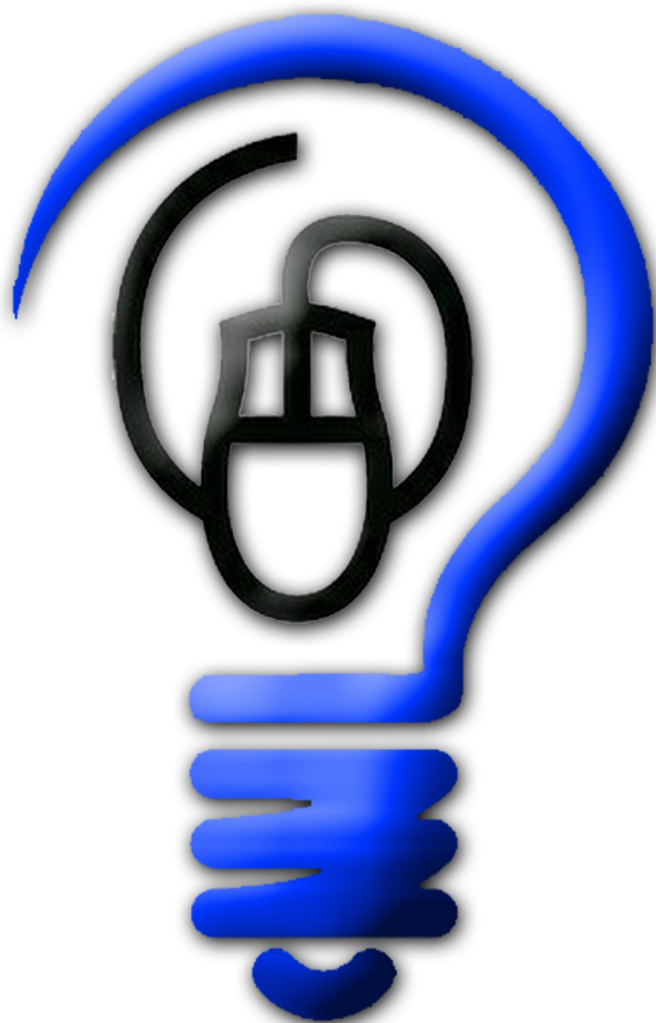


PROTECCIÓN CONTRA RAYOS



WWW.AUTODIDACTA.INFO

Índice

Signos y símbolos	9
Abreviaturas	11
1. Estado de la técnica para la instalación de sistemas de protección contra rayos	13
1.1 Normas de instalación	13
1.2 Contratos de obra	14
1.3 Normas de producto	15
2. Valores característicos de la corriente de rayo	16
2.1 Descargas de rayo y secuencia de la corriente de rayo	16
2.2 Valor cresta de la corriente de rayo	20
Pendiente de la corriente de rayo	21
2.4 Carga de la corriente de rayo	22
2.5 Energía específica	23
2.6 Coordinación de los parámetros de la corriente de rayo con los niveles de protección	24
3. Diseño de un sistema de protección contra rayos	26
3.1 Necesidad de un sistema de protección contra rayos – Disposiciones legales	26
3.2 Análisis de los riesgos de daños y elección de los componentes de protección	28
3.2.1 Gestión del riesgo	28
3.2.2 Fundamentos del cálculo de riesgo	28
3.2.3 Frecuencia de las descargas de rayo	30
3.2.4 Probabilidades de daños	32
3.2.5 Tipos de daños y causas de los mismos	33
3.2.6 Factor de pérdida	35
3.2.7 Componentes de riesgo relevantes para distintas descargas de rayo	35
3.2.8 Riesgo tolerable en caso de daños producidos por rayos	38
3.2.9 Elección de medidas de protección contra rayos	38
3.2.10 Pérdidas económicas / Rentabilidad de las medidas de protección	39
3.2.11 Resumen	39
3.2.12 Ayudas para el diseño	40
3.3 Inspección y mantenimiento	40
3.3.1 Tipos de inspección y cualificación de los inspectores	40
3.3.2 Medidas de inspección	42
3.3.3 Documentación	43
3.3.4 Mantenimiento	44
4. Sistema de protección contra rayos	46
5. Protección externa contra rayos	48
5.1 Instalación captadora	48
5.1.1 Métodos de diseño y tipos de dispositivos captadores	48
5.1.2 Instalación captadora para edificios con tejados a dos aguas	59
5.1.3 Instalación captadora para edificios con cubierta plana	60

5.1.4	Instalación captadora sobre cubiertas metálicas	62
5.1.5	Instalación captadora en edificios con cubiertas de paja	65
5.1.6	Cubiertas transitables por personas y vehículos	68
5.1.7	Instalación captadora para cubiertas ajardinadas y planas	69
5.1.8	Instalaciones captadoras aisladas	70
5.1.9	Instalación captadora para campanarios e iglesias	74
5.1.10	Instalación captadora para aerogeneradores	75
5.1.11	Esfuerzos por acción del viento en puntas captadoras	76
5.2	Instalación derivadora	81
5.2.1	Determinación del número de derivadores	82
5.2.2	Instalación derivadora para un sistema de protección contra rayos no aislado	82
5.2.2.1	Instalación de derivadores	83
5.2.2.2	Componentes naturales de la instalación derivadora	84
5.2.2.3	Puntos de medida	86
5.2.2.4	Derivadores internos	87
5.2.2.5	Patios interiores	87
5.2.3	Derivadores para una protección externa contra rayos aislada	87
5.2.4	Sistema derivador aislado resistente a alta tensión - Conductor HVI	87
5.2.4.1	Instalación y funcionamiento del sistema derivador aislado HVI	89
5.2.4.2	Ejemplos de instalaciones	90
5.2.4.3	Ejemplo de proyecto: Edificio residencial	93
5.2.4.4	Distancia de separación	95
5.3	Materiales y medidas mínimas para dispositivos captadores y derivadores	97
5.4	Medidas de montaje para instalaciones captadoras y derivadoras	97
5.4.1	Variación de la longitud en cables metálicos	98
5.4.2	Protección externa contra rayos para un edificio industrial y para una vivienda	99
5.4.3	Consejos para el montaje de soportes de conductor de tejado	102
5.5	Instalaciones de toma de tierra	105
5.5.1	Instalaciones de toma de tierra según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3)	116
5.5.2	Instalaciones de tomas de tierra, tomas de tierra de cimientos y tomas de tierra de cimientos en caso de medidas constructivas especiales	118
5.5.3	Toma de tierra anular - Toma de tierra tipo B	124
5.5.4	Tomas de tierra de profundidad - Tomas de tierra tipo A	125
5.5.5	Tomas de tierra en suelos rocosos	125
5.5.6	Interconexión de tomas de tierra	125
5.5.7	Corrosión de las tomas de tierra	127
5.5.7.1	Sistemas de puesta tierra con especial consideración a la corrosión	127
5.5.7.2	Formación de celdas voltaicas. Corrosión	128
5.5.7.3	Elección de los materiales para los electrodos de puesta a tierra	132
5.5.7.4	Combinación de tomas de tierra de diferentes materiales	132
5.5.7.5	Otras medidas de protección contra la corrosión	133

5.5.8	Material es y dimensiones mínimas para tomas de tierra	135
5.6	Aislamiento eléctrico de la protección externa contra rayos - Distancia de separación	135
5.7	Tensión de paso y de contacto	140
5.7.1	Control de la tensión de contacto en derivadores de instalaciones de protección contra rayos	144
6.	Protección interna contra rayos	147
6.1	Compensación de potencial para instalaciones metálicas	147
6.2	Compensación de potencial para instalaciones de suministro de energía	151
6.3	Compensación de potencial para instalaciones de telecomunicaciones	151
7.	Protección de sistemas eléctricos y electrónicos contra LEMP	155
7.1	Concepto de zonas de protección contra rayos	155
7.2	Gestión de protección LEMP	156
7.3	Cálculo de la atenuación magnética del blindaje en blindajes de edificios / locales	158
7.3.1	Apantallamiento de cables	162
7.4	Red de compensación de potencial	164
7.5	Compensación de potencial en los límites entre las zonas LPZ 0 y LPZ 1	166
7.5.1	Compensación de potencial para instalaciones metálicas	166
7.5.2	Compensación de potencial para instalaciones de suministro de energía	167
7.5.3	Compensación de potencial para instalaciones de transmisión de datos	170
7.6	Compensación de potencial en los límites entre las zonas LPZ 0 _A y LPZ 2	171
7.6.1	Compensación de potencial para instalaciones metálicas	171
7.6.2	Compensación de potencial para instalaciones de suministro de energía	171
7.6.3	Compensación de potencial para instalaciones de técnica de la información	172
7.7	Compensación de potencial en los límites de las zonas LPZ 1 y LPZ 2 y superiores	173
7.7.1	Compensación de potencial para instalaciones metálicas	173
7.7.2	Compensación de potencial para instalaciones de suministro de energía	174
7.7.3	Compensación de potencial para instalaciones de técnica de la información	175
7.8	Coordinación de las medidas de protección en diferentes límites de las zonas de protección ..	175
7.8.1	Instalaciones de suministro de energía	175
7.8.2	Instalaciones IT	176
7.9	Inspección y mantenimiento de la protección LEMP	179
8.	Selección, instalación y montaje de dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) ..	180
8.1	Sistemas de suministro de energía (en el marco del concepto de zonas de protección contra rayos (LPZ) según UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4)	180
8.1.1	Características técnicas de los DPS	181
8.1.2	Utilización de DPS en diferentes sistemas	182
8.1.3	Utilización de DPS en sistemas TN	184
8.1.4	Utilización de DPS en sistemas TT	190
8.1.5	Utilización de DPS en sistemas IT	192
8.1.6	Dimensionado de la longitud de los conductores de conexión para DPS	197
8.1.7	Secciones de conexión y dimensionamiento de la protección previa de los descargadores de sobretensiones	201

8.2	Sistemas de transmisión de datos	206
8.2.1	Sistemas de medida, control y regulación (MCR)	214
8.2.2	Técnica de gestión de edificios	215
8.2.3	Sistemas de cableado universal (Redes EDP, instalaciones de telecomunicaciones TC)	216
8.2.4	Circuitos de seguridad intrínseca	218
8.2.5	Peculiaridades en la instalación de los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS)	223
9.	Ejemplos de aplicación	227
9.1	Protección contra sobretensiones de convertidores de frecuencia	227
9.2	Protección contra rayos y sobretensiones en instalaciones exteriores de alumbrado	230
9.3	Protección contra rayos y sobretensiones en plantas de biogás	234
9.4	Protección contra rayos y sobretensiones de estaciones depuradoras de agua	244
9.5	Protección contra rayos y sobretensiones para redes de cables y antenas para señales de televisión, señales de sonido y servicios interactivos	250
9.6.	Protección contra rayos y sobretensiones para explotaciones agrícolas y ganaderas	255
9.7.	Protección contra rayos y sobretensiones para instalaciones de vigilancia	259
9.8.	Protección contra sobretensiones para instalaciones de alarma	262
9.9.	Protección contra sobretensiones para instalaciones de prevención y aviso de riesgos	264
9.10.	Protección contra rayos y sobretensiones para sistemas KNX	268
9.11.	Protección contra sobretensiones para redes ETHERNET y Fast Ethernet	271
9.12.	Protección contra sobretensiones para Bus M	273
9.13.	Protección contra sobretensiones para PROFIBUS FMS, PROFIBUS DP y PROFIBUS PA	278
9.14.	Protección contra sobretensiones para sistemas de telecomunicaciones	282
9.15.	Protección contra rayos y sobretensiones para circuitos de medida auto-protegidos	285
9.16.	Protección contra rayos y sobretensiones para aerogeneradores	291
9.17.	Protección contra sobretensiones para sistemas de emisión/recepción de radio	295
9.17.1.	Suministro de energía 230/400 V AC	295
9.17.2.	Conexión a la red fija (si existe)	297
9.17.3.	Técnica de transmisión de radio	297
9.17.4.	Protección contra rayos, toma de tierra, compensación de potencial	297
9.18.	Protección contra rayos y sobretensiones para instalaciones PV y plantas solares	299
9.18.1.	Protección contra rayos y sobretensiones para instalaciones fotovoltaicas	299
9.18.2.	Protección contra rayos y sobretensiones para plantas solares	306

1. Estado de la técnica para la instalación de sistemas de protección contra rayos

1.1. Normas de instalación

A comienzos del año 2006 se publicaron las nuevas normas IEC de protección contra rayos, partes 1 a la 4. Casi al mismo tiempo empezaron a aplicarse como nueva normativa europea de protección contra rayos con la denominación EN 62305 -1 a 4.

Esta nueva serie normativa refleja el estado de la técnica en el campo de la protección contra rayos sobre una uniforme y moderna base europea. Las actuales normas de protección (EN 62305-3 y -4) están precedidas por dos normas de carácter general (EN 62305-1 y -2) (Tabla 1.1.1).

UNE EN 62305-1 (IEC 62305-1):

Principios generales

Esta parte de la norma contiene información acerca de los riesgos generados por los rayos, sus características y los parámetros del mismo para llevar a cabo la simulación de los efectos del rayo. Asimismo se incluye una visión de conjunto sobre la serie de normas UNE EN 62305 (IEC 62305). Se aclaran y exponen los procedimientos a seguir y los principios de protección en los que se basan las siguientes partes de la norma.

UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2):

Gestión del riesgo

La gestión de riesgos, de acuerdo con la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2), utiliza un análisis de riesgos para determinar, en primer lugar, la necesidad de la protección contra rayos.

A continuación, se fijan las medidas de protección óptimas, tanto desde el aspecto técnico como desde el económico. Finalmente se determina el riesgo residual.

Partiendo de una situación en la que el edificio no está protegido, el riesgo residual se va reduciendo hasta que quede por debajo del umbral del riesgo aceptable. Este procedimiento puede utilizarse, tanto para la simple determinación de la clase de protec-

ción de un sistema de protección contra el rayo según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3), como también para determinar y fijar un sistema de protección completo contra el impulso electromagnético de rayo (LEMP) de acuerdo con la norma UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4).

UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3):

Protección de estructuras y de personas

Esta parte trata de la protección de estructuras contra daños materiales y del riesgo para la vida de las personas como consecuencia de la acción de la corriente de rayo o por formación de ondas peligrosas, especialmente en el caso de descarga directa del mismo.

Un sistema de protección contra rayos incluye, por un lado, medidas de protección externa (instalación captadora, instalación derivadora y sistema de puesta a tierra) y medidas de protección interna, por otro (compensación de potencial de protección contra rayos y distancia de separación).

El sistema de protección contra rayos se define por su clase de protección, disminuyendo la eficacia de la protección desde la clase de protección I hasta la IV. La clase de protección requerida en cada caso se determina con ayuda del análisis de riesgos según UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2) salvo que ya esté prefijada por otras ordenanzas o normas (p. ej. normas sobre construcción).

UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4):

Protección de sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras.

Esta parte trata de la protección de edificios y estructuras con sistemas eléctricos y electrónicos contra los efectos del impulso electromagnético de rayo. Basándose en las medidas de protección según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3), con esta norma se tienen además en consideración los efectos de los campos eléc-

tricos y magnéticos, así como de las corrientes y tensiones inducidas, que se han ocasionado como consecuencia de descargas de rayo directas o indirectas.

La relevancia y la necesidad de esta norma es consecuencia de la creciente utilización de complejos sistemas eléctricos y electrónicos, que se reú-

Clasificación	Título
IEC 62305-1: 2006-01 (EN 62305-1)	Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales
IEC 62305-2: 2006-01 (EN 62305-2)	Protección contra el rayo. Parte 2: Gestión de riesgos
IEC 62305-3: 2006-01 (EN 62305-3)	Protección contra el rayo. Parte 3: Protección de estructuras y de personas
IEC 62305-4: 2006-01 (EN 62305-4)	Protección contra el rayo. Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras

Tabla 1.1.1: Normas de protección contra el rayo vigentes desde el 1.10.2006.



nen bajo el concepto de “Sistemas de información”. Para proceder a la definición de las medidas de protección de los sistemas de información, el edificio o estructura en el que dichos sistemas se ubican, se divide en zonas de protección contra rayos (LPZ). De este modo, se pueden tener en cuenta las diferencias en cuanto a número, clase y sensibilidad de los aparatos eléctricos y electrónicos existentes. Para cada zona de protección contra el rayo se seleccionarán, con ayuda del análisis de riesgos según UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2), las medidas que ofrezcan una protección óptima con el menor coste posible.

Las normas UNE EN 62305, partes 1 a 4, son aplicables para la planificación, proyecto, construcción, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra el rayo para estructuras, sus instalaciones, sus contenidos y para las personas que se encuentren en las mismas.

1.2. Contratos de obra

El constructor es, por principio, responsable de la fiabilidad de sus obras y de que éstas estén libres de cualquier deficiencia. Un punto de referencia determinante para asegurar la ausencia de las mismas en una prestación de obra es el cumplimiento de las normas de ingeniería vigentes. Si se cumplen las normativas correspondientes, cabe suponer que la obra está exenta de deficiencias.

Una consecuencia práctica de esta situación es que las probabilidades de éxito de una demanda que pretenda hacer valer que las prestaciones de una empresa son deficientes (p. ej. en la instalación de un dispositivo de protección contra rayos), no son muy altas si la empresa en cuestión puede demostrar que ha cumplido

do las normas técnicas vigentes al respecto. En lo que se refiere a los efectos, las normas y las normas previas tienen la misma valoración.

Sin embargo, la eficacia de normas técnicas desaparece cuando las éstas han sido retiradas, o bien, si se puede demostrar que ya no se corresponden con el estado actual de la técnica.

Las normas no pueden recoger el estado de la técnica de una forma rígida y estática, ya que las condiciones previas y las posibilidades técnicas varían constantemente. Así pues, si se retiran normas y se sustituyen por otras nuevas, son éstas las que han de tomarse en consideración por cuanto responden mejor al estado actual de la técnica.

La empresa y el cliente final acuerdan por lo regular, sin referencia expresa a ello, que dicha obra tiene que corresponderse con el estado actual de la técnica. Si no lo hace, dicha obra será deficiente. Esto puede tener como consecuencia que se reclamen responsabilidades a la empresa constructora por deficiencias en la fiabilidad de los materiales. Sin embargo, esta denuncia sólo llegará a buen término, si en la fecha de recepción de la obra, la empresa ya estaba afectada por dicho motivo. Así, circunstancias que se produzcan con posterioridad a la recepción de la obra, como por ejemplo, una evolución posterior del estado de la técnica, no implican que, la obra ya recepcionada, pueda ser considerada como deficiente.

Para dilucidar la cuestión de la deficiencia de una prestación de obra y servicio, serán determinantes las normas de ingeniería vigentes en la fecha de la recepción de la misma.

Después, en el futuro, solamente serán de aplicación las normas de protección contra rayos vigentes en la fecha del término y recepción de una instalación. No será suficiente con que, las prestaciones en la fecha

	Definición de acuerdo a la IEC 61643	Definición de acuerdo a la EN 61643
SPDs que soportan una corriente de rayo parcial con una forma de onda típica 10/350 μ s requieren el impulso de corriente para ensayos I_{imp} correspondiente. Los ensayos preferentes de corriente para I_{imp} están definidos en el test de Clase I procedente de la IEC 61643-1	SPD clase I	SPD Tipo 1
SPDs que soportan una corriente inducida con una forma de onda típica 8/20 μ s requieren el impulso de corriente para ensayos I_n correspondiente. Los ensayos preferentes de corriente para I_n están definidos en el test de Clase II procedente de la IEC 61643-1	SPD clase II	SPD Tipo 2
SPDs que soportan una corriente inducida con una forma de onda típica 8/20 μ s y que requieren el impulso de corriente para ensayos I_{sc} correspondiente. Los ensayos preferentes para onda combinada para I_n están definidos en el test de Clase III procedente de la IEC 61643-1	SPD clase III	SPD Tipo 3

Tabla 1.1.2: Equivalentes para la clasificación de los SPD.

de la ejecución de las mismas se hayan correspondido con las normas de ingeniería, si entre la fecha de la firma del contrato, la ejecución de las prestaciones y la recepción de la obra se han modificado los conocimientos técnicos y con ello hayan variado las normas. Las obras que ya habían sido ejecutadas y que habían sido recibidas según las normas antiguas, no pasarán a ser defectuosas por el hecho de que, a consecuencia de la actualización de las normas se requiera “un nivel técnico superior”.

Las instalaciones de protección contra rayos, con excepción de las instalaciones de protección contra rayos para centrales nucleares, sólo tienen que cumplir el estado de la técnica en el momento en que fueron instaladas. Las instalaciones ya existentes serán verificadas en las pruebas de mantenimiento según las normas con las que han sido construidas.

1.3. Normas de producto

Los materiales, componentes y elementos de obra para sistemas de protección contra el rayo tienen que estar dimensionados y comprobados para los esfuerzos eléctricos, mecánicos y químicos a los que se verán sometidos durante su utilización. Esto afecta tanto a los componentes de la protección exterior contra rayos como a los dispositivos de protección interna.

EN 50164-1:

Exigencias para componentes de unión

Esta norma describe el procedimiento de prueba para piezas de unión metálicas. Los componentes que entran en el campo de validez de esta norma son:

- ⇒ Clemas
- ⇒ Conectores
- ⇒ Terminales
- ⇒ Piezas de puente
- ⇒ Piezas de dilatación
- ⇒ Puntos de medida.

Nuestras clemas y conectores cumplen las exigencias de esta norma.

EN 50164-2:

Exigencias para los conductores y tomas de tierra

EN 50164-2:

Exigencias para los conductores y tomas de tierra

Esta norma especifica las exigencias que se plantean a conductores, puntas captadoras, barras de penetración y tomas de tierra.

EN 61643-11:

Dispositivos de protección contra sobretensiones para instalaciones de baja tensión.

Desde el 1 de diciembre de 2002, los requisitos para el desarrollo e inspección de dispositivos de protección contra sobretensiones en sistemas de baja tensión han sido regulados por la norma EN 61643-11. Esta norma de producto es el resultado de la estandarización internacional en el marco de IEC y de CENELEC.

EN 61643-21:

Dispositivos de protección contra sobretensiones para aplicación en redes de telecomunicación y líneas de transmisión de datos.

Esta norma describe las exigencias de prestaciones y el procedimiento de prueba a seguir en dispositivos de protección contra sobretensiones utilizados para la protección de redes de telecomunicación y líneas de transmisión de datos como son, p. ej.:

- ⇒ Redes de datos
- ⇒ Redes de transmisión de voz
- ⇒ Sistemas de alarma
- ⇒ Sistemas de automatización.

CLC/TS 61643-22 (IEC 61643-22:2004, modificada):

2006-04: Dispositivos de protección contra sobretensiones para baja tensión, parte 22.

Dispositivo de protección contra sobretensiones para aplicación en redes de telecomunicación y señales – Selección y principios de aplicación.

EN 61663-1

Protección contra rayos – Líneas de telecomunicación – Instalaciones de fibra óptica.

