bien por derivarse el circuito de alumbrado antes del interruptor general de la máquina.

Los circuitos básicos son:

a) Circuito de potencia y sus circuitos derivados, incluyendo las diversas maniobras, que alimentará directamente al cuadro de mando, protección y control del ascensor.

Este cuadro se realizará de acuerdo con las normas del RAE, y lo suministra la casa constructora del ascensor o del montacargas.

b) Circuito de alumbrado de cabina y sus derivados, que debe tener dos circuitos secundarios, que incluyen:

Circuito secundario 1:

- Alumbrado de cabina y ventilación (si existiera).
- Toma de corriente sobre el techo de la cabina.
- Dispositivo de petición de auxilio.

Circuito secundario 2:

- Alumbrado del cuarto de máquinas y de poleas.
- Toma de corriente en el cuarto de máquinas.
- Alumbrado del interior del hueco.

Cada circuito deberá tener su protección particular, con su correspondiente interruptor; estarán constituidos por cable de cobre con aislamiento para 750 V, instalados en el interior de tubos rígidos.

4.18.2.2. *Composición y dimensionado de la derivación individual de los ascensores*

La instalación eléctrica específica de los ascensores y montacargas, o derivación individual, se compone de:

a) Derivación individual, que parte del ICP de los servicios comunes de la finca y llega hasta el cuarto de máquinas, al cuadro general de mando y protección de los ascensores.

Está compuesto por tres conductores de fase, el neutro y la protección.

b) Cuadro General de Mando y Protección, similar al que se ha descrito y que se instala en el interior de las viviendas, compuesto de:

Interruptor general automático, IGA, omnipolar, calibrado para sobrecargas de la derivación individual.

Interruptor diferencial de 30 mA para el circuito de fuerza (circuito de potencia).

PIA trifásico con neutro, dimensionado de acuerdo con la sección del circuito de potencia, al que protege y sirve además de interruptor.

Interruptor diferencial de 30 mA para el circuito de alumbrado.

PIA bipolar general, calibrado de acuerdo con la sección del circuito de alumbrado al que protege y sirve de interruptor.

PIA bipolar para el circuito secundario primero. Sale del PIA general.

PIA bipolar para el circuito secundario segundo. Sale del PIA general.

PIA bipolar para el alumbrado de emergencia.

4.18.3. Servicios generales

Partirán del embarrado de protección y salida del módulo de medida de la centralización de contadores hasta la Caja de ICP y el cuadro general de mando y protección de los servicios generales.

La derivación individual circulará por la canaladura general del edificio o, si éste es de gran tamaño o tiene muchos servicios, se puede construir una canaladura de servicios, por donde podrá circular la derivación individual de los ascensores.

La derivación individual de los servicios generales se suele dividir en los siguientes circuitos:

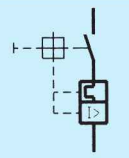
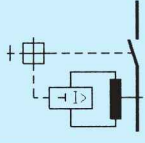
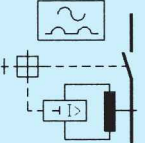
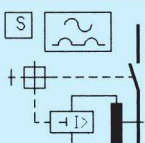
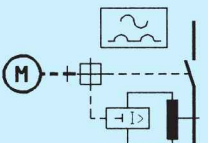









- Alumbrado de portal y escalera.
- Alumbrado de sótanos y trasteros.
- Tomas de corriente de zonas comunes.
- Instalaciones de antena de TV y FM.
- Portero automático (vídeo-portero en su caso).
- Vivienda del conserje.
- Grupos de presión para agua fría.
- Grupos de presión para agua caliente.
- Elementos auxiliares del cuarto de caldera, como bombas, centralitas, quemadores, etc.









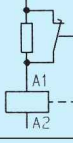








Como todas, estas derivaciones individuales tendrán un cuadro general de mando y protección, con su correspondiente IGA, diferencial de alta sensibilidad y tantos PIA como circuitos secundarios haya.

4.19 Símbolos utilizados en instalaciones de Baja Tensión

LEYENDA DE SÍMBOLOS	
	CAJA DE REGISTRO
	INTERRUPTOR UNIPOLAR
	INTERRUPTOR UNIPOLAR —GRUPO—
	PULSADOR LUMINOSO
	CONMUTADOR TIPO «HOTEL»
	CONMUTADOR DE CRUZAMIENTO
	TOMA DE CORRIENTE BIPOLAR CON T.T. 10/16 A
	TOMA DE CORRIENTE BIPOLAR CON T.T. DE 25 A
	TOMA DE CORRIENTE TRIPOLAR CON T.T.
	TOMA DE CORRIENTE TRIPOLAR + NEUTRO + T.T.
	LÁMPARAS DE DESCARGA. Ejemplo: Pantalla Fluorescente
	LÁMPARA INCANDESCENTE

	LÁMPARA HALÓGENA, 12 V
	LÁMPARA HALÓGENA, 230 V
	GONG O TIMBRE MUSICAL
	APARATO ELÉCTRICO EN GENERAL
	COCINA ELÉCTRICA
	HORNO ELÉCTRICO
	LAVADORA
	LAVAVAJILLAS
	TERMO
	SECADORA DE ROPA
	FRIGORÍFICO
	MICROONDAS
	CAMPANA EXTRACTORA DE HUMOS
	APARATO DE AIRE ACONDICIONADO
	RADIADOR O ACUMULADOR ELÉCTRICO
	SECAMANOS
	RÓTULO LUMINOSO FORMADO POR LÁMPARAS INCANDESCENTES
	RÓTULO LUMINOSO FORMADO POR LÁMPARAS FLUORESCENTES
	RÓTULO LUMINOSO NEÓN (ALTA TENSIÓN)
	CUADRO GENERAL DE MANDO Y PROTECCIÓN
	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO MAGNETOTÉRMICO >63 A REGULABLE, CON TOROIDAL PARA RELÉ DIFERENCIAL Y BOBINA A EMISIÓN DE TENSIÓN

	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO MAGNETOTÉRMICO >63 A REGULABLE
	INTERRUPTOR DIFERENCIAL PARA C.A. CLASE AC
	INTERRUPTOR DIFERENCIAL PARA C.A. Y C.C. PULSANTE CLASE A
	INTERRUPTOR DIFERENCIAL PARA C.A. Y C.C. PULSANTE CLASE A —SELECTIVO—
	INTERRUPTOR DIFERENCIAL PARA C.A. Y C.C. PULSANTE CLASE A —MOTORIZADO—
	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO MAGNETOTÉRMICO ≤63 A
	FUSIBLE
	DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES
	INTERRUPTOR CONTROL DE POTENCIA (I.C.P.)
	ALUMBRADO DE EMERGENCIA Y SEÑALIZACIÓN (FLUORESCENTE)
	ALUMBRADO DE EMERGENCIA Y SEÑALIZACIÓN (INCANDESCENTE)
	ALUMBRADO DE EMERGENCIA (BALIZADO DE PELDAÑOS)
	BATERÍA DE CONDENSADORES
	TOMA DE TIERRA

	DETECTOR IÓNICO
	DETECTOR TÉRMICO O TERMOVELOCIMÉTRICO
	DETECTOR MONÓXIDO CARBONO —CO—
	DETECTOR (EN GENERAL PARA ESQUEMAS DE MANDO)
	CENTRAL DE MONÓXIDO DE CARBONO —CO—
	CENTRAL DE INCENDIOS
	TELERRUPTOR
	CONTACTOR O RELÉ
	BOBINA PARA CONTACTOR DE C.C.
	RELÉ TEMPORIZADO A LA CONEXIÓN
	RELÉ TEMPORIZADO A LA DESCONEXIÓN
	CONTACTO INSTANTÁNEO N.A.
	CONTACTO INSTANTÁNEO N.C.
	CONTACTO N.A. TEMPORIZADO A LA CONEXIÓN
	CONTACTO N.C. TEMPORIZADO A LA CONEXIÓN
	CONTACTO N.A. TEMPORIZADO A LA DESCONEXIÓN
	CONTACTO N.C. TEMPORIZADO A LA DESCONEXIÓN

	PULSADOR N.A. (MARCHA)
	PULSADOR N.C. (PARO)
	ACCIONADOR N.A. (FINAL DE CARRERA)
	ACCIONADOR N.C. (FINAL DE CARRERA)
	PULSADOR PARADA DE EMERGENCIA
	CONTACTOR
	GUARDAMOTOR (CONTACTOR + RELÉ TÉRMICO)
	LÁMPARA DE SEÑALIZACIÓN
	LÁMPARA DE SEÑALIZACIÓN CON INTERMITENCIA
	LÁMPARA DE SEÑALIZACIÓN DE EFLUVIOS
	DIODO LUMINOSO (LED)
	TIMBRE EN GENERAL
	BOCINA EN GENERAL
	SIRENA EN GENERAL
	DETECTOR DE PROXIMIDAD INDUCTIVO
	DETECTOR DE PROXIMIDAD CAPACITIVO
	DETECTOR FOTOELÉCTRICO
	INTERRUPTOR CREPUSCULAR

	INTERRUPTOR HORARIO
	MOTOR MONOFÁSICO
	MOTOR TRIFÁSICO
	TRANSFORMADOR DE POTENCIA
	AUTOTRANSFORMADOR
	TRANSFORMADOR DE TENSIÓN (MEDIDA Y PROTECCIÓN)
	TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD (MEDIDA Y PROTECCIÓN)
	TRANSFORMADOR DE POTENCIA
	GRUPO ELECTRÓGENO
	CRUCE DE CONDUCTORES SIN CONEXIÓN ELÉCTRICA
	CRUCE DE CONDUCTORES CON CONEXIÓN ELÉCTRICA
	NÚMERO DE CONDUCTORES (Ejemplo 5)
	PANEL O CÉLULA FOTOVOLTAICA
	INVERSOR U ONDULADOR
	BATERÍA

4.20 Puesta a tierra en edificios

En este apartado se estudia la puesta a tierra en edificios, tanto de nueva construcción, como edificios existentes como elemento de seguridad de las personas y de las instalaciones. Para el desarrollo del tema se han seguido las directrices del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y de la Norma Tecnológica de la Edificación.

4.20.1. Definición

La puesta a tierra de edificios se realiza para conseguir que entre el terreno y las partes metálicas del edificio no haya tensiones o diferencias de potencial peligrosas. Para ello, tenemos que conseguir que la resistencia de paso a tierra electrodo-terreno sea lo menor posible para que en el caso que se produzca una derivación se evacue a tierra la corriente de falta o de defecto o las descargas de origen atmosférico.

Los datos que se barajan de valores máximos de resistencia de paso a tierra son 10 ohmios para edificios sin pararrayos y 5 ohmios para edificios con pararrayos.

Definición de red de tierras de un edificio:

La instalación de tierras de un edificio se *define* como toda ligazón metálica directa, sin fusibles ni protección alguna, de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o conjunto de electrodos enterrados en el terreno, con el objetivo de conseguir que no existan diferencias de potencial peligroso entre las instalaciones del edificio y los equipos respecto del terreno, y dejar pasar a tierra las descargas de origen atmosférico o las corrientes de falta.

Para conocer todos los elementos de una buena puesta a tierra y su función dentro del contexto, se divide en cinco grandes grupos, que de abajo arriba, en sentido contrario a como circularía una corriente de defecto, son:

- Terreno.
- Tomas de tierra.
 - Electrodos.
 - Líneas de enlace con tierra.
 - Puntos de puesta a tierra.
- Línea principal de tierra.
- Derivaciones de la línea principal de tierra.
- Conductores de protección.

4.20.1.1. El terreno

Es necesario conocer las características del terreno, y por tanto la resistividad, en donde se va a construir el edificio para diseñar y valorar la puesta a tierra de una forma lo más eficaz y rentable.

Se debe procurar conocer el grado de humedad del terreno a lo largo de los diferentes meses del año, de la temperatura de invierno y de su situación, más o menos cerca de los márgenes de los ríos. Debemos conocer asimismo los máximos valores de resistencia de paso a tierra que marque la delegación provincial de industria para los diferentes meses o épocas del año y así construir la red de tierras de acuerdo con esos valores.

El recurso de la sal o geles para mejorar la resistividad del terreno no debe emplearse de forma generalizada, sólo en las ocasiones que sea prácticamente imprescindible, ya que si se construye una tierra casi artificial, con un valor bajo de la resistividad, será necesario mantenerlo a lo largo del tiempo.

4.20.1.2. Tomas de tierra

Se define como el elemento de unión entre el terreno y el circuito instalado en el interior del edificio.

Consta de:

- Electrodos.
- Líneas de enlace con tierra.
- Puntos de puesta a tierra.

4.20.1.2.1. Electrodo

Se define como electrodo de puesta a tierra a todo material conductor, por lo general metálico, en perfecto contacto con el terreno, encargado de introducir en el terreno las corrientes de falta o de origen atmosférico procedentes y canalizadas a través de una instalación de protección.

Los electrodos más utilizados son picas, varillas, flejes, tubos, cables, placas, pilares, armaduras metálicas, etc., que se describirán en los apartados siguientes.

Los tres tipos de electrodos que más se utilizan son:

- Picas.
- Placas.
- Cables enterrados.

a) Picas

Son electrodos artificiales cilíndricos que se introducen en el terreno de forma vertical (por lo general). Suelen fabricarse de:

- Barras de cobre o acero recubierto de cobre, de 14 mm de diámetro como mínimo.

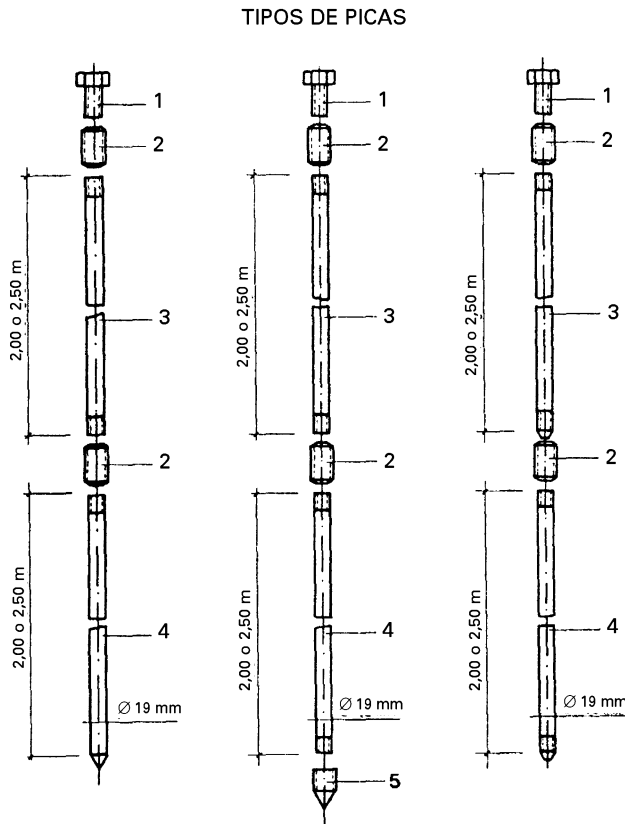
La longitud de las picas será de 2 metros.

El valor de la resistencia de tierra que nos ofrecen estos electrodos hincados en el terreno, está en relación directa con la resistividad aparente del terreno y en relación inversa con la longitud de éste.

$$R = \frac{\rho_a}{L}$$

Existen dos formas de diseñar una puesta a tierra con picas: en profundidad o en paralelo.

Picas en profundidad: Consiste en ir introduciendo en el terreno una pica encima de otra, previamente empalmadas, hasta conseguir profundidades de 6, 8, 10, 12 metros.



- 1. SUFRIDERA
- 2. MANGUITO DE ACOPLAMIENTO
- 3-4. ELECTRODOS
- 5. PUNTA DE PENETRACIÓN

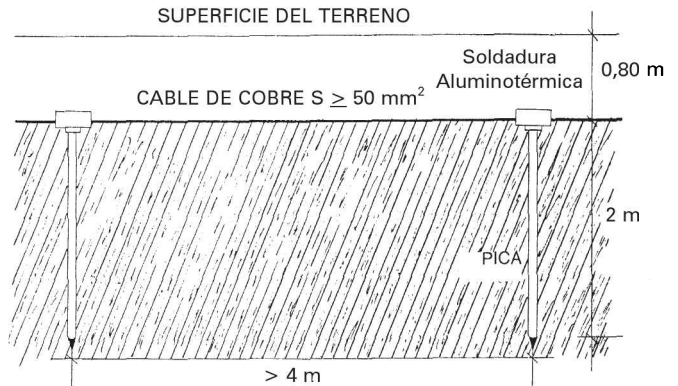
Esquema 4.30. Tipos de picas empalmables.

El sistema de ejecución consiste en utilizar picas de las que aparecen en el esquema, colocando en la parte delantera una punta de penetración de un material de gran dureza, y en la parte final, un manguito de acoplamiento y la sufridera sobre la que actuará la maza evitando que se deforme la pica.

Una vez introducida esta pica, se desenrosca la sufridera y se enrosca una nueva pica, colocando en el extremo libre de ésta un nuevo manguito y la sufridera de nuevo, y así sucesivamente con la segunda pica, la tercera, la cuarta, etc.

Picas en paralelo: Este sistema de colocación de picas es el más recomendado y utilizado normalmente, para realizar la puesta a tierra de edificios, debido a su facilidad de ejecución y bajo coste. Tiene la ventaja que es fácilmente instalable y no requiere maquinaria especial.

Una vez introducida la primera pica en el terreno se mide su resistencia de paso a tierra con el telurómetro y nos da idea de la magnitud del valor de resistencia que tenemos. Con este valor sabemos el número de picas aproximado que hay que colocar para obtener el valor prefijado.



Esquema 4.31. Colocación de picas en paralelo.

La única precaución que hay que tener es que las picas tengan una separación, como mínimo, de 1,5 veces la longitud de pica enterrada, y después unir las eléctricamente con cable de cobre desnudo de 50 mm² como mínimo, que se enterrará en el terreno. La NTE IEP/1973 «Puestas a tierra» exige una separación entre picas de 2 veces la longitud enterrada.

Constituido de esta manera el electrodo, experimentalmente se puede demostrar que cuando se colocan dos picas en paralelo, de la forma anteriormente descrita, la resistencia de paso a tierra es la mitad de la resistencia de una pica. Si colocamos tres picas en paralelo, la resistencia se reduce a la tercera parte; si colocamos cuatro, a la cuarta parte, y así sucesivamente.

b) Placas delgadas enterradas

Son electrodos artificiales de forma rectangular o cuadrada, que ofrecen una gran superficie de contacto con el terreno en relación a su espesor.

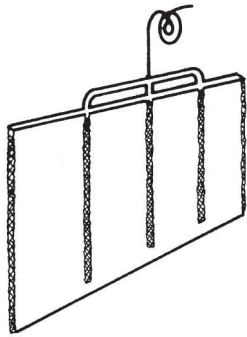
Suelen ser de cobre, o de acero recubiertas de cobre, de al menos 2 mm de espesor para garantizar un buen contacto y una buena conductividad, o de acero galvanizado, de 2,5 mm de espesor.

La resistencia R en ohmios de una toma de tierra constituida por una placa enterrada a una profundidad suficiente es aproximadamente igual a:

$$R = 0,8 \frac{\rho_a}{P}$$

siendo P el perímetro de la placa en metros y ρ_a la resistividad del terreno en ohmios por metro.

Las placas más utilizadas son las de 0,5 m × 1 m y las de 1 m × 1 m.



Esquema 4.32. Electrodo de placa rectangular.

Como curiosidad, el electrodo de placa no se contempla como electrodo de puesta a tierra en la Norma Tecnológica de la Edificación del año 1973.

c) Conductores enterrados horizontalmente

Es un electrodo artificial que consiste en colocar, horizontalmente, un cable, una pletina, unos flejes, etc., desnudos en zanjas, debajo de la cimentación de los edificios o enterrados a una profundidad suficiente.

Los materiales más utilizados son:

- Cable de cobre macizo o cableado (35 mm² de sección como mínimo).
- Pletinas de cobre (35 mm² de sección y 2 mm de espesor) o de acero galvanizado (95 mm² de sección).
- Alambre de acero (200 mm² de sección) recubierto con una capa de 6 mm² de cobre.

La resistencia de tierra en ohmios que ofrece el conductor enterrado como electrodo, es directamente proporcional a la resistividad del terreno e inversamente proporcional a la longitud, en metros, de cable enterrado.

$$R = 2 \frac{\rho_a}{L}$$

en la que:

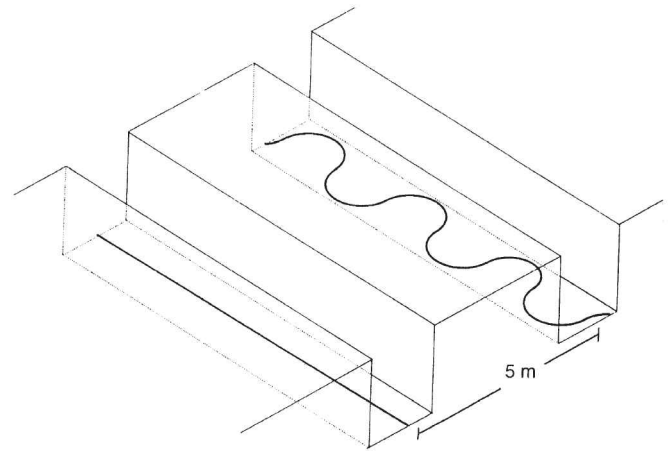
ρ_a es la resistividad aparente del terreno, en ohmios por metro.

L es la longitud del conductor, en metros.

La colocación del conductor se hace en zanjas, estirado o sinuoso (siguiendo las directrices del REBT, instrucción sobre puestas a tierra), a una profundidad que impida que puedan ser afectados por las labores del terreno o por las heladas y nunca a menos de 50 cm bajo la superficie del terreno.

En el caso de colocar dos cables enterrados en zanjas paralelas, se dejará una separación mínima entre ejes de zanjas de 5 metros.

Lo ideal es colocar el cable por el perímetro del edificio, debajo de la cimentación, y si no es suficiente, continuar la zanja por uno de los laterales.



Esquema 4.33. Cable enterrado horizontalmente.

El conductor mantendrá la sección a lo largo de toda la zanja. Si es necesario hacer empalmes o unir el conductor a otro tipo de electrodo o a las vigas y pilares del edificio, se hará con soldadura de tipo aluminotérmica (nunca soldadura de bajo punto de fusión), abrazaderas de bronce, etc.

Los electrodos que van a utilizarse con más frecuencia en los edificios son los electrodos de pica y los electrodos de cable enterrado. Lo ideal es que la red de electrodos se coloque debajo de la cimentación del edificio, de forma que pueda quedar protegida la unión electrodo-terreno de las variaciones climáticas, de las variaciones de humedad y de las posibles agresiones con máquinas o camiones si está en zonas de tránsito.

La colocación de las picas suele ser en paralelo, pues es más económica su instalación, menos laboriosa, y además permite calcular rápidamente el número de picas necesarias sabiendo el valor de la resistividad del terreno en superficie, o valorando la resistencia de puesta a tierra de una pica colocada para tal efecto.

4.20.1.2.2. Conductores de tierra o líneas de enlace con tierra

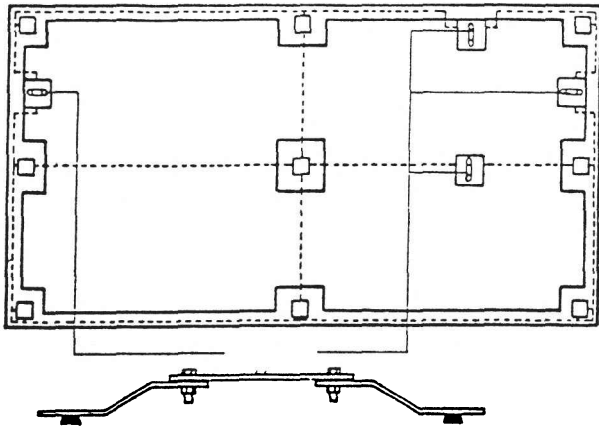
Es la parte de la instalación que une los electrodos, o conjunto de electrodos con los puntos de puesta a tierra.

Se realizará a base de conductores de cobre, aislados o desnudos, y su dimensionado estará de acuerdo con alguna de las siguientes premisas, según el REBT:

- En caso de producirse una corriente de falta, no se producirá en el conductor una temperatura próxima a la fusión, ni en los empalmes ni en las conexiones (para una falta de 2 segundos como máximo y de acuerdo con las protecciones de la instalación).
- La sección mínima será de 25 mm², conductores de cobre y 50 mm² en hierro.

4.20.1.2.3. Puntos de puesta a tierra

Es el elemento situado fuera del terreno y que sirve de unión entre el conductor de tierra y los conductores de protección y/o los conductores de acción equipotencial principal y/o los conductores de puesta a tierra funcional; es decir, es el punto de unión entre la toma de tierra propiamente dicha y la puesta a tierra del edificio.



Esquema 4.34. Puntos de puesta a tierra.

Como base fundamental estará constituido por un sistema que permita la conexión y desconexión de la toma de tierra, para poder independizar el circuito de tierra del edificio, y poder hacer mediciones de la resistencia de tierra.

En este punto hay que medir periódicamente la resistencia de tierra, según el REBT, previa desconexión de la puesta a tierra del edificio.

Los puntos esenciales donde se colocarán los puntos de puesta a tierra son:

- En los patios de luces destinados a conectar las redes equipotenciales de cuartos de baño y aseos.
- Cerca de las centralizaciones de contadores, para conectar el embarrado de protección de las mismas.
- En la base de las estructuras metálicas de los aparatos elevadores.
- En el punto de ubicación de la caja general de protección.
- Cerca de cualquier local donde se prevea la instalación de servicios generales o especiales que necesiten una toma de tierra.

4.20.1.2.4. Línea principal de tierra

Es la parte del circuito de puesta a tierra que parte de un punto de puesta a tierra y conecta con las derivaciones de la línea principal de tierra. Está formada por conductores de cobre, que se dimensionan para la máxima corriente de falta que se prevea, siendo como mínimo de 16 mm² según se especifica en la ITC-BT-18.

Las líneas se pueden establecer en las mismas canalizaciones que las líneas generales de alimentación. El recorrido será lo más corto posible y sin cambios bruscos de dirección.

4.20.1.2.5. Derivaciones de las líneas principales de tierra

Son los conductores de cobre que unen la línea principal de tierra con los conductores de protección, o se conectan directamente a las masas de los aparatos y elementos metálicos existentes en el edificio.

El dimensionado de estos conductores se realiza de acuerdo con la ITC-BT-18 Apartado 3.2 del Reglamento de Baja Tensión.

4.20.1.2.6. Conductores de protección

Son los conductores de cobre encargados de unir eléctricamente las masas de los aparatos eléctricos con las derivaciones de la línea principal de tierra.

El dimensionado de los conductores se hace en función de la sección del conductor de fase de la instalación que se va a proteger, y que se resume en el siguiente cuadro:

$S > 35$	$S/2$
S^*	

* Secciones mínimas de 2,5 mm² con protección mecánica y de 4 mm² sin protección mecánica según la ITC-BT-18 punto 3.4.

El color del cable de protección es amarillo-verde a rayas para su fácil identificación.

En los circuitos interiores el conductor de protección acompañará a los conductores de fase y neutro.

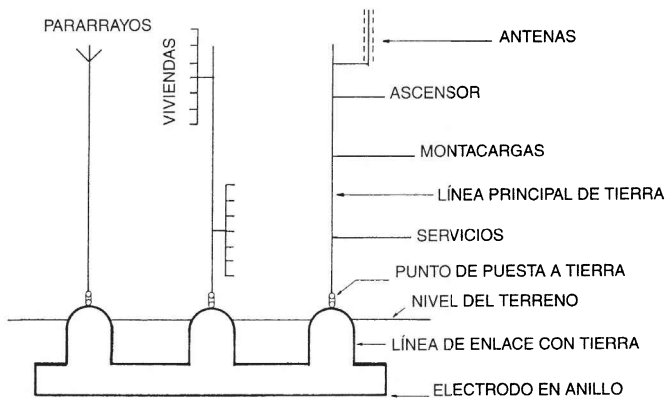
Las conexiones de los conductores de protección se realizarán mediante piezas de conexión de apriete o soldadura.

4.20.2. Elementos a conectar a la puesta a tierra en los edificios

Una vez realizada la toma de tierra del edificio, se deberán conectar, en los puntos de puesta a tierra, todos los elementos metálicos o los elementos susceptibles de ponerse en tensión, con el fin de conseguir una gran red equipotencial dentro del edificio y conectada íntimamente con el terreno a través de los electrodos.

Según la norma tecnológica de la edificación, los elementos que deberán conectarse a tierra son:

- Instalaciones de fontanería, gas, calefacción, etc.
- Depósitos y calderas.
- Guías metálicas de los aparatos elevadores.
- Caja general de protección y marco metálico del mechnal o armario.
- Instalaciones de pararrayos.
- Instalaciones de antenas de TV, de FM, de telefonía, etc.
- Redes equipotenciales de los cuartos de baño y aseo.
- Todas las masas metálicas significativas del edificio.
- Estructura metálica, armaduras de muros, soportes de hormigón armado, etc.



Esquema 4.35. Elementos a conectar a los puntos de puesta a tierra.

De estos elementos se describen a continuación los más significativos y comunes en muchos edificios.

4.20.2.1. Pararrayos

El Código Técnico de la Edificación (CTE), en el Documento Básico SU —Seguridad de Utilización—, apartado SU 8 Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo, refleja lo siguiente: será necesaria la instalación de un sistema de protección contra el rayo cuando la frecuencia esperada de impactos N_e sea mayor que el riesgo admisible N_a .

La frecuencia esperada de impactos, N_e , puede determinarse por la expresión:

$$N_e = N_g \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} \text{ (número de impactos/año)}$$

siendo:

N_g = Densidad de impactos sobre el terreno por km^2 , véase mapa.

A_e = Superficie de captura equivalente del edificio aislado en m^2 , que es la delimitada por una línea trazada a una distancia $3H$ de cada uno de los puntos del perímetro del edificio, siendo H la altura del edificio en el punto del perímetro considerado.

C_1 = Coeficiente relacionado con el entorno, véase tabla de coeficientes C_1 .



Esquema 4.36. Partes de que se compone la instalación de un pararrayos con dispositivo de cebado.

Tabla 4.25. Coeficientes C_1

Próximo a otros edificios o árboles de la misma altura o más altos	0,50
Rodeado de edificios más bajos	0,71
Aislado	1,00
Aislado sobre una colina o promontorio	2,0

El riesgo admisible, N_a , puede determinarse mediante la expresión:

$$N_a = \frac{5,5}{C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5} \cdot 10^{-3}$$

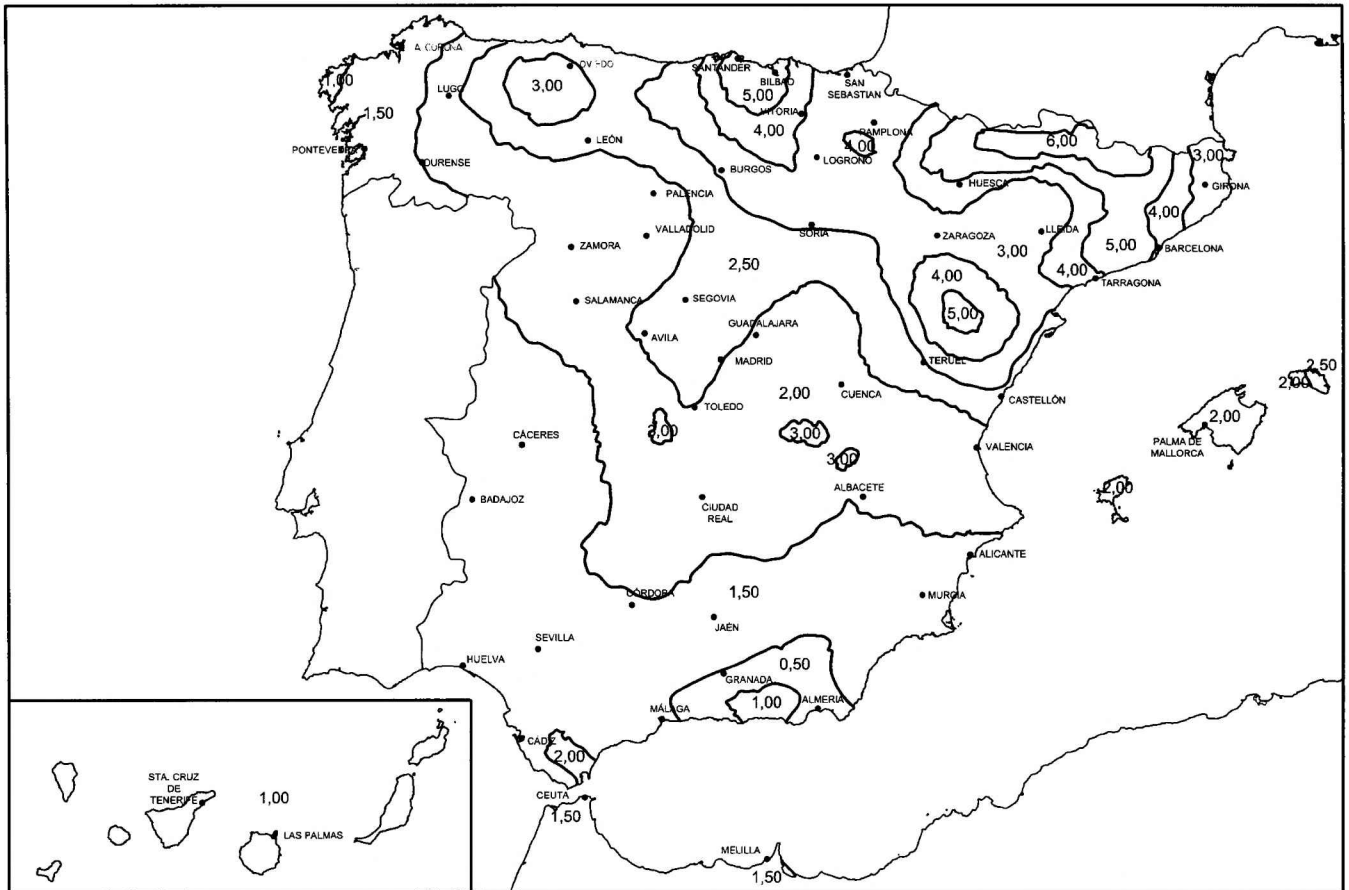
siendo:

C_2 = Coeficiente en función del tipo de construcción, véase tabla.

C_3 = Coeficiente en función del contenido del edificio, véase tabla.

C_4 = Coeficiente en función del uso del edificio, véase tabla.

C_5 = Coeficiente en función de la necesidad de continuidad en las actividades que se desarrollan en el edificio, véase tabla.



Esquema 4.37. Mapa de densidad de impactos sobre el terreno N_g .

Tabla 4.26. Coeficientes C_2

...
Estructura de hormigón	1,0	1,0	2,0
Estructura de madera	2,0	2,5	3,0

Tabla 4.27. Coeficientes C_3

Otros contenidos	1,0
------------------	-----

Tabla 4.28. Coeficientes C_4

...	...
Resto de edificios	1,0

Tabla 4.29. Coeficientes C_5

...	...
ocasionar un impacto ambiental grave	5,0
Resto de edificios	1,0

Tipo de instalación exigido

Cuando, conforme a lo establecido anteriormente, sea necesario disponer una instalación de protección contra el rayo, ésta tendrá al menos la eficiencia E que determina la siguiente fórmula:

$$E = 1 - \frac{N_a}{N_c}$$

La siguiente tabla indica el nivel de protección correspondiente a la eficiencia requerida. Las características del sistema de cada nivel de protección se describen en el Anexo SU B.

Tabla 4.30. Componentes de instalación

$E \geq 0,98$	1
$0,95 \leq E < 0,98$	2
$0,80 \leq E < 0,95$	3
$0 \leq E < 0,80$	4

4.20.2.2. Embarrado de protección de la centralización de contadores

Toda centralización de contadores está dividida al menos en cuatro unidades funcionales: unidad funcional de interruptor general de maniobra, unidad funcional de embarrado general y fusibles, unidad funcional de medida y unidad funcional de embarrado de protección y bornes de salida.

Esta última unidad es la que contiene el embarrado para la protección de las derivaciones individuales, que partiendo de la centralización llega a todos los puntos de utilización de las viviendas o locales a través de los cables de protección.

A este embarrado se conecta la línea principal de tierra que suele y debe provenir de un punto de puesta a tierra específico para este uso (véase dibujo de la centralización de contadores).

El sistema de conexión de los conductores de protección será por el sistema de apriete, y la sección de los mismos será igual a la sección de la fase de la derivación individual que acompañe.

En el cuarto de contadores, o en un sitio fácilmente accesible, deberá existir un punto de puesta a tierra de la línea principal de tierra que llegue a la centralización, o un elemento de corte del mismo, para poder medir el valor de la resistencia de tierra, como mínimo una vez al año.

4.20.3. Puesta a tierra en edificios existentes

En este apartado se van a recoger diferentes sistemas para poner a tierra edificios existentes, que o carecen de instalación de puesta a tierra o se ha deteriorado por alguna circunstancia y que hay que reconstruirla.

La puesta a tierra de edificios existentes es similar a la de edificios de nueva construcción desde el punto de vista de conseguir que entre el terreno y las partes metálicas del edificio no haya tensiones o diferencias de potencial peligrosas. Los valores que se barajan son también los 20 ohmios para edificios sin pararrayos y 5 ohmios para edificios con pararrayos.

Los electrodos que se utilizan serán artificiales, elementos de la construcción o electrodos de hecho, por lo que se hará referencia sobre todo a los electrodos artificiales.

La red de tierras será un punto importante para la seguridad de las personas y de las instalaciones, en ocasiones difícil de diseñar e instalar ya que hablamos de edificios construidos en ciudades consolidadas, donde es casi imposible encontrar un terreno donde implantar la puesta a tierra.

La puesta a tierra tiene que llegar obligatoriamente a la centralización de contadores, para desde allí, acompañando a

las derivaciones individuales, llegar a las viviendas o locales y repartirse por todos los circuitos interiores.

También es conveniente que llegue a la base de los ascensores o montacargas para poner a tierra las armaduras metálicas de éstos y los carriles.

Otro elemento importante de poner a tierra en las viviendas rehabilitadas son las antenas de televisión y de radio, pues son elementos capaces de captar rayos y, por tanto, disminuir la seguridad de las personas.

Al igual que en los edificios de nueva construcción se utilizarán picas, placas y cables enterrados.

Las picas son las que presentan menos dificultades y suelen ser las mejores soluciones. Las picas se pueden clavar en los patios de luces, entre las uniones de las losas o baldosas y se puede hacer fácilmente un pozo de inspección y mantenimiento. Mediremos el valor de la resistencia de tierra y, si es superior al valor deseado, se pondrán más picas, uniéndolas con cable de cobre y manteniendo la separación de 4 metros.

Otro lugar bueno de instalar son los sótanos o plantas inferiores de garajes, que permiten igualmente hacer el pozo de inspección y mantenimiento.

Se debe tener cuidado de no colocar las picas cerca de un centro de transformación, para evitar que las redes de tierra del centro interfieran en las de nuestro edificio.

4.21 Protección por cortocircuito para línea general de alimentación

La intensidad máxima de cortocircuito de un conductor de cobre según la norma UNE 20-460-4-43-2003 será tal que:

$$\sqrt{t} = K \times S/I$$

en donde:

t = Tiempo en segundos del cortocircuito.

S = Sección del conductor en mm².

I = Valor eficaz de la corriente de cortocircuito prevista (en amperios).

K = Constante en función del tipo de conductor, que para el PVC y el XLPE son:

$K = 115$ para conductores aislados de PVC.

$K = 143$ para conductores aislados con XLPE.

Con estos valores, para diferentes tiempos se tendrán los siguientes valores:

Tabla 4.31. Línea General de Alimentación. Intensidad máxima de cortocircuito soportada por conductores de aislamiento 0,6/1 kV. Tipo XLPE

10	2.022	1.430	639
16	3.235	2.288	1.023
25	5.055	3.575	1.598
35	7.078	5.005	2.238
50	10.111	7.150	3.197
70	14.156	10.010	4.476
95	19.212	13.585	6.075
120	24.267	17.160	7.674
150	30.334	21.450	9.592
185	37.413	26.455	11.831
240	48.535	34.320	15.348

La intensidad de fusión de los fusibles (que protegen la línea general de alimentación en la CGP) es inferior a los valores anteriores, por lo que los fusibles protegerán contra cortocircuitos siempre y cuando la intensidad de fusión, en 5 segundos, sea inferior a la corriente que resulte de un cortocircuito en cualquier punto de la instalación.

- 4.1 Calcular la previsión de carga de un edificio de las siguientes características: 25 viviendas de 140 m², 2 ascensores para 4 personas, 100 m² de zonas comunes y 2 oficinas de 280 m². Tensión de suministro 3 × 400/230 V.
- 4.2 Realizar el esquema unifilar de un edificio de viviendas.
- 4.3 Calcular la línea (o líneas) general de alimentación de un edificio que tiene una previsión de carga de 240 kW y una distancia de la CGP a la centralización de contadores de 40 m. Discurre por canal protectora. Conductores unipolares tipo RV. Tensión de red 3 × 400/230 V.
- 4.4 Realizar el esquema unifilar del cuadro general de mando y protección de los servicios generales de un edificio que cuenta con tres ascensores, jardín y piscina.
- 4.5 Realizar el esquema unifilar de la instalación interior de una vivienda con grado de electrificación elevada.
- 4.6 Recopilar información técnico-comercial de electrodos de puesta a tierra y hacer un análisis sobre ellos.
- 4.7 Comprobar la red equipotencial de un cuarto de baño con ayuda de los aparatos de medida adecuados.
- 4.8 Realizar una unión de pica a cable pesante mediante soldadura aluminotérmica.

Actividades
y prácticas
propuestas

5

Instalaciones específicas. Tipología y características. Reglamentación

Introducción

En este capítulo se describen las instalaciones especiales relativas a locales de pública concurrencia, locales con riesgo de incendio o explosión, así como al resto de los locales dedicados a otros fines. Igualmente, se enumeran los diferentes tipos de alumbrados especiales y suministros normales y complementarios, se identifican las partes y los elementos que los constituyen y se describen las funciones que realizan.

Contenido

- 5.1. Instalaciones en locales de pública concurrencia
- 5.2. Tipos de suministros eléctricos. Suministros normales y complementarios: Socorro, Reserva y Duplicado
- 5.3. Instalaciones en locales con riesgo de incendio y explosión
- 5.4. Instalaciones en locales de características especiales
- 5.5. Instalaciones con fines especiales
- 5.6. Receptores. Tipología y características
Actividades y prácticas propuestas

Objetivos

- ▶ Realizar la verificación y puesta en servicio de las instalaciones eléctricas específicas.
- ▶ Analizar las instalaciones especiales identificando partes y elementos que las constituyen.
- ▶ Conocer y describir las funciones que realizan las diferentes partes de las instalaciones especiales y conocer el marco normativo y reglamentario.
- ▶ Realizar medidas y pruebas de las instalaciones especiales garantizando la calidad y fiabilidad del servicio.
- ▶ Modificar y elaborar procedimientos para el mantenimiento de las instalaciones especiales.
- ▶ Realizar el mantenimiento preventivo de las instalaciones especiales en base a la optimización de los recursos humanos y materiales, garantizando la calidad y seguridad en su aplicación.

5.1 Instalaciones en locales de pública concurrencia

5.1.1. Campo de aplicación

De acuerdo con la ITC-BT 28 del REBT los locales de pública concurrencia comprenden:

Locales de espectáculos y actividades recreativas. Están incluidos dentro de él toda clase de locales **cualquiera que sea su capacidad de ocupación**, como por ejemplo:

- Cines.
- Teatros.
- Auditorios.
- Estadios.
- Pabellones deportivos.
- Plazas de toros.
- Hipódromos.
- Parques de atracciones y ferias fijas.
- Salas de fiesta.
- Discotecas.
- Salas de juegos de azar.

Locales de reunión, trabajo y usos sanitarios. Este tipo de locales se dividen en dos:

Cualquiera que sea su ocupación, los siguientes:

- Templos.
- Museos.
- Salas de conferencias y congresos.
- Casinos.
- Hoteles.
- Hostales.
- Bares.
- Cafeterías.
- Restaurantes o similares.
- Zonas comunes en agrupaciones de establecimientos comerciales.
- Aeropuertos.
- Estaciones de viajeros.
- Estacionamientos cerrados y cubiertos para más de 5 vehículos.
- Hospitales.
- Ambulatorios y sanatorios.
- Asilos y guarderías.

Si la ocupación prevista es de más de 50 personas:

- Bibliotecas.
- Centros de enseñanza.
- Consultorios médicos.
- Establecimientos comerciales.
- Oficinas con presencia de público.

- Residencias de estudiantes.
- Gimnasios.
- Salas de exposiciones.
- Centros culturales.
- Clubes sociales y deportivos.

La ocupación prevista de los locales se calculará como 1 persona por cada 0,8 m² de superficie útil, a excepción de pasillos, repartidores, vestíbulos y servicios.

Para las instalaciones en quirófanos y salas de intervención se establecen requisitos particulares en la ITC-BT 38.

Igualmente se aplican a aquellos locales clasificados en condiciones BD2, BD3 y BD4, según la norma UNE 20460-3 y a todos aquellos locales no contemplados en los apartados anteriores, cuando tengan una capacidad de ocupación de más de 100 personas.

5.1.2. Alimentación de los servicios de seguridad

La alimentación para los servicios de seguridad (alumbra-dos de emergencia, sistemas contra incendios, ascensores, etc.), puede ser automática o no automática.

En una alimentación automática la puesta en servicio de la alimentación no depende de la intervención de un operador.

Una alimentación automática se clasifica, según la duración de conmutación, en las siguientes categorías:

- **Sin corte:** alimentación automática que puede estar asegurada de forma continua en las condiciones especificadas durante el periodo de transición, por ejemplo, en lo que se refiere a las variaciones de tensión y frecuencia.
- **Con corte muy breve:** alimentación automática disponible en **0,15 segundos como máximo**.
- **Con corte breve:** alimentación automática disponible en **0,5 segundos como máximo**.
- **Con corte mediano:** alimentación automática disponible en **15 segundos como máximo**.
- **Con corte largo:** alimentación automática disponible en **más de 15 segundos**.

5.1.2.1. Generalidades y fuentes de alimentación

Para los servicios de seguridad la fuente de energía debe ser elegida de forma que la alimentación esté asegurada durante un tiempo apropiado.

Para que los servicios de seguridad funcionen en caso de incendio, los equipos y materiales utilizados deben presentar, por construcción o por instalación, una resistencia al fuego de duración apropiada.

Se elegirán preferentemente medidas de protección contra los contactos indirectos sin corte automático al primer defecto. En el esquema IT debe preverse un controlador permanente de aislamiento que al primer defecto emita una señal acústica o visual.

Los equipos y materiales deberán disponerse de forma que se facilite su verificación periódica, ensayos y mantenimiento.

Se pueden utilizar las siguientes fuentes de alimentación:

- **Baterías de acumuladores.** Generalmente las baterías de arranque de los vehículos no satisfacen las prescripciones de alimentación para los servicios de seguridad.
- **Generadores independientes.**
- **Derivaciones separadas de la red de distribución,** efectivamente independientes de la alimentación normal.

Las fuentes para servicios complementarios o de seguridad deben estar instaladas en lugar fijo y de forma que no puedan ser afectadas por el fallo de la fuente normal. Además, con excepción de los equipos autónomos, deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Se instalarán en emplazamiento apropiado, accesible solamente a las personas cualificadas o expertas.
- El emplazamiento estará convenientemente ventilado, de forma que los gases y los humos que produzcan no puedan propagarse en los locales accesibles a las personas.
- No se admiten derivaciones separadas, independientes y alimentadas por una red de distribución pública, salvo si se asegura que las dos derivaciones no puedan fallar simultáneamente.
- Cuando exista una sola fuente para los servicios de seguridad, ésta no debe ser utilizada para otros usos. Sin embargo, cuando se dispone de varias fuentes, pueden utilizarse igualmente como fuentes de reemplazamiento, con la condición de que, en caso de fallo de una de ellas, la potencia todavía disponible sea suficiente para garantizar la puesta en funcionamiento de todos los servicios de seguridad, siendo necesario generalmente el corte automático de los equipos no concernientes a la seguridad.

5.1.2.2. Fuentes propias de energía

Fuente propia de energía es la que está constituida por baterías de acumuladores, aparatos autónomos o grupos eléctricos.

La puesta en funcionamiento se realizará al producirse la falta de tensión en los circuitos alimentados por los diferentes suministros procedentes de la Empresa o Empresas distribuidoras de energía eléctrica, o cuando aquella tensión descienda por debajo del 70% de su valor nominal.

La capacidad mínima de una fuente propia de energía será, como norma general, la precisa para proveer al alumbrado de seguridad en las condiciones señaladas en el punto correspondiente al alumbrado de seguridad.

5.1.2.3. Suministros complementarios o de seguridad

Todos los locales de pública concurrencia deberán disponer de alumbrado de emergencia.

Deberán disponer de suministro de socorro los locales de espectáculos y actividades recreativas cualquiera que sea su ocupación y los locales de reunión, trabajo y usos sanitarios con una ocupación prevista de más de 300 personas.

Deberán disponer de suministro de reserva:

- Hospitales, clínicas, sanatorios, ambulatorios y centros de salud.
- Estaciones de viajeros y aeropuertos.
- Estacionamientos subterráneos para más de 100 vehículos.
- Establecimientos comerciales o agrupaciones de éstos en centros comerciales de más de 2.000 m² de superficie.
- Estadios y pabellones deportivos.

Cuando un local se pueda considerar tanto en el grupo de locales que requieren suministro de socorro como en el grupo que requieren suministro de reserva, se instalará suministro de reserva.

En aquellos locales singulares, tales como los establecimientos sanitarios, grandes hoteles de más de 300 habitaciones, locales de espectáculos con capacidad para más de 1.000 espectadores, estaciones de viajeros, estacionamientos subterráneos con más de 100 plazas, aeropuertos y establecimientos comerciales o agrupaciones de éstos en centros comerciales de más de 2.000 m² de superficie, las fuentes propias de energía deberán poder suministrar, con independencia de los alumbrados especiales, la potencia necesaria para atender servicios urgentes indispensables cuando sean requeridos por la autoridad competente.

5.1.3. Alumbrado de emergencia

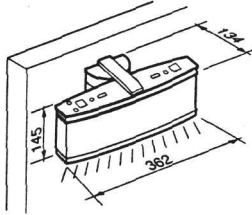
Las instalaciones destinadas a alumbrado de emergencia tienen por objeto asegurar, en caso de fallo de la alimentación al alumbrado normal, la iluminación en los locales y accesos hasta las salidas, para una eventual evacuación del público o iluminar otros puntos que se señalen.

La alimentación del alumbrado de emergencia será automática con corte breve.

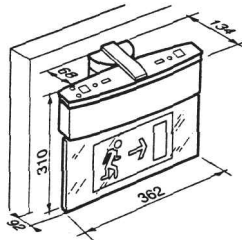
Se incluyen dentro de este alumbrado el alumbrado de seguridad y el alumbrado de reemplazamiento.

Cotas

Fijación mural

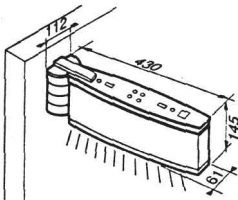


Alumbrado de ambiente

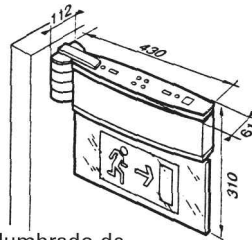


Alumbrado de señalización permanente

Fijación banderola

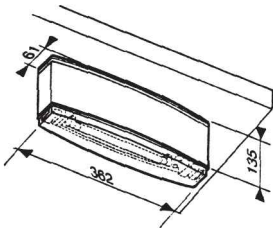


Alumbrado de ambiente

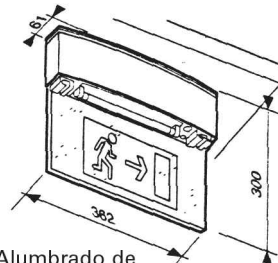


Alumbrado de señalización permanente

Fijación techo

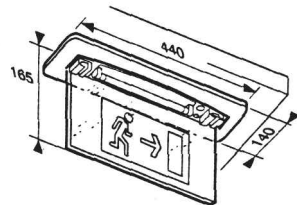
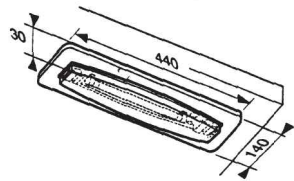


Alumbrado de ambiente



Alumbrado de señalización permanente

Fijación empotrado



Fijación suspendido

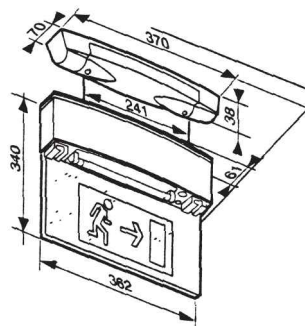
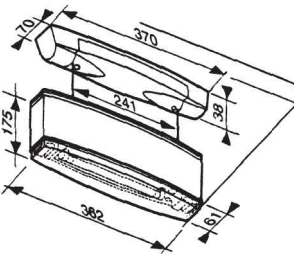


Figura 5.1. Alumbrado de emergencia: diferentes montajes.

5.1.3.1. Alumbrado de seguridad

Es el alumbrado de emergencia previsto para garantizar la seguridad de las personas que evacuen una zona o que tienen que terminar un trabajo potencialmente peligroso antes de abandonar la zona.

El alumbrado de seguridad estará previsto para entrar en funcionamiento automáticamente cuando se produce el fallo del alumbrado general o cuando la tensión de éste baje a menos del 70% de su valor nominal.

La instalación de este alumbrado será fija y estará provista de fuentes propias de energía. Sólo se podrá utilizar el suministro exterior para proceder a su carga, cuando la fuente propia de energía esté constituida por baterías de acumuladores o aparatos autónomos automáticos.

5.1.3.2. Alumbrado de evacuación

Es la parte del alumbrado de seguridad previsto para garantizar el reconocimiento y la utilización de los medios o rutas de evacuación cuando los locales estén o puedan estar ocupados.

En rutas de evacuación, el alumbrado de evacuación debe proporcionar, a nivel del suelo y en el eje de los pasos principales, una iluminancia horizontal mínima de 1 lux.

En los puntos en los que estén situados los equipos de las instalaciones de protección contra incendios que exijan utilización manual y en los cuadros de distribución del alumbrado, la iluminancia mínima será de 5 lux.

La relación entre la iluminancia máxima y la mínima en el eje de los pasos principales será menor de 40.

El alumbrado de evacuación deberá poder funcionar, cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo durante una hora, proporcionando la iluminancia prevista.

5.1.3.3. Alumbrado ambiente o antipánico

Es la parte del alumbrado de seguridad previsto para evitar todo riesgo de pánico y proporcionar una iluminación ambiente adecuada que permita a los ocupantes identificar y acceder a las rutas de evacuación e identificar obstáculos.

El alumbrado ambiente o antipánico debe proporcionar una iluminancia horizontal mínima de 0,5 lux en todo el espacio considerado, desde el suelo hasta una altura de 1 m.

La relación entre la iluminancia máxima y la mínima en todo el espacio considerado será menor de 40.

El alumbrado ambiente o antipánico deberá poder funcionar, cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo durante una hora, proporcionando la iluminancia prevista.

5.1.3.4. Alumbrado de zonas de alto riesgo

Es la parte del alumbrado de seguridad previsto para garantizar la seguridad de las personas ocupadas en actividades potencialmente peligrosas o que trabajan en un entorno peligroso. Permite la interrupción de los trabajos con seguridad para el operador y para los otros ocupantes del local.

El alumbrado de las zonas de alto riesgo debe proporcionar una iluminancia mínima de 15 lux o el 10% de la iluminancia normal, tomando siempre el mayor de los valores.

La relación entre la iluminancia máxima y la mínima en todo el espacio considerado será menor de 10.

El alumbrado de las zonas de alto riesgo deberá poder funcionar, cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo el tiempo necesario para abandonar la actividad o zona de alto riesgo.

5.1.3.5. Alumbrado de reemplazamiento

Parte del alumbrado de emergencia que permite la continuidad de las actividades normales.

Cuando el alumbrado de reemplazamiento proporcione una iluminancia inferior al alumbrado normal, se usará únicamente para terminar el trabajo con seguridad.

5.1.4. Lugares en que deberá instalarse alumbrado de emergencia

5.1.4.1. Con alumbrado de seguridad

Es obligatorio situar el alumbrado de seguridad en las siguientes zonas de los locales de pública concurrencia:

- En todos los recintos cuya ocupación sea mayor de 100 personas.
- Los recorridos generales de evacuación de zonas destinadas a usos residencial u hospitalario y los de zonas destinadas a cualquier otro uso que estén previstos para la evacuación de más de 100 personas.
- En los aseos generales de planta en edificios de acceso público.
- En los estacionamientos cerrados y cubiertos para más de 5 vehículos, incluidos los pasillos y las escaleras que conduzcan desde aquéllos hasta el exterior o hasta las zonas generales del edificio.
- En los locales que alberguen equipos generales de las instalaciones de protección.
- En las salidas de emergencia y en las señales de seguridad reglamentarias.
- En todo cambio de dirección de la ruta de evacuación.
- En toda intersección de pasillos con las rutas de evacuación.

- En el exterior del edificio, en la vecindad inmediata a la salida
- Cerca⁽¹⁾ de las escaleras, de manera que cada tramo de escaleras reciba una iluminación directa.
- Cerca⁽¹⁾ de cada cambio de nivel.
- Cerca⁽¹⁾ de cada puesto de primeros auxilios.
- Cerca⁽¹⁾ de cada equipo manual destinado a la prevención y extinción de incendios.
- En los cuadros de distribución de la instalación de alumbrado de las zonas indicadas anteriormente.

⁽¹⁾ Cerca significa a una distancia inferior a 2 metros, medida horizontalmente.

En las zonas incluidas en los apartados m) y n), el alumbrado de seguridad proporcionará una iluminancia mínima de 5 lux al nivel de operación.

Sólo se instalará alumbrado de seguridad para zonas de alto riesgo en las zonas que así lo requieran, según lo establecido en la ITC-BT 28 apartado 3.1.3.

También será necesario instalar alumbrado de evacuación, aunque no sea un local de pública concurrencia, en todas las escaleras de incendios, en particular toda escalera de evacuación de edificios para uso de viviendas de acuerdo con el CTE-DB SU 4, apartado 2.1.

5.1.4.2. Con alumbrado de reemplazamiento

En las zonas de hospitalización, la instalación de alumbrado de emergencia proporcionará una iluminancia no inferior de 5 lux y durante 2 horas como mínimo. Las salas de intervención, las destinadas a tratamiento intensivo, las salas de curas, paritorios, urgencias dispondrán de un alumbrado de reemplazamiento que proporcionará un nivel de iluminancia igual al del alumbrado normal durante 2 horas como mínimo.

5.1.5. Prescripciones de los aparatos para alumbrado de emergencia

5.1.5.1. Aparatos autónomos para alumbrado de emergencia

Luminaria que proporciona alumbrado de emergencia de tipo permanente o no permanente en la que todos los elementos, tales como la batería, la lámpara, el conjunto de mando y los dispositivos de verificación y control, si existen, están contenidos dentro de la luminaria o a una distancia inferior a 1 m de ella.

Los aparatos autónomos destinados a alumbrado de emergencia deberán cumplir la norma UNE-EN 60598-2-22 y las normas UNE 20392 y UNE 20062, según que la luminaria sea para lámparas fluorescentes o para lámparas incandescentes, respectivamente.

5.1.5.2. Luminaria alimentada por fuente central

Luminaria que proporciona alumbrado de emergencia de tipo permanente o no permanente y que está alimentada a partir de un sistema de alimentación de emergencia central, es decir, no incorporado en la luminaria.

Las luminarias que actúan como aparatos de emergencia alimentados por fuente central deberán cumplir lo expuesto en la norma UNE-EN 60598-2-22.

Los distintos aparatos de control, mando y protección generales para las instalaciones del alumbrado de emergencia por fuente central entre los que figurará un voltímetro de clase 2,5 por lo menos, se dispondrán en un cuadro único, situado fuera de la posible intervención del público.

Las líneas que alimentan directamente los circuitos individuales de los alumbrados de emergencia alimentados por fuente central, estarán protegidas por interruptores automáticos con una intensidad nominal de 10 A como máximo. Una misma línea no podrá alimentar más de 12 puntos de luz o, si en la dependencia o local considerado existiesen varios puntos de luz para alumbrado de emergencia, éstos deberán ser repartidos, al menos, entre dos líneas diferentes, aunque su número sea inferior a doce.

Las canalizaciones que alimenten los alumbrados de emergencia alimentados por fuente central se dispondrán, cuando se instalen sobre paredes o empotradas en ellas, a 5 cm como mínimo de otras canalizaciones eléctricas y, cuando se instalen en huecos de la construcción, estarán separadas de éstas por tabiques incombustibles no metálicos.

5.1.6. Prescripciones de carácter general

Las instalaciones en los locales de pública concurrencia cumplirán las condiciones de carácter general que a continuación se señalan.

- a) El cuadro general de distribución deberá colocarse en el punto más próximo posible a la entrada de la acometida o derivación individual, y se colocarán junto a él o sobre él los dispositivos de mando y protección establecidos en la instrucción ITC-BT 17. Cuando no sea posible la instalación del cuadro general en este punto, se instalará en dicho punto un dispositivo de mando y protección.

Del citado cuadro general saldrán las líneas que alimentan directamente los aparatos receptores o bien las líneas generales de distribución a las que se conectarán, mediante cajas o a través de cuadros secundarios de distribución, los distintos circuitos alimentadores. Los aparatos receptores que consuman más de 16 amperios se alimentarán directamente desde el cuadro general o desde los secundarios.

- b) El cuadro general de distribución e, igualmente, los cuadros secundarios se instalarán en lugares a los que no

tenga acceso el público y que estarán separados de los locales donde exista un peligro acusado de incendio o de pánico (cabinas de proyección, escenarios, salas de público, escaparates, etc.), por medio de elementos a prueba de incendios y puertas no propagadoras del fuego. Los contadores podrán instalarse en otro lugar, de acuerdo con la empresa distribuidora de energía eléctrica, y siempre antes del cuadro general.

- c) En el cuadro general de distribución o en los secundarios se dispondrán dispositivos de mando y protección para cada una de las líneas generales de distribución y las de alimentación directa a receptores. Cerca de cada uno de los interruptores del cuadro se colocará una placa indicadora del circuito al que pertenecen.
- d) En las instalaciones para alumbrado de locales o dependencias donde se reúna público, el número de líneas secundarias y su disposición en relación con el total de lámparas a alimentar deberá ser tal que el corte de corriente en una cualquiera de ellas no afecte a más de la tercera parte del total de lámparas instaladas en los locales o dependencias que se iluminan alimentadas por dichas líneas. Cada una de estas líneas estará protegida en su origen contra sobrecargas, cortocircuitos y, si procede, contra contactos indirectos.
- e) Las canalizaciones deben realizarse según lo dispuesto en las ITC-BT 19 e ITC-BT 20 y estarán constituidas por:
 - Conductores aislados, de tensión asignada no inferior a 450/750 V, colocados bajo tubos o canales protectores, preferentemente empotrados, en especial en las zonas accesibles al público.
 - Conductores aislados, de tensión asignada no inferior a 450/750 V, con cubierta de protección, colocados en huecos de la construcción totalmente construidos en materiales incombustibles de resistencia al fuego RF-120, como mínimo.
 - Conductores rígidos aislados, de tensión asignada no inferior a 0,6/1 kV, armados, colocados directamente sobre las paredes.
- f) Los cables y sistemas de conducción de cables deben instalarse de manera que no se reduzcan las características de la estructura del edificio en la seguridad contra incendios.

Los cables eléctricos a utilizar en las instalaciones de tipo general y en el conexionado interior de cuadros eléctricos en este tipo de locales, serán no propagadores del incendio y con emisión de humos y opacidad reducida. Los cables con características equivalentes a las de la norma UNE 21123 parte 4 o 5, o a la norma UNE 211002 (según la tensión asignada del cable), cumplen con esta prescripción.

Los elementos de conducción de cables con características equivalentes a los clasificados como «no propagadores de la llama» de acuerdo con las normas UNE-EN 50085-1 y UNE-EN 50086-1, cumplen con esta prescripción.

Los cables eléctricos destinados a circuitos de servicios de seguridad no autónomos o a circuitos de servicios con fuentes autónomas centralizadas, deben mantener el servicio durante y después del incendio, siendo conformes a las especificaciones de la norma UNE-EN 50200 y tendrán emisión de humos y opacidad reducida. Los cables con características equivalentes a la norma UNE 21123 partes 4 o 5, apartado 3.4.6, cumplen con la prescripción de emisión de humos y opacidad reducida.

- g) Las fuentes propias de energía de corriente alterna a 50 Hz no podrán dar tensión de retorno a la acometida o acometidas de la red de Baja Tensión pública que alimenten al local de pública concurrencia.

5.1.7. Prescripciones complementarias para locales de espectáculos y actividades recreativas

Además de las prescripciones generales señaladas en el capítulo anterior, se cumplirán en los locales de espectáculos las siguientes prescripciones complementarias:

- a) A partir del cuadro general de distribución se instalarán líneas distribuidoras generales, accionadas por medio de interruptores omnipolares con la debida protección al menos, para cada uno de los siguientes grupos de dependencias o locales:
- Sala de público.
 - Vestíbulo, escaleras y pasillos de acceso a la sala desde la calle, y dependencias anexas a ellos.
 - Escenario y dependencias anexas a él, tales como camerinos, pasillos de acceso a éstos, almacenes, etc.
 - Cabinas cinematográficas o de proyectores para alumbrado.

Cada uno de los grupos señalados dispondrá de su correspondiente cuadro secundario de distribución, que deberá contener todos los dispositivos de protección. En otros cuadros se ubicarán los interruptores, conmutadores, combinadores, etc. que sean precisos para las distintas líneas, baterías, combinaciones de luz y demás efectos obtenidos en escena.

- b) En las cabinas cinematográficas y en los escenarios, así como en los almacenes y talleres anexas a éstos, se utilizarán únicamente canalizaciones constituidas por conductores aislados, de tensión asignada no inferior a 450/750 V, colocados bajo tubos o canales protectores, preferentemente empotrados. Los dispositivos de protección contra sobrecargas estarán constituidos siempre por interruptores automáticos magnetotérmicos; las canalizaciones móviles estarán constituidas por conductores con aislamiento del tipo doble o reforzado y los receptores portátiles tendrán un aislamiento de la clase II.

- c) Los cuadros secundarios de distribución deberán estar colocados en locales independientes o en el interior de un recinto construido con material no combustible.
- d) Será posible cortar, mediante interruptores omnipolares, cada una de las instalaciones eléctricas correspondientes a:
- Camerinos.
 - Almacenes.
 - Talleres.
 - Otros locales con peligro de incendio.
 - Los reostatos, resistencias y receptores móviles del equipo escénico.
- e) Las resistencias empleadas para efectos o juegos de luz o para otros usos estarán montadas a suficiente distancia de los telones, bambalinas y demás material del decorado y protegidas suficientemente para que una anomalía en su funcionamiento no pueda producir daños. Estas precauciones se hacen extensivas a cuantos dispositivos eléctricos se utilicen y especialmente a las linternas de proyección y a las lámparas de arco de aquéllas.
- f) El alumbrado general deberá ser completado por un alumbrado de evacuación, conforme a las disposiciones del apartado alumbrado de evacuación, el cual funcionará permanentemente durante el espectáculo y hasta que el local sea evacuado por el público.
- g) Se instalará iluminación de balizamiento en cada uno de los peldaños o rampas con una inclinación superior al 8% del local con la suficiente intensidad para que puedan iluminar la huella. En el caso de pilotos de balizado, se instalará a razón de uno por cada metro lineal de la anchura o fracción.

La instalación de balizamiento debe estar construida de forma que el paso de alerta al de funcionamiento de emergencia se produzca cuando el valor de la tensión de alimentación descienda por debajo del 70% de su valor nominal.

5.1.8. Prescripciones complementarias para locales de reunión y trabajo

Además de las prescripciones generales señaladas en el Capítulo 5, se cumplirán en los locales de reunión las siguientes prescripciones complementarias:

A partir del cuadro general de distribución se instalarán líneas distribuidoras generales, accionadas por medio de interruptores omnipolares, al menos para cada uno de los siguientes grupos de dependencias o locales:

- Salas de venta o reunión, por planta del edificio.
- Escaparates.
- Almacenes.
- Talleres.
- Pasillos, escaleras y vestíbulos.

5.1.9. Prescripciones complementarias para establecimientos sanitarios

Además de las prescripciones generales, se cumplirán en estos locales las complementarias siguientes:

- Las salas de quirófano y demás dependencias donde puedan utilizarse anestésicos u otros productos inflamables, serán consideradas como locales con riesgo de incendio Clase I-Zona I.
- Las instalaciones de aparatos de usos médicos se realizarán de acuerdo con lo dispuesto en la instrucción ITC-BT 38.
- El equipo electromédico utilizado en el quirófano deberá cumplir con normas técnicas nacionales que le afecten y, en caso de no existir éstas, con normas internacionales de reconocida garantía como las CEI, ISO, VDE, etc.

Medidas de protección. El suministro a quirófanos será trifásico con neutro y conductor de protección, estando todas las masas metálicas de los equipos electromédicos conectadas a través de un conductor de protección a un embarrado común de puesta a tierra de protección (PT), y éste, a su vez, a la puesta a tierra general del edificio.

La impedancia entre el embarrado común de puesta a tierra de cada quirófano y las conexiones a masa, o a los contactos de tierra de las bases de toma de corriente, no excederá de $0,2 \Omega$.

Conexión de equipotencialidad. Todas las partes metálicas accesibles estarán unidas al embarrado de equipotencialidad mediante conductores de cobre aislados e independientes. La impedancia entre estas partes y el embarrado (EE) no deberá exceder de $0,1 \Omega$.

Se empleará la identificación amarillo-verde para los conductores de equipotencialidad y para los de protección.

La unión entre embarrados (PT) y (EE) se realizará por medio de un conductor aislado e identificado de color amarillo-verde con una sección no inferior a 16 mm^2 .

Suministro a través de un transformador de aislamiento (de separación de circuitos) para uso médico. Se prescribe el empleo de un transformador de aislamiento, como mínimo por quirófano, para aumentar la fiabilidad de la alimentación eléctrica a aquellos equipos en los que una interrupción del suministro puede poner en peligro, directa o indirectamente, al paciente o al personal implicado y para limitar las corrientes de fuga que pudieran producirse.

Para la vigilancia del nivel de aislamiento de estos circuitos, se dispondrá de un monitor de detección de fugas, que encenderá una señalización óptica de color rojo cuando se detecte una pérdida de aislamiento capaz de originar una intensidad de fuga superior a 2 mA en instalaciones a 127 V , y a 4 mA en instalaciones a 230 V , siempre que se trate de medida por impedancia, o sea inferior a 50.000Ω cuando se trate de medida por resistencia, accionando a la vez una alarma acústica y de un indicativo óptico de color verde de correcto funcionamiento.

Mientras que el CGMP del quirófano deberá estar fuera de éste, el cuadro de alarma del monitor de fugas deberá estar en el interior del quirófano y fácilmente visible y accesible, con la posibilidad de sustituir de forma rápida y fácil sus elementos.

Protección diferencial. Se emplearán dispositivos de protección diferencial de alta sensibilidad, $\leq 30 \text{ mA}$, y de clase A para la protección individual de aquellos equipos que no estén alimentados a través de un transformador de aislamiento, aunque el empleo de tales dispositivos no exime de la necesidad de puesta a tierra y equipotencialidad.

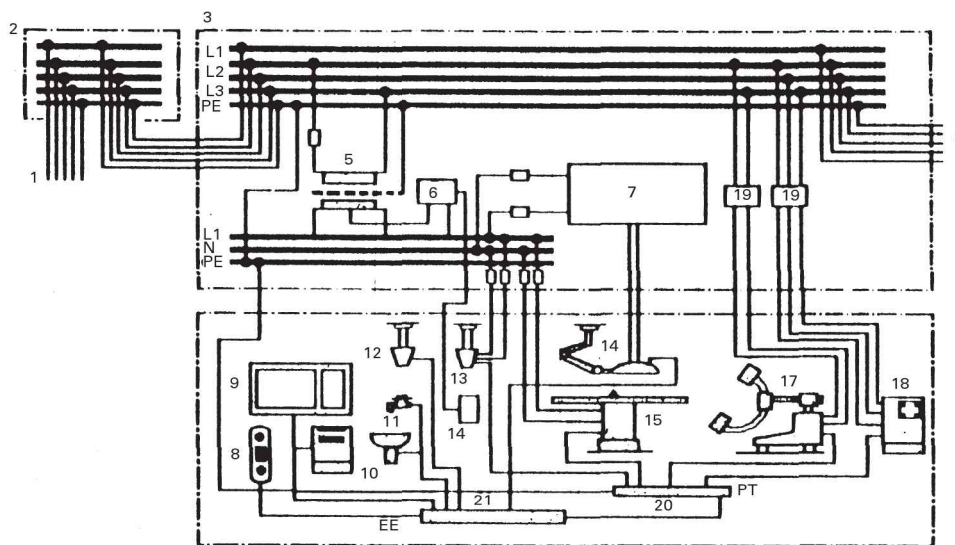


Figura 5.2a. Quirófano. Ejemplo de un esquema eléctrico general.

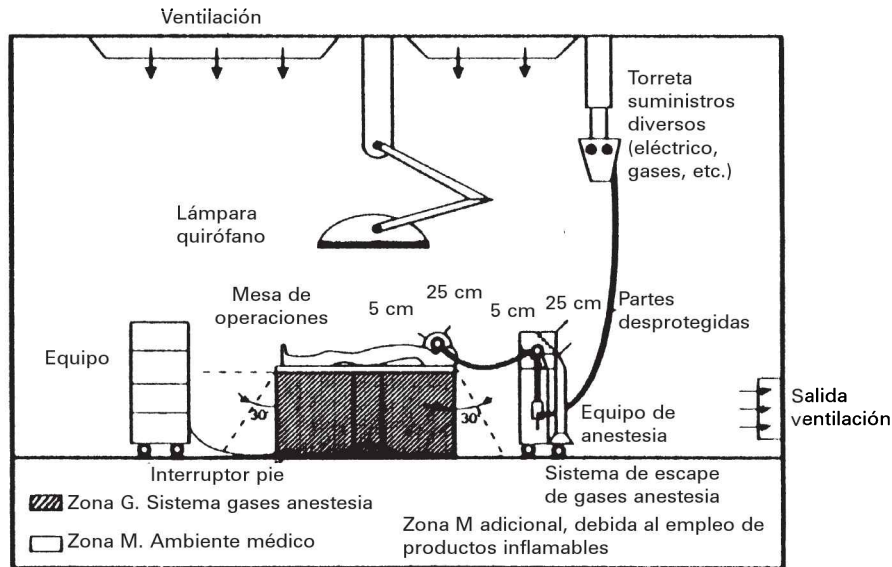


Figura 5.2b. Quirófanos. Zona de riesgo de incendio y explosión cuando se empleen mezclas anestésicas gaseosas o agentes desinfectantes inflamables.

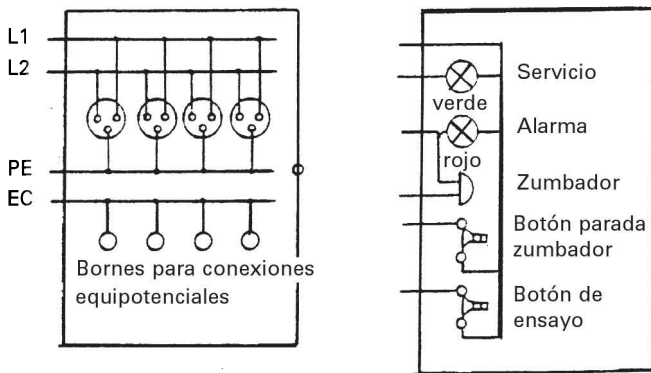


Figura 5.2c. Quirófanos. Detalle de la torreta aérea de tomas de corriente y del cuadro de alarmas.

Los dispositivos alimentados a través de un transformador de aislamiento no deben protegerse con Int. Aut. Diferenciales en el primario ni el secundario del transformador.

Empleo de muy baja tensión de seguridad. No deberán exceder de 24 V en C.A. ni de 50 V en C.C.

El suministro se hará a través de un transformador de seguridad, o de otros sistemas con aislamiento equivalente.

Suministros Complementarios. Además del Suministro Complementario de Reserva requerido en la ITC-BT 28, será obligatorio disponer de un Suministro Complementario, que deberá entrar en servicio automáticamente en menos de 0,5 segundos (corte breve), con una autonomía no inferior a 2 horas.

Indicación de cada elemento marcado con el número:

1. Alimentación general o línea repartidora del edificio.
2. Distribución en la planta o derivación individual.
3. Cuadro de distribución en la sala de operaciones.
4. Suministro complementario.

5. Transformador de aislamiento tipo médico.
6. Dispositivo de vigilancia del aislamiento (monitor detector de fugas).
7. Suministro normal y especial complementario para alumbrado de lámpara de quirófano.
8. Radiadores de calefacción central.
9. Marco metálico de ventana.
10. Armario metálico para instrumentos.
11. Partes metálicas de lavabos y suministro de agua.
12. Torreta aérea de tomas de suministro de gas.
13. Torreta aérea de tomas de corriente (con terminales para conexión equipotencial, envolvente conectada al embarrado conductor de protección y equipos de reanimación).
14. Cuadro de alarmas del dispositivo de vigilancia de aislamiento.
15. Mesa de operaciones (funcionamiento eléctrico).
16. Lámpara de quirófano.
17. Equipo de rayos X.
18. Esterilizador.
19. Interruptor automático de protección diferencial.
20. Embarrado de puesta a tierra (PT).
21. Embarrado de equipotencialidad (EE).

5.2 Tipos de suministros eléctricos. Suministros normales y complementarios: Socorro, Reserva y Duplicado

El REBT en su art. 10 establece los diferentes tipos de suministros, clasificándolos en:

Suministros normales. Son los efectuados a cada abonado por una sola Empresa Suministradora de Energía (E.S.E.) por la totalidad de la potencia contratada por aquél y con un solo punto de entrega de la energía.

Suministros complementarios. Son los que, a efectos de seguridad y continuidad de suministro, complementan a un suministro normal.

Estos suministros podrán realizarse por dos E.S.E. diferentes o por la misma empresa, cuando se disponga, en el lugar de utilización de la energía, de medios de transporte y distribución independientes o por el usuario mediante medios propios. Comprenderá suministros de socorro, suministros de reserva y suministro duplicado. Pueden considerarse independientes los suministros de energía en B.T. a un mismo usuario, siempre que las canalizaciones o circuitos de alimentación estén protegidos separadamente en origen, aunque partan de un mismo transformador de AT/BT. No obstante, las Delegaciones Provinciales exigirán a los usuarios, en los casos de lo-

cales de pública concurrencia, la instalación de medios propios de producción, en cumplimiento de lo señalado en el art. 10 y en la instrucción ITC-BT 28.

Suministro de Socorro. Es aquel que está limitado a una potencia receptora mínima equivalente al 15% del total de la potencia contratada en el suministro normal.

Suministro de Reserva. Es el dedicado a mantener un servicio restringido de elementos de funcionamiento indispensable de la instalación receptora, hasta una potencia mínima del 25% de la potencia contratada en el suministro normal.

Suministro Duplicado. Es el que es capaz de mantener un servicio mayor del 50% de la potencia total contratada por el suministro normal.

La ITC-BT 28 nos indica los locales con obligación de tener suministros complementarios, fuentes propias de energía y alumbrados complementarios. En los siguientes cuadros se indican los locales y actividades afectadas por dichos suministros.

Tabla 5.1. Resumen Locales de Pública Concurrencia

Instalaciones en Locales de Pública Concurrencia				Fuentes propias de energía para alumbrados especiales y servicios urgentes e indispensables			
Espectáculos y actividades recreativas cualquiera que sea su ocupación y los locales de reunión, trabajo y usos sanitarios de más de 300 personas.				X			
Hospitales. Clínicas. Sanatorios. Ambulatorios y centros de salud. Estaciones de viajeros y aeropuertos. Estacionamientos subterráneos para más de 100 vehículos. Establecimientos comerciales o agrupaciones de éstos en centros comerciales de más de 2.000 m ² de superficie. Estadios y pabellones deportivos.				X			
En aquellos locales singulares, tales como los establecimientos sanitarios, grandes hoteles de más de 300 habitaciones, locales de espectáculos con capacidad para más de 1.000 espectadores, estaciones de viajeros, estacionamientos subterráneos con más de 100 plazas, aeropuertos y establecimientos comerciales o agrupaciones de éstos en centros comerciales de más de 2.000 m ² de superficie, las fuentes propias de energía deberán poder suministrar, con independencia de los alumbrados especiales, la potencia necesaria para atender servicios urgentes e indispensables cuando sean requeridos por la autoridad competente.				X			
Establecimientos: comerciales, industriales o dedicados a otra actividad de características o circunstancias singulares fijadas por el Órgano Competente de la Comunidad Autónoma, podrán disponer de suministro de:	X	X	X	X	X	X	
Quirófanos. Salas de Cura. Unidades de Vigilancia Intensiva.				X			X
Personas que ocupan actividades potencialmente peligrosas o trabajan en un entorno peligroso.							X

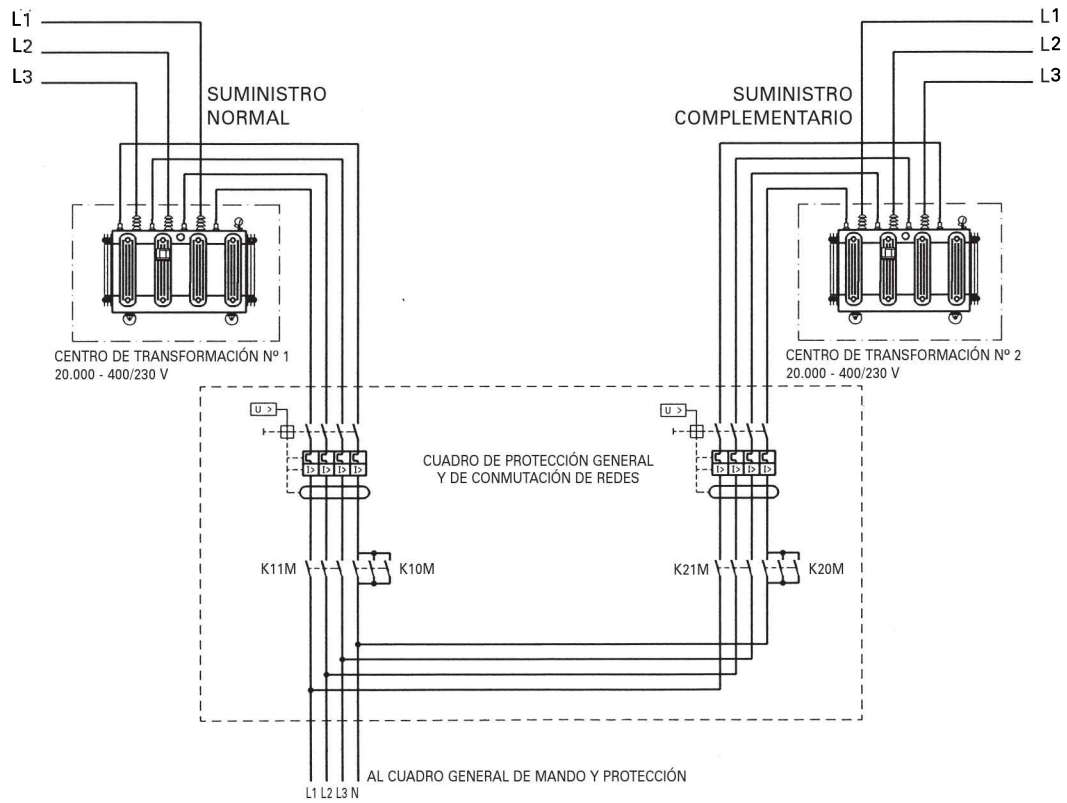


Figura 5.3a. Suministro normal y complementario para el 100% del suministro normal de CT independiente.

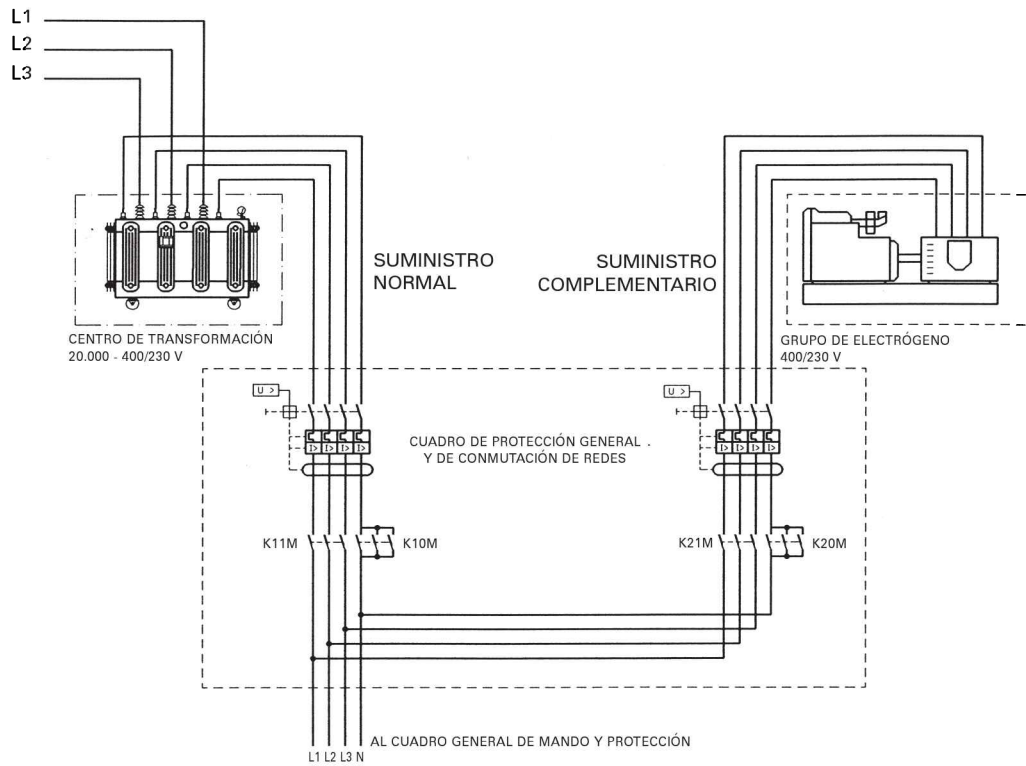


Figura 5.3b. Suministro normal procedente de CT y suministro complementario para el 100% del suministro normal procedente de fuentes propias.

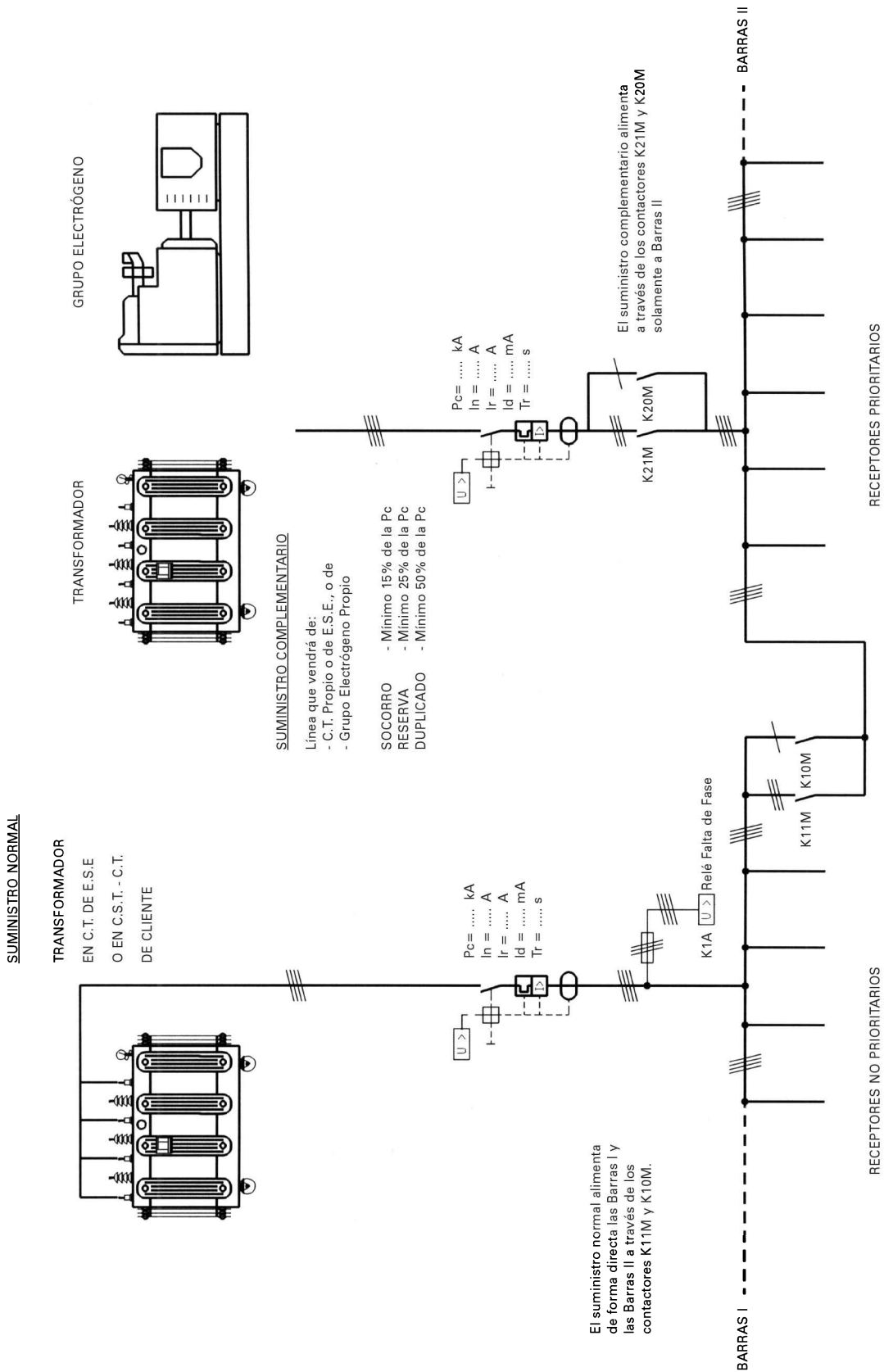


Figura 5.3c. Esquema simplificado del CGMP para dotar de suministro normal y complementario a unas instalaciones.

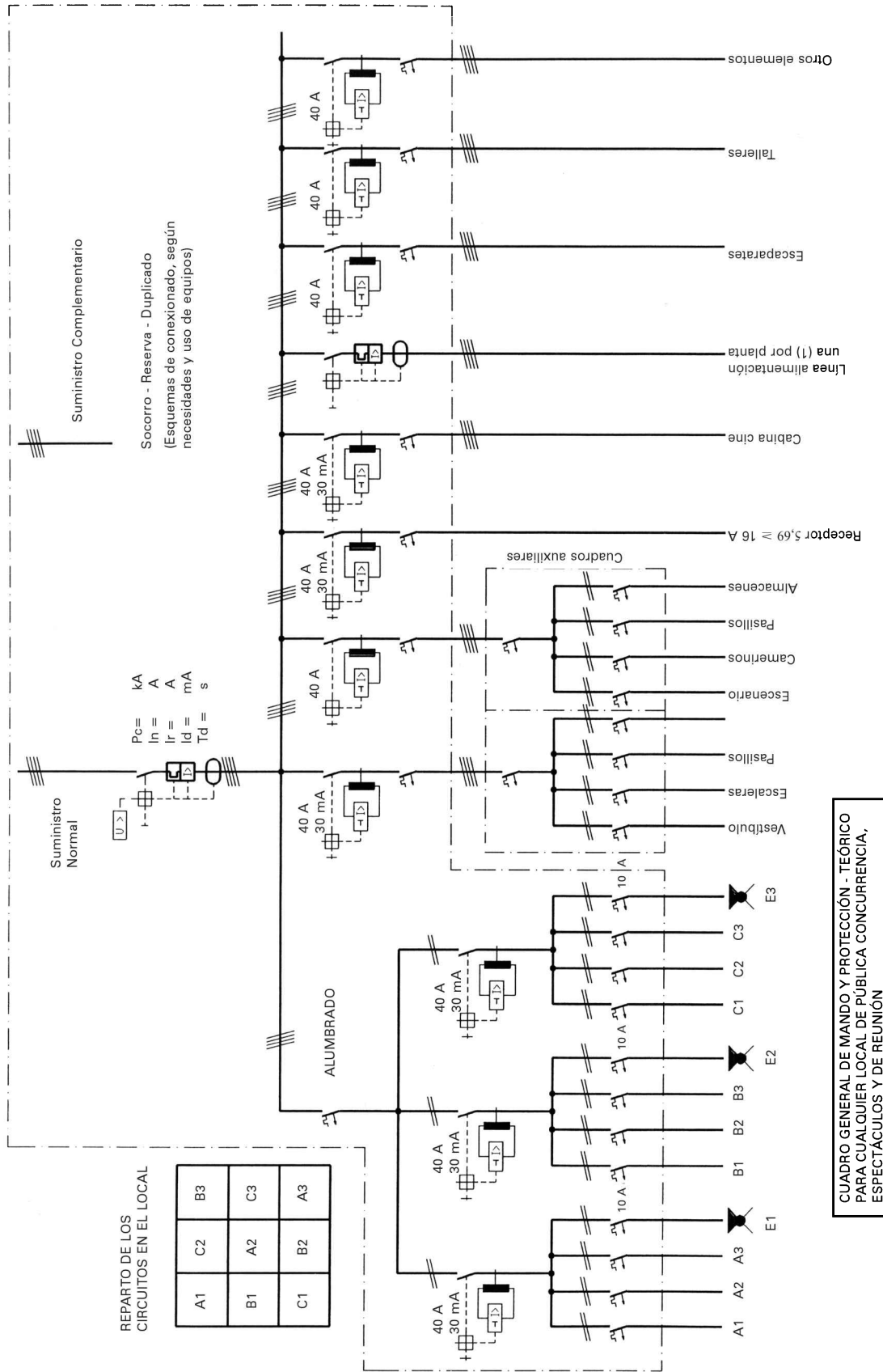


Figura 5.4. Esquema - TEÓRICO - del Cuadro General de Mando y Protección para un Local de Pública Concurrencia, de Espectáculos y de Reunión

5.3 Instalaciones en locales con riesgo de incendio y explosión

De acuerdo con la ITC-BT 29 del REBT, y a efectos de aplicación de las presentes prescripciones se consideran dentro del concepto de atmósferas potencialmente explosivas 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.

Debido a que son objeto de normativas específicas no se consideran incluidas en esta Instrucción las instalaciones eléctricas siguientes:

- Las instalaciones correspondientes a los equipos excluidos del campo de aplicación del R.D. 400/1996, de 1 de marzo, por el que se dictan las 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.
- Cualquier otro entorno que disponga de una reglamentación particular.

5.3.1. Terminología

A los efectos de la presente Instrucción se entenderá:

- **Modo de protección:** Conjunto de medidas específicas aplicadas a un equipo eléctrico para impedir la inflamación de una atmósfera explosiva que lo circunde.
- **Envolvente antideflagrante «d»:** Modo de protección en el que las partes que pueden inflamar una atmósfera explosiva están situadas dentro de una envolvente que puede soportar los efectos de la presión derivada de una explosión interna de la mezcla y que impide la transmisión de la explosión a la atmósfera explosiva circundante. Las reglas de este modo de protección se definen en la norma UNE-EN 50018.
- **Inmersión en aceite «o»:** Modo de protección en el que el equipo eléctrico o partes de éste se sumergen en un líquido de protección, de modo que la atmósfera explosiva que pueda encontrarse sobre la superficie del líquido o en el entorno de la envolvente, no resulta inflamada. Las reglas de este modo de protección se definen en la norma UNE-EN 50015.
- **Seguridad intrínseca «i»:** Modo de protección que aplicado a un circuito o a los circuitos de un equipo hace que cualquier chispa o cualquier efecto térmico producido en condiciones normalizadas, lo que incluye funcionamiento normal y funcionamiento en condiciones de fallo especificadas, no sea capaz de provocar la inflamación de una determinada atmósfera explosiva. Las

reglas de este modo de protección se definen en la norma UNE-EN 50020.

- **Sistema de seguridad intrínseca:** Conjunto de materiales y equipos eléctricos interconectados entre sí, descritos en un documento, en el que los circuitos o partes de circuitos destinados a ser empleados en atmósferas con riesgo de explosión, son de seguridad intrínseca. Las reglas a que deben someterse estos sistemas se encuentran en la norma UNE-EN 50039.
- **Categoría de aparatos:** Clasificación de los equipos eléctricos o no eléctricos establecida por la Directiva 94/9/CE en función de la peligrosidad del emplazamiento en que se van a utilizar. Dentro del Grupo II de aparatos se distinguen:
 - **Categoría 1:** Aparatos diseñados para que puedan funcionar dentro de los parámetros operativos determinados por el fabricante y asegurar un nivel de protección muy alto.
 - **Categoría 2:** Aparatos diseñados para poder funcionar en las condiciones prácticas fijadas por el fabricante y asegurar un alto nivel de protección.
 - **Categoría 3:** Aparatos diseñados para poder funcionar en las condiciones prácticas fijadas por el fabricante y asegurar un nivel normal de protección.
- **Declaración CE de conformidad:** Documento emitido por el fabricante, o por su representante legal, por el que se afirma que un determinado aparato, sistema o componente cumple todas las prescripciones de la directiva o directivas aplicables.

5.3.2. Clasificación de emplazamientos

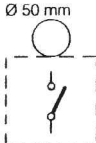

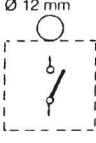

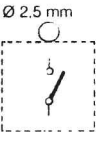
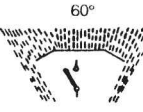
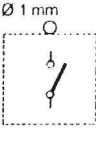
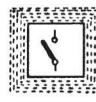
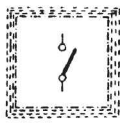
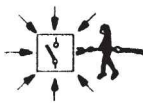

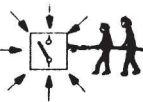
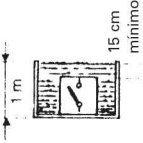
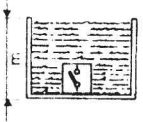
Los emplazamientos se agrupan como sigue:

- **Clase I:** Comprende los emplazamientos en los que hay o puede haber gases, vapores o nieblas en cantidad suficiente para producir atmósferas explosivas o inflamables; se incluyen en esta clase los lugares en los que hay o puede haber líquidos inflamables.
- **Clase II:** Comprende los emplazamientos en los que hay o puede haber polvo inflamable.

Zonas de emplazamientos Clase I

Se distinguen:

- **Zona 0:** Emplazamiento en el que la atmósfera explosiva constituida por una mezcla de aire de **sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla**, está presente **de modo permanente**, o por un espacio de tiempo **prolongado, o frecuentemente**.
- **Zona 1:** Emplazamiento en el que cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la **formación ocasional** de atmósfera explosiva constituida por una mezcla con aire **de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla**.

IP	Tests		IP	Tests		IK	Energía de choque (julios)	Antiguo 3.ª cifra IP
0		Sin protección	0		Sin protección	00	0	0
1		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 50 mm (ej., contactos involuntarios de la mano)	1		Protegido contra las caídas verticales de gotas de agua (condensación)	01	0,15	
2		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 12 mm (ej., dedos de la mano)	2		Protegido contra las caídas de agua hasta 15° de la vertical	02	0,20	1
3		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 2,5 mm (ej., herramientas, cables...)	3		Protegido contra el agua de lluvia hasta 60° de la vertical	03	0,35	3
4		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 1 mm (ej., herramientas, cables...)	4		Protegido contra las proyecciones de agua en todas direcciones	04	0,50	3
5		Protegido contra el polvo (sin sedimentos perjudiciales)	5		Protegido contra el lanzamiento de agua en todas direcciones	05	0,70	
6		Totalmente protegidos contra el polvo	6		Protegido contra el lanzamiento de agua similar a los golpes del mar	06	1	
			7		Protegido contra la inmersión	07	2	5
			8		Protegido contra los efectos prolongados de inmersión bajo presión	08	5	
						(1)	6	7
						09	10	
						10	20	9

- Esta tabla permite conocer la resistencia de un producto a un impacto dado en julios, partiendo de un grado IK.
- También permite conocer la correspondencia con la antigua 3.ª cifra IP

(1) Se admite que un producto que tenía IP xx7, cumple las condiciones de un IP xx - IK 08

Figura 5.5. Índices de protección de las envolturas.

- **Zona 2:** Emplazamiento en el que no cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación de atmósfera explosiva constituida por una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla o, en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva **sólo subsiste por espacios de tiempo muy breves.**

Zonas de emplazamiento Clase II

Se distinguen:

- **Zona 20:** Emplazamiento en el que la atmósfera explosiva en forma de **nube de polvo inflamable** en el aire está presente **de forma permanente**, o por un espacio de tiempo **prolongado, o frecuentemente.**
- **Zona 21:** Emplazamientos en los que cabe contar con la **formación ocasional**, en condiciones normales de funcionamiento, de una atmósfera explosiva, en forma de nube de polvo inflamable en el aire.
- **Zona 22:** Emplazamientos en el que **no cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación de una atmósfera explosiva peligrosa** en forma de nube de polvo inflamable en el aire o en la que, en caso de formarse dicha atmósfera explosiva, sólo subsiste por breve espacio de tiempo.

Ejemplos de emplazamientos peligrosos

De Clase I:

- Lugares donde se trasvasen líquidos volátiles inflamables de un recipiente a otro.
- Garajes y talleres de reparación de vehículos. Se excluyen los garajes de uso privado para estacionamiento de 5 vehículos o menos.
- Interior de cabinas de pintura donde se usen sistemas de pulverización y su entorno cercano cuando se utilicen disolventes.
- Secaderos de material con disolventes inflamables.
- Locales de extracción de grasas y aceites que utilicen disolventes inflamables.
- Locales con depósitos de líquidos inflamables abiertos o que se puedan abrir.
- Zonas de lavanderías y tintorerías en las que se empleen líquidos inflamables.
- Salas de gasógenos.
- Instalaciones donde se produzcan, manipulen, almacenen o consuman gases inflamables.
- Salas de bombas y/o de compresores de líquidos y gases inflamables.
- Interiores de refrigeradores y congeladores en los que se almacenen materias inflamables en recipientes abiertos, fácilmente perforables o con cierres poco consistentes.

De Clase II:

- Zonas de trabajo, manipulación y almacenamiento de la industria alimentaria que maneja granos y derivados.

- Zonas de trabajo y manipulación de industrias químicas y farmacéuticas en las que se produce polvo.
- Emplazamientos de pulverización de carbón y de su utilización subsiguiente.
- Plantas de coquización.
- Plantas de producción y manipulación de azufre.
- Zonas en las que se producen, procesan, manipulan o empaquetan polvos metálicos de materiales ligeros (Al, Mg, etc.).
- Almacenes y muelles de expedición donde los materiales pulverulentos se almacenan o manipulan en sacos y contenedores.
- Zonas de tratamiento de textiles, como algodón, etc.
- Plantas de fabricación y procesado de fibras.
- Plantas desmotadoras de algodón.
- Plantas de procesado de lino.
- Talleres de confección.
- Industria de procesado de madera, tales como carpinterías, etc.

Para mayor claridad, se ha convenido designar las fuentes de escape y distintas zonas según la siguiente leyenda:

Fuentes de vapores inflamables

Todas las medidas en metros.



- a) Áreas donde se manipulan o almacenan líquidos o volátiles inflamables más pesados que el aire.

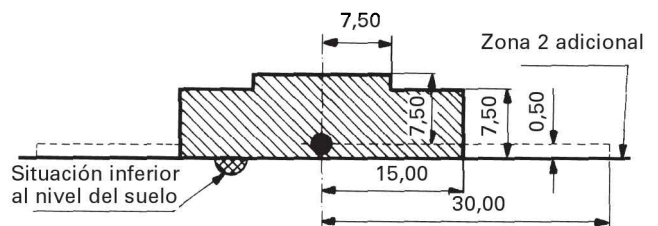


Figura 5.6. Zonas de proceso ventiladas adecuadamente. (Origen del riesgo próximo al suelo.)

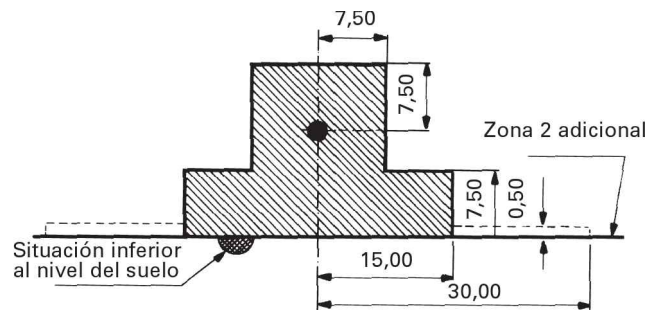


Figura 5.7. Zonas de proceso ventiladas adecuadamente. (Origen del riesgo por encima del suelo.)

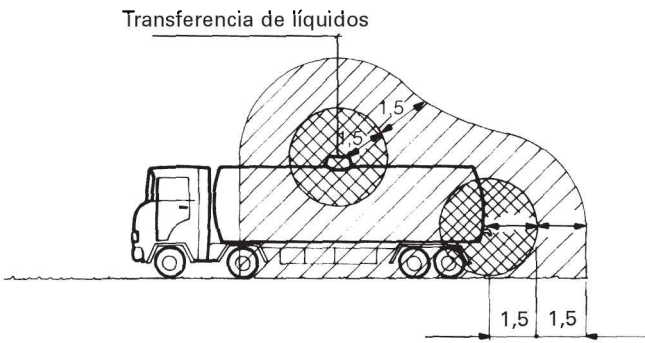


Figura 5.8. Cargadero camión/tren cisterna en un sistema abierto. Fuente de escape: líquido inflamable. Ventilación natural.

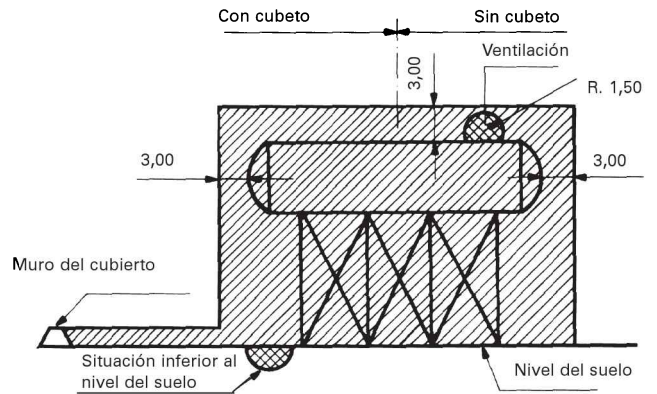


Figura 5.12. Tanque de almacenamiento elevado. Ventilación adecuada.

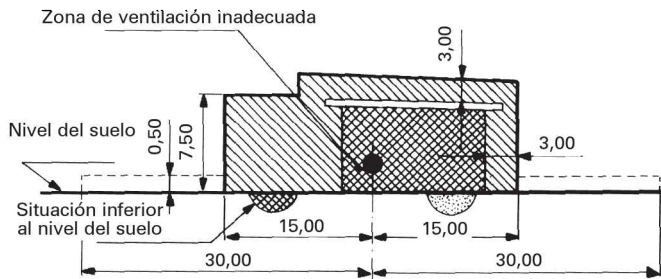


Figura 5.9. Zonas de proceso ventiladas inadecuadamente.

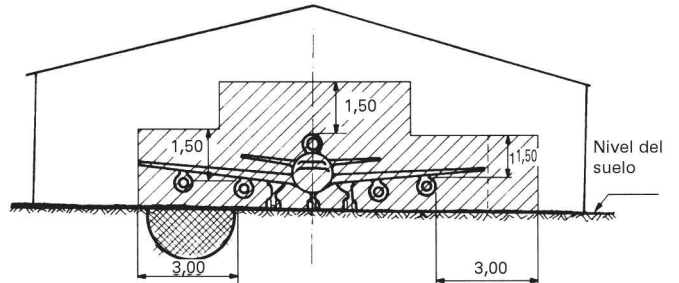


Figura 5.13. Hangares para aviones.

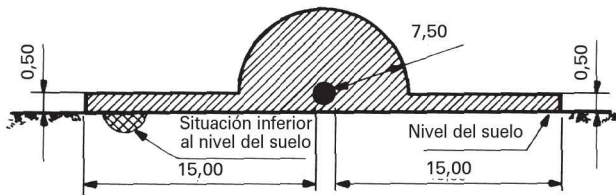


Figura 5.10. Bomba principal en zona exterior.

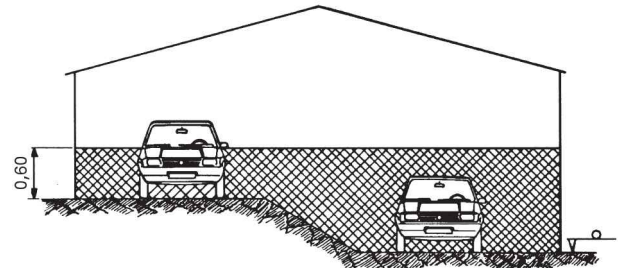


Figura 5.14. Garajes y Talleres para automóviles. Local cerrado con ventilación natural.

NOTA:

— Zona 2 adicional. Se debe considerar en el caso de vapores más pesados que el aire si hay obstáculos que impidan el movimiento de los vapores.

Si la parte inferior al nivel del suelo está poco ventilada puede clasificarse como Zona 0.

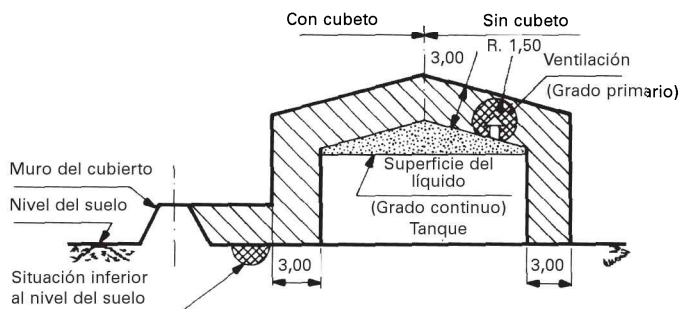


Figura 5.11. Tanque de almacenamiento.

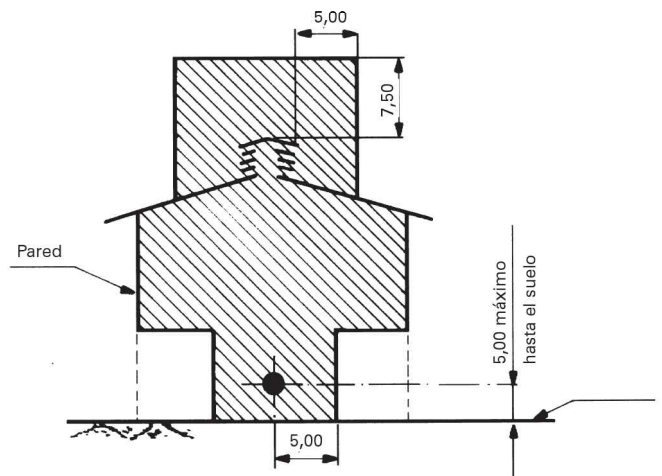


Figura 5.15. Sala de compresores ventilada adecuadamente.

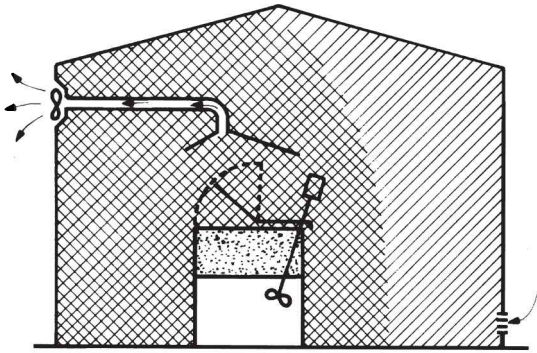


Figura 5.16. Ventilación correcta.

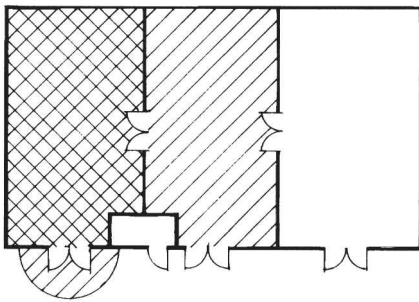


Figura 5.17. Locales con ventilación natural contiguos a un local clasificado.

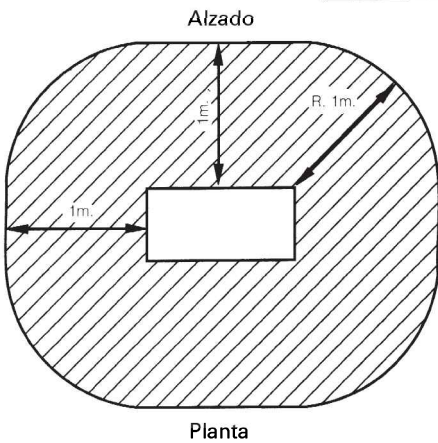
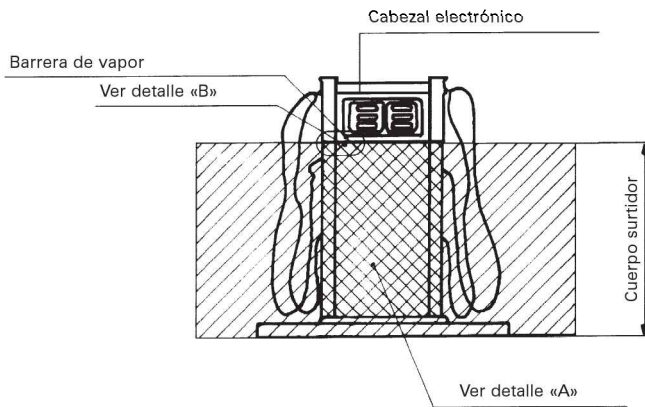
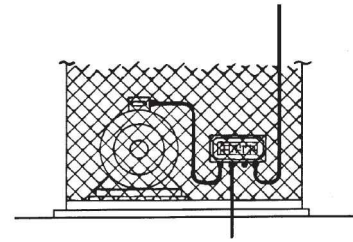
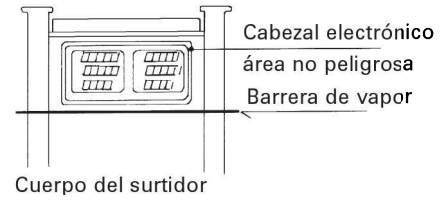


Figura 5.18.

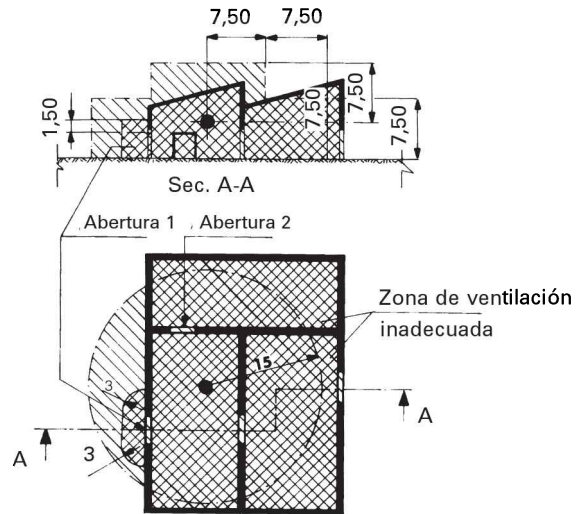


Detalle «A»



Detalle «B»

Figura 5.18. (Cont.)



Figuras 5.19. Zonas no ventiladas, caso de fuente de peligro que da origen a división 1. Fuente de peligro dentro del edificio.

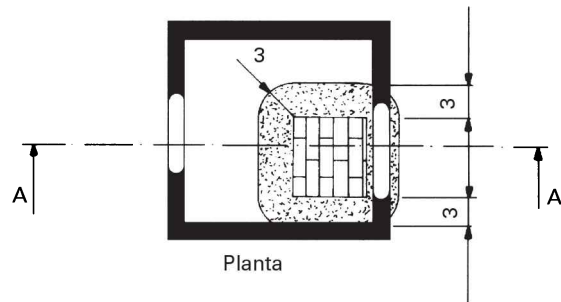


Figura 5.20. Fuente de peligro que da origen a Zona clasificada ubicada dentro de un edificio (continuación).



5.3.3. Prescripciones generales

En la medida de lo posible, los equipos eléctricos se ubicarán en áreas no peligrosas. Si esto no es posible, la instalación se llevará a cabo donde exista menor riesgo.

Los equipos eléctricos se instalarán de acuerdo con las condiciones de su documentación particular. Se pondrá especial cuidado en asegurar que las partes recambiables, tales como lámparas, sean del tipo y características asignadas correctas.

5.3.4. Emplazamientos de clase I

Estas instalaciones eléctricas se ejecutarán de acuerdo con lo especificado en la norma UNE-EN 60079-14, salvo que se contradiga con lo indicado en la presente Instrucción, la cual prevalecerá sobre la norma.

Selección de equipos eléctricos (excluidos cables y conductos).

Para seleccionar un equipo eléctrico, el procedimiento a seguir comprende las siguientes fases:

- Caracterizar la sustancia o sustancias implicadas en el proceso.
- Clasificar el emplazamiento en el que se va a instalar el equipo.
- Seleccionar los equipos eléctricos de manera que la categoría esté de acuerdo con las limitaciones de la Tabla 1 y que éstos cumplan los requisitos que les sean de aplicación, establecidos en la norma UNE-EN 60079-14. Si la temperatura ambiente prevista no está en el rango comprendido entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, el equipo deberá estar marcado para trabajar en el rango de temperatura correspondiente.
- Instalar el equipo de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Categorías de equipos admisibles para atmósfera de gases y vapores

Categoría 2	2
Categoría 3	2

5.3.5. Emplazamientos de clase II

Estas instalaciones se ejecutarán de acuerdo con lo especificado en la norma EN 50281-1-2, salvo que contradiga con lo indicado en la presente Instrucción, la cual prevalecerá sobre la norma.

Selección de equipos eléctricos (excluidos cables y conductos).

Para seleccionar un equipo eléctrico el procedimiento a seguir comprende las siguientes fases:

- Caracterizar la sustancia o sustancias implicadas en el proceso.
- Clasificar el emplazamiento en el que se va a instalar el equipo.
- Seleccionar los equipos eléctricos de tal manera que la categoría esté de acuerdo con las limitaciones de la Tabla 2 y que éstos cumplan los requisitos que les sean de aplicación, establecidos en la norma EN 50281-1-2.
- Instalar el equipo de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Categorías de equipos admisibles para atmósferas con polvo explosivo

Categoría 2	22
Categoría 3	22

5.3.6. Sistemas de cableado

Generalidades

Para instalaciones de seguridad intrínseca, los sistemas de cableado cumplirán los requisitos de la norma UNE-EN 60079-14 y de la norma UNE-EN 50039.

Las entradas de los cables y de los tubos a los aparatos eléctricos se realizarán de acuerdo con el modo de protección previsto. Los orificios de los equipos eléctricos para entradas de cables o tubos que no se utilicen deberán cerrarse mediante piezas acordes con el modo de protección de que vayan dotados dichos equipos.

La intensidad admisible en los conductores deberá disminuirse en un 15% respecto al valor correspondiente a una instalación convencional. Además todos los cables de longitud igual o superior a 5 m estarán protegidos contra sobrecargas y cortocircuitos; para la protección de sobrecargas se tendrá en cuenta la intensidad de carga resultante fijada en el párrafo anterior y para la protección de cortocircuitos se tendrá en cuenta el valor máximo para un defecto en el comienzo del cable y el valor mínimo correspondiente a un defecto bifásico y franco al final del cable.

En el punto de transición de una canalización eléctrica de una zona a otra, o de un emplazamiento peligroso a otro no peligroso, se deberá impedir el paso de gases, vapores o líquidos inflamables. Eso puede precisar del sellado de zanjás, tubos, bandejas, etc., una ventilación adecuada o el relleno de zanjás con arena.

Requisitos de los cables.

Los cables a emplear en los sistemas de cableado en los emplazamientos de clase I y clase II serán:

a) En instalaciones fijas

Cables de tensión asignada mínima 450/750 V, aislados con mezclas termoplásticas o termoestables; instalados bajo tubo.

Cables contruidos de modo que dispongan de una protección mecánica; se consideran como tales:

- Los cables con aislamiento mineral y cubierta metálica, según UNE 50086 parte 1.
- Los cables armados con alambre de acero galvanizado y con cubierta externa no metálica, según la serie UNE 21123.

Los cables a utilizar en las instalaciones fijas deben cumplir, respecto a la reacción al fuego, lo indicado en la norma UNE 20432-3.

b) En alimentación de equipos portátiles o móviles

Se utilizarán cables con cubierta de policloropreno según UNE 21027 parte 4 o UNE 21150, que sean aptos para servicios móviles, de tensión asignada mínima 450/750 V, flexibles y de sección mínima 1,5 mm². La utilización de estos cables flexibles se restringirá a lo estrictamente necesario y como máximo a una longitud de 30 m.

Las canalizaciones a utilizar serán de acuerdo con las normas UNE 36582 o UNE-EN 50086, normalmente de acero sin soldadura y estando galvanizados tanto interior como exteriormente.

Los tubos con conductividad eléctrica deben conectarse a la red de tierra; su continuidad eléctrica quedará convenientemente asegurada. En el caso de utilizar tubos metálicos flexibles, es necesario que la distancia entre dos puestas a tierra consecutivas de los tubos no exceda de 10 metros.

Características mínimas para tubos que se conectan a aparatos eléctricos con modo de protección antideflagrante provistos de cortafuegos

Resistencia a la compresión	5	Muy fuerte
Resistencia al impacto	5	Muy fuerte
Temperatura mínima de instalación y servicio	3	-15 °C
Temperatura máxima de instalación y servicio	2	+90 °C
Resistencia al curvado	1	Rígido
Propiedades eléctricas	1	Continuidad eléctrica
Resistencia a la penetración de objetos sólidos	5	Contra el polvo
Resistencia a la penetración del agua	2	Contra gotas de agua cayendo verticalmente cuando el sistema de tubos está inclinado 15°
Resistencia a la corrosión de tubos metálicos y compuestos	4	Protección interior y exterior elevada
Resistencia a la tracción	2	Ligera
Resistencia a la propagación de la llama	1	No propagador
Resistencia a las cargas suspendidas	2	Ligero

CABLES. Las canalizaciones eléctricas fijas para las Zonas 1 y 2 podrán realizarse mediante cable protegido mecánicamente. Dicha protección puede ser mediante tubo, o con cable de las siguientes condiciones:

- Que tengan aislamiento mineral y cubierta metálica.
- Que dispongan de armadura con funda de plomo.
- Que sean armados con cubierta exterior no metálica.

PRENSAESTOPAS. La entrada de cables armados a envolventes antideflagrantes se realizará mediante prensaestopas antideflagrantes que sujeten adecuadamente la armadura.

CORTAFUEGOS. En toda instalación bajo tubo de acero, se instalarán cortafuegos cuando el Reglamento lo requiera, para evitar desplazamiento de gases, vapores y llamas en el interior de los tubos y los fenómenos de precompresión.

- En todos los tubos de entrada a envolventes que contengan aparatos que produzcan arcos o chispas.
- En los tubos de entrada a cajas de conexión antideflagrantes que solamente contengan terminales, cuando el diámetro de los tubos sea >50 mm (2").

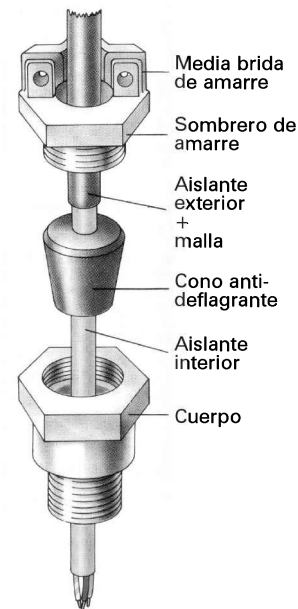


Figura 5.21. Montaje de un cable en un prensaestopas antideflagrante.

- En los casos que precisen cortafuegos, éstos no se montarán a más de 450 mm de la envolvente antideflagrante.
- Cuando dos envolventes están unidas entre sí por un tubo con una distancia entre ambas de 900 mm, es suficiente colocar un solo cortafuegos en el centro de las dos envolventes.

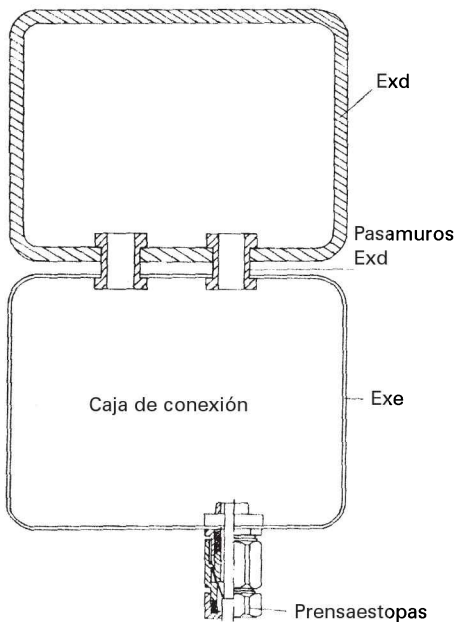
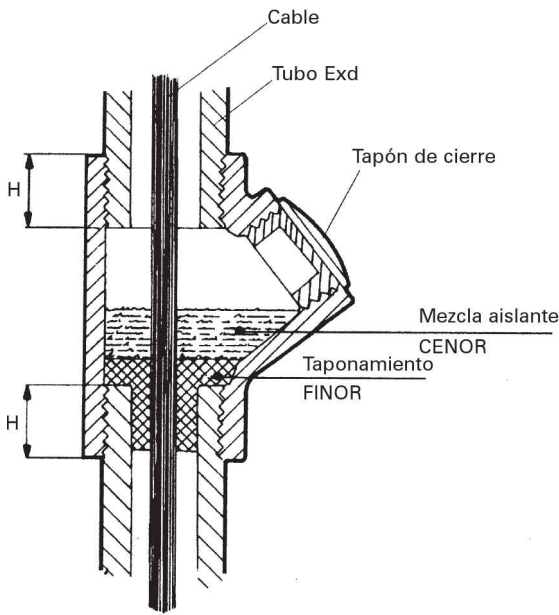


Figura 5.22. Cortafuegos y prensaestopas. a) Detalle de instalación de cortafuegos. b) Forma de montaje.
Componentes para una instalación de alumbrado, en locales con riesgo de incendio y explosión con material antideflagrante.

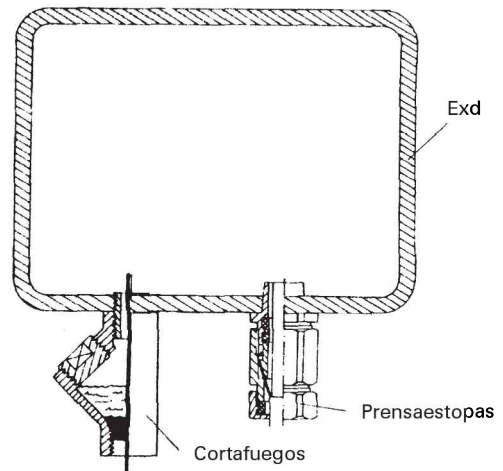


Figura 5.23. Cortafuegos y prensaestopas. a) Detalle de instalación de cortafuegos. b) Forma de montaje (continuación).
Componentes para una instalación de alumbrado, en locales con riesgo de incendio y explosión con material antideflagrante.

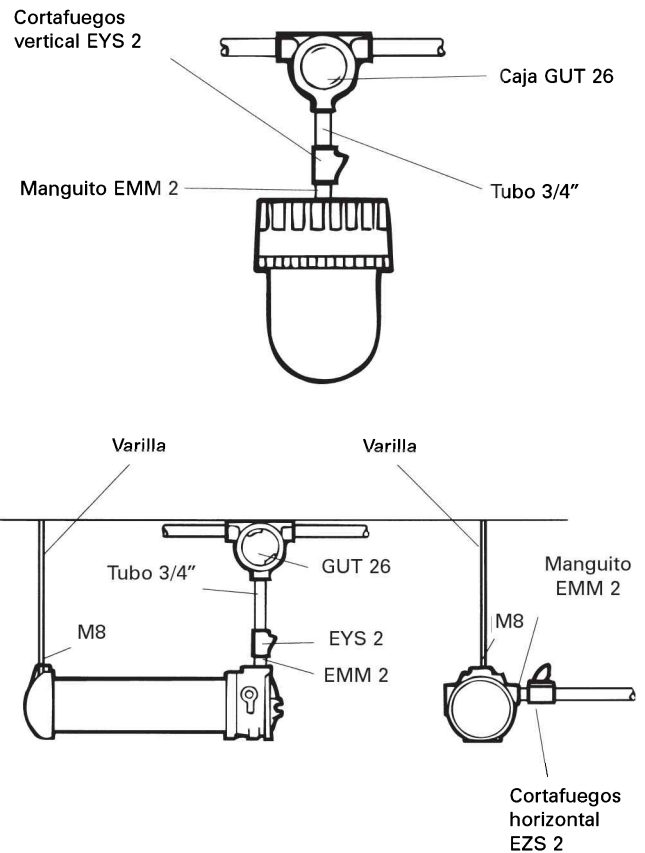


Figura 5.24. Instalación con tubo (Alumbrado fijo).

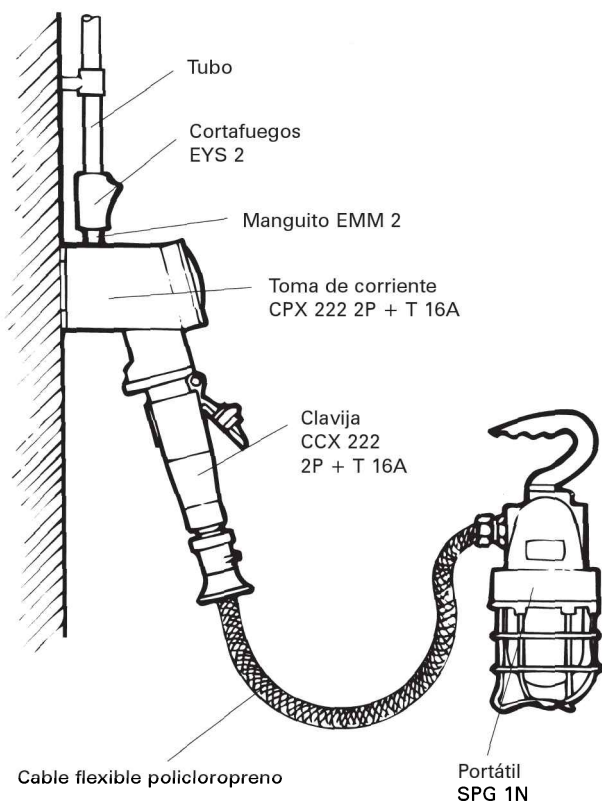


Figura 5.25. Instalación con tubo (portátil de alumbrado).

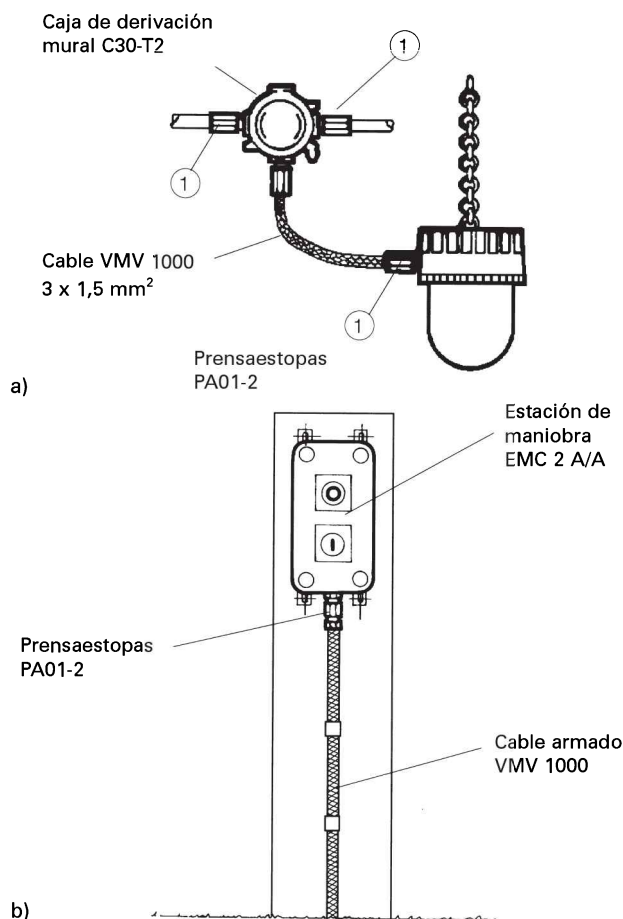


Figura 5.27. Diversas instalaciones realizadas con cable. a) Unión entre caja de registro o derivación y punto de luz. b) Unión con elemento de mando.

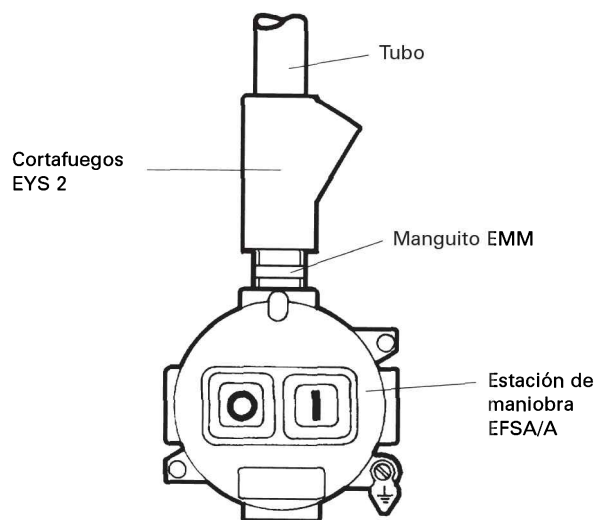


Figura 5.26. Montaje de cortafuego junto a elemento de mando.

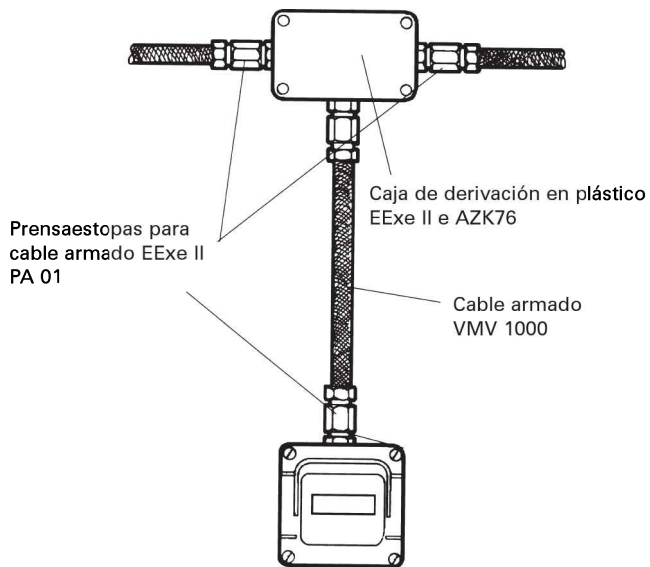


Figura 5.28. Diversas instalaciones realizadas con cable. Unión entre caja de registro y punto de mando.

Equipo EExd en caja EJB conteniendo equipo eléctrico para mando y control del motor.

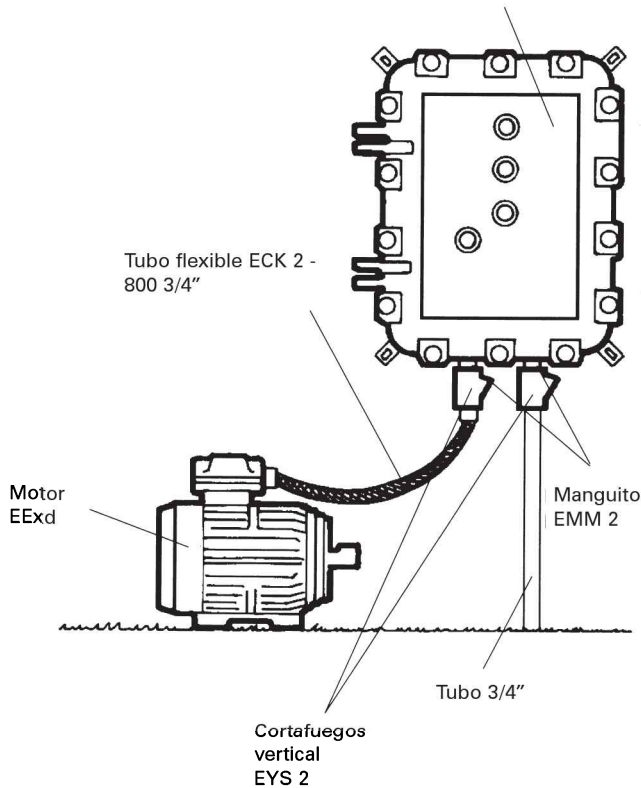


Figura 5.29. Alimentación desde equipo a motor.

5.4 Instalaciones en locales de características especiales

La ITC-BT 30 del REBT indica que, dentro de este tipo de locales, se encuentran los locales y emplazamientos mojados o en los que exista atmósfera húmeda, gases o polvo de materiales no inflamables, temperaturas muy elevadas o muy bajas en relación con las normales; los que se dediquen a la conservación o reparación de automóviles; los que estén afectos a los servicios de producción o distribución de energía eléctrica y, en general, todos aquellos donde sea necesario mantener instalaciones eléctricas en circunstancias distintas a las que pueden estimarse como de riesgo normal, para la utilización de la energía eléctrica en B.T.

5.4.1. Instalaciones en locales húmedos

Son locales en los que se manifiestan de forma permanente o esporádica, bajo la forma de condensación en el techo y en las paredes, manchas salinas o moho cuando no aparezcan gotas, ni el techo o las paredes estén impregnados de agua.

En estos locales se deberán cumplir, cuando no se utilicen pequeñas tensiones de seguridad, entre otras las siguientes condiciones:

Canalizaciones. Constituidas por:

- Conductores rígidos aislados de 750 V U_n , como mínimo, bajo tubos protectores.
- Conductores rígidos aislados armados de 1.000 V U_n , como mínimo, fijados directamente sobre las paredes o colocados en el interior de huecos de la construcción.
- Las canalizaciones serán estancas, utilizándose, para terminales, empalmes y conexiones de las mismas, sistemas o dispositivos que presenten el grado de protección correspondiente a la caída de gotas de agua.

Conductores. Si se utilizan conductores aislados colocados sobre aisladores, se dispondrán a una distancia mínima de 5 cm de las paredes y la separación entre conductores será de 3 cm como mínimo.

Tubos. Los tubos serán preferentemente aislantes y, en caso de ser metálicos, deberán estar protegidos contra la corrosión. Si éstos se colocan en montaje superficial, la distancia a las paredes será de 0,5 cm como mínimo.

Aparamenta. Las cajas de registro y/o conexión, interruptores, tomas de corriente y, en general, la aparamenta utilizada deben presentar un grado de protección correspondiente a la caída vertical de gotas de agua. Tanto las cubiertas como sus partes accesibles de los órganos de accionamiento no serán metálicas.

Receptores. Los receptores de alumbrado tendrán sus portalámparas, pantallas y rejillas de material aislante, protegido todo ello contra la caída vertical de agua.

5.4.2. Instalaciones en locales mojados

Se consideran locales mojados aquellos cuyos suelos, techos y paredes estén o puedan estar impregnados de humedad y donde se vean aparecer, aunque sólo sea temporalmente, lodo o gotas gruesas de agua debido a la condensación, o bien estar cubiertos durante largos periodos.

Se considerarán como locales o emplazamientos mojados los establecimientos de:

- Baños.
- Cuartos de duchas de uso colectivo.
- Lavaderos públicos.
- Cámaras frigoríficas.
- Fábricas de apresto.
- Tintorerías.
- Piscinas.
- Todas las instalaciones a la intemperie.

Este tipo de locales cumplirá con la mayoría de las exigencias impuestas a los locales húmedos, más las siguientes:

- **Canalizaciones.** Serán estancas, utilizándose para terminales, empalmes y conexiones de las mismas, sistemas y dispositivos que presenten el grado de protección correspondiente a las proyecciones de agua.
- **Tubos.** Si se emplean tubos para alojamientos de los conductores, éstos serán estancos, preferentemente aislante, y, en caso de ser metálicos, deberán estar protegidos contra la corrosión. Se colocarán en montaje superficial y los tubos metálicos se dispondrán, como mínimo, a 2 cm de las paredes.
- **Aparamenta.** Se recomienda instalar los aparatos de mando y protección y tomas de corriente fuera de estos locales. Cuando esto sea imposible, los citados aparatos estarán protegidos contra la proyección de agua, o bien se instalarán en el interior de cajas que les proporcionen una protección equivalente.
- **Dispositivos de protección.** De acuerdo con lo establecido en la ITC-BT 22, se instalará en cualquier caso un dispositivo de protección en el origen de cada circuito derivado de otro que penetre el local mojado.
- **Aparatos móviles o portátiles.** Queda prohibida en estos locales la utilización de aparatos móviles o portátiles, excepto cuando se utilice como sistema de protección la separación de circuitos o el empleo de pequeñas tensiones de seguridad, según la ITC-BT 36.
- **Receptores de alumbrado.** Tendrán sus piezas metálicas bajo tensión, protegidas contra las proyecciones de agua. La cubierta de los portalámparas será en su totalidad de materia aislante hidrófuga, salvo cuando se instalen en el interior de cubiertas estancas destinadas a los receptores de alumbrado, lo que deberá hacerse siempre que éstas se coloquen en un lugar fácilmente accesible.

5.4.3. Instalaciones en locales con riesgo de corrosión

Se consideran este tipo de locales en los que existen gases o vapores que pueden atacar a los materiales eléctricos utilizados en la instalación.

- Se considerará como locales con riesgo de corrosión a:
 - Fábricas de productos químicos.
 - Depósitos de éstos, etc.

En estos locales se cumplirán las prescripciones señaladas para las instalaciones en locales mojados, debiendo protegerse, además, la parte exterior de los aparatos y canalizaciones con un revestimiento inalterable a la acción de dichos gases o vapores.

5.4.4. Instalaciones en estaciones de servicio, garajes y talleres de reparación de vehículos

NOTA: El actual Reglamento no contempla ninguna ITC, de forma específica, donde se desarrollen las instalaciones de

estaciones de servicio, garajes, talleres de reparación de vehículos, a excepción de lo comentado en la ITC-BT 29 punto 4.2.

La Dirección General de Industria Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, con fecha 12 de febrero de 2004, estableció las características técnicas (que a continuación se describen) que deben cumplir las instalaciones eléctricas en este tipo de locales para poder desclasificar las zonas y que el proyectista o diseñador debe exponer claramente en el documento de legalización. Si no fuese así, el proyectista deberá aportar su propio documento de Clasificación de Zonas según lo establece la ITC-BT 29.

Partimos de que cualquier garaje, estacionamiento subterráneo o estacionamiento cubierto y cerrado de más de 5 vehículos es un local con riesgo de incendio o explosión según se establece en la ITC-BT 29, y más concretamente está clasificado como emplazamiento peligroso Clase 1.

Teniendo en cuenta lo establecido en la norma UNE 100-166:2004 «Climatización. Ventilación de aparcamientos» y la norma UNE-EN 60079-10:2004 «Clasificación de emplazamientos peligrosos» establecida en el REBT, en lo referente a:

- **Fuente de Escape.** Se asocia a las posibles fugas que puedan tener los depósitos de gasolina de los vehículos estacionados y circulantes, así como las posibles manipulaciones que se puedan llevar a cabo de estos líquidos por trasiego por parte de los usuarios.
- **Grado de Escape.** Se entiende que es secundario al no preverse en funcionamiento normal, y si se produce es probable que ocurra infrecuentemente y en periodos de corta duración.
- **Tipo de Zona.** Se entiende que sean Zona 2 como consecuencia del Grado de Escape.
- **Características de la sustancias.** Vapores de hidrocarburos más pesados que el aire.

Se considera que:

- a) Para las instalaciones eléctricas de los locales anteriormente citados, se podrán tener en cuenta los volúmenes peligrosos que a continuación se señalan, y por tanto reducirse, siempre y cuando la ventilación de estos locales esté **suficientemente asegurada**:
 - En relación con suelos que estén a nivel de la calle o por encima de ésta, el volumen peligroso será el comprendido entre el suelo y un plano situado a 0,60 metros sobre el mismo.
 - En relación con suelos situados por debajo del nivel de la calle, el volumen peligroso será el comprendido entre el suelo y un plano situado a 0,60 metros por encima de la parte más baja de las puertas exteriores o de otras aberturas para ventilación que den al exterior por encima del suelo. Las siguientes figuras señalan los valores peligrosos en diferentes casos.

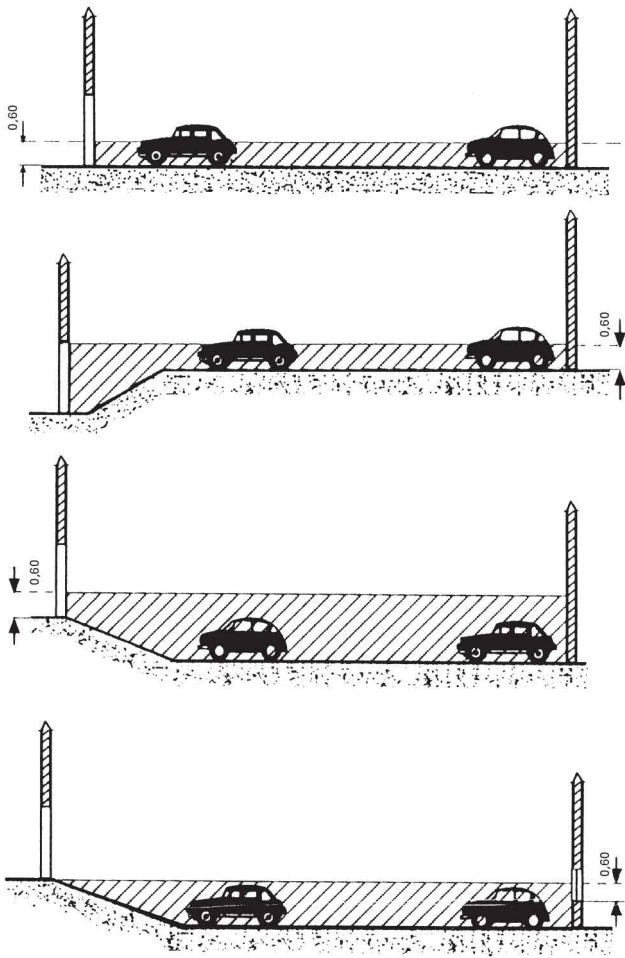


Figura 5.30. Valores peligrosos en diferentes casos.

- Todo foso o depresión bajo el nivel del suelo se considerará como volumen peligroso.
 - No se considerarán como volúmenes peligrosos los adyacentes a los volúmenes anteriormente citados en los que no sea probable la liberación de los combustibles inflamables y siempre que sus suelos estén sobre los de aquéllos a 0,60 metros como mínimo, o estén separados de los mismos por tabiques o brocales estancos de altura igual o mayor de 0,60 m.
- b) Las instalaciones y equipos destinados a estos locales cumplirán las siguientes prescripciones:
- Los volúmenes peligrosos serán considerados de emplazamientos de Clase I, Zona 2 y, en consecuencia, las instalaciones y equipos destinados a estos volúmenes deberán cumplir las prescripciones señaladas en la ITC-BT 29 para estos locales.
 - La instalación eléctrica situada por encima de los volúmenes peligrosos deberá realizarse según la ITC que proceda, ya sea para locales de pública concurrencia, locales húmedos o mojados, etc.

- Se colocarán cierres de acuerdo con la ITC-BT 29 en las canalizaciones que atraviesen los límites verticales u horizontales de los volúmenes definidos como peligrosos. Las canalizaciones empotradas o enterradas en el suelo se considerarán incluidas en el volumen peligroso cuando alguna parte de las mismas penetre o atravesase dicho volumen.
 - Las tomas de corriente e interruptores se colocarán a una altura mínima de 1,50 metros sobre el suelo a no ser que presente una cubierta especialmente resistente a las acciones mecánicas.
 - Se evitará, en la medida de lo posible, diseñar para su ejecución instalaciones eléctricas en volúmenes peligrosos.
- c) Se considera ventilación **suficientemente asegurada a:**

- Ventilación natural: admisible solamente en garajes con fachada al exterior, en semisótano, o con «patio inglés». En este caso, las aberturas para ventilación deberán ser dos como mínimo en paredes o fachadas opuestas, permanentes, independientes de las entradas de acceso, y con una superficie mínima de comunicación al exterior del 0,5% de la superficie del local del garaje. Se descontará la superficie de las lamas de las rejillas de ventilación en caso de haberlas.
- Ventilación forzada: para todos los demás casos, o sea, para garajes en sótanos. En estos casos la ventilación será suficiente cuando se asegure una renovación mínima de aire de $15 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ de superficie del garaje.

El caudal de ventilación por planta se repartirá, como mínimo, entre dos dispositivos o tomas de ventilación independientes que actuarán sobre los mismos conductos para que, en caso de avería de uno de ellos, se mantenga la ventilación.

Cuando la superficie del local en su conjunto sea superior a 1.000 m^2 , en los «Estacionamientos de Vehículos Subterráneos» o «Cerrados y Cubiertos» debe asegurarse el funcionamiento de los dispositivos de renovación del aire, con un suministro complementario, siendo obligatorio disponer de aparatos detectores de CO que accionen automáticamente la instalación de ventilación.

Los cálculos justificativos de la ventilación que garantizan el cumplimiento de lo anteriormente expuesto deberán formar parte del Proyecto eléctrico necesario para la legalización de este tipo de instalaciones, o, en su caso, la referencia a otro que la justifique.

Por otro lado, como consecuencia de la diferencia que establece el REBT en la ITC-BT 04 y la ITC-BT 28 en distintos grupos a los Garajes [Grupos g) y h)], Estacionamientos Cerrados y Cubiertos de más de 5 vehículos [Grupo i)], LPC, Locales de Reunión, Trabajo y Usos Sanitarios cualquiera que sea su ocupación y Estacionamientos Subterráneos de más de

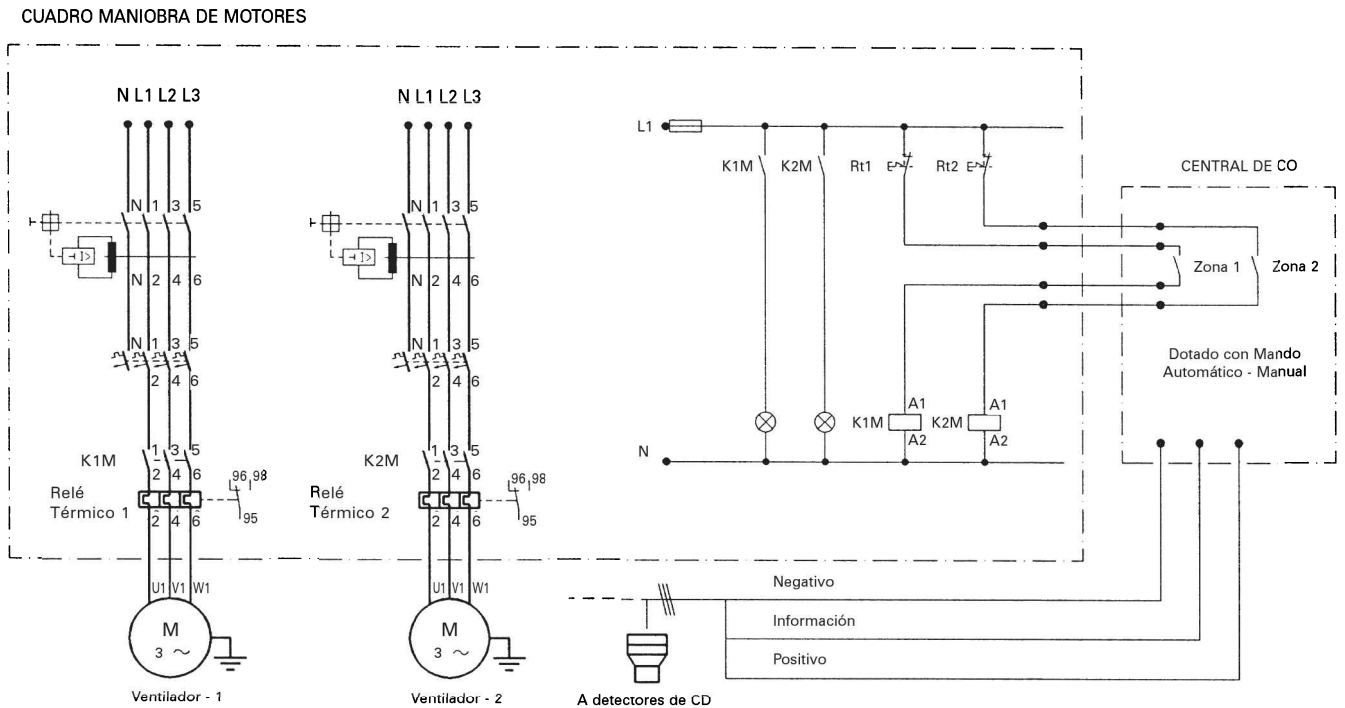


Figura 5.31. Interconexión de la central de monóxido de carbono (CO) con los ventiladores.

100 vehículos como LPC que precisan Suministro de Reserva, entendemos que:

- Consideramos «Garajes» a aparcamientos de vehículos correspondientes a oficinas sin atención al público y comunidades de vecinos y otros análogos en los que no se realiza pago en el momento de la retirada del vehículo depositado y por tanto no hay rotación de vehículos en las plazas y en consecuencia no es necesario 2.º suministro.
- Consideramos «Estacionamientos de Vehículos Subterráneos» o «Cerrados y Cubiertos» aquellos en que, una vez depositado un vehículo, para retirarlo es preciso realizar un pago en el momento. También se considerarán estacionamientos los locales en los que, aunque no se realice pago, los vehículos estén depositados con el sentido de facilitar accesos a locales comerciales, etc.; es decir, hay rotación de vehículos en las plazas. La necesidad del 2.º suministro se establecerá en función del número de plazas.
- En el caso de coincidir los dos conceptos antes expuestos, será necesario realizar la instalación completa conforme a lo establecido para Estacionamientos, a no ser que los accesos de las personas para los dos usos sean claramente distintos, es decir, no haya comunicación entre ellos; entonces a cada zona se le considerará sus prescripciones técnicas correspondientes. La necesidad del 2.º suministro se establecerá en función de lo anteriormente expuesto.

La desclasificación de las zonas no evita el cumplir con la prescripción de las inspecciones periódicas ya que debe verificarse que las condiciones técnicas de desclasificación se

mantienen con el tiempo, periodicidad a cumplir si son considerados Locales de Pública Concurrencia.

El cálculo de la ocupación teórica podrá ser como máximo, de acuerdo con el CTE-DB SI Tabla 2.1, una persona por cada 15 m² en aparcamientos vinculados a una actividad sujeta a horarios: comercial, espectáculos, oficina, etc., o una persona cada 40 m² en otros casos.

5.5 Instalaciones con fines especiales

5.5.1. Instalaciones para piscinas y fuentes

5.5.1.1. Piscinas y pediluvios

De acuerdo con la ITC-BT 31 los volúmenes existentes en estas instalaciones se definen como:

- VOLUMEN 0:** Esta zona comprende el interior de los recipientes, incluyendo cualquier canal en las paredes o suelos, y los pediluvios o el interior de los inyectores de agua o cascadas.
- VOLUMEN 1:** Esta zona está limitada por:
 - Zona 0;
 - un plano vertical a 2 m del borde del recipiente;

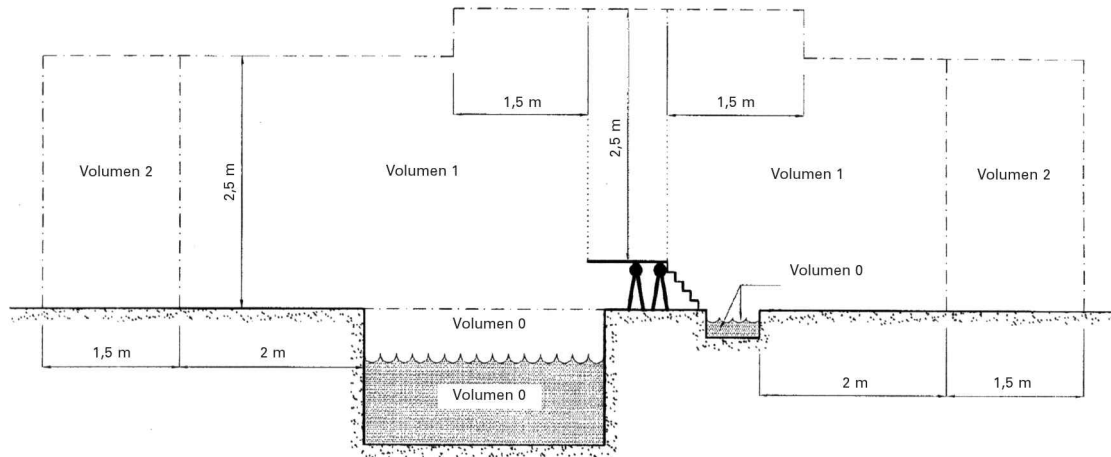


Figura 5.32. Dimensiones de los volúmenes para depósitos de piscinas y pediluvios.

- el suelo o la superficie susceptible de ser ocupada por personas;
- el plano horizontal a 2,5 m por encima del suelo o la superficie.

c) **VOLUMEN 2:** Esta zona está limitada por:

- el plano vertical externo a la Zona 1 y el plano paralelo a 1,5 m del anterior;
- el suelo o superficie destinada a ser ocupada por personas y el plano horizontal situado a 2,5 m por encima del suelo o superficie.

No existe volumen 2 para fuentes.

Los cuartos de máquinas, definidos como aquellos locales que tengan como mínimo un equipo eléctrico para el uso de la piscina, podrán estar ubicados en cualquier lugar, siempre y cuando sean inaccesibles para todas las personas no autorizadas.

5.5.1.2. Prescripciones generales

Los equipos eléctricos (incluyendo canalizaciones, empalmes, conexiones, etc.) presentarán el grado de protección siguiente, de acuerdo con la UNE 20324:

- **Volumen 0:** IP X8
- **Volumen 1:** IP X5
IP X4 para piscinas en el interior de edificios que normalmente no se limpian con chorro de agua.
- **Volumen 2:** IP X2 para ubicaciones interiores.
IP X4 para ubicaciones en el exterior.
IP X5 en aquellas localizaciones que puedan ser alcanzadas por los chorros de agua durante las operaciones de limpieza.

No se admitirán las medidas de protección contra contactos indirectos mediante locales no conductores ni por conexiones equipotenciales no conectadas a tierra.

Todos los elementos conductores de los volúmenes 0, 1 y 2 y los conductores de protección de todos los equipos con partes conductoras accesibles situados en estos volúmenes, deben conectarse a una conexión equipotencial suplementaria local. Las partes conductoras incluyen los suelos no aislados.

Con la excepción de las fuentes mencionadas en el capítulo siguiente, en los volúmenes 0 y 1 sólo se admite protección mediante MBTS a tensiones asignadas no superiores a 12 V en corriente alterna o 30 V en corriente continua. La fuente de alimentación de seguridad se instalará fuera de las zonas 0, 1 y 2.

En el volumen 2 y los equipos para uso en el interior de recipientes que sólo estén destinados a funcionar cuando las personas están fuera del volumen 0, deben alimentarse por circuitos protegidos, entre otros la desconexión automática de la alimentación, mediante un interruptor diferencial de corriente máxima 30 mA.

Las tomas de corriente de los circuitos que alimentan los equipos para uso en el interior de recipientes que sólo estén destinados a funcionar cuando las personas están fuera del volumen 0, así como el dispositivo de control de dichos equipos, deben incorporar una señal de advertencia al usuario de que dicho equipo sólo debe usarse cuando la piscina no está ocupada por personas.

Canalizaciones

En el volumen 0 ninguna canalización se encontrará en el interior de la piscina al alcance de los bañistas. No se instalarán líneas aéreas por encima de los volúmenes 0, 1 y 2 o de cualquier estructura comprendida dentro de dichos volúmenes.

En los volúmenes 0, 1 y 2, las canalizaciones no tendrán cubiertas metálicas accesibles. Las cubiertas metálicas no accesibles estarán unidas a una línea equipotencial suplementaria.

Los cables y su instalación en los volúmenes 0, 1 y 2 serán de las características indicadas en la ITC-BT 30, para los locales mojados.

Aparata y otros equipos

Elementos tales como interruptores, programadores y bases de toma de corriente no deben instalarse en los volúmenes 0 y 1.

En el volumen 2 se podrán instalar base de toma de corriente e interruptores siempre que estén protegidos, entre otras medidas, por corte automático de la alimentación mediante un dispositivo de protección, por corte diferencial-residual de corriente nominal como máximo igual a 30 mA.

Las bombas eléctricas deberán cumplir lo indicado en UNE-EN 60335-2-41.

- Para un perfecto conocimiento de las diferentes partes de las que está compuesta una piscina, se adjuntan los siguientes planos:

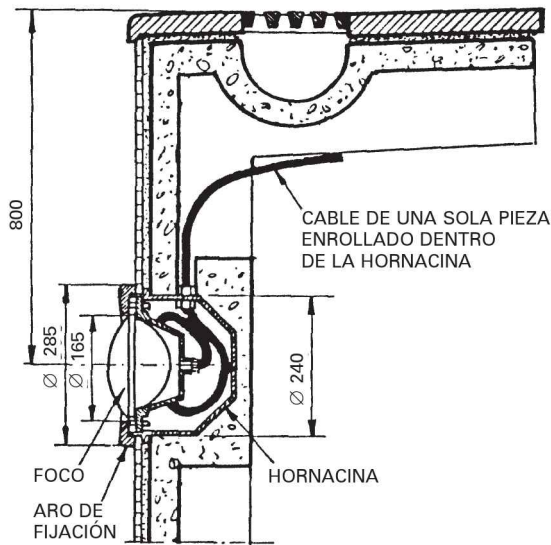


Figura 5.33. Detalle de foco subacuático.

5.5.1.3. Fuentes

Requisitos del volumen 0 y 1 de las fuentes.

Se deberá emplear una de las siguientes medidas de protección:

- Protección mediante muy baja tensión de seguridad (MBTS) hasta un valor de 12 V en corriente alterna o 30 V en corriente continua. La protección contra el contacto directo debe estar asegurada.
- Corte automático mediante dispositivo de protección por corriente diferencial-residual asignada no superior a 30 mA.
- Separación eléctrica mediante fuente situada fuera del volumen 0.

Para poder cumplir las medidas de protección anteriores, se requiere además que:

- El equipo eléctrico sea inaccesible, por ejemplo, por rejillas que sólo puedan retirarse mediante herramientas apropiadas.
- Se utilicen sólo equipos de clase I o III o especialmente diseñados para fuentes.
- Las luminarias cumplan lo indicado en la norma UNE-EN 60598-2-18.
- Las tomas de corriente no están permitidas en estos volúmenes.
- Las bombas eléctricas cumplan lo indicado en la norma UNE-EN 60335-2-41.

Conexión equipotencial suplementaria

En los volúmenes 0 y 1 debe instalarse una conexión equipotencial suplementaria local. Todas las partes conductoras accesibles de tamaño apreciable (por ejemplo: surtidores, elementos metálicos y sistemas de tuberías metálicas) deberán estar interconectadas conductivamente por un conductor de conexión equipotencial.

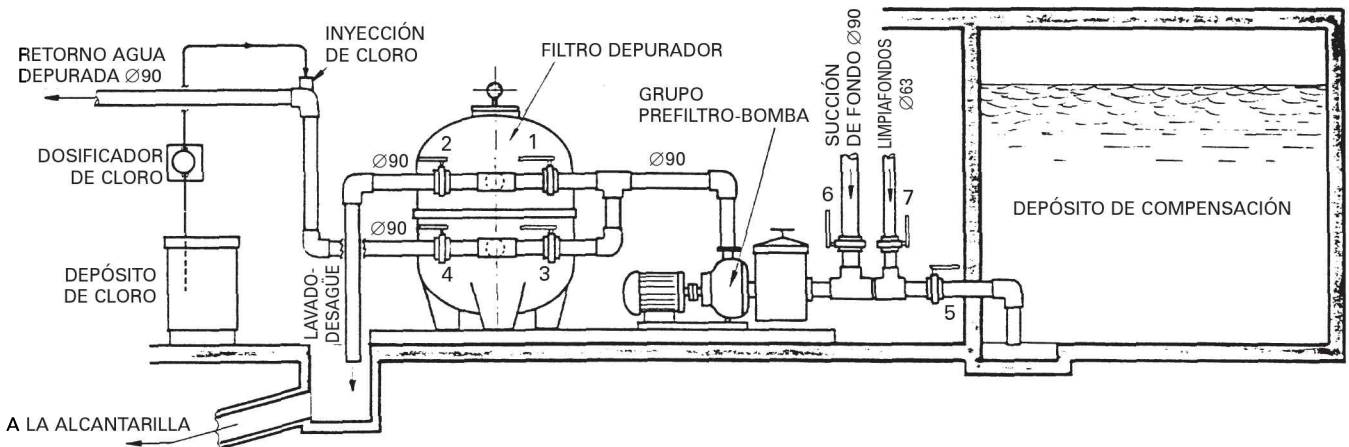


Figura 5.34. Esquema de depuración. Válvulas. 1) De filtración. 2) De desagüe. 3) De lavado de filtros. 4) De retorno de agua depurada. 5) De aspiración de depósito. 6) De succión de fondos. 7) De limpiafondos.

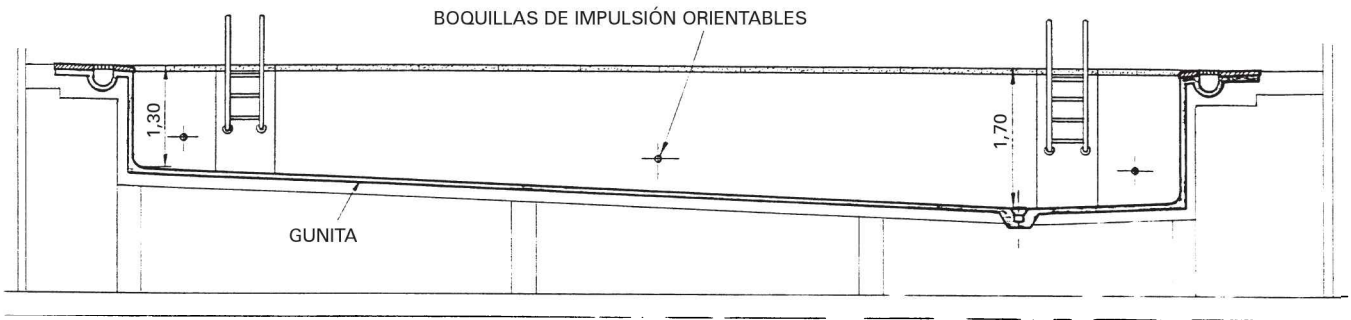


Figura 5.35. Alzado. Sección de la zona del vaso de la piscina.

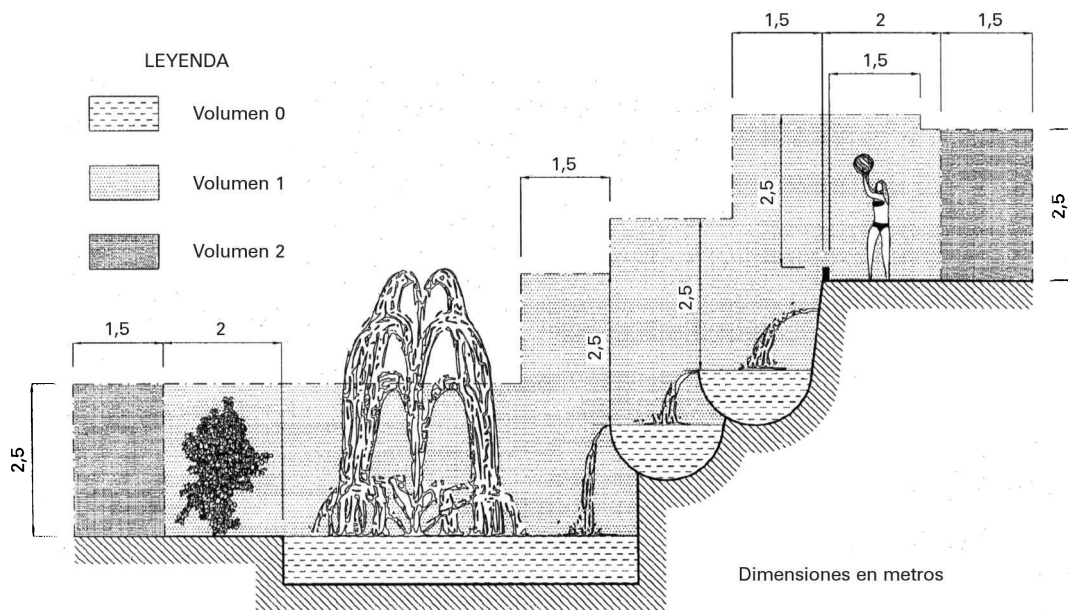


Figura 5.36. Volúmenes de protección en fuentes.

Canalizaciones

Los cables resistirán permanentemente los efectos ambientales en el lugar de la instalación.

En los volúmenes 0 y 1 sólo se permiten aquellos cables necesarios para alimentar al equipo receptor permanentemente instalado en estas zonas.

Los cables para el equipo eléctrico en el volumen 0 deben instalarse lo más lejos posible del borde de la pileta.

5.5.1.4. Prescripciones particulares de equipos eléctricos de baja tensión instalados en el volumen 1 de las piscinas y otros baños

Los equipos eléctricos fijos especialmente destinados a ser utilizados en las piscinas y otros baños (por ejemplo, equipo de filtrado, contracorrientes, etc.) alimentados en baja tensión,

que no sea MBTS, limitada a 12 V en corriente alterna o 30 V en corriente continua, se admiten en el volumen 1, siempre que cumplan, entre otros, los siguientes requisitos:

- a) Los equipos eléctricos no deben ser accesibles más que por un registro (o puerta), por medio de una llave o un útil. La apertura del registro (o de la puerta) debe cortar todos los conductores activos de los equipos. La instalación del dispositivo de seccionamiento y la entrada del cable debe ser de clase II o tener una protección equivalente.
- b) La alimentación de estos equipos estará protegida:
 - bien por MBTS con una tensión asignada no superior a 25 V en corriente alterna o 60 V en corriente continua, siempre que la fuente de alimentación de seguridad esté situada fuera de los volúmenes 0, 1 y 2, o
 - bien por un dispositivo de corte diferencial como máximo de 30 mA.