EN 61663-2

Protección contra rayos – Líneas de telecomunicación – Líneas con conductores metálicos.

2. Valores característicos de la corriente de rayo

2.1. Descargas de rayo y secuencia de la corriente de rayo

La condición previa imprescindible para que se produzcan tormentas es el transporte de masas calientes de aire con humedad suficientemente elevada a grandes alturas. Este transporte puede producirse de diferentes maneras. En el caso de tormentas de calor, el suelo se calienta mucho a causa de la intensa radiación solar. Las capas de aire más próximas al terreno se calientan y se elevan en la atmósfera. En el caso de tormentas frontales, a causa de la penetración de un frente de aire frío, éste se desplaza por debajo del aire caliente y le obliga a desplazarse hacia arriba. En caso de tormentas orográficas, el aire caliente próximo al suelo es levantado a causa de sobrecorrientes de un terreno cada vez más elevado. Debido a otros efectos físicos adicionales, la elevación en vertical de las masas de aire se intensifica aún más. Se forman cámaras de aire ascendente con velocidades verticales de hasta 100 km/h que generan nubes de expansión de una altura típica de 5 a 12 km y con un diámetro de 5 a 10. Debido a procesos electrostáticos de separación de carga, como p. ej. el rozamiento de partículas de hielo y chispeo, las nubes se cargan eléctricamente.

En la parte superior de la nube de tormenta se acumulan partículas con carga eléctrica positiva y en la parte inferior partículas con carga negativa. Además, en una parte relativamente reducida de la base de la nube, se encuentra usualmente una pequeña zona de carga positiva, que tiene su origen en las descargas de efecto corona que se producen desde puntos situados en el suelo por debajo de la nube de tormenta, p. ej. en plantas o torres, y que es transportada hacia arriba por el viento.

Cuando en un núcleo de tormenta, a causa de las densidades ocasionales de carga, se originan intensidades de campo locales de varios 100 kV/m, se produce la “Guía Escalonada” (líder) que es el inicio de la descarga de rayo. Las descargas de rayo nube-nube dan lugar a una compensación de carga entre nubes de centros de carga positivos y negativos y no descargan sobre objetos situados en la superficie de la tierra. Sin embargo, estas descargas de rayo nube-nube tienen gran relevancia en lo que a la creación de campos electromagnéticos se refiere.

Las descargas de rayo a tierra realizan una compensación de carga entre las cargas de las nubes y las cargas electrostáticas en tierra. Podemos distinguir dos tipos de rayos a tierra:

- ⇒ Descargas de rayo descendentes (rayos nube-tierra).
- ⇒ Descargas de rayos ascendentes (rayos tierra-nube).

En el caso de los rayos descendentes la descarga de rayo se inicia por descargas líder orientadas hacia abajo desde la nube a tierra. Estos rayos descargan generalmente en terrenos planos y en edificios bajos. Se pueden reconocer los rayos nube-tierra por las ramificaciones del rayo dirigidas hacia tierra (**Figura 2.1.1**).

Los rayos que se producen con más frecuencia son rayos descendentes negativos, en los que un camino de carga, con carga negativa, avanza hacia tierra desde la nube de tormenta (**Figura 2.1.2**). La guía escalonada avanza, por sucesivos impulsos, con una velocidad aproximada de 300 km/h en tramos de unos 10 m. Las pausas entre las fases de arranque y parada son de algunas decenas de μ s. Cuando el líder se ha aproximado a la tierra (algunas decenas o centenas de metros) entonces se eleva la intensidad de campo eléctrico de elementos situados en la superficie terrestre próximos al líder (p. ej. árboles o cubiertas de edificios). Esta intensidad de campo es tan fuerte



Fig. 2.1.1: Rayo descendente (rayo nube - tierra).

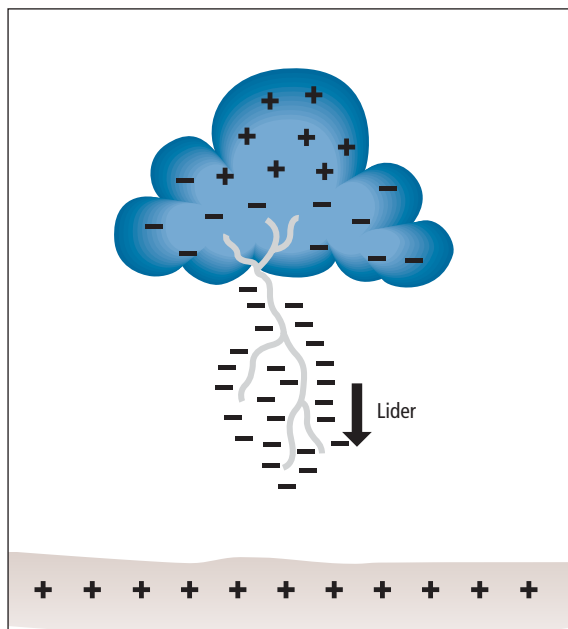


Fig. 2.1.2: Mecanismo de descarga de un rayo descendente negativo (Rayo nube-tierra).

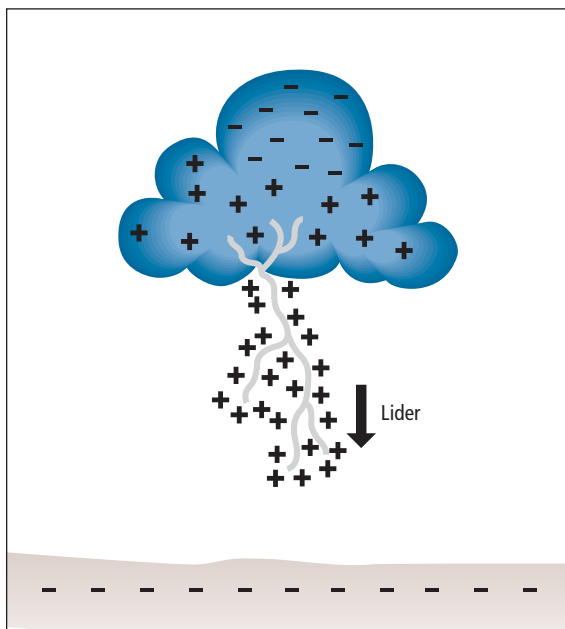


Fig. 2.1.3: Mecanismo de descarga de un rayo descendente positivo (Rayo nube-tierra).

que sobrepasa la resistencia dieléctrica del aire. La acumulación de cargas positivas en los objetos afectados, son las primeras en conectar con el líder, cerrando el circuito nube-tierra e iniciándose la descarga principal.

Las descargas de rayo descendentes positivas se pueden originar desde la zona de carga positiva en la parte inferior de una nube de tormenta (**Figura 2.1.3**). La proporcionalidad de las polaridades es aproximadamente de 90% de rayos negativos respecto a un 10% de rayos positivos. Esta distribución, depende, sin embargo, de la situación geográfica.

En objetos expuestos muy elevados (p. ej. mástiles de radioemisión, torres de telecomunicaciones, torres de iglesia etc.) o en las cimas de las montañas, pueden originarse descargas de rayo ascendentes (rayos tierra – nube). Estas descargas de rayo pueden reconocerse por las ramificaciones de la descarga de rayo orientadas hacia arriba (**Figura 2.1.4**). En una descarga de rayo ascendente, la intensidad de campo eléctrico necesaria para el comienzo de un líder no se alcanza en la nube, sino que se origina por dispersión del campo eléctrico en el objeto expuesto y la intensidad de campo eléctrico unida a ello. Partiendo de

este punto, el líder avanza hacia la nube rodeado de carga. Las descargas de rayo ascendentes se pueden producir, tanto con polaridad negativa (**Figura 2.1.5**) como con polaridad positiva (**Figura 2.1.6**). Como en el caso de las descargas de rayo ascendentes, los líderes de los objetos expuestos en la superficie de la tierra crecen hacia la nube. Puede suceder que objetos muy elevados se vean afectados por una descarga de rayo varias veces durante una tormenta.



Fig. 2.1.4: Rayo ascendente (Rayo tierra-nube).

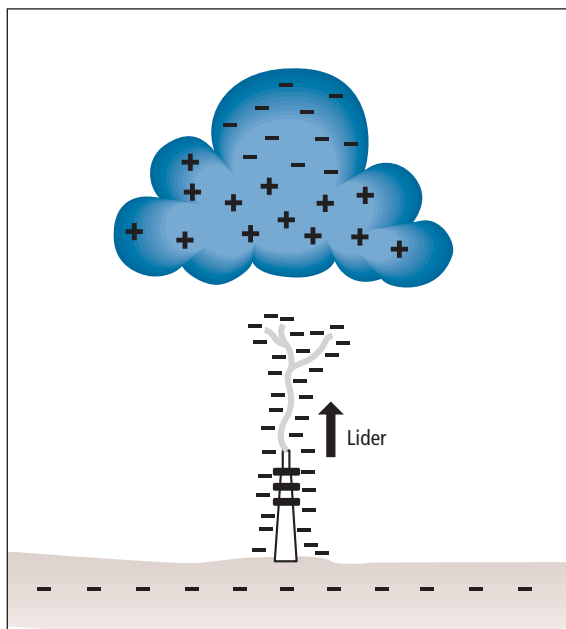


Fig. 2.1.5: Proceso de descarga de un rayo ascendente negativo (Rayo tierra-nube).

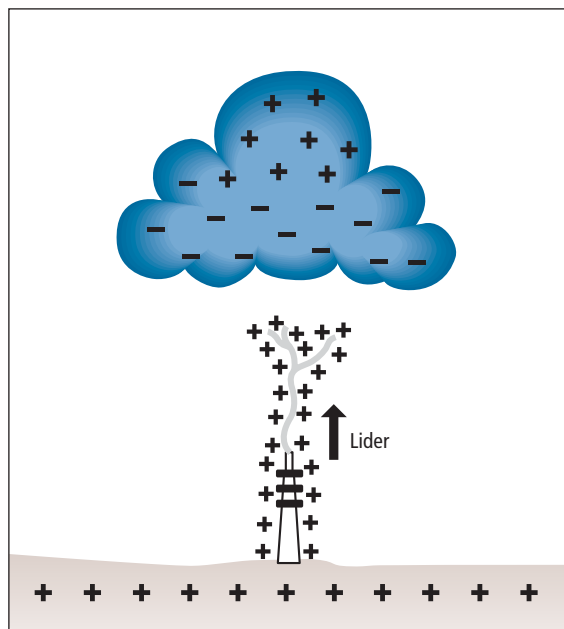


Fig. 2.1.6: Proceso de descarga de un rayo ascendente positivo (Rayo tierra-nube).

Las descargas de rayo descendentes representan un mayor riesgo que las descargas de rayo ascendentes. Por eso, en el dimensionado de las medidas de protección contra rayos, se toman como base los parámetros de rayos descendentes.

Dependiendo del tipo de rayo, cada descarga se compone de uno o varios rayos parciales. Se diferencia entre corrientes de choque con menos de 2 ms de duración y corrientes de larga duración superior a 2 ms. Otras características diferenciadoras de los rayos parciales son su polaridad (negativa o positiva) y su posición temporal en la descarga de rayo (primer rayo parcial, rayo parcial subsiguiente o rayo parcial superpuesto). Las posibles combinaciones de las descargas de rayo parciales en el caso de rayos descendentes, se reflejan en la **figura 2.1.7** y en la **figura 2.1.8** para el caso de descargas de rayo ascendentes.

Las corrientes de rayo formadas por corrientes de choque y por corrientes de larga duración son cargas

independientes de corriente, es decir, que los objetos afectados no ejercen ningún efecto retroactivo sobre las corrientes de rayo.

De las **figuras 2.1.7** y **2.1.8**, en las que se muestra el desarrollo de la corriente de rayo, se pueden deducir cuatro parámetros relevantes para el desarrollo de elementos de protección contra rayos:

- ⇒ El valor de cresta de la corriente de rayo I .
- ⇒ La carga de la corriente de rayo Q_{flash} , compuesta por la carga del impacto corto Q_{short} y la carga del impacto de larga duración Q_{long} .
- ⇒ La energía específica W/R de la corriente de rayo.
- ⇒ La pendiente media di/dt de la corriente del rayo.

En los capítulos siguientes se exponen los efectos de los que son responsables cada uno de los parámetros y cómo pueden influir en la definición de las instalaciones de protección contra rayos.

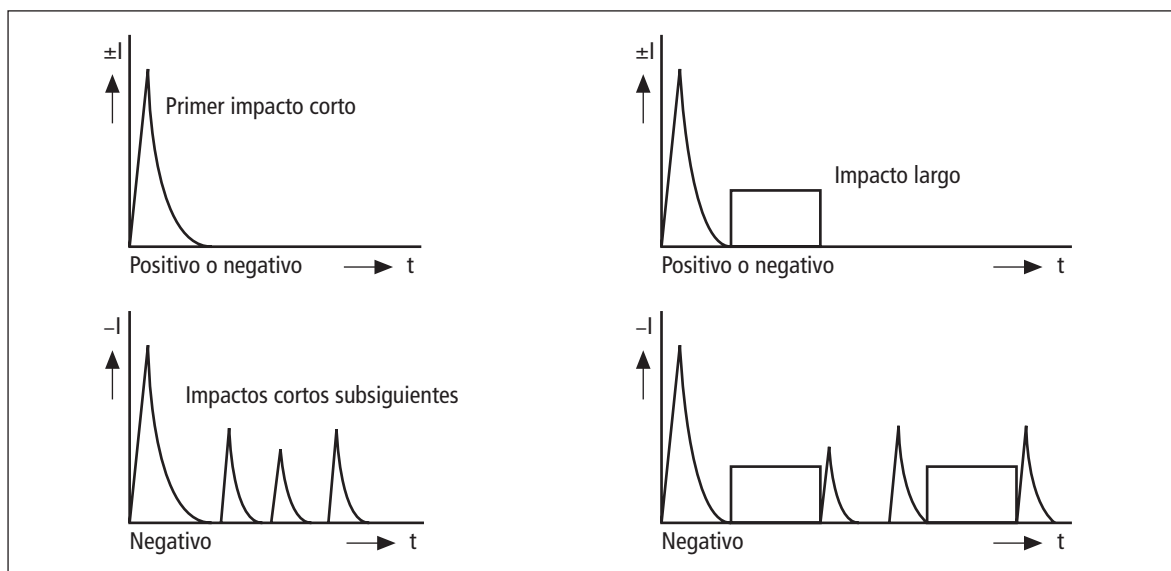


Fig. 2.1.7: Componentes posibles de una descarga de rayo descendente

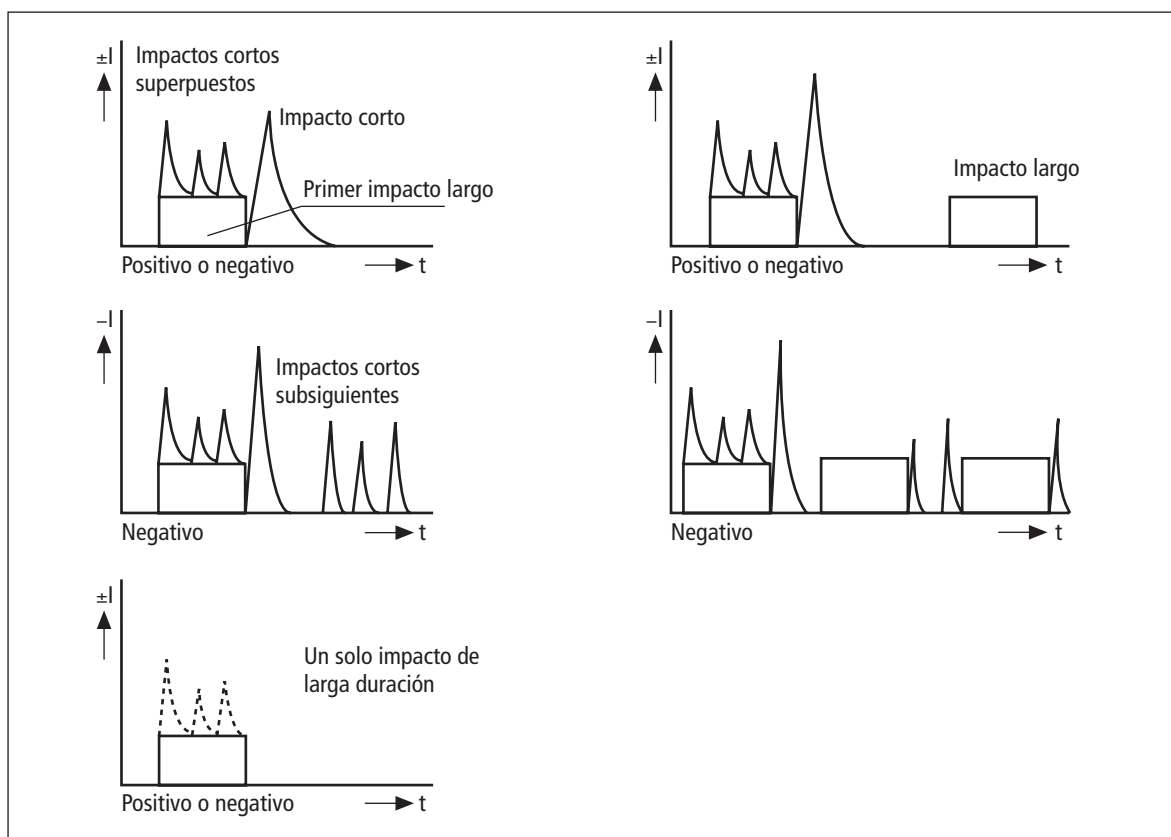


Fig. 2.1.8 : Componentes posibles de una descarga de rayo ascendente.

2.2 Valor cresta de la corriente de rayo

Las corrientes de rayo son corrientes independientes de la carga. Es decir, que una descarga de rayo puede considerarse como una fuente casi ideal de corriente. Si una carga independiente activa una corriente eléctrica que fluye a través de elementos conductores, la caída de tensión se determina sobre la base de la amplitud de corriente y la impedancia de los elementos conductores por los que ésta fluye. En el caso más sencillo esta relación puede describirse aplicando la Ley de Ohm:

$$U = I \cdot R$$

Si una corriente penetra por un solo punto de una superficie conductora homogénea, se produce entonces

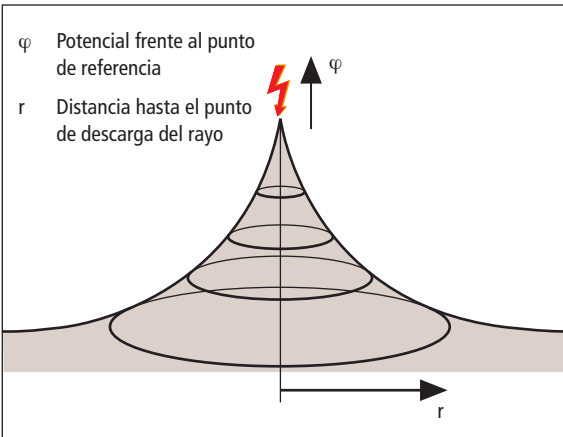


Fig. 2.2.1: Distribución del potencial en caso de descarga de rayo en una zona de terreno homogénea.



Fig. 2.2.2: Muerte de animales por corrientes de choque debido a tensiones de paso peligrosas.

ces la conocida área de gradiente de potencial. Este efecto aparece también en el caso de una descarga de rayo sobre una zona de terreno homogénea (Figura 2.2.1).

Si en el aérea del gradiente de potencial se encuentran seres vivos (personas o animales) se origina una tensión de paso que tiene como consecuencia una peligrosa circulación de corriente a través del cuerpo (Figura 2.2.2). Cuanto más elevada sea la conductividad del terreno tanto más plana será el área de gradiente de potencial. Con ello se reduce equivalentemente el riesgo de tensiones de paso peligrosas.

Cuando un rayo descarga sobre un edificio equipado con un sistema de protección contra el rayo, la corriente de rayo que fluye por la instalación de toma de tierra del edificio, da lugar a una caída de tensión en la resistencia de toma de tierra RE de la instalación de puesta a tierra del edificio (Figura 2.2.3). Si todas las partes conductoras eléctricas, con las que las personas pueden entrar en contacto, se elevan al mismo potencial, no existe ninguna posibilidad de riesgo para la integridad física de las mismas. Por eso, es necesario realizar la compensación de potencial de todos los elementos conductores existentes en el edificio o que accedan a él.

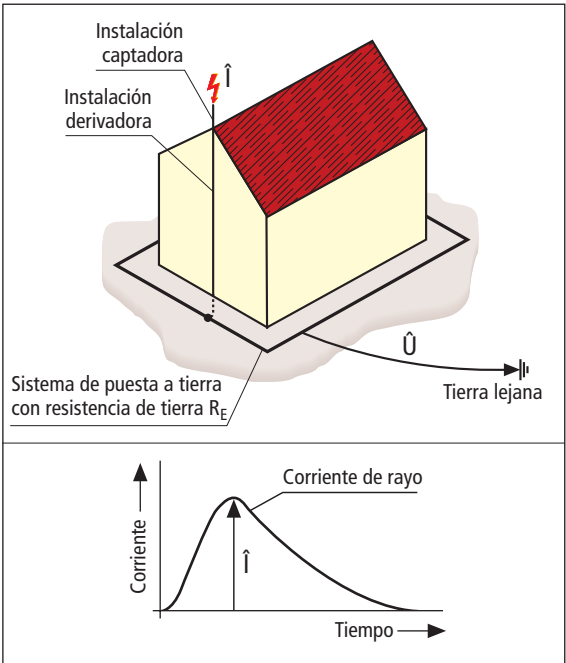


Fig. 2.2.3: Elevación del potencial de la instalación de puesta a tierra de un edificio respecto a la tierra lejana, a causa del valor cresta de la corriente de rayo.

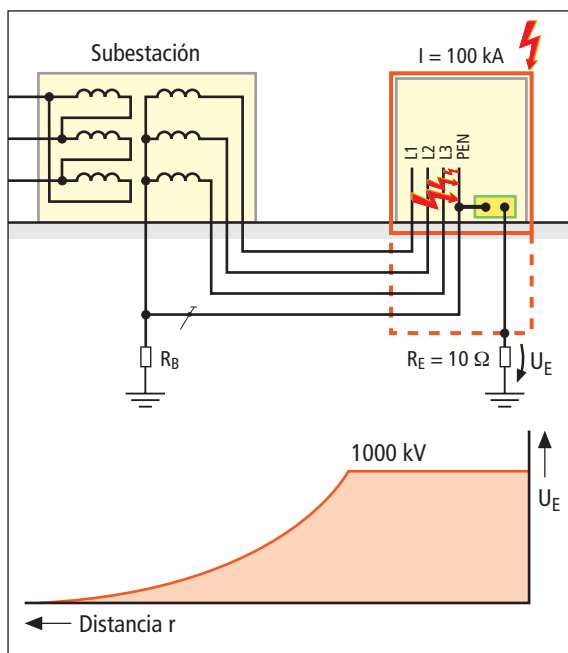


Fig. 2.2.4 : Peligros para instalaciones eléctricas a causa de la elevación de potencial del sistema de puesta a tierra.

La elevación de potencial de la instalación de toma de tierra a causa de la corriente de rayo supone también riesgos para las instalaciones eléctricas (**Figura 2.2.4**). En el ejemplo mostrado, la toma de tierra de servicio de la red de suministro de baja tensión se encuentra fuera del área de gradiente de potencial ocasionado por la corriente de rayo. De este modo, el potencial de la toma de tierra de servicio RB, en caso de descarga de rayo en el edificio, no es idéntico al potencial de tierra de la instalación de consumidores dentro del edificio. En el presente ejemplo la diferencia es de 1000 kV. Esto pone en peligro el aislamiento de la instalación eléctrica y de los aparatos conectados a la misma.

2.3 Pendiente de la corriente de rayo

La pendiente de la corriente de rayo $\Delta i / \Delta t$, que es efectiva durante el intervalo Δt , determina el nivel de las tensiones electromagnéticas inducidas. Estas tensiones son inducidas en todos los bucles de conductor abiertos o cerrados, que se encuentran en el entorno de conductores recorridos por corrientes de rayo. La **figura 2.3.1** muestra posibles configuraciones de

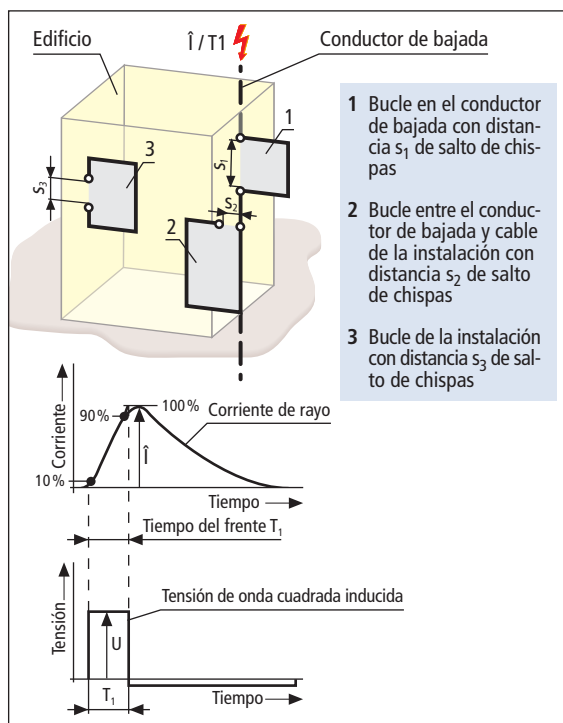


Fig. 2.3.1: Tensión de onda cuadrada inducida en bucles por la pendiente de la corriente $\Delta i / \Delta t$ de la corriente de rayo.

bucles de conductores en los que se pueden inducir tensiones a causa de corrientes de rayo. El impulso de tensión U inducido durante el intervalo Δt en un bucle de conductor es:

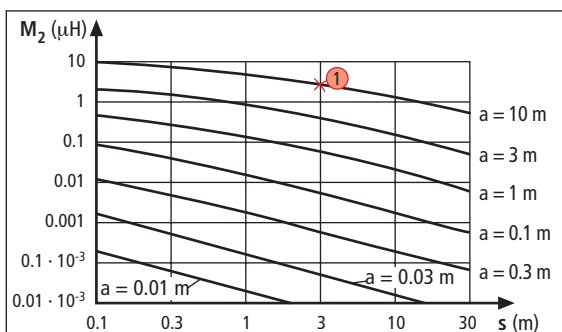
$$U = M \cdot \Delta i / \Delta t$$

siendo:

M Inductividad mutua del bucle.

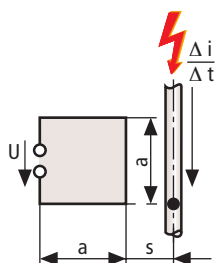
$\Delta i / \Delta t$ Pendiente de la corriente de rayo.

Como ya se ha indicado, las descargas de rayo se componen de una serie de impactos parciales. En lo que se refiere a la situación de tiempo, en una descarga de rayo se puede diferenciar entre el primer impacto corto y los impactos cortos subsiguientes. La diferencia principal entre ambos tipos de impactos cortos radica en el hecho de que, debido a la necesidad de estructuración del canal de rayo, en el primer impacto corto existe una incitación menos acusada de la pendiente de la corriente de rayo que en los impactos cortos subsiguientes, ya que encuentran un canal de rayo totalmente definido.



Ejemplo de cálculo

Sobre la base de un bucle de instalación (p. ej. dispositivo de alarma)



a	10 m
s	3 m
$\frac{\Delta i}{\Delta t}$	150 $\frac{\text{kA}}{\mu\text{s}}$ (Elevadas exigencias)

De los resultados del diagrama de arriba: Para $M_2 \approx 4.8 \mu\text{H}$ ①
 $U = 4.8 \cdot 150 = 720 \text{ kV}$

Fig. 2.3.2: Ejemplo de cálculo de tensión inducida en onda cuadrada en bucles cuadrados.

Por lo tanto, para calcular la tensión máxima inducida en bucles de conductores se utiliza el valor de la pendiente de la corriente de rayo de los impactos de rayo subsiguientes. La **figura 2.3.2** muestra un ejemplo de cálculo de la tensión inducida en un bucle de conductor.

2.4 Carga de la corriente del rayo

La carga Q_{flash} de la corriente de rayo se compone de la carga Q_{short} del impacto corto y de la carga Q_{long} del impacto largo.

La carga:

$$Q = \int i dt$$

de la corriente de rayo determina la energía producida directamente en el punto de impacto del rayo y en todos aquellos puntos en los que la corriente de rayo se propaga en forma de un arco eléctrico por encima

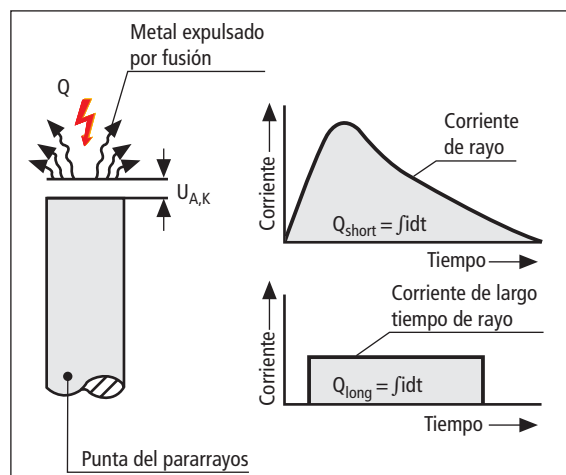


Fig. 2.4.1: Energía producida en el punto de impacto por la carga de la corriente de rayo.

de una zona de aislamiento. La energía producida W en el punto donde se genera el arco eléctrico se origina como producto de la carga Q y de la caída de tensión ánodo/cátodo $U_{A,K}$ con valores en el rango micrométrico $U_{A,K}$ (**Figura 2.4.1**).

El valor medio de $U_{A,K}$ es de algunos 10 V y depende de influencias como son la amplitud y la forma de onda de la corriente:

$$W = Q \cdot U_{A,K}$$

Siendo:

Q Carga de la corriente de rayo.

$U_{A,K}$ Caída de tensión ánodo/cátodo.

De este modo, la carga de la corriente de rayo puede volatilizar o fundir los componentes del sistema de protección externa sobre los que el rayo descarga directamente. Pero además, la carga es determinante para los esfuerzos a que se ven sometidas las vías de chispas de protección y separación y los descargadores de sobretensiones basados en esta tecnología.

Investigaciones recientes han mostrado que, sobre todo, la carga de larga duración Q_{long} de la corriente continua del rayo, como consecuencia de la duración más larga del efecto del arco eléctrico, es capaz de fundir e incluso de evaporar grandes volúmenes de material. En las **figuras 2.4.2 y 2.4.3** se muestra la comparación entre los efectos de la carga Q_{short} del impacto corto y de la carga Q_{long} del impacto largo.

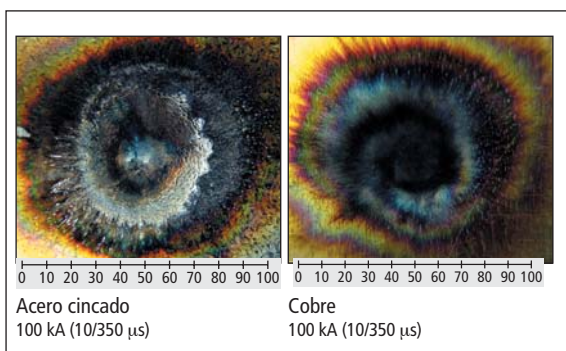


Fig. 2.4.2: Efectos de un arco voltaico de corriente de impulso sobre una superficie metálica.

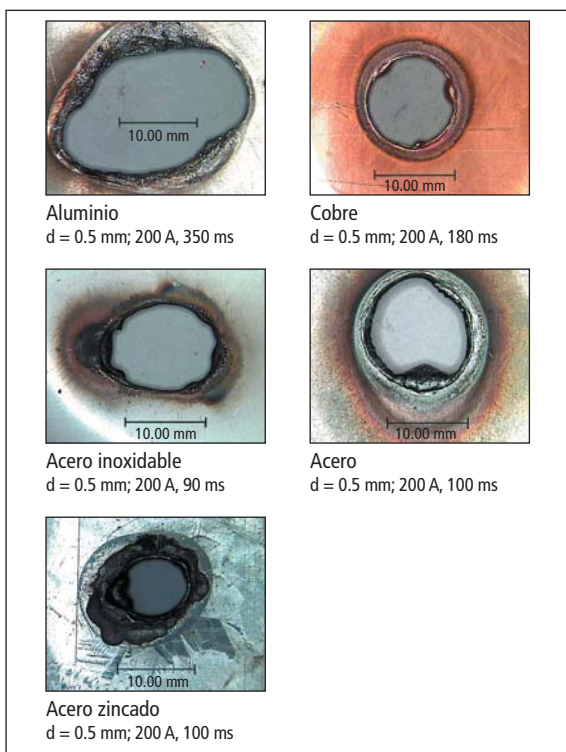


Fig. 2.4.3: Perforación de chapas metálicas por la acción de arcos voltaicos de larga duración.

2.5 Energía específica

La energía específica W/R de una corriente de impulso es la energía generada por la corriente de impulso en una resistencia de 1Ω . Esta generación de energía es la integral del cuadrado de la corriente de impulso por el tiempo de duración de la misma:

$$W/R = \int i^2 dt$$

Por eso, la energía específica se denomina, con frecuencia, como impulso del cuadrado de la corriente. Es determinante para el calentamiento de conductores por los que fluye la corriente de impulso de rayo, así como para los efectos mecánicos de las fuerzas magnéticas entre conductores recorridos por corriente de impulso de rayo (Figura 2.5.1).

Para la energía generada W en un conductor con la resistencia R tenemos:

$$W = R \cdot \int i^2 dt = R \cdot W/R$$

Siendo:

R Resistencia d.c. del conductor (dependiente de la temperatura).

W/R Energía específica.

El cálculo del calentamiento de conductores atravesados por corriente de impulso de rayo puede resultar necesario cuando, al efectuar la planificación y construcción de sistemas de protección contra rayos, haya que tener en consideración los riesgos en cuanto a la protección de personas, riesgos contra incendios y riesgos de explosión.

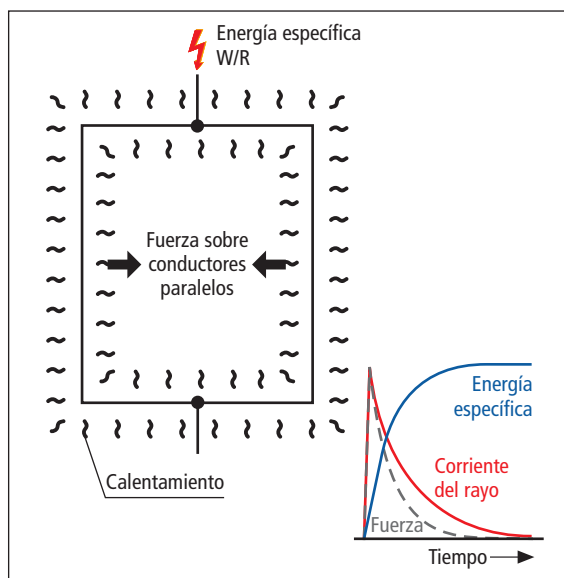


Fig. 2.5.1: Calentamiento y efectos magnéticos producidos por la energía específica de la corriente del rayo.

Sección [mm²]			4	10	16	25	50	100
Material	Aluminio W/R [MJ/Ω]	2.5	–	564	146	52	12	3
		5.6	–	–	454	132	28	7
		10	–	–	–	283	52	12
	Hierro W/R [MJ/Ω]	2.5	–	–	1120	211	37	9
		5.6	–	–	–	913	96	20
		10	–	–	–	–	211	37
	Cobre W/R [MJ/Ω]	2.5	–	169	56	22	5	1
		5.6	–	542	143	51	12	3
		10	–	–	309	98	22	5
	Acero Inoxidable W/R [MJ/Ω]	2.5	–	–	–	940	190	45
		5.6	–	–	–	–	460	100
		10	–	–	–	–	940	190

Tabla 2.5.1: Elevación de la temperatura ΔT en K en conductores de diferentes materiales.

Al efectuar el cálculo hay que partir del supuesto de que la totalidad de la energía térmica es generada por la resistencia óhmica de los componentes del sistema de protección contra rayos. Asimismo hay que tener en cuenta que, debido a la brevedad del proceso, no tiene lugar ningún intercambio térmico perceptible con el entorno. En la tabla 2.5.1 se exponen las elevaciones de temperatura de diferentes materiales utilizados en los sistemas de protección contra rayos, y sus secciones en función de la energía específica.

Las fuerzas electrodinámicas F originadas por una corriente i que circula por un conductor de longitud l formado por dos ramas largas en paralelo y separadas por una distancia d (Figura 2.5.2) pueden calcularse aproximadamente con la ecuación siguiente:

$$F(t) = \mu_0 / 2\pi \cdot i^2(t) \cdot l / d$$

Siendo:

F(t) Fuerza electrodinámica.

i Corriente.

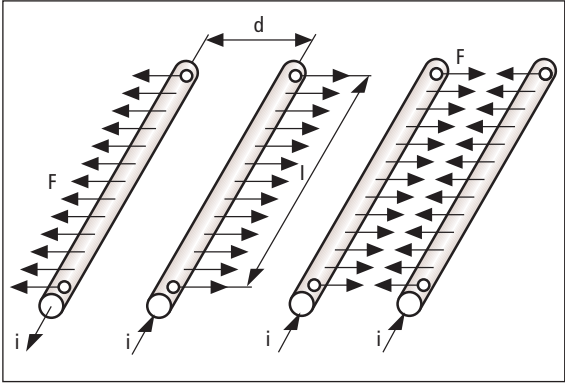


Fig. 2.5.2: Efecto de las fuerzas electrodinámicas entre conductores en paralelo.

μ₀ permeabilidad magnética en aire (4π · 10⁻⁷ H/m).

l Longitud de conductor.

d Distancia entre conductores en paralelo.

La acción de la fuerza sobre los dos conductores es de atracción si las dos corrientes fluyen en la misma dirección y es de separación en el caso de sentido opuesto de las corrientes. Es proporcional al producto de las corrientes en los conductores e inversamente proporcional a la distancia existente entre los mismos.

Pero también en el caso de un solo conductor, doblado, se produce un efecto de la fuerza sobre el conductor. En este supuesto, la fuerza es proporcional al cuadrado de la corriente en el conductor doblado.

La energía específica de la corriente de impulso determina, de este modo, el esfuerzo que causa una deformación reversible o irreversible de los componentes y de la disposición de los mismos en un sistema de protección contra rayos.

Estos efectos son tomados en consideración en los protocolos de prueba de las normas de producto referidas a las exigencias que se plantean a los componentes de unión para sistemas de protección contra rayos.

2.6 Coordinación de los parámetros de la corriente de rayo con los niveles de protección

Para definir el rayo como magnitud de perturbación, se fijan los niveles de protección de I hasta IV. Cada uno de los niveles de riesgo requiere un conjunto de

Nivel de protección	Valores máximos (Criterios de dimensionado)	
	Valor cresta máximo de la corriente de rayo	Probabilidad de que la efectivamente ocasionada sea inferior al valor de cresta máximo de la misma
I	200 kA	99 %
II	150 kA	98 %
III	100 kA	97 %
IV	100 kA	97 %

Tabla 2.6.1: Valores máximo de los parámetros de corriente de rayo y su probabilidad.

- ⇒ Valores máximos (Criterios de dimensionado que se utilizan para diseñar los componentes de protección contra rayos de manera que puedan cumplir las exigencias que se les plantean).
- ⇒ Valores mínimos (Criterios de intercepción, necesarios para poder determinar las zonas que están protegidas con suficiente seguridad contra

Nivel de protección	Niveles mínimos (Criterio de intercepción)		
	Valor cresta mínimo de la corriente de rayo	Probabilidad de que la corriente de rayo ocasionada efectivamente sea superior al valor cresta mínimo de la corriente de rayo	Radio de la esfera rodante
I	3 kA	99 %	20 m
II	5 kA	97 %	30 m
III	10 kA	91 %	45 m
IV	16 kA	84 %	60 m

Tabla 2.6.2: Valores mínimos de los parámetros de corriente de rayo y sus probabilidades.

descargas directas de rayo (Radio de la esfera rodante).

En las tablas 2.6.1 y 2.6.2 se expone la correspondencia existente entre el nivel de protección y los valores máximos y mínimos de los parámetros de corriente de rayo.

3. Diseño de un sistema de protección contra rayos

3.1 Necesidad de un sistema de protección contra rayos – Disposiciones legales

Un sistema de protección contra rayos tiene como finalidad proteger a los edificios contra descargas directas de rayo y contra eventuales riesgos de incendio, así como contra los efectos y repercusiones de las corrientes de rayo inducidas.

La instalación de medidas de protección contra rayos deben llevarse a cabo cuando así lo exige la normativa vigente a nivel nacional, como p. ej. las referidas a la construcción, regulaciones específicas u otras directivas.

Si, por el contrario, la normativa nacional no contemplara ningún tipo de regulación acerca de las medidas de protección contra rayos, se recomienda aplicar un sistema de protección contra rayos de la clase de protección III de acuerdo con la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3).

La necesidad de la protección y la elección de las medidas de protección correspondientes debería determinarse mediante la aplicación de un análisis de riesgos al modo descrito en la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2). (Véase el capítulo 3.2.1).

Como orientación para determinar la clase de protección para edificios generales puede recurrirse también a la:

⇒ Directriz VdS 2010 "Protección contra rayos y sobretensiones orientada al riesgo. Directrices para evitar daños".

La reglamentación local de la construcción , p. ej. de Hamburgo (HbauO), en el artículo 17, apartado 3, exige construir un sistema de protección contra rayos, cuando en una instalación pueden producirse fácilmente descargas de rayo a causa de:

⇒ la extensión de la instalación

⇒ la altura

⇒ la utilización de la misma

o si:

⇒ caben esperar consecuencias graves en caso de una descarga de rayo.

Esto significa que:

"Debe instalarse un sistema de protección contra rayos si se da tan sólo una de las condiciones anteriormente indicadas".

La ubicación, la forma de construcción o el destino de

uso de los edificios puede dar lugar a que las consecuencias de una eventual descarga de rayo sean muy graves.

Una guardería de niños, p. ej. es uno de los tipos de instalación en los que una descarga de rayo puede tener muy graves consecuencias, por el propio uso a que se destina dicho edificio.

La forma de interpretar esta expresión se explica y aclara mediante la siguiente sentencia judicial:

Extracto del VGH bávaro, sentencia del 4 de Julio de 1984 – Nr. 2 B 84 A.264:

1. Una guardería infantil está sujeta a la exigencia de construir en ella sistemas efectivos de protección contra rayos.
2. Las exigencias según la normativa jurídica de construcción de que, como mínimo, las puertas, en la ejecución de recintos de escaleras y salidas, deben estar realizadas en material ignífugo, son aplicables también para edificios de vivienda en los que esté situada una guardería de niños.

Por los motivos siguientes:

Según el artículo 15, apartado (7) de la BayBO (normativa bávara de la construcción), las instalaciones constructivas en las que, a causa de su situación, forma de construcción o utilización puedan producirse fácilmente descargas de rayo , o en las que dichas descargas puedan dar lugar a graves consecuencias, tienen que estar provistas de sistemas de protección contra rayos efectivos de forma permanente. De este modo, se prescriben dispositivos eficaces de protección para dos tipos de casos. En uno de los casos, los edificios están particularmente expuestos al riesgo de una descarga de rayo (p. ej. a causa de su altura o de su ubicación). En otro de los casos, una eventual descarga de rayo puede tener consecuencias especialmente graves debido a la forma de construcción o al destino que se da a dicho edificio.

El edificio del demandante, a causa de la utilización en su momento como guardería infantil, está incluido en el segundo grupo de casos. Una guardería infantil pertenece al grupo de instalaciones en las que, debido a su utilización, una descarga de rayo puede tener graves consecuencias. El hecho de que las guarderías de niños no estén expresamente citadas en la relación de edificios especialmente expuestos al riesgo, en los comentarios sobre la legislación BayBO, además de los locales o recintos de reunión de personas, no afecta a los hechos.

El riesgo de graves consecuencias en guarderías

infantiles como consecuencia de una descarga de rayo, se deriva del propio hecho de que, durante el día, en el recinto de la guardería, se encuentran al mismo tiempo un grupo numeroso de niños pequeños que todavía no están en edad escolar.

En este caso y contrariamente a las exposiciones del demandante, el hecho de que los recintos de estancia para niños de la guardería estuvieran situados en el piso bajo del edificio y que los niños pudieran salir al aire libre a través de varias puertas y ventanas, carece de relevancia. Tratándose de niños de estas edades, no se puede garantizar que, en caso de un incendio, sepan y puedan reaccionar de forma sensata, abandonando el edificio a través de las ventanas. La instalación de un sistema de protección contra descargas de rayo tampoco es una exigencia exagerada para el propietario de una guardería infantil.

En otra sección de esta normativa se recoge que, en el recinto de las escaleras, y en otras aperturas hacia el sótano, deben existir puertas automáticas y como mínimo ignífugas. Esta exigencia no es de aplicación en edificios residenciales de hasta dos viviendas. Esta exigencia no se planteó por parte de los demandados hasta el momento en que el demandante transformó el edificio de viviendas existente hasta entonces en una guardería infantil, mediante la autorización de modificación de uso.

La norma excepcional del artículo 34, apartado 10 del BayBO no puede aplicarse a edificios que, si bien han sido construidos como edificios residenciales de hasta dos viviendas, están siendo utilizados para una finalidad más allá de la original, lo cuál justificaría la aplicación de medidas de seguridad.