5.5.2. Instalaciones para máquinas de elevación y transporte

Se consideran máquinas de elevación y transporte:

- Las grúas y puentes rodantes, tornos, cabrestantes, cintas transportadoras, montacargas, etc., destinados exclusivamente al transporte de mercancías, tanto si utilizan jaulas para dicho fin como si no.
- Los ascensores, escaleras mecánicas y otras máquinas utilizadas para el transporte de personas.

La ITC 32 del REBT nos indica, entre otras, las siguientes prescripciones, además de las fijadas por la Reglamentación Técnica de la Construcción e Instalación de ascensores y montacargas, y siempre que no se opongan a éstas:

- La instalación en su conjunto se podrá poner fuera de servicio mediante un interruptor general de corte omnipolar accionado a mano, colocado en el circuito principal.

Si las máquinas sirven para el transporte de las personas, los circuitos de alumbrado y ventilación de cabinas así como los correspondientes a los indicadores de posición deberán estar conectados a un interruptor independiente del anterior.

- Las canalizaciones que vayan desde el dispositivo general de protección al equipo eléctrico, deberán estar dimensionadas para que el arranque del motor no provoque una caída de tensión superior al 5%.
- Los ascensores, las estructuras de todos los motores, máquinas elevadoras, combinadores y cubiertas metálicas de todos los dispositivos eléctricos en el interior de las cajas o sobre ellas y en el hueco, se conectarán a tierra.
- Los locales, recintos, etc., en los que esté instalado el equipo eléctrico de accionamiento sólo deberán ser accesibles a personas cualificadas.

La fórmula para el cálculo de la potencia de un motor para un ascensor será:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \frac{F \cdot v}{1.000 \cdot \eta}$$

en donde:

- P = Potencia en kW.
- F = Fuerza en N.
- v = Velocidad en m/s.
- η = Rendimiento mecánico.

En ascensores y montacargas, el peso de la cabina y la mitad de la carga útil queda compensado por el contrapeso.

La fórmula para el cálculo de la potencia de un motor para mecanismos de elevación será:

$$P = \frac{F \cdot v}{1.000 \cdot \eta}$$

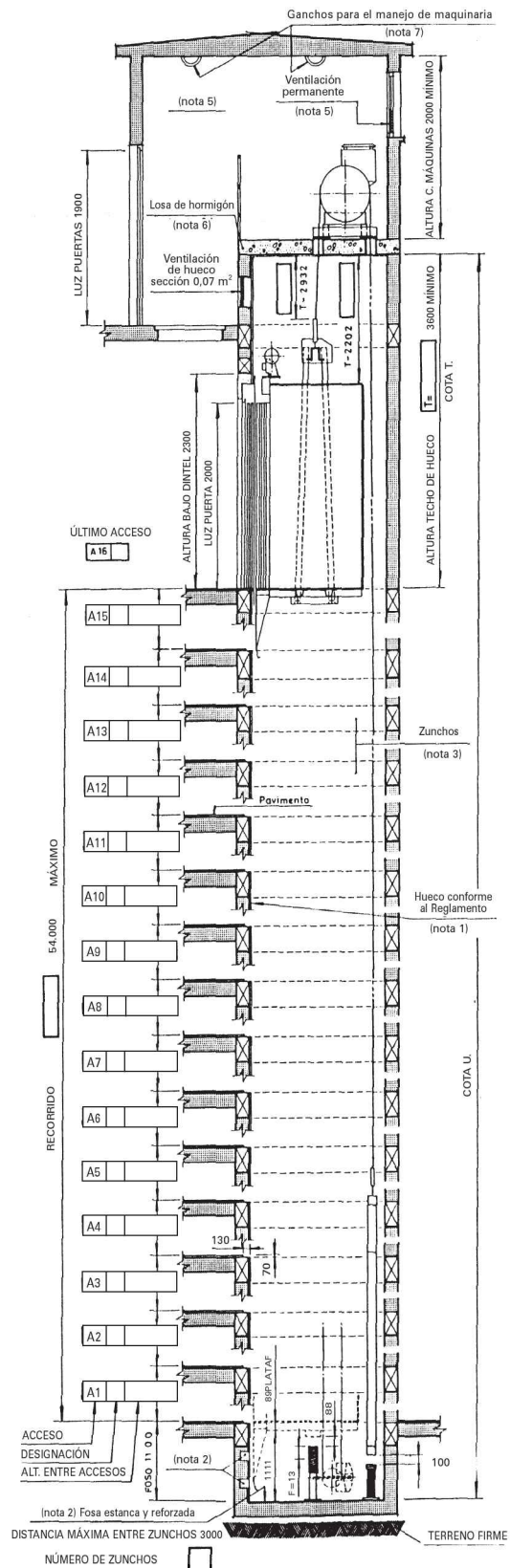


Figura 5.37. Sección vertical.

Esta fórmula es igual a la anterior, suprimiendo $\frac{1}{2}$ por los conceptos de peso de la cabina y la mitad de la carga útil.

Son parte importante en la instalación de ascensores los siguientes componentes:

Los cables. De acuerdo con el Reglamento vigente, los cables que suspenden la cabina deben soportar una carga 12 veces mayor que la exigida por el peso máximo autorizado. Sin embargo, por otras razones de índole técnica este coeficiente de seguridad se aproxima a 20 veces el valor de dicha carga.

El grupo tractor. En los ascensores actuales es un motor eléctrico, de corriente alterna o continua, dotado de dispositivos que controlan su velocidad de giro. Igual ocurre en los equipos hidráulicos, provistos de un sistema en las válvulas de control que cumple la misma función limitando la velocidad de inyección de aceite en el émbolo o la de su salida.

El limitador de velocidad. Además de los dispositivos que controlan los motores, los ascensores eléctricos de tracción por cables tienen un dispositivo limitador de velocidad que detiene el ascensor, tanto en la subida como en la bajada, si se rebasa la velocidad límite. También los ascensores hidráulicos van dotados de un dispositivo que detiene la cabina si el tubo de aceite que conecta el cilindro impulsor sufre algún tipo de pérdida de presión.

El paracaídas. Las cabinas están dotadas de un dispositivo de seguridad, que actúa en caso de rotura de los cables, el cual se acciona automáticamente si la velocidad del ascensor en descenso supera la normal. En aparatos lentos el sistema actúa ante un exceso de velocidad del 40%, en tanto que en los rápidos basta con un 15%.

Otros dispositivos. Para evitar el impacto contra el foso, el Reglamento de ascensores de 1985 exige, además de los dispositivos normales de parada en los extremos de su recorrido, lo siguiente:

- Interruptores de seguridad independientes que garantizan la parada en cada extremo del recorrido.

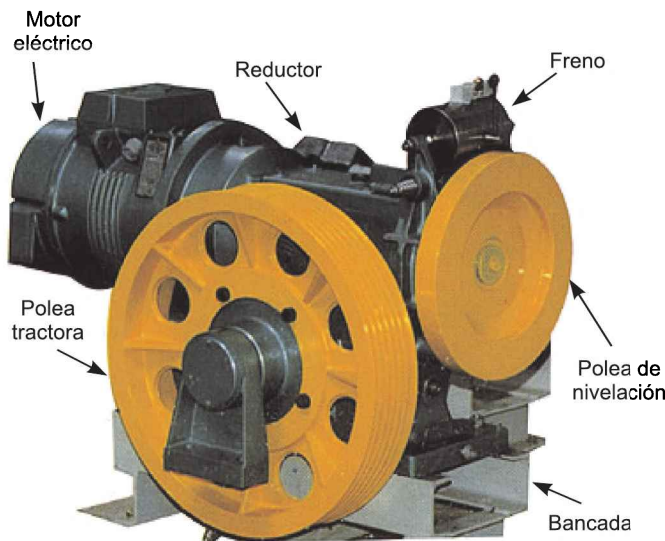


Figura 5.38. Detalle del grupo tractor.

- Amortiguadores elásticos o hidráulicos que reducen el riesgo de daño a personas o cosas si el impacto llegara a producirse.

IMPORTANTE: En el caso de que alguno de los dispositivos citados llegara a actuar, el ascensor no podría volver a funcionar sin la intervención de personal experto.

Este tipo de instalaciones llevará proyecto de aprobación previa en el que irán detallados todos los cálculos mecánicos y eléctricos de dicha instalación.

5.5.3. Instalaciones provisionales y temporales de obra

Se definen como Instalaciones provisionales y temporales de obra, según la ITC-BT 33, las instalaciones temporales destinadas:

- a la construcción de nuevos edificios;
- a trabajos de reparación, modificación, extensión o demolición de edificios existentes;
- a trabajos públicos;
- a trabajos de excavación, y
- a trabajos similares.

En las instalaciones de obras, las instalaciones fijas están limitadas al conjunto que comprende el cuadro general de mando y los dispositivos de protección principales.

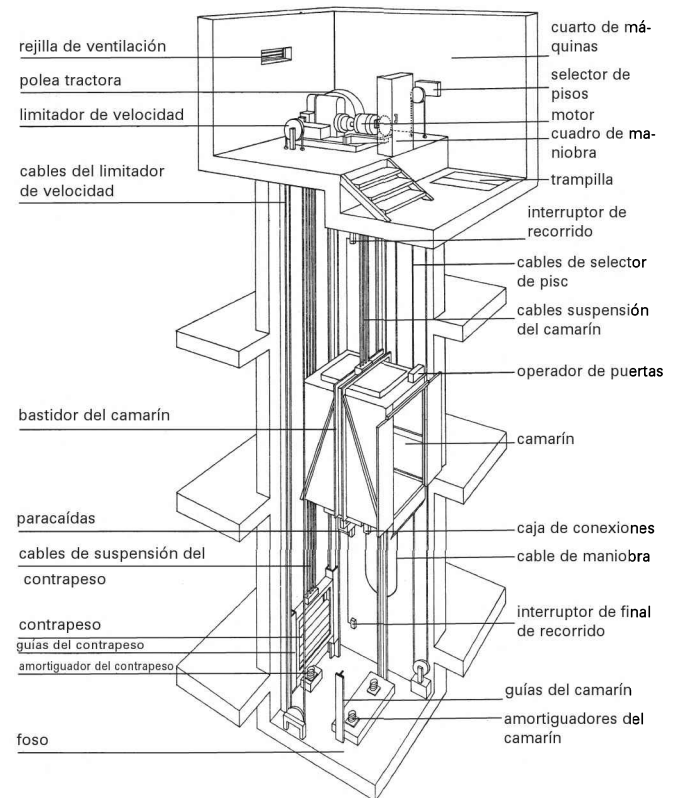


Figura 5.39. Elementos de los que está compuesta una instalación de ascensores.

5.5.3.1. Aparata de mando y seccionamiento

En el origen de cada instalación debe existir un conjunto que incluya el cuadro general de mando y los dispositivos de protección principales.

La alimentación de los aparatos de utilización debe realizarse a partir de cuadros de distribución, donde deben existir medios de seccionamiento y corte omnipolar en carga, y en los que se integren:

- Dispositivos de protección contra las sobrecargas.
- Dispositivos de protección contra los contactos indirectos.
- Bases de toma de corriente.

En la alimentación de cada sector de distribución debe existir uno o varios dispositivos que aseguren las funciones de seccionamiento y de corte omnipolar en carga y deben poder ser bloqueados en posición abierta (por ejemplo, por enclavamiento o ubicación en el interior de una envolvente cerrada con llave).

5.5.3.2. Cables eléctricos y canalizaciones

Los cables a emplear en acometidas e instalaciones exteriores serán de tensión asignada mínima 450/750 V, con cubierta de policloropreno o similar y aptos para servicios móviles.

Para instalaciones interiores, los cables serán de tensión asignada mínima 300/500 V, y aptos para servicios móviles.

Las canalizaciones deben estar dispuestas de manera que no se ejerza ningún esfuerzo sobre las conexiones de los cables.

Con el fin de evitar el deterioro de los cables, éstos no deben estar tendidos en pasos para peatones o vehículos. Si el tendido fuera necesario, debe disponerse protección especial contra los daños mecánicos y contra contactos con elementos de la construcción.

En caso de cables enterrados, su instalación será conforme a lo indicado en **ITC-BT 20** e **ITC-BT 21**.

El grado de protección mínimo suministrado por las canalizaciones será el siguiente:

- Para tubos, según UNE-EN 50086-1.
- Resistencia a la compresión «Muy Fuerte».
- Resistencia al impacto «Muy Fuerte». Para otros tipos de canalización.
- Resistencia a la compresión y Resistencia al impacto, equivalentes a las definidas para tubos.

Las instalaciones provisionales y temporales de obra deberán tener todas las derivaciones necesarias para prestar alimentación a los servicios de:

- Alumbrado.
- Grúa.

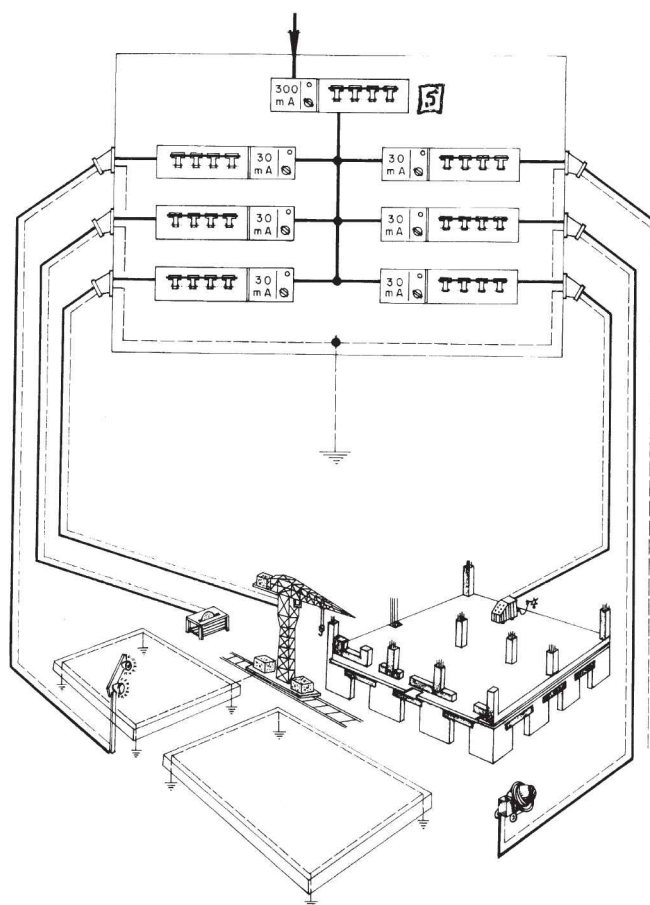


Figura 5.40. Esquema de instalación provisional para obras.

- Soldadura.
- Hormigoneras.
- Pequeños aparatos.
- Etc.

5.5.3.3. Alimentación

Toda instalación deberá estar identificada según la fuente que la alimente y sólo debe incluir elementos alimentados por ella, excepto circuitos de alimentación complementaria de señalización o control.

Una misma obra puede ser alimentada a partir de varias fuentes de alimentación, incluidos los generadores fijos o móviles, y deben ser conectadas mediante dispositivos diseñados de modo que impidan la interconexión entre ellas.

5.5.3.4. Instalaciones de seguridad

Cuando debido al posible fallo de la alimentación normal de un circuito o aparato existan riesgos para la seguridad de las personas, deberán preverse instalaciones de seguridad.

a) Alumbrado de seguridad

Según el tipo de obra o la reglamentación existente, el alumbrado de seguridad permitirá, en caso de fallo del alumbrado normal, la evacuación del personal y la puesta en marcha de las medidas de seguridad previstas.

b) Otros circuitos de seguridad

Otros circuitos como los que alimentan bombas de elevación, ventiladores y elevadores o montacargas para personas, cuya continuidad de servicio sea esencial, deberán preverse de tal forma que la protección contra los contactos indirectos quede asegurada sin corte automático de la alimentación.

Dichos circuitos estarán alimentados por un sistema automático con corte breve que podrá ser de uno de los tipos siguientes:

- Grupos generadores con motores térmicos, o
- baterías de acumuladores asociadas a un rectificador o un ondulador.

5.5.3.5. Protección contra los choques eléctricos

Las medidas generales para la protección contra los choques eléctricos serán:

a) Medidas de protección contra contactos directos

Las medidas serán preferentemente:

- Protección por aislamiento de partes activas, o
- protección por medio de barreras o envolventes.

b) Medidas de protección contra contactos indirectos

Las medidas serán preferentemente:

- Cuando la protección de las personas contra los contactos indirectos está asegurada por corte automático de la alimentación, según esquema de alimentación TT, la tensión límite convencional no debe ser superior a 24 V de valor eficaz en corriente alterna, o 60 V en corriente continua.
- Cada grupo de toma de corriente estará protegido por diferenciales de 30 mA; o bien alimentado a muy baja tensión de seguridad, o bien protegido por separación eléctrica de los circuitos mediante un transformador individual.

5.5.3.6. Elección e instalación de los equipos: aparamenta

Todos los conjuntos de aparamenta empleados en las instalaciones de obras deben cumplir las prescripciones de la norma UNE-EN 60439-4.

Las envolventes, aparamenta, las tomas de corriente y los elementos de la instalación que estén a la intemperie, deberán tener como mínimo un grado de protección IP45. El resto de los equipos tendrán los grados de protección según las influencias externas determinadas por las condiciones de instalación.

5.5.4. Instalaciones de ferias y stands

Las instalaciones eléctricas temporales de ferias, exposiciones, muestras, stands, alumbrados festivos de calles, verbenas y manifestaciones análogas están descritas en la ITC-BT 34 del actual reglamento para baja tensión.

Se recomienda que estas instalaciones de distribución y de enlace, en los lugares habituales de puestos ambulantes de ferias, sean fijas o permanentes, en cuyo caso deberán ser revisadas y verificadas por el titular de la instalación cada vez que vayan a ser utilizadas de nuevo.

Estas instalaciones deberán estar legalizadas por el organismo competente de la administración, tanto si son suministradas por E.S.E. como si se alimentan por medio de fuentes propias de energía.

5.5.4.1. Definiciones

Se aplican las siguientes definiciones:

Exposición. Es un acontecimiento destinado a la exposición o venta de productos que puede tener lugar en un emplazamiento adecuado, ya sea edificio, estructura temporal o bien al aire libre.

Muestra. Es una presentación o espectáculo realizado en cualquier emplazamiento apropiado, ya sea una estancia, edificio, estructura temporal o al aire libre.

Stand. Es un área o estructura temporal utilizada para presentación, marketing, ventas, ocio, etc.

Parque de atracciones. Es un lugar o área en el que se incluyen tiiovivos, barracas de feria, casetas, atracciones, etc., que tienen la finalidad específica de la diversión del público.

Estructura temporal. Es una unidad, situada en interior o exterior, diseñada o concebida para su fácil instalación, retiro y transporte. Se incluyen las unidades móviles y portátiles.

Instalación eléctrica temporal. Es una instalación eléctrica destinada a ser montada y desmontada al mismo tiempo que la exposición, muestra, stand, etc., con la que está asociada.

Origen de una instalación eléctrica temporal. Es el punto de la instalación permanente, o de otra fuente de suministro, desde la que se alimenta a las instalaciones eléctricas temporales.

5.5.4.2. Aparamenta y montaje de equipos

5.5.4.2.1. Cuadro de mando y protección

El cuadro de mando y protección se situará en el origen de la instalación, fuera del alcance del público; deberá estar situada en envolventes cerradas que no puedan abrirse o desmontarse más que con la ayuda de un útil o una llave, a excepción de sus accionamientos manuales.

En este cuadro se alojarán los mecanismos para proteger las derivaciones individuales contra sobrecargas y cortocircuitos.

Los grados de protección para las canalizaciones y envolventes será IP 4-X para instalaciones de interior e IP 45 para instalaciones de exterior.

Las cajas destinadas a las conexiones eléctricas, cuadros y armarios deberán tener un grado de protección mínimo igual al indicado anteriormente.

5.5.4.2.2. Cables eléctricos

En instalaciones interiores los cables serán de tensión mínima 300/500 V y aptos para servicios móviles y en las instalaciones exteriores serán de tensión mínima 450/750 V, con cubierta de policloropreno o similar, y aptos para servicios móviles.

Para alumbrados festivos se utilizan cables flexibles, o cordones, que no sobrepasarán los 2 m.

5.5.4.2.3. Canalizaciones

Las canalizaciones se realizarán mediante tubos o canales según lo dispuesto en la ITC-BT 20 y 21, y deberán tener un grado de protección IP4X.

5.5.4.2.4. Luminarias

Las luminarias fijas que estén situadas a menos de 2,5 m del suelo o en lugares accesibles a las personas, deberán estar firmemente fijadas y situadas de forma que se impida todo riesgo para las personas o inflamación de materiales.

El acceso al interior de las luminarias sólo podrá realizarse mediante el empleo de un útil o herramienta.

No se podrán utilizar las estructuras metálicas del ornamento como conductores para las luminarias.

El motivo ornamental irá sujeto de un cable fiador que se fijará en los apoyos metálicos mediante fiadores.

5.5.4.2.5. Alumbrado de emergencia

En las instalaciones temporales interiores que puedan albergar más de 100 personas, se instalará alumbrado de seguridad o emergencia siguiendo lo estipulado en la ITC-BT 28.

5.5.4.2.6. Interruptores de emergencia

Un circuito independiente alimentará a las luminarias, alumbrado de vitrinas, etc., y estará controlado por un interruptor de emergencia.

5.5.4.2.7. Bases y tomas de corriente

Se instalará un número apropiado de tomas de corriente a fin de permitir a los usuarios cumplir las reglas de seguridad.

Las tomas de corriente instaladas en el suelo irán dentro de envolventes protegidas contra la penetración del agua. Además, a los grados de protección indicados en el Apartado 5.5.4.4.1, deberán tener un grado de protección contra el impacto IK 10.

Por lo general se deben cumplir las siguientes especificaciones:

- Cada cable o cordón debe ser unido a una sola toma.
- No se deben utilizar adaptadores multivía.
- No se deben utilizar las bases múltiples, excepto las bases múltiples móviles, que se alimentarán desde una base fija con un cable de longitud máxima 2 m.

5.5.4.2.8. Conexiones a tierra

Cuando se instale un generador para suministrar alimentación a una instalación temporal, utilizando un sistema TN, TT o IT, debe tenerse cuidado para garantizar que la instalación está correctamente conectada a tierra.

El conductor neutro, o punto neutro del generador, debe conectarse a las partes conductoras accesibles del generador.

La red de tierra, o en su defecto las picas de tierra que se instalen, deberán conectar los cuadros metálicos, las estructuras metálicas y los receptores.

5.5.4.2.9. Conductores de protección

Los conductores de protección tendrán una sección de acuerdo con lo descrito en el Capítulo 4 del presente libro.

5.5.4.3. Alimentación

La tensión nominal de las instalaciones eléctricas temporales en exposiciones, muestras, stands y parques de atracciones será igual o inferior a 230/400 V en corriente alterna.

5.5.4.4. Protección para garantizar la seguridad

Se definen como «condiciones de **influencias externas**» las de los emplazamientos particulares donde se realizan estas instalaciones, como, por ejemplo, choques mecánicos, agua, temperaturas extremas, etc.

5.5.4.4.1. Protección contra contactos directos e indirectos

a) Contactos directos:

No se consideran medidas protectoras contra contactos directos las realizadas por medio de obstáculos, ni las realizadas por su colocación fuera del alcance.

b) Contactos indirectos:

No se consideran medidas protectoras contra contactos indirectos las realizadas mediante emplazamientos no conductivos ni mediante uniones equipotenciales sin conexión a tierra.

Cualquiera que sea el esquema de distribución utilizado, la protección de las instalaciones de los equipos eléctricos accesibles al público debe asegurarse mediante dispositivos diferenciales de alta sensibilidad de al menos 30 mA.

Cuando se utilice una muy baja tensión de seguridad (MBTS), la protección contra contactos directos debe ser asegurada, cualquiera que sea la tensión nominal asignada, mediante un aislamiento capaz de resistir un ensayo dieléctrico de 500 V durante un minuto.

5.5.4.4.2. Medidas de protección en función de las influencias externas

El corte automático de cables destinados a alimentar instalaciones temporales debe realizarse mediante un dispositivo diferencial, cuya corriente diferencial residual asignada no supere 500 mA.

Estos dispositivos serán selectivos con los dispositivos diferenciales de los circuitos terminales.

Todos los circuitos de alumbrado, las luminarias de emergencia y las tomas de corriente de intensidad inferior a 32 A, deberán estar protegidos por un dispositivo diferencial de alta sensibilidad cuya corriente asignada no supere los 30 mA.

5.5.4.4.3. Medidas de protección contra sobreintensidades

Todos los circuitos deben estar protegidos contra sobreintensidades mediante un dispositivo de protección apropiado, situado en el origen del circuito.

5.5.4.5. Protección contra el fuego

Debido a la propia naturaleza temporal de las instalaciones y a la presencia de público, el riesgo de incendio en este tipo de locales es superior al del resto de los locales o recintos.

Esto debe tenerse en cuenta cuando se valoren las influencias externas, de acuerdo con la «naturaleza del material procesado o almacenado».

El material eléctrico debe seleccionarse y montarse de forma que el aumento de su temperatura normal y el aumento de temperatura previsible, en el caso de que se produzca un posible fallo, no dé lugar a una situación peligrosa.

5.5.4.6. Protección contra altas temperaturas

Los equipos de iluminación (lámparas incandescentes, focos, pequeños proyectores y otros aparatos o dispositivos)

pueden alcanzar altas temperaturas en los bordes exteriores, por lo que, además de protegerse adecuadamente, deben colocarse suficientemente apartados de los materiales combustibles.

Los escaparates y los rótulos con iluminación interna se construirán con materiales que tengan una resistencia al calor apropiada, sean mecánicamente resistentes y tengan aislamiento eléctrico, al mismo tiempo que cuenten con una ventilación adecuada.

A menos que los artículos expuestos sean de naturaleza incombustible, los escaparates se iluminarán solamente desde el exterior, o con lámparas de poca emisión de calor.

Los stands que contengan una concentración de aparatos eléctricos, accesorios de iluminación o lámparas, propensos a generar un calor superior al normal, tendrán una cubierta bien ventilada, construida con materiales incombustibles.

5.6 Receptores. Tipología y características

5.6.1. Condiciones generales de instalación

Las instrucciones ITC-BT 43, 44, 45, 46, 47 y 48 nos indican, de forma resumida, que los aparatos receptores satisfarán los requisitos concernientes a una correcta instalación, utilización y seguridad. Durante su funcionamiento no deberán producir perturbaciones en las redes de distribución pública ni en las comunicaciones.

5.6.2. Clasificación de los receptores

Los receptores se clasificarán, de acuerdo con su aislamiento, tensión de alimentación, posibilidad y forma de realizar la puesta a tierra de sus masas, en la forma siguiente:

- **Clase 0.** No llevarán dispositivos que permitan unir las partes metálicas accesibles, a un conductor de protección. Su aislamiento corresponde a un aislamiento funcional, aunque puede tener alguna parte provista de un doble aislamiento o de aislamiento reforzado.
- **Clase I.** Llevan dispositivos que permiten unir las partes metálicas accesible a un conductor de protección. Su aislamiento corresponde, al menos, a un aislamiento funcional.

Cuando la alimentación al aparato se realice por medio de un conductor flexible, éste incluye el conductor de protección, y su clavija para la toma de corriente dispone de contacto para este último conductor.

- **Clase II.** No llevan dispositivos que permitan unir sus partes metálicas accesibles, a un conductor de protección. Su aislamiento corresponde, en todas sus partes, a un doble aislamiento o a un aislamiento reforzado.

Los receptores de la Clase II llevan el símbolo indicado al margen, situado junto a las indicaciones de sus características.



- **Clase III.** Son los que están previstos para ser alimentados con baja tensión de seguridad (MBTS) no superior a 50 V.

5.6.3. Conexión de los receptores

Los receptores podrán conectarse a las canalizaciones directamente o por intermedio de una un conductor movable utilizando tomas de corriente, cajas de conexión, etc.

La tensión nominal de los conductores utilizados será la de la tensión de alimentación y, como mínimo, de 300 V. Sus secciones no serán inferiores a 0,5 mm².

5.6.4. Receptores de alumbrado

No se permitirá la instalación de ningún aparato, candelabro, araña, etc., en que se utilicen conjuntamente la electricidad y otro agente de iluminación (GAS).

5.6.5. Instalación de lámparas o tubos de descarga o rótulos luminosos

Para instalaciones que alimentan rótulos luminosos con tensiones de salida en vacío comprendidas entre 1 y 10 kV, se aplicará lo dispuesto en la norma UNE-EN 50107.

Queda prohibido en el interior de las viviendas el uso de lámparas de gases con descarga de Alta Tensión.

- Cuando una lámpara o conjunto de lámparas tenga que ser accionado por un interruptor, éste tendrá una capacidad de corte no inferior a dos veces la intensidad del receptor o grupo de receptores.
- Los circuitos de alimentación se diseñarán en función de la potencia de los receptores multiplicada por 1,8 veces su potencia. El conductor neutro tendrá la misma sección que los conductores de fase.
- En el caso de lámparas fluorescentes, será obligatorio la compensación del factor de potencia hasta un valor mínimo de 0,90 y no se admitirá compensación del conjunto de un grupo de lámparas en una instalación de régimen de carga variable.

- Todas las partes bajo tensión, así como los conductores, aparatos auxiliares y los propios receptores, excepto las partes que producen o transmiten la luz, estarán protegidas por adecuadas pantallas o envolturas aislantes o metálicas puestas a tierra.

Condiciones de las instalaciones de lámparas o tubos de descarga que funcionen continuamente bajo una tensión especial o superior, o que funcionando continuamente bajo una tensión usual, necesiten para su cebado una alta tensión.

- La protección contra los contactos directos, por lo que a las lámparas se refiere, se realizará encerrándolas en adecuadas envolventes aislantes o metálicas. Si la lámpara estuviera situada en el exterior de los edificios, a más de 3 m sobre el suelo, o en su interior a más de 2 m del suelo, se podrán sustituir dichas protecciones por tubos aislantes de conveniente calidad dieléctrica y resistencia al calor que cubran las partes bajo tensión, o por otros sistemas aislantes adecuados.
- Los transformadores tendrán sus arrollamientos primario y secundario eléctricamente distintos. Se prohíbe el empleo de autotransformadores.
- Los transformadores se situarán fuera del alcance de las personas no autorizadas; si no fuera así, estarán encerrados en una caja o armario incombustible o instalados en local cerrado o protegidos por un enrejado metálico. Tales protecciones se instalarán de manera que la apertura de la caja o armario, el acceso al local o retirada del enrejado provoque automáticamente el corte de la corriente de alimentación en todos los conductores de alimentación.
- Las cajas o armarios, los enrejados de protección o las puertas, llevarán una señal de peligro eléctrico, situada en lugar visible, y una inscripción que indique peligro.
- Cualquier instalación deberá poder ser puesta fuera de tensión por medio de un interruptor de corte omnipolar que actúe sobre el circuito que alimenta a su transformador. Este interruptor llevará una inscripción indicando que forma parte de la instalación de lámparas o tubos de descarga y estará situado en un lugar fácilmente accesible en todo momento.

En caso de anuncios o signos luminosos situados sobre la fachada, estos interruptores estarán colocados en sitios accesibles en cualquier momento desde el exterior. Si el interruptor se sitúa sobre la fachada, estará a una altura tal que no sea accesible para los transeúntes, pero que pueda ser alcanzado en caso de necesidad sin dificultad, es decir, a 3 m aproximadamente del suelo (Figura 5.41).

La instalación del interruptor será obligatoria además de cualquier otro que hubiera para otro fin.

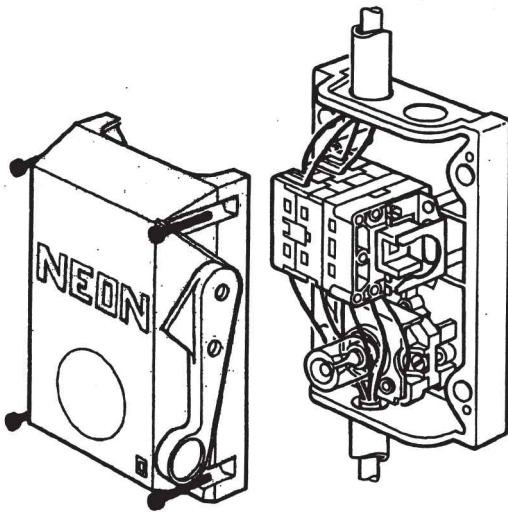


Figura 5.41. Interruptor de seguridad para rótulos luminosos.

5.6.6. Motores

Para cumplir con la actual Reglamentación para determinar cuál es la sección mínima de un conductor se deberán tener en cuenta que satisfaga simultáneamente las tres condiciones siguientes:

a) Criterio por intensidad máxima admisible o de calentamiento

Con respecto a la intensidad máxima admisible de la canalización, deberemos tener en consideración todo lo indicado en la norma UNE 20460-5-523:2004, Tablas A.52-1 bis, cuando la instalación se realice en montaje aéreo, o la Tabla A.52-2 bis cuando la instalación se ejecute en montaje subterráneo, más cada uno de los posibles factores de corrección indicados en las Tablas A.52-3 (factores de reducción por agrupamiento de varios circuitos o de varios cables multiconductores). No obstante, en función del tipo de montaje y de diversos factores que puedan incidir en el mismo, entre los que destacan la temperatura ambiente o la resistividad del terreno, deberán tenerse en consideración las tablas de corrección específicas para cada caso reflejadas en dicha norma.

b) Criterio por caída de tensión

Esta caída de tensión debe ser inferior a los límites marcados por el Reglamento en su ITC-BT 019 ap. 2.2.2 en cada parte de la instalación, con el objeto de garantizar el funcionamiento de los receptores alimentados por el cable.

De acuerdo con el criterio anterior, lo primero que tendremos que hacer es obtener el nuevo valor de la conductividad de los conductores de acuerdo con lo indicado en la norma UNE 20460-5-523:2004 Tabla 52-A, en función del tipo de aislamiento que posean los con-

ductores que vayamos a instalar, 70 °C para los de PVC y 90 °C para los de XLPE o EPR, cuando los conductores trabajen en las peores condiciones de montaje, es decir, trabajando a su máxima intensidad admisible en régimen permanente, con lo que aplicando la expresión:

$$\begin{aligned} R_{90\text{ }^{\circ}\text{C}} &= R_{20\text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot [1 + \alpha \cdot \Delta T] = \\ &= R_{20\text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot [1 + 0,0039(90 - 20)] = \\ &= R_{20\text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot 1,28 \Omega \cdot \text{m} \end{aligned}$$

El valor de la conductividad a tener en cuenta para conductores de 0,6/1 kV será de:

$$\frac{56}{1,28} = 43,75 \approx 44 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$$

De igual forma, y para los conductores de PVC el valor que obtendremos será de 48 m/Ω · mm².

Valores muy diferentes a los utilizados hasta ahora que eran de 56 m/Ω · mm².

c) Criterio por intensidad de cortocircuito

Una vez obtenidos los dos criterios anteriores, deberemos calcular la intensidad máxima de cortocircuito que podemos tener en dicho circuito para saber si la sección de los conductores que se ha previsto instalar, soporta dicha intensidad durante el tiempo que actúen las protecciones. Sabiendo que la temperatura que puede alcanzar el conductor, como consecuencia de un cortocircuito o sobreintensidad de corta duración, no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (para menos de 5 segundos) asignada a los materiales utilizados para el aislamiento del cable. Esta temperatura se especifica en la norma UNE 20460-4-43:2003 Tabla 43 A y suele estar comprendida entre los 160 °C para cables con aislamiento termoplásticos (PVC) y los 250 °C para cables con aislamientos termoestables (XLPE o EPR).

De acuerdo con el vigente Reglamento, veamos algunos conceptos indicados en la ITC-BT 01 sobre circuito y receptor y los otros dos —cables de conexión e intermitente— reflejados en el Diccionario de la Real Academia Española o por definición por separado o por combinación de ambas palabras (dicha terminología no viene definida en la ITC-BT anteriormente indicada), que son importantes a la hora de realizar los cálculos en instalaciones interiores.

- a) **CIRCUITO:** «Un circuito es un conjunto de materiales eléctricos (conductores, aparatada, etc.) de diferentes fases o polaridades, alimentadas por la misma fuente de energía y protegidos contra las sobreintensidades por el o los mismos dispositivos de protección. No quedan incluidos en esta definición los circuitos que formen parte de los aparatos de utilización o receptores.»
- b) **RECEPTOR:** «Aparato o máquina eléctrica que utiliza la energía eléctrica para un fin determinado.»

c) **CONDUCTORES DE CONEXIÓN:** Conductores que sirven de unión entre un receptor (lámpara, electrodoméstico, máquina en su conjunto, etc.) y la fuente de alimentación de energía perteneciente al circuito (toma de corriente, bornes de conexión, etc.) por medio de una clavija, terminales o elemento análogo, o entre el y/o los diferentes receptores que formen una máquina y su cuadro de mando y protección propio de la misma máquina.

d) **INTERMITENTE:** Que se interrumpe o cesa y prosigue o se repite.

Ante lo anteriormente expuesto, y de acuerdo con lo indicado en las Directivas de la Unión Europea en lo concerniente a la utilización que se debe dar a los diferentes equipos o receptores, acogidos a aquéllas y de lo reflejado tanto en el art. 6 (Equipos y materiales) como en las diferentes Instrucciones Técnicas Complementarias que nos puedan servir de referencia: la ITC-BT 32, dedicada a Instalaciones con fines especiales (máquinas de elevación y transporte), la ITC-BT 47, con referencia a la Instalación de Receptores (motores), así como las normas UNE 20460 en los siguientes apartados:

- 20460-1:2003 (Campo de Aplicación, objeto y principios fundamentales)
- 20460-4-43:2003 (Protecciones para garantizar la seguridad. Protección contra las sobretensiones)
- 20460-5-523:2004 (Intensidades admisibles en los conductores)

Una vez estudiados los mismos se puede entender que a la hora del diseño de instalaciones, y más concretamente **en el cálculo de las secciones de los conductores que alimentan a circuitos, a los que van a conectarse receptores que posean en su interior uno o varios motores** e, incluso, algún otro tipo de elemento como resistencias, etc., dentro del propio receptor, **sólo lo deberemos realizar de acuerdo con la potencia total indicada en la placa de características del propio aparato o equipo**, o en la documentación técnica que el fabricante de dicho producto nos facilite al respecto y que pueda estar funcionando simultáneamente, **sin aplicar ningún otro tipo de coeficiente como se venía haciendo hasta ahora.**

NOTA: No obstante, cuando en un Edificio, Oficina, Local Comercial o Industria se tenga un receptor de elevada potencia que pueda producir fuertes desequilibrios en la red, tanto en el momento de arranque como en régimen permanente, el proyectista deberá estudiar de forma minuciosa el método más conveniente de puesta en servicio, como la sección más adecuada para que dicha instalación no perturbe al resto de las instalaciones propias del Edificio, ni a la propia red de distribución.

Ejemplo 5.1. En una Industria dedicada al tratamiento de metales existen varios motores con potencias diversas sumando todos ellos 60 kW; hay además dos motores instalados, uno en una prensa con una potencia de 30 kW y

otro en un montacargas con una potencia de 11 kW. El Alumbrado de dicha Industria está compuesto por lámparas fluorescentes y lámparas de vapor de mercurio cuya potencia total es de 20 kW.

Queremos saber:

- Cálculo de la D.I. si la distancia entre la Caja de Protección y Medida situada en el cerramiento del Edificio y el CGMP es de 30 m.
- Cálculo de la línea que alimenta al cuadro de mando del motor de la prensa si es despreciable la c.d.t.
- Cálculo de la línea de enlace y principal de tierra.

La tensión de Red es 400/230 V y el $\cos \varphi = 0,9$.

Los conductores a instalar serán de Polietileno Reticulado (XLPE) de 0,6/1 kV unipolares, libres de halógenos (AS) bajo canalización enterrada en la D.I. y bajo tubo aislado en superficie, siendo los conductores instalados en las instalaciones interiores del tipo PVC de 750 V unipolares.

- Potencia instalada de acuerdo con la ITC-BT 10

$$\Sigma P = 60.000 + 30.000 + 11.000 + (20.000 \times 1,8) = 137.000 \text{ W}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{137.000}{1,73 \times 400 \times 0,9} \approx 220 \text{ A}$$

Al tratarse de un solo abonado la c.d.t. máxima en la D.I. será del 1,5%, por lo que tendremos

$$e = \frac{1,5 \times 400}{100} = 6 \text{ V}$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot e} = \frac{P \cdot L}{\gamma \cdot e \cdot U} = \frac{137.000 \times 30}{44 \times 6 \times 400} \approx 39 \text{ mm}^2$$

La sección comercial a instalar, inicialmente, sería de $4 \times 50 \text{ mm}^2$, que de acuerdo con la Tabla A.52-2 bis de la norma UNE 20460-5-523:2004 (Intensidades máximas admisibles en montaje subterráneo a 25 °C), nos soporta $138 \text{ A} < 220 \text{ A}$, por lo que tendremos que tomar una sección superior, en nuestro caso la de 150 mm^2 que soporta $260 \text{ A} > 220 \text{ A}$.

La c.d.t. que tendremos en la D.I. con esta sección será de 1,55 V, que corresponde al 0,38%.

El diámetro del tubo a instalar para alojar 4 conductores tipo RZ1-K (AS) de $4 \times (1 \times 150 \text{ mm}^2)$ será de $160 \text{ mm } \varnothing$ y cumplirá con lo indicado en la norma UNE-EN 50086-2-4 (ITC-BT 21 Ap. 1.2.4).

Nota: Podríamos, teóricamente, haber tomado la sección de 120 mm^2 que nos soporta $230 \text{ A} > 220 \text{ A}$, pero prácticamente dejaríamos la línea sin ninguna posibilidad de ampliación, por lo que se aconseja la instalación de una sección superior y que pueda la propiedad tener una cierta flexibilidad de maniobra en la misma.

b) La c.d.t. máxima permitida desde el CGMP hasta el cuadro auxiliar desde donde se controla la Prensa de acuerdo con la ITC-BT 19 ap. 2.2.2 será del 5%; operando igual que antes nos da una $e = 20$ V; si en nuestro caso es despreciable realizaremos los cálculos a partir de la Intensidad del motor que es de aproximadamente 49 A.

Al mirar en la Tabla A.52-1bis (Intensidades máximas admisibles en montaje aéreo a 40 °C), columna B1-5 para 49 A, la sección a instalar será de 16 mm² que nos soporta una intensidad de 59 A > 49 A que tenemos.

El diámetro mínimo del tubo a instalar para alojar 4 conductores tipo ES07Z1-K (AS) de 16 mm² (3F + PE) en superficie, de acuerdo con la Tabla 2 de la ITC-BT 21, será de 32 mm Ø.

c) De acuerdo con la Tabla 2 de la ITC-BT 18, las secciones de la Línea de Enlace con Tierra y de la Línea Principal de Tierra será de

$$S = \frac{S_{LR}}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}^2$$

La sección comercial a instalar será de 95 mm².

Ejemplo 5.2. En una instalación hay que alimentar un motor trifásico cuyos datos figuran en su placa de características y que figuran a continuación:

Marca: E.U.I.T.I.; $P = 37$ kW; $\cos \varphi = 0,82$; 70/41 A; 400/690 V; 1.485 n⁻¹; 50 Hz; IP 66; N.º de fabricación: 20070913.

Para el arranque de dicho motor se instala un arrancador estrella-triángulo situado en un cuadro auxiliar que dista 40 m del CGMP. El motor se encuentra, a su vez, a una distancia de 10 m del arrancador.

Queremos saber:

- Sección de los conductores que alimentarán el cuadro auxiliar, si éstos son del tipo multiconductores (cable tetrapolar) de 1.000 V tipo XLPE en montaje sobre canal protectora. El método de instalación de acuerdo con Tabla 52-B2, punto 8-9, de la norma UNE 20460-5-523:2004. Referencia a utilizar con Tabla 52-B1 será (B2).
- Sección de los conductores que alimentan al motor desde el cuadro auxiliar, si éstos son del tipo multiconductor de 0,6/1 kV tipo XLPE (AS), bajo tubo de acero en montaje superficial.

Tensión de Red 400/230 V.

a) Al Cuadro Auxiliar donde se encuentra el arrancador.

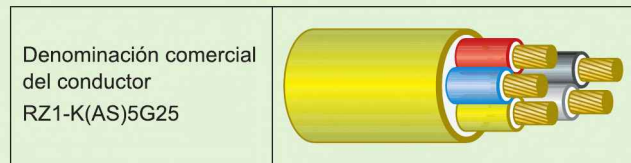
La c.d.t. máxima permitida del 5% sobre la tensión de 400 V nos dará como resultado 20 V.

Al realizarse un arranque estrella triángulo la intensidad que tomaremos será la correspondiente a la tensión mayor de la red (menor del motor), en nuestro caso 400 V.

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot e} = \text{mm}^2$$

$$S = \frac{1,73 \times 40 \times 70 \times 0,82}{48 \times 20} = 4,13 \text{ mm}^2$$

La sección comercial a colocar sería de 4 × 6 mm², cuya intensidad máxima admisible de acuerdo con la norma UNE 20460-5-523.2004, columna B2-7, es de 37 A < 70 A que nos consume el motor. Tendremos que instalar una sección superior que sea capaz de soportar la intensidad anteriormente indicada, que en nuestro caso será de 25 mm² que soporta 88 A > 70 A. La línea estará compuesta por un cable multiconductor de 5 × 25 mm² (3F + N + PE).



La c.d.t. que se nos producirá con esta sección será de:

$$e = \frac{1,73 \times 40 \times 70 \times 0,82}{44 \times 25} = 3,61 \text{ V que corresponde al } 0,90 \%$$

La intensidad máxima de cortocircuito que soportarían dichos conductores, si la protección a instalar es un Interruptor Automático Magnetotérmico, curva C y dispara en 0,1 segundos sería de:

$$I_{cc} = \frac{k \cdot S}{\sqrt{t}} = \frac{143 \times 25}{\sqrt{0,1}} \approx 11.305 \text{ A}$$

Nota: La sección de 16 mm² que soporta 70 A, es decir, el mismo consumo que tenemos no procedemos a su instalación al estar dicha sección «ahorcada».

b) La sección que nos alimenta desde el Cuadro Auxiliar hasta el motor será:

$$I_{\Delta} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{70}{1,73} \approx 41 \text{ A}$$

$$S = \frac{1,73 \times 10 \times 41 \times 0,82}{44 \times 20} = 0,66 \text{ mm}^2$$

La sección comercial a instalar que alimente las bornas del motor, de acuerdo con la misma tabla y columna anterior, de acuerdo al consumo que tenemos será de 4 × 10 mm² (U₁ - V₁ - W₁ - PE) + 3 × 10 mm² (U₂ - V₂ - W₂), que

nos soporta $52 \text{ A} > 41 \text{ A}$. Ambas líneas irán en canalizaciones rígidas de $32 \text{ mm } \varnothing$ (ITC-BT 21, Tabla 2), en montaje al aire de forma totalmente independientes. Igualmente, deberemos tener en cuenta el conductor de protección, que en nuestro caso, de acuerdo con la Tabla 2 de la ITC-BT 19, sería de la misma sección, es decir de 10 mm^2 .

Denominación comercial del conductor
RZ1-K(AS)4G10



Denominación comercial del conductor
RZ1-K(AS)3X10



La c.d.t. en este tramo sería de $1,21 \text{ V}$ correspondiente al $0,30\%$.

La c.d.t. total de dicha línea sería de $3,61 + 1,21 = 4,82 \text{ V}$ que corresponde al $1,20\%$.

5.6.7. Generadores

Los generadores se ajustarán a lo indicado en la ITC-BT 40.

Se instalarán en locales especialmente destinados al servicio eléctrico o estarán separados de los lugares donde tengan acceso personas no especializadas por medio de tabiques adecuados.

Si la instalación tuviera el neutro puesto directamente a tierra y fuera alimentada por un alternador, la puesta a tierra se hará también en el borne correspondiente del alternador.

5.6.8. Utilización simultánea de grupos generadores y de energía de una red de distribución pública

En aquellas instalaciones en que se disponga de grupos generadores de energía, éstos no podrán ser conectados en paralelo con la red de distribución pública, salvo consentimiento expreso de la E.S.E. Sin especial autorización de ésta, la energía deberá utilizarse únicamente en circuitos receptores totalmente independientes, o bien disponiendo un sistema adecuado de conmutación que conecte los circuitos o receptores a una u otra fuente de energía.

- 5.1 Recopilar información técnico-comercial relativa a los componentes de las instalaciones con riesgo de incendio o explosión.
- 5.2 Recopilar reglamentación correspondiente a las normativas de la comunidad autónoma correspondiente sobre suministros complementarios: socorro, reserva y duplicado.
- 5.3 Diseñar la instalación eléctrica correspondiente a un Pub.
- 5.4 Diseñar la instalación eléctrica perteneciente a un taller de reparación de vehículos.
- 5.5 Diseñar la instalación eléctrica de alimentación al cuarto de máquinas de dos ascensores.
- 5.6 Diseñar la instalación eléctrica de un local húmedo.

Actividades
y prácticas
propuestas

6

Iluminación

Introducción

En este capítulo se estudia qué es la luz, cómo se produce, características de la misma y leyes fundamentales de la luminotecnia, así como los medios que utilizamos para producirla artificialmente (lámpara), aparatos que la distribuyen (luminarias) y el cálculo y la forma de iluminar (diseño de alumbrado).

Objetivos

- ▶ Interpretar tablas y gráficos de las diferentes fuentes de luz existentes en el mercado.
- ▶ Conocer los diferentes tipos de luminarias a instalar según su ubicación.
- ▶ Conocer los procedimientos de montaje, conexión y verificación de lámparas y luminarias.
- ▶ Analizar los diferentes sistemas de iluminación de interiores.
- ▶ Analizar los diferentes sistemas de iluminación de exteriores.
- ▶ Interpretar correctamente un proyecto de iluminación de interiores, analizando materiales, equipos, cuadros y líneas.
- ▶ Interpretar correctamente un proyecto de iluminación de exteriores, analizando materiales, equipos, cuadros y líneas.

Contenido

- 6.1. Magnitudes y leyes luminotécnicas
- 6.2. Fuentes de luz
- 6.3. Luminarias
- 6.4. Diseño de alumbrado de interiores
- 6.5. Diseño de alumbrado de exteriores
- 6.6. Ejemplos de cálculo
- Actividades y prácticas propuestas

6.1 Magnitudes y leyes luminotécnicas

Quizás nos hayamos preguntado alguna vez: **¿qué es la luz?, ¿cómo se produce?, ¿qué características tiene?**, etc.

La Comisión Internacional de la Iluminación define la luz como «**La energía radiante que es capaz de excitar la retina del ojo humano y producir una sensación visual**».

Por tanto, de esta definición se deduce que aquellas radiaciones que no exciten la retina del ojo humano, **no** se pueden considerar luz, y por tanto, resulta del todo incorrecto el realizar expresiones tales como «luz ultravioleta», «luz infrarroja», cuando lo correcto es decir «radiación ultravioleta» o «radiación infrarroja», puesto que ambas no son apreciadas por la retina.

Esto permite considerar que, para que en un lugar cualquiera se pueda decir que existe luz, es necesaria la presencia de la retina del ojo humano.

6.1.1. Naturaleza de la radiación

Varias han sido las teorías que a lo largo de la historia se han realizado sobre la naturaleza de la radiación, destacándose entre ellas las siguientes:

- **Teoría ondulatoria de Huygens (1629-1695).**
- **Teoría corpuscular de Newton (1624-1727).**
- **Teoría electromagnética de Maxwell (1831-1879).**
- **Teoría cuántica de Planck (1858-1947).**
- **Teoría unificada de Broglie (1892-1987) y Heisenberg (1901).**

a) Teoría ondulatoria de Huygens

Esta teoría afirmaba que las moléculas de cualquier material emisor vibraban, y por ello producían luz.

b) Teoría corpuscular de Newton

Según esta teoría, se supone que los cuerpos emiten energía radiante en forma de partículas o corpúsculos, los cuales se propagan en línea recta por el espacio.

c) Teoría electromagnética de Maxwell

En esta teoría, la propagación de la energía radiante se realiza en forma de ondas electromagnéticas, que se caracteriza por ser un movimiento ondulatorio transversal (las vibraciones son perpendiculares a la dirección del movimiento de las ondas).

d) Teoría cuántica de Planck

Planck afirmaba que la energía se emite y absorbe en cantidades discretas llamadas «cuantos».

De esta forma, para que un electrón pase de un nivel a otro de energía, es necesario que absorba o emita un cuanto de energía.

e) Teoría unificada de la Broglie y Heisenberg

Mediante esta teoría, cada corpúsculo en movimiento tiene una onda asociada, siendo su longitud de onda:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

donde:

h = Constante de Planck.

m = Masa de la partícula.

v = Velocidad de la partícula.

Según esta concepción dual de la radiación electromagnética, se facilita la explicación de su comportamiento **ondulatorio** y **corpuscular**.

6.1.1.1. Características de la radiación electromagnética

La radiación electromagnética es una de las múltiples formas en que se puede presentar la energía.

La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) define la radiación como:

«La emisión o transporte de energía en forma de ondas electromagnéticas con los fotones asociados».

De esta forma, cualquier proceso de producción de radiación es una transformación de una de las formas de energía en energía radiante.

Como ejemplo de lo expuesto, puede ser:

- 1.º Si la fuente de energía es el calor, se obtiene una radiación térmica.
- 2.º Si la energía la suministra una radiación química, se obtiene la quimiluminiscencia.
- 3.º Si el proceso lo provoca la energía eléctrica, se dice que éste es una electroluminiscencia.

En todos estos ejemplos, se cumple el principio de conservación de la energía.

Por tanto, las dos características que definen la radiación son:

C = Velocidad de propagación.

λ = Longitud de onda.

- **La velocidad de propagación** en el vacío es la misma para todas las radiaciones, y por tanto es una constante, cuyo valor es:

$$c = 299.792.458 \text{ m/s} \quad 300.000 \text{ km/s}$$

Si la radiación pasa del vacío a otro medio distinto, su velocidad de propagación cambia, manteniéndose constante su frecuencia.

El cociente entre la velocidad de propagación en el vacío y la velocidad de propagación en un medio cualquiera recibe el nombre de **índice de refracción** (n) del medio considerado.

$$n = \frac{c}{v}$$

siendo:

v = Velocidad de propagación del medio considerado.

Este índice es siempre superior a la unidad para el agua, el vidrio y el aire; presenta los siguientes valores:

- n (agua) = 1,33
- n (vidrio) = 1,4 a 1,7
- n (aire) = 1,00027 a 1,00029

● **La longitud de onda** es la distancia entre dos ondas consecutivas, y se suele expresar siempre referida al vacío.

Si se quiere determinar la longitud de onda de un medio cualquiera, ésta será igual a la del vacío, dividida por el índice de refracción del medio considerado.

$$\lambda_m = \frac{\lambda_v}{n}$$

donde:

- λ_m = Longitud de onda medio.
- λ_v = Longitud de onda vacío.

6.1.1.2. Espectro de la radiación electromagnética

Según la teoría ondulatoria, las radiaciones electromagnéticas se clasifican, bien por su longitud de onda en el vacío, o por su frecuencia. A esta ordenación se la conoce por el nombre de espectro de la radiación electromagnética. Figura 6.1.

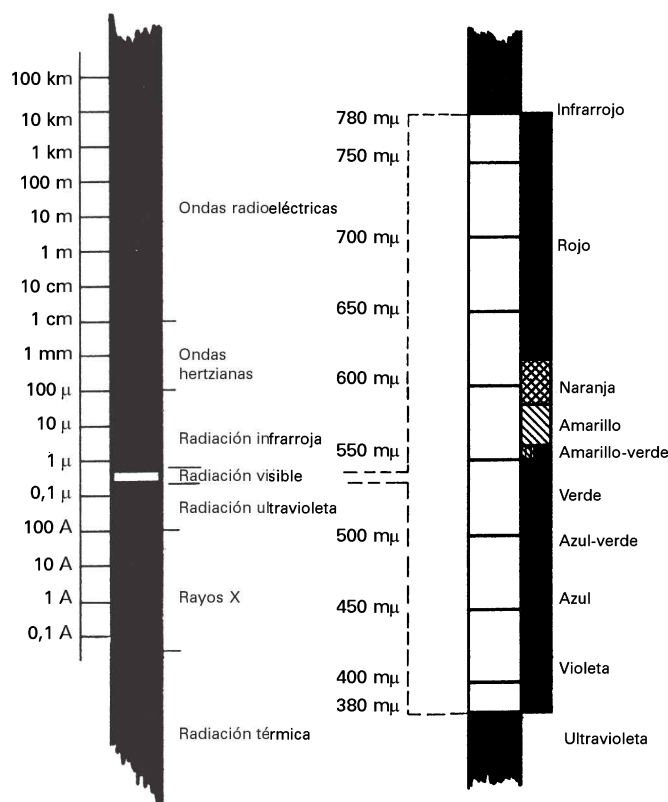


Figura 6.1. Espectro de radiación electromagnética.

El conocimiento y estudio de los diferentes espectros de emisión de las diversas fuentes de luz que existen, permiten conocer el **color** de la luz emitida, la **temperatura** de color y el **rendimiento** en color.

Los tres tipos de espectros de emisión de las lámparas más utilizadas son:

- Espectro continuo.
- Espectro de líneas.
- Espectro mixto.

● Espectro continuo

Es aquel en que la distribución espectral de la radiación es función continua de la longitud de onda, Figura 6.2, como es el caso de las lámparas de incandescencia.

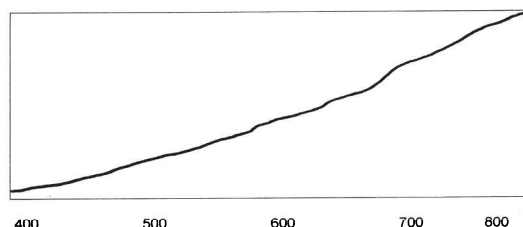


Figura 6.2. Espectro continuo.

● Espectro de líneas

Está formado por un conjunto de radiaciones monocromáticas de longitudes de onda que se encuentran separadas por zonas en las cuales no hay ninguna emisión. Figura 6.3.

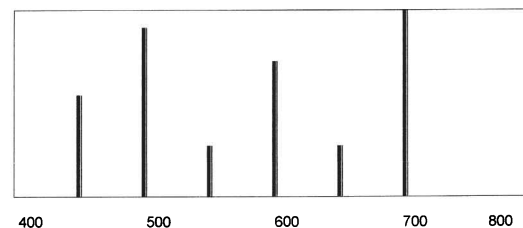


Figura 6.3. Espectro de líneas.

Este tipo de espectro se presenta en las lámparas de vapor de mercurio y las lámparas de halogenuros metálicos.

● Espectro mixto

Como su nombre indica, está formado a la vez por un espectro de líneas superpuesto a uno continuo. Figura 6.4.

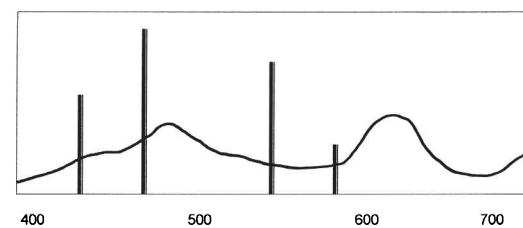


Figura 6.4. Espectro mixto.

Las lámparas fluorescentes son las que presentan este tipo de espectro.

6.1.2. Magnitudes radiométricas y fotométricas utilizadas en luminotecnia

Antes de definir cualquier magnitud, es conveniente recordar que la luz es la evaluación que nuestro ojo hace de la radiación existente. Por ello, es importante considerar que las magnitudes fotométricas que normalmente conocemos y utilizamos derivan de las magnitudes radiométricas, por lo que, para realizar un estudio detallado de estas magnitudes, es necesario definir primero la magnitud radiométrica y, a continuación, la fotométrica correspondiente.

Considerando que el ojo humano no tiene la misma respuesta para las distintas radiaciones del espectro electromagnético, se hace necesario disponer de una función de peso, que permita evaluar una radiación compleja.

Esta función está formada por dos factores, una **función relativa** y una **constante**.

La función relativa se conoce con el nombre de **eficiencia luminosa espectral** y se designa por $V(\lambda)$ para el caso de visión fotópica (niveles de emergencia altos).

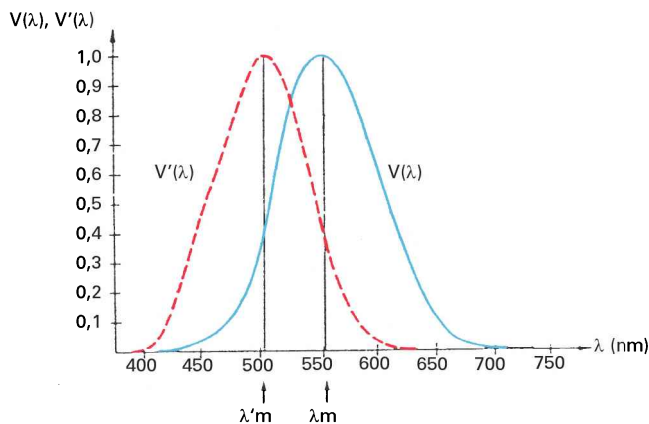


Figura 6.5. Eficiencia luminosa espectral.

La constante (k_m) se denomina **eficacia luminosa espectral máxima**, y es igual al cociente del flujo luminoso por el flujo radiante correspondiente, y su valor es 683 lm/W. Hará una radiación monocromática de una frecuencia de 540×10^6 Hz y longitud de onda 555 nm.

La utilización del subíndice e en las magnitudes radiométricas nos recuerda que es energía, mientras que el subíndice v utilizado en las magnitudes fotométricas indica la **sensación visual**.

6.1.2.1. Flujo radiante y flujo luminoso

El **flujo radiante** se define como la **potencia emitida, transportada o recibida en forma de radiación**.

Su símbolo es Φ y la unidad el vatio (W).

El **flujo luminoso** es, por tanto, una magnitud que deriva del flujo radiante, al evaluar su acción sobre el observador.

Su unidad es el lumen (lm) y se define como:

«El flujo luminoso emitido en un ángulo sólido de un esterrradián por una fuente puntual, que está situada en el vértice del ángulo sólido (ω) y tiene una intensidad luminosa de una candela». Figura 6.6.

Su fórmula es:

$$\Phi_v = I \cdot \omega$$

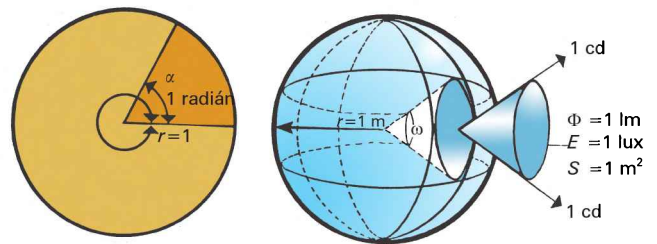


Figura 6.6. Relación entre flujo luminoso, intensidad luminosa e iluminancia (por cortesía de OSRAM).

La Tabla 6.1 representa el flujo luminoso de algunas lámparas:

Tabla 6.1. Flujo luminoso de algunas lámparas

Efluvios	0,6
Vela de cera	10
Bicicleta	18
Incandescente estándar de 100 W	1.380
Fluorescente de 36 W	3.200
Mercurio de alta presión	23.000
Halogenuros metálicos	28.000
Sodio alta presión	48.000
Sodio baja presión	31.500
Magnesio	450.000

6.1.2.2. Energía radiante y cantidad de luz

La **energía radiante** (Q_e) es la **energía emitida, transportada o recibida en forma de radiación**.

Su unidad es el julio ($J = W \times S$)

La **cantidad de luz** (Q_v) es la integral en función del tiempo del flujo luminoso, durante una duración dada de tiempo.

Su unidad es el lumen-segundo ($lm \cdot s$) o lumen-hora ($lm \cdot h$).

6.1.2.3. Intensidad radiante e intensidad luminosa

La **intensidad radiante** (I_e) (de un manantial en una dirección dada) se define como el cociente entre el flujo radiante que sale del manantial y se propaga en un elemento de ángulo sólido, que contiene a la dirección dada y dicho elemento de ángulo sólido.

$$I_e = \frac{\Phi_e}{\Omega}$$

Su unidad es el vatio por estereorradián ($W \cdot sr^{-1}$).

La **intensidad luminosa** (I_v) (de un manantial en una dirección dada) es el cociente entre el flujo luminoso que sale del manantial y se propaga en un elemento de ángulo sólido, que contiene a la dirección dada y dicho elemento de ángulo sólido.

Su unidad es la **candela** ($cd = lm \cdot sr^{-1}$) y se define como:

«La intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia $540 \cdot 10^{12}$ Hz y cuya intensidad radiante, en esa dirección, es 1/683 watt por estereorradián».

El conjunto de la intensidad luminosa de un manantial de luz, en todas direcciones, forma lo que se conoce como **distribución luminosa**.

Se puede determinar en el laboratorio la intensidad luminosa de un manantial, en todas las direcciones del espacio, con relación a un eje vertical. Al representar, por medio de vectores, la intensidad luminosa de un manantial en las infinitas direcciones del espacio, se obtiene el sólido fotométrico. Figura 6.7.

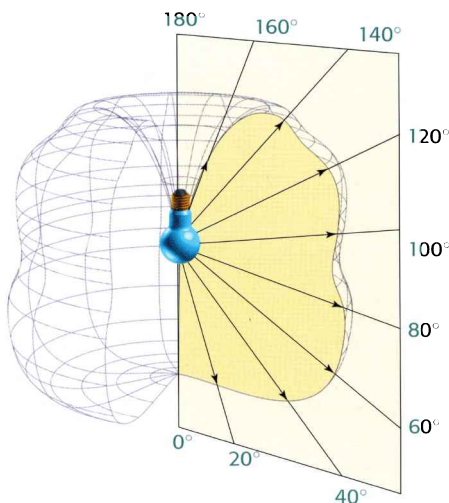


Figura 6.7. Sólido fotométrico.

Si se hace pasar un plano por el eje de simetría del manantial luminoso, se obtiene una sección limitada por una curva, llamada **curva de distribución luminosa o curva fotométrica**. Figuras 6.8 y 6.9.

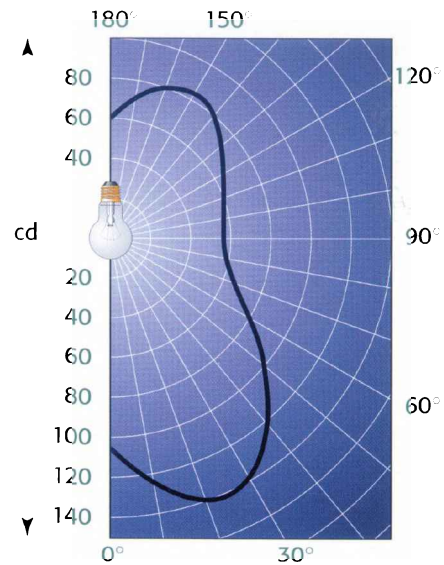


Figura 6.8. Curva fotométrica de una lámpara incandescente.

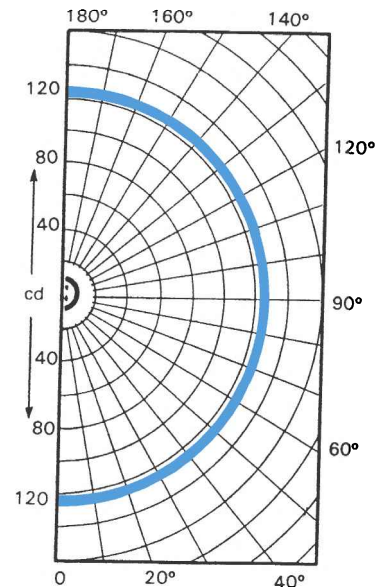


Figura 6.9. Curva fotométrica de una lámpara fluorescente.

Estas curvas son datos fundamentales para realizar los cálculos de una instalación de alumbrado.

6.1.2.4. Irradiancia e Iluminancia

La **irradiancia** (E_e) es una magnitud referida a un punto de una superficie como «el cociente entre el flujo radiante recibido por un elemento de la superficie que contiene el punto y el área, ds , de dicho elemento».

$$E_e = \frac{\Phi_e}{A}$$

Su unidad es el vatio por metro cuadrado ($W \cdot m^2$).

La **iluminancia o iluminación** (E_v) (en un punto de una superficie) es el cociente entre el flujo luminoso recibido por un elemento de la superficie que contiene al punto, y el área, dS , de dicho elemento.

Su unidad es el lux (lx) y se define como «la iluminancia producida por un flujo luminoso de 1 lumen que se distribuye uniformemente sobre una superficie de 1 metro cuadrado ($1\text{lx} = 1\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$). Figura 6.10.

El aparato para medir iluminancias se denomina luxómetro.

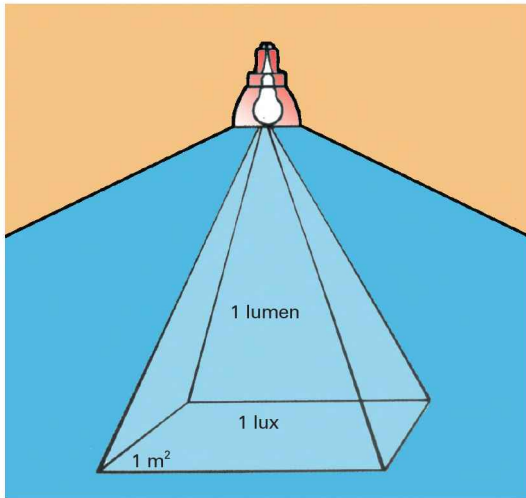


Figura 6.10. Unidad de iluminancia: LUX.

La Tabla 6.2. muestra distintos valores de iluminancias.

Tabla 6.2. Distintos valores de iluminancias

Mediodía de verano al aire libre, con cielo despejado	100.000 lux
Mediodía de verano al aire libre, con cielo cubierto	20.000 lux
Puesto de trabajo bien iluminado en un recinto interior	1.000 lux
Buen alumbrado público	20 a 40 lux
Noche de luna llena	0,25 lux
Noche de luna nueva	0,01 lux

6.1.2.5. Radiancia y luminancia

La **radiancia** (L_e) es el cociente entre el flujo radiante transmitido por una haz elemental que pasa por el punto dado y se propaga en el ángulo sólido, $d\omega$, que contiene a la dirección dada, y el área de la sección del haz que contiene el punto dado.

Su unidad es el watio por metro cuadrado y estereorradián ($\text{w} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$).

La **luminancia** (L_v). Su definición es análoga a la anterior, sin más que cambiar el flujo radiante por el flujo luminoso.

$$L_v = \frac{\phi_v}{A \cdot \cos \varphi}$$

Por tanto, la **luminancia** es el cociente entre la intensidad luminosa en la dirección considerada y el área de la proyec-

ción ortogonal del elemento de superficie sobre el plano perpendicular a la dirección considerada. Figura 6.11.

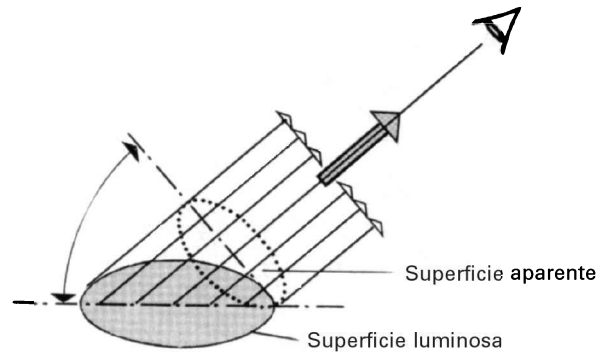


Figura 6.11. Luminancia directa de una superficie luminosa.

Su unidad es la candela por metro cuadrado ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$).

La luminancia puede ser **directa** o **indirecta**.

La luminancia directa (Figura 6.11) corresponde a los mantiales luminosos, mientras que la luminancia indirecta (Figura 6.12) se refiere a los objetos iluminados.

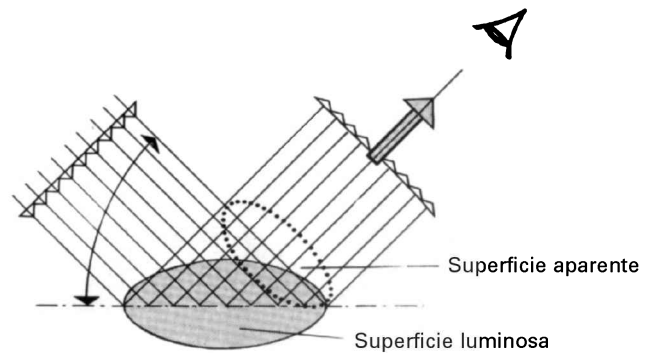


Figura 6.12. Luminancia indirecta de una superficie iluminada.

La Tabla 6.3. indica algunos valores de luminancias.

Tabla 6.3. Algunos valores de luminancias

Sol	150.000
Cielo despejado	3,0 a 0,5
Cielo cubierto	0,03 a 0,1
Luna	0,25
Llama de una vela de cera	0,7
Lámpara incandescente clara	100 a 200
Lámpara incandescente mate	5 a 50
Lámpara incandescente opal	1 a 5
Lámpara fluorescente	0,75
Lámpara de mercurio	11
Lámpara de halogenuros	78
Lámpara sodio alta presión	500
Lámpara baja presión	10
Lámpara de xenón	72.000
Papel blanco	250
Calzada de una calle sin iluminar	2

6.1.2.6.1. Rendimiento luminoso

El rendimiento luminoso, conocido también como eficacia luminosa, indica el flujo emitido por una fuente de luz por unidad de potencia eléctrica consumida.

Se expresa mediante la fórmula:

$$\varepsilon = \frac{\phi}{P}$$

y su unidad es el lumen por vatio (lm/w).

La Tabla 6.4 representa rendimientos luminosos de algunas lámparas.

Tabla 6.4. Rendimientos luminosos de algunas lámparas

Incandescencia de 40 W	40	11
Fluorescencia de 36 W	36	80
Mercurio alta presión	400	58
Halogenuros metálicos	400	78
Sodio alta presión	400	120
Sodio de baja presión	180	175

6.1.2.7. Resumen de magnitudes radiométricas y fotométricas

En todo proyecto de luminotecnia es preciso conocer y manejar correctamente las cinco magnitudes siguientes:

- Flujo luminoso \Rightarrow Lumen
- Intensidad luminosa \Rightarrow Candela
- Iluminancia \Rightarrow $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
- Rendimiento luminoso \Rightarrow lm/w

Se sabe que el ojo humano sólo es capaz de apreciar luminancias, es decir, la luz reflejada por una superficie o la emitida por una fuente externa.

Por ello, no es posible realizar una medida de **iluminancia** con el ojo si no se pone, por ejemplo, un papel blanco en el haz luminoso para convertir la iluminancia en luminancia.

Los cálculos y medidas a realizar en una instalación de alumbrado se realizan, normalmente, en **iluminancias** para que, posteriormente, la calidad de ese alumbrado sea juzgada por el ojo en **luminancias**.

6.1.3. Leyes fundamentales de la fotometría

Para realizar los cálculos de las instalaciones de alumbrado se ha de partir de los datos proporcionados por las magnitudes fotométricas, relativas a las fuentes de luz y las luminarias a utilizar.

De esta forma, se obtienen unos niveles luminosos o distribuciones de iluminancias deseadas.

6.1.3.1. Ley de inversa del cuadrado de la distancia

Considerando una fuente luminosa puntual, con una intensidad I , que emite bajo una dirección determinada del espacio, según la Figura 6.13.

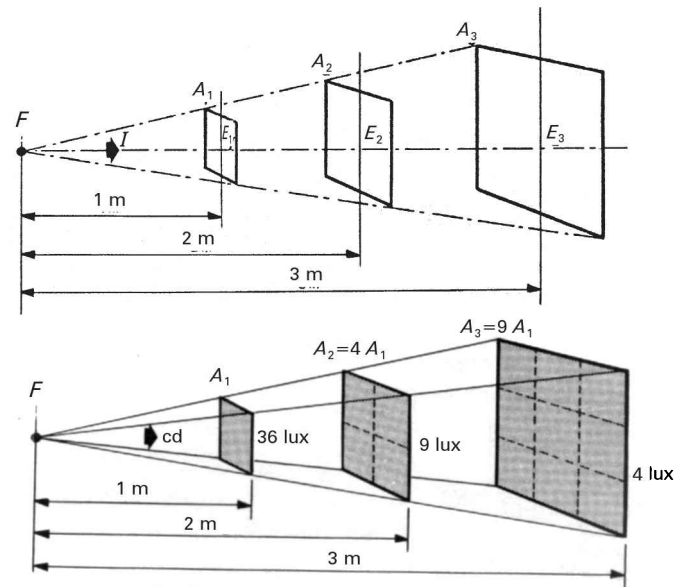


Figura 6.13. Ley inversa del cuadrado de la distancia.

Si en esa dirección se sitúa una superficie cualquiera, perpendicular a ella, siendo d la distancia que separa la superficie de la fuente y Ω el ángulo sólido subtendido por la superficie de área S , siendo

$$\Omega = A/d^2$$

el flujo emitido por la fuente dentro del ángulo sólido será $\phi = I \cdot \Omega$, por lo que para calcular la iluminancia E_1 producida sobre la superficie, basta dividir el flujo recibido entre el área.

$$E_N = \frac{I}{h^2}$$

Si se considera otra superficie que esté situada a una distancia $2d$ de la fuente y bajo el mismo ángulo sólido, el flujo luminoso sigue siendo el mismo, pero la superficie es cuatro veces mayor, por lo que la iluminancia (E) será en este caso:

$$E_2 = \frac{I}{4d^2}$$

Para una tercera superficie situada a una distancia $3d$ de la fuente, el mismo flujo es repartido ahora en una superficie nueve veces mayor y, siguiendo el mismo razonamiento, la iluminancia E será:

$$E_3 = \frac{I}{9d^2}$$

Se puede, por tanto, enunciar la ley de la inversa del cuadrado de la distancia, de la siguiente forma:

«La iluminancia en un punto de una superficie, es directamente proporcional a la intensidad luminosa de la fuente, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa la fuente de la superficie».

6.1.3.2. Ley del coseno del ángulo de incidencia

En la anterior Ley, la superficie estaba situada perpendicularmente a la dirección de los rayos luminosos. Cuando la superficie no es perpendicular a dicha dirección, se forma el ángulo α como resultado del que forma la normal a la superficie con la dirección de propagación, siendo el área aparente:

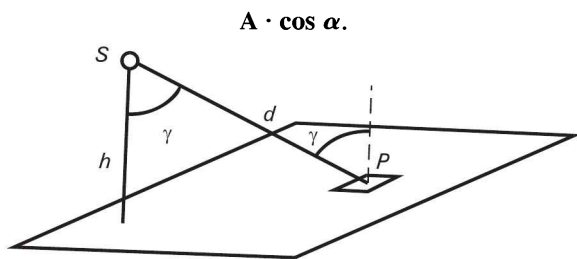


Figura 6.14. Ley del coseno.

La iluminancia recibida, en este caso, por la superficie inclinada, situada a una distancia d es:

$$E_{\alpha} = \frac{I}{d^2} \cdot \cos \alpha$$

Esta ecuación expresa la **ley del coseno**, que dice:

«La iluminancia es directamente proporcional al coseno del ángulo de incidencia».

Si se denomina E la iluminancia sobre un plano normal a la dirección de propagación de la luz, la iluminancia sobre un plano inclinado será:

$$E_{\alpha} = E_0 \cdot \cos \alpha$$

siendo $E_0 = I/d^2$, por lo que la expresión anterior representa la ley de la inversa del cuadrado de la distancia en su modo más general.

6.1.3.3. Ley del coseno cubo

A veces no se conoce la distancia d , sino la altura h de la fuente de luz sobre el plano de iluminar.

Si α es el ángulo formado por la altura h y la distancia d , se tiene que:

$$h = d \cdot \cos \alpha$$

Sustituyendo d en la ecuación general de la ley de la inversa del cuadrado de la distancia, se obtiene:

$$E_v = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha$$

que dice:

«La iluminancia es directamente proporcional a la intensidad luminosa en la dirección considerada y al cubo del coseno del ángulo que forma el rayo incidente con la vertical, e inversamente proporcional al cuadrado de la altura de la fuente de luz sobre el plano horizontal».

6.1.3.4. Iluminancias, normal, horizontal y vertical

Consideremos la Figura 6.15, en que un manantial luminoso F ilumina tres planos situados en posiciones normal, horizontal y vertical respecto al mismo.

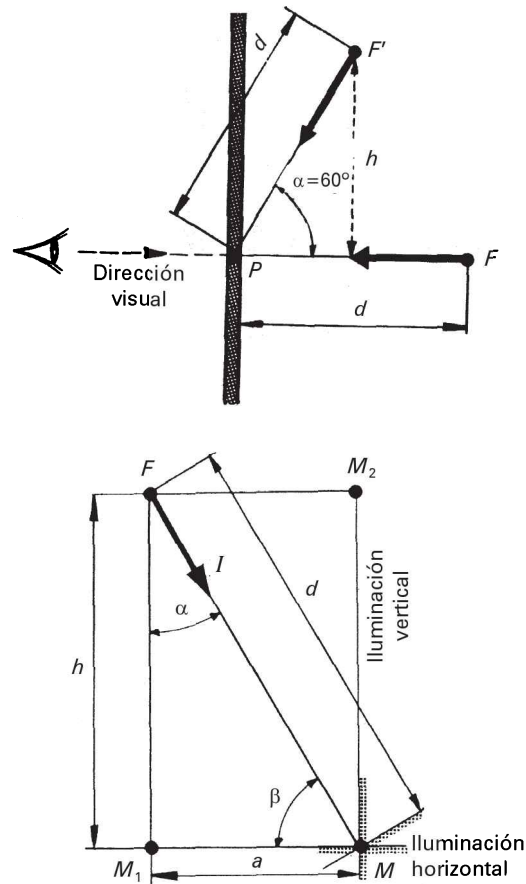


Figura 6.15. Iluminación normal, horizontal y vertical.

La iluminancia será:

- E_N = Iluminancia normal.
- E_H = Iluminancia horizontal.
- E_V = Iluminancia vertical.

● Iluminancia normal E

De la ley de la inversa del cuadrado de la distancia se deduce que:

$$E_N = \frac{I_{\alpha}}{d^2}$$

donde:

I = Intensidad luminosa bajo el ángulo.

Solamente se considera la iluminancia normal de un punto en los dos casos siguientes:

- Cuando se encuentre situado el punto en la vertical del manantial luminoso, sobre el plano horizontal.

$$E_N = \frac{I}{h^2}$$

- Cuando esté situado en la línea recta con el manantial sobre un plano vertical.

$$E_N = \frac{I}{a^2}$$

● Iluminancia horizontal E_H

De la ley del coseno se obtiene:

$$E_H = \frac{I_\alpha}{d^2} \cdot \cos^3 \alpha$$

en función de la altura h

$$E_H = \frac{I_\alpha}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha$$

● Iluminancia vertical E_V

Partiendo igualmente de la ley del coseno, se obtiene:

$$E_V = \frac{I_\alpha}{h^2} \cdot \sen \alpha \cdot \cos^2 \alpha$$

en función de la altura h .

Si se expresa en función de la distancia horizontal a , se obtiene:

$$E_V = \frac{I_\alpha}{a^2} \cdot \sen^3 \alpha$$

6.1.4. Propiedades ópticas de los materiales

En cualquier instalación de alumbrado, existen superficies que modifican la propagación de los rayos luminosos, y que pueden estar relacionadas con la dirección de propagación o con la composición espectral.

Dado que la radiación se propaga en un medio óptico, que posee un determinado índice de refracción, al llegar a la superficie de separación de otro medio, una parte de la radiación se refleja volviendo del primer medio, otra atraviesa dicha superficie y se transmite a través del segundo medio, y por último, una tercera parte es absorbida en el segundo medio, para transformarse, generalmente, en otro tipo de energía.

Teniendo presente el principio de conservación de la energía, se verifica que la suma de la radiación reflejada, transmitida y absorbida ha de ser igual a la radiación incidente.

Este proceso queda reflejado en la Figura 6.16.

I = Radiación incidente.

R = Radiación reflejada.

A = Radiación absorbida.

T = Radiación transmitida.

S = Superficie.

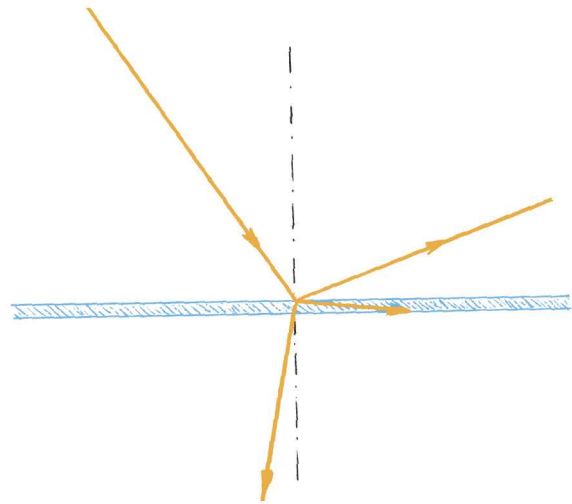


Figura 6.16.

6.1.4.1. Transmisión

La transmisión es definida por el vocabulario internacional de iluminación como: «El paso de la radiación a través de un medio, sin cambiar la frecuencia de sus componentes monocromáticos».

Si un rayo luminoso incide, bajo un cierto ángulo, sobre la superficie de separación de dos medios que poseen diferentes índices de refracción, aquél sufre una refracción, Figura 6.17,

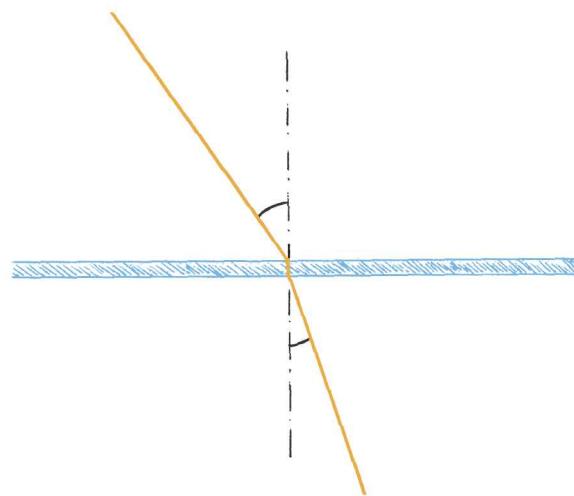


Figura 6.17.

que da como resultado un acercamiento a la normal de la superficie si el segundo medio tiene un índice de refracción mayor, y alejándose de la normal si el índice es menor.

La Ley de refracción establece que:

«Entre el ángulo de incidencia α_i y el de refracción α_r , existe la relación

$$n_1 \cdot \text{sen } \alpha_i = n_2 \cdot \text{sen } \alpha_r$$

siendo n_1 y n_2 los índices de refracción de ambos medios».

Tanto el rayo incidente, como la normal y el rayo refractado, están en un mismo plano.

Tipos de transmisión

Dependiendo de la constitución de los cuerpos, se distinguen los siguientes tipos de transmisión:

- **Transmisión dirigida**

Se produce en los cuerpos transparentes, como el vidrio claro. Figura 6.18.

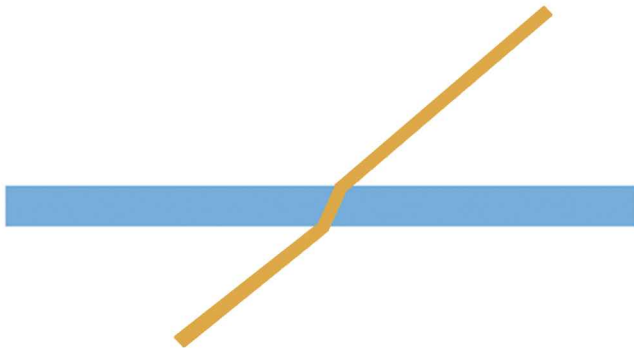


Figura 6.18.

- **Transmisión difusa**

En el caso de cuerpos translúcidos muy densos, como el vidrio opal, se origina este tipo de transmisiones. Figura 6.19.

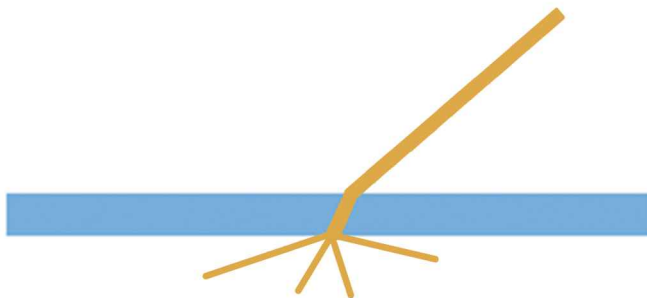


Figura 6.19.

Este tipo de transmisión evita el deslumbramiento, por ser todos los rayos refractados de la misma intensidad.

- **Transmisión semidirigida**

Tiene lugar en los cuerpos menos transparentes, como es el caso del vidrio mateado.

- **Transmisión semidifusa**

Se produce en los cuerpos translúcidos menos densos, como es el caso del vidrio ligeramente opalizado.

6.1.4.2. Reflexión

Se define como:

«El proceso por el cual la radiación es devuelta por una superficie o por un medio, sin cambiar la frecuencia de sus componentes monocromáticos».

- **Tipos de reflexión**

Al igual que en la transmisión, se distinguen los siguientes tipos de reflexión:

- **Reflexión regular o especular**

Este tipo de reflexión obedece a las dos leyes de la óptica geométrica.

La primera indica que el ángulo de incidencia es igual al de reflexión.

La segunda ley establece que, tanto el rayo incidente, como la normal y el rayo reflejado, están en un mismo plano.

Este tipo de reflexión se produce en superficies brillantes o muy pulidas, como espejos, vidrio negro, metales, etc.

- **Reflexión difusa**

En esta reflexión se produce difusión de la radiación, por lo que a un rayo incidente le corresponden infinitos rayos reflejados en múltiples direcciones.

La reflexión difusa se produce en superficies mates o rugosas, como papel, yeso, tela, pintura, etc.

- **Reflexión mixta**

Es la que se comporta como parcialmente especular y parcialmente difusa.

La mayoría de las superficies presentan este tipo de reflexión y, generalmente, se da en aquellas superficies rugosas y brillantes, o blancas y esmaltadas.

6.1.4.3. Absorción

Se entiende por absorción el proceso mediante el cual la energía radiante es transformada en otra forma diferente de energía, al interactuar con la materia.

Según el principio de conservación de la energía, la **suma** de la **reflexión**, **transmisión** y **absorción** de un medio cualquiera debe ser igual a la unidad:

$$\rho + \tau + \alpha = 1$$

siendo ρ , τ , α los coeficientes de reflexión, transmisión y absorción, las cuales se definen como:

$$\rho = \frac{\phi_\rho}{\phi_i} \quad t = \frac{\phi_\tau}{\phi_i} \quad a = \frac{\phi_\alpha}{\phi_i}$$

donde:

- ϕ_i = Flujo luminoso incidente.
- ϕ_ρ = Flujo luminoso reflejado.
- ϕ_τ = Flujo luminoso transmitido.
- ϕ_α = Flujo luminoso absorbido.

Los **cuerpos opacos** no transmiten nada de radiación, por lo que la ecuación anterior queda de la siguiente forma:

$$\rho + \alpha = 1$$

6.1.4.4. Brillo

El brillo se define como «El modo de apariencia en el cual los reflejos luminosos de objetos se perciben como superpuestos a la superficie, debido a sus propiedades selectivas direccionales».

Esta característica depende del acabado superficial que presente la superficie, y, por regla general, aquellas superficies muy pulidas presentan mucho brillo.

El elemento utilizado para medir el brillo es un vidrio negro, perfectamente pulido.

6.1.4.5. Color

En los proyectos e instalaciones de alumbrado, la luz es la gran protagonista; pero no olvidemos que la luz presenta colores, y son éstos los que ven nuestros ojos, a fin de que podamos evaluar la calidad del sistema de alumbrado.

Los estímulos que la luz produce en la retina originan unas reacciones en el sistema nervioso, las cuales se transmiten al cerebro, a través del nervio óptico, y dan lugar a un conjunto de sensaciones cromáticas (colores), lo que permite afirmar que el color es una interpretación psicológica del espectro electromagnético visible (380 a 780 nm).

6.1.4.6. Composición espectral de la luz

La luz blanca se considera formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas de distintas longitudes de onda, dentro de la zona visible del espectro, la cual contiene todos los colores del arco iris, como se puede apreciar en la Figura 6.20.

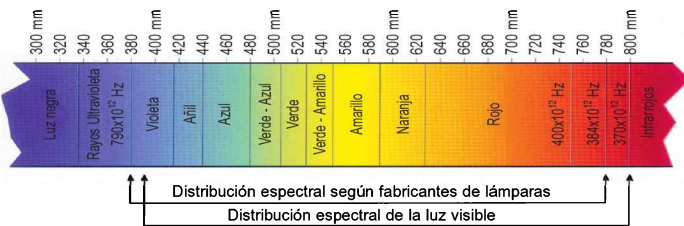


Figura 6.20. Diferentes colores del espectro visible.

6.1.4.7. Color de los cuerpos

Los cuerpos poseen determinadas propiedades de reflejar, transmitir o absorber los colores de la luz que incide sobre ellos.

Por tanto, cuando decimos que un cuerpo presenta un color determinado, es falso, ya que el color, como tal, no existe ni se produce en ellos.

La impresión de color que nos da un cuerpo depende de la composición espectral de la luz que recibe y de las propiedades de reflexión, absorción y transmisión que posea.

De esta forma, si un cuerpo tiene la propiedad de reflejar todos los colores comprendidos en el espectro visible y se ilumina con la luz blanca, aquél aparecerá de color blanco.

Igualmente, si se ilumina con luz monocromática, el cuerpo reflejará dicho color, por lo que se verá de color amarillo.

Por el contrario, si en vez de poseer la propiedad de reflejar todos los colores, posee la de absorberlos, el cuerpo aparecerá de color negro, se ilumine con la luz que sea.

6.1.4.8. Diagrama cromático

Todos los colores comprendidos en el espectro visible pueden representarse, matemáticamente, en un diagrama de colores aprobado por la comisión internacional de alumbrado.

Este diagrama se encuentra ordenado con relación a tres coordenadas cromáticas X, Y, Z, que verifican para cada color:

$$X + Y + Z = 1$$

En la zona intermedia, se encuentra el **punto blanco**, en el cual los valores de X, Y, Z son iguales a 0,333 cada uno.

6.1.4.9. Temperatura de color (Tc)

La definición que da el Vocabulario Internacional de Iluminación para la temperatura de color es:

«La temperatura de un radiador completo, cuya radiación tiene la misma cromaticidad que el estímulo dado».

En otras palabras, la temperatura de color cumple la conocida ley de Planck de la radiación térmica, que establece que la radiación emitida es función de la temperatura absoluta y de la longitud de onda.

La temperatura de color se expresa en Kelvin sin anteponer la palabra grados.

Las lámparas de incandescencia con filamento de wolframio emiten casi igual que un radiador completo, con una pequeña diferencia de 50 K más alta que la temperatura del radiador.

Así, por ejemplo, si el filamento de una lámpara está a 2.950 K, su temperatura de color es 3.000 K.

6.1.4.10. Reproducción cromática

En todos los catálogos de fabricantes de lámparas, se encuentra la frase de reproducción cromática, cuyo significado es importante conocer para un buen aprovechamiento de los sistemas de alumbrado.

Se sabe que el color de una muestra cambia si se cambia la fuente de luz que lo ilumina, de tal forma que, si el cambio de color es pequeño, se dice que la segunda fuente tiene un buen índice de rendimiento en color, y por el contrario, si el cambio es grande, el índice de rendimiento en color es malo.

Para poder distinguir entre índice bueno e índice malo, la C.I.E. asignó el número 100 a índice muy bueno y 0 a índice muy malo.

NORMA EN 12464-1 y Guía Técnica de Seguridad y Salud en el Trabajo (R.D. 485/1997):

ILUMINACIÓN DE PUESTOS DE TRABAJO EN EL INTERIOR

Ref. n.º tipo de interior, tarea o actividad

1. ZONAS DE TRÁFICO Y ÁREAS GENERALES	
1.1. Zonas de tráfico (pasillos, escaleras rampas...)	40
1.2. Áreas de descanso, higiene y primeros auxilios excepto:	80
1.2.6. Salas de atención médica	90
1.3. Zonas de control excepto:	80
1.3.1. Salas técnicas, salas de control	60
1.4. Almacenes, almacenes frigoríficos	60
1.5. Áreas de almacenamiento en estanterías	< 80
2. ACTIVIDADES INDUSTRIALES Y ARTESANAS	
2.1. Agricultura excepto:	80
2.1.2. Edificios para el ganado	40
2.2. Panaderías	80
2.3. Cemento, hormigón y ladrillos excepto:	80
2.3.2. Preparación de materiales, trabajo en hornos y mezcladores	40
2.3.1. Secado	20
2.4. Cerámica, azulejos, cristal y cristalerías excepto:	80
2.4.1. Secado	20
2.4.6. Trabajos de precisión, p. ej.: pulverización decorativa, pintado a mano	90
2.4.7. Manufactura de piedras preciosas sintéticas	90
2.5. Industria química, plásticos y caucho excepto:	80
2.5.1. Instalaciones con control remoto	20
2.5.2. Instalaciones con intervención manual limitada	40
2.5.7. Inspección de colores	90
2.6. Industria eléctrica	80
2.7. Industria alimenticia excepto:	80
2.7.1. Inspección de colores	90
2.8. Fundiciones de metales excepto:	80
2.8.1. Túneles tamaño hombre, sótano, etc.	20
2.8.2. Plataformas	40
2.9. Peluquerías	90

2.10. Joyerías y relojes excepto:	80
2.10.1. Tallado de piedras preciosas	90
2.10.2. Producción de joyería	90
2.11. Limpieza en seco	80
2.12. Ante, cuero y piel excepto:	80
2.12.1. Curtido en tinas o barriles	40
2.12.4. Clasificación	90
2.12.7. Inspección de colores	90
2.13. Metalurgia excepto:	60
2.13.11. Ensamblaje basto, medio, fino y de precisión	80
2.13.12. Galvanizado	80
2.13.13. Preparación de superficies y pintura	80
2.13.14. Mecánica, mecánica de precisión, micromecánica	80
2.14. Industria papelera	80
2.15. Centrales de energía excepto:	< 80
2.15.3. Salas de máquinas	80
2.15.5. Salas de control	80
2.16. Imprentas excepto:	80
2.16.3. Inspección del color en impresión multicolor	90
2.17. Trabajos con hierro y aceros. Laminación excepto:	< 50
2.17.3. Plantas de producción con trabajos manuales continuos	80
2.17.7. Control de plataformas; control de paneles	80
2.17.8. Pruebas, medidas e inspección	80
2.18. Industria textil excepto:	80
2.18.1. Lavaderos, apertura de balas	60
2.18.6. Diseño manual, dibujo de modelos	90
2.18.8. Secado	60
2.18.11. Inspección del color; control de fabricación	90
2.18.12. Zurcido	90
2.19. Fabricación de vehículos excepto:	80
2.19.3. Pintura: realización, inspección	90
2.20. Industria de la madera excepto:	80
2.20.1. Procesos automáticos, p. ej.: secado, contrachapado	40
2.20.2. Fosos de vapor	40
2.20.7. Selección de chapas de madera	90
2.20.8. Marquetería, trabajos de incrustación	90
2.20.9. Control de calidad, inspección	90
3. OFICINAS	80
4. COMERCIO AL POR MENOR	80
5. LUGARES DE PÚBLICA CONCURRENCIA	
5.1. Áreas generales de lugares públicos	80
5.2. Restaurantes y hoteles	80
5.3. Cines, teatros, auditorios	80
5.4. Ferias, exhibiciones	80
5.5. Museos	según requisitos (80 o 90)
5.6. Librerías	80
5.7. Aparcamientos públicos excepto:	20
5.7.1. Oficina de tiques y control	80
6. ÁREA EDUCATIVA	
6.1. Guarderías, preescolar	80
6.2. Centros educativos excepto:	80
6.2.1. Aulas de arte en escuelas de arte	90
7. SANIDAD	

7.1. Estancias sanitarias de uso general	80
7.2. Cuartos y oficinas del personal	80
7.3. Salas y salas de maternidad excepto:	80
7.3.1. Examen y tratamiento	90
7.4. Reconocimiento y tratamiento	90
7.5. Oftalmología	90
excepto:	
7.5.1. Iluminación general	80
7.7. Escáner	80
7.8. Sala de partos	80
7.9. Salas de tratamiento	80
excepto:	
7.9.1. Dermatología	90
7.10. Quirófanos	90
7.11. Unidad de cuidados intensivos	90
7.12. Odontología	90
7.13. Laboratorios y farmacias	80
excepto:	
7.13.1. Inspección del color	90
7.14. Salas de descontaminación	80
7.15. Salas de autopsias, salas mortuorias	90
8. TRANSPORTE	
8.1. Aeropuertos	80
8.2. Ferrocarriles	80
excepto:	
8.2.1. Plataformas cubiertas y pasos inferiores	40
8.2.2. Vestíbulo de taquillas y espacios de confluencia	40
Lámparas fluorescentes y compactas con reproducción cromática:	
Muy buena: Ra 80 - 89	
Excelente: Ra 90 - 100	
Lámparas de descarga A.P. de halogenuros metálicos con reproducción cromática:	
Muy buena: Ra 80 - 89	
Excelente: Ra 90 - 100	

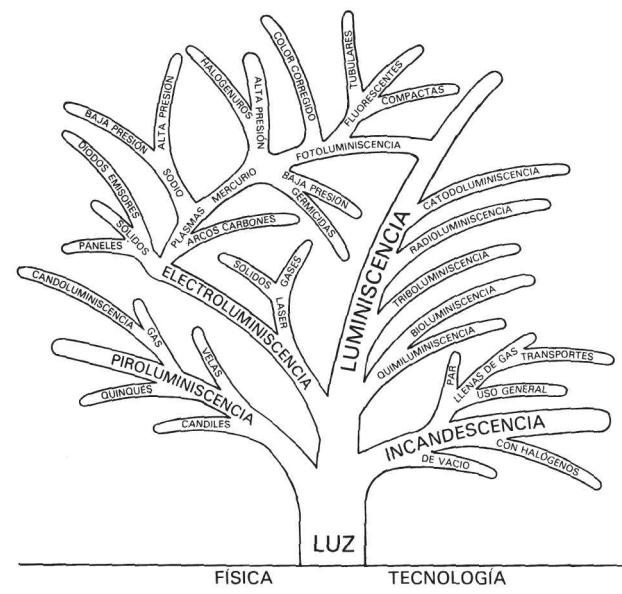


Figura 6.21. Árbol de la luz (por cortesía del Dr. Antonio de la Cruz).

En este árbol se han representado por ramas los distintos procesos productores de luz y en muchas de ellas aparecen como frutos las lámparas, que son en realidad los manantiales construidos por el hombre con el fin de producir luz.

El tronco del árbol es la luz, que puede producirse por tres procesos generales distintos: la piroluminiscencia, la incandescencia y la luminiscencia; de ahí que del tronco salgan tres grandes ramas.

El terreno sobre el que crece el árbol es la Física, que estudia todos los fenómenos y procesos de producción de la luz. Después, mediante investigación de desarrollo y procesos tecnológicos se logra la fabricación de lámparas; por eso también se ha puesto en el terreno la Tecnología.

6.2 Fuentes de luz

El Sol es el único manantial luminoso natural primario de que dispone el hombre. Dado que la luz diurna no llegaba a todos los rincones de su hábitat, ni era posible disponer de ella a todas horas, el hombre se vio obligado a ir inventando a lo largo de los años diversos aparatos para producir luz artificialmente.

La luz artificial alumbró lo que se desea, y no hay limitación de horas. Se puede decir que con la luz natural no es posible hacer una iluminación que responda a las preguntas ¿dónde?, ¿cuándo? y ¿cómo?, mientras que con el alumbrado artificial sí.

6.2.1. Procesos productores de luz

La luz siempre se produce por una transformación de algún tipo de energía en energía radiante, mediante un proceso que recibe distintos nombres según cuál sea la energía inicial.

Para hacer un estudio sistemático de todos los tipos de fuentes de luz artificiales vamos a utilizar lo que podemos llamar «árbol de la luz».

6.2.2. Piroluminiscencia

Siguiendo en orden histórico, la primera rama es la piroluminiscencia.

La piroluminiscencia es la obtención de luz mediante la combustión de un material, generalmente un compuesto de carbono en el aire atmosférico.

Como ejemplos se pueden citar la antorcha, si el material es madera; el candil, si el material es aceite o grasa animal; el quinqué, si el material es petróleo, y la luz de gas, si lo que se quema es gas natural o de petróleo.

6.2.3. Incandescencia

En el proceso de incandescencia la luz se obtiene por agitación térmica de los átomos del material con que está hecho el filamento.

El filamento caliente se comporta como un radiador térmico, con una emisividad espectral próxima a la unidad. Como en todos los radiadores térmicos, la excitancia radiante espectral es función de la temperatura termodinámica que adquiere el filamento.

El elemento fundamental de una lámpara de incandescencia es el filamento, que se lleva a la incandescencia por el paso de una corriente eléctrica.

Como el filamento incandescente duraría muy poco tiempo si estuviera en contacto con el aire, es necesaria una ampolla de vidrio para aislarlo.

Los componentes principales de una lámpara de incandescencia son el filamento, el pie para soportarlo, la ampolla y el casquillo para conectarlo a la red eléctrica.

En la actualidad, los filamentos son de wolframio, metal de elevado punto de fusión (3.378 °C). Con el fin de aumentar la eficacia (lúmenes emitidos divididos por los vatios consumidos) los filamentos se hacen enrollados en espiral sencilla o en doble espiral.

La doble espiral tiene la ventaja de que aumenta la temperatura del filamento y por tanto la eficacia, pero tiene el inconveniente de que al fundirse se puede producir un arco con la correspondiente sobrecarga y cortocircuito en la instalación eléctrica. Para evitar esto se montan unos fusibles de protección en los conductores que van dentro del pie, que interrumpen la corriente nada más formarse el arco.

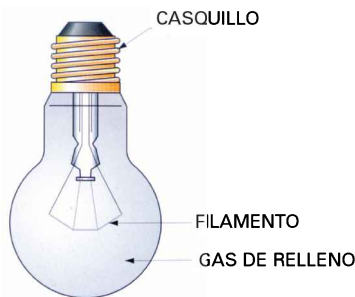


Figura 6.22. Lámpara de incandescencia.



Figura 6.23. Filamento de doble espiral (por cortesía de ADAE-Centro).

Respecto al gas de llenado de la ampolla, lo más corriente es utilizar una mezcla de argón (90%) y de nitrógeno (10%).

El papel que juega el gas de llenado es evitar la vaporización del filamento al aumentar la presión interior y simultáneamente evitar que el wolframio vaporizado se deposite sobre la pared interna de la ampolla gracias a las corrientes de convección dentro de ésta. Como el gas de llenado aumenta la transmisión de calor entre el filamento y las paredes de la ampolla, es necesario recurrir a la doble espiral en el filamento para reducir las pérdidas por convección.

Finalmente, el casquillo sirve, como hemos dicho, para la conexión eléctrica a la red y como fijación mecánica de la lámpara. Existen muchos modelos de casquillos, pero los más usuales son los de rosca Edison (E14, E27 y E40), los de bayoneta y los de espigas.

Entre las lámparas de incandescencia, merecen una mención especial por el desarrollo que han tenido en los últimos años las que llevan un reflector incorporado en la propia ampolla. Ya hace años existen las lámparas denominadas PAR (del inglés *Parabolic Aluminized Reflector*) que llevan un reflector parabólico de vidrio prensado que hace de ampolla.



Figura 6.24. Lámpara par.

Se fabrican de dos tipos: con haz concentrado (15°) y con haz extenso (35° a 80°).

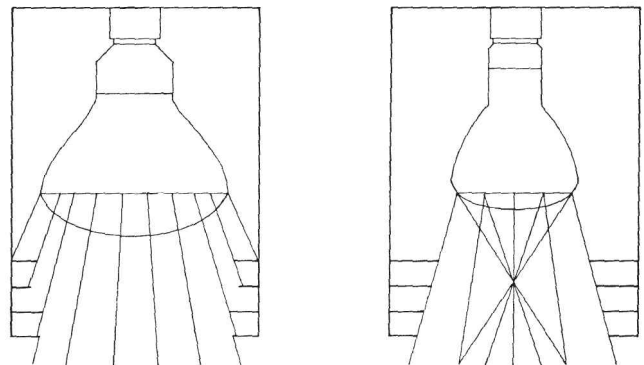


Figura 6.25. Distribución de la luz en una lámpara «PAR» y en una lámpara «ER».

6.2.3.1. Incandescencia con halógenos

Como es sabido, los halógenos son elementos químicos muy activos, que normalmente actúan como monovalentes, aunque también hay combinaciones de mayor valencia. Con el wolframio se forma un halogenuro de wolframio que a baja temperatura es estable, pero cuando la temperatura aumenta se disocia dejando libres los dos iones.

En las lámparas de incandescencia con halógenos se introduce un halógeno (generalmente yodo o bromo) en la ampolla con los gases nobles. Durante el funcionamiento de la lámpara los átomos de wolframio que se desprenden del filamento caliente reaccionan con los átomos del halógeno para formar el halogenuro. Este halogenuro es movido por las corrientes de convección no depositándose en la pared interna de

la ampolla, y al acercarse al filamento, la molécula de halógeno se disocia en halógeno y wolframio metálico, el cual se deposita sobre el propio filamento, mientras que el halógeno queda libre para repetir el proceso. Gracias a este ciclo del halógeno se evita que se ennegrezca la ampolla, y simultáneamente se va regenerando el filamento. La vida de una lámpara de incandescencia estándar es de 1.000 horas, mientras que la vida de una lámpara de incandescencia halógena llega a 2.000 horas y algunas a 4.000 horas.

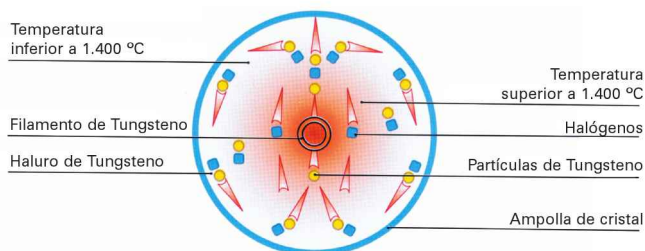


Figura 6.26. Ciclo de halógeno.

Para conseguir que el ciclo del halógeno funcione correctamente es necesario que la ampolla sea de menores dimensiones y de un material que soporte altas temperaturas, por lo que se hace de cuarzo. Gracias a estos condicionantes se ha logrado miniaturizar las ampollas, aumentar la eficacia, hasta 25 o 30 lm/W, aumentar la temperatura de color (3.300 K) y alargar la vida (2.000 h).

En los últimos años, las lámparas de incandescencia con halógenos que funcionan a baja tensión han revolucionado el mercado. Entre ellas se encuentran las denominadas H1, H2, H3 y H4 para el alumbrado del automóvil, para tensiones de 12 o 24 V.

Prácticamente, en la actualidad todos los proyectores de cine de película estrecha y los de diapositivas van equipados con lámparas de halógeno de baja tensión.

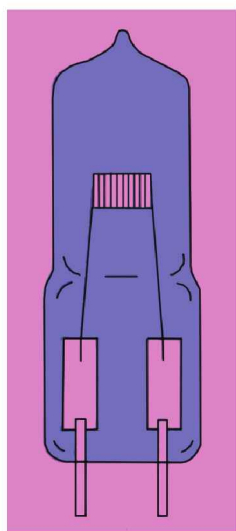


Figura 6.27. Lámpara de halógeno a baja tensión.

Algunas lámparas de reflector incorporado y tipo PAR llevan en lugar de filamento una pequeña ampolla con una lámpara de halógeno. Por ejemplo, una PAR de 90 W con halógeno es equivalente a una PAR de 150 W convencional, alcanzándose vidas de 3.500 horas.

Para alumbrados especiales se han construido lámparas de incandescencia con halógeno que llevan un reflector selectivo de forma parabólica con facetas. Este reflector deja pasar la radiación infrarroja y sólo refleja la visible, con lo cual se evita que se deterioren los artículos expuestos.

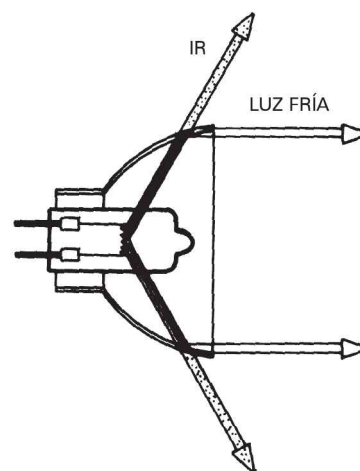


Figura 6.28. Reflector de luz fría.

Las lámparas de incandescencia con halógenos con reflector parabólico están desplazando a las lámparas PAR en muchas aplicaciones, fundamentalmente debido a su reducido tamaño. En general, los reflectores tienen un diámetro de 50 mm, aunque hay ya lámparas de 35 mm de diámetro.

6.2.4. Electroluminiscencia

6.2.4.1. Diodos emisores de luz

En los diodos emisores de luz, también conocidos por LED (del inglés *Light Emitting Diodes*), se produce la luz por electroluminiscencia cuando se aplica la tensión apropiada en corriente continua a un cristal que contiene una unión *p-n*.

Cuando en un cristal de un semiconductor, por ejemplo el silicio que tiene valencia 4, se introduce una impureza de un elemento pentavalente (P o As), quedan electrones libres y el cristal se hace conductor. A este cristal que tiene exceso de cargas negativas se lo llama *n*. Por el contrario, si la impureza es un elemento trivalente (Al, Bo, In) entonces hay un defecto de electrones y se dice que el cristal es rico en huecos o cargas positivas, denominándose cristal tipo *p*.

Cuando se aplica una tensión de modo que el material tipo *n* sea negativo y el tipo *p* sea positivo, los electrones y los huecos se ven forzados a encontrarse en la superficie de unión, en donde al combinarse se producen fotones luminosos.

En los diodos emisores de luz se utilizan cristales más complejos que los descritos anteriormente. Por ejemplo, para obtener luz amarilla se emplea la unión fosfoarseniuro de galio con fosfuro de galio; para los diodos de luz verde es un cristal de fosfuro de galio sobre fosfuro de galio *n* con ligera diferencia en sus componentes.

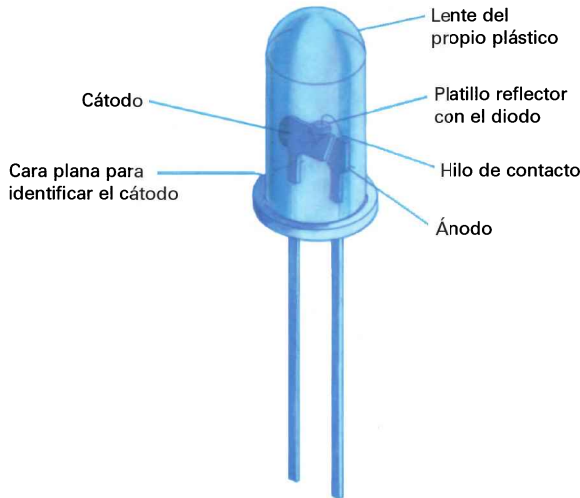


Figura 6.29. Diodo emisor de luz (LED).

Generalmente, los diodos emisores de luz funcionan con tensiones que van de 3 a 12 voltios en corriente continua y necesitan una resistencia para limitar la corriente que pasa por ellos.

6.2.4.2. Láser

Cuando un átomo pasa del estado excitado al estado normal emite al azar un fotón.

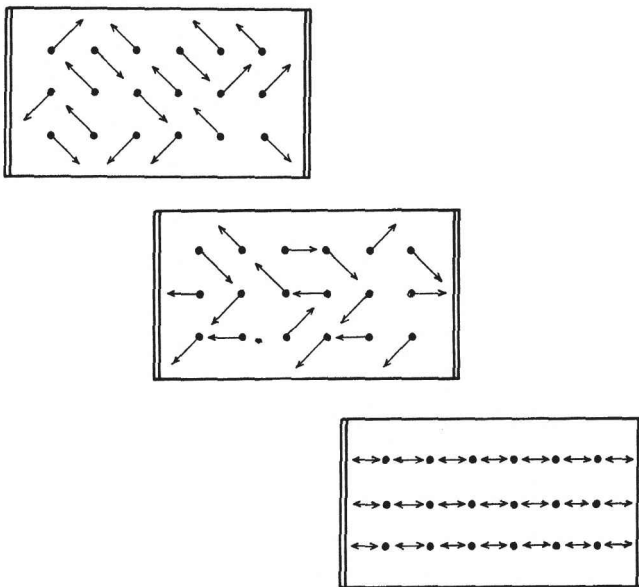


Figura 6.30. Bombeo óptico.

Esta forma de emisión se denomina espontánea.

Einstein demostró en 1917 que, si un fotón choca con un átomo excitado, entonces hay una emisión estimulada, que se caracteriza por que el fotón emitido tiene la misma dirección que el incidente y su fase es la misma que la de la onda asociada al fotón incidente.

El láser es un dispositivo en el que se logra intensificar un haz luminoso mediante la emisión estimulada de radiación. La palabra LÁSER se ha formado tomando las iniciales de la expresión inglesa *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*.

Desde el punto de vista óptico, la luz del láser tiene las características siguientes: muy alta intensidad, muy monocromática, perfectamente colimada y altamente coherente. La coherencia consiste en que todas las ondas están en fase respecto al tiempo y al espacio; por eso la luz del láser produce todos los fenómenos de interferencia.

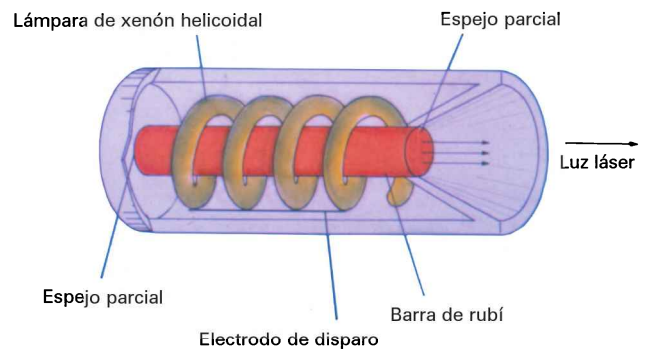


Figura 6.31. Láser de rubí.

Existen láseres de sólidos, por ejemplo los de rubí, que emiten una luz roja, de gases, por ejemplo de HeNe en que la luz es roja, de Ar que da varias líneas espectrales, de CO₂ con emisión en el rojo y en el infrarrojo.

6.2.4.3. Electroluminiscencia en gases

La materia se encuentra en la naturaleza, entendiendo por naturaleza la superficie terrestre, en tres estados: sólido, líquido y gaseoso. Si extendemos el concepto de naturaleza a todo el universo, entonces tenemos que añadir un cuarto estado de la materia que es el estado de plasma.



Figura 6.32. Estado plasma.

El estado plasma es parecido al estado gaseoso, con la única diferencia de que, en lugar de átomos, el plasma está formado por iones positivos y electrones. El plasma es el estado en que se encuentra la materia cuando la temperatura es muy elevada. Por ejemplo, en el Sol y en todas las estrellas, los elementos químicos se encuentran en estado de plasma. Cuando la temperatura llega a millones de grados, se puede lograr el plasma perfecto en el que sólo existen núcleos de átomos y electrones.

En el interior de todas las lámparas de descarga, cuando están funcionando, el gas o vapor se encuentra en estado de plasma incompleto, pues además de iones quedan átomos.

Al estar el plasma constituido por iones positivos y electrones es un buen conductor de la electricidad. La diferencia respecto a los metales es que al aumentar la intensidad de la corriente, debido a los choques, se forman cada vez más iones y electrones, de modo que cada es vez mejor conductor.

Para estudiar las lámparas que se basan en la descarga a través de un plasma, podemos considerar primero si el plasma está en contacto con la atmósfera (lámpara de arco) o si está encerrado en una ampolla. En este segundo caso se tiene en cuenta el elemento químico (mercurio, sodio o xenón) y también según sea la presión de vapor baja o alta.

6.2.4.4. Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

El elemento más esencial de estas lámparas es un pequeño tubo de cuarzo, generalmente llamado «quemador», que lleva en ambos extremos sendas parejas de electrodos, ambos de wolframio. El electrodo principal en forma de espiral va impregnado de un material emisor de electrones y el auxiliar es un hilo de wolframio conectado a través de una resistencia de alto valor (25 K Ω). Dentro del quemador hay unos miligramos de mercurio, exactamente dosificados, y gas argón para iniciar la descarga.

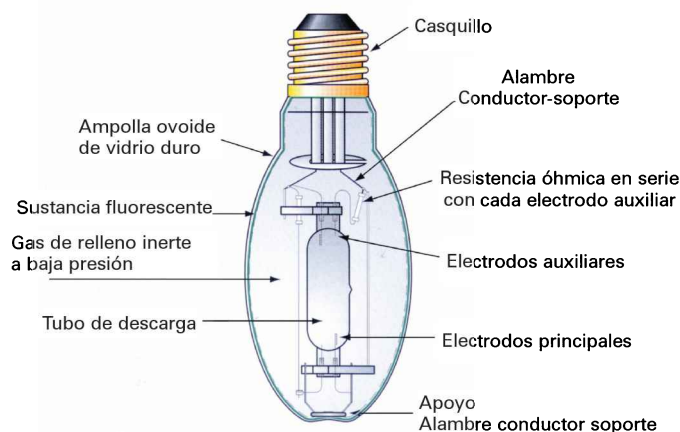


Figura 6.33. Lámpara de vapor de mercurio.

Cuando la lámpara está funcionando a régimen, el vapor de mercurio adquiere una alta presión (del orden de 5 atmósfe-

ras) y como consecuencia del espectro de emisión del mercurio cambia ligeramente, reduciéndose la intensidad de la línea de resonancia de 253,7 nm. Las líneas azules, verdes y amarillas siguen emitiéndose, dando a la luz de la lámpara un color verdoso.

El tubo de descarga alcanza temperaturas bastante altas (del orden de 750 °C); por eso se hace de cuarzo, y para protegerlo y aislarlo térmicamente se envuelve con una ampolla de vidrio de forma oval. La ampolla va llena de un gas inerte para evitar la oxidación de los conductores y se recubre interiormente con un luminóforo que emite fundamentalmente en la zona roja del espectro.

Las lámparas de mercurio de color corregido tienen un periodo de arranque que dura unos 5 o 6 minutos, en el cual las características eléctricas varían mucho. Fundamentalmente la intensidad de la corriente sufre una subida inicial de hasta un 150% de su valor en régimen, lo cual es interesante conocer para el cálculo de las líneas de alimentación.

Cuando se apaga la lámpara es necesario dejarla enfriar cierto tiempo, para que la presión del vapor de mercurio descienda al valor apropiado para el encendido. Este inconveniente de no tener un reencendido inmediato es común a otros tipos de lámparas de descarga.

6.2.4.5. Lámparas de halogenuros metálicos

Estas lámparas son básicamente lámparas de vapor de mercurio a alta presión a las que se les han añadido otros metales en forma de ioduros, que modifican sensiblemente el espectro de emisión, mejorando la eficacia luminosa y el rendimiento en color. Inicialmente se añadían ioduros de sodio, indio y talio, a los que últimamente se han sumado halogenuros de torio, escandio, disprosio y estaño.

Como derivadas de las lámparas de mercurio de alta presión, su constitución es muy similar a la de éstas.

El tubo de descarga es también de cuarzo y dentro, además del mercurio, lleva los aditivos correspondientes en forma de halogenuros. El motivo de utilizar halogenuros se halla en que estos compuestos se disocian al elevarse la temperatura, y el propio halógeno se encarga de evitar que se depositen sobre las paredes del tubo de cuarzo los átomos de los metales añadidos, que lo atacarían.

La ampolla exterior es de vidrio duro y, como los espectros de emisión son ricos en todas las radiaciones, no es necesario que vaya recubierta de luminóforo. Generalmente, las ampollas son de forma cilíndrica, aunque también se construyen de forma ovoide, con un recubrimiento interior fotoluminiscente, para sustituir a las lámparas de mercurio convencionales en las luminarias de alumbrado vial.

Las lámparas de halogenuros metálicos de gran potencia, debido a un alto rendimiento en color y elevado flujo luminoso, se utilizan mucho para el alumbrado de instalaciones deportivas, cuando se desea transmitir el espectáculo por televisión en color.

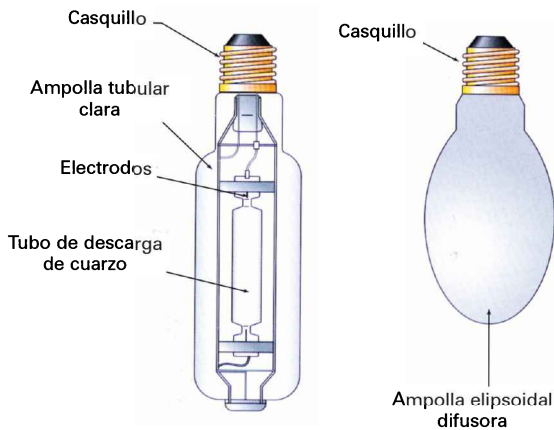


Figura 6.34. Lámpara de halogenuros metálicos.

Como novedades de 1984 se puede citar la lámpara de baja potencia, de 70 W, de dos casquillos, que puede utilizarse en el alumbrado de interiores. Tiene una eficacia de 67 a 80 lm/W según el color, con un flujo de 5.000 lm y una temperatura de color de 3.000 a 3.800 K. La vida es de unas 6.000 horas y el rendimiento en color $Ra = 80$.

6.2.5. Fotoluminiscencia

6.2.5.1. Lámparas fluorescentes tubulares

En 1937 se logró construir la primera lámpara fluorescente de luz blanca a base de dos wolframatos de calcio y un silicato de calcio.

En el desarrollo de las lámparas fluorescentes se pueden distinguir dos etapas: de 1940 a 1978, en que los únicos cambios fueron las sustancias luminiscentes empleadas; y de 1978 a 1984, en que ha habido cambios de formas, diámetros y luminóforos.

Las lámparas fluorescentes normales están constituidas por un tubo de vidrio, antiguamente de 38 mm de diámetro y ahora

de 26 mm. La longitud del tubo varía según la potencia, aunque las longitudes más utilizadas son 590, 1.200 y 1.500 mm, que corresponden a 18, 36 y 58 W de potencia. En ambos extremos del tubo están situados los electrodos, constituidos por una doble espiral de wolframio, impregnada de óxido emisor de electrones. El tubo está recubierto interiormente de un luminóforo en polvo y contiene argón a baja presión y una gota de mercurio puro. Los extremos de cada electrodo se conectan al exterior a dos clavijas y otros contactos según el modelo de casquillos.

El equipo eléctrico necesario para que funcione una lámpara fluorescente está formado por un cebador y un balasto. El cebador va montado en paralelo con la lámpara uniendo dos terminales de distinto extremo del tubo. A los otros dos terminales se conecta la corriente de la red pasando por el balasto.

El funcionamiento durante el periodo de arranque es el siguiente. Al conectar la corriente en el cebador se produce un arco entre la laminilla y el electrodo que están en una atmósfera de neón. Esta descarga en el neón hace que se caliente la laminilla bimetálica, se deforme hasta llegar a tocar al electrodo y se cierre el circuito. Al cerrarse el circuito se ponen incandescentes los filamentos de los electrodos de la lámpara y se forma a su alrededor una nube de iones de Ar y Hg. Como el arco de neón del cebador se ha apagado, la laminilla se enfría y se abre el circuito. El balasto, que es una bobina de hilo de cobre sobre chapas magnéticas, actúa como reactancia limitadora de la corriente en el circuito.

La sustancia luminiscente que recubre el interior del tubo se excita con la radiación de 253,7 nm y emite luz en otras zonas del espectro visible.

Posiblemente, en el desarrollo de las lámparas fluorescentes puedan señalarse como más importantes dos fechas.

Una es 1948, en que se descubrieron los halofosfatos que no eran nocivos para la salud y que permitieron construir las llamadas lámparas de lujo con un alto rendimiento en color ($Ra = 85$), aunque su eficacia era algo inferior (45 lm/W) a la de las lámparas estándar (60 lm/W).

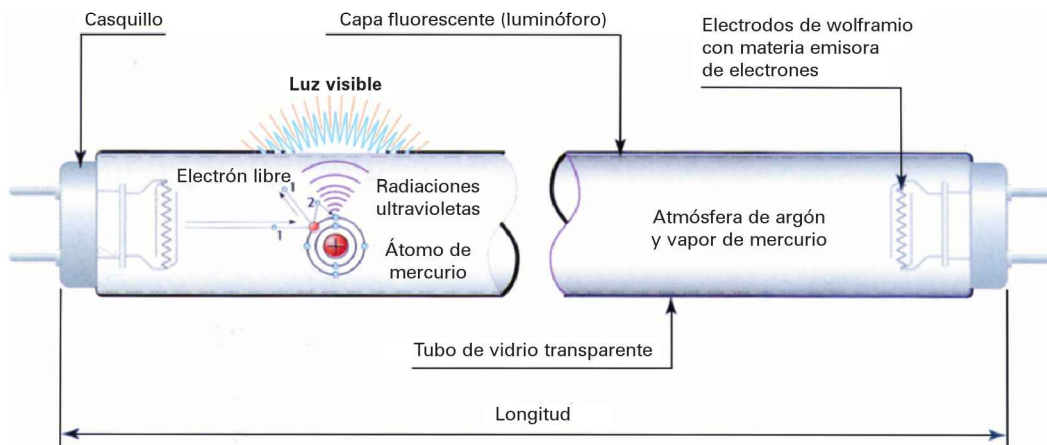


Figura 6.35. Lámpara fluorescente.

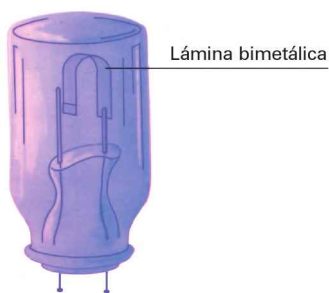


Figura 6.36. Cebador.

La otra fecha es 1973 con el desarrollo de los aluminatos de magnesio activados con tierras raras, que tienen una mayor resistencia a la radiación de 185 nm, que han permitido reducir el diámetro de los tubos. Aunque los aluminatos son más caros que los antiguos luminóforos, el cambio de diámetro ha reducido la superficie recubierta de luminóforo en un factor de 4, con lo cual se ha compensado la diferencia de precios.

También es interesante notar que el flujo luminoso de las lámparas fluorescentes depende de la temperatura exterior.

Para temperaturas por debajo de 0 °C el flujo luminoso puede llegar a ser el 10% del valor nominal. Por esto, no es recomendable el uso de lámparas fluorescentes en exteriores en lugares donde haya heladas nocturnas. Si se desea utilizar lámparas fluorescentes en sitios donde haya bajas temperaturas, es conveniente protegerlas con tubos de plástico transparente para facilitar su autocalentamiento.

Finalmente, otra característica muy importante es la influencia que tiene el número de encendidos en la vida.

Si la vida media se determina según una norma internacional para encendidos de tres horas, al pasar a un encendido cada 10 horas, la vida se prolonga un 40%. Por el contrario, si se hacen encendidos muy cortos, la vida puede reducirse a la mitad o la cuarta parte.

Las ventajas de la alimentación a alta frecuencia son las siguientes:

- Se reduce la potencia consumida por la lámpara (por ejemplo, de 58 W pasa a 55 W).
- Aumenta el flujo luminoso (de 5.400 lm se pasa a 6.000 lm, lo que representa un aumento del 11%).
- Se reducen las pérdidas en el balasto (de 12 W se baja a 7 W).
- Se elimina totalmente el parpadeo.
- Existe la posibilidad de reducir el flujo mediante un sencillo potenciómetro.
- La vida de la lámpara no es afectada por el número de encendidos.

6.2.5.2. Lámparas fluorescentes compactas

Estas lámparas han sido el fruto de una tenaz labor investigadora. Si se disminuye el diámetro interior del tubo, aumenta la intensidad de la corriente de descarga, y para ello hay que

aumentar el peso y el volumen del balasto. Al aumentar la corriente aumenta la eficacia, pero se reduce la vida de los luminóforos. El voltaje de trabajo de la lámpara es proporcional a la longitud del tubo, pero la tensión entre electrodos debe ser inferior a la mitad de la tensión de la red para poder utilizar balastos inductivos pequeños. A esto hay que añadir la mayor estabilidad de los silicatos de magnesio a las radiaciones ultravioletas.

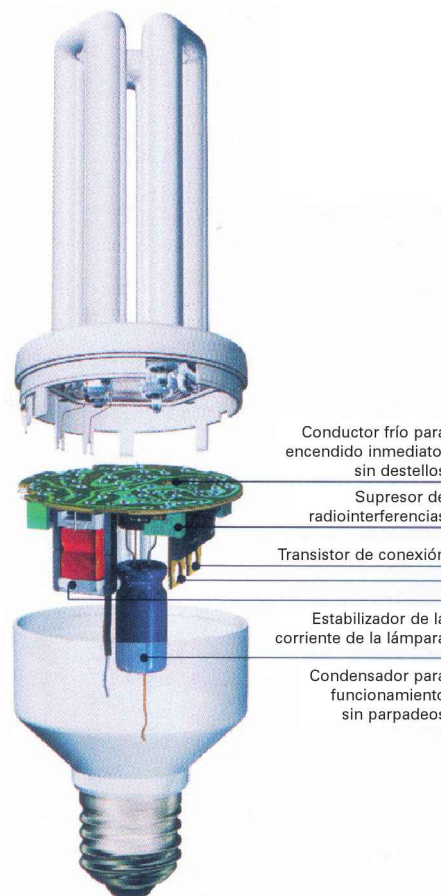


Figura 6.37. Lámparas fluorescentes compactas.

Las lámparas fluorescentes compactas se pueden agrupar en dos modelos: las compactas cilíndricas y las compactas de dos tubos paralelos.

Las cilíndricas están formadas por un tubo de vidrio de 10 mm de diámetro interior doblado en forma de U por dos veces. El tubo, el balasto y el cebador quedan encerrados en un cilindro de 72 mm de diámetro y una longitud que depende de la potencia. Para facilitar la sustitución de las lámparas de incandescencia por lámparas fluorescentes compactas, estas últimas van provistas de casquillos de rosca del mismo tamaño E-27.

Se fabrican en potencias de 7, 11, 15, 20 y 23 W y por su alta eficacia (del orden de 98 lm/W) pueden reemplazar a las lámparas incandescentes de cuatro veces su potencia. La ampolla exterior puede ser de ópalo prismatizada.

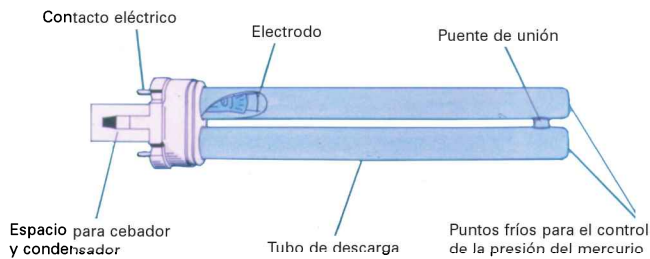


Figura 6.38. Lámpara fluorescente compacta tipo dos tubos.

Los principales inconvenientes son: el peso, ya que el balasto incorporado pesa bastante, y cuando se funden hay que cambiar la lámpara entera con cebador y balasto, cosa que no sucede con las fluorescentes tubulares.

En estas lámparas el balasto hay que montarlo en el circuito. El casquillo es de una forma especial conocida como G 23 y G 24, con dos contactos metálicos y un receptáculo intermedio en donde están alojados el cebador y el condensador. La presión del vapor de mercurio se regula gracias a los extremos de los tubos que quedan por encima de la unión en las lámparas de dos tubos o en las esquinas en las lámparas en U. Las potencias más usuales son 5, 7, 9, 11, 13, 18 y 26 W y sus eficacias oscilan entre 40 y 55 lm/W.

6.2.5.3. Lámparas de sodio de baja presión

Aunque las lámparas de sodio de baja presión son las que tienen mejor eficacia, su porvenir ha sido bastante incierto por la única razón de emitir una luz amarilla prácticamente monocromática. Como consecuencia de esta monocromaticidad, todos los colores se ven alterados y su rendimiento en color es nulo. Se sigue utilizando en el alumbrado de autopistas y carreteras en donde la identificación de los colores no es crítica, y además, como cada vehículo lleva su alumbrado de incandescencia, las señales de tráfico pueden identificarse.

El tubo de descarga es un tubo de vidrio doblado en forma de U con un electrodo en cada uno de los extremos. Cuando la lámpara está fría, pueden verse en el interior del tubo unas gotas de sodio metálico pegadas a las paredes.

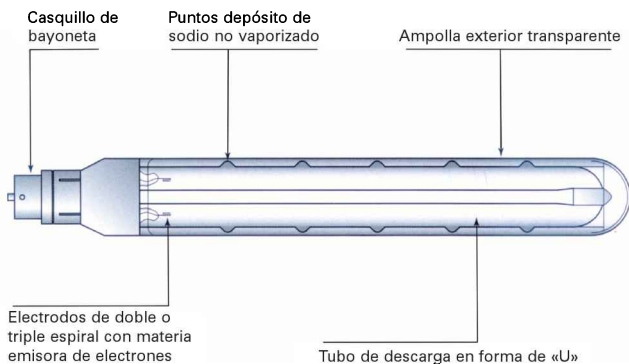


Figura 6.39. Lámpara de sodio de baja presión.

El gas para iniciar la descarga es una mezcla de argón y neón. Para que la distribución del sodio sea más uniforme, en el tubo se hacen unos pequeños salientes para que se deposite el sodio no vaporizado y actúen como puntos fríos para regular la presión del vapor. Los electrodos son una doble espiral de wolframio bañada con óxidos de alta emisión de electrones.

Para que el tubo de descarga no pierda calor se encierra en una ampolla cilíndrica y se hace un vacío muy elevado.

En el momento de conectar la lámpara se inicia la descarga a través del neón que contiene el tubo, dando una luz de color rojizo típica de este gas. A medida que se va calentando se va evaporando el sodio y hay un cambio progresivo del color de la luz emitida, desde el rojo hacia el amarillo. Simultáneamente, la intensidad luminosa va aumentando exponencialmente. En el periodo de calentamiento el flujo va variando del mismo modo que lo hace el color.

Un inconveniente que tienen las lámparas de sodio es que no pueden funcionar en todas las posiciones. Generalmente, sólo funcionan en posición horizontal o próxima a ella.

6.2.5.4. Lámparas de sodio de alta presión

Aunque la rama del sodio de alta presión se halla unida a la de sodio de baja presión, la realidad es que las lámparas de sodio de alta presión son una variante de las de mercurio de alta presión.

El fundamento de estas lámparas es el hecho conocido hace muchos años: que si se aumenta la presión del vapor dentro del tubo de descarga, inicialmente aparece una autoabsorción selectiva de las líneas emitidas, pero al aumentar mucho más la presión se produce un ensanchamiento, lo que hace que aparezca una banda ancha, al mismo tiempo que aparecen otras líneas. La consecuencia es que mejora notablemente el aspecto cromático de la luz emitida, que aunque es muy pobre en radiaciones azules llega a alcanzar un índice general de rendimiento en color de 25.

En el interior del tubo se encuentra sodio, mercurio y xenón. Este último sirve para iniciar la descarga aunque la temperatura exterior sea baja.

Se fabrican con una amplia gama de potencias que van desde 30 hasta 1.000 W. Posiblemente, el mayor logro de los últimos años haya sido conseguir lámparas de sodio de potencias bajas que permiten reemplazar a las lámparas de vapor de mercurio de mayor potencia, conservando el mismo nivel luminoso.

Aumentando la presión del vapor de sodio, se ha conseguido aumentar el rendimiento en color hasta $Ra = 65$ y la eficacia a 100 lm/W para una lámpara de 250 W con 10.000 horas de vida.

Las lámparas de 30, 50 y 75 W han tenido mucha aceptación en el alumbrado de zonas peatonales, parques y jardines y alumbrados de seguridad.

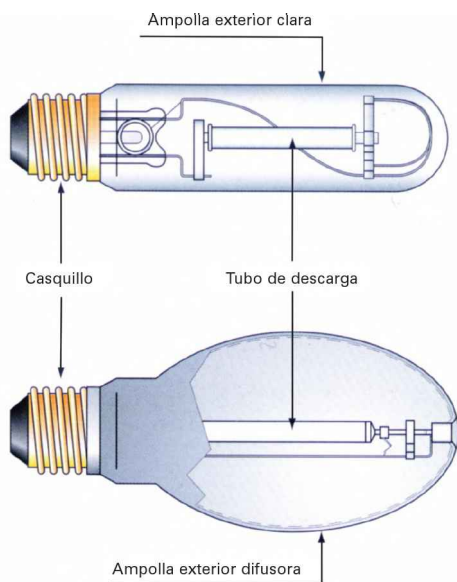


Figura 6.40. Lámpara de sodio de alta presión.

6.2.5.5. Lámparas fluorescentes de alto rendimiento sin electrodos

La descarga en este tipo de lámparas no empieza y termina en unos puntos determinados (electrodos) como en una lámpara fluorescente convencional. El anillo cerrado de vidrio de la lámpara permite obtener una descarga sin electrodos. En este tipo de lámparas la energía se induce desde el exterior por un campo magnético, producido por los dos anillos de ferrita, lo que constituye una importante ventaja para la duración de la lámpara.

El sistema está compuesto, además de la lámpara sin electrodo, del equipo electrónico (que trabaja a una frecuencia de unos 250 kHz, aproximadamente), y está separado de aquélla, lo que permite conservar la energía óptima de la descarga en la lámpara y alcanzar una potencia lumínica con una buena eficacia.

Las principales características de este tipo de lámparas son las siguientes:

- Vida extremadamente larga, unas 60.000 h.
- Elevado flujo luminoso, hasta 12.000 lúmenes.
- Arranque inmediato y sin destellos.
- Alta eficacia luminosa, unos 80 lm/W.
- Potencia de lámparas de 100 y 150 W.
- Muy buena calidad de luz ($R_a > 80$).
- Baja temperatura de funcionamiento.
- Posible funcionamiento en corriente continua.

Este tipo de lámparas están especialmente indicadas para aquellos lugares donde las dificultades de sustitución de las lámparas incrementan los costes de mantenimiento de forma

elevada, como por ejemplo: iluminación de exteriores, iluminación de túneles, iluminación de naves industriales con techos muy altos o de difícil acceso.

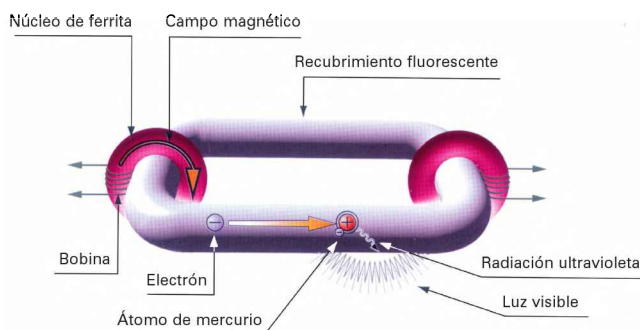


Figura 6.41. Lámpara fluorescente de alta potencia sin electrodos.

6.2.6. Estudio comparativo de características de las fuentes de luz

De todos los tipos de lámparas descritos en la primera parte, se van a considerar solamente cinco, pues son los que más se utilizan en la práctica. Los cinco tipos considerados son: incandescentes, fluorescentes, mercurio, halógenos metálicos y sodio. Como existen algunas diferencias, es conveniente estudiar por separado las lámparas de incandescencia con halógenos; en las fluorescentes, separar las tubulares de las compactas, y en las de sodio, según su presión sea alta o baja. Es decir, en total se consideran ocho tipos diferentes.

Tabla 6.5. Características de las fuentes de luz

INCANDESCENCIA	1 a 2.000	6 a 40.000	8 a 20
INCANDESCENCIA CON HALÓGENOS	3 a 10.000	36 a 220.000	18 a 22
FLUORESCENTES TUBULARES	4 a 215	1.000 a 15.500	40 a 93
FLUORESCENTES COMPACTAS	5 a 36	250 a 2.900	50 a 82
VAPOR DE MERCURIO	50 a 2.000	1.800 a 125.000	40 a 58
HALÓGENUROS METÁLICOS	75 a 3.500	5.000 a 300.000	60 a 95
SODIO ALTA PRESIÓN	50 a 1.000	3.500 a 130.000	66 a 130
SODIO BAJA PRESIÓN	18 a 180	1.800 a 33.000	100 a 183

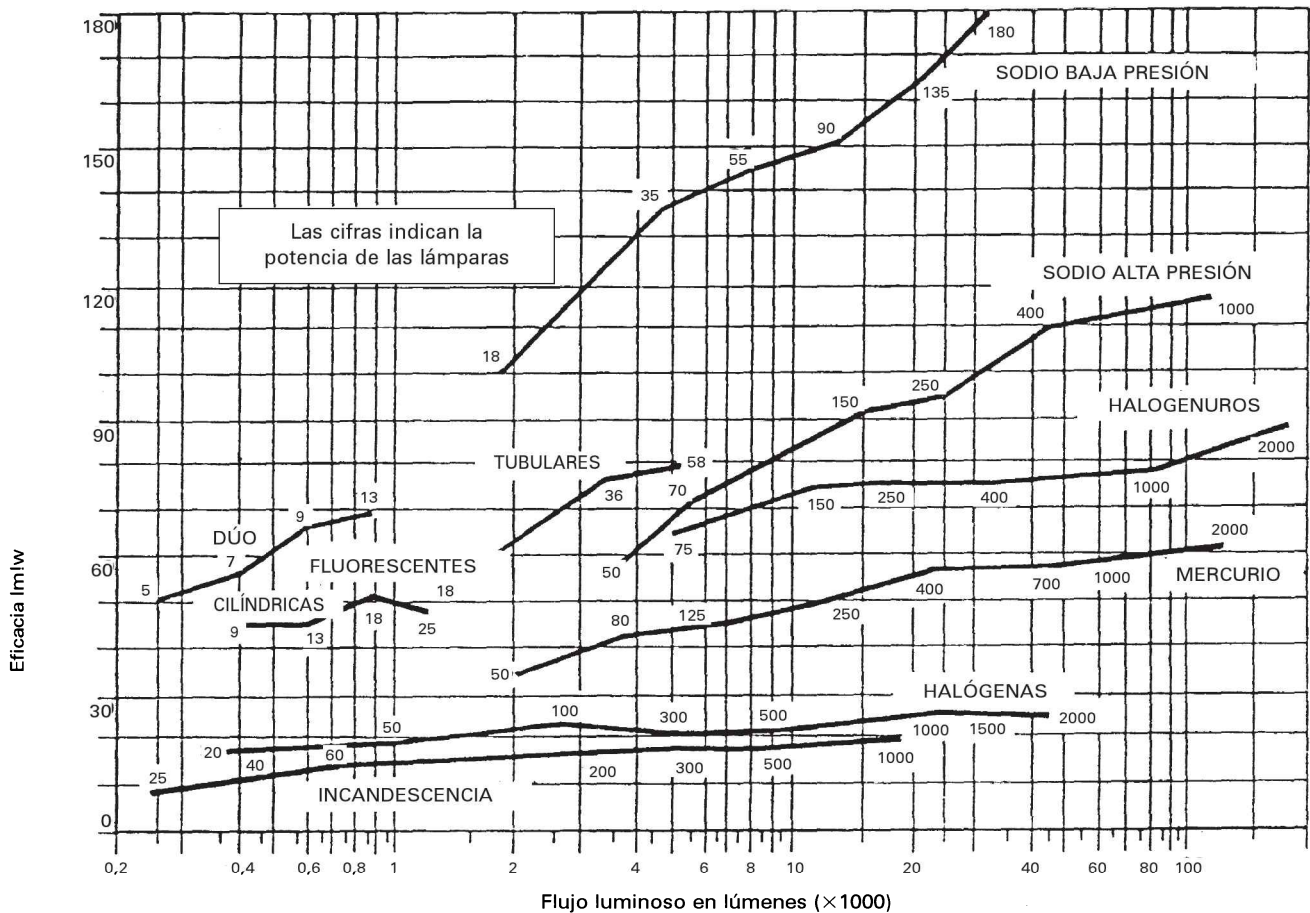


Figura 6.42. Relación eficacia-flujo.

6.2.6.1. Flujos luminosos y eficacias

Quizá el mejor método para sacar la información anteriormente expuesta sea representar las eficacias luminosas en función del logaritmo de los flujos. Para cada tipo de lámpara se obtiene una curva, como puede verse en la figura anterior. Los números que se han puesto junto a cada curva indican las potencias de las lámparas.

De esta figura pueden deducirse conclusiones muy importantes. Como puede observarse, a medida que aumenta la potencia de cualquier tipo de lámparas, la eficacia luminosa también aumenta; de ahí que sea más rentable utilizar una lámpara de una potencia cualquiera en vez de dos de la mitad de potencia.

Es fácil ver que para cualquier flujo luminoso el orden de eficacia de mayor a menor es siempre sodio de baja presión, fluorescencia, sodio de alta presión, halogenuros, mercurio, halógenas e incandescencia.

Si se tiene en cuenta que en el alumbrado doméstico las lámparas que se utilizan tienen un flujo que va de 400 a 2.000 lúmenes, puede observarse que las únicas lámparas que caen en esta zona son las de incandescencia, las fluorescentes compactas y la fluorescente tubular de 18 vatios.

6.2.6.2. Vida útil

Las lámparas eléctricas, como todo producto fabricado en serie, presentan ligeras diferencias que se manifiestan durante su funcionamiento. Si se toma un lote de lámparas representativo de un determinado tipo y potencia y se tienen encendidas hasta que dejen de lucir, se observará que van «muriendo» según una curva de distribución normal. La vida es la que corresponde al momento en que el 50% de las lámparas siguen funcionando.

La muerte de las lámparas se debe a diferentes causas, según el tipo. Por regla general, las de incandescencia mueren porque una zona del filamento se evapora más deprisa, el diámetro del hilo en ese punto se hace más pequeño, al ser más pequeño se calienta más y al calentarse más se evapora más, hasta que se funde en este punto. En las de descargas en gases, generalmente la causa de la muerte es la pérdida de sustancia emisora de electrones de los electrodos y la disminución de la presión del vapor metálico.

En todos los tipos de lámparas hay una pérdida paulatina de flujo por envejecimiento. Se llama vida útil al número de horas que una lámpara puede estar luciendo, pero dando un flujo que esté dentro de unos límites económicamente renta-

bles. En la Figura 6.42 pueden verse las curvas que representan en valores relativos los flujos emitidos por los distintos tipos de lámparas.

Tabla 6.6. Vida útil de las lámparas

INCANDESCENCIA	1.000	20	claras 2×10^6 mates $2,5 \times 10^5$
INCANDESCENCIA CON HALÓGENOS	2.000	0	2×10^6
FLUORESCENTES TUBULARES	12.000 ⁽¹⁾	25	8×10^3
FLUORESCENTES COMPACTAS	10.000 ⁽¹⁾	25	1×10^4
VAPOR DE MERCURIO	16.000 ⁽¹⁾	30	1×10^5
HALOGENUROS METÁLICO	2.500 a 14.000 ⁽¹⁾	40	claras $8,5 \times 10^6$ difusas $1,5 \times 10^5$
SODIO ALTA PRESIÓN	16.000 ⁽¹⁾	40	claras 5×10^6 difusas $2,5 \times 10^5$
SODIO BAJA PRESIÓN	14.000 ⁽¹⁾	15	1×10^5

⁽¹⁾ Encendidos de 10 horas.

6.2.6.3. Luminancia

Es un dato que sirve para predecir el deslumbramiento que pueden ocasionar las lámparas. Como lo recomendado es no utilizar lámparas sin luminaria, el dato que es más interesante conocer es el de la luminancia de la luminaria para distintos ángulos.

Una cuestión muy importante es que las lámparas fluorescentes de 38 mm tenían una luminancia que no deslumbraba. En una instalación a base de regletas, en las que el tubo se ve, puede suceder que al cambiar por las nuevas lámparas de 26 mm se produzca un deslumbramiento perturbador.

6.2.6.4. Distribuciones espectrales

El dato más importante para conocer cómo se comporta una fuente luminosa en su aspecto cromático, es la distribución espectral de la luz emitida. A partir de la distribución espectral, por cálculos relativamente sencillos, se pueden determinar el color y el rendimiento en color.

Las lámparas de incandescencia dan un espectro continuo. Las derivadas del mercurio presentan siempre las líneas espectrales propias de este elemento y un espectro continuo que depende de los luminóforos empleados. Las de sodio de alta presión presentan una banda en los amarillos y naranjas con muy poca emisión en el azul. Las de sodio de baja presión dan una luz monocromática de 589 nm de longitud de onda.

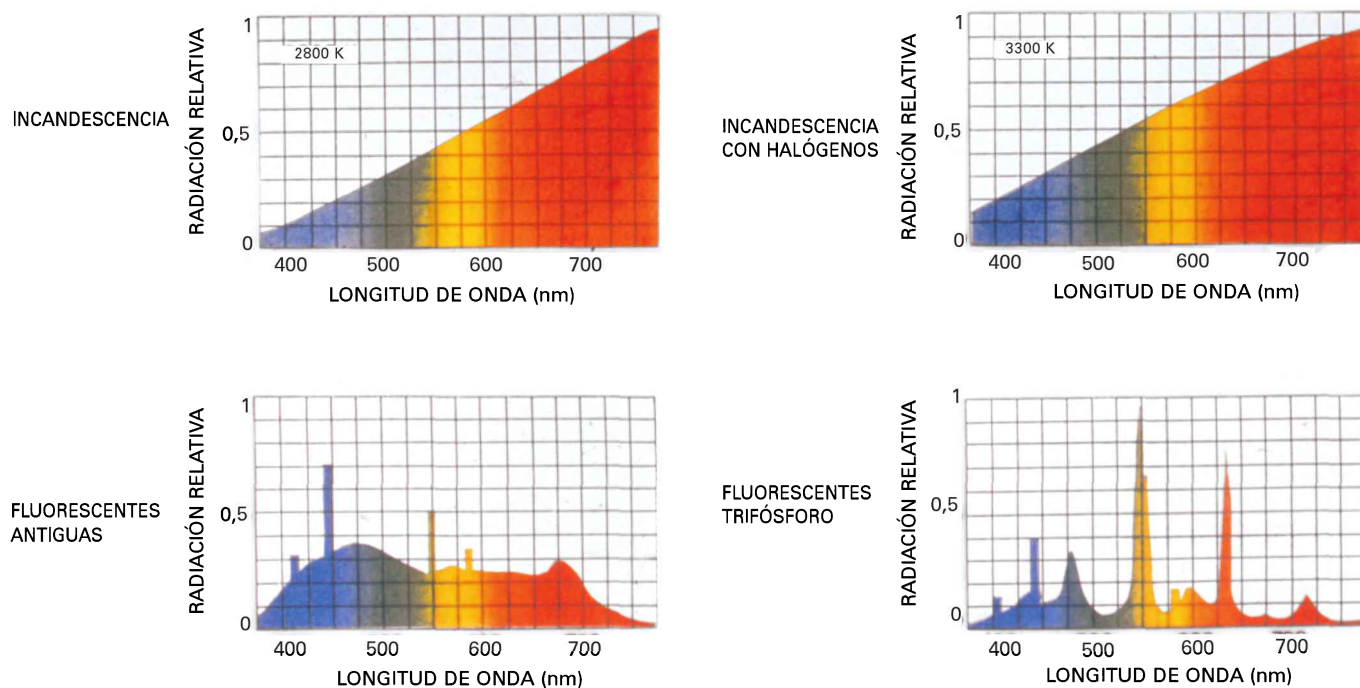


Figura 6.43. Distribución espectral relativa.

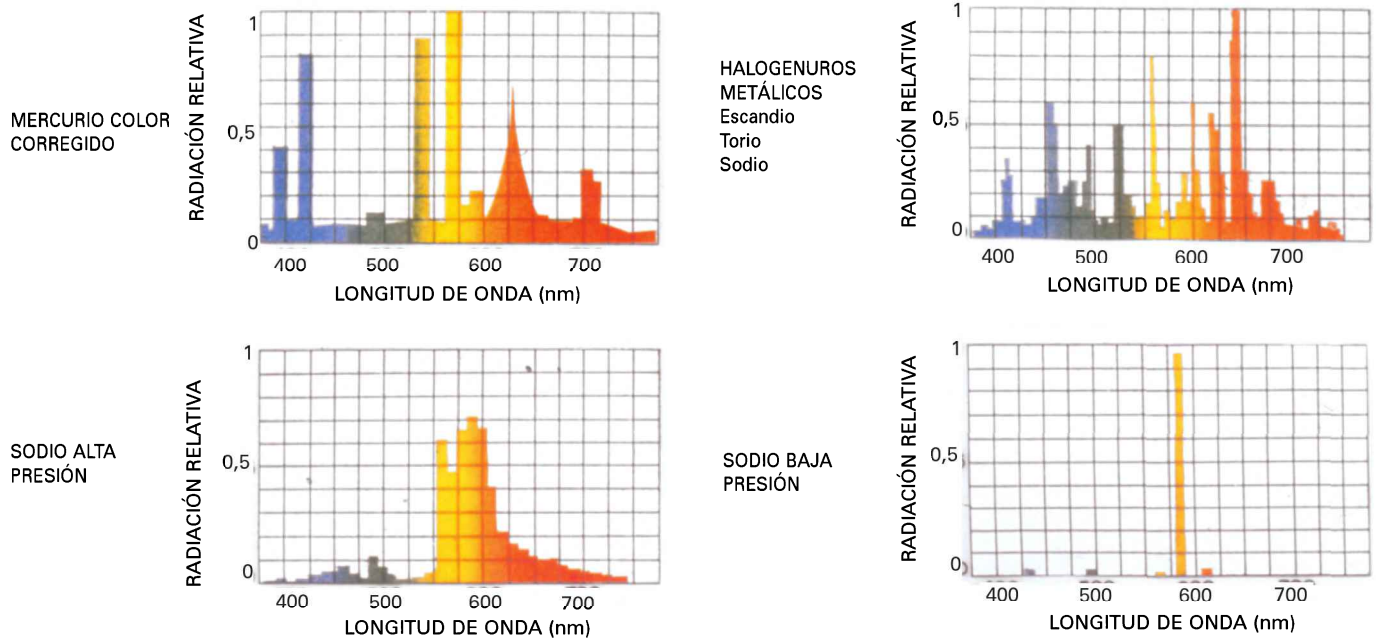


Figura 6.43. Distribución espectral relativa (continuación).

6.2.6.5. Datos calorímetros

En la Tabla 6.7 se dan los colores de la luz emitida por las lámparas que prácticamente es blanca en todas ellas, con ligeras tonalidades, excepto en las de sodio, en la que la luz es amarillenta en las de alta presión y amarilla en las de baja.

La temperatura de color es la temperatura a que hay que poner un radiador completo para que la cromaticidad de la luz

emitida por éste sea igual a la de la lámpara considerada. La temperatura de color se expresa en Kelvin (abreviadamente K).

La temperatura de color es un modo abreviado de indicar el color de la luz emitida; lo que sucede es que sólo es rigurosa para las lámparas de incandescencia, pues para las de descarga en gases hay que dar lo que se conoce como temperatura de color correlacionada.

6.2.6.6. Esquemas de conexión a la red

A la hora de seleccionar un tipo de lámpara para una aplicación concreta, otro dato que es necesario conocer es cómo se ha de conectar eléctricamente.

Las lámparas de incandescencia, las de halógenos y las fluorescentes compactas se pueden conectar directamente a la red. Las fluorescentes tubulares necesitan un balasto en serie y cebador en paralelo. Las fluorescentes compactas de dos tubos sólo necesitan el balasto pues llevan el cebador incorporado. Las de mercurio de alta presión necesitan un balasto, mientras que las de halógenos metálicos y las de sodio de alta presión, además del balasto, deben llevar un arrancador especial con picos de tensión de 1,5 a 5 kV.

6.2.6.7. Periodos de calentamiento

También se conoce como tiempo de encendido.

Una característica importante a considerar a la hora de elegir una lámpara es el tiempo que transcurre desde que se conecta hasta que se obtiene el máximo rendimiento. Este tiempo se conoce como periodo de calentamiento.

Tabla 6.7. Colores de la luz

FUENTES DE LUZ			
TIPO	COLOR	TEMP. DE COLOR (K)	RTO. EN COLOR
INCANDESCENCIA	Blanco cálido	2.600 a 2.800	100
INCANDESCENCIA CON HALÓGENOS	Blanco	3.000	100
FLUORESCENTES TUBULARES	Diferentes blancos	2.600 a 6.500 Tc (corr)	50 a 97
FLUORESCENTES COMPACTAS	Blanco cálido	2.700 Tc (corr)	80
VAPOR DE MERCURIO	Blanco	4.000 y 4.500 Tc (corr)	48 y 50
HALOGENUROS METÁLICOS	Blanco frío	4.800 a 6.500 Tc (corr)	67 a 95 (según potencia)
SODIO ALTA PRESIÓN	Blanco amarillento	2.100	25 Tc (corr)
SODIO BAJA PRESIÓN	Amarillo (monocromático)	1.800 Te (corr)	no aplicable

Tabla 6.8. Tiempos de encendido

INCANDESCENCIA	Inmediato	$l_0 = 15 \text{ lr}$	Inmediato
INCANDESCENCIA CON HALÓGENOS	Inmediato	$l_0 = 15 \text{ lr}$	Inmediato
FLUORESCENTES TUBULARES	2 o 3 s	$l_0 = 2 \text{ lr}$	2 o 3 s
FLUORESCENTES COMPACTAS	1 segundo	$l_0 = 2 \text{ lr}$	1 segundo
VAPOR DE MERCURIO	5 minutos	$l_0 = 1,5 \text{ lr}$	7 minutos
HALOGENUROS METÁLICOS	2 minutos	$l_0 = 1,3 \text{ lr}$	7 minutos
SODIO ALTA PRESIÓN	7 minutos	$l_0 = 1,2 \text{ lr}$	Inmediato
SODIO BAJA PRESIÓN	12 minutos	$l_0 = 0,95 \text{ lr}$	20 minutos

⁽¹⁾ Arrancador especial

Tabla 6.9. Características constructivas

INCANDESCENCIA	Esférica. Vela	Cualquiera	Doméstico
	Tubular.		Automóvil
	Par. Seta.		Comercio
INCANDESCENCIA CON HALÓGENOS	Tubular	Horizontal + 15°	Monumental
	Reflector	Cualquiera	Doméstico
FLUORESCENTES TUBULARES	Tubular	Cualquiera	Doméstico
	Circular		Oficinas
	En U		Industrial
FLUORESCENTES COMPACTAS	Cilíndrica	Cualquiera	Doméstico
	Dúo		Oficinas
	Esférica		
VAPOR DE MERCURIO	Ovoide	Cualquiera	Vial
			Industrial
HALOGENUROS METÁLICOS	Cilíndrica	Horizontal + 45°	Deportivo
	Ovoide	Vertical + 15°	Comercial
SODIO ALTA PRESIÓN	Cilíndrica	Cualquiera	Vial
	Ovoide		Industrial
SODIO BAJA PRESIÓN	Tubular	Horizontal + 20°	Vial

6.2.6.8. Intensidad de arranque

Esta característica es un dato muy importante para los instaladores, pues condiciona el dimensionado de la instalación (sección de cables, accesorios, etc.).

Estos valores de la intensidad de arranque van desde 1,5 veces la intensidad en las lámparas de incandescencia, hasta 0,95 veces en las lámparas de sodio de baja presión.

6.2.6.9. Reencendido en caliente

Es el tiempo necesario para que una lámpara alcance de nuevo su flujo máximo tras un corte en el suministro de energía eléctrica.

Las lámparas de incandescencia se pueden encender y apagar cuantas veces sea necesario y la respuesta es inmediata. Las lámparas fluorescentes reducen incluso el tiempo de encendido por el hecho de estar calientes.

Las lámparas de vapor de mercurio y las de halogenuros metálicos necesitan que la presión de vapor se reduzca antes de volver a encenderse, por lo que tardan algunos minutos.

Las lámparas de sodio de baja presión necesitan un tiempo de reencendido bastante largo.

6.2.6.10. Características constructivas y de utilización

En este apartado se relacionan tres características de las lámparas:

Forma, posición de funcionamiento y utilización.

6.2.7. Esquemas de montaje de diferentes tipos de lámparas

A continuación se esquematizan diferentes conexiones de lámparas:

6.2.7.1. Esquema de conexiones para balastos convencionales de lámparas fluorescentes

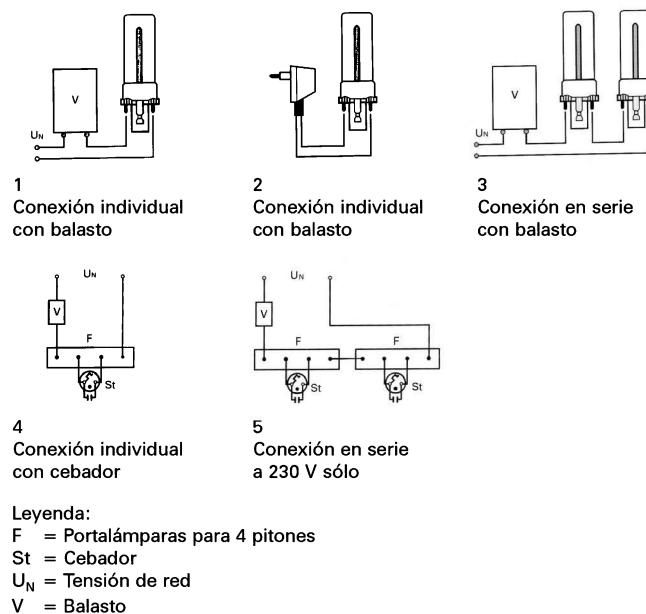
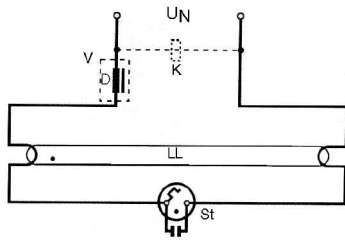
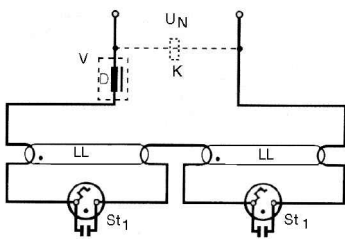


Figura 6.44. Esquema de conexiones.

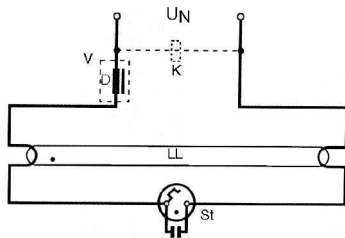
6.2.7.2. Esquemas de conexiones con cebador para lámparas fluorescentes y arranque rápido «rapid star»



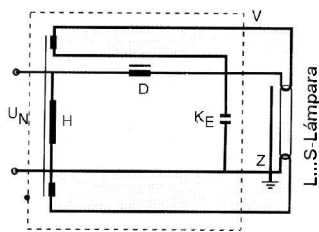
Conexión simple



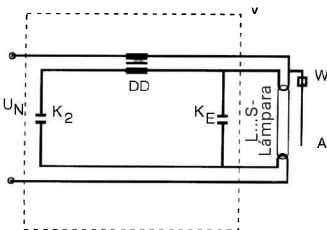
Conexión en serie para 2 lámparas 4 W, 6 W, 8 W, 15 W, 18 W, 20 W/S y 22 W a 220 V - sólo con cebador ST 151 + ST 172



Conexión Dúo



Conexión inductiva RS



Conexión RD

Figura 6.45. Esquemas de conexiones.

6.2.7.3. Esquemas de conexiones para lámparas fluorescentes con funcionamiento a alta frecuencia

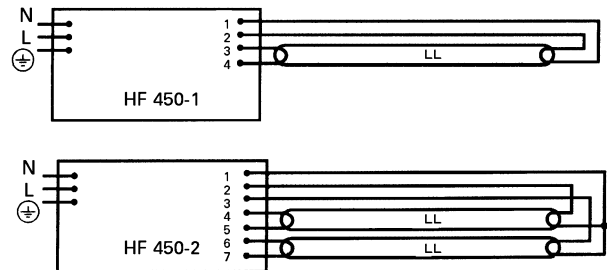
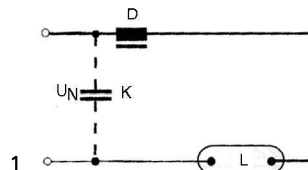
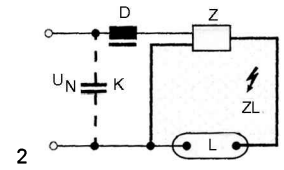


Figura 6.46. Esquema de conexiones.

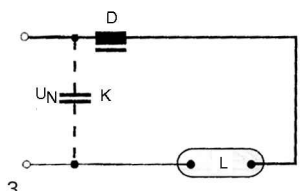
6.2.7.4. Esquemas de conexiones de lámparas de descarga



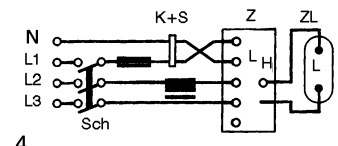
Vapor de mercurio



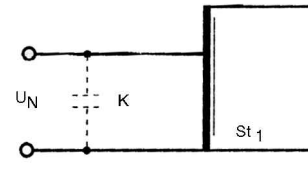
Vapor de sodio A.P.
Halogenuro metálico



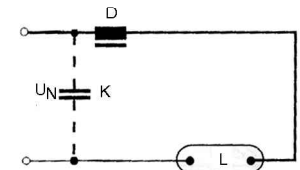
Vapor de sodio A.P.
Halogenuro metálico
con reencendido inmediato



Halogenuro metálico
de 2.000 y 3.500 W



Vapor de sodio B.P.



Vapor de sodio B.P. 18 W

- | | |
|---|--|
| B = Fusible retardado 6A | H = Balasto híbrido |
| D = Balasto | Sch = Interruptor |
| D ₁ = Balasto con toma | St ₁ = Transformador de campo de dispersión |
| K = Condensador de compensación | U _N = Tensión de red 230 V (con 2000 W y 3500 W = 400 V ~) |
| K ₁ = Condensador de compensación y encendido 5 μF | Z = Instalación del arrancador cerca de la lámpara |
| K+S = Interruptor automático y relé | ZL = Conductor de encendido de alta frecuencia al contacto de base de la lámpara |
| L = Lámpara | |
| L _H = Conexión de alta tensión | |
| N = Conductor neutro | |
| R,S,T = Conductores de fase | |

Figura 6.47. Esquemas de conexiones.

6.3 Luminarias

6.3.1. Definiciones

La comisión internacional de iluminación define las luminarias como «aparatos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por una o varias lámparas y que contienen todos los elementos necesarios para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito de alimentación».