La descarga de un rayo también puede tener graves consecuencias (p.ej. pánico) en locales de reunión, escuelas, hospitales, etc.

Por todas estas razones es necesario dotar a todo este tipo de edificios sistemas eficaces de protección contra rayos.

Sistemas de protección contra rayos siempre necesarios

Los edificios en los que debe instalarse siempre un sistema de protección contra rayos, ya que en ellos se da efectivamente la necesidad enunciada por la ley, son los siguientes:

1. Edificios de reuniones con tribunas, escenarios techados y lugares de reunión para proyección de películas, cuando los correspondientes recin-

tos de reunión, bien solos o conjuntamente, puedan albergar a más de 100 personas.

2. Lugares de reunión con locales en los que, solos o conjuntamente, puedan reunirse más de 200 personas; en el caso de escuelas, museos y edificios similares, esta reglamentación solamente hace referencia a la inspección de las instalaciones técnicas en recintos de reunión, en los que puedan acomodar, cada uno de ellos, más de 200 visitantes, así como para las vías de escape.
3. Locales de venta, cuyas áreas destinadas a la atención al público tengan una superficie útil superior a 2000 m².
4. Centros comerciales con varias tiendas, que directamente o a través de vías de escape están unidas entre sí, y cuyos espacios de venta, por separado, tengan una superficie inferior a 2000 m², pero todos juntos, representen una superficie útil superior a 2000 m².
5. Recintos de exposición, cuyos locales, por separado o todos juntos, tengan una superficie útil de más de 2000 m².
6. Restaurantes con más de 400 plazas para clientes u hoteles con más de 60 camas para huéspedes.
7. Edificios de gran altura en el sentido del artículo 2, apartado 2 de normativa HbauO.
8. Hospitales y otros edificios con el mismo destino de uso.
9. Garajes medios y grandes en el sentido del artículo 1, apartado 5 de la Ordenanza sobre garajes del 17 de Abril de 1990, Decreto de normas y disposiciones de Hamburgo, página 75.
10. Edificios y estructuras:
 - 10.1. Con materiales explosivos, como fábricas de munición, depósitos de explosivos y polvorines.
 - 10.2. Con locales de servicio expuestos al riesgo de explosión, como fábricas de laca y pintura, fábricas químicas, grandes depósitos de líquidos combustibles y grandes depósitos de gas.
 - 10.3. Con riesgo de incendio particularmente alto, como son:
 - plantas de elaboración y tratamiento de maderas,
 - edificios con tejados bajos,
 - locales de almacenamiento y fabricación con gran riesgo de incendio.

10.4 Para gran número de personas, como son:

- escuelas.
- residencias de ancianos y residencias infantiles.
- cuarteles.
- establecimientos penitenciarios.
- estaciones de tren.

10.5. Con bienes culturales, como son:

- edificios de interés histórico.
- museos y archivos.

10.6. Recintos que sobresalen mucho del entorno, como son:

- chimeneas muy altas.
- torres.
- edificaciones de gran altura.

derivadas de la pérdida de información por daños en el Hardware.

Los análisis de riesgo tienen como meta la objetivación y cuantificación de los riesgos en edificios y en sus equipamientos provocados a causa de la descarga de rayo bien sea directa o indirecta. Esta nueva forma de pensar tiene su reflejo en la normativa internacional UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2).

Los análisis de riesgos prefijados en dicha normativa garantizan que se puede realizar un sistema de protección optimizado tanto técnica como económicamente. Es decir, que puede garantizarse la protección necesaria con un pequeño esfuerzo económico. Las medidas de protección derivadas del análisis de riesgos están descritas con todo detalle en las restantes partes de la norma UNE EN 62305 (IEC 62305).

3.2 Análisis de los riesgos de daños y elección de los componentes de protección

3.2.1 Gestión del riesgo

Una gestión previsor de riesgo incluye el cálculo de aquellos que eventualmente puedan afectar a la empresa. Proporciona información básica para la toma de decisiones a fin de limitarlos y expone claramente cuáles son los riesgos que pueden ser cubiertos por los seguros.

En la gestión de los seguros hay que tener en cuenta, sin embargo, que éstos no son siempre adecuados para la consecución de determinados objetivos (p. ej. mantenimiento de la disponibilidad de suministro). Evitar las probabilidades de que se produzcan ciertos daños no está al alcance de los seguros.

En las empresas que producen productos o que prestan servicios utilizando para ello un gran número de equipos con componentes electrónicos (hoy en día la mayoría de las empresas se da esta situación) se debe tener muy en cuenta el riesgo de daños por descargas de rayo y de los efectos derivados de las mismas. No hay que olvidar que los daños y pérdidas debidos a la falta de disponibilidad de equipos electrónicos, sobrepasan con mucha frecuencia, las pérdidas por daños en los equipos propiamente dichos así como las

3.2.2 Fundamentos del cálculo de riesgo

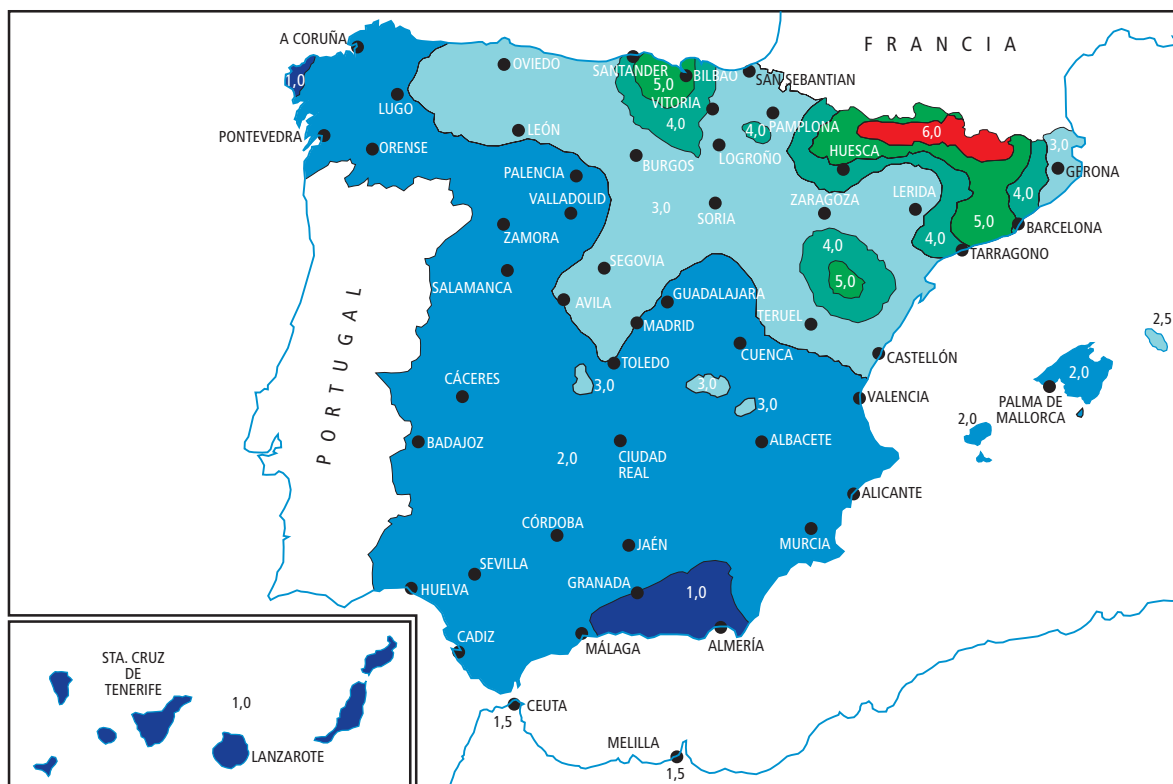
Se distingue entre las distintas frecuencias de descargas de rayo que pueden ser relevantes para un edificio o estructura:

$$R = N \cdot P \cdot L$$

siendo:

- N Número de sucesos peligrosos. Es decir, frecuencia de descargas de rayo en la superficie que se ha de considerar: "¿Cuántas descargas de rayo se producen anualmente en la superficie objeto de análisis?"
- P Probabilidad de daños: "¿Con qué probabilidad puede una descarga de rayo ocasionar unos daños concretos?"
- L Las pérdidas. Es decir, la valoración cuantitativa de los daños: "¿Qué repercusiones, cuantía de los mismos, consecuencias,... tiene un daño concreto?"

La misión del cálculo de riesgos es, por lo tanto, la determinación de los tres parámetros N, P y L para todos los componentes de riesgo relevantes. Al efectuar el cálculo, hay que tener en cuenta y fijar, además, otros parámetros.



LEYENDA



N_g densidad de impactos sobre el terreno (n° impactos/año, k^2)

Fig. 3.2.3.1: Mapa de densidad de impactos sobre el terreno N_g

Por comparación de los riesgos así determinados R con un riesgo aceptable R_T , se puede obtener información relativa a las exigencias y al dimensionado de las medidas de protección contra rayos que se hayan de adoptar. La consideración de las pérdidas económicas, constituye una excepción. En este caso, las medidas de protección se justifican desde un punto estrictamente económico. Aquí, por tanto, no hay ningún riesgo aceptable R_T , sino solamente un análisis de coste-beneficio.

3.2.3 Frecuencia de las descargas de rayo

Se distingue entre las distintas frecuencias de descargas de rayo que pueden ser relevantes para un edificio o estructura:

- N_D Frecuencia de descargas directas de rayo en el edificio o estructura;
- N_M Frecuencia de descargas de rayo próximas con efectos electromagnéticos asociados;
- N_L Frecuencia de las descargas directas de rayo en los cables de suministro que entran en el edificio o estructura;
- N_I Frecuencia de descargas directas de rayo junto a los cables de suministro que entran en el edificio o estructura.

El cálculo de la frecuencia de las descargas de rayo está expuesto con detalle en el Anexo A de la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2). Para los cálculos prácticos se considera muy recomendable aplicar la densidad anual de las descargas de rayo a tierra N_g para la zona correspondiente, según se indica en la figura 3.2.3.1 (tomada de la hoja suplementaria 1 para la norma UNE EN 62305-2 - IEC 62305-2). No obstante, los valores locales de la densidad de rayos, obtenidos con la utilización de un método de cálculo más sofis-

ticado puede, como es lógico, diferir notablemente de aquellos valores medios. Debido al relativamente corto espacio de tiempo considerado de siete años, y a la notable extensión media de las superficies, se recomienda aplicar un +/- 25% sobre los valores expuestos en la figura 3.2.3.1.

Entonces, para calcular la frecuencia de descargas directas de rayo N_D en el edificio o estructura tenemos que:

$$N_D = N_g \cdot A_d \cdot C_d \cdot 10^{-6}$$

A_d es la superficie de captación equivalente del edificio o estructura situada al aire libre (Figura 3.2.3.2). C_d es un factor local estándar con el que se puede tomar en consideración la influencia del entorno más cercano al lugar de emplazamiento (Edificaciones, terrenos abiertos, árboles etc.) (Tabla 3.2.3.1).

De este modo el cálculo de N_D se corresponde con el procedimiento ya conocido según la norma VDE V 0185-2.

La frecuencia de descargas de rayo próximas N_M se puede calcular de un modo similar:

$$N_M = N_g \cdot A_m \cdot 10^{-6}$$

Se obtiene A_m cuando se tiende una línea alrededor del edificio o estructura a una distancia de 250 m (Figura 3.2.3.3). De la superficie encuadrada de este modo se deduce la superficie captadora equivalente del edificio o estructura A_d C_d , evaluada con el coeficiente de entorno. Las descargas de rayo en la superficie A_m dan lugar, exclusivamente, a sobretensiones inducidas en bucles de la instalación en el interior del edificio o estructura.

La frecuencia de descargas directas de rayo en líneas de alimentación que entran en el edificio o estructu-

Situación relativa del edificio o estructura	C_d
El objeto está rodeado por objetos más altos o por árboles	0.25
El objeto está rodeado por otros objetos o árboles de la misma altura o de altura inferior	0.5
Objeto situado aislado: No hay otros objetos en la cercanía (a una distancia de 3H)	1
Objeto situado aislado: Objeto situado en la cima de un monte o en una cúpula	2

Tabla 3.2.3.1: Factor de emplazamiento C_d .

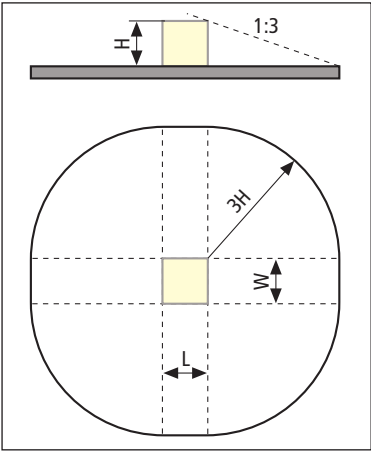


Fig. 3.2.3.2: Superficie captadora equivalente A_d para descargas directas de rayo en una estructura aislada.

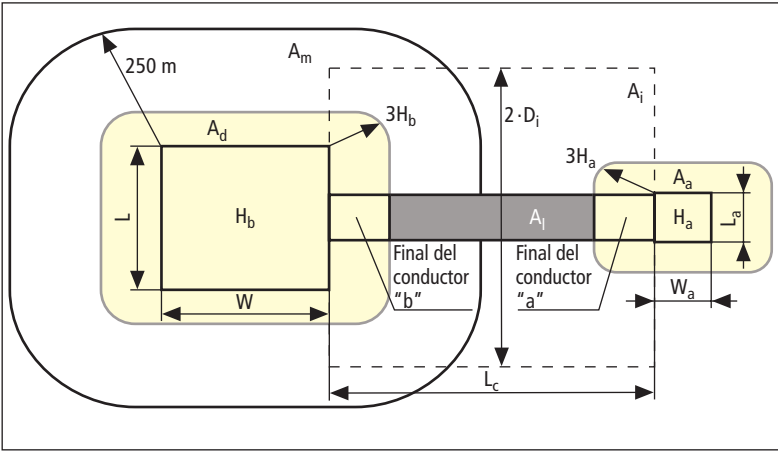


Fig. 3.2.3.3: Superficie captadora equivalente A_d, A_i, A_a para descargas directas de rayo en la estructura / líneas de suministro y A_m, A_i para descargas indirectas de rayo próximas a la estructura / líneas de suministro.

ra N_L se desprende de la ecuación:

$$N_L = N_g \cdot A_l \cdot C_e \cdot C_t \cdot 10^{-6}$$

La superficie A_i (Figura 3.2.3.3) depende del tipo de conductor (líneas aéreas, cable), de la longitud L_C del conductor; en el caso de cables, de la resistencia específica de suelo ρ ; y para líneas aéreas de la altura H_C sobre el suelo. (Tabla 3.2.3.2) Si no se conoce la longitud del conductor, o resulta muy costoso o complica-

do determinarla, puede aplicarse entonces, como el caso más desfavorable, un valor de $L_C = 1000$ m.

- H_C Altura (m) del conductor respecto al suelo.
- ρ Resistencia específica (Ωm) del suelo en, o sobre, el que está tendido el conductor, hasta un valor máximo de $\rho = 500 \Omega m$.
- L_C Longitud (m) del conductor, medida desde el edificio o estructura hasta el primer nudo de distribución, o hasta el primer punto en el que se encuentren instalados dispositivos de protección

	Cable aéreo	Cable tendido en tierra
A_i	$[L_C - 3 \cdot (H_a + H_b)] \cdot 6 \cdot H_C$	$[L_C - 3 \cdot (H_a + H_b)] \cdot \sqrt{\rho}$
A_i	$1000 \cdot L_C$	$25 \cdot L_C \cdot \sqrt{\rho}$

Tabla 3.2.3.2 Superficie captadora equivalente A_i y A_i en m^2 .

Entorno	C_e
Urbano con edificios altos (más de 20 m)	0
Urbano (edificios con alturas entre 10 m y 20 m)	0.1
Periferia (Edificios con alturas inferiores a 10 m)	0.5
Rural	1

Tabla 3.2.3.3: Factor del entorno C_e .

contra sobretensiones, hasta una longitud máxima de 1000 m.

H Altura (m) del edificio o estructura.

H_b Altura (m) del edificio o estructura.

H_a Altura (m) de los edificios o estructuras próximas que estén unidas a través del conductor.

En estos casos, esto se tiene en consideración por medio del factor de corrección $C_t = 0,2$. El factor de corrección C_e (factor del entorno) depende de la densidad de edificación. (Tabla 3.2.3.3).

La frecuencia N_l debe determinarse por separado para cada uno de los conductores de alimentación que entran en el edificio o estructura. Las descargas de rayo dentro de la superficie A_l dan lugar, en el edificio o estructura considerada, a descargas, por lo regular, de gran energía, que pueden ocasionar un incendio, una explosión o efectos negativos mecánicos o químicos. La frecuencia N_l , no sólo contiene sobretensiones puras con las consecuencias subsiguientes de daños o fallos en los sistemas eléctricos y electrónicos, sino que tiene también efectos mecánicos y térmicos en caso de descarga de rayos.

Las sobretensiones en conductores de alimentación que entran al edificio se describen mediante la frecuencia de descargas de rayo junto a los mismos:

$$N_l = N_g \cdot A_l \cdot C_t \cdot C_e \cdot 10^{-6}$$

La superficie A_l (Figura 3.2.3.3) depende, a su vez, del tipo de conductor (línea aérea, cable tendido en tierra), de la longitud L_c del conductor; en el caso de cables, depende de la resistencia específica del suelo ρ ; y para líneas aéreas depende de la altura H_c del conductor sobre la superficie del suelo (Tabla 3.2.3.2). Para el peor de los casos tienen validez los mismos supuestos. La superficie E_i es, por lo general, significativamente superior a A_l . Con ello se tiene en cuenta la circunstancia de que las sobretensiones que pueden dañar o provocar fallos en los sistemas eléctricos y electrónicos, puedan tener su origen en descargas de rayo muy lejanas respecto del conductor considerado.

Los factores de corrección C_t y C_e se corresponden con los arriba citados. La frecuencia N_l debe calcularse también por separado para cada uno de los conductores de alimentación que entran en el edificio o estructura.

3.2.4 Probabilidades de daños

El parámetro “Probabilidad de daños” indica con qué probabilidad una supuesta descarga de rayo puede ocasionar unos daños determinados. Por tanto, se presupone una descarga de rayo en una superficie concreta y se considera que la probabilidad de daños máxima tiene un valor 1. Así, se distingue entre las ocho probabilidades de daño siguientes:

- P_A Shock eléctrico sufrido por seres vivos como consecuencia de una descarga directa de rayo en el edificio o estructura.
- P_B Fuego, explosión, efectos mecánicos y químicos como consecuencia de una descarga directa de rayo en el edificio o estructura.
- P_C Fallos en sistemas eléctricos/electrónicos a causa de una descarga directa de rayo en el edificio o estructura.
- P_M Fallos en sistemas eléctricos/electrónicos a causa de una descarga de rayo en el suelo junto al edificio o estructura.
- P_U Shock eléctrico sufrido por seres vivos a causa de una descarga de rayo en una línea de suministro de energía que entra en el edificio o estructura.
- P_V Fuego, explosión, efectos mecánicos y químicos a causa de una descarga directa de rayo en una línea de suministro de energía que entra en el edificio o estructura.
- P_W Fallos en sistemas eléctricos/electrónicos a causa de una descarga directa de rayo en una línea de suministro de energía que entra en el edificio o estructura.
- P_Z Fallos en sistemas eléctricos/electrónicos a causa de una descarga de rayo en el suelo junto a una línea de suministro de energía que entra en el edificio o estructura.

Estas probabilidades de daños están especificadas con detalle en el Anexo B a la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2). Pueden consultarse directamente en las tablas o pueden obtenerse como resultado de una combinación de otros factores de influencia.

Ya no tiene lugar la subdivisión en probabilidades básicas simples y factores de reducción. Alguno de los factores de reducción se subordinan ahora al Anexo C, es decir, a las pérdidas (anteriormente: factores de daños) Como ejemplo de los “nuevos” factores de daños se citan aquí, representativamente, los factores

P_B y P_C . Los valores para estos dos parámetros se obtienen en base a las tablas 3.2.4.1 y 3.2.4.2. Hay que indicar, por otra parte, que es posible obtener valores diferentes, cuando éstos se basan sobre análisis o cálculos detallados.

3.2.5 Tipos de daños y causas de los mismos

Dependiendo de la forma de construcción, de la utilización y de las características propias del edificio o estructura, las clases de daños relevantes pueden ser muy diferentes. La norma UNE-EN 62305-2 (IEC 62305-2) distingue entre las siguientes clases de daños:

- L1 Pérdida de vidas humanas (lesiones o muerte de personas).
- L2 Pérdida de servicios públicos.
- L3 Pérdida de bienes culturales irremplazables.
- L4 Pérdidas económicas.

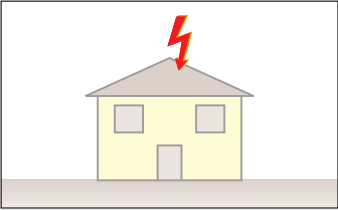
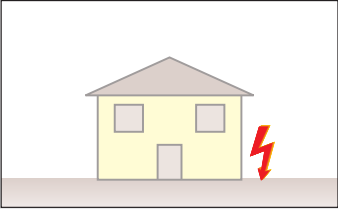
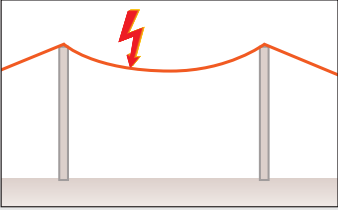
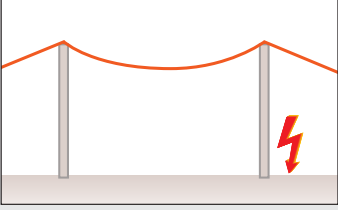
Las clases de daños enunciadas pueden tener distinto origen. Las causas de daño, en una relación causal, representan la “causa” en el sentido propiamente dicho, mientras que las “clases de daños” expresan “los efectos del daño”. (Ver figura 3.2.5.1) Las posibles causas para un tipo de daño concreto pueden ser múltiples. Por eso, en primer lugar, hay que definir las clases de daños relevantes para un edificio o estructura. Entonces estaremos en condiciones de fijar las causas determinantes de los mismos.

Características del edificio o estructura	Clase de sistema de protección contra rayos (LPS)	P_B
El edificio o estructura no está protegido por un LPS	–	1
El edificio o estructura está protegido por un LPS	IV	0.2
	III	0.1
	II	0.05
	I	0.02
Edificio o estructura con dispositivo captador según clase de LPS y fachada de metal ó armadura de hormigón como dispositivo natural de derivación		0.01
Edificio o estructura con tejado metálico o con dispositivos captadores, a ser posible utilizando componentes naturales, que protejan todas las supraestructuras de tejado contra descargas directas de rayo, y una fachada de metal o armadura de hormigón como dispositivo natural de derivación.		0.001

Tabla 3.2.4.1: Factor de daños P_B para descripción de las medidas de protección contra daños físicos.