Igualmente tienen como función modificar, de acuerdo con las necesidades, la repartición y la luminancia de las fuentes de luz desnudas, con el fin de obtener sobre las superficies a iluminar una buena distribución del flujo luminoso que sale de la luminaria, evitando con ello el deslumbramiento directo o indirecto.

A modo de ejemplo se representan en las siguientes figuras algunos tipos de luminarias de las innumerables formas y tamaños que existen en el mercado.

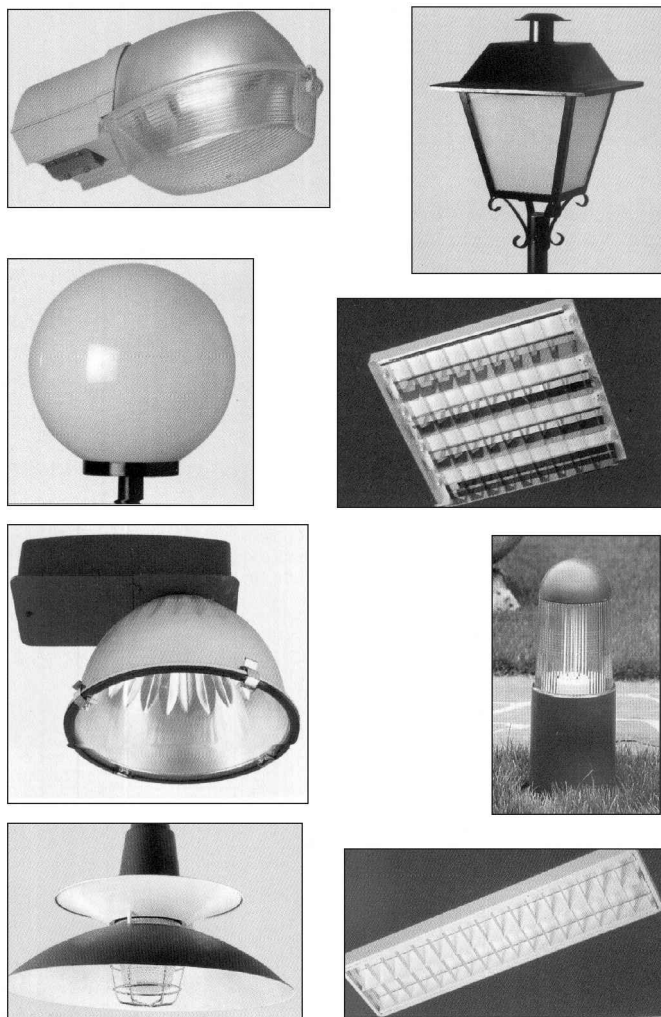


Figura 6.48. Varios tipos de luminarias.

6.3.2. Características

Toda luminaria debe poseer una serie de características que den respuesta a la necesidades requeridas en una determinada instalación de alumbrado; éstas son:

- Ópticas:
 1. Repartición luminosa adaptada a su utilización.
 2. Luminancia inferior o igual a un valor dado en ciertas direcciones de observación.
 3. Buen rendimiento luminoso de acuerdo con las condiciones de iluminación.
- Eléctricas y mecánicas:
 1. Construcción eléctrica que permita su utilización sin riesgo de descargas eléctricas.
 2. Equipo eléctrico adecuado que permita la colocación y mantenimiento de forma sencilla.
 3. Calentamiento compatible con su constitución y su utilización.
 4. Resistencia mecánica que permita mantener en utilización normal, su seguridad eléctrica.
 5. Realización en un material adaptado a su utilización y a su entorno.
 6. Fácil limpieza.
- Estéticas:

Estas características son difíciles de definir; no existe ninguna regla fija, sino que más bien dependen de su elección o moda del momento. No obstante se pueden distinguir:

1. Que el soporte de la fuente luminosa pueda ser una obra de arte en sí misma, en cuyo caso la función de iluminación es secundaria.
2. Que la luminaria concebida para iluminar esté en función de la óptica así como su forma exterior.

A lo largo de estos años se han desarrollado luminarias que han permitido armonizar la iluminación y la decoración.

6.3.3. Clasificación

La fabricación de las luminarias desde el punto de vista de seguridad debe satisfacer el reglamento de Baja Tensión a la vez que las normas reglamentarias internacionales de la CEE y de la CIE.

Se pueden establecer diferentes clasificaciones de luminarias según el criterio que se adopte:

6.3.3.1. Según el REBT

Las ITC-43 y 44 del REBT establece que las luminarias deben cumplir los requisitos de una correcta instalación, utilización y seguridad.

La misma norma clasifica las luminarias en cuatro grupos en función de su aislamiento desde el punto de vista eléctrico:

- Clase 0.
- Clase I.
- Clase II.
- Clase III.

6.3.3.2. Respecto a la simetría del flujo emitido por las luminarias éstas se pueden clasificar en:

1. Luminarias de distribución simétrica: son las que reparten simétricamente el flujo luminoso respecto al eje de simetría, pudiendo representarse la distribución espacial de las intensidades luminosas con una curva fotométrica como la de la Figura 6.49.

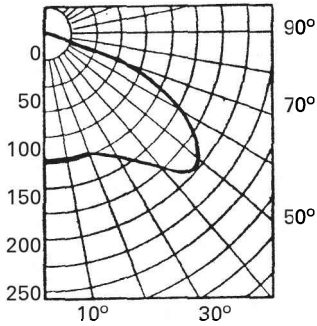


Figura 6.49. Curva fotométrica con distribución simétrica.

2. Luminarias de distribución asimétrica: en este caso el flujo luminoso no se reparte de forma simétrica respecto a un eje, por lo que obliga a que la distribución espacial de las intensidades luminosas se realice a través de un sólido fotométrico, como el de la Figura 6.50.

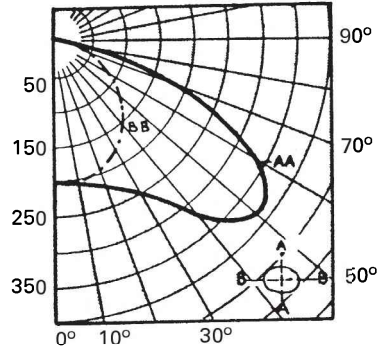


Figura 6.50. Curva fotométrica de distribución asimétrica.

6.3.3.3. Según el porcentaje del flujo luminoso emitido

En función de este concepto las luminarias se pueden clasificar en:

1. Directo, donde el 100% del flujo luminoso es emitido sobre la superficie a iluminar.
2. Semidirecto, donde el 60% del flujo luminoso es emitido sobre la superficie a iluminar y el resto en dirección opuesta.

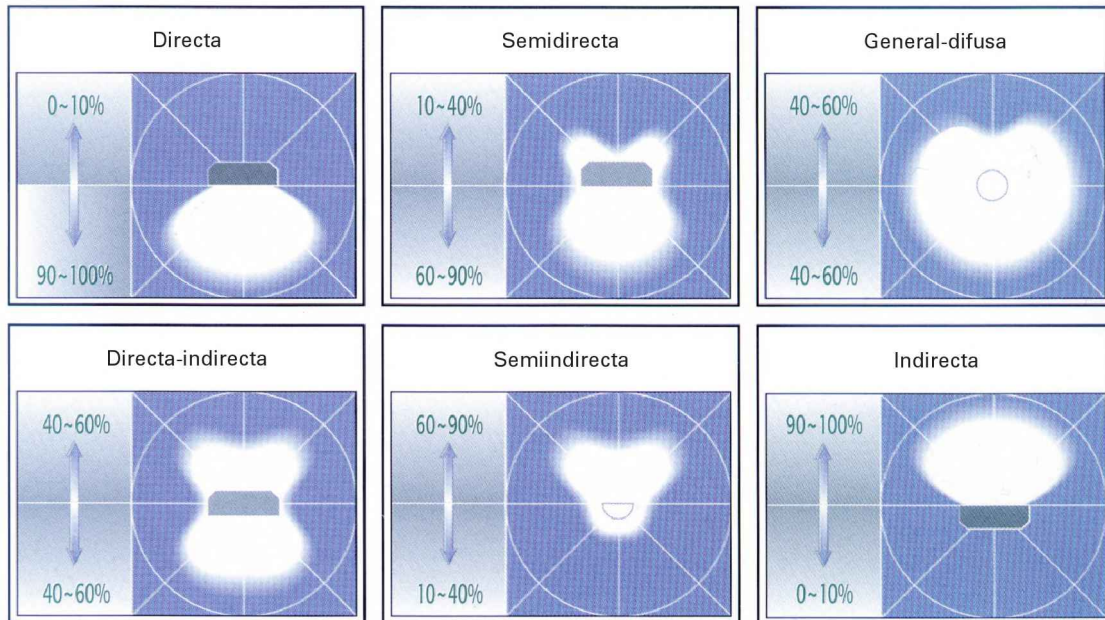


Figura 6.51. Clasificación de las luminarias según el flujo luminoso emitido.

3. Difuso, donde el flujo luminoso es emitido en todas las direcciones por igual.
4. Directo-indirecto, donde el flujo luminoso se emite al 50% sobre la superficie de trabajo y la opuesta, pero no en otras direcciones.
5. Semiindirecto, donde casi el 90% del flujo luminoso es emitido en la dirección opuesta al plano de trabajo.
6. Indirecto, donde el flujo luminoso es emitido al 100% sobre la superficie opuesta al puesto de trabajo, lo que se denomina vulgarmente iluminación indirecta o de techo.

Tabla 6.10. Grados de protección

Índices de protección

1. Protección contra los cuerpos sólidos y líquidos:

Índices de protección-IP

Grados de protección de las envolventes de los materiales eléctricos según las normas: CEI 529 y EN 60529

2. Protección contra los choques mecánicos.

Índices de protección - IK

Según: UNE EN 50 102/96

Grado	Descripción	Grado	Descripción	Grado	Resistencia (julios)	Grado	Resistencia (julios)
0	Sin protección	0	Sin protección	0	0	0	0
1	Protegido contra los cuerpos sólidos superiores a 50 mm (ej.: contactos involuntarios de la mano)	1	Protección contra las caídas verticales de gotas de agua (condensación)	1	0,15	1	0,15
2	Protegido contra los cuerpos sólidos superiores a 12,5 mm (ej.: dedos de la mano)	2	Protección contra las caídas de agua hasta 15° de la vertical	2	0,20	2	0,20
3	Protegido contra los cuerpos sólidos superiores a 2,5 mm (ej.: herramientas, tornillos)	3	Protegido contra el agua de lluvia hasta 60° de la vertical	3	0,35	3	0,35
4	Protegido contra los cuerpos sólidos superiores a 1 mm (ej.: herramientas finas, pequeños cables)	4	Protegido contra las proyecciones de agua en todas las direcciones	4	0,50	4	0,50
5	Protegido contra el polvo (sin sedimentos perjudiciales)	5	Protegido contra el lanzamiento de agua en todas las direcciones	5	0,70	5	0,70
6	Totalmente protegido contra el polvo	6	Protegido contra el lanzamiento de agua similar a los golpes de mar	6	1	6	1
		7	Protegido contra inmersión	7	2	7	2
		8	Protegido contra los efectos prolongados de inmersión en condiciones específicas	8	5	8	5
				9	10	9	10
				10	20	10	20

- Esta tabla permite conocer la resistencia a un impacto dado en julios, partiendo de un grado IK.
- También permite conocer la correspondencia con la antigua 3.ª cifra IP.

(1) Se admite que un producto que tenía IPxx7, cumple las condiciones de un IPxx.IK08.

6.3.3.4. Luminarias para alumbrado público

La CIE clasifica las luminarias para alumbrado público en los tres tipos siguientes:

1. Luminarias de haz recortado. En este tipo de luminarias, la intensidad luminosa en la horizontal debe ser inferior al 5% de la máxima y la intensidad a 80° inferior a 30 cd por 1.000 lm. Figura 6.52.

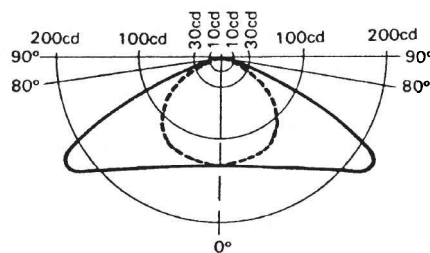


Figura 6.52. Luminaria de haz recortado.

2. Luminaria de haz semirrecortado.

En este caso, la intensidad luminosa en la horizontal, no debe ser superior al 3% de la máxima, y la intensidad a 80° debe ser inferior a 100 cd por 1.000 lm.

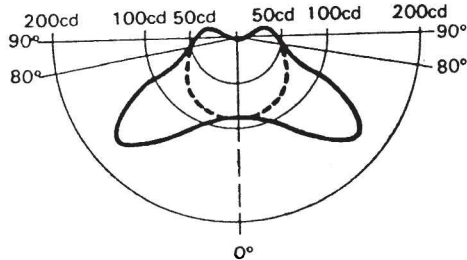


Figura 6.53. Luminaria de haz semirrecortado.

3. Luminaria de haz no recortado.

La intensidad luminosa en las direcciones que forman un ángulo superior a 80° con relación a la vertical hacia abajo, no se reduce sencillamente, por lo cual la intensidad horizontal puede ser superior a la indicada para las luminarias de haz semirrecortado. Figura 6.54.

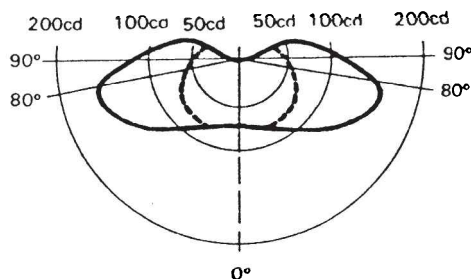


Figura 6.54. Luminaria de haz no recortado.

6.3.4. Clases de protección de luminarias

En la Tabla 6.10 se indican los grados de protección que deben ofrecer las luminarias dependiendo de la zona de instalación e inclemencia a las que están sometidas.

6.4 Diseño de alumbrado de interiores

6.4.1. Introducción

En un buen diseño de alumbrado de interiores la fase primera, y quizás más difícil, es la de pretender reunir todas las condiciones para que al final la aproximación a la solución ideal sea la correcta.

El alumbrado constituye una parte del diseño ambiental y a pesar de ello los únicos procedimientos de los que disponemos tratan de los aspectos cuantitativos tales como flujo instalado, flujo que alcanza la superficie, número de lámparas a instalar, etc. Todas estas cantidades físicas que son objeto de cálculo tratan en consecuencia del aspecto objetivo del diseño, en contraste con las reacciones subjetivas de las personas que en último término son los evaluadores de la instalación de alumbrado.

Lo más usual al hablar de alumbrado de interior es que nos limitemos a:

1. Determinar el alumbrado deseado basándose en la tarea visual como fin principal.
2. Elección de la lámpara a utilizar.
3. Elección de la luminaria.
4. Cálculo del número de luminarias a instalar.
5. Disposición de las luminarias.

Sin pararnos a pensar en establecer la relación entre el espacio a diseñar y las zonas de paso, considerar las composiciones espaciales, diferenciar la zona principal de las secundarias, a la vez de establecer el carácter funcional de las mismas, confeccionar el diseño, color en la decoración y fuente de luz elegida, evaluar los costes y sus relaciones.

Todos y cada uno de los apartados anteriores pueden considerarse como los pasos esenciales para un buen diseño de alumbrado.

6.4.2. Sistemas de alumbrado de interiores

Existen tres sistemas en el alumbrado de interiores relacionados con la distribución de la luz sobre el área iluminada.

1. Alumbrado general:

En este sistema, el tipo de luminaria, su altura de montaje, así como su distribución luminosa, se calculan de forma que se obtenga un alumbrado uniforme sobre la zona a iluminar. Para ello, la distribución luminosa más aconsejable es la colocación de las luminarias de forma simétrica en filas.

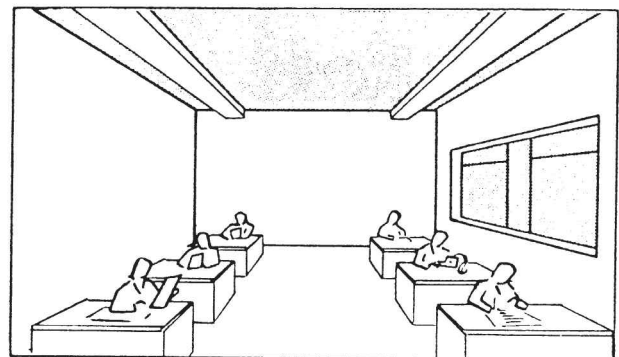


Figura 6.55. Alumbrado general.

Este sistema tiene la ventaja de que el alumbrado es independiente de los puestos de trabajo, lo que permite disponerlos o cambiarlos a voluntad. Por el contrario, presenta el inconveniente de que la iluminancia media proporcionada por este sistema no corresponde con las personas que precisen un mayor nivel de alumbrado.

2. Alumbrado general localizado:

Este sistema proporciona, además de un alumbrado general uniforme, el aumento de nivel de las zonas que requieren un mayor nivel de alumbrado. Presenta el inconveniente que al efectuar cambios en dichas zonas es necesario reforzar la instalación de alumbrado.

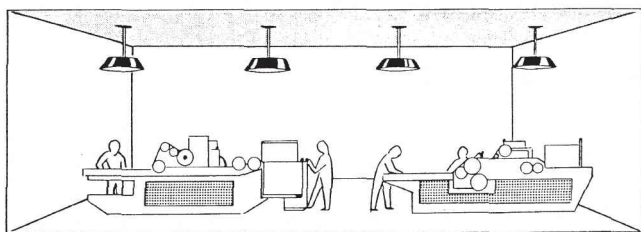


Figura 6.56. Alumbrado general localizado.

3. Alumbrado localizado:

Sistema que consiste en dotar de un nivel medio de alumbrado general al local y un alumbrado directo en aquellas zonas donde el tipo de trabajo requiera un nivel de alumbrado alto.

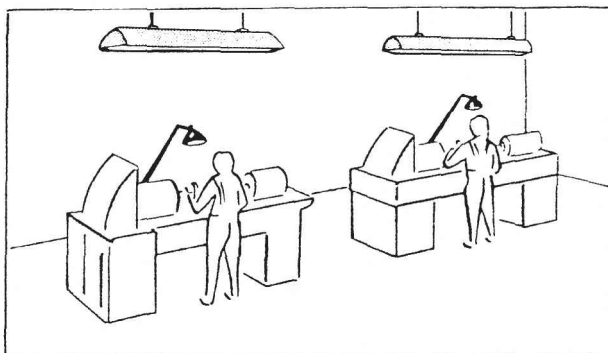


Figura 6.57. Alumbrado localizado.

Con el fin de eliminar las posibles molestias de adaptaciones visuales que conlleva este sistema, debe existir una relación entre ambos niveles, como se especifica en la siguiente tabla:

Tabla 6.11. Relación entre niveles de alumbrado localizado y alumbrado general mínimo

250	50
500	75
1.000	100
2.000	150
5.000	200
10.000	300

6.4.3. Cálculo de alumbrado interior

En el cálculo de un alumbrado inferior se deben tener en cuenta los siguientes datos:

- Tipo de trabajo o actividad a desarrollar.
- Características físicas y dimensiones del local a iluminar.

Una vez conocidos estos datos y utilizando el método del rendimiento del alumbrado para el cálculo, se puede fijar la iluminancia media a obtener y las condiciones de calidad que debe cumplir el alumbrado.

- El flujo luminoso necesario se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_c}$$

donde:

ϕ_T = Flujo luminoso total (lúmenes).

E_m = Iluminancia media (lux).

S = Superficie a iluminar en m².

η = Rendimiento del alumbrado.

f_c = Factor de conservación de la instalación.

- La iluminancia media E_m se determinará de acuerdo con la actividad a desarrollar y según la Tabla 6.6.

Tabla 6.12. Iluminancias para diferentes tipos de alumbrado

Recintos de trabajo.	
Recinto generales.	
Garajes.	60
Almacenes.	120
Embalaje, expedición.	250
Oficina y administración.	
Trabajos de oficina con fáciles cometidos visuales.	250
Trabajos de oficina, como contabilidad, mecanografía, proceso de datos.	500
Dibujo técnico.	1.000
Industria química.	
Trabajos en hornos, destilerías.	60
Trabajos en filtros.	120
Laminadoras mezcladoras, rotativas.	250
Trabajos de control.	500
Pruebas de colores.	1.000
Industria electrotécnica.	
Fabricante de cables.	250
Montaje de teléfonos.	500
Montaje de aparatos de precisión.	1.000
Pieza subminiatura.	2.000
Carpintería.	
Cuadro de sierra.	120
Trabajos en la cepilladora.	250
Trabajos en máquinas de carpintería, torneado.	500
Control de salida en fábricas de muebles.	750

Tabla 6.13. Iluminancias para diferentes tipos de alumbrado. (Cont.)

Tabla 6.13. Iluminancias para diferentes tipos de alumbrado. (Cont.)	
Agricultura.	
Recintos para la preparación de piensos, escarbaderos.	60
Área de trabajo en depósitos de leche, mataderos.	250
Metalurgia.	
Forja.	120
Torneado y cepillado de precisión.	500
Construcción de herramientas, calibres y dispositivos.	1.000
Relojería, grabado, cincelado.	2.000
Industria de la alimentación.	
Panadería, vaciado en botellas, tostado de café, picado de verduras y frutas, molido, batido de margarina, mezclado, lecherías, mataderos, refinerías de azúcar.	250
Fabricación de cigarrillos, cigarros puros, trabajo de cocina.	500
Decoración, clasificación.	750
Control de color.	1.000
Escuelas e institutos.	
Vestuarios, duchas, lavabos.	120
Salas de conferencia.	250
Salas de dibujo, laboratorios de física y química.	500
Gastronomía.	
Habitaciones de hotel.	120
Restaurantes, comedores.	120
Vestíbulos, restaurantes con autoservicio.	250
Cocinas de hotel.	500

- El rendimiento del alumbrado (η) depende de dos factores que son el rendimiento del local (η_R) y el rendimiento de la luminaria (η_L), existiendo entre ellos la siguiente relación:

$$\eta = \eta_R \cdot \eta_L$$

Tabla 6.14. Factores de reflexión de distintos colores y materiales

Tabla 6.14. Factores de reflexión de distintos colores y materiales			
blanco	0,70-0,85	mortero claro	0,35-0,55
techo acústico blanco	0,50-0,65	mortero oscuro	0,20-0,30
gris claro	0,40-0,50	hormigón claro	0,30-0,50
gris oscuro	0,10-0,20	hormigón oscuro	0,15-0,25
negro	0,03-0,07	arenisca clara	0,30-0,40
crema	0,50,075	arenisca oscura	0,15-0,25
marrón claro	0,30-0,40	ladrillo claro	0,30-0,40
marrón oscuro	0,10-0,20	ladrillo oscuro	0,15-0,25
rosa	0,45-0,55	mármol blanco	0,60-0,70
rojo claro	0,30-0,50	granito	0,15-0,25
rojo oscuro	0,10-0,20	madera clara	0,30-0,50
verde claro	0,45-0,65	madera oscura	0,10-0,25
verde oscuro	0,10-0,20	espejo de vidrio	0,80-0,90
azul claro	0,40-0,55	aluminio mate	0,55-0,60
azul oscuro	0,05-0,15	aluminio anodizado	0,80-0,85
		acero pulido	0,55-0,65

A su vez, el rendimiento del local depende de las dimensiones de éste y de los factores de reflexión de techo ρ_1 , factor de reflexión de paredes ρ_2 y factor de reflexión de suelo ρ_3 , según la tabla adjunta y la forma de la distribución de la luz por la luminaria: curva fotométrica.

El rendimiento de la luminaria depende de las características constructivas de ésta y de la temperatura ambiente del local. La curva fotométrica así como el rendimiento de la luminaria son datos proporcionados por el fabricante de la misma.

Respecto a la influencia de las dimensiones del local en el rendimiento de la luminaria se expresan por un índice K denominado índice del local, según las siguiente fórmula:

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

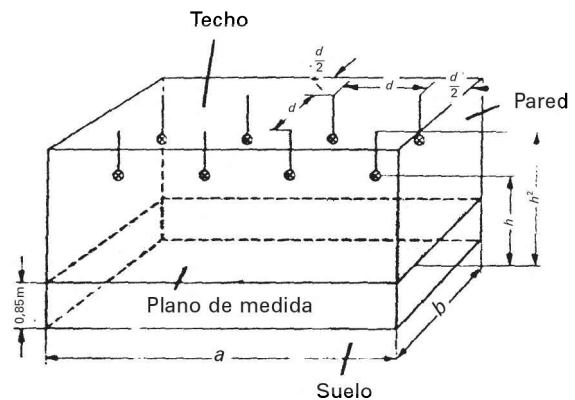


Figura 6.58. Esquema de un recinto interior.

a y b son las dimensiones de la superficie rectangular del local y h la distancia entre el plano de trabajo (0,85 m sobre el suelo) y las luminarias.

- El factor de conservación, f_c , nos da la pérdida del flujo luminoso de la lámpara como consecuencia de su envejecimiento natural y las pérdidas de reflexión o transmisión de la luminaria por el mismo motivo.

El valor del índice de conservación oscila entre 0,50 y 0,80 correspondiendo el valor más alto a instalaciones de locales limpios y realizadas con luminarias cerradas que albergan lámparas de baja depreciación luminosa, y en los que la conservación se realiza con cierta asiduidad. El valor más bajo corresponde a instalaciones de locales sucios con un mal mantenimiento de la instalación.

- Los puntos de luz, N , se calculan dividiendo el valor del flujo total necesario (ϕ_T) por el flujo luminoso nominal (ϕ_L) de la lámpara o lámparas que contenga una luminaria.

$$N = \frac{\phi_T}{\phi_L}$$

donde:

N = Número de puntos de luz o luminarias.

ϕ_T = Flujo luminoso total necesario.

ϕ_L = Flujo luminoso nominal de las lámparas contenidas en una luminaria.

- El factor de uniformidad proporciona la relación de la iluminancia mínima con la iluminancia media mediante la fórmula:

$$f_u = \frac{E_{media}}{E_{mínima}}$$

- La altura que debe tomarse para las luminarias sobre el plano de trabajo, h , para las distintas clases de alumbrado viene dada por las siguientes relaciones:

Altura mínima: $h_m = 2/3 h$

Altura aconsejable: $h_a = 3/4 h$

Altura óptima: $h_o = 4/5 h$

Para una iluminación indirecta y semiindirecta no se superará el valor correspondiente a la altura óptima.

- La distancia entre luminarias (d) está en función de la altura h sobre el plano de trabajo y del ángulo de apertura del haz de luminarias, lo que obligará a tomar diferentes distancias. Estas distancias son:

1. Luminarias con distribución intensiva $d \leq 1,2 h$

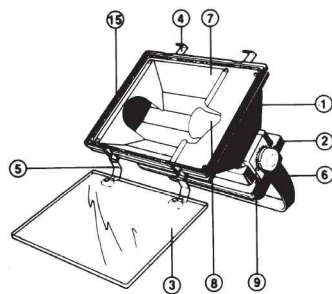
2. Luminarias con distribución semiintensiva o semiextensiva $d \leq 1,5 h$

3. Luminarias con distribución extensiva $d \leq 1,6 h$

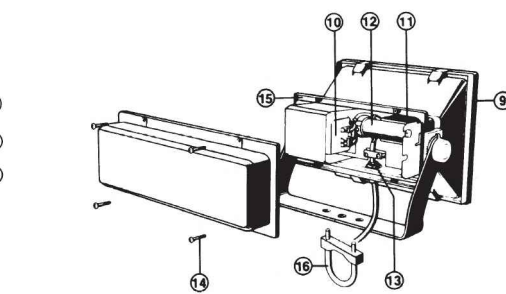
- El tipo de luminaria, con respecto a la altura del local, se selecciona de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 6.15. Relación entre altura del local y tipo de luminaria

mas de 10 metros	Intensiva
------------------	-----------



1. Carcasa
2. Caja del balasto
3. Cristal
4. Bridas (2X)



5. Bisagra (2X)
6. Lira
7. Reflector
8. Portalámpara

9. Visor de enfoque
10. Balasto
11. Ignitor
12. Condensador



13. Pasa cable
14. Tornillo de fijación
15. Junta de silicona
16. Brida de montaje

Figura 6.59. Proyector de alumbrado.

6.5 Diseño de alumbrado de exteriores

6.5.1. Introducción

Se entiende por alumbrado de exteriores el conjunto de técnicas y procedimientos empleados para alumbrar los siguientes espacios o aplicaciones:

- Vías públicas.
- Túneles.
- Plazas.
- Puentes.
- Paseos.
- Jardines.
- Aparcamientos.
- Fachadas de edificios y monumentos.
- Parques de materiales.
- Muelles de carga.
- Estaciones de servicio.
- Conjuntos polideportivos.
- Etcétera.

que se pueden englobar en cuatro grandes bloques:

- Alumbrado público.
- Alumbrado ornamental.
- Alumbrado industrial, fabril y de servicios.
- Alumbrado deportivo.

En todos estos tipos de alumbrado se emplean, la mayoría de la veces, los aparatos llamados proyectores, lo que da lugar a la expresión «alumbrado por proyección».

6.5.2. Proyector de alumbrado

Es una luminaria que concentra la luz bajo un ángulo sólido determinado, mediante un sistema óptico de espejos o lentes, que consiguen una intensidad luminosa determinada en una dirección concreta. En la figura se muestra un tipo de proyector y su concentración luminosa.

Estos proyectores tienen una distribución del flujo luminoso más concentrada que las luminarias normales, por lo que para la representación del mismo se utiliza el sistema de coordenadas cartesianas rectangulares según se indica en la figura.

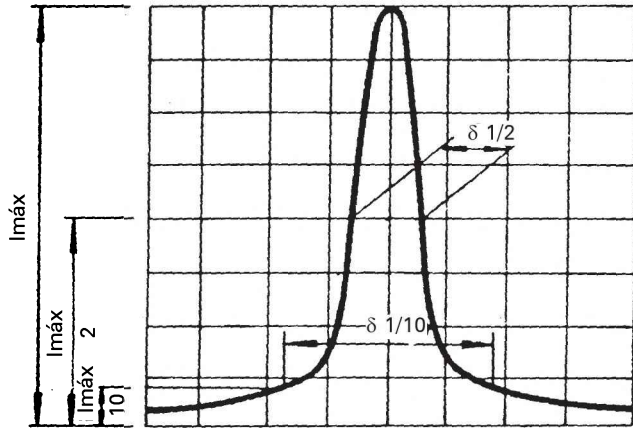


Figura 6.60. Distribución luminosa de un proyector mediante coordenadas rectangulares.

No obstante, la distribución de luz del proyector puede ser tanto simétrica como asimétrica, siendo la distribución asimétrica la que determina mejor sus intensidades luminosas por medio de las curvas isocandelas como se representa en la figura.

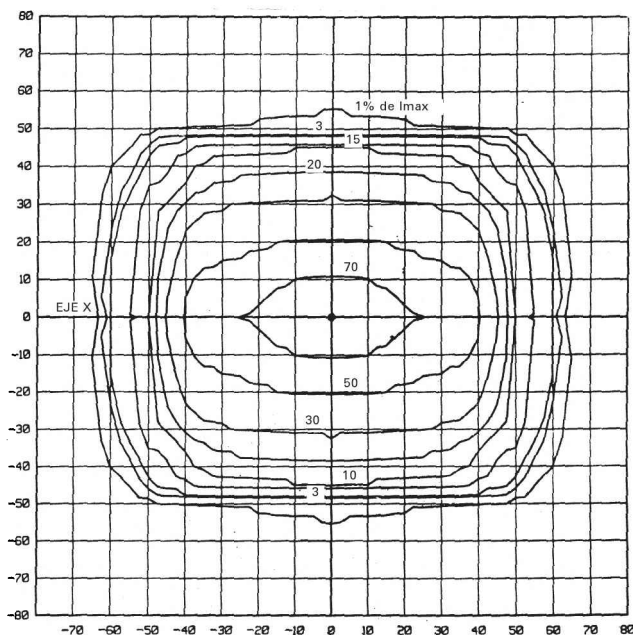


Figura 6.61. Curvas isocandelas de un proyector de haz estrecho.

6.5.3. Cálculo de un alumbrado por proyección

Para poder realizar el cálculo de un alumbrado por proyección, el primer punto a tener en consideración es el de recopilar para cada clase de alumbrado los siguientes datos:

- Planos.
- Posibilidad de emplazamiento de los proyectores.
- Alrededores de la zona a iluminar.
- Horas de encendido.
- Efectos de color.
- Sombras.
- Contrastes.
- Deslumbramientos.
- Etcétera.

los cuales permitirán fijar la iluminancia a obtener y determinar el tipo de proyector a utilizar.

El cálculo más sencillo y rápido a utilizar en el alumbrado por proyectores es el que se basa en el método de «lúmenes del haz», respecto del cual se determina el número de proyectores necesarios mediante la siguiente fórmula:

$$N = \frac{E_m \cdot A}{\phi_p \cdot C_u \cdot f_c}$$

donde:

- N = Número de proyectores necesarios.
- E_m = Iluminancia media (lux).
- A = Superficie a iluminar, en m^2 .
- ϕ_p = Lúmenes del haz del proyector.
- C_u = Coeficiente de utilización del haz.
- f_c = Factor de conservación de la instalación.

- La iluminancia media (E_m) se determina para cada clase de alumbrado de acuerdo con los valores recomendados por la IES (USA), y que figuran en la siguiente tabla:

Tabla 6.16. Iluminancias recomendadas para alumbrado exterior (para mayor información consultar el proyecto de norma europea pr EN12464 y normas UNE referidas a instalaciones deportivas)

	lux
Anuncios, carteles	
Con los alrededores brillantes	
Superficies claras	500
Superficies oscuras	1.000
Con los alrededores oscuros	
Superficies claras	200
Superficies oscuras	500
Aparcamientos	
No vigilado	10
Vigilado	20
Astilleros	
General	50
Caminos	100
Áreas de fabricación	300

	lux
Banderas (ver anuncios)	
Canteras, minas al descubierto	50
Construcción , trabajos de edificios	100
Excavaciones	20
Obras públicas (puentes, carreteras)	50/100
Depósitos de carbón y similares	
Alumbrado de protección	2
Depósitos de mercancías a la intemperie	
Gran movimiento	200
Edificios y monumentos	
Con los alrededores brillantes:	
Superficies claras	150
Superficies medio claras	200
Superficies medio oscuras	300
Superficies oscuras	500
Con los alrededores oscuros:	
Superficies claras	50
Superficies medio claras	100
Superficies medio oscuras	150
Superficies oscuras	200
Exteriores de edificios	
Accesos:	
Activos (peatones y/o vehículos)	50
Inactivos (de uso poco frecuente)	10
Localizaciones visuales y estructuras	50
Alrededores próximos a edificios	10
Alrededores alejados inactivos	2
Vallas o límites	2
Ferrocarriles	
Muelles de carga y descarga	50
Zonas de recepción y espera	10
Zonas de clasificación	20
Zonas de enganche	20
Torre de control (vertical)	100
Subestación (vertical y horizontal)	20
Granjas	
Áreas inactivas, alumbrado protector	2
Áreas activas	10
Zonas de almacenaje	30
Jardines	
Alumbrado general	5
Fondos decorativos (vallas, árboles)	20
Rosaledas	50
Puntos importantes de confluencia	100
Muelles	
Cargamentos	200
Alrededores zona de embarque	50
Pasajeros	200
Patios de almacenaje	
Activos	200
Inactivos	100
DEPORTIVO	
Baloncesto	
Amistoso	100
Balonvolea	
Competición	200
Entrenamiento	100

	lux
Boxeo	
Campeonatos	5000
Profesional	2000
Aficionados	1000
Frontón	
Club	200
Entrenamiento	100
Fútbol	
1.ª División	1000
2.ª División	500
3.ª División	300
Torneos juveniles	200
Entrenamiento	100
Golf	
En los «Tees»	100
A 180 metros	50
Piscinas	
Alumbrado de superficie	100
Pistas de patinaje sobre hielo	
Pistas de competición	50
Estanques o lagos	10
Tenis. Una pista	
Campeonato	300
Club	200
Entrenamiento	100
Tenis. Dos pistas	
Club	200
Entrenamiento	100
Tiro con arco	
Competición	100
Entrenamiento	50
Tiro de pichón	
Sobre el blanco	300
En el punto de fuego	100
Tiro al plato	
Sobre el blanco	300
En el puesto del tirador	100

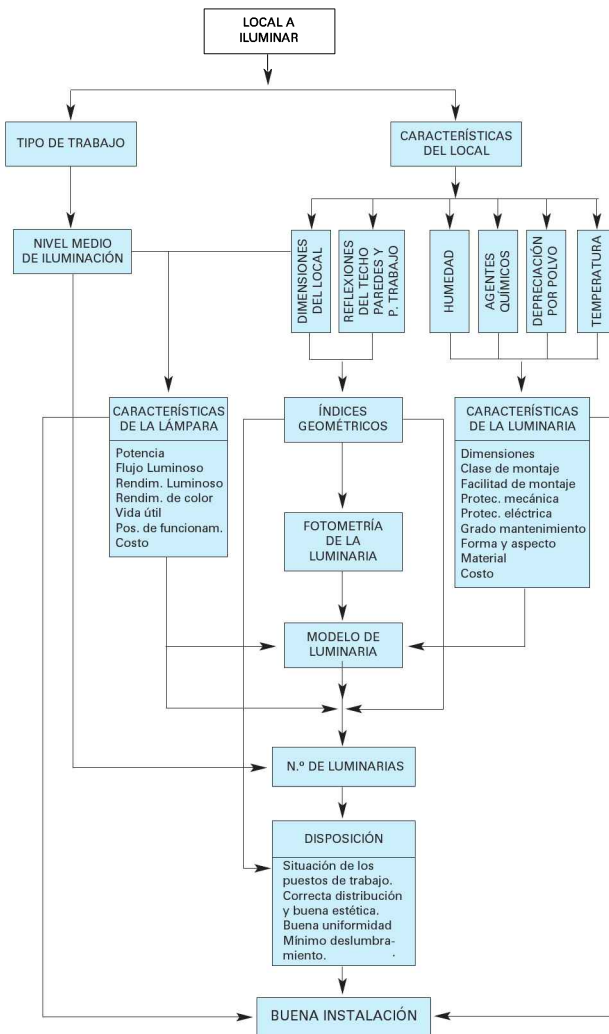
- Los lúmenes del haz del proyector (ϕ_p) corresponden al flujo luminoso útil y que es igual al producto de los lúmenes de la lámpara por la eficacia o rendimiento del proyector. Este dato normalmente lo facilita el fabricante del proyector.
- El coeficiente de utilización del haz (C_u) viene dado por la relación entre los lúmenes que inciden sobre la superficie a iluminar y los lúmenes del haz. Este coeficiente representa, por tanto, la utilización de los rayos luminosos que emite el proyector desde su emplazamiento y que se encuentra orientado en una determinada dirección, variando su valor con distintos emplazamientos y direcciones.

Normalmente debe estar comprendido entre 0,60 y 0,90. Si por cualquier circunstancia resulta inferior a 0,60 habría que seleccionar un proyector con un haz más concentrador o disminuir su distancia de emplazamiento, y si por el contrario es superior a 0,90 se elegiría un proyector menos concentrador o se ampliaría la distancia de emplazamiento.

- El factor de conservación (f_c) oscila entre 0,65 para proyectores abiertos y 0,75 para proyectores cerrados, pudiéndose aplicar factores más bajos cuando la conservación del proyector no se realice en las debidas condiciones.

6.6 Ejemplos de cálculo

En el siguiente esquema se representan los diferentes pasos a seguir para conseguir una buena instalación en un local pre-determinado.



Esquema 6.1.

A continuación se reproducen diferentes ejemplos de cálculo de iluminación facilitados por una empresa fabricante de luminarias y equipos para iluminación.

6.6.1. Oficina comercial

Se pretende iluminar un local que se dedicará a oficina comercial.

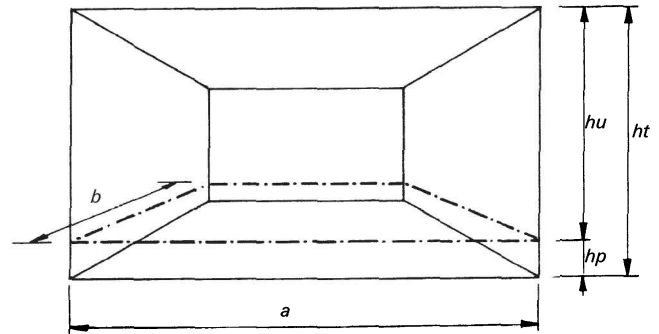


Figura 6.62. Oficina comercial.

Dimensiones de la nave:

- $a = 10$ m
- $b = 20$ m
- $h = 2$ m (altura útil)

Plano de trabajo a 0,60 m del suelo.

Factores de reflexión.

Para poder determinar estos factores se ha realizado muestreo comparativo con la tabla correspondiente, resultando:

- Techo = 70%
- Paredes = 50%
- Plano útil = 30% (en este caso se considera al plano de trabajo).

Tipo de lámpara.

Teniendo en cuenta las características del local y el trabajo a realizar, se considera como la solución más idónea el utilizar lámparas de fluorescencia de 36 W con una temperatura de color de 4.200 K e índice de rendimiento de color Ra 66.

Tipo de luminaria.

Según las características propias del local del tipo de lámpara elegida, utilizaremos una luminaria con difusor polarizante, con un rendimiento total del 52,2%.

Nivel medio de iluminación en servicio.

$E_{ms} = 500$ lux (según tabla).

Factor de conservación.

Teniendo en cuenta el sistema de mantenimiento que se empleará, consideramos un $f_c = 0,70$.

Índices geométricos.

Existen tres tipos de índices en función de las características del local:

a) Índice del local

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

$$K = \frac{10 \times 20}{2 \cdot (10 + 20)} = 3,33$$

b) Índice de malla

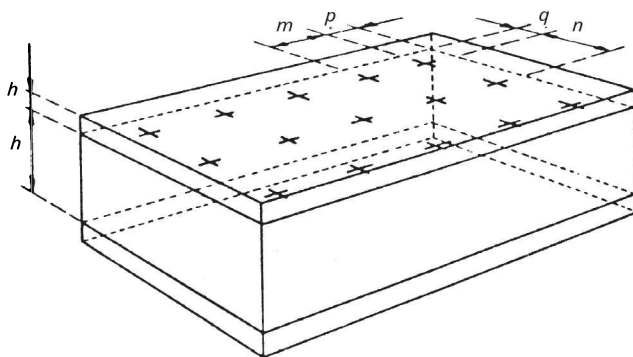


Figura 6.63. Índices geométricos.

$$K_m = \frac{2m \times n}{h \cdot (m + n)}$$

c) Índice de proximidad

$$K_p = \frac{ap \times bp}{h \cdot (a + b)}$$

Los índices de malla y proximidad se han establecido a priori en las tablas, por lo que una vez calculado el número de luminarias y replanteadas, comprobaremos por medio de estas fórmulas que el K_m y K_p se aproximan a los establecidos, por lo que veremos si los cálculos realizados se pueden considerar correctos.

Factor de suspensión.

$$J = \frac{h'}{h + h'}$$

$$J = \frac{0}{2 + 0} = 0$$

Coefficiente de utilización.

Este coeficiente se obtiene de las tablas de luminancias con ayuda de los datos que poseemos de luminaria, factores de reflexión e índice del local.

Por la fórmula fundamental de la iluminación y con los datos que hemos obtenido, tenemos que:

$$E_{ms} = \frac{\phi \cdot N \cdot \eta \cdot u \cdot fc}{A}$$

donde:

- E_{ms} = Iluminancia media en servicio = 500 lux.
- ϕ = Flujo luminoso unitario, lámpara 36 W fluorescencia (4.200 K; Ra = 66) = 3.200 lm.
- N = Número de lámparas = A determinar.
- η = Rendimiento de la luminaria elegida = 0,52.
- u = Utilancia de la instalación = 1,04.
- fc = Factor de conservación = 0,70.
- A = Superficie a iluminar = $20 \times 10 = 200 \text{ m}^2$.

despejando N y sustituyendo tenemos que:

$$N = \frac{500 \times 200}{3.200 \times 0,522 \times 1,04 \times 0,70} = 82 \text{ lámparas}$$

por distribución replantearémos 21 luminarias.

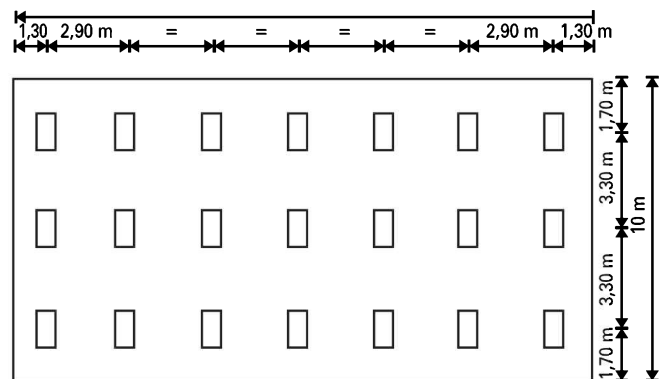


Figura 6.64. Distribución de luminarias.

Como hemos indicado anteriormente, y para ver si los cálculos obtenidos han sido correctos, comprobaremos el índice de malla y proximidad.

Índice de malla:

$$K_m = \frac{2m \times n}{h(m + n)} = \frac{2 \times 290 \times 3,30}{2 \times (2,90 + 3,30)} = 1,54$$

Índice de proximidad:

$$K_p = \frac{ap + bq}{h(a + b)} = \frac{10 \times 1,30 + 20 \times 1,70}{2 \times (10 + 20)} = 0,78$$

Una vez realizados estos cálculos comprobamos que se aproximan a los establecidos a priori en la tabla correspondiente; por tanto, podemos considerar definitivamente que dichos cálculos son correctos.

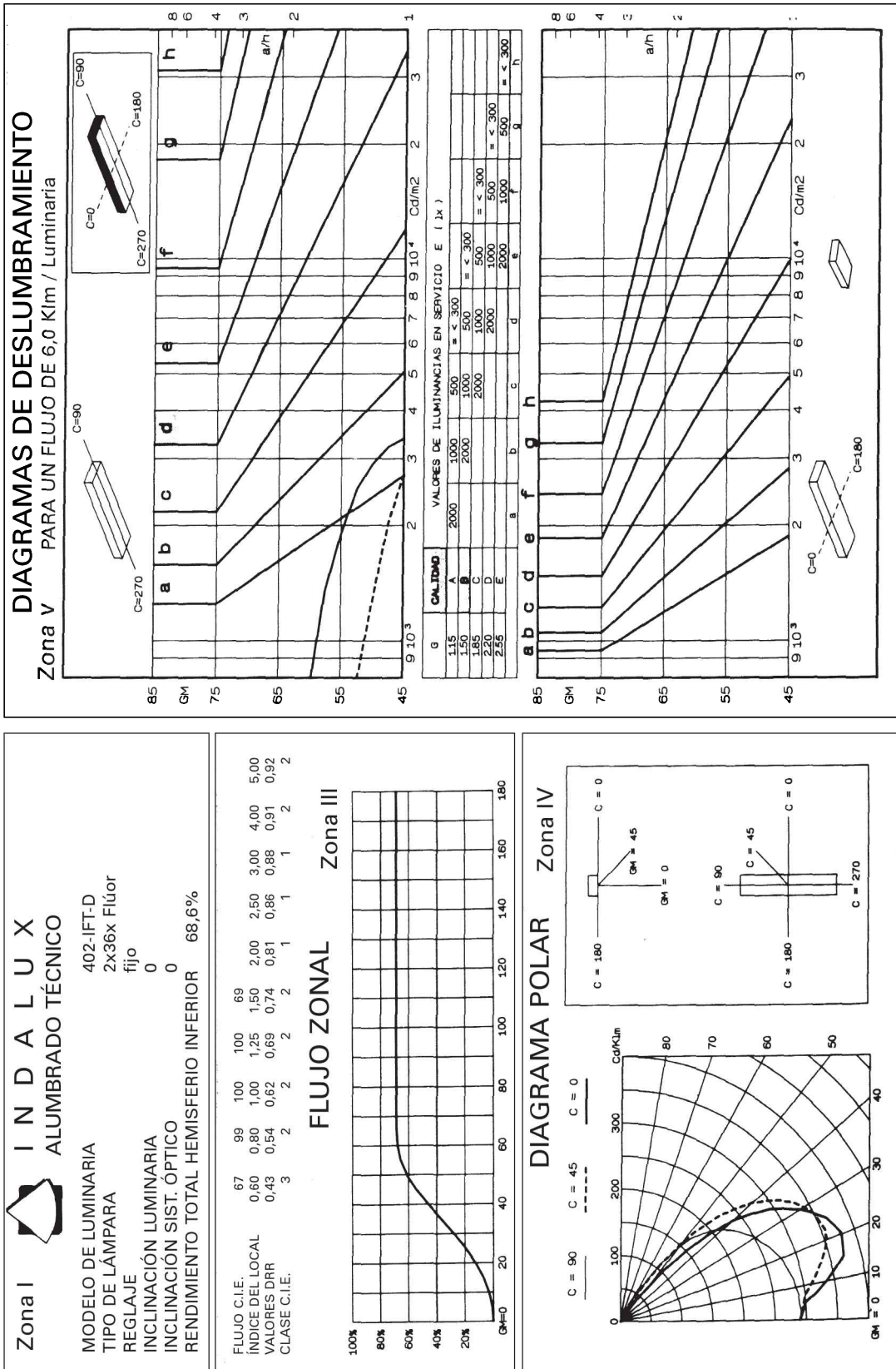


Figura 6.65. Diagramas zonal, polar y de deslumbramiento.

6.6.2. Nave de un taller de matricería

Se pretende iluminar una nave que se dedicará a taller de matricería:

Dimensiones de la nave:

$$a = 20 \text{ m}$$

$$b = 40 \text{ m}$$

$$h = 5 \text{ m (altura útil)}$$

Plano de trabajo a 1 m del suelo.

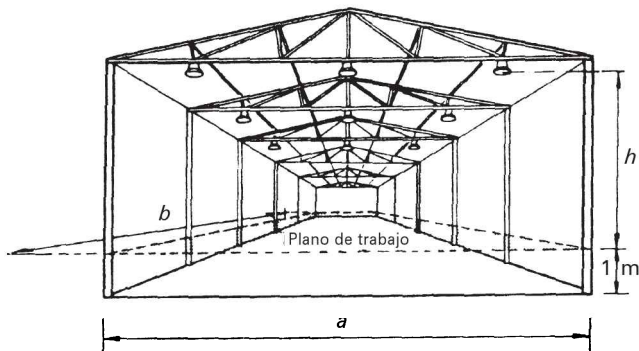


Figura 6.66. Plano del taller de matricería.

Factores de reflexión.

Para poder determinar estos factores se ha realizado muestreo comparativo con la tabla correspondiente, resultando:

$$\text{Techo} = 50\%$$

$$\text{Paredes} = 30\%$$

$$\text{Plano útil} = 10\% \text{ (en este caso se considera al plano de trabajo).}$$

Tipo de lámpara.

Teniendo en cuenta las características de la nave y el trabajo a realizar, se considera como la solución más idónea el utilizar lámparas de Vapor de Mercurio color corregido de 400 W.

Tipo de luminaria.

Según las características propias de la nave y el tipo de lámpara elegida, utilizaremos la luminaria de modo que, aplicando un reglaje de 80 mm, obtenemos una luminaria de clase «C» con un rendimiento total del 72,2%.

Nivel medio de iluminación en servicio:

$$E_{ms} = 600 \text{ lux (según tabla)}$$

Factor de conservación.

Teniendo en cuenta el sistema de mantenimiento que se empleará, consideramos un $fc = 0,70$.

Índices geométricos.

Existen tres tipos de índices en función de las características de la nave:

a) Índice del local I

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

$$K = \frac{20 \times 40}{5(20 + 40)} = 2,66 \text{ m}$$

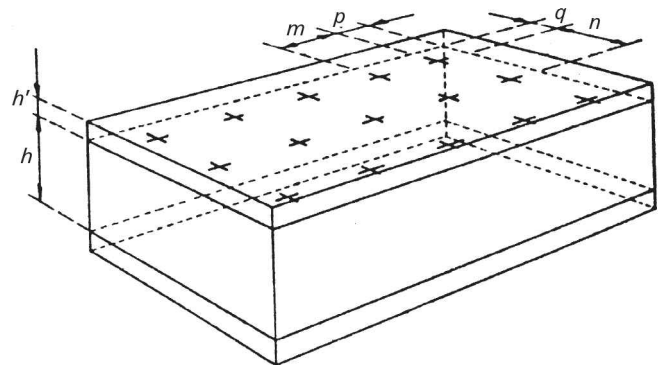


Figura 6.67. Índice geométricos.

b) Índice de malla

$$K_m = \frac{2m \times n}{h \cdot (m + n)}$$

c) Índice de proximidad

$$K_p = \frac{ap + bq}{h \cdot (a + b)}$$

Los índices de malla y proximidad se han establecido a priori en las tablas, por lo que una vez calculado el número de luminarias y replanteadas, comprobaremos por medio de estas fórmulas que el K_m y K_p se aproximan a los establecidos, por lo que veremos si los cálculos realizados se pueden considerar correctos.

Factor de suspensión:

$$J = \frac{h'}{h + h'}$$

$$J = \frac{0}{5 + 0} = 0$$

Coefficiente de utilización.

Este coeficiente se obtiene de las tablas de utilancias con ayuda de los datos que poseemos de la luminaria, factores de reflexión e índice del local.

En este caso resulta ser $u = 0,86$.

Por la fórmula fundamental de la iluminación los datos que hemos obtenido:

$$E_{ms} = \frac{\phi \cdot N \cdot \eta \cdot u \cdot fc}{A}$$

donde:

- E_{ms} = Iluminancia media en servicio = 600 lux.
- ϕ = Flujo luminoso unitario, lámpara 400 W.MCC = 23.000 lm.
- N = Número de lámparas = A determinar.
- η = Rendimiento de la luminaria elegida = 0,722.
- u = Utilancia de la instalación = 0,86.
- fc = Factor de conservación = 0,70.
- A = Superficie a iluminar = $40 \times 20 = 800 \text{ m}^2$.

despejando N y sustituyendo tenemos que:

$$N = \frac{600 \times 800}{23.000 \times 0,722 \times 0,86 \times 0,70} = 48 \text{ lámparas}$$

$$\text{El n.º de luminarias} = \frac{\text{N.º de lámparas}}{1} = \frac{48}{1} = 48 \text{ lumin.}$$

por distribución replantearíamos 50 luminarias.

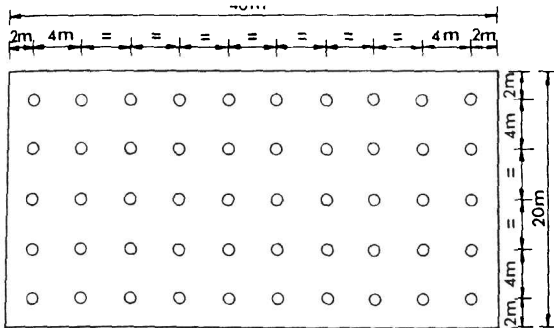


Figura 6.68. Distribución de luminarias.

Como hemos indicado anteriormente, y para ver si los cálculos obtenidos han sido correctos, comprobaremos el índice de malla y proximidad.

Índice de malla:

$$K_m = \frac{2m \times n}{h \cdot (m + n)} = \frac{2 \times 4 \times 4}{5 \times (4 + 4)} = 0,80$$

Índice de proximidad:

$$K_p = \frac{ap + bq}{h \cdot (a + b)} = \frac{20 \times 2 + 40 \times 2}{5 \times (20 + 40)} = 0,40$$

Una vez realizados estos cálculos comprobamos que se aproximan a los establecidos a priori en la tabla correspondiente; por tanto, podemos considerar definitivamente que dichos cálculos son correctos.

6.6.3. Iluminación con proyectores

La realización de un proyecto de este tipo de iluminación lleva implícito un alto número de cálculos repetitivos, y como consecuencia de ello, un dilatado tiempo de desarrollo, por lo que la forma más lógica de realizarlo es mediante la utilización de un ordenador.

Con independencia del método que se escoja, deberemos tener en cuenta lo siguiente:

- 1) Características geométricas de la zona a iluminar:
Ancho (a) = 40 m
Longitud (b) = 60 m
- 2) Definición del montaje de los proyectores.

Teniendo en cuenta el área de trabajo, la forma más lógica de implantación es situar columnas con varios proyectores; considerando las dimensiones, se puede establecer la siguiente disposición de las columnas:

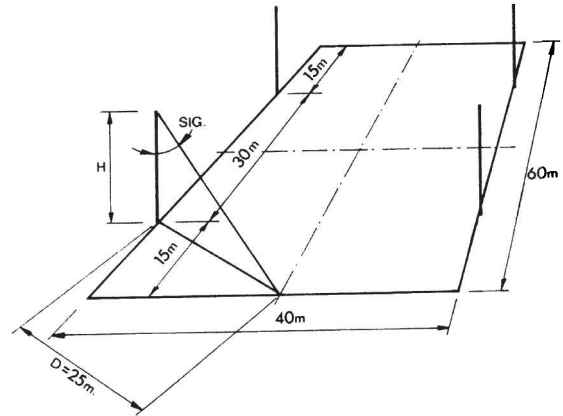


Figura 6.69. Disposición de las columnas para los proyectores.

Como podemos ver en el esquema, la distancia máxima que tiene que cubrir cada proyector es de 25 m. Si tenemos en cuenta que la C.I.E. establece que el ángulo máximo de inclinación (SIG) para evitar el deslumbramiento directo es de 70° podemos establecer que la altura de montaje recomendada es:

$$H = D / \tan \cdot 70^\circ = 25 / 2,73 = 9 \text{ m}$$

Una vez que se ha realizado la disposición de columnas y se ha definido la altura de éstas, procedemos a desarrollar los cálculos.

3) Mediante el cuadro I obtenemos que para el tipo de actividad a desarrollar (zona de almacenamiento de contenedores), tenemos:

$$\text{Nivel medio de iluminancia en servicio } E_{ms} = 25 \text{ lux.}$$

4) Para el alumbrado con proyectores lo más adecuado es utilizar lámparas de descarga; dentro de la gama existente en el mercado, desde el punto de vista cromático y de rendimiento luminoso, podemos establecer lo siguiente:

- Áreas de trabajo que no precisen reproducción de color S.A.P.
- Áreas de trabajo que precisen una buena reproducción de color H. M.
- Instalaciones deportivas para utilización de entrenamiento..... S.A.P. o H.M.
- Instalaciones deportivas para utilización de competición o retransmisión de TV..... H. M.

En el caso que nos ocupa, el tipo de lámpara más adecuada es S.A.P., y como este tipo de lámpara tiene una gama de potencias que va desde 50 W a 1.000 W, con una correspondencia de flujo luminoso de 4.000 a 130.000 lm, lo lógico, teniendo en cuenta el nivel medio en servicio requerido por la instalación, es emplear la potencia de 250 W (27.000 lm).

5) Una vez definido el tipo de lámpara tenemos que determinar el proyector a utilizar; para ello hay que tener en cuenta el aspecto fotométrico, el cual en este caso nos indica que, por ser requerido un nivel medio de iluminación bajo y una altura de montaje de 9 m, lo más lógico es emplear un proyector de reparto dispersor.

En la documentación fotométrica que se realiza para el tipo de luminarias, la C.I.E. establece lo referenciado en la documentación que podemos ver en el diagrama cartesiano, a excepción de lo marcado en la ZONA I.

A su vez, en la ZONA II encontramos la intensidad máxima y el 50% de la misma, la superficie máxima expuesta al viento y la superficie de emisión. Mediante la altura del haz del eje horizontal (X-O-X) y el vertical (Y-O-Y) que obtienen al 50% de la intensidad máxima, la C.I.E. establece la clase de este tipo de luminarias, de concentradoras a dispersoras, refiriéndolas de 1 a 10 respectivamente. Si el proyector es axialmente simétrico, los dos valores serán iguales, pero si no es así, el número será distinto para el eje horizontal y para el vertical.

En la ZONA III tenemos el diagrama cartesiano en que se puede ver la representación gráfica del plano horizontal y vertical del proyector, apreciándose gráficamente lo dispersor o concentrador que es.

La ZONA IV es el diagrama isocandela, en el que podemos comprobar el reparto del proyector en intensidades de los distintos planos y ángulos.

La ZONA V tiene representado un esquema que nos permite identificar claramente cuál es el eje X y cuál es el eje Y, que, como se puede apreciar, corresponden respectivamente al plano horizontal y al vertical.

Una vez vistas diferentes documentaciones fotométricas, para el caso que nos ocupa, seleccionamos el proyector con lámpara de 250 W S.A.P. tubular, de donde obtenemos los siguientes datos:

- I_{max} (intensidad máxima) = 580 cd/1.000 lm.
- $I_{max}/2$ (intensidad máxima al 50%) = 290 cd/1.000 lm.
- Apertura total del haz

En el plano X-O-X = $2 \times 40,2$

En el plano Y-O-Y = $2 \times 27,8$

CLASE C.I.E. = 5×4

6) El nivel establecido de 25 lux es en servicio y, por tanto, el valor inicial hay que afectarle por un coeficiente de depreciación.

En términos generales, se pueden establecer los siguientes coeficientes de depreciación en función del ambiente de trabajo:

- Zonas industriales: 0,70.
- Zonas de aparcamiento, almacenaje, etc.: 0,75.
- Zonas deportivas (según utilización): 0,80-0,95.

El caso que nos ocupa podemos encuadrarlo en una depreciación de 0,75. Este factor se denomina también factor de mantenimiento.

7) Una vez definidos todos los conceptos básicos, lo lógico sería seguir desarrollando el proyecto mediante un sistema informativo que realizará el cálculo punto por punto, en una retícula predefinida y con la influencia que aporta cada proyector en cada punto, obteniendo los valores de iluminancia mínima, media y máxima, así como los valores de uniformidad correspondientes a la zona de estudio.

Si se pretendiera realizar el cálculo de forma manual, el tiempo de desarrollo sería muy largo y la precisión, bastante relativa.

Lo que sí podemos hacer de forma rápida es definir aproximadamente el número de proyectores que requiere una instalación, mediante la fórmula fundamental de la iluminación, que establece:

$$Ems = \phi \cdot N \cdot \eta \cdot CBU \cdot fm / A$$

en la cual:

- Ems (iluminancia media en servicio) = 25 lux.
- ϕ (flujo luminoso unitario lámpara 250 W S.A.P. tubular) = 27.000 lm.
- N (número de lámparas) = a determinar.
- η (rendimiento del proyector) = 66,6%.
- CBU (rendimiento de la instalación, debe estar entre 0,6 y 0,9 según C.I.E.) = por estimación práctica.
- fm (factor de mantenimiento) = 0,75.
- A (superficie a iluminar a b) = 2.400 m²

Despejando de (1):

$$N = Ems \cdot S / \phi \cdot \eta \cdot CBU \cdot fm$$

$$N = 25 \times 2.400 / 27.000 \times 0,666 \times 0,60 \times 0,75 = 7,4$$

El número de proyectores es:

$$N1 = N / 1 = 7,4 / 1 = 7,4$$

Por distribución tomamos 8 proyectores.

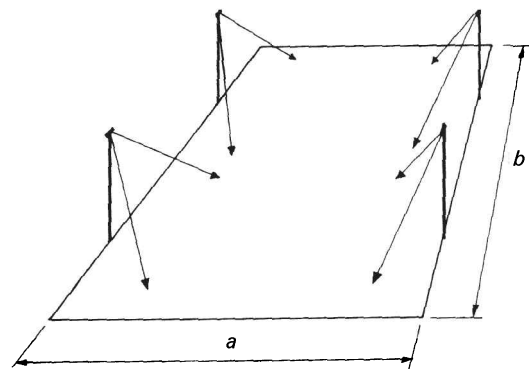


Figura 6.70. Distribución de proyectores.

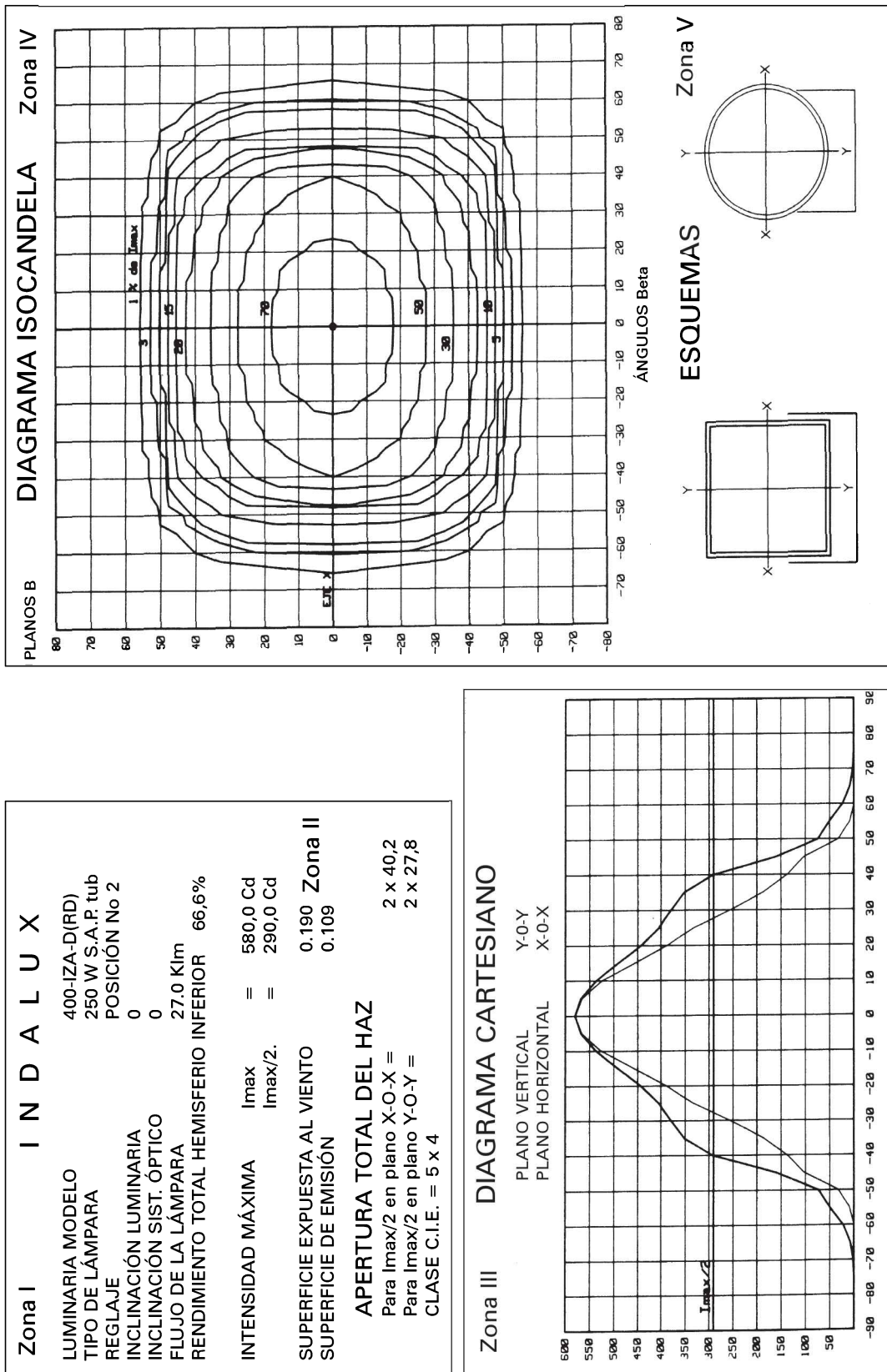


Figura 6.71. Diagrama cartesiano, Isocandela y esquemas.

Siendo la iluminancia media en servicio realmente obtenida de 27 lux.

Como recomendaciones se incluye una tabla de niveles de iluminación, según tipo de actividad para proyectores.

Tabla 6.18. Niveles de iluminación según tipo de actividad para proyectores

Zona de vigilancia	5	0.15
Zonas de almacenamiento	10	0.15
Zonas de contenedores, muelles	25	0.20
Zonas de plantas químicas, eléctricas	50	0.25
Zonas de trabajo normal	100	0.30
Zonas de trabajo que requieren detalle	200	0.50
Actividades deportivas: Entrenamiento	200 H	0.50
Actividades deportivas: Competición	500 H	0.50
Actividades deportivas: Retransmisión TV	1.200 V	0.50

a partir de las recomendaciones establecidas por la C.I.E. para niveles de iluminancia, luminancia y uniformidades.

1) Las características geométricas de la zona objeto del estudio son:

A (ancho de calzada) = 9 m

a (ancho de acera) = 2×3 m

L (longitud zona de estudio) = 1.000 m

P (posición de columna) = 0,60 m

R (tipo de calzada C.I.E.) = R3

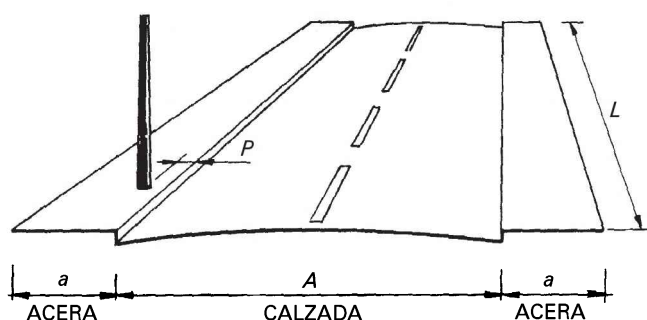


Figura 6.72. Características geométricas de la zona objeto del estudio.

6.6.4. Alumbrado viario y decorativo urbano

El estudio de alumbrado se realizará para una vía pública de alta densidad de tráfico rodado. Las características se definirán

2) Con las características de la zona a iluminar, y de acuerdo con la Tabla 6.19, podemos establecer que la categoría de la calzada es la «B» y que de acuerdo con la Tabla 6.20, las características requeridas, que se obtienen de la tabla, son:

Tabla 6.19. Clasificación de las calzadas

TRÁFICO MOTORIZADO	A	TRÁFICO MOTORIZADO PESADO Y DE GRAN VELOCIDAD.	CALZADA CON CARRILES SEPARADOS COMPLETAMENTE LIBRE DE CRUCES A NIVEL. ACCESOS TOTALMENTE CONTROLADOS.	AUTOPISTA. AUTOVÍA.
	B		CARRETERA IMPORTANTE PARA TRÁFICO MOTORIZADO, POSIBLEMENTE CON CARRILES SEPARADOS PARA TRÁFICO LENTO O PEATONES.	CARRETERAS INTERURBANAS. CARRETERAS PRINCIPALES.
	C			CARRETERAS DE CIRCUNVALACIÓN.
		TRÁFICO MOTORIZADO PESADO O MIXTO Y DE VELOCIDAD MODERADA.	CARRETERAS URBANAS O RURALES IMPORTANTES Y DE TODO USO.	CARRETERAS SECUNDARIAS.
TRÁFICO MIXTO	D	TRÁFICO MIXTO DE IMPORTANCIA, CON MAYOR PROPORCIÓN DE TRÁFICO LENTO O PEATONAL.	CALLES EN CIUDADES O CENTROS COMERCIALES, DE ACCESO A EDIFICIOS, ETC., DONDE EL TRÁFICO MOTORIZADO SE UNE AL PESADO, LENTO O PEATONAL.	CARRETERAS INTERURBANAS. CALLES COMERCIALES.
	E	TRÁFICO MIXTO CON LÍMITE DE VELOCIDAD Y DENSIDAD MODERADA.	CARRETERAS DE UNIÓN ENTRE ZONAS RESIDENCIALES Y DE TIPOS «A» HASTA «D».	CARRETERAS DE ACCESO. CALLES URBANAS.

Tabla 6.20. Niveles y uniformidades de las instalaciones

CATEGORÍA	ALREDEDORES	NIVEL DE LUMINANCIA	COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD		CONTROL DE DESLUMBRAMIENTO	
		LUMINANCIA MEDIA EN LA SUPERFICIE DE LA CALZADA L_{AV} (cd/m ²) >	UNIFORMIDAD GLOBAL U_o >	UNIFORMIDAD LONGITUDINAL U_l >	ÍNDICE DE CONTROL DE DESLUMBRAMIENTO G >	INCREMENTO DE UMBRAL TI (%) <
A	CUALQUIERA	8	0,48	0,70	6	10
B	1 CLAROS	2	0,40	0,70	5	10
	2 OSCUROS	1			6	10
C	1 CLAROS	2	0,40	0,50	5	20
	2 OSCUROS	1			6	10
D	CLAROS	2	0,40	0,50	4	20
E	1 CLAROS	1	0,40	0,50	4	20
	2 OSCUROS	0,5			5	20

Categoría B1.

Tipo de entorno «claro».

Nivel de luminancia media en servicio: 2 cd/m².

Coefficiente de uniformidad global: 0,40.

Coefficiente de uniformidad longitudinal: 0,70.

Control de deslumbramiento G = 5.

Podemos establecer que para una calzada tipo R3 y para un nivel medio de luminancia 2 cd/m², según la Tabla 6.21, el nivel medio de iluminancia requerida será de aproximadamente 38 lux, si la luminaria corresponde al tipo cut-off.

Tabla 6.21. Nivel medio de luminancia y de iluminancia

Tipo de calzada	Tipo de luminaria	Nivel medio de luminancia			Nivel medio de iluminancia		
		1	2	3	1	2	3
R1 - R2	CUT-OFF	2	1	0,5	28	14	7
	SEMI CUT-OFF	2	1	0,5	20	10	5
R3 - R4	CUT-OFF	2	1	0,5	38	19	10
	SEMI CUT-OFF	2	1	0,5	28	14	7
C1	CUT-OFF	2	1	0,5	24	12	6
	SEMI CUT-OFF	2	1	0,5	16	8	4
C2	CUT-OFF	2	1	0,5	28	14	7
	SEMI CUT-OFF	2	1	0,5	20	10	5

3) El tipo de fuente luminosa más adecuado para el alumbrado viario y decorativo urbano es el vapor de sodio alta presión, por su alto rendimiento lúmenes/vatio y larga vida útil. En los casos en que se precise una mejor reproducción cromática, es aconsejable emplear lámparas de vapor de mercurio color corregido, y si el tiempo de utilización es reducido, y se precisase una óptima reproducción de color, se podrían utilizar lámparas de halogenuros metálicos.

En el caso que nos ocupa el tipo más adecuado a utilizar es:

- Lámparas de vapor de sodio de alta presión.
- Potencia de la lámpara: 250 W.
- Formato de la lámpara: tubular transparente.
- Flujo luminoso: 27.000 lm.

4) Una vez determinado el tipo de lámpara que se va a emplear podemos definir la altura de montaje más adecuada de acuerdo con la siguiente tabla, que en este caso resulta ser 10 m.

Tabla 6.22. Altura en función del flujo luminoso

de 20.000 a 40.000	de 10 a 12
más de 40.000	más de 12

5) Con las características geométricas de la zona objeto del estudio (9 metros de ancho de vía) y con el valor de la altura seleccionada en el punto anterior (10 metros), vamos a la siguiente tabla:

Tabla 6.23. Disposición de los puntos de luz según anchura de la vía y altura de las luminarias

Pareada	0,33	0,50
Axial	0,85	1

y obtenemos que la disposición recomendada para la instalación que nos ocupa es unilateral, pues la relación «ALTURA/ANCHURA» nos resulta $10/9 = 1,11$.

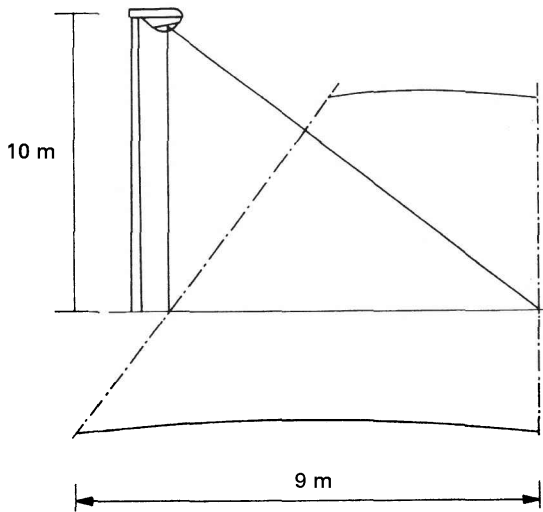


Figura 6.73. Relación altura-anchura.

6) Como los niveles medios de luminancia e iluminancia son en servicio, tenemos que aplicar un factor corrector (factor de mantenimiento), que el Ministerio Fomento establece en un valor de 0,70.

Tabla 6.24. Factor de mantenimiento

Media	0,68	0,70
Sucia	0,65	0,68

7) El paso siguiente sería desarrollar el proyecto mediante un sistema informático que efectuase el cálculo punto por punto, en una retícula predefinida y con la influencia que cada luminaria aporta en cada punto, obteniendo los valores de luminancia e iluminancia mínima, media y máxima, así como los valores de uniformidad y los valores que definen la calidad de la instalación.

En alguna ocasión podemos determinar cuál es la distancia requerida entre puntos de luz para una instalación dada, realizando los cálculos sin el apoyo de un equipo informático.

Para realizarlos hemos de partir de la documentación fotométrica correspondiente (ver los diagramas que se adjuntan), de acuerdo a la recomendación C.I.E. a excepción de la ZONA I, donde se reflejan los comentarios generales. En la ZONA II tenemos definidos los parámetros fotométricos que nos permiten obtener la «CLASIFICACIÓN FOTOMÉTRICA» de la luminaria.

En la ZONA III figura el diagrama que representa el plano longitudinal y transversal de la luminaria.

En la ZONA IV tenemos el diagrama polar que refleja el plano vertical principal o el que comúnmente conocemos como de máxima intensidad. En algunas luminarias el plano vertical principal coincide con el transversal representado en la ZONA III y, por tanto, se duplica la representación.

En la ZONA V está el diagrama polar con la superficie cónica principal, que es la representación gráfica de los valores en el ángulo gamma donde está el valor de máxima intensidad en cada uno de los planos «C».

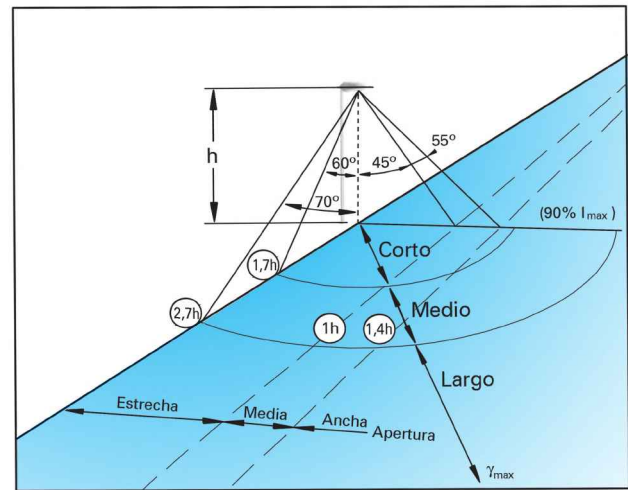


Figura 6.74. Grados de alcance y apertura definidos por la C.I.E., donde h es la altura de montaje de la luminaria.

En la ZONA VI tenemos la representación de un diagrama cartesiano donde puede verse la distribución de la luminaria en intensidades.

En la ZONA VII tenemos las curvas de isoluminancias y las curvas isolux, las cuales están con relación a la altura de montaje, es decir, $1h = a$ la altura de montaje. Los valores están referidos a porcentajes, con lo que para obtener el valor real se aplica la fórmula $L_{max} = fl \cdot \text{flujo} \cdot Q_o/h^2$ para luminancias y $E_{max} = fi \cdot \text{flujo}/h^2$ para iluminancias.

La ZONA VIII representa las curvas de rendimiento en luminancias y factor de utilización para iluminancias.

Estas curvas nos permiten realizar el «MÉTODO DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN», el cual establece:

$$L_m = \text{Flujo } f_u f_m Q_o / \text{interdistancia} \cdot \text{anchura de calzada}$$

$$E_m = \text{Flujo } f_u f_m / \text{interdistancia} \cdot \text{anchura de calzada}$$

despejando interdistancia, obtenemos:

$$\text{Interdistancia} = \text{Flujo } f_u f_m Q_o / L_m \text{ anchura de calzada}$$

$$\text{Interdistancia} = \text{Flujo } f_u f_m / E_m \text{ anchura de calzada}$$

En el caso que nos ocupa, tenemos que, para luminancias y para el observador B, la interdistancia será (véase ZONA VIII):

$$\text{Interdistancia: } 27.000 \times 0,29 \times 0,70 \times 0,07/2 \times 9 = 22 \text{ m}$$

Para el cálculo de iluminancias tenemos (véase ZONA VIII):

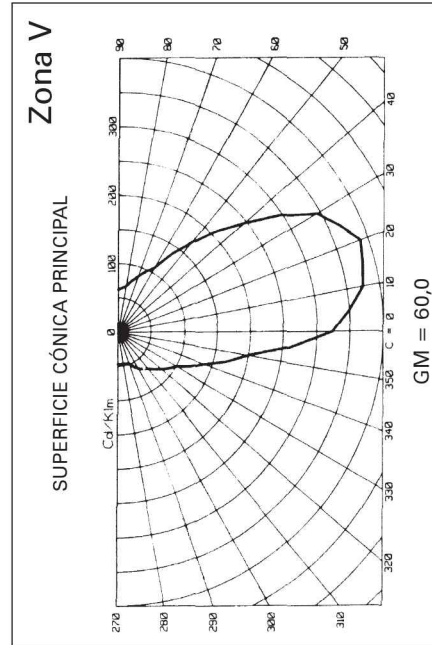
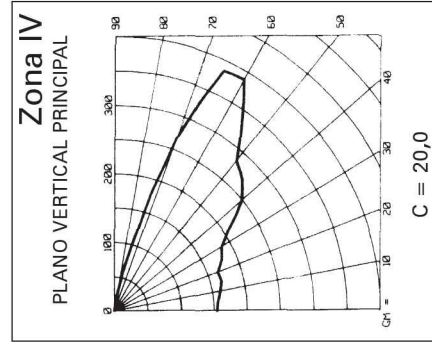
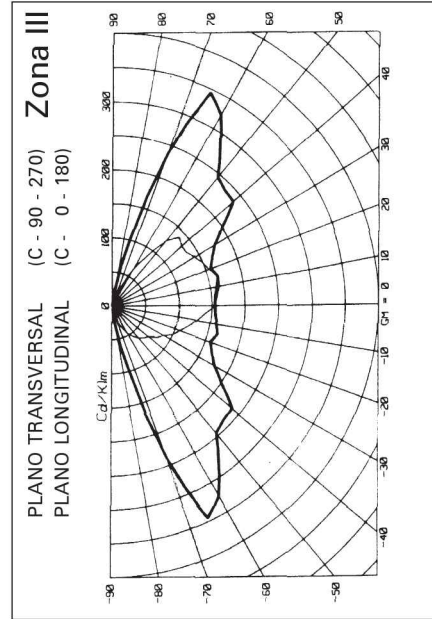
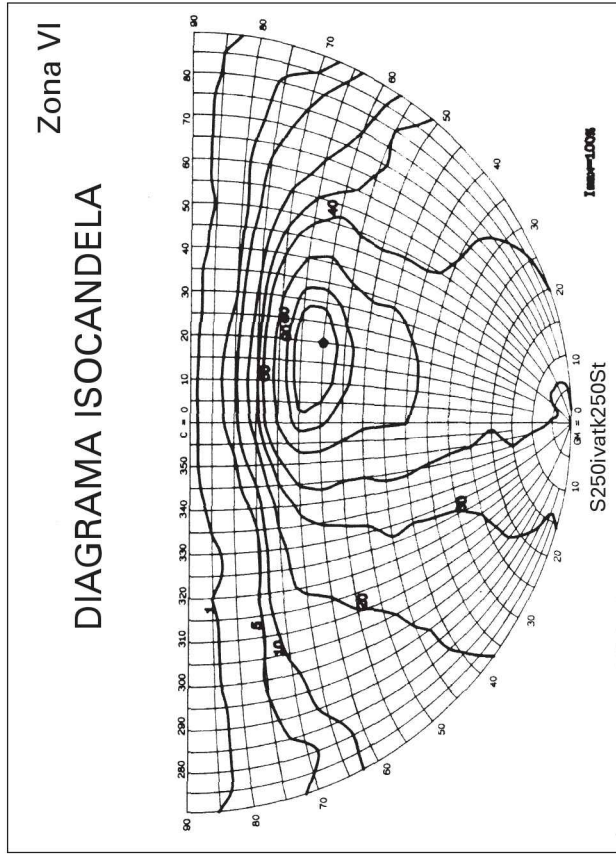
$$\text{Interdistancia} = 27.000 \times 0,33 \times 0,70/32 \times 9 = 22 \text{ m}$$

Como podemos comprobar, al calcular la interdistancia por luminancias o iluminancias, los resultados son prácticamente iguales.

El número de luminarias para la zona objeto del estudio es igual a:

$$N = (L/\text{interdistancia}) + 1 = (1.000/22) + 1 = 46 \text{ luminarias.}$$

	I N D A L U X Zona I	
	ALUMBRADO TÉCNICO	
LUMINARIA MODELO	250-iva-t-k	
TIPO DE LAMPARA	250 W S.A.P. t	
REGLAJE	posición 10	
INCLINACIÓN LUMINARIA	0	
INCLINACIÓN SIST. OPTICO	0	
RENDIMIENTO TOTAL HEMISFERIO INFERIOR	67,30%	
Zona II		
INTENSIDAD EN GM 80	28,00 Cd/Klm	
INTENSIDAD EN GM 90	1,00 Cd/Klm	
RELACION 180/188	6,67	
INTENSIDAD MÁXIMA	388,95 Cd/Klm	
FLUJO DE LA LAMPARA	27,00 Klm	
SUPERFICIE AL VIENTO	0,18 m ²	
SUPERFICIE APARENTE	0,07 m ²	
ÍNDICE ESPECÍFICO DE LA LUMINARIA	SLI = 3,94	
CLASIFICACIÓN FOTOMÉTRICA		
ALCANCE Intermedio	DISPERSIÓN Media	CONTROL Moderado
CLASE DE LUMINARIA	Cut-off	



DIAGRAMAS POLARES
(VALORES REFERIDOS A 1.000 lúmenes)

Figura 6.75. Documentación fotométrica.