Nivel de protección contra rayos (LPL)	Factor de daños $_{SPD}$
Sin protección coordinada contra sobretensiones	1
III – IV	0.03
II	0.02
I	0.01
Dispositivos de protección contra sobretensiones con una característica de protección mejor que para LPL I (capacidad de derivación de corriente de rayo superior, nivel de protección más bajo, etc.)	0.005 – 0.001

Tabla 3.2.4.2: Factor de daños P_{DPS} para descripción de las medidas de protección de los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) en dependencia del nivel de protección LPL.

			Edificio o estructura	
Lugar de impacto del rayo	Ejemplo	Causa de daño	Tipo de daño	Tipo de pérdida
Edificio o estructura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^b L1, L2, L3, L4 L1 ^a , L2, L4
En el suelo junto a la estructura		S2	D3	L1 ^a , L2, L4
Línea de suministro de energía que entra en el edificio		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^b L1, L2, L3, L4 L1 ^a , L2, L4
En el suelo junto a la línea de suministro de energía que entra en el edificio		S4	D3	L1 ^a , L2, L4

^a En el caso de hospitales, lugares expuestos al riesgo de explosión y otros edificios en los que fallos de los sistemas internos puedan suponer una amenaza directa para la vida de personas.

^b En el caso de explotaciones agrícolas y ganaderas (pérdida de animales).

Causas de daños referidas al punto de impacto

S1 Descarga directa de rayo en el edificio o estructura.

S2 Descarga de rayo en el suelo junto al edificio o estructura.

S3 Descarga directa de rayo en la línea de suministro de energía que entra en el edificio.

S4 Descarga de rayo en el suelo junto a la línea de suministro de energía que entra en el edificio.

Tipos de daños

D1 Shock eléctrico sufrido por seres vivos a causa de tensiones de paso y contacto.

D2 Fuego, explosión, efectos mecánicos y químicos por las repercusiones físicas de la descarga de rayo.

D3 Fallo de sistemas eléctricos y electrónicos por sobretensiones.

Tipo de pérdida

L1 Lesiones o muerte de personas.

L2 Pérdida de servicios públicos.

L3 Pérdida de bienes culturales irremplazables.

L4 Pérdidas económicas.

Tabla 3.2.5.1: Causas de daños, tipos de daños y tipos de pérdidas en función del lugar de impacto del rayo.

3.2.6 Factor de pérdida

Si se ha producido un daño concreto en un edificio o estructura, hay que proceder a evaluar las consecuencias de dicho daño. Así por ejemplo, un daño o un fallo en un sistema de proceso de datos (Clase de daños L4: Pérdidas económicas) puede tener consecuencias muy diferentes. Si no se han perdido datos de relevancia para el negocio, habrá que reclamar únicamente por los daños de Hardware, en una cuantía de unos pocos miles de euros. Si, por el contrario, todo el negocio de una empresa depende de la disponibilidad permanente del sistema de proceso de datos (Call-Center, Bancos, procesos de automatización), a los daños de Hardware se sumarán unos daños colaterales muy variados y distintos (p. ej. por insatisfacción o pérdida de clientes, pérdida de negocios, fallos en la producción, etc.).

Para la evaluación de las consecuencias de los daños se dispone del factor de pérdida L .

Básicamente, se toman en consideración:

- L_t Pérdidas por lesiones como consecuencia de tensiones de paso y contacto.
- L_f Pérdidas a causa de daños físicos.
- L_o Pérdidas como consecuencia del fallo de sistemas eléctricos y electrónicos.

Dependiendo de la relevancia de la clase de daño se evaluará su magnitud, cuantía y consecuencias. En el Anexo C de la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2) se exponen las bases para el cálculo de las pérdidas producidas por las cuatro clases de daños. Sin embargo, con frecuencia, la aplicación de las ecuaciones para el cálculo de daños es muy complicada. Por eso, en el citado Anexo C se proponen valores típicos para el factor de pérdida L , en función de las causas que han originado los daños.

Complementariamente a los factores de pérdida propiamente dichos, el Anexo C considera asimismo tres factores de reducción r_x y un factor de incremento h :

- r_a Factor de reducción para las consecuencias de las tensiones de paso y contacto, en función del tipo de terreno o de suelo.
- r Factor de reducción para medidas destinadas a mitigar las consecuencias de un incendio.
- r_f Factor de reducción para descripción del riesgo de incendio de un edificio o estructura.
- h Factor que eleva el valor relativo de una pérdida, si existe un riesgo especial (p. ej. pánico).

Aunque los factores de reducción se han desplazado del Anexo B (factores de daños) al Anexo C de la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2), los valores de los parámetros se han mantenido invariables.

3.2.7 Componentes de riesgo relevantes para distintas descargas de rayo

Existe una relación muy estrecha entre la causa, el tipo de daño y los componentes de riesgo relevantes que se derivan de los mismos. En primer lugar, se va a exponer la relevancia que tiene el lugar donde se produce el impacto del rayo y los componentes de riesgo que de ello se pueden derivar.

Si el rayo impacta directamente en el edificio o estructura, se originan los siguientes componentes de riesgo (Tabla 3.2.7.1):

- R_A Riesgo de shock eléctrico para seres vivos en caso de impacto directo de rayo.
- R_B Riesgo de daños físicos en caso de impacto directo de rayo.
- R_C Riesgo de fallos y averías en sistemas eléctricos y electrónicos a causa de sobretensiones en caso de impacto directo de rayo.

Si el rayo impacta en el suelo cerca de un edificio o estructura o en las edificaciones vecinas, se origina el componente de riesgo siguiente:

- R_M Riesgo de averías y fallos en sistemas eléctricos y electrónicos a causa de sobretensiones ocasionadas por el impacto de rayo en el suelo junto al edificio o estructura.

Si el rayo impacta directamente en las líneas de suministro de energía que entran en el edificio o estructura, se originan los siguientes componentes de riesgo:

- R_U Riesgo de shock eléctrico para seres vivos en caso de descarga directa de rayo.
- R_V Riesgo de daños físicos en el edificio.
- R_W Riesgo de averías y fallos en sistemas eléctricos y electrónicos

Y finalmente, si se produce el impacto de rayo en el suelo, junto a las líneas de suministro de energía que entran en el edificio o estructura, se origina entonces el componente de riesgo siguiente:

- R_Z Riesgo de averías y fallos en sistemas eléctricos y electrónicos.

El conjunto total de ocho componentes de riesgo

Causa de daños	Impacto de rayo (referido a la edificación)				
	Directo	Indirecto			
	S1 Impacto directo de rayo en la estructura	S2 Impacto del rayo en el suelo junto a la estructura	S3 Impacto directo de rayo en la línea de suministro de ener- gía que entra en la edificación	S4 Impacto de rayo en el suelo junto a la línea de suministro de energía que en- tra en la edificación	
D1 Shock eléctrico en los seres vivos	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot r_a \cdot L_t$		$R_U = (N_L + N_{DA}) \cdot P_U \cdot r_a \cdot L_t$		$R_S = R_A + R_U$
D2 Fuego, explosión, efectos mecánicos y químicos	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot r \cdot h \cdot r_f \cdot L_f$		$R_V = (N_L + N_{DA}) \cdot P_V \cdot r \cdot h \cdot r_f \cdot L_f$		$R_f = R_B + R_V$
D3 Averías y fallos en sistemas eléctricos y electrónicos	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_o$	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_o$	$R_W = (N_L + N_{DA}) \cdot P_W \cdot L_o$	$R_Z = (N_I - N_L) \cdot P_Z \cdot L_o$	$R_o = R_C + R_M + R_W + R_Z$
	$R_d = R_A + R_B + R_C$	$R_i = R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$			

Tabla 3.2.7.1: En el caso de los componentes de riesgo R_U , R_V y R_W , hay que añadir, además, la frecuencia de impactos directos de rayo en las líneas de suministro de energía N_L y la frecuencia de impactos directos de rayo en el edificio o estructura conectada N_{DA} (Véase figura 3.2.3.3). Sin embargo, en el componente de riesgo R_Z , hay que reducir la frecuencia de impactos de rayo junto a la línea de suministro de energía que entra en la edificación N_I por la frecuencia de impactos directos de rayo en la línea de suministro de energía que entra en la edificación N_L .

(que, por principio, tienen que determinarse por separado para cada clase de daños) pueden calcularse según dos criterios diferentes:

El lugar de impacto del rayo y la causa de los daños. Si interesa la determinación según el lugar de impacto del rayo, es decir, la valoración de la **tabla 3.2.7.1** por columnas, se obtendrá entonces el cálculo de riesgo siguiente:

⇒ A causa de un impacto directo de rayo en el edificio o estructura:

$$R_d = R_A + R_B + R_C$$

⇒ A causa de un impacto indirecto de rayo junto al edificio o estructura:

$$R_i = R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$$

Si, por el contrario, se desea analizar la causa de los daños, entonces los riesgos pueden determinarse como se expone a continuación:

⇒ Para shock eléctrico de personas o animales causado por tensiones de paso y contacto:

$$R_s = R_A + R_U$$



Tipos de pérdida		R_T
L1	Pérdida de vidas humanas (lesiones o muerte de personas)	$10^{-5}/\text{año}$
L2	Pérdida de bienes culturales irremplazables	$10^{-3}/\text{año}$
L3	Pérdida de servicios y prestaciones para el público	$10^{-3}/\text{año}$

Tabla 3.2.8.1: Valores típicos para el riesgo aceptable R_T

⇒ Para fuego, explosión, consecuencias mecánicas y químicas, causadas por efectos mecánicos y térmicos por la acción del rayo:

$$R_f = R_B + R_V$$

⇒ Para averías y fallos de sistemas eléctricos y electrónicos causados por sobretensiones:

$$R_o = R_C + R_M + R_W + R_Z$$

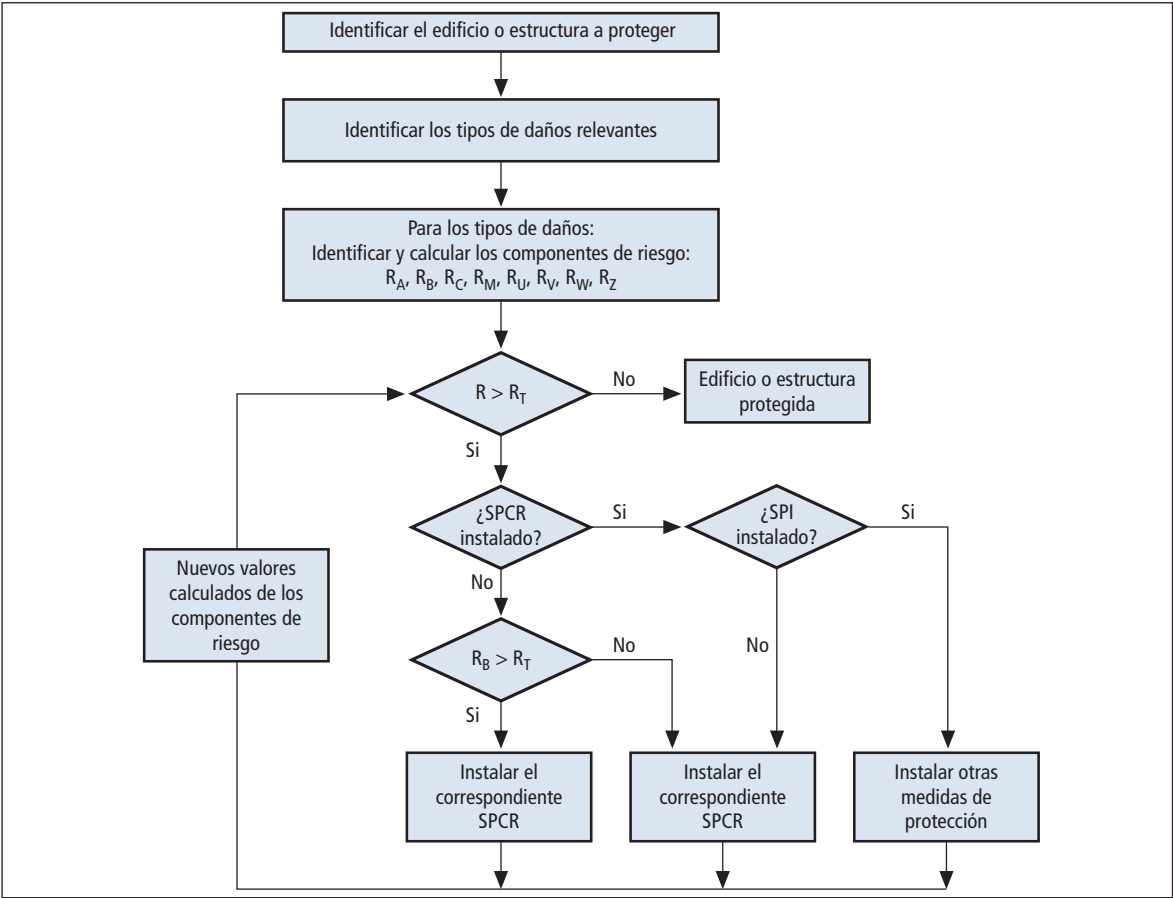


Fig. 3.2.9.1: Diagrama de flujo para la elección de medidas de protección para los tipos de pérdida L1....L3.

3.2.8 Riesgo tolerable en caso de daños producidos por rayos

Para decidir sobre la elección de las medidas de protección contra rayos hay que comprobar si el riesgo de daños R calculado para el tipo de daños relevantes en cada caso, sobrepasa o no un valor aceptable R_T (o sea un valor aún tolerable para cada caso). Esto, por otra parte, sólo tiene vigencia para los tres tipos de pérdida L1 hasta L3, que son las denominadas como de interés público. Para considerar que un edificio o estructura está suficientemente protegido contra los efectos del rayo, tiene que cumplirse que:

$$R \leq R_T$$

R representa, en este caso, la suma de todos los componentes de riesgo relevantes para el tipo de pérdida L1 – L3:

$$R = \sum R_v$$

En la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2) se especifican los valores máximos aceptables R_T para estos tres tipos de pérdida (Tabla 3.2.8.1).

3.2.9 Elección de medidas de protección contra rayos

Las medidas de protección contra el rayo deben significar que, el riesgo de daños R queda limitado a unos valores situados por debajo de los riesgos de daños aceptables R_T .

Por medio de un cálculo detallado de los riesgos de daños para los distintos tipos de riesgo que son relevantes para un tipo concreto de edificación, es decir, mediante la consideración de cada uno de los componentes de riesgo R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W y R_Z , se puede efectuar correctamente la elección de las medidas de protección contra rayos.

El procedimiento se expone en el diagrama de flujo de la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2) (Figura 3.2.9.1). Si se parte del supuesto de que el riesgo de daños calculado R es superior al riesgo de daños aceptable R_T , entonces se continuará investigando si el riesgo de daños físicos por un impacto directo de rayo en el edificio o estructura R_B sobrepasa el riesgo de daños aceptable.

Si se da este caso, hay que instalar un sistema completo de protección contra rayos incluyendo medidas de protección interna y externa. Si R_B es suficientemente bajo, en una segunda fase se pasará a comprobar si el riesgo puede reducirse mediante otras medidas

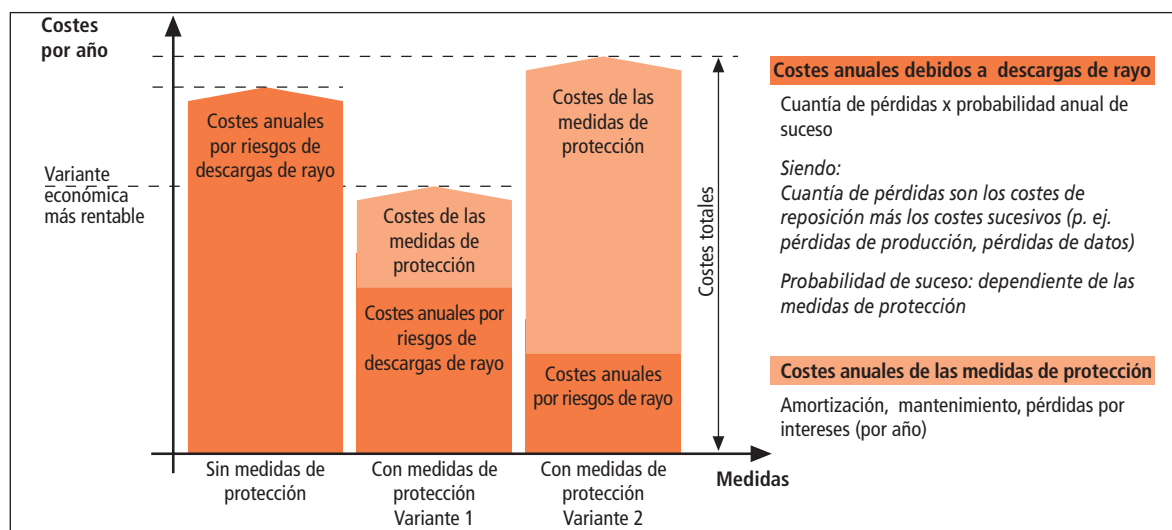


Fig. 3.2.10.1: Procedimiento básico a seguir con puntos de vista puramente económicos y cálculo de los costes anuales.

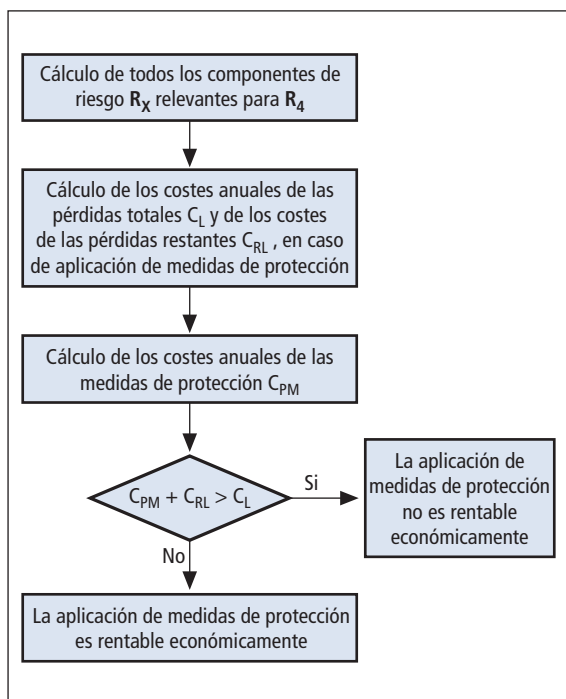


Fig. 3.2.10.2: Diagrama de flujo para la elección de medidas de protección en caso de pérdidas económicas.

de protección contra el impulso electromagnético del rayo (LEMP).

Con un procedimiento según **figura 3.2.9.1** se pueden seleccionar, por lo tanto, las medidas de protección que den lugar a una disminución de aquellos componentes de riesgo que presenten valores relativamente elevados. Es decir, medidas de protección cuya eficacia protectora sea comparativamente alta en el caso analizado.

3.2.10 Pérdidas económicas / Rentabilidad de las medidas de protección

Para muchos edificios o estructuras, el tipo de pérdida L4, "Pérdidas económicas", tiene gran relevancia. Aquí no es posible trabajar con un riesgo de daños aceptable R_T , sino que más bien hay que determinar si las medidas de protección pueden justificarse desde el punto de vista económico. Así pues, la escala comparativa no es una magnitud absoluta, como en un riesgo de daños aceptable ya dado R_T , sino que se

trata, en estos casos, de una magnitud relativa: se comparan entre sí distintas "situaciones de protección" del edificio o estructura y se opta por la que resulta óptima, es decir, aquella que tiene los costes por daños lo más bajos posibles en caso de impacto de rayos. Así pues, en estos casos, pueden y deben analizarse diversas variantes.

El procedimiento básico a seguir está reflejado en la **figura 3.2.10.1**. En la **figura 3.2.10.2** se expone el correspondiente diagrama de flujo según UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2). Esta nueva metodología, con toda seguridad, va a provocar nuevos debates en los círculos técnicos competentes porque está permitida una estimación "grosso modo" de los costes incluso antes de diseñar el proyecto de protección contra rayos propiamente dicho. En este punto, una base de datos detallada y bien gestionada puede prestar muy buenos servicios.

Normalmente, en un edificio o estructura, además del tipo de pérdida L4, son también relevantes uno o varios de los otros tipos de pérdidas L1 - L3. En estos casos, hay que aplicar, en primer lugar, la forma de proceder descrita en la **figura 3.2.9.1**. Es decir, que el riesgo de daños R tiene que ser más pequeño, para los tipos de pérdida L1 hasta L3, que el riesgo de daños aceptable R_T . Si se da efectivamente este caso, en un segundo paso hay que analizar la rentabilidad de las medidas de protección planificadas según se expone en las **figuras 3.2.10.1** y **3.2.10.2**. También aquí, como es natural, es posible asumir diferentes variantes de protección, debiendo finalmente realizarse la más ventajosa pero, en todas las circunstancias, con la condición previa de que para todos los tipos de pérdida de interés público L1 - L3, siempre se cumpla que $R < R_T$.

3.2.11 Resumen

La aplicación de los procedimientos y datos en la práctica es costosa y no siempre sencilla. Esto, sin embargo, no debe hacer que los expertos en el marco de la protección contra rayos, y en particular, los encargados de poner en práctica dicha normativa, renuncien a ocuparse de esta materia. La valoración cuantitativa del riesgo de daños por descargas de rayo para un edificio o estructura, supone una mejora considerable frente a la situación que se presenta con frecuencia, ahora como antes, según la cual las decisiones a favor o en contra de las medidas de pro-

tección contra rayos se adoptan, con mucha frecuencia, de manera subjetiva y no según consideraciones y análisis objetivos que, no siempre, pueden ser comprendidos por los interesados.

Una valoración cuantitativa de este tipo es, por lo tanto, una condición previa esencial para tomar la decisión de adoptar medidas de protección contra rayos en un edificio o estructura y, en su caso, definir cuales. Con ello se logrará, a largo plazo, una aportación a la aceptación de la protección contra rayos y la prevención de daños.

Autor de los capítulos 3.2.1. – 3.2.12:

Prof. Dr. Ing. Alexander Kern
Escuela Técnica Superior Aachen
Ginsterweg 1
D – 52428 Jülich. Germany
Tel.: 0241/6009-53042
Fax: 0241/6009-53262
a.kern@fh-aachen.de

3.2.12 Ayudas para el diseño

La costosa y no siempre sencilla aplicación práctica del procedimiento para el cálculo del riesgo de daños para edificios o estructuras, puede verse facilitada considerablemente mediante el uso de un programa informático. Los procedimientos y datos de la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2) se incluyen en un software denominado "DEHNSupport". El DEHNSupport ofrece al usuario un apoyo práctico en el análisis y el diseño del sistema de protección correspondiente. Así, proporciona ayuda para llevar a cabo el:

- ⇒ Análisis de riesgos según UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2) Cálculo de la distancia de separación.
- ⇒ Cálculo de la longitud de los electrodos de tomas de tierra.
- ⇒ Cálculo de la longitud de las puntas captadoras.