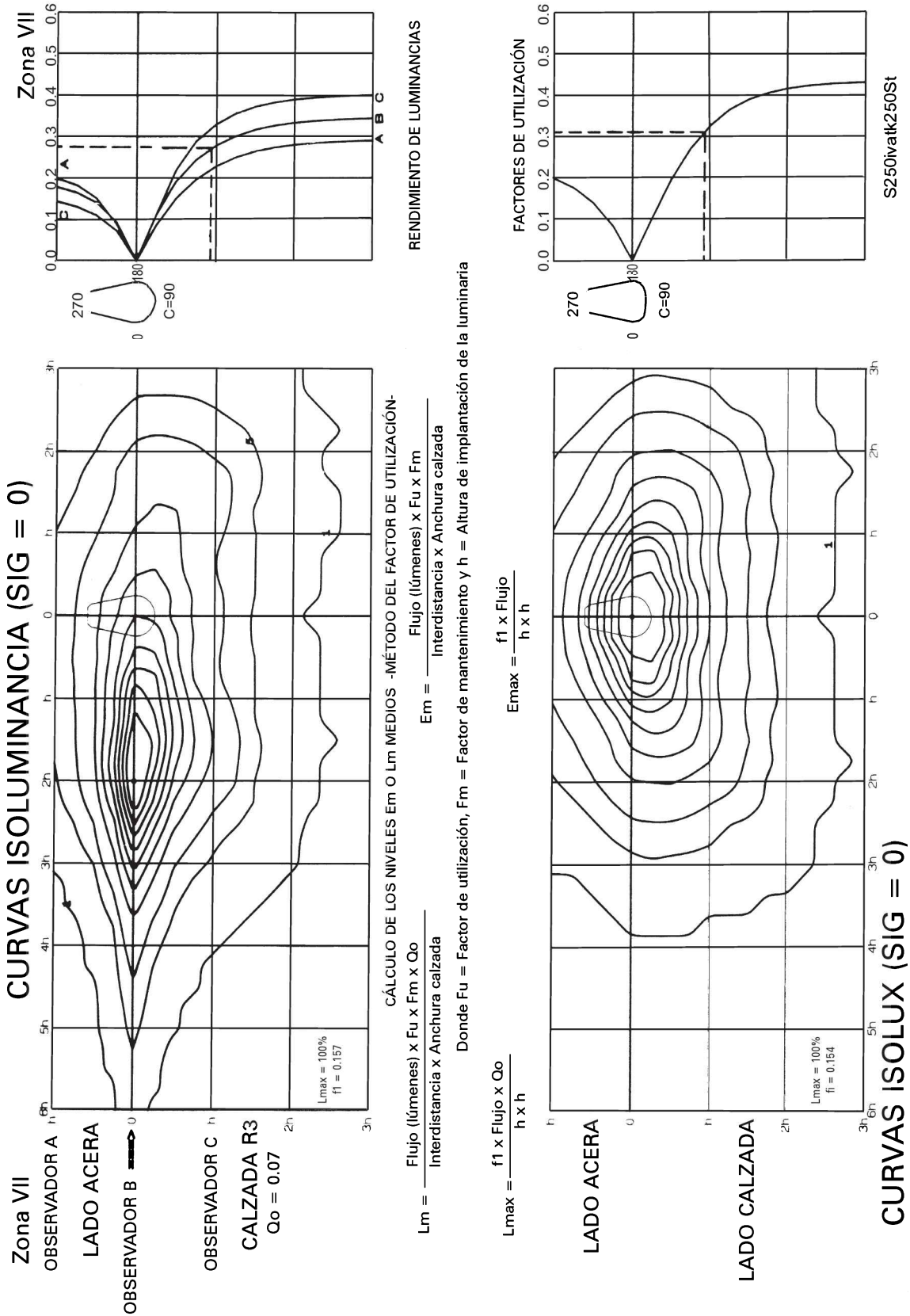


Figura 6.75. Documentación fotométrica.

- 6.1 Diferenciar entre manantial y fuentes de luz.
- 6.2 Definir el proceso de incandescencia.
- 6.3 Describir el ciclo del halógeno.
- 6.4 Decir las características de la luz láser.
- 6.5 ¿De qué material está hecho el luminóforo?
- 6.6 ¿Qué tipo de espectro presenta la lámpara de vapor de sodio de baja presión?
- 6.7 ¿Qué dificultad presenta la lámpara de vapor de sodio a alta presión?
- 6.8 ¿Qué se entiende por vida útil de una lámpara?
- 6.9 ¿Qué indica la temperatura de luz de una lámpara?
- 6.10 ¿Qué tipo de lámparas son las que necesitan un tiempo de reencendido largo?
- 6.11 Recopilar catálogos comerciales de las lámparas más comunes.
- 6.12 Realizar el montaje de una lámpara de V.M.C.C.
- 6.13 Realizar el montaje de una lámpara de H.M.
- 6.14 Realizar el montaje de una lámpara de V.S.A.P.
- 6.15 Realizar el montaje de dos lámparas fluorescentes de 58 W.

7

Medidas eléctricas

Introducción

En este capítulo se describen todos los aparatos de medida que se definen por una serie de características que los homologan y los habilitan como aparatos aptos para realizar medidas eléctricas.

Los aparatos deben medir todas las unidades y características que definen la electricidad, y al conjunto de estas mediciones se las conoce por el nombre de medidas eléctricas. Se hace un breve recorrido por los aparatos más utilizados haciendo hincapié en los contadores, aparatos y equipos de medida para medir el consumo de energía eléctrica.

Contenido

- 7.1. Características y clasificación de los aparatos de medida
 - 7.2. Clasificación de los aparatos de medida
 - 7.3. Características de la medición
 - 7.4. Alcance del aparato
 - 7.5. Sensibilidad del aparato
 - 7.6. Simbología de los aparatos de medida
 - 7.7. Aparatos de medida
 - 7.8. Analizadores de redes
 - 7.9. Algunas de las medidas a realizar en quirófano
- Actividades y prácticas propuestas

Objetivos

- ▶ Analizar los conceptos básicos de las medidas eléctricas.
- ▶ Describir los principales esquemas de conexión de los aparatos de medida.
- ▶ Seleccionar el aparato de medida adecuado según la magnitud a medir.
- ▶ Manipular los aparatos de medida en base a la seguridad y la exactitud.

7.1 Características y clasificación de los aparatos de medida

Todos los aparatos de medida se definen por una serie de características que los homologan y los habilitan como aparatos aptos para realizar medidas eléctricas.

Asimismo y en función de sus características existen una serie de clasificaciones que se desarrollan en este apartado.

7.1.1. Conceptos generales

En este apartado se van a enumerar una serie de definiciones o conceptos generales que afectan a todos o a parte de los aparatos de medidas eléctricas.

Dispositivo de medida.	Es el elemento móvil del aparato de medida.
Dispositivo indicador.	Elemento del sistema de medida, que está asociado a la escala e indica la posición del elemento móvil del aparato.
Escala.	Parte del aparato de medida compuesto por un conjunto de graduación o numeración donde se indica el valor de la magnitud medida por la aguja o índice.
Indicador analógico.	Es el aparato en el que la unidad a medir viene indicada por una aguja o un índice.
Indicador digital.	Es el aparato en el que la unidad a medir viene indicada por un número.
Medir una magnitud.	Es hallar el número de veces que la unidad de medida está contenida en la magnitud a medir.
Par antagonista.	Elemento del aparato de medida que se opone al par motor del aparato para evitar que el índice del aparato se desvíe fuera del margen de escala.
Sistema de cuadro móvil.	Sistema de medida que se basa en un imán permanente fijo que se ve influenciado por cuadros móviles recorridos por corrientes eléctricas.
Sistema de imán fijo y bobina.	Sistema de cuadro móvil.
Sistema de imán móvil.	Sistema de medida que se basa en una bobina fija recorrida por corriente eléctrica y un imán permanente móvil.

Sistema de inducción de tambor.	Sistemas de campo giratorio.
Sistema Ferrari.	Sistemas de campo giratorio.
Sistema ferromagnético.	Sistema de hierro móvil.
Sistema magnetoeléctrico.	Sistema de cuadro móvil.
Sistema bimetalico.	Sistema de medida que se basa en la diferente dilatación de dos metales de distinto coeficiente de dilatación.
Sistema de amortiguación.	Dispositivos que tienen los aparatos de medida para evitar el movimiento pendular.
Sistema de amortiguación.	Elemento del aparato de medida que se utiliza para que las partes móviles del aparato adopten rápidamente la posición definitiva.
Sistema de campo giratorio.	Sistema de medida que se basa en la inducción de un tambor de aluminio que gira libremente.
Sistema de hierro móvil.	Sistema de medida que se basa en el movimiento de una pieza móvil ferromagnética.
Sistema de inducción.	Sistema de medida que se basa en la acción de circuitos inductores fijos sobre las corrientes inducidas en piezas conductoras móviles.
Sistema electrodinámico.	Sistema de medida que se basa en las fuerzas de atracción o repulsión de dos conductores paralelo atravesados por corrientes eléctricas.
Sistema electrostático.	Sistema de medida que se basa en la influencia de fuerzas electrostáticas.
Sistema térmico.	Sistema de medida que se basa en la dilatación de los metales por el aumento de la temperatura.
Sistema térmico de hilo.	Sistema de medida que se basa en la dilatación de un hilo de metal.

7.2 Clasificación de los aparatos de medida

Los aparatos de medida se pueden dividir según varios criterios, como la tensión, la magnitud a medir, el principio de funcionamiento, etc., de los que destacamos:

Cuadro 7.1. Clasificación de los aparatos de medida.

Según la magnitud a medir.	Aparato de medida	Magnitud
	Voltímetro	Tensión o voltaje
	Amperímetro	Intensidad
	Vatímetro	Potencia
	Fasímetro	Desfase
	Ohmímetro	Resistencia
	Frecuencímetro	Frecuencia
	Contador	Energía - consumo
Según la clase de corriente.	Continua	
	Alterna	
	Continua y alterna	
Según el principio de funcionamiento.	De hierro móvil	
	De cuadro móvil	
	De imán móvil	
	Electrodinámicos	
	Electroestáticos	
	Térmicos	
	De inducción	
Según su aplicación.	Fijos	
	Portátiles	
	Laboratorio	
Según la presentación de la medida.	Contadores o integradores	
	Registradores	
	Indicadores	

Pongamos un ejemplo: un amperímetro con una escala de 50 divisiones. Este amperímetro dispone de 5 calibres con los siguientes campos de medida:

- De 0 a 20 A.
- De 0 a 30 A.
- De 0 a 50 A.
- De 0 a 75 A.
- De 0 a 100 A.

Se define la constante de escala como el resultado de dividir el campo de medida por el número de divisiones de la escala:

$$\text{Constante} = \frac{\text{Campo de medida}}{\text{Número de divisiones de la escala}}$$

en nuestro caso:

- para el campo de 0 a 20 A Constante = $20/50 = 0,4$ A por división.
- para el campo de 0 a 30 A Constante = $30/50 = 0,6$ A por división.
- para el campo de 0 a 50 A Constante = $50/50 = 1$ A por división.
- para el campo de 0 a 75 A Constante = $75/50 = 1,5$ A por división.
- para el campo de 0 a 100 A Constante = $100/50 = 2$ A por división.

Si estamos en el campo de 0 a 30 A y medimos 10 divisiones la medida será $10 \times 0,6 = 6$ amperios.

7.2 Características de la medición

La medición de cualquier magnitud eléctrica viene caracterizada por algunos conceptos, de los que cabe destacar:

- el alcance,
- la sensibilidad y
- la constante.

7.4 Alcance del aparato

Se denomina alcance de la medida del aparato aquella parte de la escala en la cual resulta válida la indicación o medición del aparato.

7.5 Sensibilidad del aparato

Se denomina sensibilidad del aparato a la relación entre el desplazamiento del índice y la variación de la magnitud que estamos midiendo y que ha provocado dicho desplazamiento.





Se denomina constante del aparato al valor inverso de la sensibilidad, y es el valor por el que hay que multiplicar la lectura de la escala para obtener el valor de la unidad de medida.

7.6 Simbología de los aparatos de medida

Las características de los aparatos de medida, posición del aparato a la hora de hacer la medición, etc., están representadas en el propio aparato a través de símbolos o inscripciones para informar a los usuarios de sus características.

Todos estos símbolos están recogidos en la norma UNE 21318-78. En el Cuadro 7.2 se representan los más significativos.

Cuadro 7.2. Símbolos de los aparatos de medida

Termopar no aislado.	
Termopar aislado.	
Dispositivo electrónico en un circuito de medida.	
Dispositivo electrónico en circuito auxiliar.	

Cuadro 7.2. Símbolos de los aparatos de medida (continuación)

Rectificador.	
Shunt para aparato de medida.	
Resistencia adicional.	
Pantalla electrostática.	
Pantalla magnética.	
Aparato estático.	ast
Borne de tierra.	
Ajuste de cero.	
Aparatos magnetoeléctricos.	
Aparato de imán móvil.	
Aparato ferromagnético.	
Aparato electrodinámico.	
Aparato ferrodinámico.	
Aparato de inducción.	
Aparato térmico (de hilo o de dilatación).	
Aparato bimetalico.	
Aparato electrostático.	
Aparato de lengüetas vibrantes.	
Circuito de corriente continua.	

Circuito de corriente alterna (monofásico).	
Circuito de corriente continua y corriente alterna.	
Circuito de corriente alterna trifásica (símbolo general).	
Circuito de corriente alterna trifásica con carga no equilibrada (símbolo general).	
Tensión de prueba 500 V.	
Tensión de prueba superior a 500 V (por ejemplo, 2 kV).	
Aparato dispensado de la prueba dieléctrica.	
Alta tensión en el accesorio y/o en el instrumento.	
Aparato para utilizar con la esfera vertical.	
Aparato para utilizar con la esfera horizontal.	
Aparato a utilizar con la esfera inclinada en relación a la horizontal (por ejemplo, 60°).	
Índice de clase (por ejemplo, 1,5) que se refiere a los errores expresados en porcentaje del valor convencional, salvo cuando este último corresponde a la longitud de la graduación o al valor verdadero.	1,5
Índice de clase (por ejemplo, 1,5) cuando el valor convencional corresponde a la longitud de la graduación.	
Índice de clase (por ejemplo, 1,5) cuando el valor convencional corresponde al valor verdadero.	

7.7 Aparatos de medida

A continuación se describen la aplicación y el esquema de montaje de los aparatos de medida más utilizados en las instalaciones y montajes eléctricos.

7.7.1. Pinza voltamperimétrica

Es un aparato que es capaz de medir tensiones, intensidades sin necesidad de abrir el circuito y de las resistencias de los circuitos y aparatos eléctricos de pequeña importancia.

Las pinzas voltamperimétricas constan de un transformador de intensidad cuyo núcleo magnético tiene forma circular y sobre el que se arrolla el secundario. El primario es el circuito donde queremos medir la intensidad.

Las pinzas voltamperimétricas portan por lo general varios calibres, que se seleccionan mediante un conmutador, y una sola escala, lo que permite una amplia gama de medidas amperimétricas.

Las pinzas voltamperimétricas deben utilizarse con precaución ya que se trabaja sobre circuitos en tensión, por lo que el operario utilizará siempre gafas de protección y guantes aislantes.



Figura 7.1. Pinza voltamperimétrica.

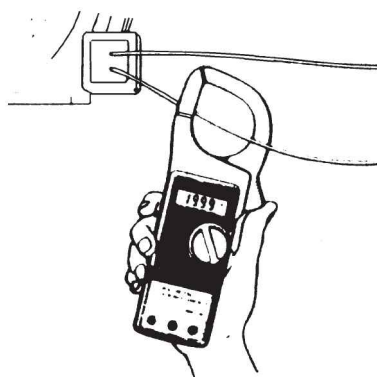


Figura 7.2. Colocación de una pinza voltamperimétrica para realizar medidas de intensidad.

Es importante utilizar sólo pinzas voltamperimétricas con núcleos aislados para evitar cortocircuitos entre conductores.

La elección del calibre de la pinza se seleccionará con el conmutador cuando la pinza esté fuera del circuito.

A la hora de realizar las medidas de tensión procederemos de forma diferente. Lo primero que haremos será colocar los conductores flexibles que traen estos aparatos conectándolos al propio aparato, tal como se refleja en la Figura 7.3, teniendo en cuenta dónde los alojamos, COM – VOLT.

Posteriormente pasaremos a realizar las mediciones del circuito como si se tratara de un voltímetro normal, seleccionando la escala situada en la pinza (normalmente tienen varios calibres), y procediendo a realizar las mismas como se recoge en la Figura 7.4.

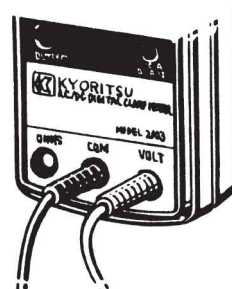


Figura 7.3. Conexión de los conductores de prueba al aparato a los puntos COM – VOLT.

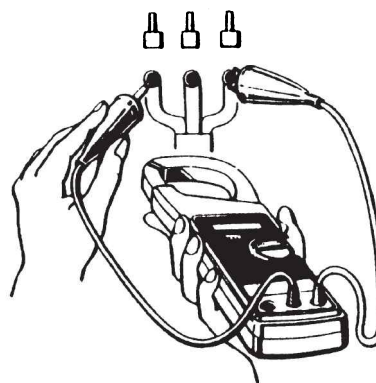


Figura 7.4. Medición de tensión en un circuito con una pinza voltamperimétrica.

Si queremos medir la resistencia de un pequeño circuito o de un aparato, lo primero que tendremos que realizar es quitar la tensión en el mismo, para proceder como en el caso anterior a colocar las puntas de prueba al equipo, teniendo presente el lugar donde se colocan las puntas COM – OHMS, Figura 7.5, y procediendo posteriormente a cortocircuitar las puntas para



Figura 7.5. Conexión de los conductores de prueba al aparato a los puntos COM – OHMS.

ajustar la aguja a 0, Figura 7.6, en función de la escala que se haya colocado, para que cuando procedamos a realizar la medida nos dé el verdadero valor de la resistencia. Figura 7.7.

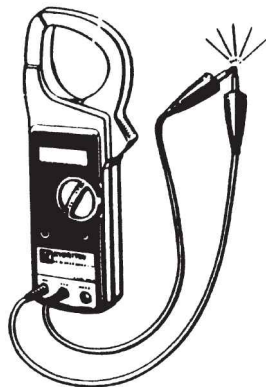


Figura 7.6. Unión de los conductores para la puesta a cero del aparato en medidas de resistencias.

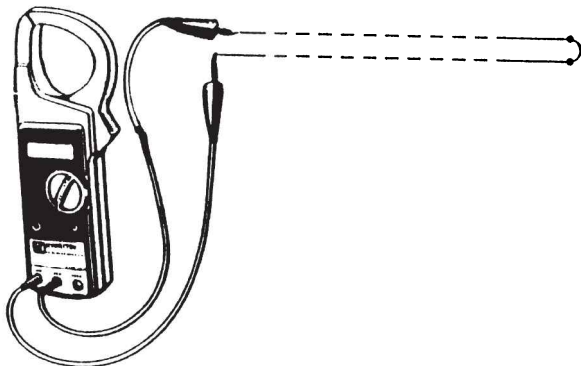


Figura 7.7. Forma de realizar la medición de la resistencia de un equipo eléctrico o circuito.

7.7.2. Medidas de fugas

Si utilizamos pinzas voltamperimétricas cuyo calibre para medidas de intensidad sea bajo, 100 mA, 300 mA, 500 mA, 1 A, 3 A, 5 A, 10 A, 30 A, de la misma forma que para medir la intensidad de un circuito, podemos medir la intensidad que circula por el conductor de protección de un circuito o instalación, o bien la corriente diferencial existente en redes de B.T. y M.T.

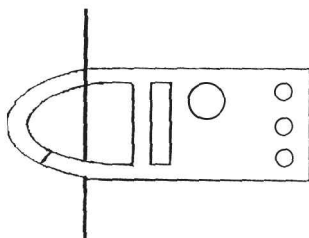


Figura 7.8. Medida de la corriente nominal.

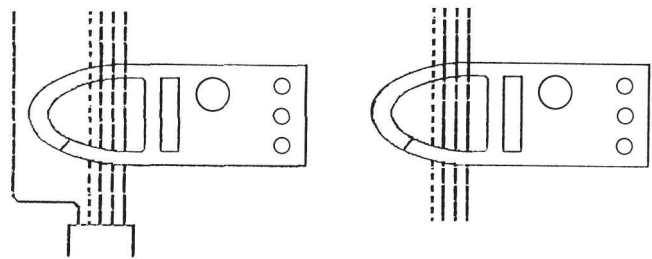


Figura 7.9. Medida de la corriente diferencial. Redes de B.T. y M.T.

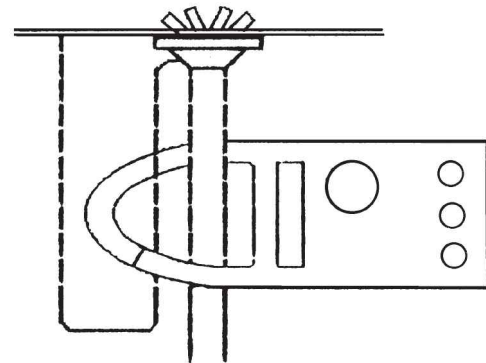


Figura 7.10. Medida de corriente diferencial en cable apantallado.

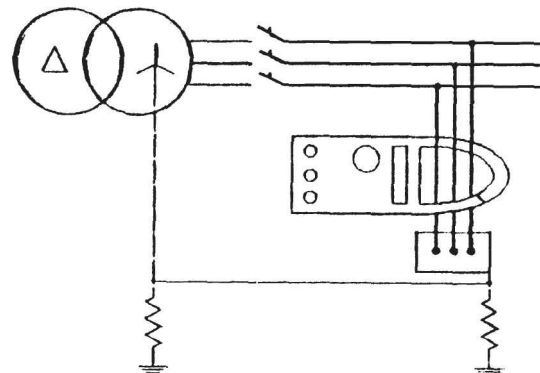


Figura 7.11. Medida con neutro a tierra.

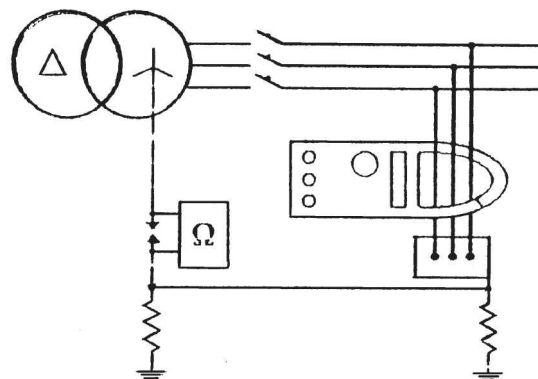


Figura 7.12. Medida con neutro aislado.

7.7.3. Medida de aislamiento

De acuerdo con la ITC 19 Apartado 2.9 del REBT, las instalaciones deberán presentar una resistencia de aislamiento por lo menos igual a $1.000 \times U$ ohmios, siendo U la tensión máxima de servicio expresada en voltios, con un mínimo de 500 k Ω . Este aislamiento se entiende para una instalación en la cual la longitud del conjunto de canalizaciones y cualquiera que sea el número de conductores que las componen no exceda de 100 m.

Dichas medidas se realizarán entre conductores activos y éstos y el conductor de protección, pero siempre sin tensión y con los circuitos abiertos y sin cargas.

En el caso de proceder a instalar una línea aérea o subterránea, procederemos a medir su aislamiento. En la Figura 7.13 nos muestra un medidor de aislamiento electrónico, preparado para poder inyectar tensiones de 5.000 y 10.000 V en corriente continua; esto es así, y no en corriente alterna, para evitar que se nos produzcan fugas capacitivas. Dicho aparato está alimentado por pilas o acumuladores, siendo su alcance el siguiente:

Escala 5.000 V	200 G Ω
Escala 10.000 V	400 G Ω

Las pruebas de la medida de aislamiento a realizar en tramos de circuitos en montaje superficial o enterrado de Media Tensión son:

Entre conductores	L1 - L2
“ “	L2 - L3
“ “	L1 - L3
“ “	L1 - Tierra
“ “	L2 - Tierra
“ “	L3 - Tierra

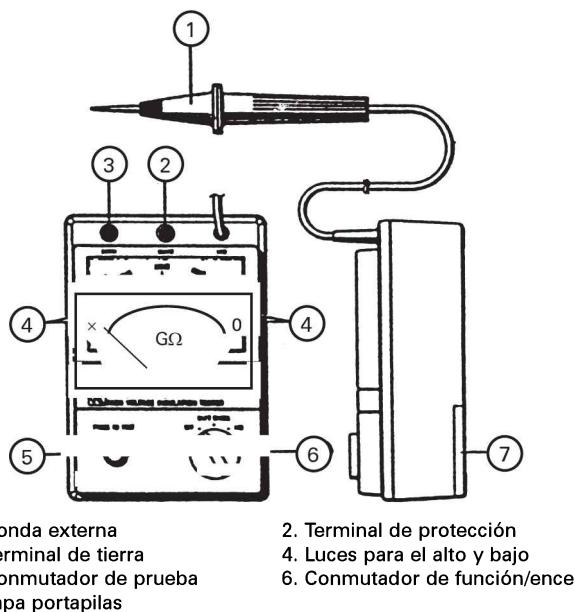


Figura 7.13. Medidor de aislamiento.

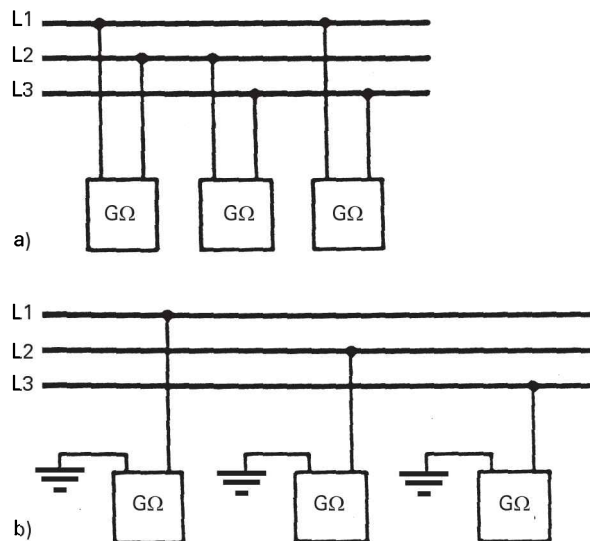


Figura 7.13 (continuación). Medidor de aislamiento. Forma de medir una línea. a) Entre fases. b) Entre fases y tierra.

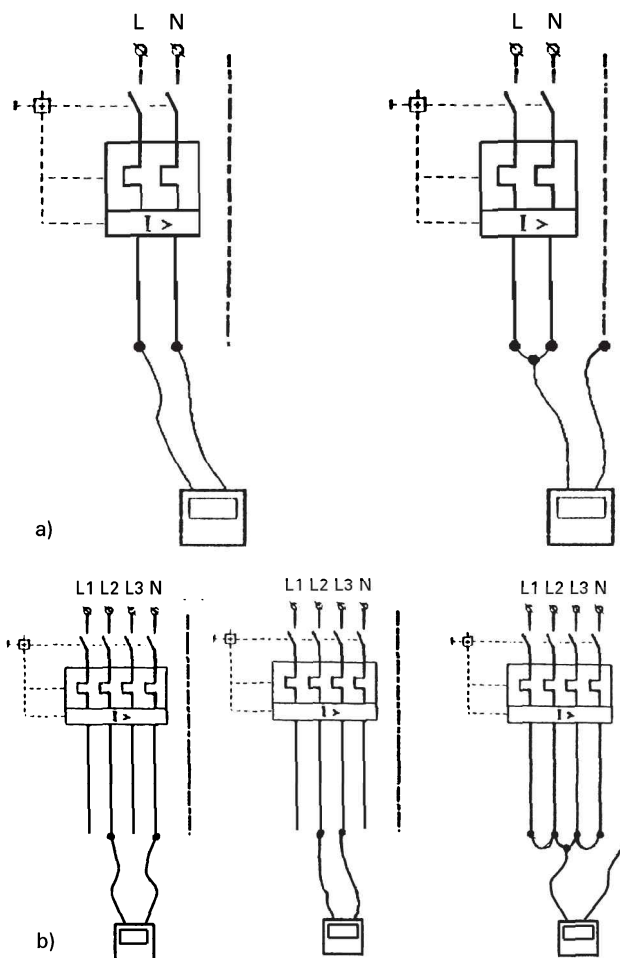


Figura 7.14. Medida de aislamiento en instalaciones de B.T. a) Monofásicas. b) Trifásicas.

Por lo que respecta a la rigidez dieléctrica de una instalación de B.T., ha de ser tal que, desconectados los aparatos de utilización, resista durante un minuto una prueba de tensión de $2U + 1.000 \text{ V}$ a frecuencia industrial, siendo U la tensión máxima de servicio y con un mínimo de 1.500.

En A.T. el R.S.C.T.G.S.C.E.S.C.T. en la instrucción MIE-RAT 12, Ap. 1 y 1.1 y el art. 24 del R.L.A.A.T. indican los niveles de aislamiento nominales para materiales del Grupo A (materiales cuya tensión es mayor de 1 KV y menor de 52 KV).

En la Tabla 7.1 se especifican los niveles de aislamiento nominales asociados con los valores normalizados de la tensión más elevada para materiales del Grupo A.

Tabla 7.1. Niveles de aislamiento para materiales del grupo A

Tensión más elevada para el material (Um)	Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo	Tensión soportada nominal de corta duración a frecuencia industrial
kV eficaces	Lista 1-Lista 2 kV _{cresta}	kV eficaces
3,6	20 - 40	10
7,2	40 - 60	20
12	60 - 75	28
17,5	75 - 95	38
24	95 - 125	50
36	145 - 170	70

7.7.4. Medida de la resistividad del terreno

Se disponen 4 picas auxiliares en línea recta o a intervalos iguales simétricamente respecto al punto en el que se desea medir la resistividad del terreno. La profundidad de estas picas auxiliares no es preciso que sobrepase de 30 cm.

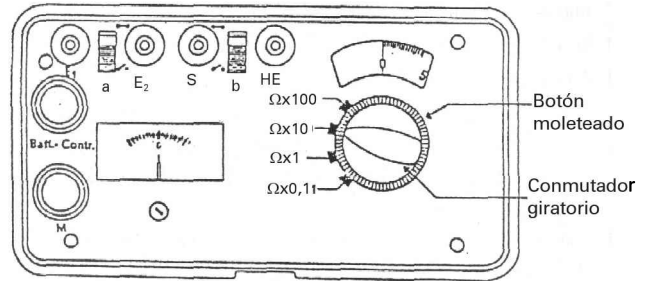
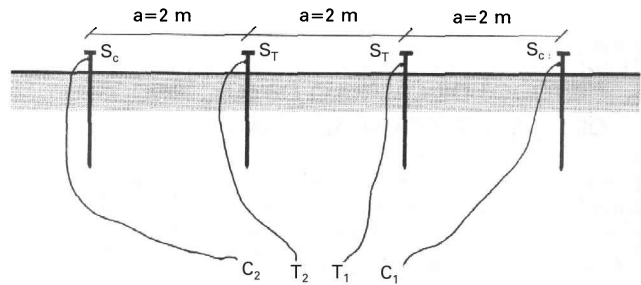
Con este método se obtiene la resistividad media de todas las capas del terreno entre la superficie y una cierta profundidad h , la cual debe considerarse igual a las 3/4 partes del intervalo entre electrodos.

Reduciendo las fórmulas a coeficientes (K y K_1) predeterminados para diferentes profundidades y multiplicándolos por la lectura r del aparato, obtenemos los valores de ρ y R , Tabla 7.2.

7.7.5. Medidas de toma de tierra

Una vez ejecutada la instalación de puesta a tierra, procederemos a realizar su medición utilizando para ello un aparato llamado telurómetro.

Estos aparatos utilizan una fuente de tensión incorporada que procede de pilas o acumuladores, convirtiendo la corriente con-



Montaje para la medida de resistividad del terreno por el método de Wenner con el medidor GEOHM 2

Figura 7.15. Medida de la resistividad del terreno por el método de Wenner.

Tabla 7.2. Cálculo de ρ y R

2	1,5	12,58	7,49
4	3	25,16	8,44
6	4,5	37,75	8,98
8	6	50,20	9,36
10	7,5	63,90	9,65
12	9	75,40	9,89
14	10,5	88,00	10,10
16	12	100,60	10,30
18	13,5	113,50	10,45
20	15	125,66	10,57
22	16,5	138,23	10,70
24	18	150,80	10,80
26	19,5	163,50	10,90
28	21	176,00	11,00
30	22,5	188,50	11,10
32	24	201,00	11,20
34	25,5	213,90	11,30
36	27	226,00	11,35
38	28,5	239,00	11,40
40	30	251,80	11,50
42	31,5	263,90	11,60
44	33	276,80	11,65
46	34,5	289,00	11,70
48	36	301,40	11,75
50	37,5	314,10	11,80
52	39	326,60	11,84
54	40,5	339,10	11,90
56	42	351,70	12,00

tinua por medio de un convertidor transistorizado en corriente alterna, para que de esta forma no se pueda producir ni efecto de autoinducción ni de capacidad, y sin embargo, sí podría existir un fenómeno de electrólisis si utilizásemos corriente continua.

Para llevar a cabo la medición dispondremos de dos electrodos auxiliares que situaremos, en función de cada fabricante, entre 10 y 20 m respectivamente, del electrodo principal a medir y en línea recta, véase Figura 7.16.

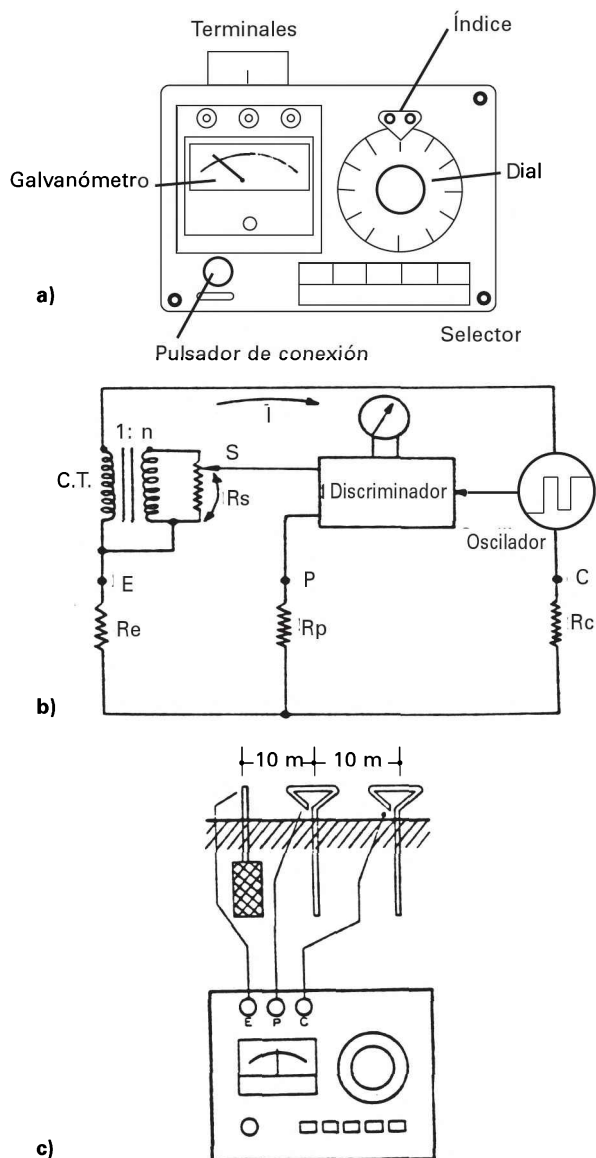


Figura 7.16. Medida de la resistencia de una toma de tierra.
A) Telurómetro. B) Esquema interior y exterior. C) Esquema de montaje.

Cuando exista el problema de no poder hincar los electrodos auxiliares (asfaltos, piedras, etc.), se procederá a colocar los electrodos auxiliares apoyados sobre una zona conductora que exista en las proximidades y encima de una rejilla o tela de cobre, para posteriormente cubrirlos con unas bayetas húme-

das, y se los rociará con un poco de agua. El valor de la resistencia a tierra que se obtiene es muy similar al obtenido si hubiéramos clavado los dos electrodos auxiliares en el terreno.

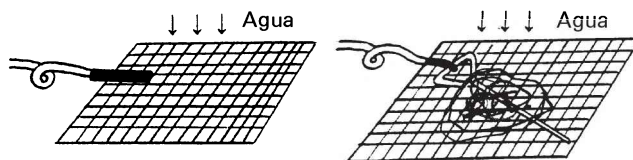


Figura 7.17. Medida de la toma de tierra con los electrodos auxiliares envueltos en bayetas húmedas.

No obstante, si no pudiéramos utilizar el método anterior y existiera algún tipo de estructura en las proximidades que esté de forma permanente en contacto con tierra (tuberías de agua si son metálicas, pilares metálicos, etc.), podríamos realizar una medida indirecta; es decir, puenteamos las dos bornas de los electrodos auxiliares y de uno de ellos sacamos uno de los conductores para unirlo a dicha estructura. Igual que en el caso anterior, el valor de la resistencia a tierra que se obtiene difiere poco con el caso general.

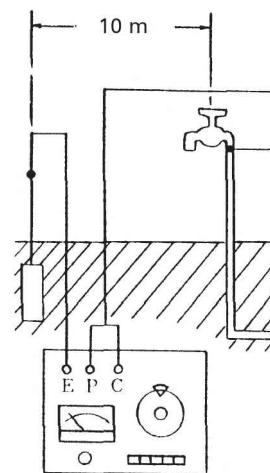


Figura 7.18. Medida de la resistencia a tierra. Método indirecto.

A título informativo pueden darse como valores de resistencia a tierra los indicados en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3. Valores máximos recomendados para Resistencias a Tierra

Tomas a Tierra del Neutro en:	
- Proximidades de Central Generadora	5
- Proximidades de Centro de Transformación.....	5
- 200 m últimos de una derivación de la red	5
Tomas a Tierra del Neutro en General	2
Tomas a Tierra de Edificios	10
Tomas de Tierra de columnas y apoyos accesibles	10
Tomas a Tierra de Descargadores o Autoválvulas.....	10

7.7.6. Medidas de las tensiones de paso y contacto

Con el fin de dar respuesta a la MIE-RAT 13, Ap. 8.1, en lo referente a las medidas y vigilancia de las instalaciones de puesta a tierra, el director de obra deberá verificar que las tensiones de paso (U_p) y contacto (U_c) aplicadas están dentro de los límites admitidos.

Los electrodos de medida para simulación de los pies deberán tener una superficie de 200 cm^2 cada uno y deberán ejercer sobre el suelo una fuerza mínima de 250 N.

Se emplearán fuentes adecuadas para simular el defecto, como consecuencia, y a menos que se emplee un método de ensayo que elimine el efecto de corrientes vagabundas o parásitas, se procurará que la intensidad inyectada sea del orden del 1% de la corriente para la cual ha sido dimensionada la instalación y en cualquier caso no inferior a 50 A.

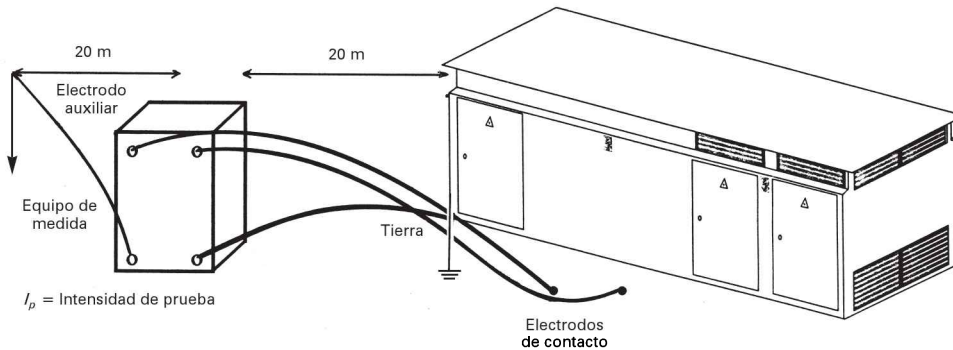


Figura 7.19. Medida de la tensión de paso (U_p).

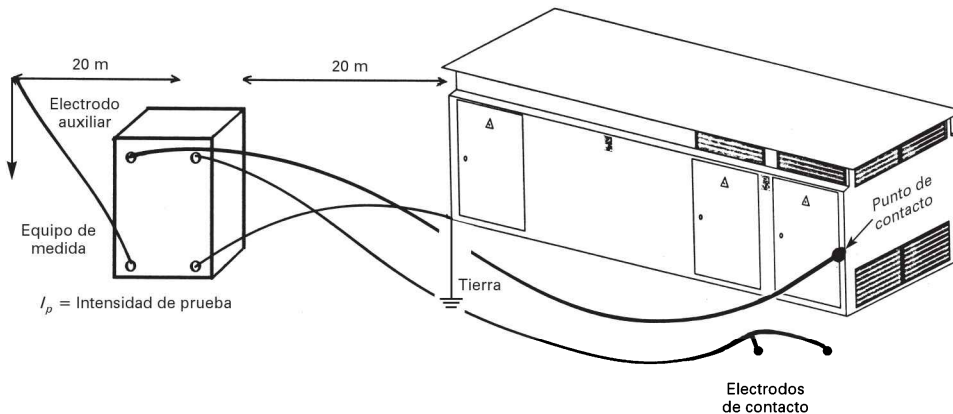


Figura 7.20. Medida de la tensión de contacto (U_c).

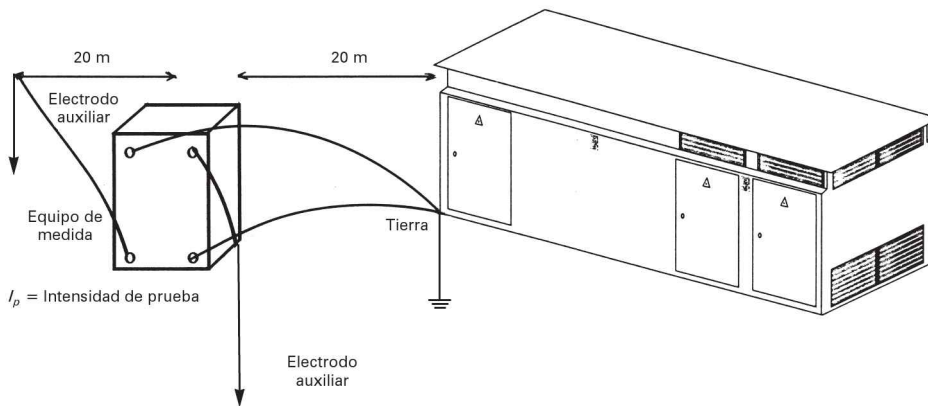


Figura 7.21. Medida de la Resistencia de Tierra.

para centrales y subestaciones y de 5 A para Centros de Transformación.

7.7.7. Medida de relés

Todos los interruptores automáticos que lleven para su apertura bien por sobrecargas, como por cortocircuitos por relés de sobreintensidad, deberán ser analizados al menos una vez al año para ver el correcto estado de funcionamiento, tanto por intensidades como por el tiempo de apertura del mismo.

7.7.8. Medida del nivel de iluminación

Una vez realizada la instalación de iluminación objeto de nuestro Proyecto, debemos comprobar que los valores calculados sobre los puntos u objetos a iluminar son los correctos.

La medida del nivel de iluminación se realiza con un aparato llamada luxómetro, el cual dispone una célula que transforma la luz que incide sobre ella en energía eléctrica. La corriente que se ha producido pasa a través de un microamperímetro calibrado, creándonos una tensión (ejemplo: 0,1 mV/1 digit), para darnos la medida directamente en lux.

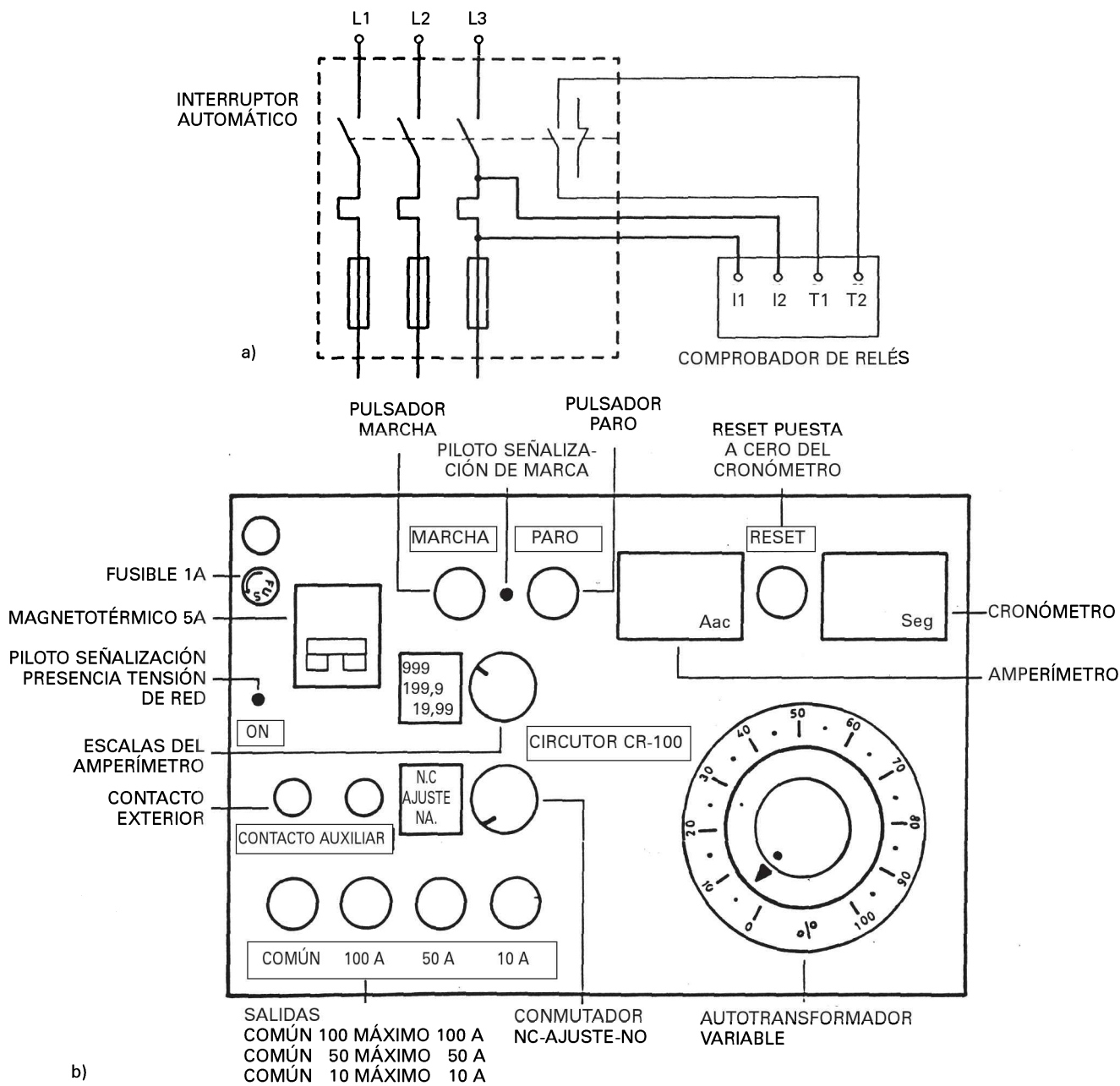


Figura 7.22. Medida de relés. a) Esquema. b) Frontal del equipo.

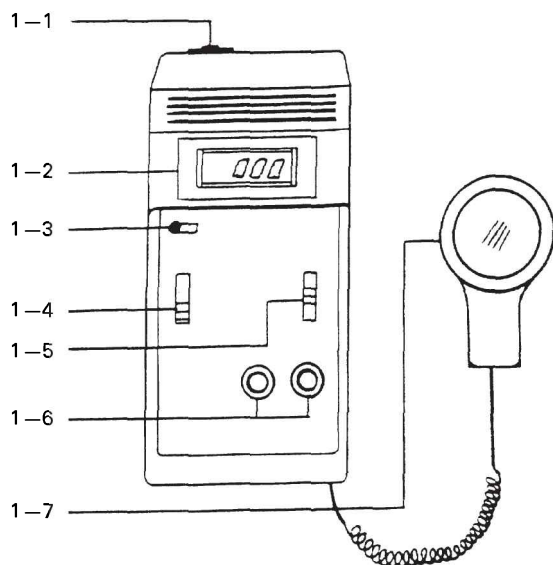


Figura 7.23. Luxómetro.

En donde:

- 1-1. Terminal de salida de Bus de datos.
- 1-2. Display.
- 1-3. Interruptor Data Hold (Retención de lectura).
- 1-4. Interruptor de encendido/selector de rango.
(0 – 50.000 × 10² lux)
- 1-5. Interruptor selector de lux/Ft candela y de tiempo de respuesta (rápido-lento).
- 1-6. Terminal de salida analógica.
- 1-7. Célula.

Es importante saber dónde debemos colocar dicho aparato para obtener unas medidas reales y no afectadas por otros agentes, luz solar, otras fuentes de iluminación, etc.

En el caso de los **Alumbrados de Emergencia y Señalización**, el luxómetro deberá situarse en el suelo del recinto a medir (puertas de salida, peldaños de escalera, etc.), pues es en ese punto donde se pide el nivel de iluminación requerida, excepto en los cuadros de mando y protección que se medirá en los puntos de accionamientos de Int. Automáticos e Int. Automáticos Diferenciales.

7.7.9. Aparatos y equipos de medida para la facturación de energía eléctrica

Los contadores son los aparatos encargados de medir la energía eléctrica que circula por una red o es consumida en una instalación por un usuario.

Existen varios tipos de equipos, fijos o portátiles. Los contadores fijos son los más utilizados. Los portátiles quedan para realizar medidas de comprobación o provisionales.

7.7.9.1. Contador de activa

Aparato de medida que registra la energía eléctrica activa consumida en una instalación.

Los diferentes tipos de contadores de energía activa y sus esquemas de conexión, según tipo de suministro y tipo de discriminación horaria, son:

Según el tipo de suministro:

- monofásicos,
- trifásicos,

que a su vez pueden ser de varios tipos dependiendo de la discriminación horaria y de las características especiales.

Según el tipo de discriminación horaria:

- de simple tarifa
- de doble tarifa
- de triple tarifa
- de tarifa múltiple y registradores.

Según sus características:

- con emisores de impulsos y electrónicos.

7.7.9.2. Contador monofásico

Es el contador utilizado en instalaciones de clientes que están alimentados por una fase y un neutro.

El esquema de conexión se detalla en la Figura 7.24.

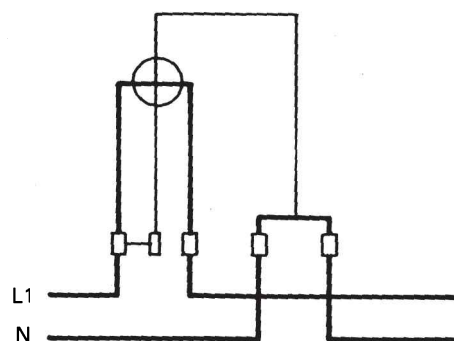


Figura 7.24 Esquema de conexión de un contador monofásico.

7.7.9.3. Contador trifásico

Es el contador utilizado en instalaciones de clientes que están alimentados por tres fases y un neutro.

Existen varios tipos, pero el más utilizado y el que se va a describir es el contador que se denomina trifásico de cuatro hilos.

Está formado por tres elementos motores de tensión y tres elementos motores de intensidad, uno en cada fase, y tres discos

fijados al eje del contador; es decir, es conjunción de tres contadores monofásicos en un mismo aparato.

El esquema de conexión se detalla en la Figura 7.25.

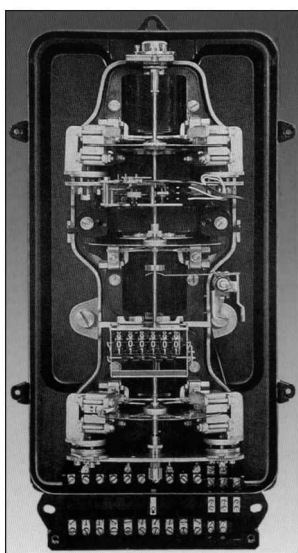
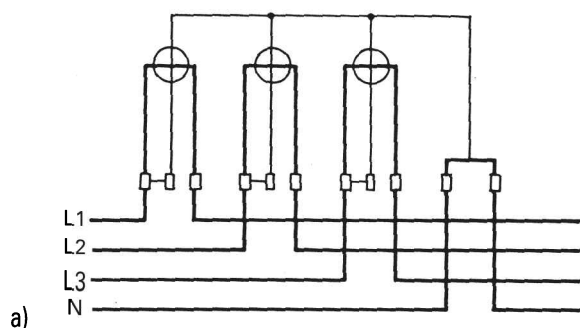


Figura 7.25. Contador trifásico de cuatro hilos.
a) Esquema de conexión. b) Contador

7.7.9.4. Contador de simple tarifa

Es un contador normal que tiene un solo integrador y no discrimina los consumos según las horas del día.

Puede ser monofásico o trifásico y sus esquemas de conexión son como los de las Figuras 7.24 y 7.25.

7.7.9.5. Contador de doble tarifa

Son contadores de energía activa, monofásicos o trifásicos, que poseen dos integradores, lo que permite realizar conteos en un integrador u otro según las diferentes horas del día. Para ello, el contador incorpora un electroimán en el integrador que se excita y se desexcita por medio de una señal, que le envía un reloj, y efectúa el cambio de integrador.

El reloj o interruptor horario para los contadores de doble tarifa se describe en el Apartado 7.7.9.13.

El esquema de conexión para un contador de doble tarifa trifásico es el representado en la Figura 7.26.

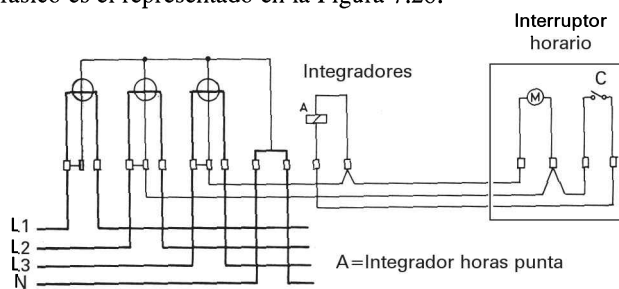


Figura 7.26. Esquema de conexión de un contador trifásico de doble tarifa.

Cuando el electroimán está excitado se registran en el integrador superior los kWh consumidos en horas punta, y cuando está desexcitado se registra en el integrador inferior el resto del consumo.

7.7.9.6. Contador de triple tarifa

Son contadores de energía activa, monofásicos o trifásicos, que poseen tres integradores, lo que permite realizar conteos en tres integradores distintos, correspondientes a horas punta, a horas llano y a horas valle, según las horas del día.

Para ello, el contador incorpora dos electroimanes, uno en el integrador de horas punta y otro en el de horas valle, que se excitan y se desexcitan por medio de la señal procedente de un reloj o interruptor horario de triple tarifa, y efectúa el cambio de integrador.

El esquema de conexión de un contador trifásico de triple tarifa viene representado en la Figura 7.27.

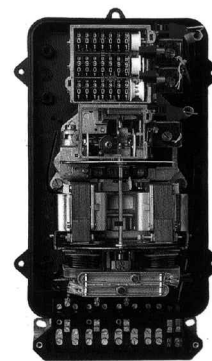
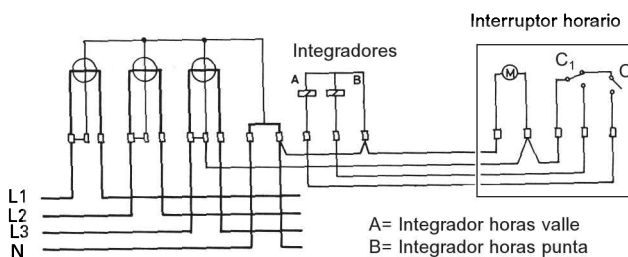


Figura 7.27. Contador trifásico de triple tarifa.
a) Esquema de conexión. b) Contador.

7.7.9.7. Contadores con emisores de impulsos

Son contadores de inducción, como los descritos anteriormente, que incluyen un sensor en el disco del contador y un generador de impulsos colocado sobre el disco.

El esquema del dispositivo emisor de impulsos viene representado en la Figura 7.28.

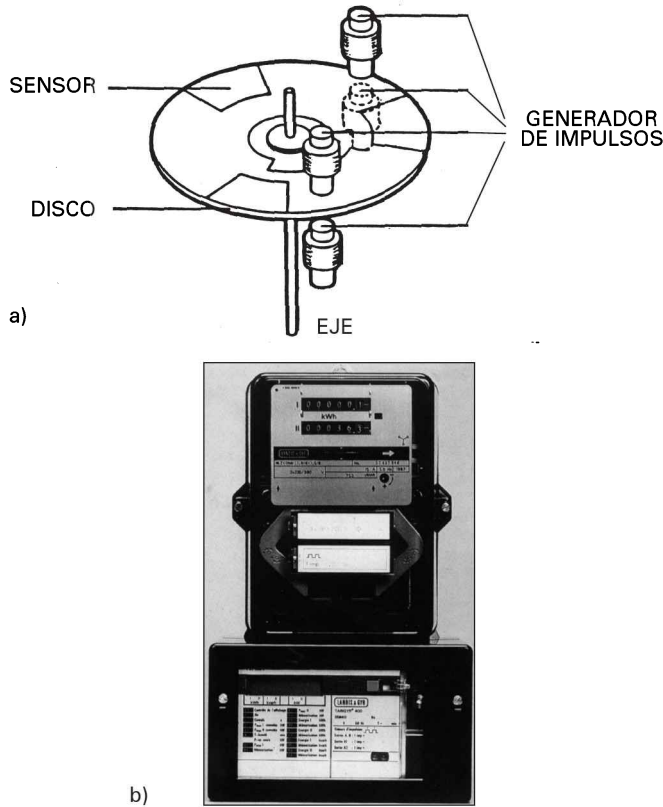


Figura 7.28. a) Esquema del dispositivo emisor de impulsos. b) Contador.

Cada vez que el sensor del disco pasa por delante del generador de impulsos éste genera un impulso que envía a un concentrador de datos que los almacena y procesa.

Los impulsos se transmiten a través de la red de energía eléctrica.

El esquema de conexión de un contador de impulsos viene representado en la Figura 7.29.

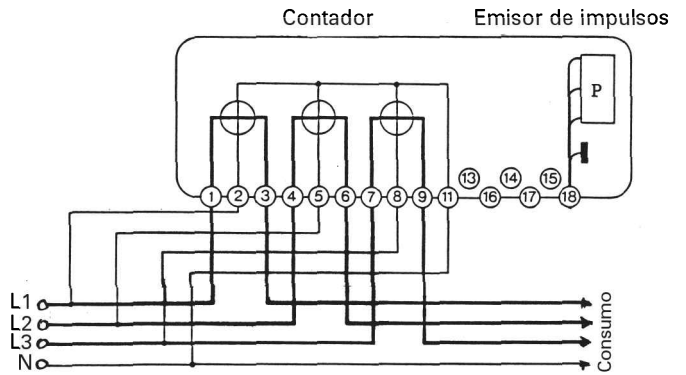


Figura 7.29. Esquema de conexión de un contador de impulsos.

Este sistema de medida permite la comunicación bidireccional con el concentrador, de forma que envía los datos de la lectura al ordenador de la empresa eléctrica y desde la empresa eléctrica se pueden transmitir órdenes al concentrador para cambiar las condiciones de facturación del cliente: cambios de tarifa, cambios de potencia, cambios de discriminación horaria, puesta a cero de máxímetros, etc.

7.7.9.8. Contadores electrónicos

Contadores que sustituyen los elementos motores de tensión y de intensidad por unos circuitos electrónicos, circuitos de tensión y de intensidad, que emiten una señal eléctrica

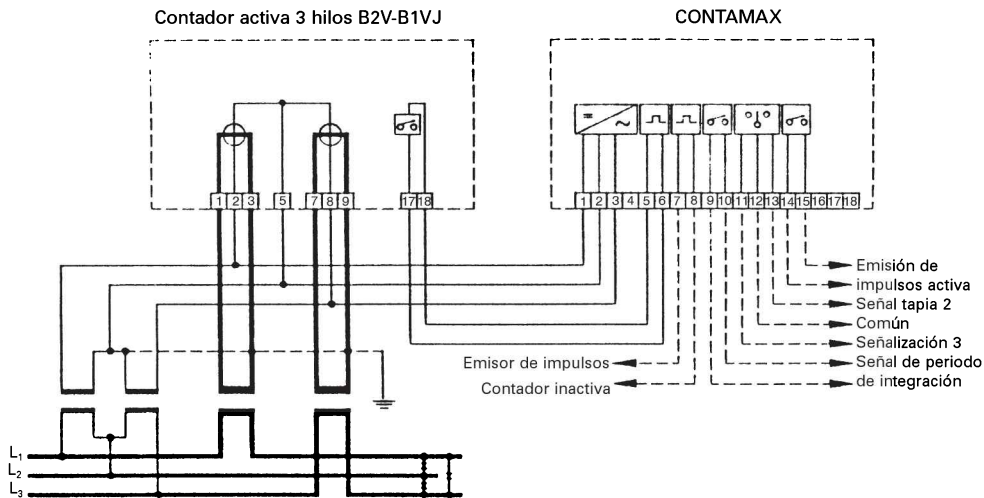


Figura 7.30. Diversos esquemas de montaje.

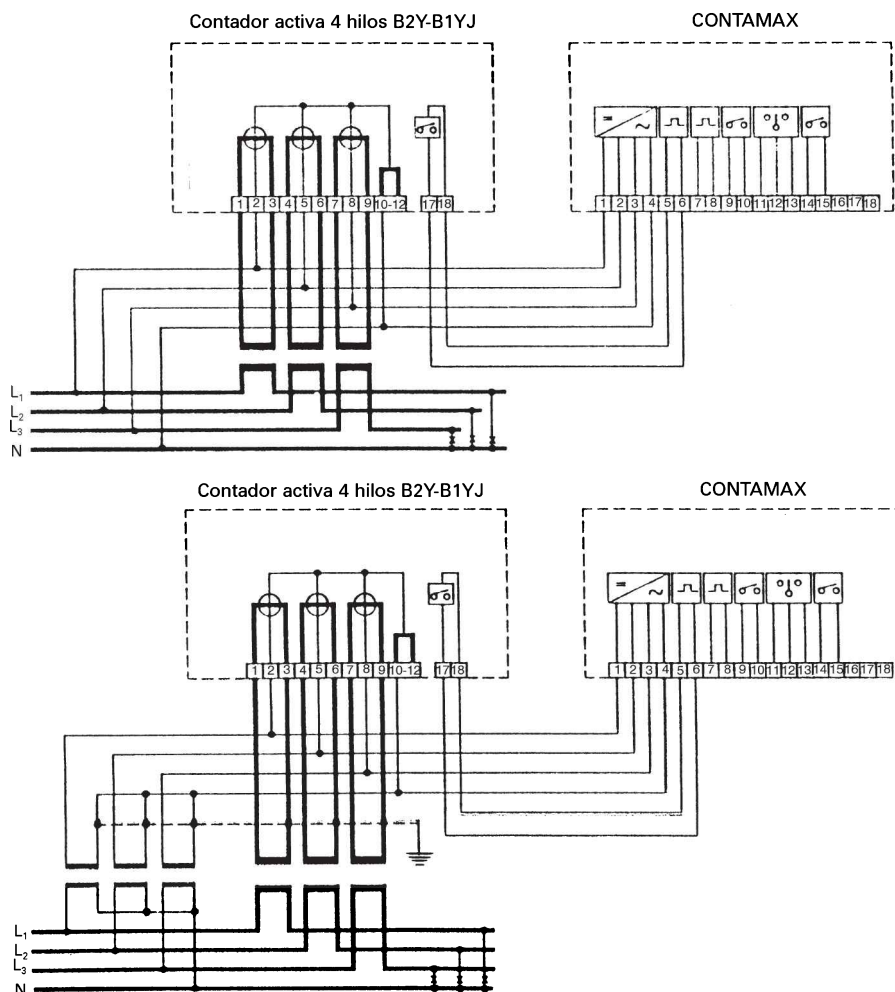


Figura 7.30. Diversos esquemas de montaje (continuación).

proporcional al producto instantáneo de la intensidad por la tensión.

Se caracterizan por no tener piezas móviles, ser insensibles al orden de sucesión de fases, a los desequilibrios de éstas, a los campos magnéticos, a su colocación, a las vibraciones, etc.

7.7.9.9. Contadores de prepago

Contadores de energía activa que sólo funcionan cuando se les introduce una tarjeta o llave donde previamente se ha cargado una cantidad de dinero (similar a las tarjetas telefónicas).

Según se consume energía eléctrica el dinero introducido mediante la tarjeta o la llave se va descontando hasta su agotamiento, de acuerdo con la potencia contratada, los kWh consumidos y la discriminación horaria elegida.

Cuando el dinero cargado en el contador mediante la tarjeta se va a terminar, el contador emite unas señales acústicas o luminosas para alertar al usuario, que sólo tiene que recargar

la tarjeta en los cajeros correspondientes e introducir de nuevo en el contador una cantidad de dinero.

Tienen la ventaja de poder controlar la energía que se consume en cada momento ya que disponen de un display donde se muestra el consumo realizado, la cantidad de dinero que resta en el contador, etc.

Es muy adecuado para viviendas en alquiler, residencias, etc.

7.7.9.10. Contador de reactiva

Aparato de medida que registra la energía eléctrica reactiva consumida en una instalación.

Los contadores son similares a los de energía activa pero con unos métodos de conexión que produzcan un teórico desfase de 0° o 180° entre la intensidad que circula por la bobina de tensión y la de intensidad.

El método de conexión más utilizado es el que se representa en la Figura 7.31.

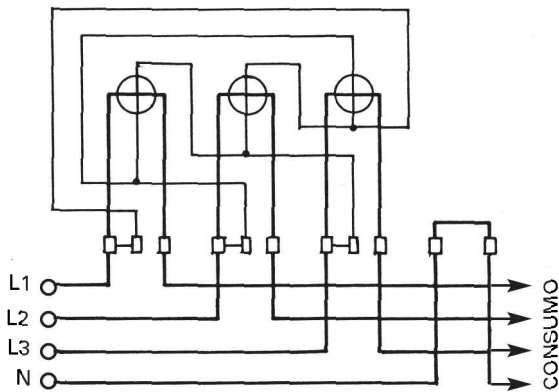


Figura 7.31. Esquema de conexión de un contador de energía reactiva.

Existen contadores de energía reactiva monofásicos y trifásicos, igual que los contadores de activa.

7.7.9.11. Máximetro

Aparato de medida que se utiliza para registrar la potencia media demandada en una instalación.

El máximetro es un contador de energía activa que además lleva incorporado un mecanismo de ruedas que transmite el movimiento del disco a una aguja, llamada aguja de arrastre, que se mueve libremente sobre una escala graduada.

Si las vueltas del disco son proporcionales al consumo de energía en kWh, esas mismas vueltas, en periodos de 15 minutos, representan la potencia media que demanda esa instalación en este tiempo.

Durante estos 15 minutos, o periodo de integración, la aguja se mueve sobre la escala proporcionalmente a la potencia media que demanda la instalación. Al cabo de 15 minutos la aguja se desembraga durante unos segundos y vuelve a 0 de la escala, gracias a un pequeño muelle.

Pasados unos segundos se vuelve a embragar la aguja y vuelve a registrar la potencia media y así sucesivamente.



Figura 7.32. Contador máximetro de triple tarifa.

Para que los valores que se miden cada 15 minutos queden registrados se coloca sobre la esfera una segunda aguja, llamada aguja testigo, que es arrastrada libremente por la aguja de arrastre. La aguja testigo no vuelve a 0 de forma automática en cada periodo, por lo que siempre señalará el máximo de los valores registrados por la aguja de arrastre.

La conexión es similar a un contador de activa.

Este valor sirve para determinar la potencia de facturación de los usuarios. Se debe medir todos los meses y al final de la lectura el empleado de la empresa eléctrica lo pone a 0 para empezar cada mes una medición nueva.

7.7.9.12. Reloj o interruptor horario

Aparato auxiliar de medida que se utiliza para efectuar el cambio de los integradores de los contadores de tarifa múltiple: doble, triple tarifa, etc.

7.7.9.13. Interruptor horario de doble tarifa

Interruptor que se utiliza para accionar los contadores de doble tarifa.

El esquema de conexión se detalla en la Figura 7.33.

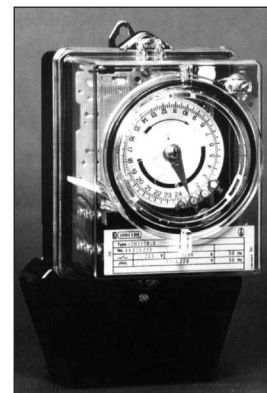
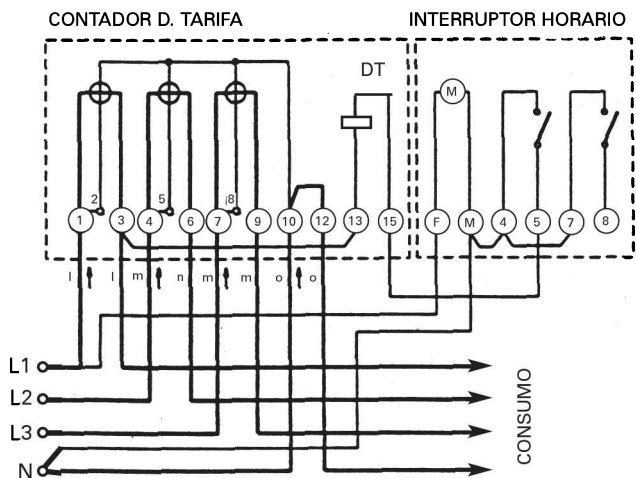


Figura 7.33. Esquema de conexión de un interruptor horario de doble tarifa.

7.7.9.14. Interruptor horario de triple tarifa

Interruptor que se utiliza para accionar los contadores de triple tarifa.

El esquema de conexión se detalla en la Figura 7.34.

Estos interruptores suelen incorporar un contacto adicional para accionar el maxímetro, manteniéndolo activado durante 15 minutos y desconectándolo durante unos segundos a continuación para que la aguja de arrastre vuelva al 0.

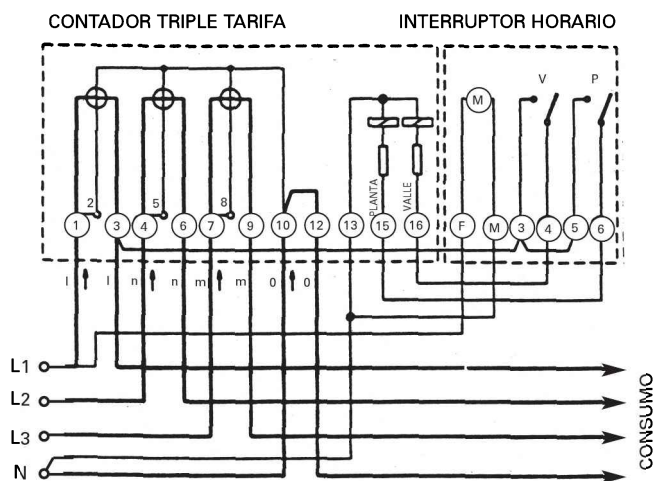


Figura 7.34. Esquema de conexión de un interruptor horario de triple tarifa.

7.7.9.15. Interruptor horario de triple tarifa semanal

Interruptor que se utiliza para accionar los contadores de triple tarifa con discriminación de sábados, domingos y festivos de ámbito nacional.

Es un interruptor horario de triple tarifa al que se le añade una segunda esfera semanal (Figura 7.35).



Figura 7.35. Interruptor horario de triple tarifa semanal.

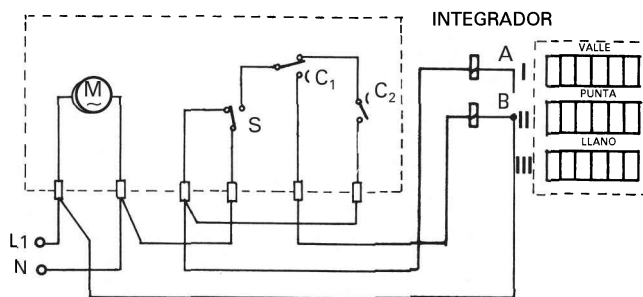


Figura 7.35. Interruptor horario de triple tarifa semanal (continuación).

El esquema de conexión se detalla en la Figura 7.36.

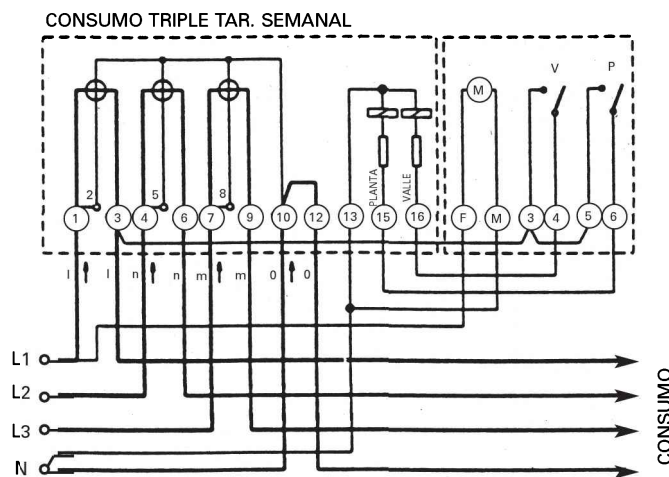


Figura 7.36. Esquema de conexión de un interruptor horario de triple tarifa semanal.

7.7.9.16. Interruptores horarios programables

Son interruptores horarios que llevan incorporado un pequeño microprocesador donde están programados todos los sábados, domingos y festivos nacionales de todo el año, así como el día de paso del horario de invierno a verano y el día de paso de verano a invierno.



Figura 7.37. Interruptor horario de triple tarifa semanal.

Este interruptor tiene la ventaja de poder utilizarse para cualquier sistema o tipo de discriminación horaria, incluso la del sistema estacional.

El microprocesador se programa anualmente con los festivos correspondientes.

7.7.9.17. Equipos actuales de medida

En este apartado se describen los equipos de medida que actualmente se están instalando para que las Empresas Suministradoras de Energía realicen las lecturas de los consumos efectuados por sus respectivos clientes.

La medida directa en Baja Tensión se realizará hasta el valor de 63 amperios, tanto en suministros monofásicos como trifásicos. La medida indirecta, es decir, con transformadores de intensidad se realizará a partir de ese valor.

- Suministros monofásicos:
Tarifas: 1.0; 2.0.1; 2.0.2; 2.0.3, y 3.0.1.



Figura 7.38. Vista exterior de un contador monofásico electrónico.

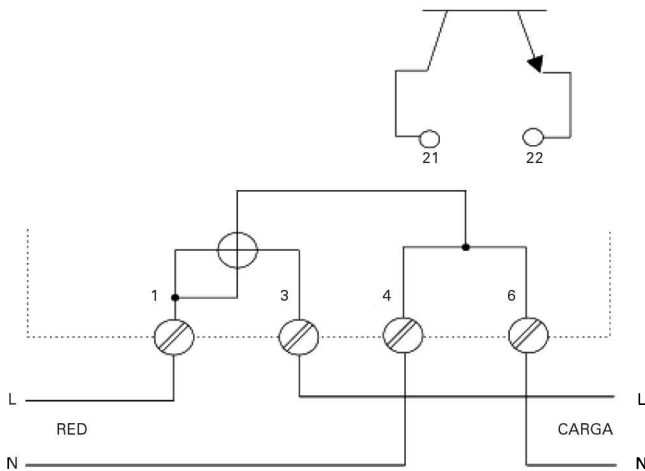


Figura 7.39. Esquema conexonado contador monofásico electrónico.

- Suministros monofásicos con discriminación horaria.
Tarifas: 1.0; 2.0.1; 2.0.2; 2.0.3, y 3.0.1.

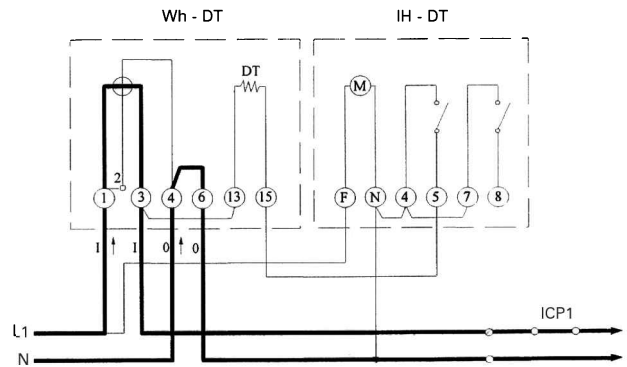


Figura 7.40. Esquema conexonado equipo de medida para DH.

- Suministros trifásicos medida directa.
Tarifas: 3.0.2; 4.0 y R.O.



Figura 7.41. Vista exterior de contador trifásico multifunción para Baja Tensión.

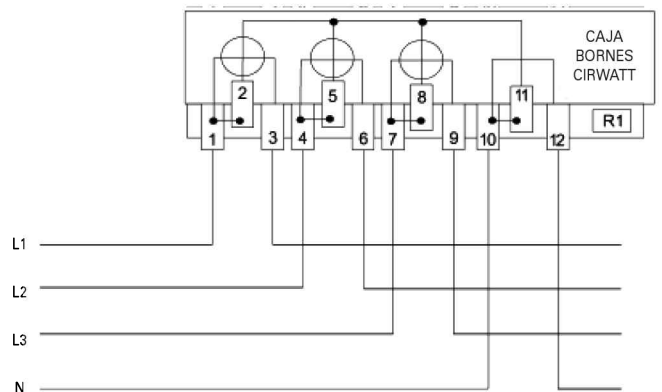


Figura 7.42. Esquema conexonado de contador multifunción para medida directa.

- Suministros trifásicos medida indirecta.
Tarifas: 3.0.2, 4.0 y R.O.

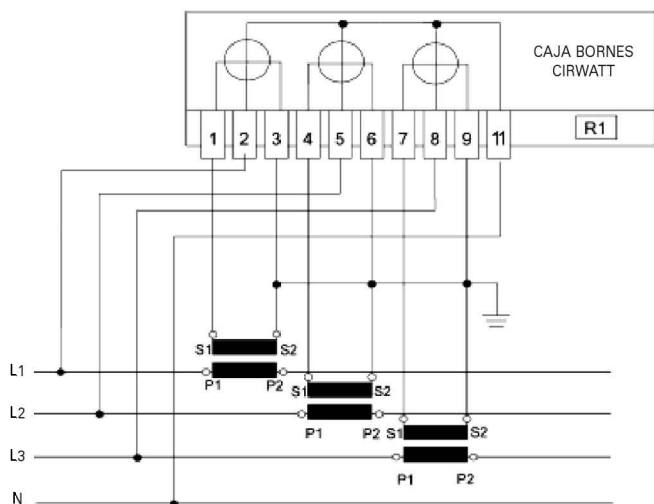


Figura 7.43. Esquema conexaso contador para medida indirecta en Baja Tensión (con transformadores de intensidad).



Figura 7.45. Contador trifásico multifunción para Baja y Alta Tensión.

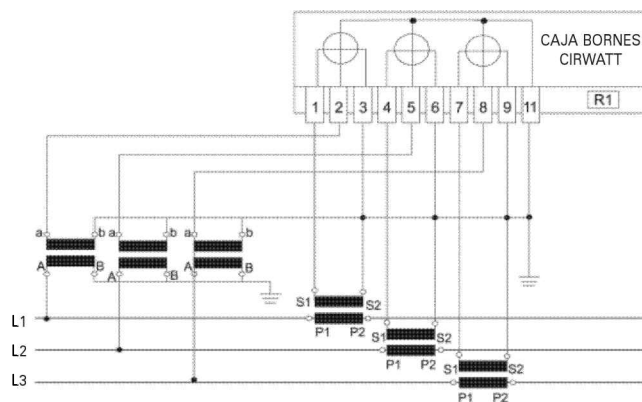


Figura 7.46. Esquema conexaso medida indirecta en Alta Tensión (con transformadores de tensión y de intensidad).

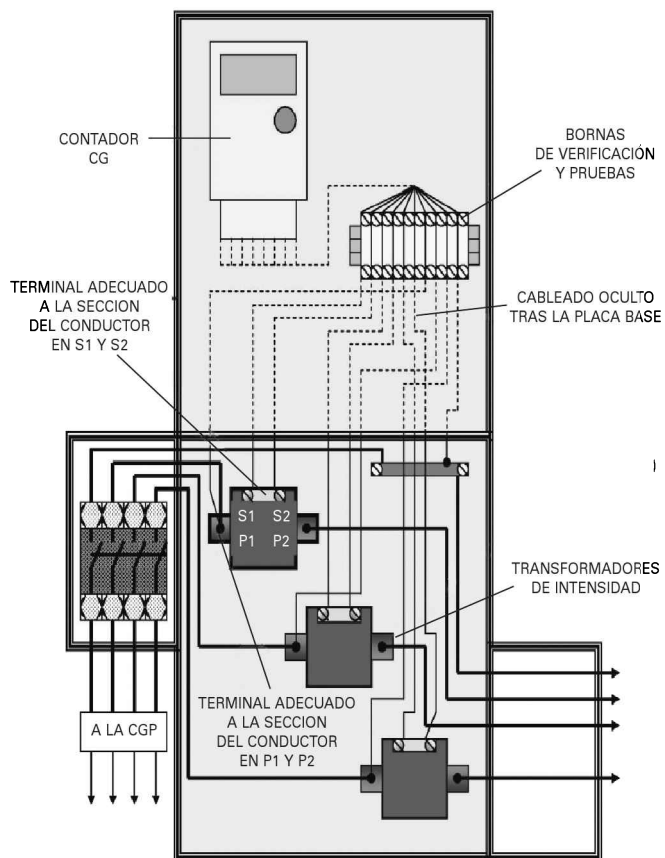


Figura 7.44. Situación de los elementos que conforman el equipo de medida indirecta en el módulo de contadores.

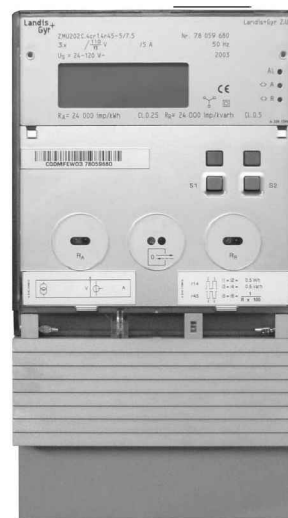


Figura 7.47. Contador trifásico multifunción para Alta Tensión.



Figura 7.48. Contador-Registrador.

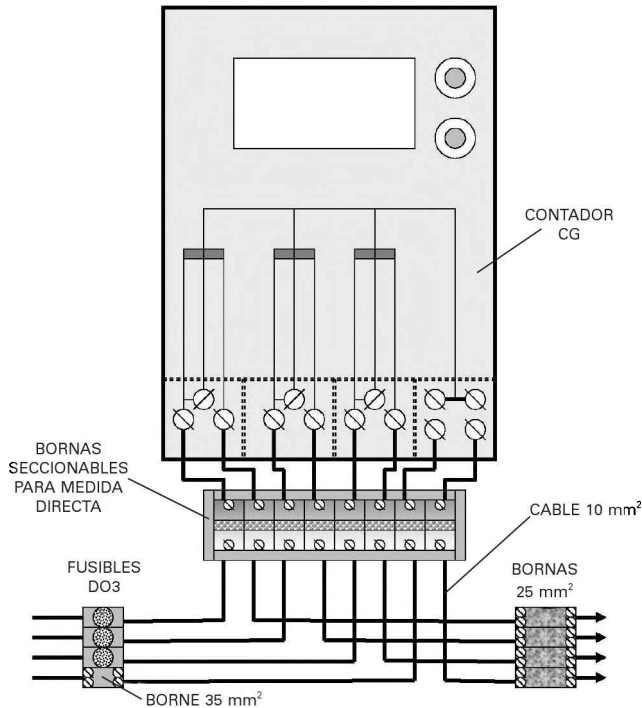


Figura 7.49. Esquema eléctrico del montaje de un CG trifásico con MD.

talados de manera permanente sobre el panel, o bien cuando se desea controlar cualquier instalación a instancia del cliente, siendo en este caso del tipo portátil, y realizando las mediciones en verdadero valor eficaz que periódicamente guarda en memoria para un posterior análisis.

Su elevada facilidad de uso, puesto que suelen llevar display gráfico y todas las funciones se controlan a través de su teclado, con menús desplegables.

El ahorro de los costes de la energía eléctrica mediante la optimización de contratación de las tarifas eléctricas.

El cálculo de la batería de condensadores necesaria para la compensación de la energía reactiva.