3.3 Inspección y mantenimiento

3.3.1 Tipos de inspección y cualificación de los inspectores

Para garantizar una protección duradera de los edificios o estructuras, de las personas que en ellos se

encuentran, así como de los sistemas eléctricos y electrónicos instalados en los mismos, los valores característicos, mecánicos y eléctricos de un sistema de protección contra rayos deben mantenerse durante todo el tiempo de su vida de servicio.

Para ello, el propietario del edificio o estructura objeto de protección debe coordinar un programa de mantenimiento del sistema de protección contra rayos, con un organismo oficial, con el proyectista o con el constructor del sistema de protección contra rayos. Si al realizar la inspección de un sistema de protección contra rayos se detectan deficiencias, el propietario/usuario del edificio o estructura será responsable de la subsanación inmediata de las mismas. La inspección del sistema de protección contra rayos tiene que ser realizada por un técnico especialista en protección contra rayos.

Un técnico especialista en protección contra rayos, es aquel que por su formación técnica especializada, por su experiencia, así como por el conocimiento de las normas correspondientes, está capacitado para diseñar, instalar e inspeccionar sistemas de protección contra rayos.

Los conceptos "formación técnica especializada", "conocimientos" y "experiencias" se consideran válidos cuando el técnico cuenta con una experiencia profesional de varios años y si se demuestra que desempeña una actividad profesional en el ámbito de la protección contra rayos. Las facetas de diseño, instalación e inspección requieren, del técnico, conocimientos distintos. En la hoja suplementaria 3 de la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2) se describen de forma detallada las diferentes exigencias que se plantean a cada uno de los campos citados.

Un técnico especializado en protección contra rayos es un perito o persona competente que tiene que estar familiarizado con las disposiciones, normas y directrices correspondientes para la protección en el trabajo, de manera que esté capacitado para valorar el estado de los medios operativos y aparatos correspondientes en relación con la seguridad en el trabajo. Se consideran peritos, por ejemplo, ingenieros del servicio de asistencia técnica post venta.

El VdS para prevención de daños, en el marco de la Asociación General de las Compañías de Seguros Alemanas (GDV), en colaboración con la Comisión para protección contra rayos e investigaciones sobre rayos del VDE (ABB), ofrece medidas complementarias de formación, que otorgan la cualificación de expertos en protección contra rayos (Técnicos especializados

en protección contra rayos y sobretensiones) así como en instalaciones eléctricas con compatibilidad electromagnética (Técnico en compatibilidad electromagnética).

Atención: ¡Una *persona competente* en la materia no es un *experto*!

Un experto, debido a su formación y a su experiencia, posee conocimientos especializados en el campo de los equipos técnicos de trabajo que requieren inspección. Debe estar lo suficientemente familiarizado con las normas y directrices de prevención en el trabajo, como para ser capaz de evaluar y juzgar, en términos de seguridad, el estado de medios operativos técnicos muy complejos y emitir los correspondientes informes al respecto. Como expertos pueden considerarse los Ingenieros de la Asociación Técnica de Vigilancia y Supervisión o bien otros Ingenieros técnicos.

Las instalaciones que están sujetas a la obligación de vigilancia requieren, por lo general, la inspección de las mismas por parte de expertos.

Con independencia de la cualificación exigida al encargado de realizar la inspección, éstas tienen que garantizar la eficacia del sistema de protección contra rayos frente a las repercusiones y consecuencias directas e indirectas de los efectos de una descarga de rayo sobre las personas, el equipamiento técnico del edificio o estructura, los servicios y las técnicas de seguridad de la propia construcción, en combinación con otras medidas exigibles de mantenimiento y conservación. Por eso tiene que ponerse a disposición del inspector un informe del proyecto del sistema de protección contra rayos, que incluya los criterios de diseño, la descripción del proyecto y los planos y dibujos técnicos.

Existen diferentes tipos de inspección:

Inspección del diseño

Esta inspección pretende garantizar que el sistema de protección contra rayos se corresponde, en todos los aspectos, con el estado actual de la técnica vigente en la fecha del diseño. Esta inspección debe realizarse antes de la ejecución del proyecto.

Inspecciones durante la fase de construcción

Los componentes y elementos de un sistema de protección contra rayos, a los que no va a ser posible acceder una vez finalizadas las obras, tienen que ser verificados mientras sea posible.

Esta inspección incluye:

- ⇒ Tomas de tierra de cimientos.
- ⇒ Instalaciones de toma de tierra.
- ⇒ Uniones de las armaduras.
- ⇒ Armaduras de hormigón utilizadas como blindajes de los recintos.
- ⇒ Derivadores y sus conexiones en el hormigón.

La inspección incluye el control de la documentación técnica, así como la inspección del trabajo realizado.

Inspección de recepción

La inspección de recepción tiene lugar después de finalizada la instalación del sistema de protección contra rayos. En esta inspección hay que verificar por completo:

- ⇒ El cumplimiento del concepto de protección conforme con la normativa (diseño).

Tipo de SPCR	Inspección visual (Año)	Inspección completa (Año)	Inspección completa de sistemas críticos (Año)
I y II	1	2	1
III y IV	2	4	1

Observación: Los sistemas de protección contra rayos para edificios o estructuras expuestos a riesgo de explosiones deben someterse a una inspección visual cada seis meses. La inspección eléctrica de las instalaciones debe realizarse una vez al año.
Sería también aceptable una periodicidad superior de 14 o 15 meses en el caso de tener que llevar a cabo los tests correspondientes para medir la conductividad del terreno en diferentes épocas del año y obtener así una referencia sobre variaciones producidas en las distintas épocas del año.

Tabla 3.3.1.1: Intervalo máximo de tiempo entre las pruebas de un SPCR de acuerdo con la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2), Tabla E.2.

⇒ El trabajo realizado (ejecución técnica).

Y debe tenerse en cuenta:

⇒ El uso o destino del edificio a proteger.

⇒ El equipamiento técnico del edificio o estructura y

⇒ Las condiciones locales del emplazamiento donde se ubica.

Inspección regular

Este tipo de inspección es condición básica para asegurar la eficacia permanente de un sistema de protección contra rayos. Esta inspección regular tiene que realizarse cada 1 o 4 años. En la **tabla 3.3.1.1** figuran las recomendaciones para los intervalos entre las inspecciones regulares completas de un sistema de protección contra rayos bajo condiciones normales del entorno. Si existen ordenanzas administrativas con plazos concretos de inspección, se considerarán como exigencias mínimas los plazos señalados en las mismas. En caso de que existan disposiciones administrativas que exijan inspecciones regulares de la instalación eléctrica del edificio o estructura, la inspección del sistema de protección contra rayos debe incluirse como parte de las mismas.

Inspección visual

Los sistemas de protección contra rayos de un edificio o estructura, así como zonas críticas del sistema de protección contra rayos (p. ej. zonas expuestas a influencias especiales por condiciones medioambientales del entorno agresivas) tienen que someterse a controles visuales adicionales que deben llevarse a cabo entre las inspecciones regulares. (**Tabla 3.3.1.1**).

Inspección complementaria

Complementariamente a la inspección regular, un sistema de protección contra rayos tiene que ser revisado cuando, en el edificio o estructura protegido, se dan las circunstancias siguientes:

⇒ Modificación esencial del uso o destino del edificio protegido.

⇒ Modificaciones en el edificio o estructura.

⇒ Ampliaciones.

⇒ Cambios.

⇒ Reparaciones.

Estas inspecciones tienen que realizarse también

cuando se tenga conocimiento de que ha tenido lugar una descarga en el sistema de protección contra rayos.

3.3.2 Medidas de inspección

Una inspección incluye el control de la documentación técnica, inspección a pie de obra y mediciones.

Control de la documentación técnica

La documentación debe comprobarse para garantizar su integridad y su coincidencia con la normativa.

⇒ el sistema instalado coincide con la documentación técnica,

⇒ la totalidad del sistema de protección interior y exterior contra rayos se encuentra en correcto estado,

⇒ existen conexiones sueltas o cortes en los conductores del sistema de protección contra rayos,

⇒ todas las conexiones a tierra (en la medida en que puedan verse) están en orden,

⇒ todos los conductores y componentes del sistema están correctamente fijados, y las piezas que tienen una función mecánica de protección, están en buen estado,

⇒ se han realizado modificaciones en el edificio o estructura protegida, que requieran medidas complementarias de protección,

⇒ los dispositivos de protección contra sobretensiones, instalados en sistemas de suministro de energía y en sistemas de transmisión de datos, están correctamente instalados,

⇒ se detectan daños o activaciones de dispositivos de protección contra sobretensiones,

⇒ se han disparado dispositivos de protección contra sobrecorriente instalados aguas arriba de los dispositivos de protección contra sobretensiones,

⇒ se ha ejecutado la compensación de potencial para protección contra el rayo para nuevas conexiones de alimentación o ampliaciones que se hayan incorporado al interior del edificio o estructura desde la última revisión,

⇒ las conexiones de compensación de potencial dentro del edificio o instalación están correctamente realizadas y se encuentran intactas,

- ⇒ se han llevado a cabo las medidas necesarias en caso de proximidades del sistema de protección contra rayos respecto a otras instalaciones.

Nota:

En instalaciones de toma de tierra que tienen más de 10 años, el estado y la disposición de los cables de tierra y de sus conexiones solamente puede evaluarse dejando puntualmente al descubierto dichos cables.

Mediciones

Las mediciones se realizan para comprobar la conductividad de las conexiones y el estado de la instalación de toma de tierra.

⇒ Conductividad de las conexiones

Hay que medir si todas las conexiones y uniones de los dispositivos captadores, de las derivaciones, los cables de compensación de potencial, las medidas de protección etc... tienen una conductividad de bajo valor óhmico. El valor orientativo es <1 Ohmio.

⇒ Estado de la instalación de toma de tierra.

Hay que medir la resistencia de paso a la instalación de toma de tierra, en todos los puntos de medida, para comprobar la conductividad de los conductores y de las conexiones (Valor orientativo < 1 Ohmio).

Además hay que medir la conductividad respecto de las instalaciones metálicas (p. ej. conducciones de gas, agua, ventilación, calefacción), la resistencia total de toma de tierra del sistema de protección contra rayos y la resistencia de toma de tierra de cada uno de los electrodos de puesta a tierra y de las tomas de tierra anulares parciales.

Los resultados de las mediciones tienen que compararse con los resultados obtenidos en mediciones anteriores. Si se constata una diferencia importante respecto a los valores de medida anteriores, hay que realizar inspecciones complementarias.

3.3.3 Documentación

Por cada inspección debe realizarse un informe. Este informe tiene que ser guardado por el usuario de la instalación/del sistema, junto con la documentación

técnica y los informes de inspecciones anteriores, o bien, deberán ser custodiados por el correspondiente organismo de la Administración.

A la hora de llevar a cabo la evaluación del sistema de protección contra rayos, deberá ponerse a disposición del inspector la documentación técnica siguiente:

- ⇒ Criterios de diseño.
- ⇒ Descripción del diseño.
- ⇒ Esquemas técnicos de la protección interna y externa contra rayos.
- ⇒ Informes de trabajos de mantenimiento e inspecciones anteriores.

De acuerdo con la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2), hoja complementaria 3, en un informe de inspección deben figurar los datos siguientes:

⇒ General

- Propietario, dirección.
- Fabricante del sistema de protección contra rayos, dirección.
- Año de instalación.

⇒ Datos sobre el edificio o estructura

- Lugar de emplazamiento.
- Uso, destino.
- Tipo de construcción.
- Tipo de tejado.
- Nivel de protección contra rayos (LPL).

⇒ Datos sobre el sistema de protección contra rayos

- Material y sección de los conductores.
- Número de derivadores, p. ej. puntos de separación (Denominación de acuerdo con las indicaciones en los esquemas y planos); Cálculos de la distancia de separación.
- Tipo de instalación de toma de tierra (p. ej. toma de tierra en anillo, toma de tierra de profundidad, toma de tierra de cimientos), material y sección de los cables de unión entre las distintas tomas de tierra.
- Ejecución de la compensación de potencial para protección contra rayos de instalaciones metálicas, instalaciones eléctricas y barras de compensación de potencial existentes.

⇒ Fundamentos de la inspección

- a) Descripción y esquemas del sistema de protección contra rayos.
- b) Normas y disposiciones sobre protección contra rayos en la fecha de ejecución.
- c) Otros documentos para la inspección (p. ej. reglamentación, normativa,) en la fecha de la ejecución.

⇒ Tipos de inspecciones

- a) Inspección del diseño.
- b) Inspecciones durante la fase de ejecución.
- c) Inspección de recepción.
- d) Inspecciones regulares.
- e) Inspecciones complementarias.
- f) Inspección visual.

⇒ Resultado de la inspección

- a) Cualquier modificación del edificio o estructura y/o del sistema de protección contra rayos detectados.
- b) Desviaciones respecto de las normas, regulaciones, instrucciones y guías de aplicación vigentes en el momento de la instalación.
- c) Defectos detectados.
- d) Valor de resistencia de la puesta a tierra en cada uno de los puntos de medición, con información sobre el método y el equipo de medida empleados.
- e) Valor total de resistencia (medido con o sin conductor de protección y partes metálicas de la instalación).

⇒ Inspector

- a) Nombre del inspector.
- b) Empresa a la que pertenece el inspector.
- c) Nombre de la persona acompañante.
- d) Número de páginas del informe de inspección
- e) Fecha de la inspección.
- f) Firma de la empresa a la que pertenece el inspector.

En la página web www.dehn.de puede encontrarse un modelo de informe de inspección, de acuerdo con las exigencias de la hoja complementaria 3 de la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2).

3.3.4 Mantenimiento

El mantenimiento y la inspección de un sistema de protección contra rayos deben estar coordinados.

Por lo tanto, además de las inspecciones correspondientes, deberían fijarse rutinas regulares de mantenimiento para los sistemas de protección contra rayos. La frecuencia de los trabajos de mantenimiento a realizar, depende de los factores siguientes:

- ⇒ Pérdidas de calidad producidas por las condiciones atmosféricas y medioambientales.
- ⇒ Efectos de descargas directas de rayos y de los posibles daños derivados de las mismas.
- ⇒ Clase de protección de los edificios o estructuras objeto de consideración.

Las medidas de mantenimiento deberán fijarse individualmente para cada sistema de protección contra rayos y deberían considerarse como elemento integrante fijo del programa general de mantenimiento del edificio o estructura.

También debería fijarse una rutina de mantenimiento. Esto permitiría realizar la comparación entre los valores recogidos con los obtenidos en trabajos de mantenimiento anteriores. También puede recurrirse a estos valores para compararlos con una inspección posterior.

Una rutina de mantenimiento debería incluir las medidas siguientes:

- ⇒ Comprobación de todos los conductores y componentes del sistema de protección contra rayos.
- ⇒ Medición de la conductividad eléctrica en las instalaciones del sistema de protección contra rayos.
- ⇒ Medición de la resistencia de la instalación de toma de tierra.
- ⇒ Inspección visual de todos los dispositivos de protección contra sobretensiones (referido a los dispositivos de protección contra sobretensiones en los conductores entrantes de la instalación de suministro de energía y de los sistemas de transmisión de datos), para detectar si se han activado o si presentan daños.
- ⇒ Fijar nuevamente componentes y conductores.
- ⇒ Probar que la eficacia del sistema de protección contra rayos no se ha visto alterada tras haberse incorporado nuevas instalaciones o realizado modificaciones en el edificio o estructura objeto de protección.

Todos los trabajos de mantenimiento deben documentarse incluyendo también las modificaciones que se hayan realizado o que se vayan a llevar a cabo en el futuro.

Esta documentación es una ayuda a la hora de realizar la evaluación de los componentes y de las instala-

ciones de un sistema de protección contra rayos. En base a estos datos se pueden revisar las rutinas de mantenimiento y, eventualmente, actualizarlas.

Los protocolos de mantenimiento deben guardarse juntamente con los informes de diseño y de inspección del sistema de protección contra rayos.



4. Sistema de protección contra rayos

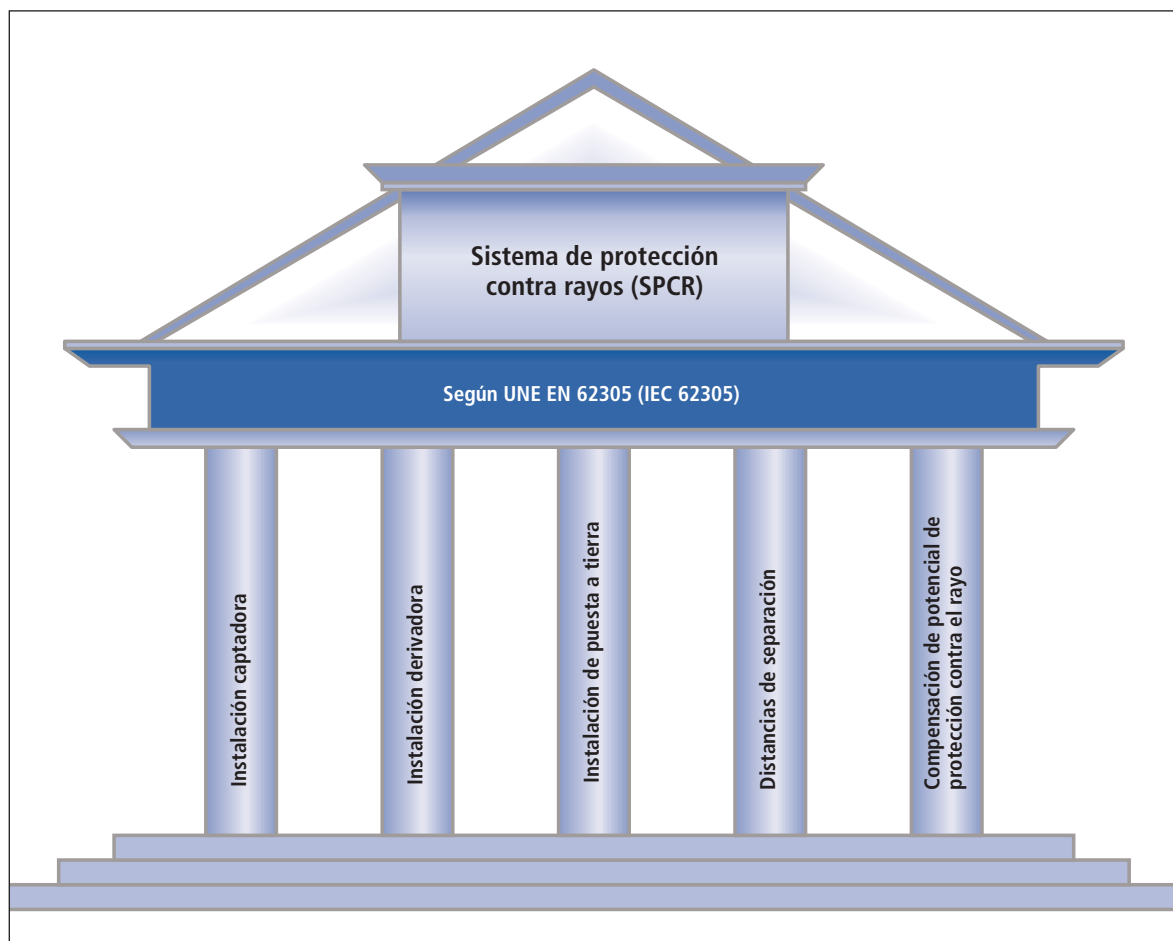


Fig. 4.1: Componentes de un sistema de protección contra el rayo.

Los sistemas de protección contra rayos tienen como finalidad la protección de edificios o estructuras contra incendios o daños mecánicos así como proteger a las personas que en ellos se encuentren, de lesiones o incluso de la muerte, como consecuencia de descargas de rayo.

Un sistema de protección integral contra rayos implica la consideración de medidas de protección externa por un lado y medidas de protección interna por otro (Figura 4.1).

Las funciones de la protección externa contra rayos son:

- ⇒ Recibir el impacto del rayo (instalación captadora).

- ⇒ Conducir, con seguridad, la corriente de rayo a tierra (instalación derivadora).
- ⇒ Dispersar la corriente de rayo en el terreno (instalación de puesta a tierra).

La función de la protección interna contra rayos es:

- ⇒ Impedir la formación de chispas peligrosas dentro del edificio o estructura.

Esto se consigue a través de la compensación de potencial o asegurando una distancia de seguridad entre los distintos componentes del sistema de protección contra rayos y otros elementos conductores eléctricos situados en el interior del edificio o estructura.

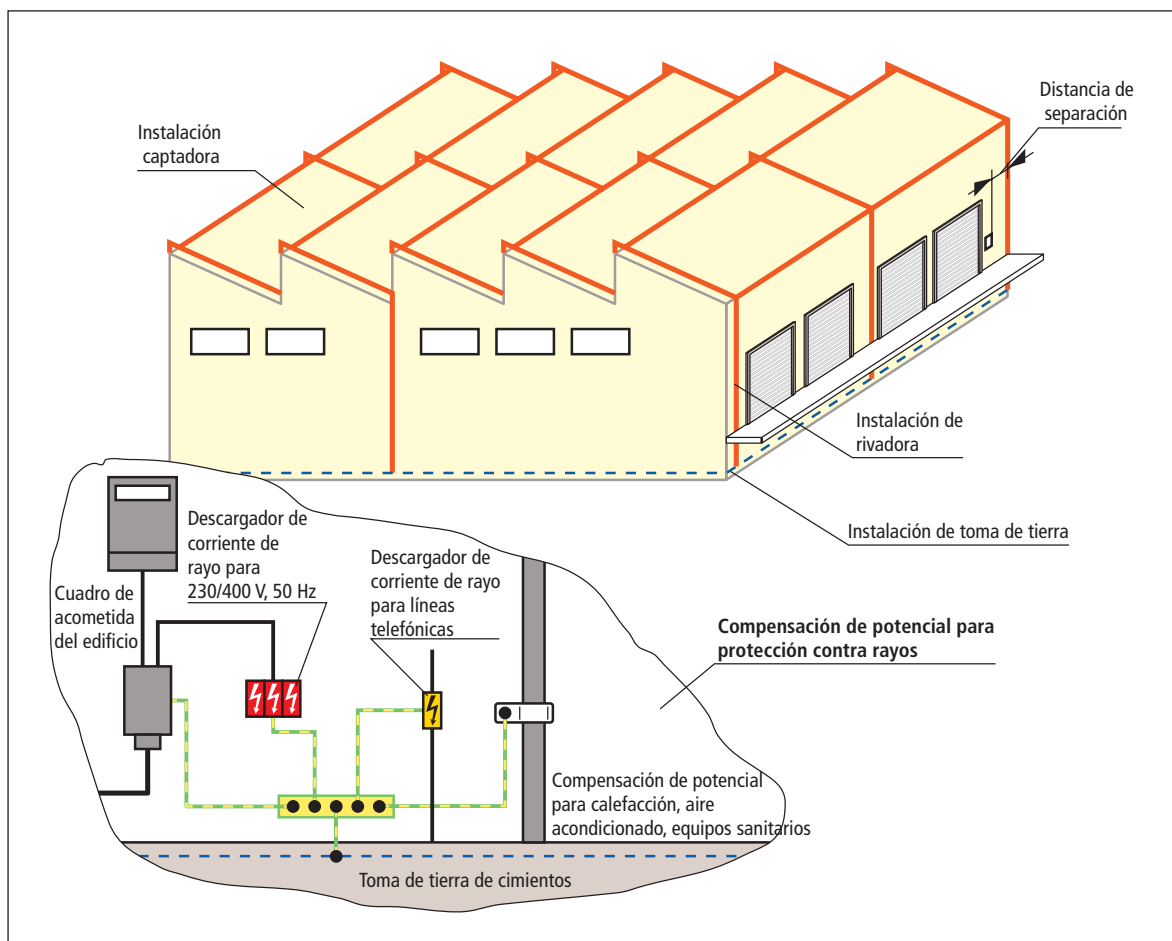


Fig. 4.2: Sistema de protección contra rayos (SPCR).