Estudios sobre la calidad de la energía eléctrica. Evolución de las cargas, sobretensiones, subtensiones, máximas y mínimas y medición de la secuencia de fases.

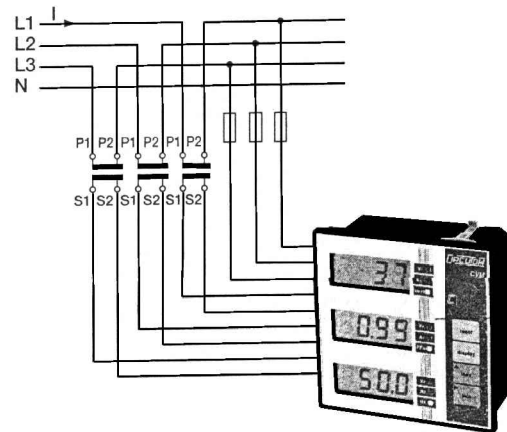


Figura 7.50. Analizador de redes.

a) Portátil. b) De panel, y sistema de medida de estos equipos.

Estos equipos permiten la visualización de valores instantáneos, máximos y mínimos de cada parámetro y de cada fase, así como los valores promedios o suma y la secuencia de fases para la instalación de motores.

7.8 Analizadores de redes

Son equipos encargados de registrar y analizar todos los parámetros existentes en la red o en una instalación (tensiones, intensidades, factor de potencia, energía activa, energía reactiva, energía aparente, etc.), y tienen la posibilidad de ser ins-

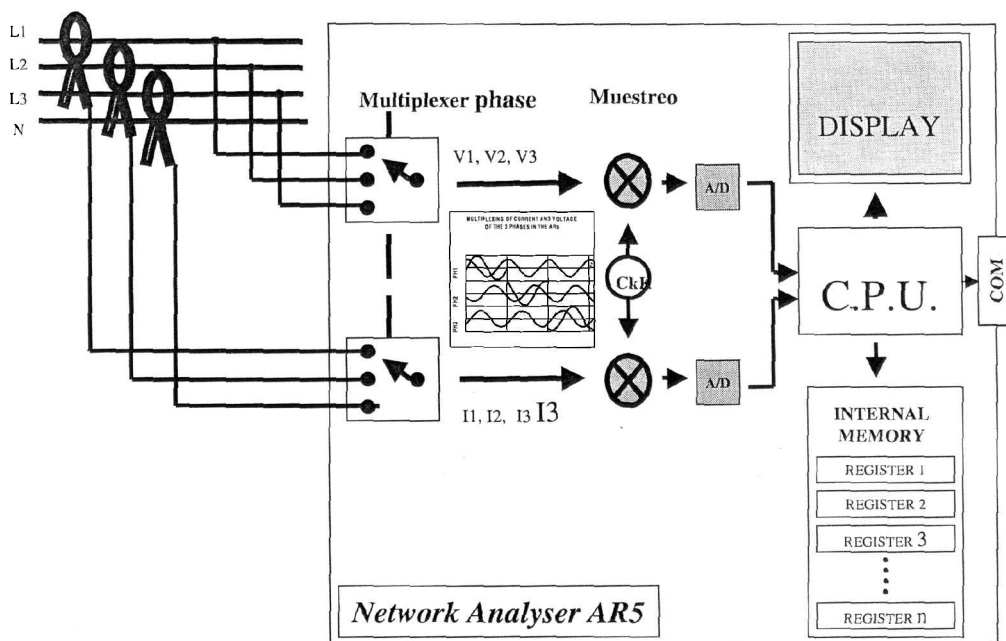


Figura 7.51. Pantalla principal en el que se reflejan diversos parámetros de la red.

Su gran flexibilidad, puesto que algunos equipos pueden, para que trabajen como otro tipo de analizadores, **perturbaciones** (perturbaciones de red que deforman la forma de onda de tensión, microcortes, ruidos, impulsos, etc.), **armónicos** (analiza las tres fases tanto en tensión como en intensidad, pudiendo visualizar las formas de onda y realizando el cálculo de los armónicos tanto en amplitud como en fase),

efecto Flicker (el efecto Flicker es una perturbación que se basa en una modulación de la amplitud de la forma de onda de tensión que produce un molesto parpadeo de la intensidad luminosa de las lámparas), diferente a la función de analizador de redes.

Reducido tamaño alguno de ellos es algo mayor que un voltímetro digital. Elevada transportabilidad, puesto que la alimentación puede realizarse mediante baterías internas o con alimentación exterior. Todo ello hace de estos equipos una herramienta necesaria para cualquier análisis de las instalaciones o redes eléctricas, tanto monofásicas como trifásicas.

Estos equipos suelen llevar, además, un software para cargar en un ordenador, el cual va a ser el encargado de realizar todos los cálculos anteriormente descritos.

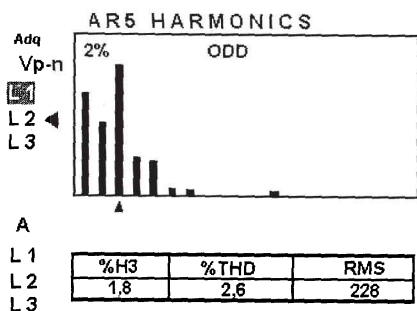
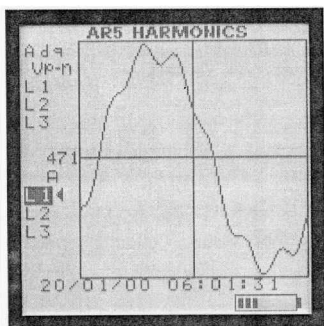


Figura 7.52. Visualización de armónicos y descomposición de éstos.

7.9 Algunas de las medidas a realizar en quirófano

La Asociación Electrotécnica Española y ASINEL (Asociación de Investigación Industrial Eléctrica) en el año 1980 publicaron la Guía de Aplicación para el mantenimiento de instalaciones eléctricas de quirófanos, dirigida a todas aquellas personas que trabajan en el mantenimiento de hospitales y clínicas, y muy concretamente a los que tienen que realizar el mantenimiento en los quirófanos. De todas las medidas que hay que realizar entresacamos las que deben llevarse a cabo en un quirófano, ya que las otras medidas han sido explicadas anteriormente (medida de la resistencia de tierra; medida de aislamiento, etc.).

● **CONTROL DE LA CONTINUIDAD DE LOS CONDUCTORES DE LA INSTALACIÓN:**

Tiene por objeto asegurar que los conductores de la instalación no estén cortados y que todos llegan al punto de conexión de los receptores.

El equipo necesario para llevar a cabo estas medidas será:

- Un voltímetro de c.a. con respuesta a valor medio y calibrado en verdadero valor eficaz RMS para corriente alterna senoidal. Precisión 5%. Escala 300 V.
- Carga de prueba de 220 V-1.000 W.

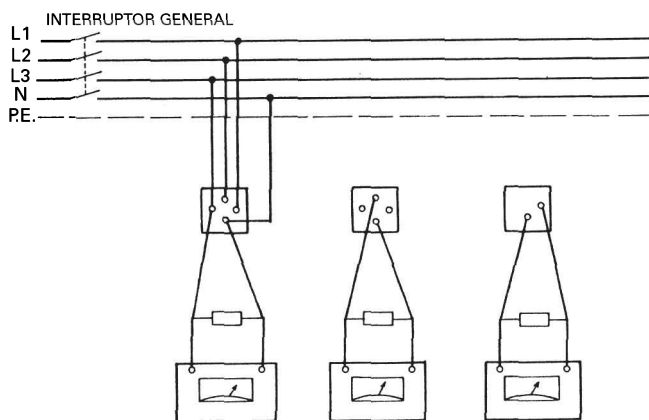


Figura 7.53. Medida de la continuidad de un sistema trifásico.

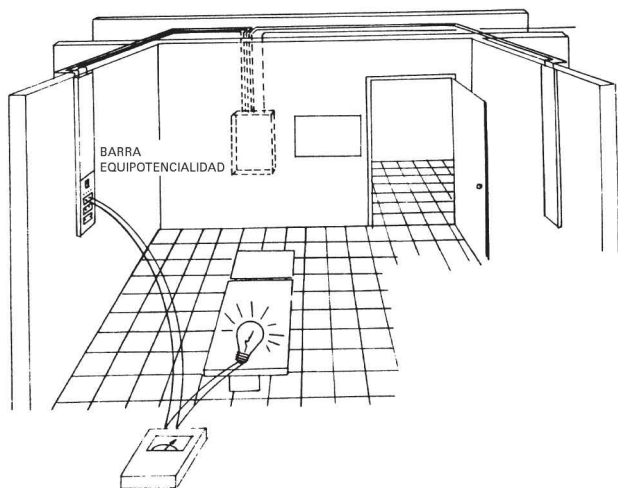


Figura 7.54. Gráfico de control de la continuidad de los conductores activos de la instalación, mediante una carga de pruebas y un voltímetro.

● **MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES DE EQUIPOTENCIALIDAD (ITC-BT 38):**

Tiene por objeto asegurar que la resistencia del conductor de equipotencialidad, entre cada parte conductora accesible

del entorno del paciente y el embarrado de equipotencialidad EE, tenga un valor de $0,1 \Omega$ como máximo,

Igualmente, deberemos comprobar la diferencia de potencial que existe en condiciones normales de servicio, entre el embarrado de equipotencialidad y cualquier superficie conductora que pueda entrar en contacto con el paciente o con personas que se hallen en su entorno. Esta tensión no puede superar los 10 mV.

El equipo necesario para realizar estas mediciones será el siguiente:

- Milivoltímetro de c.a. con respuesta a valor medio y calibrado en verdadero valor eficaz RMS para corriente alterna senoidal. Precisión $\pm 3\%$.
- Resistencia de entrada $1 K\Omega \pm 2\%$.
- Respuesta de frecuencia $1 kHz \pm 3 dB$.
- En la escala de medida, la lectura de fondo de escala no debe superar los 30 mV.

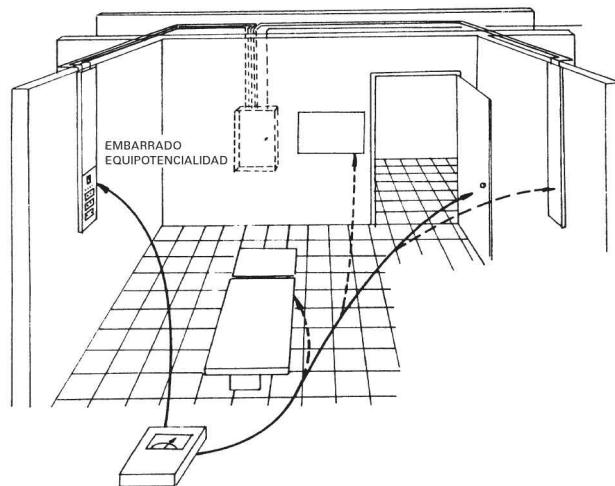


Figura 7.55. Esquema práctico para la medida de la equipotencialidad.

● **CONTROL DE SUELOS ANTIELECTROSTÁTICOS:**

a) **Procedimiento CEI.**

Tiene por objeto que la capacidad de drenaje de corriente de un pavimento está en la zona en que la acumulación de cargas estáticas no crea peligro.

El equipo necesario será:

- Medidor de aislamiento de tensión de medida 500 V en c.c.
- Electrodo especial construido según las Figuras 7.56 y 7.57.
- La superficie de contacto de las gomas será plana.
- La resistencia de la goma conductiva no excederá de 1.000 medida entre superficies metálicas.

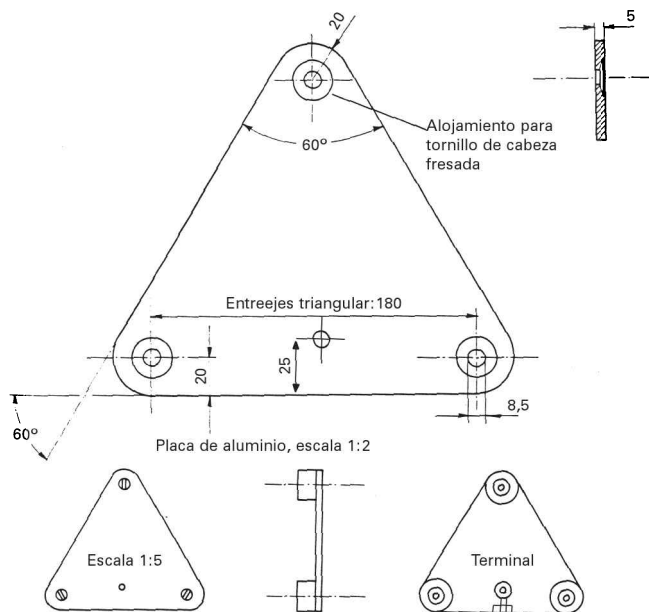


Figura 7.56. Electrodo especial metálico (dimensiones en cm).

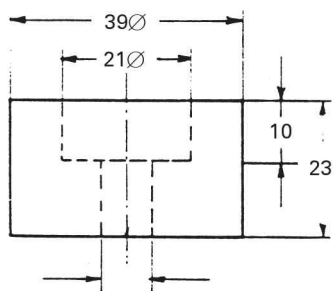


Figura 7.57. Taco de goma conductiva (dimensiones en mm).

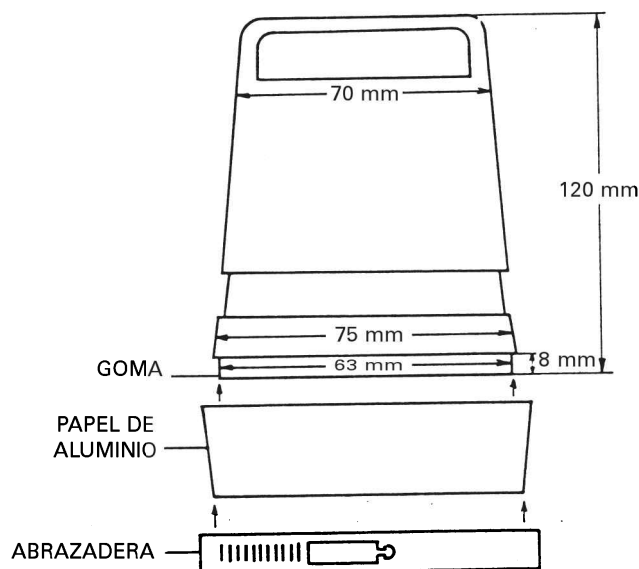
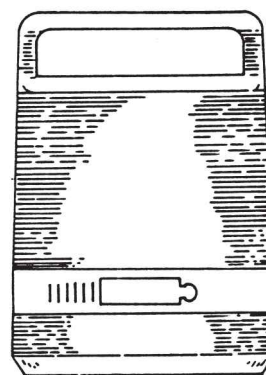


Figura 7.53. Electrodo para la medición de suelos antielectrostáticos de acuerdo con la NFPA56A.

La medida de este tipo de suelos se realizará en condiciones normales; por ejemplo, sin tratamiento previo del suelo con productos antiestáticos.

Las áreas de contacto estarán limpias y secas.

La forma de realizar estas medidas será la siguiente:

- Conectar una borna del aparato de medida a una toma tierra de protección y la otra borna al electrodo de medida.
- Cargar durante la medida el electrodo con un peso superior a 75 kg.
- Efectuar al menos 5 mediciones diferenciadas.
- Los puntos de medida distarán un mínimo de 90 cm de cualquier parte conductora.
- La resistencia del suelo antielectrostático no excederá de 50 MΩ ninguna vez durante la vida del mismo, en ninguna parte de la sala.
- Anotar en una hoja de control los datos obtenidos.

Procedimiento NFPA 56 A (USA)

Equipo necesario:

- Medidor de aislamiento con las siguientes características:
 - Tensión a circuito abierto 500 V.
 - Intensidad de cortocircuito 5 mA.
 - Resistencia interna de 100 KΩ ± 10%.
 - Escalas de 10 MΩ y de 1 MΩ.
- Juego de electrodos:
 - Peso 2,20 kg. Superficie de contacto circular de 63,5 mm de Ø.
 - Recubierto en la zona de contacto con un disco de goma de 6 mm de espesor y una dureza entre 40 y 60 determinadas por un durómetro Shore tipo A.
 - La superficie de contacto estará forrada con papel de aluminio de espesor comprendido entre 0,012 y 0,025 mm.

- La forma de realizar las mediciones será la siguiente:
 - El suelo de la sala estará limpio y seco.
 - La medición se efectuará como mínimo en 5 puntos distintos en cada sala y el resultado de los mismos se promediará.
 - La resistencia del suelo deberá ser inferior a $1\text{ M}\Omega$ y superior a $25\text{ K}\Omega$, midiendo con los dos electrodos separados 95 cm entre sí. Ningún punto de la sala podrá superar los $5\text{ M}\Omega$.
 - La resistencia del pavimento a tierra será superior a $25\text{ K}\Omega$ e inferior a $1\text{ M}\Omega$, midiendo con un electrodo conectado a una toma de tierra y el otro en el suelo. En ningún caso se hallará un punto con resistencia inferior a $10\text{ K}\Omega$.
- Todas las medidas deben tomarse con los electrodos separados 95 mm entre sí o de cualquier otro objeto conductor que descansa en el suelo, así como a 95 cm de cualquier toma de tierra.
- Las medidas de resistencia a tierra se tomarán dos veces, siendo el valor de la resistencia el promedio de ambas.
- El tiempo de medición será de 2 segundos.
- Anotar en una hoja de control los datos obtenidos.

-
- 7.1 Solicitar las normas particulares de la E.S.E. referente a los equipos de medida.
 - 7.2 Recopilar información técnico-comercial sobre pinzas voltamperimétricas, analizadores de redes, equipos para la medida de las tensiones de paso y contacto, medidores de fuga y aislamiento, telurómetros, etc.
 - 7.3 Recopilar catálogos comerciales de aparatos de medida:
 - Contadores.
 - Maxímetros.
 - Transformadores de intensidad y de tensión, etc.
 - 7.4 Esquematizar la conexión de un contador de energía activa trifásico en una instalación de usuario.
 - 7.5 Realizar el montaje de un contador monofásico para tarifa nocturna.
 - 7.6 Realizar el montaje de un contador trifásico de activa.
 - 7.7 Confeccionar y montar el equipo de medida correspondiente a un contador trifásico con transformadores de intensidad y placa diova.

Actividades
y prácticas
propuestas

8

Puesta en servicio y mantenimiento

Introducción

En este capítulo se estudian las normas, reglamentos y el buen hacer para las operaciones de puesta en servicio de instalaciones eléctricas en Media y Baja Tensión, así como los centros de transformación.

El mantenimiento se plantea en base a la calidad, a la seguridad de las instalaciones y a la garantía del suministro de energía eléctrica.

Los boletines de reconocimiento, las guías de inspección, los protocolos, etc., editados por las Direcciones Generales de Industria de las diferentes Comunidades Autónomas son la base a cumplir por los diferentes profesionales del sector eléctrico, para garantizar la utilidad y la seguridad de las instalaciones eléctricas.

Contenido

- 8.1. Seguridad en las operaciones de puesta en servicio. Materiales y medidas de seguridad
 - 8.2. Mediciones y verificaciones reglamentarias
 - 8.3. Procedimiento para la tramitación, puesta en servicio e inspección de las instalaciones eléctricas no industriales conectadas a una alimentación de Baja Tensión
 - 8.4. Memoria Técnica de Diseño
 - 8.5. Revisiones periódicas en centros de transformación y líneas de 3.^a categoría
 - 8.6. Protocolos para el área del mantenimiento preventivo
 - 8.7. Tipología de averías. Diagnóstico de averías
- Actividades y prácticas propuestas

Objetivos

- ▶ Realizar la puesta en servicio de las instalaciones eléctricas de Media y Baja Tensión bajo la supervisión de técnico titulado.
- ▶ Realizar el mantenimiento de las instalaciones eléctricas y centros de transformación, aplicando los planes preventivos establecidos.
- ▶ Diagnosticar las averías de las instalaciones de energía eléctrica identificando las causas que las han provocado.
- ▶ Saber interpretar los boletines de reconocimiento y los protocolos de medida y revisión.

8.1 Seguridad en las operaciones de puesta en servicio. Materiales y medidas de seguridad

En el capítulo anterior, vimos los equipos que eran necesarios para la protección contra cualquier riesgo de choque eléctrico. De acuerdo con el R.S.C.T.G.S.C.E.S. y CENTRO DE TRANSFORMACIÓN y las Ordenanzas de protección contra incendios, todo CENTRO DE TRANSFORMACIÓN estará dotado como mínimo de los siguientes carteles informativos, y equipos de maniobra y protección siguientes:

- Cartel de las 5 reglas de oro, Figura 8.1.
- Cartel de respiración de salvamento, Figura 8.2.
- Requisitos previos a los trabajos de instalaciones eléctricas en A.T., Figura 8.3.
- Pértiga de maniobra.
- Pértiga detectora de tensión.
- Palancas de accionamiento de las diferentes celdas, Figura 8.4.
- Guantes en perfecto estado.
- Casco.
- Alfombrilla.
- Banqueta aislante.
- Placas indicadoras de riesgo eléctrico, Figura 8.5.
- Cerradura de acceso al mismo, sólo para personal autorizado.
- Extintor de incendios de eficacia mínima 89 B.

RESPIRACIÓN DE SALVAMENTO
BOCA a BOCA - BOCA a NARIZ

¡NO LO TRASLADÉ!
¡COMIENZE RÁPIDAMENTE!
¡NO INTERRUMPIR EL RITMO!



1 Examina si hay materias extrañas en la boca de la víctima (mucosidades, alimentos, arena, tabaco, dentadura suelta, etc.). Si las hay, tuerza la cabeza de la víctima a un lado y quítelas con los dedos envueltos en una tela o sin ella.



2 Levante el cuello de la víctima y coloque debajo de sus hombros una manta, un abrigo pelado, etc. Inclínele la cabeza hacia atrás tanto como pueda.



3 Agarre la mandíbula con el pulgar sobre un costado de la boca y tire hacia adelante. Conserve esta posición para mantener el paso de aire abierto.



4 Cierre la nariz con el pulgar e índice, respire profundamente, coloque su boca sobre la de la víctima y soplo o cierre la boca de la víctima, respire hondo y soplo por la nariz. Soplo por la boca o la nariz de la víctima hasta ver que el pecho se infla. A los niños se les aplica la respiración de salvamento a través de la boca y nariz, con el pulgar en la boca.



5 Retire la boca para que se verifique la salida de aire. A los adultos se les aplica unas 12 respiraciones por minuto. Para los niños, unas 20 respiraciones por minuto, aunque se emplean inhalaciones relativamente poco profundas.



Si fracasan los primeros intentos para inflar los pulmones, gire la víctima de lado y adminístrele unos golpes bruscos entre los hombros intentando así eliminar la obstrucción.

REPITA AHORA EL PROCESO ENTERAMENTE.

NOTA: Un pañuelo colocado sobre la boca o nariz de la víctima evita la necesidad del contacto directo. Esto no afecta grandemente al paso del aire. No interrumpir el tratamiento hasta la llegada de un médico.

Figura 8.2. Cartel de respiración de salvamento.

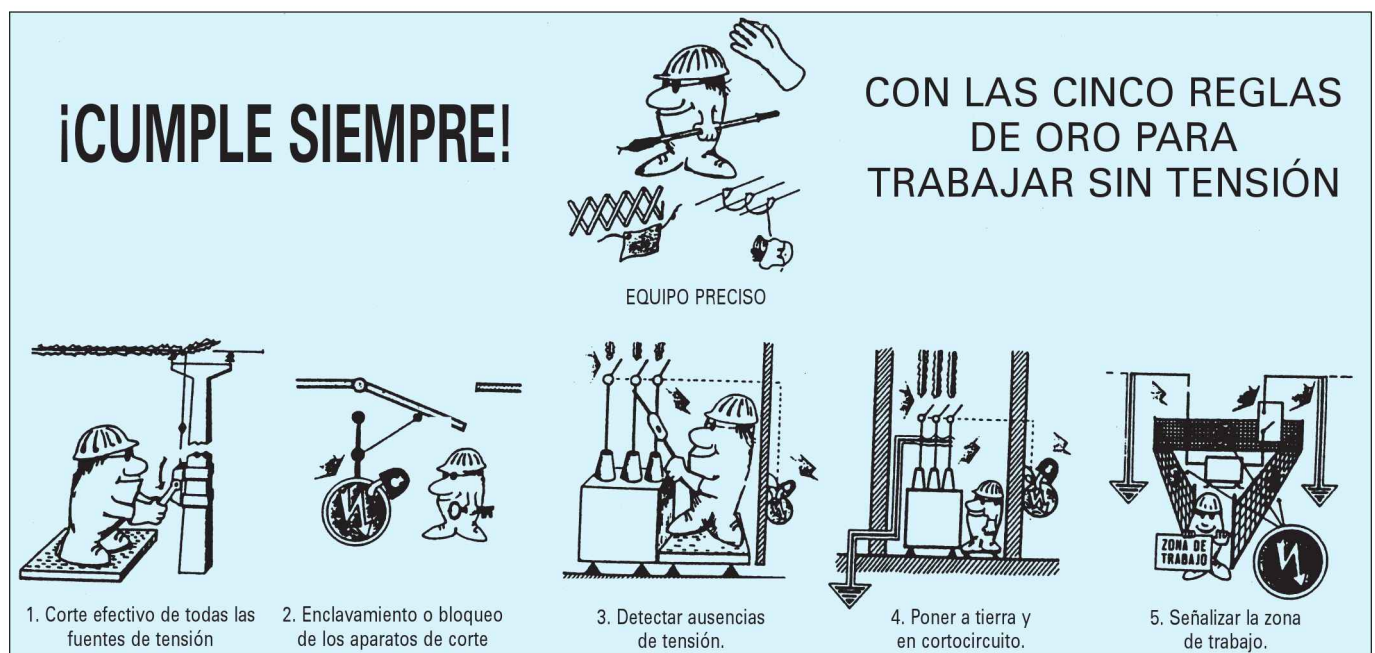
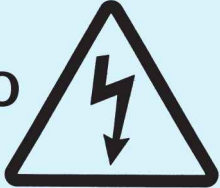


Figura 8.1. Cartel de las 5 reglas de oro.

REQUISITOS PREVIOS A LOS TRABAJOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE A.T.

PELIGRO 

NO EMPEZAR NINGÚN TRABAJO EN LAS INSTALACIONES DE ALTA TENSIÓN SIN:

- 1** CORTAR TODAS LAS POSIBLES ALIMENTACIONES DE ALTA Y BAJA TENSIÓN DE LOS ELEMENTOS EN QUE HAYA DE INTERVENIRSE, UTILIZANDO, AL MENOS, CASCO, BANQUETA AISLANTE, GUANTES AISLANTES Y GAFAS PROTECTORAS.
- 2** AL UTILIZAR LAS PÉRTIGAS, LIMPIARLAS Y PONERLAS A TIERRA, SI PROCEDE.
- 3** BLOQUEAR SI ES POSIBLE LOS APARATOS DE CORTE.
- 4** COLOCAR EN LOS MANDOS DE LOS APARATOS DE CORTE LA SEÑAL DE SEGURIDAD CORRESPONDIENTE.
- 5** COMPROBAR SIEMPRE LA AUSENCIA DE TENSIÓN EN LOS ELEMENTOS DONDE SE VA A TRABAJAR, EN LOS SITUADOS A DISTANCIA QUE SUPONGA PELIGRO.
- 6** COLOCAR LAS PUESTAS A TIERRA Y EN CORTOCIRCUITO AISLANDO LA ZONA DE TRABAJO.

ESTÁ TOTALMENTE PROHIBIDO PENETRAR EN LAS CELDAS ANTES DE DEJAR SIN TENSIÓN TODOS LOS APARATOS Y CONDUCTORES CONTENIDOS EN SU INTERIOR (SALVO EL BARRAJE GENERAL CUANDO PROCEDA).

Figura 8.3. Cartel de requisitos previos para los trabajos en A.T.



Figura 8.4. Palanca de accionamiento.

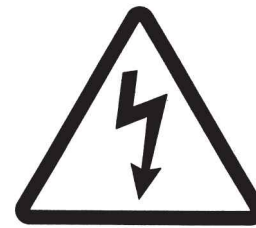


Figura 8.5. Placa indicadora de riesgo eléctrico.

8.2 Mediciones y verificaciones reglamentarias

El REBT en sus instrucciones complementarias ITC-BT 04 y 05, nos indica las inspecciones, revisiones y calificaciones de las instalaciones eléctricas como resultado de las inspecciones realizadas.

A efectos de calificar una instalación eléctrica como resultado de la inspección realizada periódica o inicial, éstos se clasifican en: defecto muy grave, defecto grave y defecto leve.

DEFECTO MUY GRAVE. Es todo desperfecto que la razón o la experiencia determina que constituye un peligro inmediato para la seguridad de las personas o de las cosas.

Dentro de este grupo se consideran:

- Incumplimiento de las medidas de seguridad contra contactos directos (ITC-BT 24).
- Incumplimiento de las prescripciones de seguridad por lo que se refiere a los locales de:
 - Pública concurrencia.
 - Con riesgo de incendio o explosión.
 - De características especiales.
 - Quirófanos y salas de intervención.

DEFECTO GRAVE. Es el que a diferencia del muy grave no supone un peligro inmediato para la seguridad de las personas o de las cosas, pero sí puede serlo al originarse un fallo en la instalación. Se incluye también dentro de esta clasificación aquel defecto que pueda reducir la capacidad de utilización de la instalación eléctrica.

Dentro de este grupo se consideran los siguientes defectos:

- Falta de conexiones equipotenciales cuando éstas sean preceptivas.
- Inexistencia de medidas adecuadas de seguridad contra contactos indirectos.
- Falta de aislamiento en la instalación.
- Falta de protección adecuada contra cortocircuitos y sobrecargas en los conductores, en función de la intensidad máxima admisible en los mismos, de acuerdo con sus características y condiciones de instalación.

- Falta de continuidad en los conductores de protección.
- Valores elevados de resistencia de tierra en relación con la medida de seguridad adoptada.
- Defectos en la conexión de las masas a los conductores de protección, cuando estas condiciones fuesen preceptivas.
- Sección insuficiente en los conductores de protección.
- Existencia de partes o puntos de la instalación, cuya defectuosa ejecución pueda ser origen de averías o daños.
- Naturaleza o características no adecuadas de los conductores utilizados.
- Falta de sección de los conductores, en relación con las caídas de tensión admisibles para las cargas previstas.
- Falta de identificación de los conductores «neutro» y «de protección».
- Empleo de materiales, aparatos o receptores que no se ajusten a las especificaciones vigentes.
- Ampliaciones o modificaciones de una instalación que no se hubiera tramitado según lo establecido en la ITC-BT 04.
- Carencia del número de circuitos mínimos estipulados.
- La sucesiva reiteración o acumulación de defectos leves.

DEFECTO LEVE. Es todo aquel que no supone peligro para las personas o las cosas, no perturba el funcionamiento de la instalación y en el que la desviación observada no tiene valor significativo para el uso efectivo o el funcionamiento de la instalación eléctrica de baja tensión.

CALIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES. Como resultado de las inspecciones realizadas por el personal facultativo de las Delegaciones Provinciales de Industria, se emitirá un dictamen en el que la instalación eléctrica para Baja Tensión será calificada:

- Favorablemente.
- Condicionadamente.
- Negativamente.

DICTAMEN FAVORABLE. Esta calificación se concederá cuando el resultado de la inspección no determine la existencia de ningún defecto muy grave o grave.

La Delegación Provincial de Industria tomará nota de los defectos leves observados, al objeto de calificar a las empre-

sas instaladoras que han dirigido las instalaciones. Los posibles defectos leves se anotarán para constancia del titular, con la indicación de que deben subsanarlos antes de la próxima inspección.

DICTAMEN CONDICIONADO. La observación de un defecto grave dará lugar a esta calificación, o uno leve procedente de otra inspección.

Las instalaciones eléctricas nuevas que sean objeto de esta calificación no podrán ser conectadas a la red de distribución en tanto no se hayan corregido los defectos y puedan obtener calificación favorable.

A las instalaciones ya en servicio se les fijará un plazo para proceder a su corrección que no será superior a 6 meses. Una vez transcurrido el plazo indicado sin haberse corregido los defectos, el Organismo de Control remitirá el certificado con la calificación negativa al órgano competente de la Comunidad Autónoma.

DICTAMEN NEGATIVO. La observación de un defecto muy grave señala la obligatoriedad de emitir un dictamen negativo.

Las instalaciones eléctricas nuevas calificadas con dictamen negativo no podrán ser conectadas a la red de distribución en tanto no se hayan corregido los defectos.

A las instalaciones ya en servicio se les emitirá el certificado negativo, que enviará inmediatamente al órgano competente de la Comunidad Autónoma.

REVISIÓN PERIÓDICA. Serán objeto de inspecciones periódicas, cada 5 años, todas las instalaciones eléctricas en Baja Tensión que precisaran inspección inicial, según el punto 4.1 de la ITC-BT 05, y cada 10 años las comunes de edificios de viviendas de potencia instalada > 100 kW.

Los boletines de reconocimiento, extendidos como resultado de la revisión efectuada, serán entregados al propietario, arrendatario, etc., del local, debiendo remitir el Instalador autorizado que efectuó la revisión, copia del mismo a la Delegación Provincial de Industria, cuando el resultado de la revisión no fuese favorable y recabando de la citada Delegación duplicado debidamente sellado para constancia de su presentación.

El Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid de fecha 18 de enero de 2007 da las pautas oportunas para realizar dichas inspecciones.

A continuación se indica cómo podrían ser dichas hojas de inspección.

**HOJA DE CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN
BOLETÍN DE RECONOCIMIENTO DE INSTALACIONES
EN BAJA TENSIÓN**

REF:
NÚM. EXPED.:

1. LOCAL

Denominación:
Dirección:
Uso a que se destina:

Tfno.:

2. TITULAR

Nombre o Razón Social:
Domicilio:
Localidad:
Núm. instalador:

Tfno.:

3. CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN

Potencia contratada (W):
Acometida (tipo y sección):
Fecha de instalación:
Fecha de la última revisión:

Tensión (V):

4. SUMINISTROS COMPLEMENTARIOS

- De socorro
- De reserva
- Duplicado
- No existe

5. ALUMBRADOS DE EMERGENCIA

- Alumbrados de seguridad
- Alumbrado de evaluación
- Alumbrado ambiente o antipánico
- Alumbrado de zonas de alto riesgo
- Alumbrado de reemplazamiento

6. IMPRESOS CUMPLIMENTADOS

- Prescripciones locales pública concurrencia.
- Prescripciones complementarias locales de espectáculos.
- Prescripciones complementarias locales de reunión.
- Prescripciones complementarias piscinas públicas.
- Prescripciones complementarias establecimientos sanitarios.
- Prescripciones complementarias locales con riesgo de incendio o explosión.
- Prescripciones complementarias en locales de características especiales.
- Prescripciones particulares para instalaciones con fines especiales.

7. OBSERVACIONES

.....
.....

..... a de de

El Inspector

.....

**CERTIFICADO DE RECONOCIMIENTO
INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN**

REF.:
NÚM. EXPED.:

- (1) D. en representación de, Entidad de Inspección y Control Reglamentario para la aplicación de la Reglamentación Eléctrica e inscrita con el número en el Registro General del Ministerio de Industria y Energía.
- (1) D.
con título de

CERTIFICA:

Que, a petición de y en cumplimiento de la Normativa Vigente sobre Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión, se ha procedido durante el día al reconocimiento de la Instalación Eléctrica descrita en el Boletín de Reconocimiento número *BR* de acuerdo con ITC-BT 05 y resultado:

- Favorable
- Condicionado
- Negativo

Y para que conste donde convenga, se firma el presente certificado en, a de de

Fdo.:

⁽¹⁾ Cumpliméntese lo que proceda

**HOJA DE RESUMEN DE DEFECTOS
BOLETÍN DE RECONOCIMIENTO
LOCALES DE PÚBLICA CONCURRENCIA
(ITC-BT-28)**

REF.:
NÚM. EXPED.:

BOLETÍN NÚM. BR.....

CLASE LOCAL:

RESUMEN DE DEFECTO ENCONTRADOS

DEFECTOS MUY GRAVES (DMG)

DEFECTO

- 1
- 2
- 3

PLAZO REPARACIÓN

DEFECTOS GRAVES (DG)

DEFECTO

- 1
- 2
- 3

PLAZO REPARACIÓN

DEFECTOS LEVES (DL)

DEFECTO

- 1
- 2
- 3

PLAZO REPARACIÓN

.....a de de

EL INSPECTOR

.....

**CERTIFICADO DE CORRECCIÓN DE DEFICIENCIAS
INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN**

REF:
NÚM. EXPED.:

D. con título de, en representación de
Entidad de Inspección y Control Reglamentario para la aplicación de la Reglamentación Eléctrica e inscrita con el número en el Registro General del Ministerio de Industria y Energía.

CERTIFICA:

Que, a petición de y en cumplimiento de la Normativa Vigente sobre Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión, se ha procedido durante el día el reconocimiento de la Instalación Eléctrica descrita en el Boletín de Reconocimiento número *BR* de acuerdo con la ITC-BT 05 y resultado:

- Favorable
- Condicionado
- Negativo

Y para que conste donde convenga, se firma el presente certificado en, a de de

Fdo.:

**BOLETÍN DE RECONOCIMIENTO –GUÍA COMUN–
PARA TODOS LOS LOCALES (ITC-BT-28)
BOLETÍN NÚM. BR-BT**

BR-01. Hoja 1 de 4

REF.:

Calificación
(ITC-BT 05)

SD DL DG DMG NA

1. CAJA GENERAL DE PROTECCIÓN

- Situación: - Accesibilidad
- Proximidad otras instalaciones
- Precinto SÍ NO
- Grado de Protección
- Fusible In = A.
- Borne de conexión neutro Aislado Desnudo
- Puesta a tierra (C.G.P. metálica)

2. ACOMETIDA, LÍNEA GENERAL DE ALIMENTACIÓN Y DERIVACIÓN INDIVIDUAL

- Individual SÍ NO
- Sección mm²
- Canalización
- Signos de calentamiento de conductores

3. CONTADORES

- Local o ubicación
- Fusible de Seguridad A
- Protección contra contadores de bornes o embarrados

4. CUADRO GENERAL Y SECUNDARIOS

4.1. LOCAL

- Situación
- Inaccesibilidad al público
- Separación de locales con riesgo de incendio o pánico
- Puerta no propagadora del fuego

4.2. DISPOSITIVO DE MANDO Y PROTECCIÓN

- Situación
- Interruptor omnipolar
- Protección sobrecarga y cortocircuitos
- Diferencial general

4.3. INTERRUPTOR DIFERENCIAL OTROS RECEPTORES

- In A
- Intensidad disparo mA
- Tiempo de disparo
- Diferenciales secundarios

SD	DL	DG	DMG	NA

BR-04.

REF.:

Calificación
(ITC-BT 05)

SD DL DG DMG NA

3. CANALIZACIONES

3.1. EN ESCENARIO Y DEPENDENCIAS ANEXAS

- Conductores
- aislados 750 V.
-
- Tubos protectores
- no propagadores de llama
-
- empotrados
- montaje superficial
- Canalizaciones móviles
- tipo aislamiento reforzado
-
- Receptores portátiles
- aislamiento clase II
-

3.2. EN CABINA CINEMATOGRAFICA

- Conductores
- aislados 750 V
-
- Tubos protectores
- no propagadores de llama
- empotrados
- montajes superficial
- Canalizaciones móviles

4. RESISTENCIAS, LINTERNAS DE PROYECCIÓN, LÁMPARAS, ETC.

Distancias a telones, bambalinas y demás material inflamable

5. OBSERVACIONES

.....
.....

..... a de de

EL INSPECTOR

.....

**REVISIÓN MENSUAL DE
INSTALACIONES CON
TRANSFORMADOR DE
AISLAMIENTO**

TIPO DE UNIDAD _____

PLANTA _____ N° _____

REFERENCIA PANEL _____

CENTRO _____

ACCIONES

NO NECESARIO

NECESARIO

TOMADA

PARTE N° _____

FECHA INSPECCIÓN _____

PROXIMA INSPECCIÓN _____

CONTROL DE MONITOR DETECTOR DE FUGAS				BIEN	MAL	ACCIÓN NECES.	ACCIÓN TOMADA (FECHA)
LÁMPARA VERDE Y ROJA							
APARATO MEDIDOR							
ZUMBADOR ALARMA Y PULSADOR PARO ALARMA ACÚSTICA							
FUSIBLES							
TENSIÓN DE RED							
NIVEL DE ALARMA							
REPETIDORES							
COMPROBACIÓN VALOR DE LA RESISTENCIA QUE PRODUCE LA ALARMA							
		VALOR MEDIDO	VALOR MÍNIMO	BIEN	MAL	ACCIÓN NECES.	ACCIÓN TOMADA (FECHA)
LÍNEA 1			50 k Ω				
LÍNEA 2			50 k Ω				
LÍNEA 3			50 k Ω				

CONTROL DE LAS PROTECCIONES DIFERENCIALES							
N°	TENSIÓN MEDIA (A)	RESISTENCIA A QUE SALTA EL DIF. (B)	SENSIBILIDAD NOMINAL (mA) (A/B)	BIEN	MAL	ACCIÓN NECES.	ACCIÓN TOMADA
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

CONTROL DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SUMINISTROS COMPLEMENTARIOS						
					SÍ	NO
ENTRADA EN SERVICIO LA LÁMPARA PRINCIPAL						
ENTRADA EN SERVICIO EL SATÉLITE DE LA LÁMPARA PRINCIPAL						
	TENSIÓN DE ALIMENT. (A)	TENSIÓN MEDIDA A LOS 10 min. (b)	A/B	VALOR MÁXIMO A/B	BIEN	MAL
LÁMPARA PRINCIPAL				1,03		
SAT. LÁMP. PRINPAL.				1,03		
				1,03		
				1,03		
				1,03		

MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES DE PROTECCIÓN

Nº	VALOR MEDIDO	VALOR MÁXIMO	BIEN	MAL	ACCIÓN A TOMAR	ACCIÓN TOMADA	Nº	VALOR MEDIDO	VALOR MÁXIMO	BIEN	MAL	ACCIÓN A TOMAR	ACCIÓN TOMADA
1		0,2 Ω					18		0,2 Ω				
2		0,2 Ω					19		0,2 Ω				
3		0,2 Ω					20		0,2 Ω				
4		0,2 Ω					21		0,2 Ω				
5		0,2 Ω					22		0,2 Ω				
6		0,2 Ω					23		0,2 Ω				
7		0,2 Ω					24		0,2 Ω				
8		0,2 Ω					25		0,2 Ω				
9		0,2 Ω					26		0,2 Ω				
10		0,2 Ω					27		0,2 Ω				
11		0,2 Ω					28		0,2 Ω				
12		0,2 Ω					29		0,2 Ω				
13		0,2 Ω					30		0,2 Ω				
14		0,2 Ω					31		0,2 Ω				
15		0,2 Ω					32		0,2 Ω				
16		0,2 Ω					33		0,2 Ω				
17		0,2 Ω					34		0,2 Ω				

MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES DE EQUIPOTENCIALIDAD

	RESIST. MEDIDA	VALOR MÁXIMO	BIEN	MAL	TENSIÓN MEDIDA	VALOR MÁXIMO	BIEN	MAL
MESA DE QUIRÓFANO		0,1 Ω				10 mv		
LÁMPARA PRINCIPAL		0,1 Ω				10 mv		
NEGATOSCOPIO		0,1 Ω				10 mv		
TORRETA DE GASES		0,1 Ω				10 mv		
MARCOS DE PUERTAS		0,1 Ω				10 mv		
MARCOS DE VENTANAS		0,1 Ω				10 mv		
REJILLA AIRE AC.		0,1 Ω				10 mv		
BARRETA		0,1 Ω				10 mv		
GUILLOTINA		0,1 Ω				10 mv		
REPETIDOR		0,1 Ω				10 mv		
CARCASA RX		0,1 Ω				10 mv		
		0,1 Ω				10 mv		

OBSERVACIONES: _____

Vº Bº
 EL JEFE DE SEGURIDAD

REVISADO POR: _____

FIRMA .

**REVISIÓN TRIMESTRAL DE
INSTALACIONES CON
TRANSFORMADOR DE
AISLAMIENTO**

TIPO DE UNIDAD _____

PLANTA _____ N° _____

REFERENCIA PARCIAL _____

CENTRO

ACCIONES

NO NECESARIO
NECESARIO
TOMADA

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

PARTE N° _____

FECHA INSPECCIÓN _____

PRÓXIMA INSPECCIÓN _____

CONTROL DE MONITOR DETECTOR DE FUGAS

	VALOR MEDIO	VALOR MÁXIMO	BIEN	MAL	ACCIÓN NECES.	ACCIÓN TOMADA
LÍNEA 1 (R)		4 mA				
LÍNEA 2 (S)		4 mA				
LÍNEA 3 (T)		4 mA				

CONTROL SUELOS ANTIELECTROSTÁTICOS

		VALOR MEDIO	VALOR MÁXIMO	BIEN	MAL	ACCIÓN NECES.	ACCIÓN TOMADA
	PUNTO 1		1 M Ω				
	PUNTO 2		1 M Ω				
	PUNTO 3		1 M Ω				
	PUNTO 4		1 M Ω				
	PUNTO 5		1 M Ω				
	PUNTO 6		1 M Ω				
	PUNTO 7		1 M Ω				

DISTRIB. PUNTOS DE MEDIDA

CONTROL DE CONTINUIDAD DE LOS CONDUCTORES ACTIVOS DE LA INSTALACIÓN

	TENSIÓN REF.	TENSIÓN MEDIA	BIEN	MAL		TENSIÓN REF.	TENSIÓN MEDIA	BIEN	MAL		TENSIÓN REF.	TENSIÓN MEDIA	BIEN	MAL
1					13					25				
2					14					26				
3					15					27				
4					16					28				
5					17					29				
6					18					30				
7					19					31				
8					20					32				
9					21					33				
10					22					34				
11					23					35				
12					24					36				

CONTROL DE LA CONTINUIDAD DE LOS CONDUCTORES ACTIVOS DE LÁMPARAS DE QUIRÓFANOS				
	TENSIÓN REFER.	TENSIÓN MEDIA	BIEN	MAL
LÁMPARA PRINCIPAL				
SATÉLITE DE LÁMPARA PRINCIPAL				

CONTROL DE LA CONTINUIDAD DE LOS CONDUCTORES ACTIVOS DE LOS EQUIPOS FIJOS				
	TENSIÓN REFER.	TENSIÓN MEDIA	BIEN	MAL
ALIMENTACIÓN EQUIPO RAYOS X				

CONTROL DE LA RESISTENCIA DE LA PUESTA A TIERRA						
	VALOR MEDIDO	VALOR MÁXIMO	BIEN	MAL	ACCIÓN NECESARIA	ACCIÓN TOMADA
PLACA O PICA 1		2 Ω				
PLACA O PICA 2		2 Ω				
PLACA O PICA 3		2 Ω				
PLACA O PICA 4		2 Ω				
PLACA O PICA 5		2 Ω				
PLACA O PICA 6		2 Ω				
PLACA O PICA 7		2 Ω				
PLACA O PICA 8		2 Ω				

REGADO DE LAS PLACAS O PICAS DE LA PUESTA A TIERRA

REALIZADO
 NO REALIZADO

OBSERVACIONES:

Vº Bº
 EL JEFE DE SEGURIDAD

REVISADO POR: _____

FIRMA

PRUEBAS PERIÓDICAS DE ESTANQUEIDAD DE LOS DEPÓSITOS DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS Y DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN ESTACIONES DE SERVICIO Y UNIDADES DE SUMINISTRO.

Para todos los depósitos enterrados diez o más años.

- a) Vaciado del producto contenido en los tanques y tuberías.
- b) Limpieza interior de tanques, con desprendimiento de incrustaciones, lodos, óxidos, etc.
- c) Desgasificación e inertización del interior de los tanques.
- d) Medición de los espesores de los tanques. Como mínimo se efectuará una medición cada 50 cm, en ambas direcciones (axial y longitudinal del tanque), con especial atención en las zonas de mayor riesgo como son la unión fondo-virolas y proximidades de soldaduras.

En caso de detectar un punto con disminución en el espesor igual o superior a un 20% deberán efectuarse otras tres mediciones próximas, para determinar si se trata de un punto aislado con pérdida de espesor o una zona.

Si la pérdida de espesor, puntual o por zonas es superior al 50% del que en el día de la prueba debiera tener el tanque según la normativa vigente, la prueba se considerará negativa.

- e) Visión ocular del interior del tanque.
- f) Prueba de estanqueidad de tanques y tuberías a 1 kg/cm² de presión manométrica, durante una hora los depósitos y de 30 minutos las tuberías, contado este tiempo después de estabilizada la presión de prueba, debiendo ser certificada por Entidad de Inspección y Control Reglamentaria. Todas las pruebas de estanqueidad tendrán registro continuo.
Se considerará que el resultado de la prueba es negativa cuando se produzca una pérdida de presión.
Cuando se detecte una fuga se procederá a la sustitución o reparación del depósito por empresa especializada y autorizada por la Dirección General de Industria, Energía y Minas.

El reconocimiento de la instalación eléctrica al tratarse de un local con riesgo de incendio o explosión (MC 29), de acuerdo con la ITC 05 se realizará anualmente, y se seguirá el siguiente cuestionario:

CONDICIONES QUE DEBEN CUMPLIR LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN LAS ESTACIONES DE SERVICIO Y UNIDADES DE SUMINISTRO

1. Cumplimiento del REBT, en especial la ITC 29.

- 1.1. El cuadro eléctrico estará constituido con materiales resistentes al fuego.
- 1.2. Se deberá disponer de un dispositivo de parada de emergencia situado en zona no peligrosa y fácilmente accesible.
- 1.3. El cuadro eléctrico y sus partes móviles deberán estar conectados a la red general de tierra.
- 1.4. Dicho cuadro eléctrico dispondrá de un interruptor general de corte omnipolar.
- 1.5. Los distintos conductores estarán claramente diferenciados por colores, según la ITC 19, ap. 2.2.4.
- 1.6. Todos los circuitos estarán protegidos con magnetotérmicos de intensidad adecuada al circuito que protegen.
- 1.7. Todos los circuitos de zonas clasificadas estarán protegidos con Int. Aut. Diferenciales de 30 mA e intensidad adecuada al circuito que protegen.
- 1.8. Existirá identificación de todos los interruptores y mando del cuadro eléctrico. Los cables multiconductores de entrada y salida del cuadro estarán identificadas con etiquetas o señales en las que se indique el circuito a que pertenecen.
- 1.9. No deberán existir puntos en tensión accesibles. Todas las partes activas de la instalación estarán recubiertas por medio de un aislamiento apropiado.
- 1.10. Cuando la instalación eléctrica no sea antideflagrante, los cables que atraviesen áreas clasificadas serán del tipo RMV, además de ser resistentes a los hidrocarburos.

1.11. Salvo autorización previa no se admitirán modificaciones o adiciones, tales como nuevos servicios, cuadros de imagen, etc.

2. Existencia de red de tierra y su puente de comprobación.

- 2.1. Existirá una línea general de tierra, entre picas, de 35 mm² de sección, mínima.
- 2.2. Existirá un puente de comprobación que estará constituido por un dispositivo de conexión (regleta, placa, borne, etc.) que permita la unión entre conductores de líneas de enlace y principal de tierra, de tal forma que pueda realizarse su desconexión.
- 2.3. En la comprobación el valor de la resistencia de tierra será inferior a 5 Ω.
- 2.4. Las conexiones de los conductores de tierra se realizarán por medio de tornillos, elementos de compresión, remaches o soldadura de alto punto de fusión.
- 2.5. Las protecciones mecánicas de los cables estarán conectadas a la red de puesta a tierra, o se conectarán sólidamente fijadas y con buen contacto metálico a otras partes metálicas previamente conectadas a la red general de tierra.

3. Puesta a tierra de motores y carcasas de los aparatos surtidores.

- 3.1. Los motores y carcasas de los aparatos surtidores deberán estar conectados a la red general de tierra, mediante un conductor de 10 mm², como mínimo.
- 3.2. La conexión del conductor de tierra será observable a simple vista para poder comprobar su estado y sección.

4. Canalizaciones y arquetas.

- 4.1. Todas las canalizaciones deberán estar selladas con material que evite el paso de gases o líquidos.
- 4.2. La profundidad mínima de las canalizaciones eléctricas en la plataforma será de 60 centímetros.
- 4.3. Las arquetas del cableado eléctrico deberán estar rellenas de arena, cubriendo los cables eléctricos en su totalidad, aunque si existe un puente de comprobación en el interior de la arqueta no deberá quedar cubierto.
- 4.4. Las arquetas de los surtidores deberán estar rellenas de arena, pero sin cubrir las válvulas de impacto.

5. Instalaciones eléctricas en sótanos o recintos bajo rasante.

5.1. La instalación deberá ser antideflagrante o de seguridad aumentada.

6. Existencia de toma de tierra para camiones cisternas.

- 6.1. Se deberá instalar una toma de tierra para conectar a los camiones cisternas, previamente a las descargas de combustibles.
- 6.2. Deberá estar provista de un interruptor adecuado a la zona donde esté ubicada, de tal forma que permita el cierre del circuito una vez esté conectada la pinza del camión.
- 6.3. Se admitirá que el cable con la pinza estén recogidos en una arqueta debidamente señalizada y exenta de humedad y suciedad, o que se instale la toma de tierra en una columna de medio metro de altura, aproximadamente, y con devanadera.
- 6.4. El cable de conexión a la red general de tierra será de sección mínima de 16 mm².
- 6.5. Si los tubos de ventilación de tanques tienen su boca a menos de dos metros de una marquesina, se deberá acoplar un automatismo que asegure el no encendido del alumbrado en todo el perímetro de la misma, mientras se realiza la descarga del camión cisterna, y que mantenga esta situación como mínimo treinta minutos después de haber finalizado la descarga.

RESUMEN DE DEFECTOS ENCONTRADOS:

RESULTADO DE LA REVISIÓN:

- FAVORABLE.
- CONDICIONADO.
- NEGATIVO.

El plazo de corrección de defectos es de:.....
..... a de de

EL INSPECTOR

Fdo:.....

No obstante, y siempre que se tenga que realizar la contratación con la Empresa Suministradora de Energía, bien por tratarse de obra nueva o de ampliaciones o modificaciones de instalaciones en servicio, será obligatorio la entrega del Certificado de Instalaciones Eléctricas, visado por la Dirección General de Industria, Energía y Minas de cada Comunidad Autónoma, de acuerdo con el artículo 18 del REBT, o por una E.I.C.I.

Hoy en día, también los Ayuntamientos están exigiendo dicho documento, entre otros, para dar el ACTA de apertura y puesta en funcionamiento de cualquier tipo de local o industria que se quiera instalar en su municipio.

8.3 Procedimiento para la tramitación, puesta en servicio e inspección de las instalaciones eléctricas no industriales conectadas a una alimentación de Baja Tensión

Cada Comunidad Autónoma con competencias propias de acuerdo a lo autorizado por el antiguo Ministerio de Industria, puede definir el procedimiento más adecuado para la tramitación, puesta en servicio e inspecciones correspondientes a las instalaciones eléctricas realizadas dentro de su Comunidad Autónoma.

Como referencia a lo anteriormente expuesto con fecha 18 de octubre de 2003 en la Comunidad de Madrid se publicó el Orden 9344/2003 de fecha 1 de octubre en la que la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. Dirección General de Industria, Energía y Minas establece el procedimiento para la tramitación, puesta en servicio e inspección de las instalaciones eléctricas no industriales conectadas a una alimentación de Baja Tensión y que a continuación reproducimos.

ORDEN 9344/2003

Consejería de Economía e Innovación Tecnológica

DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINAS

Orden 9344/2003, de 1 de octubre, del Consejero de Economía e Innovación Tecnológica, por la que se establece el procedimiento para la tramitación, puesta en servicio e inspección de las instalaciones eléctricas no industriales conectadas a una alimentación en baja tensión.

El Decreto 38/2002, de 28 de febrero, por el que se regulan las actividades del control reglamentario de las instalaciones industriales en la Comunidad de Madrid, definió un marco para la agilización de los procedimientos administrativos para la puesta en servicio, ampliación y traslado de las instalaciones industriales de la Comunidad de Madrid, estableciéndose en su artículo 3, que la tramitación admi-

nistrativa para la acreditación del cumplimiento de las condiciones de seguridad de las instalaciones previstas en los correspondientes Reglamentos, se realizará siguiendo el procedimiento que al efecto se establezca mediante Orden del titular de la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica.

Por su parte el artículo 4 del citado Decreto determina que los procedimientos para la tramitación administrativa de puesta en servicio de las instalaciones industriales, podrán prever la intervención de las EICI (Entidades de Inspección y Control Industrial), correspondiendo al titular de la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica el establecimiento del alcance de dicha intervención y las condiciones a cumplir para la actuación, de acuerdo con las previsiones establecidas.

La presente Orden pretende desarrollar el procedimiento administrativo para el registro y posterior puesta en servicio de las instalaciones eléctricas no industriales, enmarcadas en el ámbito de aplicación del Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprobó el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Por tanto, de conformidad con el Decreto 239/2001, de 11 de octubre, por el que se atribuyen competencias en materia de industria a la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica y el Decreto 38/2002, de 28 de febrero, por el que se regulan las actividades del control reglamentario de las instalaciones industriales en la Comunidad de Madrid.

En su virtud, como Consejero de Economía e Innovación Tecnológica

DISPONGO

Capítulo I

Disposiciones generales

Artículo 1

Objeto

La presente Orden tiene por objeto establecer la regulación de la intervención de las Entidades de Inspección y Control Industrial (EICI) en el procedimiento administrativo para la tramitación e inspección de las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro en baja tensión, así como garantizar un control en el cumplimiento de las condiciones de seguridad para su puesta en servicio, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 38/2002, de 28 de febrero, por el que se regulan las actividades del control reglamentario de las instalaciones industriales en la Comunidad de Madrid.

Artículo 2

Ámbito de aplicación

Los preceptos de la presente Orden se aplicarán a las instalaciones nuevas, ampliaciones o modificaciones de las instalaciones generadoras de electricidad para consumo propio y a las receptoras no industriales en los límites siguientes de tensión:

- a) Corriente alterna: Igual o inferior a 1.000 V.
- b) Corriente continua: Igual o inferior a 1.500 V.

Se excluyen del ámbito de aplicación las instalaciones que distribuyan la energía eléctrica y las correspondientes a industrias.

Artículo 3

Actuaciones sujetas al procedimiento

Las actuaciones sujetas al procedimiento establecido en esta Orden referidas a las instalaciones señaladas en el artículo anterior son las siguientes:

3.1. Instalaciones que requieren proyecto firmado por técnico titulado competente y visado por el Colegio Profesional correspondiente:

1.1. Instalaciones nuevas:

Grupo	Tipo de instalación
b	Las correspondientes a: — Locales húmedos, polvorientos o con riesgo de corrosión. — Bombas de extracción o elevación de agua, sean industrias o no. Límites: $P > 10$ kW.
c	Las correspondientes a: — Locales mojados. — Generadores y convertidores. — Conductores aislados para caldeo, excluyendo las de viviendas. Límites: $P > 10$ kW.
d	— De carácter temporal para alimentación de maquinaria de obras en construcción. — De carácter temporal en locales o emplazamientos abiertos. Límites: $P > 50$ kW.
e	Las de edificios destinados principalmente a viviendas, locales comerciales y oficinas, que no tenga la consideración de locales de pública concurrencia, en edificación vertical u horizontal. Límites: $P > 100$ kW por caja general de protección (1).
f	Las correspondientes a viviendas unifamiliares. Límites: $P > 50$ kW
g	Las de garajes que requieran ventilación forzada. Límites: Cualquiera que sea su ocupación.
h	Las de garajes que disponen de ventilación natural. Límites: De más de cinco plazas de estacionamiento.
i	Las correspondientes a locales de pública concurrencia. Límites: Sin límite.
j	Las correspondientes a: — Máquinas de elevación y transporte. — Las que utilicen tensiones especiales. — Las destinadas a rótulos luminosos salvo que se consideren instalaciones de Baja Tensión según lo establecido en la ITC-BT 44. — Cercas eléctricas. Límites: Sin límite de potencia.
k	— Instalaciones de alumbrado exterior. Límites: $P > 5$ kW.
l	Las correspondientes a locales con riesgo de incendio o explosión, excepto garajes. Límites: Sin límite.
m	Las de quirófanos y salas de intervención. Límites: Sin límite.
n	Las correspondientes a piscinas y fuentes. Límites: $P > 5$ kW.
o	Todas aquellas que, no estando comprendidas en los grupos anteriores, determine el Ministerio de Ciencia y Tecnología, mediante oportuna Disposición. Límites: Según corresponda.

(1) A los efectos de computar la potencia, los fraccionamientos de potencia de la caja general de protección deberán estar justificados exclusivamente en causas técnicas.

3.2. Ampliaciones y modificaciones:

Asimismo, requerirán elaboración de proyecto las ampliaciones y modificaciones de las instalaciones siguientes:

- a) Las ampliaciones de las instalaciones de los tipos (b, c, g, i, j, l, m) y modificaciones de importancia de las instalaciones señaladas en 3.1.
- b) Las ampliaciones de las instalaciones que, siendo de los tipos señalados en no alcanzasen los límites de potencia prevista establecidos para las mismas, pero que los superan al producirse la ampliación.
- c) Las ampliaciones de instalaciones que requirieron proyecto originalmente si en una o en varias ampliaciones se supera el 50 por 100 de la potencia prevista en el proyecto anterior.

3.3. Otras:

Si una instalación está comprendida en más de un grupo de los especificados en 3.1, se le aplicará el criterio más exigente de los establecidos para dichos grupos.

3.4. Instalaciones que requieren Memoria Técnica de Diseño (MTD) firmada por Instalador Autorizado en Baja Tensión o técnico titulado competente:

Resto de instalaciones no incluidas en los apartados anteriores.

Artículo 4

Definiciones

A los efectos previstos en la presente Orden, se entiende por:

Modificación o reparación de importancia: Son aquellas que afectan a más del 50 por 100 de la potencia instalada. Igualmente se considerará modificación de importancia la que afecte a líneas completas de procesos productivos con nuevos circuitos y cuadros, aun con reducción de potencia.

EICI: Es el Organismo de Control Autorizado que, de conformidad con el Decreto 111/1994, de 3 de noviembre, por el que se regulan las Entidades de Inspección y Control Industrial (EICI), modificado por el Decreto 114/1997, de 18 de septiembre, se encuentre inscrito en el Registro de EICI acreditadas, y que llevará a cabo, en el ámbito territorial de la Comunidad de Madrid, la actividad reglamentaria de las instalaciones objeto de la presente Orden, en su registro y posterior puesta en servicio.

Empresa Suministradora: Es la que entrega la energía para su consumo en la instalación.

Capítulo II

Procedimiento para la puesta en servicio de las instalaciones

Artículo 5

Requisitos generales

5.1. De conformidad con lo establecido en el Decreto 38/2002, de 28 de febrero, por el que se regulan las actividades del control reglamentario de las instalaciones industriales en la Comunidad de Madrid, la tramitación se iniciará con la presentación, por el Instalador Autorizado en Baja Tensión, ante la EICI, de la documentación establecida en la presente Orden.

5.2. En sus actuaciones las EICI intervinientes han de ajustarse a lo indicado en la presente Orden, al Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprobó el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias. Asimismo, deberán utilizar los impresos normalizados establecidos por la Dirección General de Industria Energía y Minas.

5.3. A los efectos del cómputo de plazos, cuando se expresen en días se entenderá que éstos son hábiles y cuando se expresen en meses se entenderá que son de fecha a fecha.

Artículo 6

Tramitación de las instalaciones que requieren proyecto técnico

Se aplicarán a todas las Instalaciones eléctricas que requieren proyecto definidas en el artículo 3 de la presente Orden.

6.1. Una vez ejecutadas las instalaciones y realizadas las verificaciones correspondientes de acuerdo con lo indicado en el Apartado 3 de la ITC-BT-05, el Instalador Autorizado en Baja Tensión deberá presentar ante la EICI la documentación siguiente, según el tipo de instalación:

- Proyecto redactado y firmado por titulado competente y visado por su Colegio Oficial (dos copias).
- Modelo oficial de solicitud.
- Certificado de la Instalación (cinco copias).
- Dossier de información al usuario (cinco copias).
- Certificado de Dirección de Obra (dos copias).
- Verificación del Instalador (dos copias).
- Contrato de mantenimiento (dos copias), en su caso.
- Documentación complementaria que justifique la desviación de la instalación, en su caso (dos copias).

6.2. En el proyecto específico de la Instalación deberán figurar cuantas descripciones, cálculos y planos sean necesarios para definirlo y, por tanto, para construirlo, así como aquellas recomendaciones e instrucciones necesarias para su buen funcionamiento, mantenimiento y revisión de las instalaciones proyectadas. En dicho proyecto habrán de contemplarse todos los preceptos y normas técnicas de seguridad, especificaciones, diseño, materiales, locales, recintos, pruebas, etcétera, que se recogen en las disposiciones técnicas de aplicación. Dicho proyecto constará al menos de los apartados indicados en el Apartado 2.1 de la ITC-BT-04.

Cualquier variación sobre el proyecto técnico original deberá ir firmado y estar visado en el Colegio Profesional correspondiente.

6.3. La EICI en el plazo máximo de quince días examinará que se ha presentado toda la documentación necesaria y que cumple con los criterios establecidos en la presente Orden, en cuyo caso, si la instalación no requiere inspección previa a la puesta en servicio, procederá a diligenciar las copias del Certificado de Instalación, devolviendo cuatro al Instalador Autorizado en Baja Tensión, dos para sí y otras dos para la propiedad para que ésta pueda entregar una copia a la empresa suministradora. Asimismo, se devolverá diligenciada la copia del proyecto para el titular o su representante.

Si se observase alguna deficiencia en la documentación recibida dentro del citado plazo la EICI lo notificará al Instalador Autorizado en Baja Tensión, al objeto de que sea subsanada.

6.4. Cuando sea necesaria inspección previa a la puesta en servicio, bien por que así lo establezca expresamente el Reglamento o por que la instalación esté incluida en un muestreo, en el mismo plazo de quince días la EICI deberá contactar con el Instalador Autorizado en Baja Tensión y con el Director de Obra, si estima necesario la presencia de este último, para realizar una visita de inspección en un plazo tal que no se supere en total los veinticinco días hábiles desde que el solicitante presentó la documentación. Todo ello sin perjuicio de que durante dicho período se requiera al Instalador Autorizado en Baja Tensión o al Director de Obra cuantas observaciones, prescripciones o petición de aclaraciones considere necesarias, para su corrección de acuerdo a los requisitos establecidos en la presente Orden y en la normativa técnica de aplicación.

6.5. En el caso de que se trate de locales de pública concurrencia en las que sea preceptivo el segundo suministro, la EICI podrá emitir un Certificado provisional de puesta en servicio para pruebas con un período de validez máxima de un mes, previo a la realización de la inspección.

6.6. Realizada la inspección correspondiente y habiéndose obtenido un Certificado de Inspección favorable, la EICI procederá a diligenciar el Certificado de la Instalación según se indica en el Apartado 6.3 de este artículo.

Artículo 7

Tramitación de las instalaciones que requieren Memoria Técnica de Diseño

Se aplicarán a todas las Instalaciones eléctricas que requieren Memoria Técnica de Diseño definidas en el artículo 3 de la presente Orden.

7.1. Una vez ejecutadas las instalaciones y realizadas las verificaciones correspondientes de acuerdo con lo indicado en el Apartado 3 de la ITC-BT-05, el Instalador Autorizado en Baja Tensión deberá presentar ante la EICI la documentación siguiente, según el tipo de instalación:

- Modelo oficial de solicitud.
- Memoria Técnica de Diseño, según modelo oficial (dos copias).
- Certificado de la Instalación (cinco copias).
- Dossier de información al usuario (cinco copias).
- Verificación del Instalador (dos copias).

7.2. La EICI procederá a diligenciar las copias del Certificado de Instalación, devolviendo cuatro al Instalador Autorizado en Baja Tensión, dos para sí y otras dos para la propiedad para que ésta pueda entregar una copia a la empresa suministradora. Asimismo, se devolverá diligenciada la copia del la Memoria Técnica de Diseño.

7.3. Si la instalación se incluye en el programa de muestreo, la EICI en el plazo máximo de quince días examinará que se ha presentado toda la documentación necesaria y que cumple con los criterios establecidos en la presente orden y en la normativa técnica de aplicación, notificándolo en caso contrario al Instalador Autorizado en Baja Tensión para que subsane los defectos apreciados. Asimismo, dentro de ese mismo plazo, contactará con el citado Instalador al objeto de acordar una visita de inspección en un plazo total desde la presentación de la documentación y la inspección no supere los veinticinco días.

7.4. Cualquier variación sobre la Memoria Técnica deberá ir firmado por el Instalador Autorizado en Baja Tensión.

Artículo 8

Tasas y tarifas

8.1. Las tarifas a percibir de los titulares de las instalaciones por parte de las EICI, serán fijadas por éstas por períodos anuales, notificadas por dichas entidades a la Dirección General de Industria Energía y Minas, que las hará de conocimiento público.

8.2. Dos meses antes de que finalice el año, las EICI comunicarán a la Dirección General de Industria, Energía y Minas las tarifas a aplicar en el año siguiente, sin perjuicio de lo establecido en la disposición adicional.

8.3. La EICI cobrará la tarifa y comprobará que se ha abonado la tasa correspondiente, que será ingresada en la cuenta de la Comunidad de Madrid que al efecto les sea señalada. No se iniciará la tramitación del expediente hasta que no se hayan abonado las mismas.

8.4. La tasa a aplicar en cada instalación será la que corresponda conforme a lo indicado en el Texto Refundido aprobado por Decreto Legislativo 1/2002, de 24 de octubre.

Artículo 9

Registro y anotación

9.1. Las EICI estarán obligadas a registrar la información contenida en cada expediente en la forma y soporte que establezca la Dirección General de Industria, Energía y Minas y a realizar las actuaciones necesarias para poner esta información a disposición de este Organismo, quien podrá realizar consultas en tiempo real por vía telemática.

9.2. El plazo máximo para la tramitación de los expedientes es el establecido en la presente Orden, que de no llevarse a efecto por causas imputables a la EICI, ésta lo enviará, para su resolución, a la Dirección General de Industria, Energía y Minas acompañando justificación motivada de la no tramitación, y procederá a devolver el

importe de la tarifa al interesado. A los efectos del cómputo de los plazos indicados en la presente orden, se entenderá que los días son hábiles.

Artículo 10

Archivo de la documentación

10.1. Las EICI archivarán y conservarán la documentación que corresponda a los expedientes tramitados ante ellas de modo que queden claramente identificados y dispuestos para su consulta o recuperación, quedando siempre a disposición de la Dirección General de Industria, Energía y Minas.

10.2. Transcurridos diez años desde su inicio, el expediente completo se remitirá a la Dirección General de Industria, Energía y Minas en la forma que por ésta se determine.

Capítulo III

Inspección y control

Artículo 11

Inspección de las instalaciones

11.1. Los titulares o responsables de instalaciones objeto de la presente Orden están obligados a permitir y facilitar el libre acceso a estas tanto de los técnicos de la Dirección General de Industria, Energía y Minas como de los de las EICI en la que se haya tramitado el expediente de puesta en servicio de las instalaciones.

Asimismo, están obligados a facilitar, en cualquiera de los casos, la información y documentación necesaria para que se compruebe el cumplimiento de las reglamentaciones técnicas y de las normas aplicables.

11.2. Con independencia de las inspecciones preceptivas establecidas en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, las EICI estarán obligadas a inspeccionar materialmente los siguientes porcentajes de instalaciones cuyos expedientes se hayan tramitado ante ellos, a fin de comprobar que las mismas cumplen con los reglamentos que les son de aplicación.

- a) Locales comerciales y oficinas que no tengan la consideración de locales de pública concurrencia: 20 por 100.
- b) Viviendas:
 - b.1) Con proyecto:
 - Unifamiliares: 50 por 100.
 - Edificios: 50 por 100 con un muestreo del 7 por 100 de las viviendas.
 - b.2) Sin proyecto:
 - Unifamiliares: 50 por 100.
 - Bloques: 50 por 100 con un muestreo del 7 por 100 de las viviendas.
- c) Instalaciones fotovoltaicas: 30 por 100.
- d) Alumbrado público: 30 por 100.
- e) Resto de instalaciones: 30 por 100.

En el caso de edificios de viviendas que incluyan piscina o garaje, de tal manera que por potencia alguno de ellos deba ser inspeccionado preceptivamente, se inspeccionarán todas las instalaciones y no se podrán computar a los efectos estadísticos del muestreo.

Los porcentajes indicados podrán ser modificados mediante resolución de la Dirección General de Industria, Energía y Minas si como resultado de la experiencia y de los datos estadísticos del sector se considerase conveniente.

En su caso, la elección de la muestra a inspeccionar, se realizará mediante un sistema aleatorio, único y común que deberá tener en cuenta tanto la diversidad geográfica de su ubicación como de los instaladores autorizados intervinientes, debiéndose presentar

ante el Dirección General de Industria, Energía y Minas a efectos de su aprobación.

11.3. Las inspecciones a las instalaciones se realizarán en los plazos previstos en los artículos 6 y 7 de la presente Orden.

11.4. El protocolo de actuación de las Inspecciones de cada EICI será remitido a la Dirección General de Industria, Energía y Minas.

11.5. De cada inspección la EICI levantará el Certificado de Inspección correspondiente, en el cual figurarán la posible relación de defectos, con su clasificación y calificación de la instalación de acuerdo a la normativa de aplicación. Se entregará copia de ésta al titular y, en su caso, al Instalador Autorizado en Baja Tensión o Director de Obra, según corresponda. El original del Certificado de Inspección se archivará en su correspondiente expediente, junto con el protocolo de actuación, debidamente fechado y firmado.

11.6. El Instalador Autorizado en Baja Tensión está obligado a acompañar en todo momento al personal de las EICIs en la visita de inspección, facilitará el acceso a las partes de la instalación que se le requieran y realizará la manipulación de la instalación que sean necesarias para emitir el Certificado de Inspección.

11.7. El Director de Obra, en su caso, está obligado a acompañar al personal de las EICIs en la visita de inspección si es requerido por éstas.

Artículo 12

Calificación de la instalación

12.1. Como consecuencia de su acción inspectora la EICI emitirá Certificados de Inspección en los que se clasificará la instalación de acuerdo a lo indicado a continuación:

- a) Favorable: Cuando no se determine la existencia de ningún defecto muy grave o grave. En este caso los posibles defectos leves se anotarán para constancia del titular, con la indicación de que deberá poner los medios para subsanarlos antes de la próxima inspección.
- b) Condicionada: Cuando se detecte, al menos, un defecto grave o leve procedente de otra inspección que no se haya corregido. En este caso:
 - b.1) Las instalaciones nuevas no podrán tener suministro de energía eléctrica en tanto no se hayan corregido los defectos indicados y puedan obtener la calificación favorable.
 - b.2) A las instalaciones en servicio se les fijará un plazo para proceder a la corrección de los defectos que no podrá superar los seis meses.
- c) Negativa: Cuando se observe, al menos, un defecto muy grave. En este caso:
 - c.1) Las nuevas instalaciones no podrán entrar en servicio hasta que se hayan corregido dos defectos.
 - c.2) A las instalaciones en servicio, la EICI procederá a cortar el suministro, precintando parte o partes de la instalación, si ello fuere necesario, y dando cuenta inmediata de ello a la Dirección General de Industria, Energía y Minas.

12.2. Una vez comunicada la subsanación de defectos y abonada la tarifa correspondiente a la EICI, ésta girará nueva visita de inspección en un plazo máximo de quince días emitiendo Certificado de Inspección que se entregará al titular de la instalación, Instalador Autorizado en Baja Tensión o en su caso al Director de Obra.

En el caso de que se hubiere cortado el suministro como resultado de una calificación negativa, subsanados el o los defectos, la EICI dispondrá de veinticuatro horas para comprobar nuevamente la instalación, emitir el Certificado de Inspección que corresponda y, si procede, reponer el servicio en la instalación.

12.3. Si transcurrido el plazo concedido para la subsanación de defectos, estos no se han subsanado, se dará traslado de la totalidad

del expediente, así como de las actuaciones realizadas por la EICI, a la Dirección General de Industria, Energía y Minas para que resuelva según corresponda.

Artículo 13

Seguimiento y control

13.1. La Dirección General de Industria, Energía y Minas podrá realizar cuantas actuaciones crea necesarias sobre las EICI a fin de comprobar la adecuación material y formal de la tramitación de los expedientes, en la puesta en servicio de las instalaciones, de acuerdo con lo preceptuado en esta Orden y los Reglamentos correspondientes, y que las inspecciones se han llevado a cabo según el plan anual aprobado y con cumplimiento de las directrices emanadas de dicho Organismo.

13.2. La Dirección General de Industria, Energía y Minas podrá, en cualquier momento, recabar la tramitación de un expediente iniciado ante una EICI, quedando ésta obligado a remitirle de manera inmediata la documentación presentada ante ella, así como la situación de los trabajos, evolución, resultados globales y otros aspectos que se consideren de interés.

Capítulo IV

Responsabilidades, infracciones y sanciones

Artículo 14

Obligaciones de las EICI

14.1. Realizar la tramitación administrativa de los expedientes y efectuar las inspecciones de las instalaciones conforme a lo indicado en la presente Orden y en la reglamentación de aplicación.

14.2. Notificar a la Dirección General de Industria, Energía y Minas cualquier anomalía que se pudiera producir en los procedimientos regulados en la presente Orden.

14.3. Recabar el justificante de abono de la tasa que le corresponda determinada por el tipo de instalación.

14.4. Dar información sobre el estado de tramitación de los expedientes, así como dar copia de la documentación contenida en los mismos, a aquellas personas que ostenten la condición de interesado conforme a lo dispuesto en el artículo 31 de la Ley 30/1992.

14.5. Facilitar, en cualquier momento, toda la información que les sea requerida por la Dirección General de Industria, Energía y Minas, y permitir el acceso a sus instalaciones a los funcionarios de la citada Dirección General para la realización de controles, comprobaciones e inspecciones, sobre los expedientes que tramiten en las materias reguladas por la presente Orden.

Artículo 15

Notificaciones

Las notificaciones que se realicen por parte de la EICI al titular de la instalación o su representante, Instalador Autorizado en Baja Tensión o Director de Obra, se practicarán por cualquier medio que permita tener constancia de la recepción por aquéllos.

Artículo 16

Servicios de intermediación

Podrán establecerse servicios de intermediación por parte de asociaciones empresariales, corporaciones de derecho público, así como otras entidades privadas sin ánimo de lucro para un mejor desarrollo de la aplicación de la presente orden entre los interesados. En cualquier caso será necesario que dichas entidades hayan sido autorizadas por la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica por el procedimiento que en su caso se determine.

Artículo 17

Infracciones y sanciones

Las infracciones a lo preceptuado en la presente disposición serán sancionadas de acuerdo con lo previsto en la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria, conforme al procedimiento establecido en el Decreto 245/2000, de 16 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento para el ejercicio de la Potestad Sancionadora por la Administración de la Comunidad de Madrid, sin perjuicio de las responsabilidades civiles, penales o de otro orden que puedan concurrir.

DISPOSICIÓN ADICIONAL

Única

Tarifas a aplicar

Las tarifas a aplicar, a las que se alude en el artículo 8 de la presente Orden, serán notificadas a la Dirección General de Industria, Energía y Minas, el primer día de entrada en vigor de esta Orden.

DISPOSICIONES FINALES

Primera

Se faculta al titular de la Dirección General de Industria, Energía y Minas para dictar las resoluciones necesarias para el desarrollo de la presente Orden.

Segunda

La presente Orden entrará en vigor a los diez días de su publicación en el BOLETÍN OFICIAL DE LA COMUNIDAD DE MADRID.

No obstante, no será obligatoria la realización de los muestreos a que hace referencia el artículo 11.2 de la presente Orden hasta transcurridos seis meses desde la entrada en vigor.

Madrid, a 1 de octubre de 2003.


El Consejero de Economía
e Innovación Tecnológica,
LUIS BLÁZQUEZ

(03/26.431/03)

8.4 Memoria Técnica de Diseño

De acuerdo con lo indicado en la ITC-BT 04, Apartado 2.2, la Memoria Técnica de Diseño (MTD) se redactará sobre impresos, según modelo determinado por el Órgano competente de la Comunidad Autónoma, con objeto de proporcionar los principales datos y características de diseño de las instalaciones. El instalador autorizado para la categoría de la instalación correspondiente o el técnico titulado competente que firme dicha Memoria será directamente responsable de que la misma se adapte a las exigencias reglamentarias.

Con fecha 13 de febrero de 2004 la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica, Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid publicó en el B.O.C.M. la resolución por las que se publican los modelos oficiales de M.T.D. y el Certificado de Instalación Eléctrica para la Comunidad de Madrid y que reproducimos a continuación.

 Dirección General de Industria, Energía y Minas CONSEJERÍA DE ECONOMÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Comunidad de Madrid		SELLO	
CERTIFICADO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN			
TITULAR			
APELLIDOS Y NOMBRE O RAZÓN SOCIAL			D.N.I.-N.I.F.
DOMICILIO (calle o plaza y número)			C.P.
MUNICIPIO	PROVINCIA	TELÉFONO	FAX C. ELECTRÓNICO
REPRESENTANTE (si procede)			D.N.I.
EMPRESA DISTRIBUIDORA			
CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN			
EMPLAZAMIENTO (calle o plaza y número)		Portal	Bis Esc. Piso Puerta
MUNICIPIO			C.P.
POTENCIA MÁX. ADMISIBLE (kW)		POTENCIA INSTALADA (kW)	TENSIÓN V
EMPRESA INSTALADORA			
APELLIDOS Y NOMBRE O RAZÓN SOCIAL			N.º CERTIF. EMPRESA INSTALADORA
CATEGORÍA Y ESPECIALIDAD DE LA EMPRESA INSTALADORA		<input type="checkbox"/> Básica	<input type="checkbox"/> Especialista
NOMBRE DEL INSTALADOR		N.º CERTIF. INSTALADOR	
DOMICILIO (calle o plaza y número)			C.P.
MUNICIPIO	PROVINCIA	TELÉFONO	FAX C. ELECTRÓNICO
CATEGORÍA Y ESPECIALIDAD DEL INSTALADOR		<input type="checkbox"/> Básica	<input type="checkbox"/> Especialista
Datos técnicos			
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN			
Tensión	V	Grado de electrificación	
Memoria por (1)	Uso de inst.	Superficie local	m ²
ACOMETIDA (Según información de la empresa distribuidora)			
Punto de conexión (2)		Tipo (3)	Sección mm ² Material (4)
C.G.P. O C/C DE SEGURIDAD			
Tipo		In. Base A	In. Cartucho A
LÍNEA GENERAL DE ALIMENTACIÓN			
Sección mm ² Material (4)		DERIVACIÓN INDIVIDUAL	
Sección mm ² Material (4)		Sección mm ² Material (4)	
Interruptor General de Maniobra (IGM)		I. Nominal A	Poder Corte kA N.º Derivs. Indivs.
MÓDULO DE MEDIDA			
Tipo (6)		Situación (5)	
PROTECCIÓN MAGNETOTÉRMICA/DIFERENCIAL			
Int. General Automático A		Int. Diferencial I nominal (A) / Sensibilidad (mA)	
PUESTA A TIERRA			
Tipo Picas		Placas	Mallas
Electrodos	Línea enlace	mm ²	Conductor protección mm ²
CERTIFICACIÓN DE LA EMPRESA INSTALADORA			
El instalador autorizado que suscribe o la empresa instaladora referenciada y en su nombre el titular del certificado de cualificación individual con nombre y número arriba indicados, certifica haber ejecutado la instalación referenciada documentada en Memoria Técnica...../Proyecto..... correspondiente, de acuerdo al vigente R.E.B.T., sus Instrucciones Técnicas complementarias y las normas particulares de la empresa distribuidora y haber realizado la verificación de las instalaciones, con resultado favorable, según consta en el presente certificado.			
D/D.ª a de de		VERIFICACIONES POR MEDIDAS Y ENSAYOS	
Firma del Instalador Autorizado		1. Continuidad de los conductores de protección	Ω
		2. Resistencia de puesta a tierra	Ω
		3. Resistencia de aislamiento de los conductores	MΩ
		4. Resistencia de aislamiento de suelos y paredes, en su caso	KΩ
		5. Corriente de fuga (Mx)	mA
		6. Comprobación de frecuencia de fases, en su caso	Favorable
D/D.ª a de de		NOTAS:	
Firma del Titular de la Instalación		(1) Instalación: N (Nuevo), A (Ampliación-Reforma), CN (Cambio de Nombre), CT (Cambio Tensión)	(4) Material: Cu (Cobre), Al (Aluminio)
		(2) C.T. (Centro de Transformación), R.B.T. (Red de Baja Tensión)	(5) En Cuarto de Centralización; En interior; en fachada
		(3) Aérea, Subterránea, Interior	(6) Envolverte, panelable, armario independiente

EJEMPLAR PARA LA DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINAS

El presente boletín se expide exclusivamente a los efectos previstos en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y disposiciones complementarias, sin implicar el cumplimiento por parte del Titular de la instalación de todos los requisitos que pudiera imponer la normativa vigente para la puesta en servicio y suscripción de contrato de suministro eléctrico.

Los datos que se recogen se tratarán informáticamente o se archivarán con el consentimiento del ciudadano, quien tiene derecho a decidir quién puede tener sus datos, para qué los usa, solicitar que los mismos sean exactos y que se utilicen para el fin que se recogen, con las excepciones contempladas en la legislación vigente. Para cualquier información relacionada con esta materia puede dirigirse al teléfono de información administrativa 012. Si usted tiene alguna sugerencia que permita mejorar este impreso le rogamos nos la haga llegar a la Consejería de Presidencia, D. G. de Calidad de los Servicios y Atención al Ciudadano.

BAJA TENSIÓN
MEMORIA TÉCNICA DE DISEÑO (1/6) COMUNIDAD DE MADRID
Nº EXPTE.

Datos administrativos

TITULAR DE LA INSTALACIÓN N.I.F. _____
 Nombre/Razón Social _____
 Apellido 1º _____ Apellido 2º _____
 Dirección _____
 Localidad _____ Código Postal _____

EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN
 Dirección _____
 Localidad _____ Código Postal _____
 Uso _____

Datos Técnicos

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN

Tensión _____ V Grado de electrificación _____
 Memoria por (1) _____ Uso de inst. _____ Superficie local _____ m²

ACOMETIDA (Según información de la empresa distribuidora)
 Punto de conexión (2) _____ Tipo (3) _____ Sección _____ mm² Material (4) _____

C.G.P. O C/C DE SEGURIDAD
 Tipo _____ In. Base _____ A In. Cartucho _____ A

LÍNEA GENERAL DE ALIMENTACIÓN DERIVACIÓN INDIVIDUAL
 Sección _____ mm² Material (5) _____ Sección _____ mm² Material (5) _____

Interruptor General de Maniobra (IGM) I.Nominal A Poder Corte kA Nº Derivs. Indivs. _____

MÓDULO DE MEDIDA
 Tipo (7) _____ Situación (8) _____

PROTECCIÓN MAGNETOTÉRMICA/DIFERENCIAL
 Int. General Automático _____ A Int.Diferencial nominal (A) / Sensibilidad (mA) _____

PUESTA A TIERRA
 Tipo Picas _____ Placas _____ Mallas _____
 Electrodo _____ Línea enlace _____ mm² Conductor Protección _____ mm²

MEMORIA REALIZADA POR INSTALADOR AUTORIZADO
 Nombre _____ Nº de certificado de instalador _____
 domiciliado en calle/plaza _____ Núm. _____
 Localidad _____ Código Postal _____ Teléfono _____
 FAX _____ C. Electrónico _____

MEMORIA REALIZADA POR TÉCNICO CUALIFICADO
 Nombre _____ Nº de colegiado _____
 domiciliado en calle/plaza _____ Núm. _____
 Localidad _____ Código Postal _____ Teléfono _____
 FAX _____ C. Electrónico _____
 Colegio Oficial _____

El que suscribe D./Dª _____, como autor/a de la Memoria Técnica de Diseño cuyos datos figuran reseñados en la misma, declara que cumple el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (RD 842/2002)

_____ a _____ de _____ de 200...

Nombre y firma del instalador o Técnico cualificado

NOTAS:

(1) Instalación: N (Nuevo), A (Ampliación-Reforma), CN (Cambio de Nombre, CT (Cambio Tensión)	(3) C.T. (Centro de Transformación); R.B.T. (Red de Baja Tensión)	(6) En Cuarto de Centralización; En interior, En fachada
(2) Según tabla de referencia de la carpeta informativa	(4) Aérea, Subterránea, Interior	(7) Envolverte, panelable, armano independiente
	(5) Material, Cu (Cobre), Al (Aluminio)	

MEMORIA TÉCNICA DE DISEÑO (2/6) COMUNIDAD DE MADRID

PREVISIÓN DE CARGAS PARA INSTALACIÓN DE ENLACE (Según ITC-BT-10)

Nº de Plantas del edificio: Nº de Viviendas por Planta: Nº de Locales Comerciales:

VIVIENDAS

Grado Electrificación	Tipo Vivienda	Pot. Máxima Prevista para Tipo Vivienda	Nº Viviendas	Media Aritmética Potencias Máximas	Coefficiente Simultaneidad	Carga Total
Básica (Min. 5,75 kW) (Sup. ≤160 m²)		kW		kW	Tabla ITC-BT-10	kW
		kW				
		kW				
Elevada (Min. 9,2 kW) (Sup. >160 m²)		kW		kW	Tabla ITC-BT-10	kW
		kW				
		kW				
Tarifa Nocturna		kW		kW	igual Nº Viviendas	kW
		kW				
		kW				
Carga Prevista Viviendas (A):						kW

SERVICIOS GENERALES

Pot. Prevista Ascensores	Pot. Prevista Frío/Calor	Pot. Prevista Grupos Presión	Pot. Prevista Alumbrado	Pot. Prevista Piscinas	Pot. Prevista Otros (R.I.T.I.)	Potencia Prevista Total (Suma)
kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
Carga Prevista Servicios Generales (B):						kW

GARAJE

Instalación	Tipo	Potencia Mínima Calculo	Potencia Real Calculo (X)	Superficie Total (Y)	Potencia Otros Sistemas (Z)	Potencia Total $Z + ((X*Y)/1000)$
Garaje (Min. 3,45 kW)	Vent. Natural	10 W/ m²	W/ m²	m²	kW	kW
	Vent. Forzada	20 W/ m²	W/ m²	m²	kW	kW
Carga Prevista Garaje (C):						kW

LOCALES COMERCIALES Y/O OFICINAS Y/O INDUSTRIALES

Instalación	Potencia Mínima Calculo	Oficina o Local		Potencia Real Calculo (X)	Superficie Total (Y)	Potencia Otros Sistemas (Z)	Potencia Total $N * [Z + ((X*Y)/1000)]$
		Tipo	Nº (N)				
Local Comerc. (Min. 3,45 kW Por Local)	100 W/ m²			W/ m²	m²	kW	kW
				W/ m²	m²	kW	kW
				W/ m²	m²	kW	kW
Oficinas (Min. 3,45 kW Por Oficina)	100 W/ m²			W/ m²	m²	kW	kW
				W/ m²	m²	kW	kW
				W/ m²	m²	kW	kW
Industrias (Min. 10,35 kW Por Local)	125 W/ m²			W/ m²	m²	kW	kW
				W/ m²	m²	kW	kW
				W/ m²	m²	kW	kW
Carga Prevista Locales Comerciales y/o Oficinas y/o Industrias (D):						kW	

OTRAS INSTALACIONES INDUSTRIALES, AGRARIAS O DE SERVICIOS

Denominación de la Instalación	Potencia Prevista Alumbrado	Potencia Prevista Fuerza	Potencia Prevista Otras Instalaciones	Potencia Prevista Total (Suma)
	kW	kW	kW	kW
	kW	kW	kW	kW
	kW	kW	kW	kW
	kW	kW	kW	kW
Carga Prevista otras instalaciones Industriales, Agrarias o de Servicios (E):				kW

CARGA TOTAL PREVISTA EN L.G.A. (A+B+C+D+E):

PRESUPUESTO

Desglose	Presupuesto Puesta Tierra	Presupuesto L.G.A.	Presupuesto Punto Medida	Presupuesto Derivs. Indivs.	Presupuesto Instals. Interior	Prepto. Otros	TOTAL
Materiales	€	€	€	€	€	€	€
Mano Obra	€	€	€	€	€	€	€
Total	€	€	€	€	€	€	€

MEMORIA TÉCNICA DE DISEÑO (3/6) COMUNIDAD DE MADRID
RESUMEN DATOS TÉCNICOS

DATOS TÉCNICOS DE LAS LÍNEAS GENERALES DE ALIMENTACIÓN

LGA	Pot. Max. Cálculo	Pot. Max. Admisible	Fases / Sección	Material (Cu o Al)	Tipo Aislamiento	Longitud	Caída Tensión	Protección
I	kW	kW	x mm ²			m	V	A
II	kW	kW	x mm ²			m	V	A

La caída de Tensión será de 0,5% ó 1%, los conductores serán de Cobre o Aluminio Unipolares, de aislamiento 0,6/1 kV, Entubados o en Bandeja cerrada o en Conductos cerrados según la ITC-BT-14. La línea General de Alimentación no podrá superar una Potencia Máxima de 150 kW, salvo que en el Cuarto de Contadores se instalen Armarios de Distribucion.

DATOS TÉCNICOS PUNTO DE MEDIDA Y PROTECCIÓN

Nº Suministros: Monofásicos Trif. < 15 kW Trif. 15 < Pot. < 43,6 kW Trif. > 43,6 kW

EMPLAZAMIENTO

Nº Plantas: Nº Contadores / Centralización:

Planta Baja Entresuelo 1º Sotano Cada 6 Plantas En Cada Planta

Marca / Modelo:

UBICACIÓN

Interrupor General de Maniobra o Fusible de Seguridad:	Int. Nominal	Poder Corte	Centralización Modular <input type="checkbox"/>	Centralización Panel <input type="checkbox"/>
	x A	kA	Modulo Interior <input type="checkbox"/>	CPM-Armario Fachada <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>

DATOS TÉCNICOS DERIVACIONES INDIVIDUALES

Derivaciones		Pot. Maxima Prevista	Pot. Máxima Admisible	Fases / Sección	Material (Cu o Al)	Tipo Aislamiento	Caída Tensión Máxima	Fusible de Seguridad
Tipo	Nº							
		kW	kW	x mm ²			V	A
		kW	kW	x mm ²			V	A
		kW	kW	x mm ²			V	A
		kW	kW	x mm ²			V	A

DATOS TÉCNICOS DISPOSITIVOS GENERALES MANDO Y PROTECCIÓN

Derivación Tipo	Fases / Sección D.I. Del Suministro	Tipo Caja ICP		Interrupor General Automático		Interrupor Diferencial		
		40	50	Intensidad Nominal	Poder de Corte	Intensidad Nominal	Sensibilidad	
	x mm ²			x A	kA	x A		mA
	x mm ²			x A	kA	x A		mA
	x mm ²			x A	kA	x A		mA
	x mm ²			x A	kA	x A		mA

TIPO INSTALACIÓN

- | | |
|---|--|
| <p>(1) ITC-BT-20: T.P. Bajo Tubo Protector
 F.D.P. Fijado Directamente sobre Pared
 ENTR. Enterrado
 D.E.E. Directamente Empotrados en Estructura
 AERO Aéreo
 I.H.C. Interior Huecos de la Construcción
 C.P. Bajo Canales Protectores
 MOLD. Bajo Moldura
 BANDJ. En Bandeja
 C.E.P. en Canalización Eléctrica Prefabricada</p> | <p>(2) ITC-BT-26: E.T.F. Empotrado en Tubo Flexible
 E.T.C. Empotrado en Tubo Curvable
 S.T.C. Superficial en Tubo Curvable
 S.T.R. Superficial en Tubo Rígido
 S.C.P. Superficial en Canal Protector cerrado
 S.C.P.F. Superficial en Canalización Prefabricada</p> |
|---|--|

MEMORIA TÉCNICA DE DISEÑO (5/6) COMUNIDAD DE MADRID
CIRCUITOS INTERNOS

RESUMEN CÁLCULO CIRCUITOS INTERNOS SUMINISTRO

INSTALACIÓN		Potencia de Cálculo (kW)	Tensión de Cálculo (V)	Intensidad de Cálculo (A)	Nº Conductores x Sección (mm²)	Material (CU o Al)	Tensión Nominal Aislamiento (kV)	Tipo Instalación (ITC-BT-26) (2) Ver página 3/6	Longitud Máxima (m)	Caída de Tensión Máxima (V)	Potencia Máxima Admisible (kW)	Potencia Total Instalada (kW)	Intensidad Fusible o P.I.A. (A)			
Viviendas	Electrificación básica	Tipo Vivienda	Circuitos													
			C 1													
			C 2													
			C 3													
			C 4													
			C 5													
			C 1													
			C 2													
			C 3													
			C 4													
			C 5													
			C 1													
			C 2													
			C 3													
			C 4													
		C 5														
		Electrificación Elevada	C 1													
			C 2													
			C 3													
			C 4													
			C 5													
			C 6													
			C 7													
			C 8													
	C 9															
	C 10															
	C 11															
	C 12															
Servicios Generales	Ascensores															
	Aparatos Elevadores															
	Centrales Calor y Frío															
	Grupos de Presión															
	Alumbrado Portal															
	Alumbrado escalera															
	Alumbrado espacios Comunes															
	Piscinas															
	Red Interna Telecomunicaciones															
	Otros															
Instalaciones Industriales	Circuito 1															
	Circuito 2															
	Circuito 3															
	Circuito 4															
	Circuito 5															

En el caso de Líneas Eléctricas de 3.^a Categoría o de la construcción de Estaciones Transformadoras, tanto si pertenecen a las Empresas Suministradoras de Energía (E.S.E.) como si son

de cliente, se deberá presentar ante las Direcciones Generales de Industria, Energía y Minas, las correspondientes hojas de Aprobación de Proyecto, para la construcción de las mismas.

Consejería de Economía y Consumo

Dirección General de Industria, Energía y Minas

c/ Cardenal Marcelo Spinola, 14
Edificio 14 - 28016 Madrid



D Tfno. con domicilio en en nombre propio o de D. Tfno. con domicilio en

SOLICITA de acuerdo con las prescripciones reglamentarias la APROBACIÓN DE PROYECTO de construcción de CENTRO DE TRANSFORMACIÓN LÍNEA de kVA,kV.

situado en
.....
.....

que será alimentada la energía por la empresa suministradora para lo cual se acompaña

- a) Memoria
- b) Planos
- c) Presupuesto

de acuerdo con la Instrucción MIE, RAT-20-REGIO. C.T.

Dichos documentos van firmados por el Ingeniero D. Tfno. El instalador que ejecutará la obra será

D. Tfno. con domicilio en con Carné n.º D.C.E. Al finalizar la obra se presentará

- d) Contrato de mantenimiento o acreditar medios propios para realizarlo (Art. 12. Real Decreto 3275/1982 - Reglamento C.T.)
- e) Certificado final de obra.

Madrid de de.....

Ilm. Sr. Director General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Economía - Comunidad de Madrid.

Mod. 025

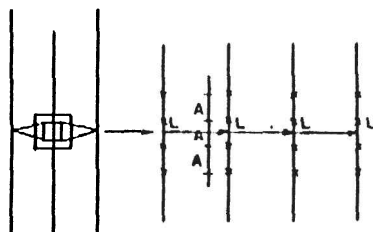
Hoja de solicitud de aprobación de Proyecto, correspondiente a líneas de 3.^a categoría y Centros de Transformación en la Comunidad de Madrid.

Una vez autorizada su construcción y revisadas al término de las mismas, tanto por las Empresas Suministradoras de Energía como por las Direcciones Generales de Industria, Energía y Minas de cada comunidad autónoma, de acuerdo con

el Protocolo que a continuación se incluye, dichas Delegaciones entregarán los correspondientes Dictámenes de autorización correspondientes tanto a los Centros de Transformación como a las líneas de 3.^a Categoría.

L.E. A..... kV.....

PROTOCOLO DE MEDIDAS DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO, APOYO N.º TIPO



MEDIDAS DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

TIPO DE TERRENO
ESTADO DEL TERRENO

FECHA DE LA REALIZACIÓN DE MEDIDAS.....

$\rho_e = 6,3 a.R$ $a = \text{en m.}$
 $R = \text{Resistencia medida con el telúrometro en } \Omega$

DISTANCIA «L» DEL APOYO EN m	DISTANCIA «A» ENTRE PICAS EN m.									
	1 m		2 m		3 m		4 m			
	LECTURA TELUROM.	$\rho_e \Omega m$	LECTURA TELUROM.	$\rho_e \Omega m$	LECTURA TELUROM.	$\rho_e \Omega m$	LECTURA TELUROM.	$\rho_e \Omega m$		
5										
10										
15										
20										
25										
30										

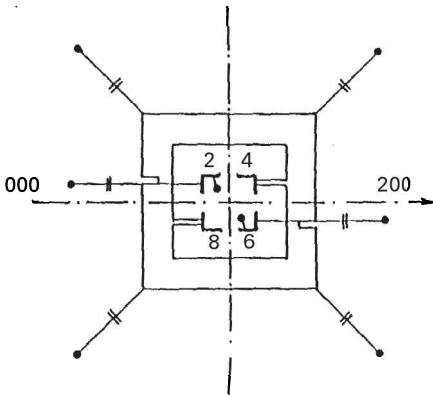
CONTRATISTA **CONFORME** EL JEFE DE TRABAJOS a de de **ENTERADO** SUPERVISOR DE E.S.E.

L.E. A..... kV.....

PROTOCOLO DE LA TOMA DE TIERRA DEL APOYO N.º TIPO

CROQUIS DE LA TOMA DE TIERRA

SOBRE EL CROQUIS ADJUNTO SE REMARCARÁ LA DISPOSICIÓN DE LAS ZANJAS DE LA T.T.



CONCEPTO	PICAS		LONGITUD DE ZANJA DE 0,40 DE ANCHO X PROFUNDIDAD			APORTACIÓN TIERRA VEGETAL
			TIERRA		ROCA	
	TIERRA	ROCA	0,60	0,80	0,40	LONG. ZANJA
PUESTA A ZANCAS						
TIERRA 1.º ANILLO						
MEJORA DE 2.º ANILLO						
TIERRA ANTENAS						
TOTAL						

MATERIALES

PICAS U

CABLE DE COBRE DE 50 mm² m

CONEXIONES CABLES U

CONEXIONES CABLE-PICA U

CONEXIONES CABLE-APOYO U

TIPO DE TERRENO (ARENA, ARCILLA, ROCA, PANTANOSO)

ESTADO DEL TERRENO (MUY SECO, SECO, SEMIHÚMEDO, HÚMEDO)

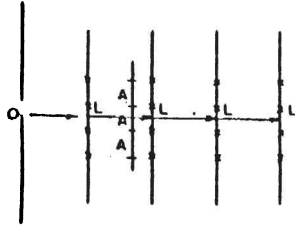
FECHA DE EJECUCIÓN PT ... MT Ω

ZONA	PUESTA A TIERRA				MEJORA DE TIERRA				MEJORA ESPECIAL	TOMA DE TIERRA COMPLETA		FECHA	ESTADO DEL TERRENO	Ω
	ZANCA	ZANCA	1.º ANILLO	CONJUNTO	2.º ANILLO	CONJUNTO	ANTENAS	CONJUNTO		SIN LÍNEA	CON LÍNEA			
N	x	x	-	x	-	-	x	x	-	x	x			
A	x	x	x	x	-	-	x	x	-	x	x			
F-PC-AM	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			

CONTRATISTA **CONFORME** **EL JEFE DE TRABAJOS** a de de

ENTERADO **SUPERVISOR DE E.S.E.**

PROTOCOLO DE MEDIDAS DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO, CENTRO N.º TIPO



MEDIDAS DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

TIPO DE TERRENO

ESTADO DEL TERRENO

FECHA DE LA REALIZACIÓN DE MEDIDAS.....

$\rho_e = 6,3 a.R$ $a = \text{en m.}$
 $R = \text{Resistencia medida con el telurómetro en } \Omega$

DISTANCIA «L» DEL CENTRO EN m	DISTANCIA «A» ENTRE PICAS EN m									
	1 m		2 m		3 m		4 m			
	LECTURA TELUROM.	$\rho_e \Omega m$	LECTURA TELUROM.	$\rho_e \Omega m$	LECTURA TELUROM.	$\rho_e \Omega m$	LECTURA TELUROM.	$\rho_e \Omega m$		
5										
10										
15										
20										
25										
30										

CONTRATISTA **CONFORME** EL JEFE DE TRABAJOS a de de **ENTERADO** SUPERVISOR DE E.S.E.

**PROTOCOLO DE REVISIÓN DE INSTALACIONES
Y MEDIDAS DE CLIENTES MT/AT
(EMPRESA SUMINISTRADORA DE ENERGÍA)**

REVISIÓN

1. SIN ENERGIZAR

Bien (B) o Mal (M)

1.1. Revisiones de funcionamiento.

- Enclavamientos.
- Cerraduras y candados según normas E.S.E.
- Accionamiento mecánico de los elementos de maniobra (seccionadores, mandos, interruptores, etc.).
- Placas de señalización del conjunto de elementos de la instalación.
- Comprobación de la transferencia automática cuando exista.
- Toma de corriente trifásica más neutro con protección diferencial y magnetotérmica al lado del cuadro de contadores.

1.2. Revisiones eléctricas.

- Medida de la resistencia de puesta a tierra. Ω
- Tarado de relés, funcionamiento de las protecciones en general y del automatismo que será ejecutado preferentemente por el instalador en nuestra presencia.
- Calibre de fusibles generales. A
- Calibre de fusibles de posición. A

1.3. Medida.

Interconexión entre los transformadores de medida y el equipo de contadores.

- Cables de tipo termoplástico sin solución de continuidad.
- Bloque de pruebas según normas E.S.E.
- Sección del cable para circuitos de tensión. mm²
- Sección del cable para circuitos de intensidad. mm²

Armario de contadores según normas E.S.E.

Requisitos del equipo de medida.

- Contadores y equipos de discriminación, según normas E.S.E.
- Comprobar que los equipos de medida coinciden con lo indicado en el Anexo 2.
- Trafos de intensidad según UNE 21088 Parte 1.
- Intensidad nominal de cortocircuito.

$$U_n \leq 24 \text{ kV} \quad I_p \leq 25 \text{ A} \quad I_{ter} \geq 200 I_n$$

$$U_n > 24 \text{ kV} \quad I_p > 25 \text{ A} \quad I_{ter} \geq 80 I_n \text{ (mínimo 5 kA)}$$

$$I_{ter} \geq 5 \text{ kA}$$

- Factor de seguridad.

$$F_s \leq 5$$

Estos datos I_{ter} y F_s deben figurar en la placa de características. Todos estos datos y el resto de características se reflejan en las normas E.E.

- Comprobar que los trafos de intensidad coinciden con lo indicado en el Anexo 2.
- Trafos de tensión según UNE 21088 Parte 2. Como norma recomendable existe la norma E.S.E.
- Comprobar que los trafos de tensión coinciden con lo indicado en el Anexo 2.
- Relación de transformación de intensidad. X/5
- Relación de transformación de tensión. y/110

2. INSTALACIÓN ENERGIZADA

- Tensiones en bloque de pruebas.
- Sentido de giro.
- Funcionamiento de la medida.
- Reloj en hora y funcionamiento.
- Activación de ventanas con reloj.
- Tarifa comprobar programación.
- Probar maxímetro.
- Direcciones del tarifador y su programador.
- Precintado de la medida.

APARATOS DE MEDIDA INSTALADOS

CONTADORES DE ACTIVA O TARIFADORES

Aparato: Armario: Celda: Marca: N.º Serie: Estado: Propiedad:	N.º Descrip. Función Uso Ventana Uso D.H. Coef. Ener. Coef. Pot. Lectura
---	--

Aparato: Armario: Celda: Marca: N.º Serie: Estado: Propiedad:	N.º Descrip. Función Uso Ventana Uso D.H. Coef. Ener. Coef. Pot. Lectura
---	--

CONTADOR DE REACTIVA

Armario:	Celda:	Marca:	N.º Serie:	Estado:	Propiedad:
Uso Ventana:	Coeficiente:	Lectura:			

TRANSFORMADORES

Aparato	Armario	Celda	Marca	Número de Serie	Estado	Propiedad	Disponibilidad	Relac. Transform.
---------	---------	-------	-------	-----------------	--------	-----------	----------------	-------------------

INTERRUPTOR HORARIO

Marca: N.º Serie: Propiedad:

ICP-1

Marca: N.º Serie: Intensidad: Propiedad:

ICP-2

Marca: N.º Serie: Intensidad: Propiedad:

VERIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES - PUESTA EN SERVICIO

Medición del aislamiento: Medición de corrientes de fugas: Diferencial-Intensidad (A):	Sensibilidad (mA):	Firma del cliente:
--	--------------------	--------------------

Nota: Se firmará la conformidad con todos los cuadros en (B) y reglamentariamente lo referente a Ω , A y mm^2 .

En a de

Conforme: Por la E.S.E.

**PROTOCOLO DE REVISIÓN DE INSTALACIONES Y
MEDIDA DE CLIENTES MT/AT (CLIENTE)**

INSTALACIONES

Revisiones

Bien (B) o Mal (M)

- Acceso libre al C.T.C. y pasillos de maniobra.
- Limpieza del local del C.T.C. y de la aparamenta.
- Carencia de humedades.
- Pintura.
- Canalizaciones cubiertas.
- Defensa y cierre.
- Estado de los distintos elementos del C.T.C.
- Revisiones de empalmes y fijación (grapas de conexión, derivaciones, terminales, tornillería, etc.).
- Comprobación de la continuidad de los circuitos de tierra, verificando la bondad de su realización, correcta conexión, etc.
- Puesta a tierra de los mandos de aparamenta de accionamiento manual y de los elementos en general.
- Existencia de elementos auxiliares del C.T.C. (placas indicadoras, banquetas aislantes, guantes, extintores, etc.).
- Existencia de repuestos.
- Existencia de esquemas de la instalación, instrucciones para su uso y mantenimiento cuando proceda.
- Características de la aparamenta.
- Eliminación de los elementos de bloqueo de transporte (topes, tornillos, precintos, etc.).
- Niveles de líquidos aislantes.
- Fugas de líquidos aislantes.
- Distancias.
- Topes en dispositivos equipados con ruedas.
- Comprobar las placas de características del transformador de potencia.
- Transformador aislado de tierra cuando exista protección de cuba.
- Batería de corriente continua y cargador (si existen).
- Ruidos y vibraciones.
- Niveles de iluminación en pasillos, lugares de paso y en especial de C.T.C.
- Datos de la placa del transformador de potencia:
 - N.º de fabricación. n.º
 - Grupo de conexión.
 - Potencia nominal. kVA
 - N.º de tomas en vacío.
 - Valor en vacío de la toma de tensión máxima. V
 - Valor en vacío de la toma de tensión mínima. V
 - Tensión de cortocircuito referido a la Pn del trafo. %

Revisiones de funcionamiento.

Bien (B) o Mal (M)

- Enclavamientos.
- Cerraduras y candados según norma E.S.E.
- Accionamiento mecánico de los elementos de maniobra (seccionadores, mandos, interruptores, etc.).
- Placas de señalización del conjunto de elementos de la instalación.
- Purga de transformador de potencia y revisión de válvulas.
- Ajustador de tomas de tensión en posición.
- Revisión de contactos principales.
- Del corte visible de la apararmenta de seccionamiento, sin abrir puertas, ni retirar defensas.
- Sistema de aireación del C.T.C.
- Toma de corriente trifásica más neutro con protección diferencial y magnetotérmica al lado del cuadro del contador.
- Comprobación de la transferencia automática cuando exista.

Revisiones eléctricas.

- Medida de la tensión de paso. V
- Medida de la tensión de contacto. V
- Medida de la corriente de fuga. mA
- Medida de la rigidez dieléctrica de los líquidos aislantes. kV
- Medida de la resistencia de puesta a tierra. Ω
- Medidas de la resistencia de aislamiento entre fases y entre éstas y tierra de:
 - a) Transformadores de potencia. MΩ
 - b) Cable subterráneo. Ω
 - c) Embarrados. Ω
- Tarado de relés, funcionamiento de las protecciones en general y del automatismo.
 - Relé de sobreintensidad instantáneo de fase. (Amp. secundario)
 - Relé de sobreintensidad instantáneo de tierra. (Amp. secundario)
 - Relé temporizado fase. (Amp. secundario)
 - (Tipo curva)
 - (Inversa) }
 - (Muy inversa) }
 - (Extra inversa) }
 - (Tiempo fijo) }
 - Índice de curva tiempo (seg)
 - (Amp. secundario)
 - (Tipo curva)
 - (Inversa) }
 - (Muy inversa) }
 - (Extra inversa) }
 - (Tiempo fijo) }
 - Índice de curva tiempo (seg)
- Relé temporizado tierra.
 - (Amp. secundario)
 - (Tipo curva)
 - (Inversa) }
 - (Muy inversa) }
 - (Extra inversa) }
 - (Tiempo fijo) }
 - Índice de curva tiempo (seg)

Bien (B) o Mal (M)

- Nivel de iluminación de emergencia.
- Calibre de fusibles generales.
- Calibre de fusibles de posición.

A

A

MEDIDA

Comprobación de las constantes de medida.
 Interconexión entre los transformadores de medida y el equipo de contadores.

- Cables de tipo termoplástico sin solución de continuidad.
- Bloque de pruebas según normas E.S.E.
- Sección del cable para circuitos de tensión.
- Sección del cable para circuitos de intensidad.

mm²

mm²

Armario de contadores según norma E.S.E.

- Mecanización de la placa de sujeción del equipo de contadores y bloque de pruebas.
- El lugar de su instalación debe ser fácil y libre acceso.
- Los registros de lectura situados a una altura respecto al suelo entre 0,7 y 1,8 m.
- Verticalidad de los contadores, no debe sobrepasar una inclinación de 3.º
- Mantener temperaturas próximas a los 22 °C.
- En instalaciones en interior deberán estar fijados a la pared al abrigo de choques y vibraciones, evitando humedades, polvo, vapores corrosivos.
- Disponer de un pasillo de 1,1 m como mínimo frente al resto de paneles.

Precintado.

- Todas las celdas, armarios y aparatos de medida deberán disponer del correspondiente sistema de precintado según norma E.S.E.
- Precintado del equipo de medida.

Requisitos del equipo de medida.

- Contadores y equipos de discriminación, según norma E.S.E.
- Contador de activa o tarificador.

- N.º de fabricación.
- Marca.
- Modelo.

(Número)

(Nombre)

(Modelo)

- Contador de reactiva.

- N.º de fabricación.
- Marca.
- Modelo.

(Número)

(Nombre)

(Modelo)

- Interruptor horario.

- N.º de fabricación.
- Marca.
- Modelo.

(Número)

(Nombre)

(Modelo)

- Trafos de intensidad según UNE 21088 Parte I.

Bien (B) o Mal (M)

· Intensidad nominal de cortocircuito.

$U_n \leq 24 \text{ kV}$ $I_p \leq 25 \text{ A}$ $I_{ter} \geq 200 I_n$
 $I_p > 25 \text{ A}$ $I_{ter} > 80 I_n$ (mínimo 5 kA)
 $U_n > 24 \text{ kV}$ $I_{ter} \geq 5 \text{ kA}$

· Factor de seguridad.

$F_s \leq 5$

Estos datos I_{ter} y F_s son los recomendados y deben figurar en la placa de características. Todos estos datos y el resto de características se reflejan en la norma E.S.E.

- Trafos de tensión según UNE 21088 Parte 2. Como norma recomendable existe la norma E.S.E.

Ensayos de un laboratorio oficial.

- Ensayos de tipo.

- Ensayos individuales.

- Transformador de intensidad.

· n.º de fabricación.

Número

· marca.

Nombre

· modelo.

Modelo

· clase de medida y potencia.

CI VA

· clase de protección y potencia.

CI VA

· relación de intensidad.

X/5A

- Transformador de tensión.

· n.º de fabricación.

Número

· marca.

Nombre

· modelo.

Modelo

· clase de medida y potencia.

CI VA

· clase de protección y potencia.

CI VA

Nota: Se firmará la conformidad con todos los cuadros en (B) y reglamentariamente lo referente a Ω , A y mm \approx .

En a de

Conforme: Por la E.S.E.



Dirección General de Industria,
Energía y Minas
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y CONSUMO

Comunidad de Madrid

ESTACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Expte. n.º:

EMPRESA SUMINISTRADORA:

PROPIETARIO:

DOMICILIO:

SITUADA EN:

UTILIZADA PARA: Suministrar energía eléctrica

POTENCIA:

TENSIONES:

TIPO:

ALIMENTACIÓN: mediante

PROTECCIONES:

EQUIPO DE MEDIDA:

PROYECTO FIRMADO POR EL Ing.

INSTALADOR:

PROYECTO PRESENTADO EL: Ref.:..... Recibo:

AUTORIZADO EL COMIENZO DE SU CONSTRUCCIÓN EL

INFORME DEL INGENIERO SR.

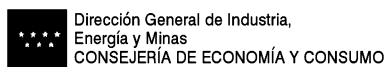
Vista la documentación presentada (proyecto, dirección técnica de obra, contrato de mantenimiento) y cumplidos todos los trámites reglamentarios procede la autorización de funcionamiento y la conexión de la instalación a la red previa conformidad de la Empresa eléctrica.

Madrid, de de

EL INGENIERO

Visto el anterior informe, presto mi conformidad al mismo, debiéndose remitir a las partes interesadas para que surta los efectos reglamentarios.

EL JEFE DE SERVICIO DE ELECTRICIDAD



Comunidad de Madrid

LÍNEA ELÉCTRICA

Expte. n.º:

EMPRESA SUMINISTRADORA:

PROPIETARIO:

DOMICILIO:

COMIENZO DE LA LÍNEA:

FINAL DE LA LÍNEA:

SITUADA EN:

LONGITUD: km.

TENSIÓN: VOLTIOS

CIRCUITOS:

CONDUCTORES:

AISLADORES:

POSTES: ALTURA m. CLASE

CABLE DE TIERRA:

PROYECTO FIRMADO POR EL ING.

INSTALADOR:

PROYECTO PRESENTADO EL: Ref..... Recibo:

AUTORIZADA SU INSTALACIÓN POR esta Dirección General.

Vista la documentación presentada (proyecto, dirección técnica de obra, contrato de mantenimiento) y cumplidos todos los trámites reglamentarios procede la autorización de funcionamiento y la conexión de la instalación a la red previa conformidad de la Empresa eléctrica.

Madrid,

EL INGENIERO

Fdo.:

Visto el anterior informe, presto mi conformidad al mismo, debiéndose remitir a las partes interesadas para que surta los efectos reglamentarios.

EL JEFE DE SERVICIO DE ELECTRICIDAD

8.5 Revisiones periódicas en centros de transformación y líneas de 3.^a categoría

Posteriormente, y con el fin de dar cumplimiento al art. 13 del R.S.C.T.G.S.C.E.S.C.T. y

Para saber el estado en que se encuentran los CENTROS DE TRANSFORMACIÓN, las Direcciones Generales de Industria, Energía y Minas, pertenecientes a la Consejería de Economía y Empleo de las Comunidades Autónomas que forman el Estado Español, exigen a los propietarios de dichos centros que se les entregue un Boletín de reconocimiento realizado por el Técnico competente, entre otros, por los Ingenieros Técnicos Industriales, con el fin de saber su estado. En dicho Boletín deberán figurar los siguientes datos:

COMÚN PARA TODOS:

CÓDIGO—PROVINCIA—TITULAR—DENOMINACIÓN DEL CENTRO

1. BOLETÍN DE RECONOCIMIENTO DE CENTRO DE TRANSFORMACIÓN INTERIOR

- Denominación:

2. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INSTALACIÓN

- Municipio:
- Entidad de la Población:
- Población y C.P.:

3. TITULAR DE LA INSTALACIÓN

- Titular:
- Domicilio:
- Población y C.P.:

4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES PARA CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

- Tipo:
- Número de Transformadores:
- Potencia instalada en kVA:
- Tensión primaria en kV:
- Tensión secundaria en V:
- Conexión del Neutro a Tierra:
- Número de entradas en A.T.:
- Número de salidas en B.T.:

En caso de tratarse de líneas de alimentación aéreas a CENTRO DE TRANSFORMACIÓN de intemperie el Apartado 4, estará compuesto por:

5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES

- Tensión en kV:
- Longitud en km:

- Naturaleza de los apoyos y n.º de apoyos:
- Tipo de aislamiento:
- Denominación del conductor:
- Tipo de Crucetas:

CERTIFICADO DEL RESULTADO DE RECONOCIMIENTO

Don.....con N.I.F.:..... con título de..... y en representación del titular arriba citado declara haber sido reconocida la instalación, de acuerdo con el Decreto Núm. 724/79 por el que se modifican los artículos 2 y 92 del vigente Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía y con el R.E. de Estaciones de Transformación, habiéndose realizado el reconocimiento periódico.....con los resultados siguientes:

Ninguno SÍ-NO Véase hoja resumen SÍ-NO		Sello del Colegio Oficial
Ena dede	Por el titular El técnico	
Firmado:	Firmado:	Colegiado n.º:.....

CENTROS DE TRANSFORMACIÓN DE INTERIOR

OBRA CIVIL:

1. Grietas en muros y tabiques.
2. Humedades en cubiertas y paredes.
3. Entrada de agua del exterior.
4. Alcantarillado con cota superior del suelo.
5. Puerta de acceso de material no adecuado.
6. Puerta de acceso insuficiente.
7. Puerta de acceso con apertura al interior.
8. Cierre de la puerta en mal estado.
9. Escalera no adecuada.

LOCALES:

1. Pasillos de dimensiones inadecuadas.
2. Secciones de ventilación insuficientes, o mal colocadas.
3. Ausencia de protecciones contra objetos exteriores en huecos de ventilación.
4. Renovaciones por hora insuficientes en ventilación forzada.
5. Falta dispositivo de parada automática de extractor con detector de incendios.
6. Verjas de protección de dimensiones insuficientes.

7. Verjas de protección rotas.
8. Foso de recogida de aceite inexistente o insuficiente.
9. Foso sin rejilla cortafuegos.

ELEMENTOS DE MANIOBRA:

1. Falta la banqueta aislante o no está en condiciones.
2. Falta la pértiga o no es la adecuada a la tensión de servicio.
3. Faltan los guantes aislantes o no están en condiciones.
4. Falta la maneta de fusibles.

ALUMBRADO Y SEÑALIZACIÓN INTERIOR:

1. No se dispone de alumbrado interior.
2. Elementos de corte o lámparas en mal estado.
3. Falta alumbrado de emergencia.
4. Faltan placas de señalización de peligro.
5. Faltan placas de primeros auxilios.
6. Falta señalización en líneas o transformadores.
7. El centro carece de libro de mantenimiento.
8. No se dispone de instrucciones de control.

VARIOS:

1. Hay materiales almacenados en el centro.
2. Hay líquidos inflamables almacenados en el centro.
3. Bomba de desagüe en mal estado.
4. Herrajes o tirantes en mal estado.
5. Defectos de limpieza.
6. No hay extintores de eficacia 89B.

APARAMENTA DE ALTA TENSIÓN Y:

1. Funcionamiento de los seccionadores defectuosos.
2. Falta enclavamiento en cuchillas de p. a t.
3. Hay circuitos que no disponen de seccionador.
4. Funcionamiento de interruptores defectuosos.
5. Nivel de aceite bajo en interruptores.
6. Falta señalización de apertura y cierre en interruptores.
7. Relés con mal funcionamiento o mal tarados.
8. Fusibles de A.T. en mal estado o de incorrecta intensidad.
9. Faltan autoválvulas.

APARAMENTA DE ALTA TENSIÓN II:

1. Hay aisladores soportes rotos.
2. Hay pasamuros rotos.
3. La separación entre fases no es correcta.
4. La separación entre fases y tierra no es correcta.
5. La separación entre circuitos no es correcta.
6. Existen puntos de calentamiento excesivo.
7. Hay conexiones flojas.
8. La sección del embarrado no es suficiente.
9. Hay cables de A.T. en mal estado.

TRANSFORMADORES:

1. Nivel de líquido aislante bajo.
2. Pérdidas del líquido aislante en cuba o en grifo desagüe.
3. Pasatapas con pérdidas de líquido aislante.
4. Carece de sistema de regulación.
5. Ruidos o vibraciones excesivas (más de 40 dB noche y 70 dB día).

6. Conexiones flojas.
7. Ruedas sin bloquear.
8. La potencia no corresponde a la autorizada.
9. Cierre celda transformadores y equipos de medida sin precintos.

APARAMENTA BAJA TENSIÓN:

1. Fusibles en mal estado.
2. Interruptores automáticos averiados.
3. Conexiones flojas.
4. Barras con calentamiento excesivo.
5. Cables con calentamiento excesivo.
6. Mal funcionamiento de aparatos de medida.

TOMAS DE TIERRA:

1. Defectos en las conexiones de p. a t.
2. Elementos no puestos a tierra.
3. Conexión del neutro a tierra defectuosa.
4. Tierras insuficientemente separadas.
5. Valores de las tensiones de paso superior a la máxima admisible.
6. Valores de las tensiones de contacto superior a la máxima admisible.
7. La superficie no es equipotencial.

MEDIDAS:

- Tierra de neutro..... Ω
- Tierra de autoválvulas Ω
- Tierra de masas Ω
- Temperatura exterior..... $^{\circ}\text{C}$
- Temperatura interior $^{\circ}\text{C}$
- Tensión de paso V
- Tensión de contacto V
- Nivel de ruido exterior..... dB
- Nivel de ruido interior dB
- Temperatura máxima en equipos eléctricos $^{\circ}\text{C}$

TRAFO 1																			
TRAFO 2																			
TRAFO N																			

Las medidas serán tomadas en el secundario del transformador.

CENTROS DE TRANSFORMACIÓN DE INTEMPERIE

APOYOS:

1. Hormigón con grietas, roturas o desprendido.
2. Metálico oxidado.
3. Metálico con dobleces o flexiones.

4. Metálico sin sistema antiescalo.
5. Desplomado, revirado o torsionado.
6. Resistencia mecánica insuficiente.
7. Sin placa de señalización de peligro de muerte.
8. Cimentación defectuosa.
9. Carece de posapiés de maniobra.

HERRAJES:

1. Oxidados.
2. Mal apretados al apoyo.

APARAMENTA DE ALTA TENSIÓN:

1. Faltan autoválvulas.
2. Faltan fusibles a.p.r. o «XS».
3. Funcionamiento defectuoso de la botella terminal.
4. Estado defectuoso de la botella terminal.
5. Hay cables de A.T. en mal estado.
6. Cadenas de amarre defectuosas.
7. Aisladores rígidos con soporte, defectuosos.
8. La separación entre conductores no es correcta.
9. Hay conexiones flojas.

TRANSFORMADOR:

1. Nivel de líquido aislante bajo.
2. Pérdidas del líquido aislante en cubo o grifo de desagüe.
3. Pasatapas con pérdida de líquido aislante.
4. Carece del sistema de regulación.
5. Conexiones flojas.
6. La potencia no corresponde a la autorizada.

APARAMENTA EN BAJA TENSIÓN:

1. Fusibles en mal estado.
2. Interruptores automáticos averiados.
3. Conexiones flojas.
4. Barras con calentamiento excesivo.
5. Cables con calentamiento excesivo.
6. Mal funcionamiento de aparatos de medida.
7. Cuadro de medida sin precintos.

TOMAS DE TIERRA:

1. Defectos en las conexiones de p. a t.
2. Elementos no puestos a tierra.
3. Conexión del neutro a tierra defectuosa.
4. Tierras insuficientemente separadas.
5. Valores de las tensiones de paso superiores a la máxima admisible.
6. Valores de las tensiones de contacto superiores a la máxima admisible.
7. La superficie no es equipotencial.

MEDIDAS:

- Tierra de neutro..... Ω
- Tierra de autoválvulas Ω
- Tierra de masas Ω
- Tensión de paso V
- Tensión de contacto V
- Distancia mínima de partes en tensión al terreno m



Las medidas serán tomadas en el secundario del transformador.

LÍNEAS DE 3.ª CATEGORÍA

APOYOS:

1. Madera con diámetro insuficiente.
2. Madera podrida, rajada o carcomida.
3. Hormigón con grietas u hormigón desprendido.
4. Metálicos oxidados.
5. Metálicos con dobleces o flexiones.
6. Metálicos sin sistema antiescalo en zonas frecuentadas.
7. Desplomados, revirados o torsionados.
8. Distancias insuficientes a carreteras, FFCC y otras líneas.
9. Resistencia mecánica insuficiente.

CONDUCTORES:

1. Rotura de venas.
2. Conductores perlados.
3. Vanos con empalmes defectuosos.
4. Vanos con más de dos empalmes.
5. Distancia de puentes a masa insuficiente.
6. Retencionado del conductor insuficiente.
7. Distancias del conductor en cruzamientos o pasos insuficientes.
8. Distancia al terreno insuficiente.
9. Inexistencia de fiador en cruzamiento.

AISLADORES:

1. Aislamiento insuficiente.
2. Polucionado.
3. Contorneado.
4. Roto.
5. Torcido por tiro anormal.
6. Distancia a masa insuficiente.
7. Soporte de aislador con resistencia mecánica insuficiente.
8. Inexistencia de doble aislador rígido en cruzamiento.

CRUCETAS:

1. Resistencia mecánica insuficiente.
2. Desnivelada.
3. Doblada o torsionada.
4. Con corrosión.
5. Mal apretada al apoyo.
6. Con nidos de aves.
7. Longitud insuficiente.

SEÑALIZACIÓN:

1. No hay placas de peligro de muerte.
2. La placa de peligro de muerte es ilegible desde el suelo.
3. No existe numeración de apoyos.
4. La numeración es ilegible desde el suelo.

TIERRAS:

1. Conexiones en mal estado.
2. Falta puesta a tierra.
3. Mandos de aparatos de maniobra sin conectar.
4. Valor de la resistencia insuficiente.
5. Los apoyos que sustentan aparatos de protección y maniobra carecen del anillo equipotencial.

CIMENTACIONES:

1. Hay corrimientos de tierra que la dejan al descubierto.
2. Tiene grietas o roturas.
3. Hay corrosión en zancas o pernos.

APARATOS DE MANIOBRA Y PROTECCIÓN:

1. Polucionados.
2. Contorneados.
3. Rotos.
4. Con corrosión.
5. En malas condiciones para su utilización.
6. Los mandos no funcionan correctamente.
7. Los mandos no tienen cerraduras de enclavamiento.
8. La distancia al suelo no es correcta.
9. No existen posapiés para su maniobra.

RESISTENCIA DE TOMAS DE TIERRA:

--

DISTANCIAS AL TERRENO:

Vano n.º 1	Vano n.º 2	Vano n.º 3	Vano n.º 4	Vano n.º 5	Vano n.º
Altura en m	Altura en m	Altura en m	Altura en m	Altura en m	Altura en m

Se indicará igualmente la temperatura en °C y la velocidad del viento en km/h.

Las medidas de resistencia de tierras y distancias al terreno de los apoyos y vanos singulares, entendiéndose como tales los cruzamientos regulados reglamentariamente y los vanos frecuentemente transitados por vehículos y maquinaria agrícola en sus tareas de trabajo.

La Hoja Resumen en donde irán descritos todos los incidentes que existen en dichas instalaciones (CENTRO DE TRANSFORMACIÓN o Línea aérea) constará de:

- Código del defecto.
- Denominación del defecto.
- Plazo para su corrección.
- Costo previsto aproximado.
- Otros defectos o fallos observados.

8.6 Protocolos para el área del mantenimiento preventivo

De igual forma y para dar cumplimiento al art. 12 del R.S.C.T.G.S.C.E.S.C.T. todos los propietarios de estas instalaciones deberán presentar, antes de su puesta en marcha, un Contrato, suscrito con persona física o jurídica competente, en el que éstas se hagan responsables de mantener las instalaciones en el debido estado de conservación y funcionamiento.

No obstante, si el propietario de la instalación, a juicio del Órgano competente, dispone de los medios y organización necesarios para efectuar su propio mantenimiento, podrá eximirse de la obligación de la presentación de dicho Contrato.

A continuación podemos ver diversos tipos de Protocolos de Mantenimiento preventivo correspondientes a Centros de Transformación facilitados por la Empresa ELDU S.A.

ELDU
SERVICIO PERMANENTE LAS 24 HORAS
 Tel. (91) 508 77 47 / 50 25
 908 71 32 09 - 908 71 62 64
 Fax: (91) 508 73 01

INDICAR EN LA CASILLA CORRESPONDIENTE Nº DE INFORME ANTERIOR Y Nº DE CLIENTE
 INFORME ESTADO INSTALACION ELECTRICA A.T.
 Nº CLIENTE SITUADO EN
 Nº INFORME ANTERIOR DENOMINACION D.T. O SISE
 Nº CERRAJURAS NECESARIAS
 Nº CERRAJURAS NECESARIAS
 RESPONSABLES TRABAJO FECHAS
 A V. Amp. CUADRO BT V. Amp. CUADRO BT
 A V. Amp. INTERRUPTOR 2 V. Amp. INTERRUPTOR 2
 A V. Amp. SECCIONADOR 2 V. Amp. SECCIONADOR 2

INDICAR LOS ENCAMBIOS NECESARIOS Y/O ANOMALIAS EXISTENTES
 CLIENTE:
 INDICAR LOS ENCAMBIOS NECESARIOS Y/O ANOMALIAS EXISTENTES
 TENSION DE PASO POSICION 1 V. Amp. INTERRUPTOR 1 V. Amp. INTERRUPTOR 1
 TENSION DE CONTACTO PUERTA CELDA SECCIONADOR 1 V. Amp. SECCIONADOR 1
 TENSION DE CONTACTO PUERTA CELDA SECCIONADOR 2 V. Amp. SECCIONADOR 2

POSICION
 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z
 ENCAMBIOS
 SECCIONADOR INTERRUPTOR A.T. 500 C N M O
 SECCIONADOR INTERRUPTOR PUERTA CELDA SECCIONADOR 801 A L C N C
 SECCIONADOR INTERRUPTOR PUERTA CELDA INTERRUPTOR 802 R E S M A
 SECCIONADOR PUERTA CELDA LATERAL 905 C A A L L
 SECCIONADOR PUERTA CELDA LATERAL 906 E D D D
 TENSION DE PASO POSICION 1 V. Amp. INTERRUPTOR 1
 TENSION DE CONTACTO PUERTA CELDA SECCIONADOR 1 V. Amp. SECCIONADOR 1
 TENSION DE CONTACTO PUERTA CELDA SECCIONADOR 2 V. Amp. SECCIONADOR 2

CODIGOS		CABLE INTERCONEXION / LLEGADA - BOTELLA TERMINAL	
ENTRADA AEREA <input type="checkbox"/> SUBTERR <input type="checkbox"/> CABLE UNIPOLAR <input type="checkbox"/> TRIPOLAR <input type="checkbox"/>	120	BASES Y FUSIBLES ENTR. <input type="checkbox"/> SALID. <input type="checkbox"/> PRIMARIO <input type="checkbox"/> SECUNDARIO <input type="checkbox"/>	030
SECCIONADOR NORMAL <input type="checkbox"/> P.A. TIERRA <input type="checkbox"/> COMBINADO <input type="checkbox"/>	001	INTEN. FUS. A FASE "L ₁ -L ₂ -L ₃ "	031
CONJUNTO MANDO <input type="checkbox"/> MANUAL <input type="checkbox"/> ELECTR. <input type="checkbox"/>	002	TENS. FUS. KV MARCA	032
UNIPOLAR <input type="checkbox"/> TRIPOLAR <input type="checkbox"/> CUCHILLAS	003	TIPO FUS.	033
INT. NOMINAL A PUERTA DEFENSA	004	INTEN. FUS. A FASE "L ₁ "	034
RUPTOR - DISYUNTOR - SECCIONADOR EN CARGA-CONTACTOR	011	TENS. FUS. KV MARCA	035
PVA <input type="checkbox"/> SFE <input type="checkbox"/> RUPTOR FUSIBLE <input type="checkbox"/> RUPTOR <input type="checkbox"/> POLOS "L ₁ -L ₂ -L ₃ "	012	TIPO FUS.	036
SECCIONADOR EN CARGA <input type="checkbox"/> RUPTOR CONTACTOR VACIO <input type="checkbox"/>	013	INTEN. FUS. A FASE "L ₂ "	037
MAGNET. VISOR <input type="checkbox"/> CONTACTOR VACIO <input type="checkbox"/>	014	TENS. FUS. KV MARCA	038
MARCA Un KV	015	TIPO FUS.	039
TIPO In A	016	INTEN. FUS. A FASE "L ₃ "	040
PODER DE CORTE MVA KA	017	TENS. FUS. KV MARCA	041
MANDO TIPO MANUAL NEUMAT. <input type="checkbox"/> ELECTR. <input type="checkbox"/> NEUMAT. <input type="checkbox"/>	018	TIPO FUS.	042
TENSION CONTROL c.a. <input type="checkbox"/> c.c. <input type="checkbox"/>	019	RELES PROTECCION ENT/INT. <input type="checkbox"/> SALIDA <input type="checkbox"/> PRIMARIO <input type="checkbox"/> SECUNDARIO <input type="checkbox"/>	100
TENSION MOTOR c.a. <input type="checkbox"/> c.c. <input type="checkbox"/>	020	TIPO A <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	101
RIGID. DIEL. KV/CM. COLOR ASTM	021	TIPO B <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	102
VALORES LIMITES RIGID. DIEL. 20 KV/CM. COLOR 6 MAX. DIELECTRICO	022	TIPO C <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	103
	023	TIPO D <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	104
	024	TIPO E <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	105
	025	TIPO F <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	106
	026	TIPO G <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	107
	027	TIPO H <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	108
	028	TIPO I <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	109
	029	TIPO J <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	110
	030	TIPO K <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	111
	031	TIPO L <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	112
	032	TIPO M <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	113
	033	TIPO N <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	114
	034	TIPO O <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	115
	035	TIPO P <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	116
	036	TIPO Q <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	117
	037	TIPO R <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	118
	038	TIPO S <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	119
	039	TIPO T <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	120
	040	TIPO U <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	121
	041	TIPO V <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	122
	042	TIPO W <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	123
	043	TIPO X <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	124
	044	TIPO Y <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	125
	045	TIPO Z <input type="checkbox"/> DIRECTO <input type="checkbox"/> INDIRECTO <input type="checkbox"/>	126

COMENTARIO OBLIGADO AL CLIENTE DE LAS ANOMALIAS/MEJORAS DE LA INSTALACION (CONCLUSIONES)
ACTUACIONES MOTIVADAS POR EL COMENTARIO CON EL CLIENTE: REPARACIONES URGENTES: Indicando códigos o concepto, posición a que pertenece y material necesario para la reparación y otras anomalías observadas en la revisión: Posibles fechas ejecución trabajos:/199.../...../199.....
 ENVIAR PRESUPUESTO DE LOS APARTADOS / CODIGOS Nº
 OTRAS
SUGERENCIAS DEL CLIENTE O COMENTARIOS DEL RESPONSABLE:
SOBRE OTROS SERVICIOS
 Termovisión
 Seguimiento facturación
 Cursos formación
 OTROS
IMPORTANTE: SI EL CLIENTE SOLICITA PRESUPUESTO INMEDIATO U URGENTE, COMUNICARLO DE PALABRA A PRODUCCION

ANOMALIAS OBSERVADAS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

INTERPRETACION DEL INFORME:
 Las cruces marcadas en el presente formulario en la fila con la anomalía que está presente, referida en la columna.

INDICAR EN LA CASILLA CORRESPONDIENTE "Nº DE INFORME ANTERIOR" Y "Nº DE CLIENTE" Y COLOCAR LAS HOJAS DE ACUERDO AL ORDEN EXISTENTE EN LA INSTALACION



INFORME ESTADO INSTALACION ELECTRICA A.T.

Nº INFORME ANTERIOR: _____
 SITUADO EN: _____
 DESIGNACION C.T. O CSEE: _____
 Nº CERRADURAS NECESARIAS: _____

Nº CLIENTE: _____
 INDICAR LOS ENCLAVIAMIENTOS NECESARIOS Y/O ANOMALIAS EXISTENTES: _____

ENCLAVIAMIENTOS:		CODIGOS	
SECCIONADOR - INTERRUPTOR A.T.	900	M	G
SECCIONADOR - INTERRUPTOR FUER. CELDA SECCIONADOR	901	C	I
SECCIONADOR - INTERRUPTOR FUER. CELDA INTERRUPTOR	902	F	L
SECCIONADOR - INTERRUPTOR FUER. CELDA TRANSFORMADOR	903	C	L
INTER. A.T. - INTERRU. B.T. PUERTA CELDA TRANSFORMADOR	904	E	P
INTER. A.T. - SECCIONADOR / SECCIONADOR P. A. TIERRA	907	A	T
SECCION. INTAL. - INTAL. - INTAL. CELDA TRANS	908	O	O

EXISTE ACOMPLAMIENTO BUCHOLZ TERMOMETRO: SI NO

- Si algún elemento está INCOMPLETO O EN MAL ESTADO (reses, enclavamientos, etc.) indicar en observaciones la anomalía que presenta y FORMA DE REPARARLA O CORREGIRLA, a fin de facilitar la ejecución del presupuesto.
- Cuando un rele sea puesto a punto o sustituido, indistintamente sea el elemento instantáneo o temporizado, indicarlo solamente en la casilla del "temporizado".
- En INTERRUPTORES de P.V.A. se recomendará cambio de aceite cada DOS AÑOS, o cada DOS REVISIONES.
- En los aparatos de ENCLAVIAMIENTOS, PONER SOLAMENTE CRUZ en la casilla que más se ajuste a la problemática de la instalación. Si no hay ninguna que se ajuste, indicarlo en observaciones.
- Si existen algunas anomalías en la red de tierras de neutro o herrajes común a varios transformadores, NO PONER CRUZ en ninguna casilla e indicarlo con una nota en la hoja de generalidades.
- Cuando exista doble secundario indicar en observaciones las características de transformador y condensadores de ese secundario.
- FOSOS RECOGIDA ACEITE, obligado en transformadores de potencia superior a 50 kVA. En transformadores de Piraleño/Silicona, solo bandeja de recogida.
- En S.S.E. y C.T. donde existan varios transformadores, estos deberán llevar Tanque Separador de obra civil o chapa.

OBSERVACIONES: _____

CODIGOS		TRANSFORMADOR		RECOMENDACION SOBRE DIELECTRICO TRANSFORMADORES	
ENTRADA	A	TIPO	TIPO	POTENCIA	POTENCIA
SECCIONADO	B	VALORES LIMITE	VALORES LIMITE	ACETE	ACETE
COMBINADO	C	FILTRADO	FILTRADO	PIRILENO	PIRILENO
COMBINADO	D	CAMBIO	CAMBIO	SILICON	SILICON
COMBINADO	E	RIGID. DIELECT.	RIGID. DIELECT.	INDIFERENTE	INDIFERENTE
COMBINADO	F	VALOR MINIMO	VALOR MINIMO	1	1
COMBINADO	G	COLOR ACET.	COLOR ACET.	2	2
COMBINADO	H	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM	3	3
COMBINADO	I	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM	4	4
COMBINADO	J	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM	5	5
COMBINADO	K	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	L	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	M	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	N	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	O	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	P	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	Q	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	R	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	S	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	T	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	U	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	V	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	W	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	X	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	Y	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	Z	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	1	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	2	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	3	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	4	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		
COMBINADO	5	VALOR MAX 3/ASTM	VALOR MAX 3/ASTM		

POTENCIA KVA	DIELECTRICO	Nº TRANSFOR. C.T.	DATOS DE ENSAYO	OPERACION A RECOMENDAR
	ACETE		PIRILENO	PIRILENO
	PIRILENO		CAMBIO	CAMBIO
	SILICON		FILTRO	FILTRO
INFERIOR 30	X	X	INFERIOR 30	SUPERIOR 6
DESDE 30 HASTA 180	X	X	18-30	3-6
INFERIOR 30	X	1	INFERIOR 30	SUPERIOR 6
SUPERIOR 30	X	X	INFERIOR 18	SUPERIOR 6
INDIFERENTE	X	INDIFERENTE	18-30	3-6
		INDIFERENTE	INFERIOR 30	SUPERIOR 3

ANOMALIAS EXISTENTES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

INTERPRETACION DEL INFORME
 Las cruces marcadas en la ta con la anomalia que este presente, efectuadas en la 20. ma

8.7 Tipología de averías. Diagnóstico de averías

8.7.1. Averías en líneas aéreas

En el caso de que un conductor se haya cortado, tendremos que proceder a la utilización de un medidor de aislamiento para poder comprobar la continuidad de cada uno de ellos (Figura 8.6.), para lo cual tendremos que abrir en la cabecera de la línea, unir los tres conductores y ponerlos a tierra. En el final de la línea o en el punto de seccionamiento de ésta iremos tomando las diferentes medidas, L1-T, L2-T, L3-T y en la medida que el valor de la resistencia sea mayor, éste será el conductor que está cortado.

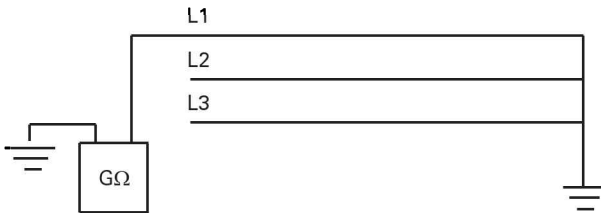


Figura 8.6. Medida de continuidad en una Línea de A.T.

En el caso de que exista un contacto entre conductores (cortocircuito), lo primero que haremos será separar cada uno de los conductores para pasar a realizar las siguientes medidas: L1-L2, L2-L3, L1-L3. El valor de la resistencia que nos dé entre los conductores que están unidos será muy inferior a la que nos dé entre el conductor que no lo está y ellos (Figura 8.7).

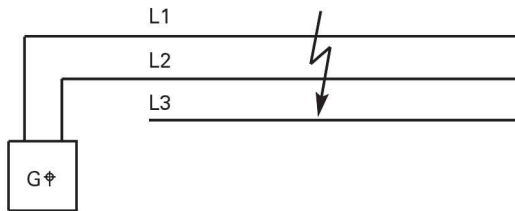


Figura 8.7. Medida para la localización de los conductores que están en cortocircuito.

En el caso de que los tres conductores estuvieran unidos, el valor de la resistencia, para todos ellos, sería el mismo, un valor muy bajo.

Para localizar si uno o más conductores se han puesto a tierra procederemos como en el caso anterior: aislar los extremos de la línea e ir comprobando uno a uno los conductores, L1-T; L2-T, L3-T. El valor de la resistencia que nos dará el o los conductores que estén a tierra con respecto a los otros será muy bajo, Figura 8.8.

Los principales equipos de medida se basan, principalmente, en los puentes de Wheatstone, Murray, Varley, Grad, etc., o de caídas de tensión, para una primera localización del defecto.

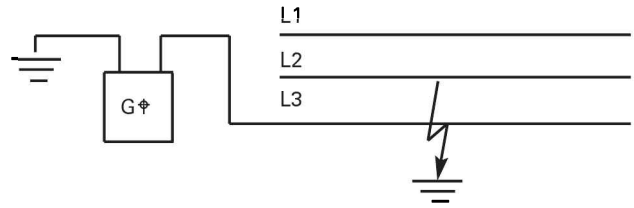


Figura 8.8. Medida para la localización de conductores puestos a tierra.

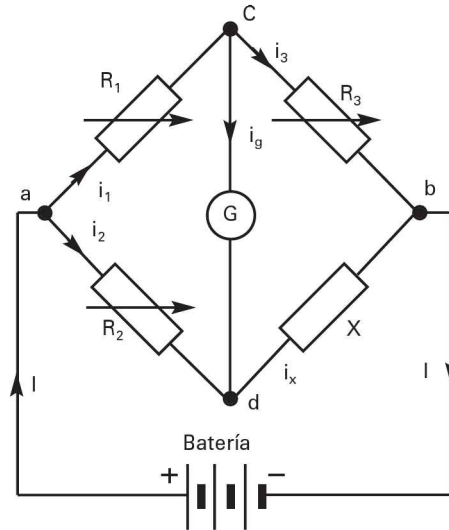


Figura 8.9. Puente de Wheatstone.

El fundamento de un puente de Wheatstone se basa en la comparación de resistencias y tensiones, Figura 8.9. La fuente de tensión, en este caso una batería, suministra una intensidad que circulará por el puente, de tal forma que nos permitirá la obtención del valor de la resistencia X.

Al llegar la intensidad al nudo **a** se bifurcará por las dos ramas i_1 e i_2 y al llegar al nudo **c** la i_1 se bifurcará por las otras dos ramas i_g e i_3 , hasta llegar al nudo **b**, común a la rama **acb** y a la **adb**. Si tenemos en cuenta los sentidos del esquema, se cumplirá:

$$U_{ac} = R_1 \cdot i_1 \dots\dots\dots U_{ad} = R_2 \cdot i_2$$

$$U_{cb} = R_3 \cdot i_3 \dots\dots\dots U_{ab} = X \cdot i_x$$

Si el puente está equilibrado, la $i_g = 0$, se cumplirá:

$$U_{ac} = R_1 \cdot i_1 = U_{ad} = R_2 \cdot i_2$$

$$U_{cb} = R_3 \cdot i_3 = U_{ab} = X \cdot i_x$$

Si dividimos miembro a miembro, tendremos que:

$$\frac{R_1 \cdot i_1}{R_3 \cdot i_3} = \frac{R_2 \cdot i_2}{X \cdot i_x}$$

pero al ser $i_g = 0$, también $i_1 = i_2 = i_3 = i_x$; luego,

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{X} \quad \text{y por tanto} \quad X = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

A las resistencias R_1 y R_2 se le dan valores cuyo cociente sea una potencia de 10, y con R_3 se ajusta hasta que el galvanómetro G no indica paso de corriente; en este momento tendremos que el valor de la resistencia incógnita será:

$$X = 10^{\pm n} \cdot R_3$$

Los bornes **b** y **d** son exteriores y es donde se conecta la resistencia a medir.

Ejemplo para la localización de la unión de dos conductores provocados por un cortocircuito:

Tenemos una línea trifásica de N km de longitud. Por causa de la caída de un árbol. Dos de los conductores se han unido y han producido un cortocircuito, y necesitamos saber la distancia a que se encuentra del comienzo de la línea.

Lo primero que tendremos que hacer es proceder a medir la resistencia que nos dan ambos conductores, R_{cc} .

A continuación procederemos a realizar una primera medida, aislando los extremos de los conductores, L1-L2 - L1' - L2' que están en cortocircuito y conectaremos los principios de L1 y L2 a los bornes del aparato (puente de Wheatstone).

Ajustamos por medio de las resistencias R_1 , R_2 y R_3 , hasta que el galvanómetro se equilibre y marque 0, con lo que se cumple que:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{cc} + 2Rx}{R_3}$$

Procedemos a realizar una segunda medición desde el extremo opuesto al anterior, es decir, L1' - L2', teniendo aislados los puntos L1 y L2, con lo que tendremos:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{cc} + (2R_L - 2R_x)}{R_3}$$

donde:

- R_1, R_2, R_3 = Resistencias conocidas que están en el puente.
- R_L = Resistencia de un fase de la línea (se conoce).
- R_{cc} = Resistencia del cortocircuito o contacto (desconocida).
- R_x = Resistencia del origen al punto de contacto (desconocida).

Si resolvemos este sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, obtendremos los dos valores necesarios para poder determinar el punto donde se ha producido el cortocircuito.

$$X = \frac{R_x}{R}$$

donde:

- X = Distancia en km.
- R_x = En Ω .
- R = Resistencia del conductor en Ω/km .

Como datos recordatorios el cable de denominación LA-56, la resistencia eléctrica a 20 °C es de $0,614 \Omega \cdot \text{km}$, mientras que la del conductor con denominación LA-110 su resistencia es de $0,307 \Omega \cdot \text{km}$.

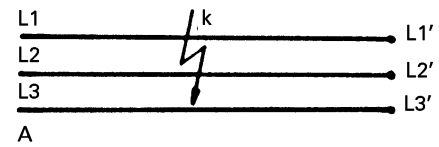


Figura 8.10. Forma de localizar el punto donde se ha producido el cortocircuito.

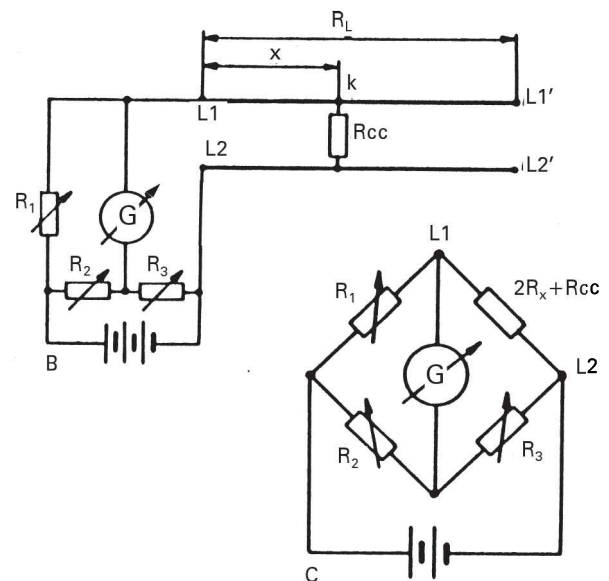


Figura 8.11. Forma de localizar el punto donde se ha producido el cortocircuito.

En el caso de que el defecto se hubiera producido entre una fase y tierra, para determinar el punto X donde se ha producido, utilizaremos el puente de Murray, que es muy parecido al de Wheatstone. Procederemos a cortocircuitar los extremos L1' y L2', utilizando para ello un cable con una sección lo suficientemente gruesa para que su resistencia sea insignificante o despreciable y empleando para su conexión a dichos cables, grapas de iguales características que los conductores que van a ser utilizados. Si el cable que nos va servir para unir L1' con L2' fuera de cobre, las grapas a utilizar serían bimetálicas. Uniremos a tierra uno de los puntos de la batería a utilizar (el negativo). Construido el esquema representado en la Figura 8.13, y suponiendo que el galvanómetro marque 0, se cumplirá que:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{2 \cdot R_L - R_x}{R_x}$$

de aquí obtendremos:

$$R_x = \frac{2 \cdot R_L \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Una vez conocida R_x y como en el caso anterior obtendremos fácilmente la distancia X o, lo que es lo mismo, la distancia al origen de la falla producida.

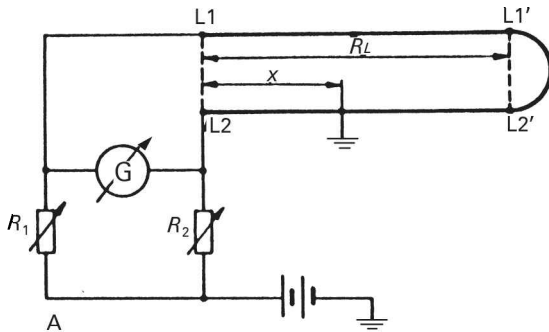


Figura 8.12. Montaje para localizar el punto de falla entre una fase y tierra.

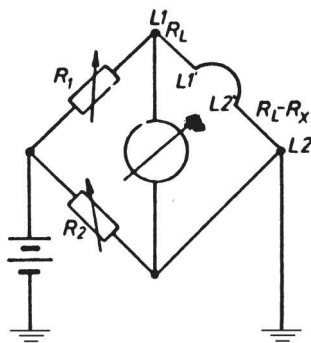


Figura 8.13. Montaje para localizar el punto de falla entre una fase y tierra.

8.7.2. Averías en líneas subterráneas

Inicialmente los conductores están en perfecto estado, pero el paso del tiempo y las acciones provocadas por excavaciones próximas a los mismos, corrimientos de tierra, fallos de aislamiento, sobrecargas o cortocircuitos, pueden dañarlos.

La avería se localiza cuando se disparan las protecciones del circuito correspondiente. Muchas veces esas protecciones se disparan de forma accidental, por lo que es aconsejable el comprobar dicho circuito antes de volver a rearmar dicha protección con el fin de asegurarnos que no existe dicha avería.

Podemos distinguir, principalmente, dos tipos de averías:

- 1.^a Interrupción de la continuidad de la línea.
- 2.^a Deterioros del aislamiento.

En cualquier tipo de cable que se encuentre en buen estado se pueden definir dos parámetros: la resistencia de los conductores y la resistencia de aislamiento, de tal forma que en caso de una avería dichos valores variarán y nos permitirá clasificarla en uno de los dos casos, o en los dos a la vez.

Si un conductor a la hora de medir la resistencia de sus conductores nos da un valor infinito, mientras que su resistencia de

aislamiento nos da un valor aceptable, nos está indicando qué tipo de avería es (rotura del conductor), mientras que si el valor de la resistencia de los conductores es normal, y la resistencia de aislamiento es baja, nos indica igualmente qué tipo de avería es (aislamientos deteriorados o rotos).

Para localización de las diferentes averías que se nos pueden presentar, tendremos que disponer de unos equipos que sean capaces de facilitarnos, de una forma lo más aproximada posible, el punto donde se ha producido dicha avería.

Es más fácil localizar que el aislamiento se haya perforado de una forma franca y esté puesto el conductor a tierra o la rotura franca de un conductor, que un contacto intermitente. Por eso, en ocasiones se provoca el defecto franco deseado, haciendo pasar una intensidad tal, que carbonice el aislamiento o funda el conductor en el punto donde provoca un incremento local de la resistencia.

Los métodos de localización clásicos, anteriores a la introducción del método de localización por reflexión de impulsos (radar), dependen de la clase de avería.

- 1.º El conductor no está interrumpido.
 - a) Cortocircuito o derivación a tierra a través de una resistencia pequeña, menor de 500Ω .
 - b) Derivación a tierra a través de una resistencia muy grande, superior a 500Ω .
- 2.º El conductor está interrumpido en el punto defectuoso.
 - a) Existe derivación a tierra en uno o varios conductores.
 - b) Los conductores presentan buenos valores de aislamiento (no hay derivación a tierra ni cortocircuito).

Primer caso [1.º a)]. Si disponemos de un conductor en buen estado y equivalente al retorno, se efectuará la medición con el puente de Murray. Este sistema ha sido el más utilizado durante muchos años. En esencia se trata de un puente de hilo en el que dos de las resistencias están constituidas: una por el cable de retorno unido al tramo más lejano del cable averiado y la otra por el tramo más próximo, y las otras dos por los trozos del hilo calibrado del puente.

$$\frac{b}{a} = \frac{(2l - x)}{x}$$

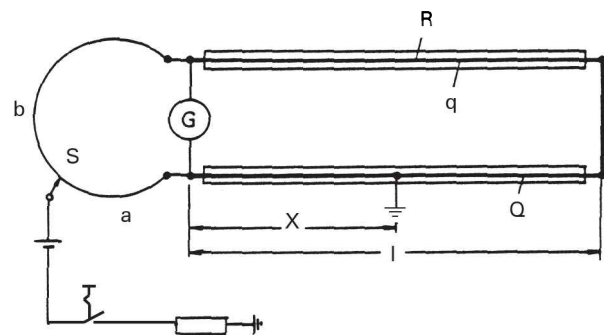


Figura 8.14. Puente de Murray.

Sabemos que el galvanómetro marca 0 (cero) cuando se cumple la relación de que:

$$x = \frac{2l \cdot a}{(a + b)}$$

de donde:

Si el conductor de retorno es de distinta naturaleza al averiado (conductor auxiliar), la longitud del conductor de retorno ha de convertirse en una longitud l_1 , equivalente a la de un cable semejante al averiado. En este caso se sustituirá, en la fórmula, $2l$ por $l + l_1$.

Cuando no es posible disponer de un conductor de retorno, se utiliza el método de medición del sentido de la corriente de Wurm bach. Este laborioso procedimiento se ha sustituido por los más modernos de reflexión de impulsos o por la diferencia de onda estacionaria que se describirá más adelante.

Segundo caso [1.º b)]. Se transforma en el 1.º a) quemando la falla aplicando una tensión suficiente como para formar un arco que reduzca su resistencia a un valor inferior a 50Ω .

Tercer caso [2.º a)]. Se utilizaba el citado método de Wurm bach que se basa en el principio de que una corriente continua, que circula por el interior del cable averiado, cierra el circuito a través de tierra usando como vía de acceso la perforación ocasionada por la avería. En este punto convergen los dos sentidos de la corriente que circula por el cable. Un galvanómetro preparado para identificar el sentido de la corriente que pasa por un cable, facilitará una marcación contraria a derecha o izquierda del punto de defecto y marcará 0 (cero) en dicho punto. El mayor inconveniente de este método es su laboriosidad, pues obliga a descubrir el cable en múltiples lugares del terreno. Por esta razón, ha sido sustituido por otros más modernos.

Cuarto caso [2.º b)]. En este caso, en el que el conductor está cortado, pero no se ha deteriorado el aislamiento, el método se basa en suponer que la capacidad del tramo del cable interrumpido es proporcional a la longitud, así como la del cable dañado. Para la determinación de estas capacidades se utiliza el puente de capacidades en el que como generador de señal se emplea una fuente de corriente alterna de audiofrecuencia y como detector unos auriculares.

Se regula la resistencia y capacidad variables hasta que se logra extinguir el zumbido en el teléfono. La magnitud de la ca-

pacidad obtenida en el puente, cuando se extingue el sonido en los auriculares, debe ser igual a la capacidad en el tramo del conductor que se mide.

Si la capacidad de tramo próximo del cable dañado es C_x y la del cable sano es C , se tendrá que:

$$\frac{x}{C_x} = \frac{l}{C}$$

de donde:

$$x = l \cdot (C_x / C)$$

Hoy en día los métodos modernos son conocidos por el nombre genérico de rastreadores; éstos recorren el trazado de la línea, dotados de detectores especiales para la localización del punto donde se encuentra situada la avería, siendo denominados el método acústico y el método de inducción.

Pero las más eficaces técnicas de detección de averías se basan en el principio de la reflexión de un impulso eléctrico de corta duración que se envía a lo largo del cable. Se lo conoce con el nombre de «RADAR», tiempo de reflexión de impulsos, eco de impulsos o reflectómetro. Consiste en medir el tiempo que transcurre entre el momento del envío y el de llegada del impulso reflejado. Estos dos instantes se ven representados en una pantalla como dos picos sobre una línea horizontal. La distancia entre los dos picos representa el tiempo transcurrido entre la salida del impulso y la llegada de la imagen reflejada en la avería. Para ello, se presenta, también, una línea de referencia graduada en microsegundos, cuyo cero se puede hacer coincidir con la salida del impulso. El tiempo transcurrido, dividido por dos, nos da el tiempo de llegada al lugar del defecto.

La imagen de la pantalla facilita más información adicional sobre la naturaleza de la avería, pues si el pico del impulso reflejado se sitúa en el mismo sentido que el del impulso original, es que el conductor está interrumpido, mientras que si está en dirección opuesta, es que está cortocircuitado.

No obstante, se aconseja a la persona que deba hallar el punto donde se encuentra la avería en sí, que lea detenidamente el manual de instrucciones sobre el tipo de aparato que va a utilizar, así como del método que se debe aplicar con su equipo.

8.7.3. Averías en instalaciones eléctricas de baja tensión

Las averías más frecuentes en instalaciones eléctricas en Baja Tensión suelen ser las siguientes:

calientan **tensidad.**

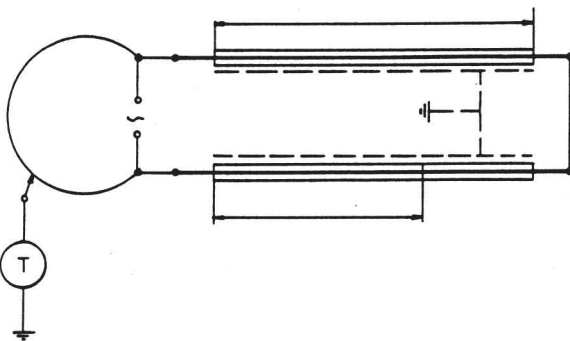


Figura 8.15. Puente de Capacidades.

Averías más frecuentes en equipos de iluminación (continuación)

- Fusibles situados en C.G.P.-B.T.V. o Centralización de Contadores se han fundido	- Exceso de intensidad producido por consumo elevado. Cortocircuito en la línea.
- Conductores Línea general de alimentación se calientan	- Elevada intensidad en los mismos. Refrigeración inadecuada.
- Interruptor de corte en carga se calienta	- Tornillos flojos o exceso de intensidad.
- Conductores Derivación Individual se calienta	- Elevada intensidad en los mismos. Refrigeración inadecuada.
- Interruptores Automáticos Diferenciales se disparan	- La instalación posee una derivación a tierra.
- Interruptores Automáticos Magnetotérmicos se disparan	- En la instalación se ha producido un cortocircuito o una sobrecarga. Armónicos en red.
- Los puntos de luz no encienden	- Interruptores o conmutadores rotos. Conductores sueltos o rotos. Portalámparas deteriorado.
- En Tomas de Corriente no hay servicio	- Hilos de alimentación cortados. Toma de Corriente deteriorada.
- Conductores interiores o de alimentación a receptor se calientan	- Elevada intensidad en los mismos. Sección inadecuada al consumo de la línea o del receptor.
- Lámpara fluorescente se enciende y se apaga	- Cebador en mal estado. Lámpara gastada o agotada.
- Lámpara fluorescente no se enciende	- Lámpara fundida. Balasto roto o en cortocircuito. Falta de tensión.
- Lámparas de descarga no se encienden (V.S.A.P-Halogenuro Metálico-V.S.B.P.)	- Lámparas fundida, gastada o agotada. Balastos y Arrancadores deteriorados. Falta de Tensión.
- Lámparas Halógenas de Baja Tensión (12 V) no funciona o dan poca luz	- Lámpara fundida, gastada o agotada. Transformador cortado o en cortocircuito. Tensión de alimentación insuficiente.
- Lámpara Luz Mezcla se enciende y apaga	- Lámpara gastada o agotada. Tensión de alimentación insuficiente.

- 8.1** Recopilar las normas particulares de la E.S.E. de la zona referente a la puesta en servicio de los centros de transformación.
- 8.2** Recopilar las normas particulares de la E.S.E. de la zona referente a la puesta en servicio de las líneas de 3.^a categoría.
- 8.3** Recopilar de los Boletines Oficiales publicados en la Comunidad Autónoma donde residan, los boletines de reconocimiento pertenecientes a las diversas instalaciones de baja tensión, dictámenes, boletines de instalación, etc.
- 8.4** Asistir a la puesta en marcha perteneciente a un Centro de Transformación.
- 8.5** Asistir a la revisión de una línea de 3.^a categoría.
- 8.6** Realizar un protocolo de mantenimiento preventivo perteneciente a una instalación de pública concurrencia.

 **Actividades
y prácticas
propuestas**

Bibliografía

- **Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.** Editorial: Thomson Paraninfo.
- **Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en las Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.** Editorial: Thomson Paraninfo.
- **Reglamento de Líneas Aéreas de Alta Tensión.** Editorial: Thomson Paraninfo.
- **Instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de 3.ª categoría.** UNESA.
- **Reglamento de aparatos de elevación y manutención.** Editorial: Thomson Paraninfo.
- **Normas particulares de Iberdrola.**
- **Normas particulares de Unión Fenosa.**
- **Normas particulares de Endesa.**
- **Normas UNE.**
- **Real Decreto 1955/2000, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.**
- **Real Decreto 1454/2005, por el que se modifican determinadas disposiciones relativas al sector eléctrico.**
- **Instalaciones eléctricas de enlace y centros de transformación.** Autores: *J. L. Sanz-J. C. Toledano.* Editorial: Thomson Paraninfo.
- **Proyectos para el desarrollo de instalaciones eléctricas de distribución.** Autores: *J. L. Sanz-J. C. Toledano.* Editorial: Thomson Paraninfo.
- **Instalaciones Eléctricas. Soluciones a problemas en baja y alta tensión.** Autor: *J. L. Sanz.* Editorial: Thomson Paraninfo.
- **Instalaciones Eléctricas. Resumen del REBT 2002 – Esquemas, aplicaciones y ejercicios resueltos de acuerdo con el REBT.** Autor: *J. L. Sanz.* Editorial: Thomson Paraninfo.
- **Puestas a tierra en edificios e instalaciones.** Autores: *J. C. Toledano-J. J. Martínez.* Editorial: Thomson Paraninfo.
- **Instalaciones eléctricas.** Autor: *Seip-Siemens.* Editorial: Marcombo.
- **Boletines de reconocimiento para A.T.** Consejería de Industria de Castilla La Mancha.
- **Biblioteca de libros técnicos eléctricos.** Editorial: Ceac.
- **Apuntes de Automatismos.** Autor: *J. L. Sanz.* Editorial: Servicio de publicaciones de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Madrid.
- **Manual de cables eléctricos aislados.** Autor: *M. Llorente.* Editorial: Profrepro.
- **Catálogos y manuales técnicos de centros de transformación Ormazabal.**
- **Catálogos y manuales técnicos de conductores Prysmian.**
- **Catálogos y manuales técnicos de equipos de medida Circutor.**
- **Catálogos y manuales técnicos de canalizaciones Unex.**
- **Manuales técnicos de Kone.**
- **Manuales técnicos de Otis.**
- **Cuadernos técnicos del Grupo Schneider.**

ELECTRICIDAD - ELECTRÓNICA
Instalaciones Electrotécnicas

Técnicas y Procesos **en las Instalaciones Eléctricas** **en Media y Baja Tensión**

El núcleo principal del libro trata los temas relacionados con las instalaciones eléctricas de Alta y Baja Tensión: las líneas de distribución aéreas y subterráneas, centros de transformación, instalaciones de baja tensión para edificios de viviendas, oficinas, locales comerciales, locales de pública concurrencia, garajes, piscinas, ascensores, entre otros, así como el estudio de las tomas de tierra en alta y baja tensión, etc.

También se aborda el estudio de temas como las instalaciones de alumbrado, fuentes de luz, luminarias, así como, medidas eléctricas reglamentarias, relativas a resistencias de las tomas de tierra, tensión de paso y contacto, resistividad del terreno, aislamiento, fugas, equipos de medida, iluminación, etc.

Esta obra se complementa con una serie de normas relativas a la puesta de servicio y mantenimiento de las instalaciones de alta y baja tensión.

En esta edición se han introducido las modificaciones llevadas a cabo hasta la fecha, por parte de varias de las Empresas Suministradoras de Energía, así como, las Normas UNE y Normas UNE-EN que han sido actualizadas.

La obra es eminentemente práctica tanto para los estudiantes de temas eléctricos de Formación Profesional, de Escuelas de Ingeniería, como para los profesionales que se dedican al diseño y a la ejecución de las instalaciones eléctricas.

Cualquier modificación en la normativa vigente que afecte al contenido de la obra, estará disponible en la página web de Ediciones Paraninfo en la dirección <http://www.paraninfo.es>, en la ficha correspondiente al libro.



Paraninfo

<http://www.paraninfo.es>

ISBN-13: 978-84-9732-663-6
ISBN-10: 84-9732-663-6



9 788497 326636