La compensación de potencial de protección contra rayos reduce las diferencias de potencial causadas por la corriente de rayo mediante la unión de todos los elementos metálicos existentes en la instalación a través de una conexión directa o mediante dispositivos de protección contra sobretensiones (DPSs) (**Figura 4.2**).

Para los sistemas de protección contra rayos (SPCR) se han fijado 4 niveles de protección I, II, III y IV en función de los niveles de riesgo correspondientes. Cada uno de ellos se corresponde con unas determinadas normas relativas al cálculo y diseño del sistema de protección (p. ej. radio de la esfera rodante, reticula-

do de mallas) y otras independientes de él (p. ej. secciones, materiales).

Para garantizar la disponibilidad de servicio de sistemas de información muy complejos, incluso en el caso de una descarga directa de rayo, se requiere adoptar medidas de protección complementarias al sistema de protección externa dirigidas a la protección contra sobretensiones que puedan afectar a los equipos eléctricos y electrónicos a través de las redes de alimentación o de transmisión de datos. En el capítulo 7 se describe un amplio catálogo de medidas bajo el principio de "Concepto de zonas de protección contra rayos".

5. Protección externa contra rayos

5.1 Instalación captadora

La instalación captadora de un sistema de protección contra rayos tiene la misión de impedir las descargas directas de rayo en el volumen a proteger. Debe diseñarse para prevenir descargas incontroladas de rayo en la estructura objeto de protección.

Mediante una instalación captadora correctamente dimensionada se reducen, de manera controlada, las consecuencias de una descarga de rayo en el edificio.

La instalación captadora puede conformarse en base a los elementos siguientes, que pueden combinarse discrecionalmente ente si:

- ⇒ Puntas captadoras.
- ⇒ Cables captadores.
- ⇒ Mallas captadoras.

Al fijar el emplazamiento y posición de los dispositivos captadores del sistema de protección contra rayos, hay que prestar especial atención y cuidado a la protección de las esquinas de la instalación que se desea proteger. Esto tiene especial relevancia para dispositivos captadores situados sobre tejados planos o en la parte superior de las fachadas.

Los dispositivos captadores deben instalarse, sobre todo, en las esquinas.

Para determinar la posición de los dispositivos captadores necesarios pueden utilizarse tres procedimientos:

- ⇒ Método de la esfera rodante.
- ⇒ Método de la malla captadora.
- ⇒ Método del ángulo de protección.

El de la esfera rodante es el método de planificación más universal y el que se recomienda utilizar para casos complicados debido a la geometría de la edificación.

A continuación se exponen los tres procedimientos.

5.1.1 Métodos de diseño y tipos de dispositivos captadores

Método de la esfera rodante – “Modelo geométrico – eléctrico”

En el caso de los rayos nube-tierra, la descarga descendente de rayo va creciendo, escalonadamente desde la nube en dirección a la tierra. Cuando la descarga descendente se ha aproximado entre 10 y 100 metros a tierra, se sobrepasa la capacidad de aislamiento eléctrico del aire próximo a la misma. En ese momento empieza a crecer otra descarga similar a la descendente en dirección a ésta: la descarga ascen-

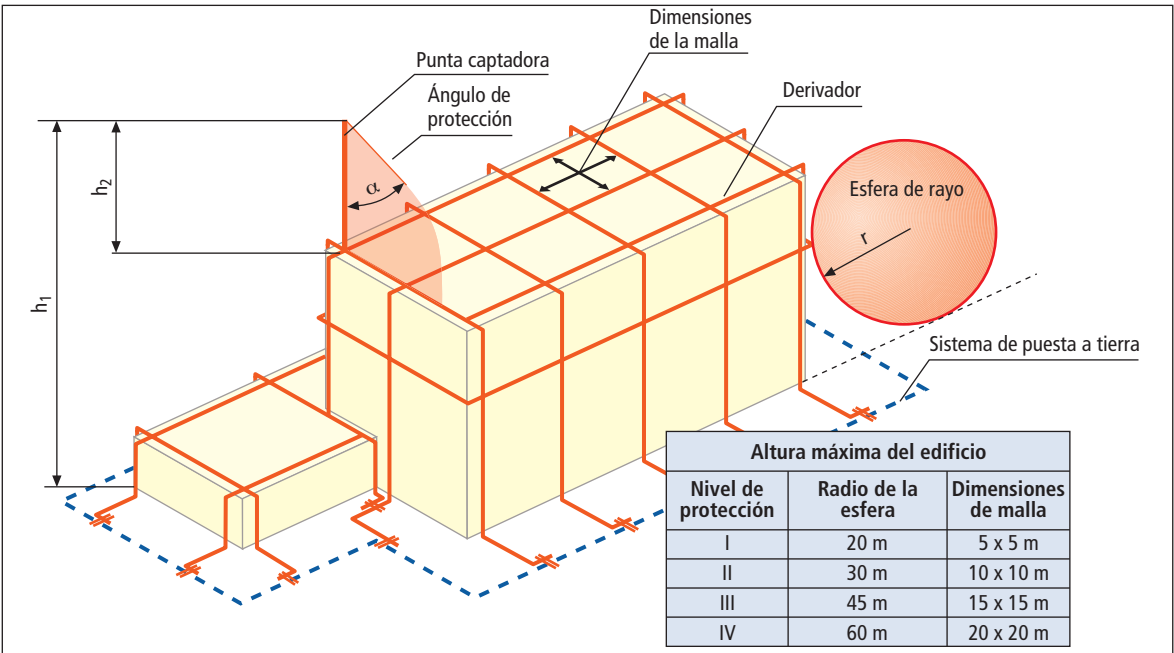


Fig. 5.1.1: Procedimientos para el diseño de la instalación captadora en edificios de gran altura.

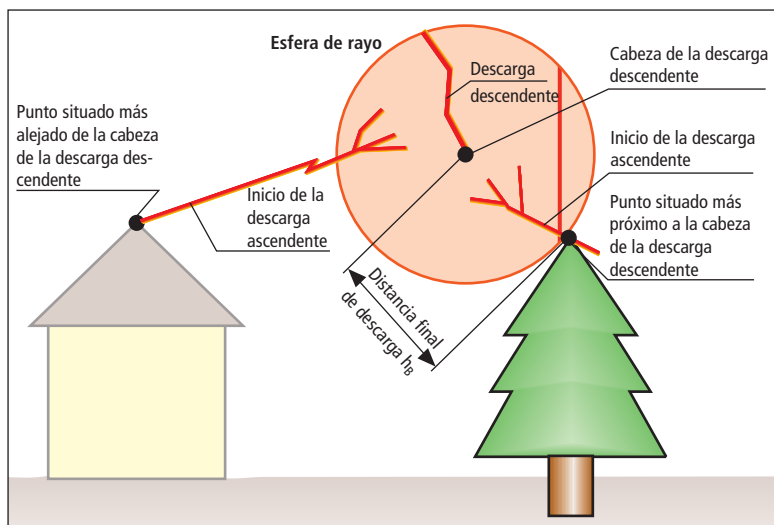


Fig. 5.1.1.1: Descarga inicial ascendente que determina el lugar en que va a caer el rayo.



Fig. 5.1.1.2: Modelo de la esfera rodante
Fuente: Prof. Dr. A. Kern, Aachen (Aquisgrán).

dente de rayo. Con ello se determina el lugar de descarga del rayo (**Figura 5.1.1.1**).

El punto de inicio de la descarga ascendente y, con ello, el punto posterior de descarga del rayo, lo determina, sobre todo, la cabeza de la descarga descendente. Ésta sólo puede aproximarse a tierra hasta una distancia concreta que viene determinada por la intensidad de campo eléctrico del suelo, creciente continuamente, durante la aproximación de la cabeza de la descarga descendente. La distancia más pequeña entre la cabeza de la descarga descendente y el punto de inicio de la descarga captadora se denomina tramo final de descarga h_b (se corresponde con el radio de la esfera de rayo).

Inmediatamente después de que se sobrepasa la capacidad de aislamiento en un punto, se origina la descarga ascendente que lleva a la descarga final y que se superpone al trayecto de la descarga final. Basándose en las observaciones sobre el efecto de protección de cables de guarda y de torres de alta tensión se ha realizado el denominado **"modelo geométrico-eléctrico"**.

Este modelo está basado en la hipótesis de que la cabeza de la descarga descendente se aproxima a los objetos situados en tierra, sin verse afectada por nada, hasta que alcanza la distancia final de descarga.

El lugar o punto de descarga viene determinado por el objeto que esté a menor distancia de la cabeza de

la descarga descendente. La descarga ascendente que allí se inicia "se impone" finalmente (**Figura 5.1.1.2**)

Clasificación de los sistemas de protección y radio de la esfera rodante

En una primera aproximación existe una proporcionalidad entre el valor cresta de la corriente de rayo y la carga eléctrica acumulada en la descarga descendente. Asimismo, también el campo eléctrico del suelo, al aproximarse la descarga descendente creciente, en un primer momento, depende linealmente de la carga acumulada en la misma.

De este modo, existe una proporcionalidad entre el valor de cresta I de la corriente de rayo y la distancia final de descarga h_b (= radio de la esfera rodante):

$$r = 10 \cdot I^{0.65}$$

r en m

I en kA

La protección contra rayos en edificios está descrita en la norma UNE EN 62305-1 (IEC 62305-1). Esta norma define, entre otras cosas, la clasificación de los sistemas de protección y fija las medidas de protección contra rayos correspondientes a cada caso.

Esta norma diferencia entre cuatro niveles de protección. El nivel de protección I ofrece la máxima protección y el nivel de protección IV la menor. Unida a la

Nivel de riesgo LPL	Probabilidades para los valores límite de la corriente de rayo		Radio de la esfera rodante (Distancia final de descarga h_B) – r en m	Valor cresta mínimo de la corriente – I en kA
	<Valores máximos según tabla 5 UNE EN 62305-1	>Valores mínimos según tabla 6 UNE EN 62305-1		
IV	0.84	0.97	60	16
III	0.91	0.97	45	10
II	0.97	0.98	30	5
I	0.99	0.99	20	3

Tabla 5.1.1.1.: Relaciones entre niveles de riesgo, efectividad E_r , distancia final de descarga h_B y mínimo valor cresta de la corriente I.
Fuente: Tablas 5, 6 y 7 de la norma UNE EN 62305-1 (IEC 62305-1).

clase de protección está la eficacia de la instalación captadora E_r , es decir, qué porcentaje de las descargas de rayo esperadas pueden ser controladas de forma segura por la instalación captadora. Después, se determina la distancia final de descarga, y con ello el radio de la “esfera de rayo”. En la **tabla 5.1.1.1** se recoge la relación existente entre clase de protección, eficacia de la instalación captadora E_r , distancia final de descarga/radio de la “esfera rodante” y valor cresta de la corriente.

Basado en la hipótesis del “modelo geométrico – eléctrico”, según la cuál la cabeza de la descarga descendente se aproxima arbitrariamente, sin influencia alguna, a los objetos situados sobre la tierra, hasta llegar a la distancia final de descarga, se puede derivar un procedimiento general que permite comprobar la eficacia del sistema definido respecto del edificio a proteger. Para la ejecución del método de la esfera rodante se precisa un modelo a escala del edificio/estructura a proteger (p. ej. a una escala de 1:100), en el que se reproducen los contornos externos que lo delimitan y la instalación captadora correspondiente. Dependiendo del lugar de emplazamiento del edificio que se pretende estudiar, es necesario asimismo incluir los edificios y objetos circundantes, ya que éstos pueden actuar eficazmente como “medidas naturales de protección”.

Además, en función del nivel de protección, la esfera del rayo tendrá un radio distinto que se corresponde con la distancia final de descarga (el radio r de la “esfera rodante”, dependiendo de la clase de protección, será de 20, 30, 45 o 60 m). El centro de la “esfera rodante” utilizada se corresponde con la cabeza de la descarga descendente respecto a la cuál se forman las correspondientes descargas ascendentes.

La esfera rodante se acerca al edificio objeto de estudio, y se señalan los puntos de contacto de la esfera

con el mismo. Dichos puntos de contacto representan los posibles puntos de descarga del rayo. A continuación, se hace rodar la esfera sobre el edificio en todas las direcciones, y de nuevo se procederá a marcar todos los puntos de contacto. De este modo, se localizan sobre el modelo todos los puntos posibles de descarga de rayo, y además se pueden establecer también todas las zonas de posibles descargas laterales. Las zonas de protección naturales resultantes de la geometría del edificio que se pretende proteger y de su entorno, resultan ahora claramente perceptibles. Por tanto, en estos puntos puede, prescindirse de la instalación de pararrayos (**Figura 5.1.1.3**).

Hay que tener muy en cuenta, sin embargo, que se han constatado huellas de rayos en algunos puntos que no habían sido tocados directamente por la “esfera rodante”. Se presume que esto se debe, entre otras cosas, a que en caso de descargas múltiples de rayo, el punto de base del rayo ha cambiado de posición a consecuencia de la acción del viento. En consecuencia, alrededor de los puntos de descarga de rayo

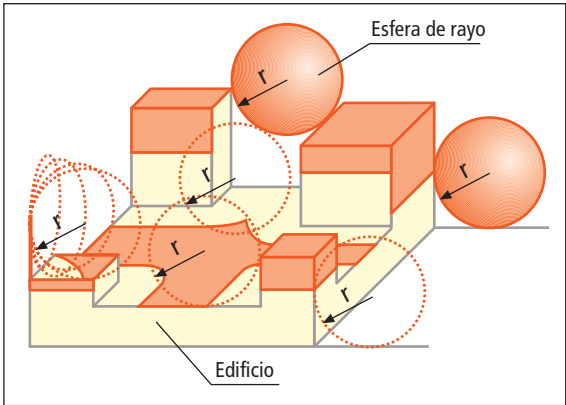


Fig.5.1.1.3: Aplicación esquemática del método de la “esfera rodante” en un edificio con superficie muy irregular.

debemos considerar un área de aproximadamente un metro, en la que es posible que se produzcan impactos.

Ejemplo 1: Nuevo edificio de la Administración en Munich

En la fase de proyecto del nuevo edificio de la Administración, a causa de la compleja geometría del edificio, se decidió utilizar el procedimiento de la esfera rodante para identificar las zonas expuestas al riesgo de descargas de rayo.

Esto fue posible ya que se disponía de una maqueta de la nueva construcción a escala 1:100. Se determinó el nivel de protección I como exigencia al sistema de protección contra rayos. Es decir, que el radio de la esfera rodante fuera de 20 cm (**Figura 5.1.1.4**).

En los lugares en los que “la esfera de rayo” toca partes del edificio puede producirse una descarga directa de rayo con el correspondiente valor mínimo de corriente de cresta de 3 kA (**Figura 5.1.1.5**). En consecuencia, en dichos puntos es necesario instalar dispositivos captadores. Si, además de lo indicado, en dichos puntos o en sus inmediaciones, existen equipos eléctricos (p.ej. en la cubierta del edificio), es necesario adoptar medidas adicionales de protección.

Con la aplicación del procedimiento de la esfera de rayo se evitó tener que instalar dispositivos captadores en aquellos lugares en los que no eran necesarios desde el punto de vista de protección. Por otra parte, se consiguió mejorar la protección contra descargas directas en aquellos lugares en los que dicha protección era necesaria.

Ejemplo 2: Catedral de Aquisgrán (Aachen)

La catedral se encuentra situada en el casco antiguo de la ciudad de Aquisgrán y está rodeada de edificios altos.

Junto a la catedral hay una maqueta a escala 1:100 con la que se pretende hacer fácilmente comprensible a los visitantes la geometría de la edificación.

Los edificios situados alrededor de la catedral aportan una protección natural a la misma contra descargas de rayo.

Además y para poder exponer mejor la eficacia de las medidas de protección contra rayos, se han reproducido los edificios colindantes con sus elementos más representativos a la misma escala (1:100) (**Figura 5.1.1.6**).



Fig. 5.1.1.4: Edificio administrativo de nueva construcción: Modelo con “esfera rodante” nivel de protección I.
Fuente: WBG Wiesinger.



Fig. 5.1.1.5: Edificio administrativo de nueva construcción DAS: Vista aérea de las zonas expuestas a descargas de rayo para el nivel de protección I.
Fuente: WBG Wiesinger.

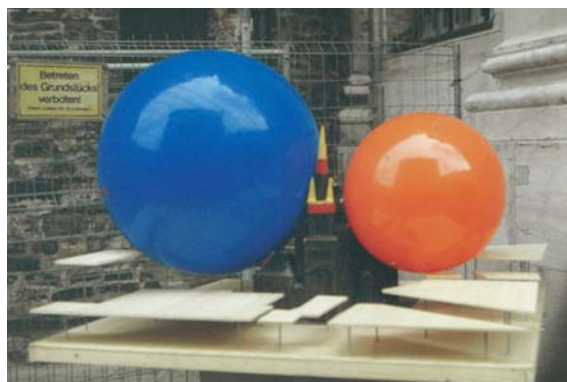


Fig. 5.1.1.6: Catedral de Aquisgrán (Aachen): Modelo con entorno y “esferas de rayo” para los niveles de protección II y III.
Fuente: Prof. Dr. A. Kern, Aquisgrán.

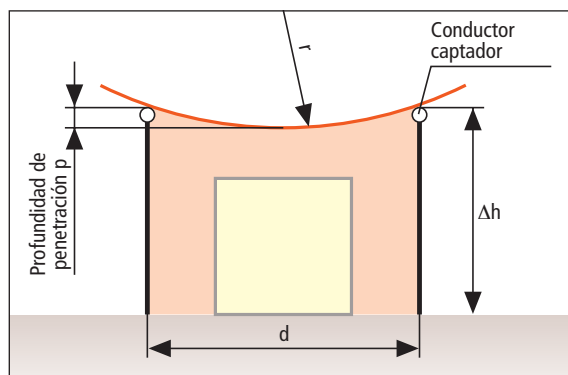


Fig. 5.1.1.7: Profundidad de penetración p de la esfera rodante.

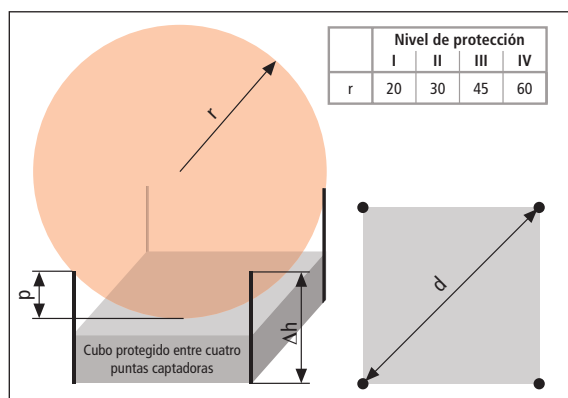


Fig. 5.1.18: Dispositivos captadores para estructuras en cubierta con su correspondiente espacio protegido.

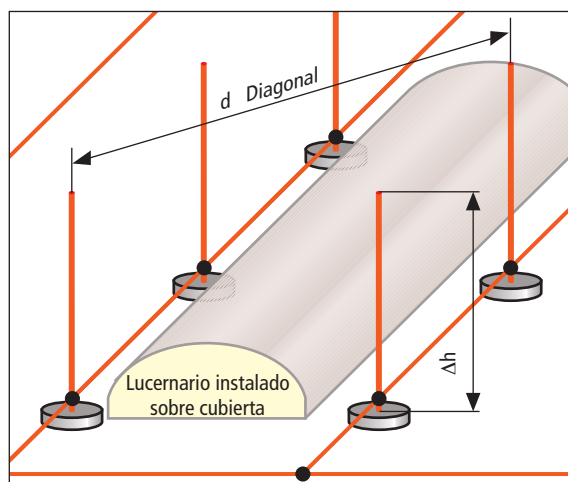


Fig. 5.1.1.9: Cálculo de Δh, por el método de la esfera rodante, para el caso de varias puntas captadoras.

La **figura 5.1.1.6** muestra además “esferas rodantes de rayo” de los niveles de protección II y III (es decir con radios de 30 y 45 cm) aplicadas sobre la maqueta.

El objetivo buscado era mostrar el incremento de las exigencias a la instalación captadora al disminuir el radio de la esfera rodante. Es decir, mostrar qué zonas de la catedral de Aquisgrán debían considerarse como expuestas al riesgo de descargas de rayo al usar un sistema de protección contra rayo nivel II que exige un mayor grado de protección.

La “esfera rodante” más pequeña (es decir con el nivel de protección más elevado) naturalmente toca a la maqueta no sólo en todos los puntos en los que la “esfera rodante” con el radio más grande ha tocado.

La profundidad de penetración de la esfera rodante es determinante en el dimensionado de los dispositivos captadores para un edificio o para una instalación dispuesta sobre la cubierta.

Con la fórmula siguiente se puede calcular la profundidad de penetración p de la esfera rodante, cuando la esfera rueda sobre “raíles”. Esto se da, por ejemplo, en el caso de dos cables tensados.

$$p = r - \left[r^2 - (d / 2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Siendo:

r Radio de la esfera rodante.

d Distancia entre dos puntas captadoras o entre dos conductores paralelos.

En la **figura 5.1.1.7** se expone detalladamente esta consideración.

Cuando se pretende proteger la superficie de la cubierta o estructuras montadas sobre la misma contra descargas directas de rayo, suelen utilizarse normalmente puntas captadoras. Con la disposición en forma de cuadrado de las puntas captadoras que, por lo general no están unidas mediante cables tensados, la esfera no se desliza “sobre raíles” sino que “penetra más profundamente” (**Figura 5.1.1.8**).

La altura de las puntas captadoras Δh debe ser superior a la profundidad de penetración p y por tanto mayor que la penetración de la esfera de rayo. Con esta altura complementaria de las puntas captadoras se garantiza que la esfera rodante no llegue a tocar el objeto que se pretende proteger.

d	Penetración de la esfera rodante (m) (redondeada)			
Distancia entre puntas captadoras	Nivel de protección con radio de la esfera rodante en metros			
	I (20 m)	II (30 m)	III (45 m)	IV (60 m)
2	0.03	0.02	0.01	0.01
4	0.10	0.07	0.04	0.03
6	0.23	0.15	0.10	0.08
8	0.40	0.27	0.18	0.13
10	0.64	0.42	0.28	0.21
12	0.92	0.61	0.40	0.30
14	1.27	0.83	0.55	0.41
16	1.67	1.09	0.72	0.54
18	2.14	1.38	0.91	0.68
20	2.68	1.72	1.13	0.84
23	3.64	2.29	1.49	1.11
26	4.80	2.96	1.92	1.43
29	6.23	3.74	2.40	1.78
32	8.00	4.62	2.94	2.17
35	10.32	5.63	3.54	2.61

Tabla 5.1.1.2: Penetración de la esfera rodante en caso de dos puntas captadoras o dos conductores captadores paralelos.

Otra posibilidad para calcular la altura de las puntas captadoras se recoge en la **tabla 5.1.1.2**. La profundidad de penetración de la esfera rodante viene dada por la mayor distancia existente entre las puntas captadoras. Usando la distancia máxima, la profundidad de penetración *p* puede obtenerse de la tabla. Las puntas captadoras deben dimensionarse de acuerdo con la altura de la instalación a proteger (en relación con el lugar de emplazamiento de la punta captadora) y con la profundidad de penetración de la esfera rodante (**Figura 5.1.1.9**).

Si se obtiene, por ejemplo, una altura máxima para las puntas captadoras de 1,15 m (determinación efectuada por cálculo, o bien según la tabla), se aplicará, por lo regular, una medida convencional de 1,5 m para la punta captadora.

Método de la malla

Una instalación captadora en forma de malla puede utilizarse de manera universal y con total independencia de la altura del edificio y de la forma de la cubierta. Sobre ésta se tiende una red captadora en forma de malla con un reticulado que se corresponde con el nivel de protección deseado (**Tabla 5.1.1.3**).

La penetración de la esfera de rayo, en el caso la instalación captadora constituida por mallas, se supone, simplifcadamente, igual a cero.

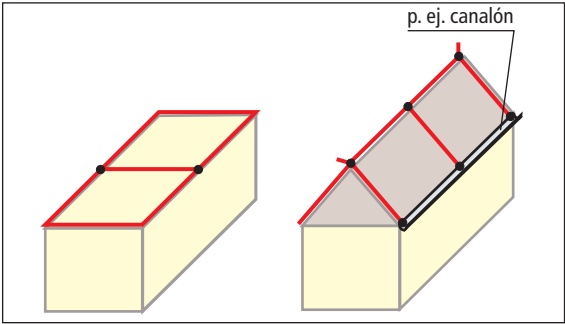


Fig. 5.1.1.10: Mallas captadoras.

Se elige libremente la posición de cada una de las mallas, usando el peto y los bordes exteriores del edificio, así como los componentes metálicos naturales que puedan utilizarse como parte integrante de la instalación captadora.

Los conductores captadores situados en los cantos exteriores de la edificación, tienen que colocarse lo más cerca posible a los bordes del edificio.

Un peto metálico puede utilizarse como dispositivo captador o derivador, si se cumplen las medidas mínimas exigidas para elementos naturales (**Figura 5.1.1.10**).

Método del ángulo de protección

El método del ángulo de protección se deriva del modelo de rayo eléctrico-geométrico. El ángulo de protección viene determinado por el radio de la esfera rodante. El ángulo de protección comparable con el radio de la esfera rodante se deduce cuando una línea inclinada corta a la esfera rodante de tal manera que las superficies resultantes son igual de grandes (**Figura 5.1.1.11**).

Este método debe aplicarse a los edificios con dimensiones simétricas (p. ej. cubierta inclinada) o para estructuras montadas sobre la cubierta (p. ej. antenas, tuberías de ventilación).

El ángulo de protección depende del nivel de protección y de la altura de los dispositivos captadores sobre la superficie de referencia (**Figura 5.1.1.12**).

Nivel de protección	Dimensiones de malla
I	5 x 5 m
II	10 x 10 m
III	15 x 15 m
IV	20 x 20 m

Tabla 5.1.1.3: Dimensiones de malla.

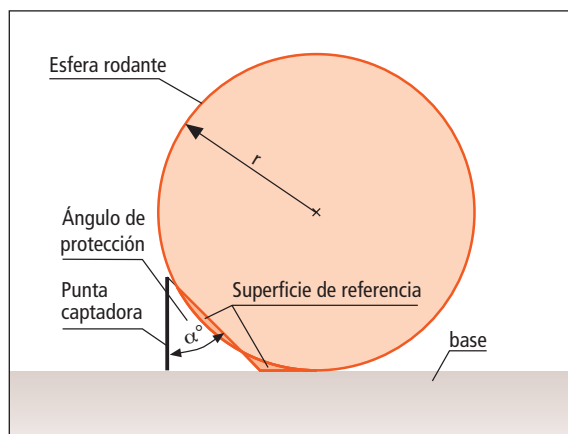


Fig. 5.1.1.11: Ángulo de protección y radio equivalente de la esfera rodante.

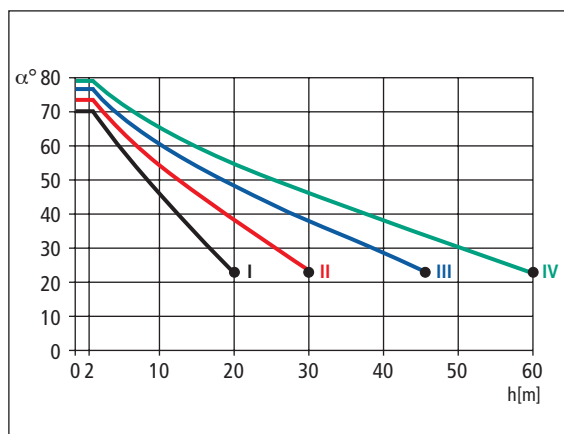


Fig. 5.1.1.12: Ángulo de protección "alfa" en función de la altura h y el nivel de protección.

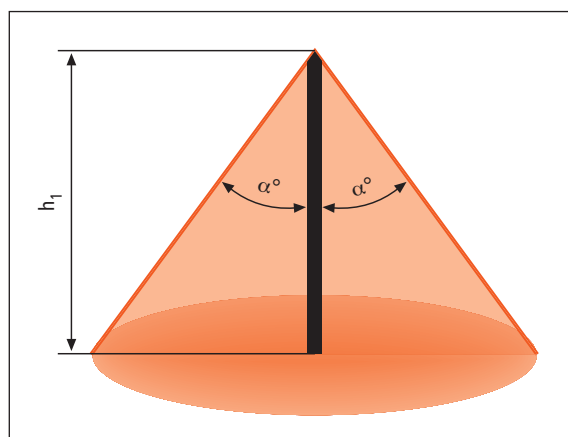


Fig. 5.1.1.13: Zona protegida cónica.

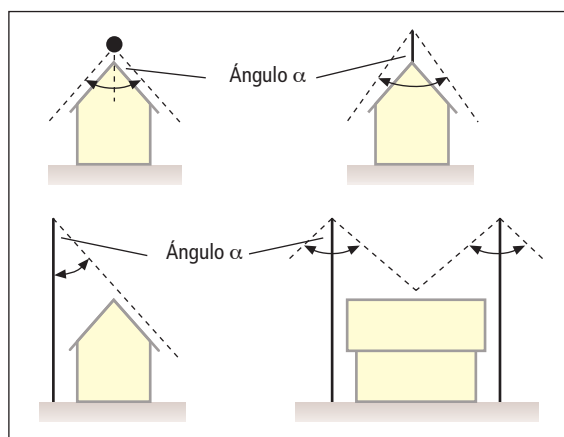


Fig. 5.1.1.14: Ejemplos de sistemas de protección con ángulo de protección α .

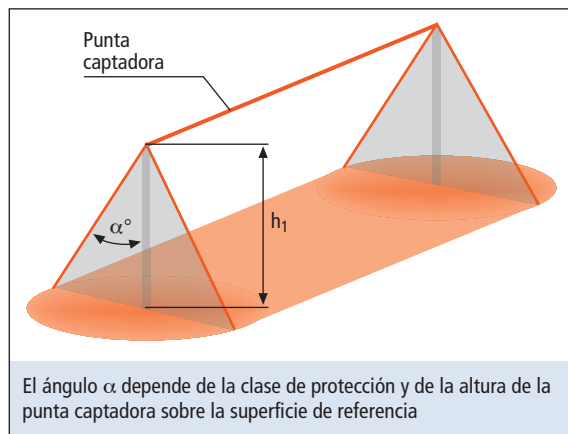


Fig. 5.1.1.15: Espacio protegido mediante un cable tendido.

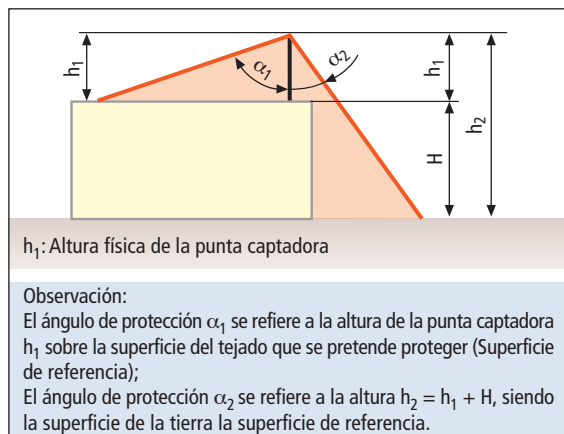


Fig. 5.1.1.16: Sistema de protección contra rayos, volumen protegido por una punta captadora vertical.

Altura de la punta captadora h en m	SK 1		SKI II		SK III		SK IV	
	Ángulo α	Distancia a en m	Ángulo α	Distancia a en m	Ángulo α	Distancia a en m	Ángulo α	Distancia a en m
1	71	2,90	74	3,49	77	4,33	79	5,14
2	71	5,81	74	6,97	77	8,66	79	10,29
3	66	6,74	71	8,71	74	10,46	76	12,03
4	62	7,52	68	9,90	72	12,31	74	13,95
5	59	8,32	65	10,72	70	13,74	72	15,39
6	56	8,90	62	11,28	68	14,85	71	17,43
7	53	9,29	60	12,12	66	15,72	69	18,24
8	50	9,53	58	12,80	64	16,40	68	19,80
9	48	10,00	56	13,34	62	16,93	66	20,21
10	45	10,00	54	13,76	61	18,04	65	21,45
11	43	10,26	52	14,08	59	18,31	64	22,55
12	40	10,07	50	14,30	58	19,20	62	22,57
13	38	10,16	49	14,95	57	20,02	61	23,45
14	36	10,17	47	15,01	55	19,99	60	24,25
15	34	10,12	45	15,00	54	20,65	59	24,96
16	32	10,00	44	15,45	53	21,23	58	25,61
17	30	9,81	42	15,31	51	20,99	57	26,18
18	27	9,17	40	15,10	50	21,45	56	26,69
19	25	8,86	39	15,39	49	21,86	55	27,13
20	23	8,49	37	15,07	48	22,21	54	27,53
21			36	15,26	47	22,52	53	27,87
22			35	15,40	46	22,78	52	28,16
23			36	16,71	47	24,66	53	30,52
24			32	15,00	44	23,18	50	28,60
25			30	14,43	43	23,31	49	28,76
26			29	14,41	41	22,60	49	29,91
27			27	13,76	40	22,66	48	29,99
28			26	13,66	39	22,67	47	30,03
29			25	13,52	38	22,66	46	30,03
30			23	12,73	37	22,61	45	30,00
31					36	22,52	44	29,94
32					35	22,41	44	30,90
33					35	23,11	43	30,77
34					34	22,93	42	30,61
35					33	22,73	41	30,43
36					32	22,50	40	30,21
37					31	22,23	40	31,05
38					30	21,94	39	30,77
39					29	21,62	38	30,47
40					28	21,27	37	30,14
41					27	20,89	37	30,90
42					26	20,48	36	30,51
43					25	20,05	35	30,11
44					24	19,59	35	30,81
45					23	19,10	34	30,35
46							33	29,87
47							32	29,37
48							32	29,99
49							31	29,44
50							30	28,87
51							30	29,44
52							29	28,82
53							28	28,18
54							27	27,51
55							27	28,02
56							26	27,31
57							25	26,58
58							25	27,05
59							24	26,27
60							23	25,47

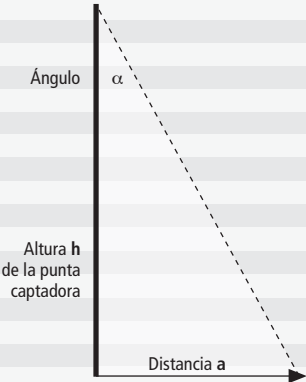


Tabla 5.1.1.4: Ángulo de protección α en función del nivel de protección.

Los conductores captadores, las puntas captadoras, los mástiles y los cables deben estar dispuestos de tal manera que todas las partes o piezas de la edificación que se pretende proteger se encuentren dentro del volumen de protección de la instalación captadora.

La zona protegida puede tener "forma de cono" o



Fig. 5.1.1.17: Protección contra descargas directas de rayo de estructuras pequeñas sobre cubierta mediante puntas captadoras.



Fig. 5.1.1.18: Tejado a dos aguas con soportes para conductor.



Fig. 5.1.1.19: Tejado plano con puntas captadoras y soportes de conductor: Protección de lucernarios.

bien "forma de tienda" al tender un cable (Figuras 5.1.1.13 hasta 5.1.1.15).

Si se instalan puntas captadoras sobre la superficie del tejado para protección de estructuras situadas sobre el mismo, el ángulo de protección "alfa" puede ser distinto. En la **figura 5.1.1.16** la superficie de referencia para el ángulo de protección "alfa1" es la superficie del tejado. El ángulo de protección "alfa2" tiene como superficie de referencia el suelo, y de este modo el ángulo "alfa2" según **figura 5.1.1.12** y según la **tabla 5.1.1.4** es más pequeño que "alfa1".

En la **tabla 5.1.1.4** puede consultarse el ángulo de protección para cada el nivel de protección y la distancia correspondiente (margen de protección).

Método del ángulo de protección para sistemas de protección aislados en estructuras sobre cubierta

Las estructuras que con frecuencia se construyen posteriormente sobre cubierta y sobresalen de las zonas de protección, pueden suponer un problema adicional.

Si en estas estructuras hay instalados, además, sistemas eléctricos o electrónicos, como p. ej. equipos de aire acondicionado, antenas, sistemas de medida o cámaras de televisión, es necesaria la adopción de medidas de protección complementarias.

Si este equipamiento se conectara directamente al sistema de protección contra rayos, en caso de una descarga directa, corrientes parciales de rayo penetrarían en el edificio. Esto puede producir la destrucción de equipamiento sensible a las sobretensiones. Mediante la instalación de sistemas de protección aislados se evitan las descargas directas de rayo en estas estructuras que sobresalen de la cubierta.

Las puntas captadoras de la **figura 5.1.1.17** son adecuadas para la protección de estructuras de tejado de menores dimensiones (con equipamiento eléctrico).

Estas puntas dibujan una zona de protección en forma "cónica" e impiden una descarga directa de rayo sobre la estructura del tejado.

La distancia de separación s debe tenerse en cuenta al dimensionar la altura de las puntas captadoras (Ver capítulo 5.6).

Instalaciones captadoras aisladas y no aisladas

Al realizar la protección externa contra rayos de un edificio se diferencia entre dos tipos de instalaciones captadoras:

- ⇒ Aisladas.
- ⇒ No aisladas.

Las dos formas de ejecución pueden combinarse entre sí.

La instalación captadora de un sistema de protección contra el rayo no aislado puede llevarse a cabo de diferentes formas:

Si el tejado está realizado de material no combustible, los conductores de la instalación captadora pueden tenderse sobre la superficie de la cubierta (p. ej. tejado a dos aguas o cubierta plana) Por lo general se utilizan materiales de construcción no combustibles. Los componentes de la protección externa contra rayos pueden instalarse directamente sobre la estructura (Figuras 5.1.1.18 y 5.1.1.19).

Si el tejado está realizado con materiales fácilmente combustibles como p. ej. tejados de paja, la distancia entre partes combustibles del tejado y los elementos de la instalación captadora formada por puntas captadoras, conductores captadores y mallas captadoras no puede ser inferior a 0,4 m.

Las partes de la instalación a proteger que sean fácilmente inflamables no deben estar en contacto directo con elementos del sistema de protección externo contra rayos. Tampoco deben situarse bajo una cubierta de tejado que pueda ser perforada en caso de descarga directa de rayo (Ver capítulo 5.1.5 Tejados de paja).

En caso de instalaciones captadoras **aisladas**, la totalidad de la estructura está protegida contra descargas directas mediante puntas captadoras, mástiles o mástiles con tendido de cables. Los elementos de protección tienen que instalarse teniendo muy en cuenta la distancia de separación s respecto al edificio. (Figuras 5.1.1.20 y 5.1.1.21).

La distancia de separación s entre los dispositivos de protección y la estructura a proteger debe ser respetada.

Las instalaciones captadoras aisladas de la estructura a proteger se utilizan con frecuencia en caso de que existan materiales combustibles sobre el tejado (p. ej. paja) o también en caso de instalaciones Ex (p.ej. depósitos de combustibles).

Ver también el capítulo 5.1.5: "Instalaciones captadoras para tejados de paja".

Otra posibilidad de diseñar sistemas de protección aislados consiste en fijar los elementos captadores (puntas captadoras, conductores o cables) al objeto

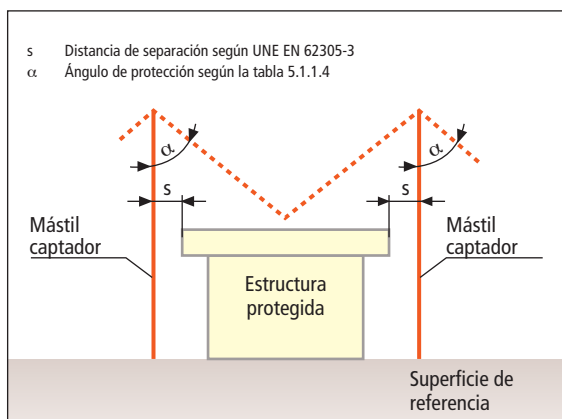


Fig.5.1.1.20: Sistema de protección externa contra rayos aislado con dos mástiles captadores separados de acuerdo con el procedimiento de ángulo de protección: Proyección sobre una superficie vertical.

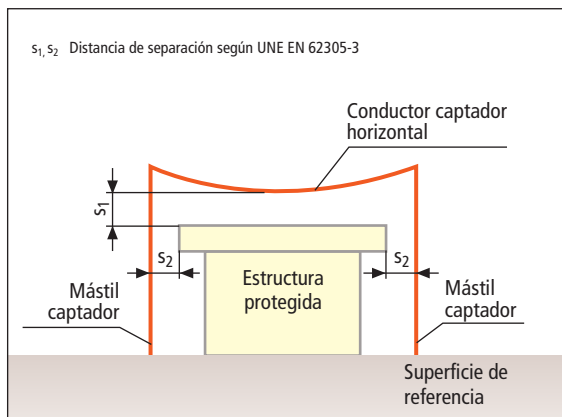


Fig. 5.1.1.21: Sistema de protección externa contra rayos aislado, compuesto por dos mástiles captadores separados, unidos entre sí con un conductor horizontal captador: Proyección sobre una superficie vertical mediante dos mástiles (alzado).

que se pretende proteger con materiales aislados eléctricamente como p. ej. GRP (plástico reforzado con fibra de vidrio).

Esta forma de aislamiento puede utilizarse en espacios limitados o puede aplicarse para todas las partes de la instalación. Con frecuencia se emplea para proteger estructuras situadas sobre cubierta, como instalaciones de ventilación o de refrigeración, que están conectadas eléctricamente con el interior del edificio (Ver también capítulo 5.1.8).

Nivel de protección del SPCR	Material	Espesor ^{a t} mm	Espesor ^{b t'} mm
I hasta IV	Plomo	-	2.0
	Acero (inox., galvanizado)	4	0.5
	Titanio	4	0.5
	Cobre	5	0.5
	Aluminio	7	0.65
	Cinc	-	0.7
^{a t} Impide perforaciones, sobrecalentamiento e inflamación ^{b t'} Sólo para chapas metálicas, cuando no sea importante impedir la perforación, el sobrecalentamiento y la inflamación			

Tabla 5.1.1.5: Espesor mínimo de chapas metálicas.

Componentes naturales de las instalaciones captadoras

Se pueden utilizar partes o piezas metálicas de la construcción, como p. ej. canalones de lluvia, petos, barandillas o revestimientos, como elementos naturales de una instalación captadora de protección contra rayos.

Si un edificio tiene un armazón metálico de acero, una cubierta metálica y una fachada con materiales conductores, estos elementos, bajo determinadas condiciones, pueden utilizarse como parte integrante del sistema de protección externa contra rayos.

Los revestimientos realizados con chapas metálicas en fachada o en cubierta del edificio a proteger, pueden utilizarse si la conexión eléctrica entre los diferentes tramos de revestimiento está realizada de forma segura. Estas conexiones eléctricas pueden llevarse a cabo p. ej. mediante abrazaderas, soldadura, compresión, tornillos o pernos.

Si no hay conexión eléctrica, estos elementos deben conectarse expresamente mediante latiguillos de empalme o cables de puenteo.

Si el grosor de la chapa no es inferior al valor t' en la **tabla 5.1.1.5**, y no es necesario tener en cuenta la posibilidad de fusión de las chapas en el punto de impacto del rayo, o la inflamación de material combustible bajo la cubierta, dichas chapas pueden utilizarse como elementos captadores.

El espesor de los materiales requerido no varía en función de los niveles de protección.

Sin embargo, si fuera necesario adoptar medidas para impedir la fusión o calentamientos indebidos en el punto de descarga, el espesor de las chapas de metal no debe ser inferior al valor t en la **tabla 5.1.1.5**.

Por lo general, estos grosores exigidos para los materiales, no pueden cumplirse, p. ej. en el caso de tejados metálicos.

En el caso de tuberías o depósitos sí existe la posibilidad de cumplir estos grosores mínimos (espesor de las paredes). Sin embargo, si el aumento de temperatura (calentamiento) que se produce en la parte interior de las tuberías o de los depósitos pudiera ser peligroso para los medios contenidos en ellos (riesgo de incendio o de explosión) estos elementos no deben ser utilizados como captadores (Ver también al respecto el capítulo 5.1.4).

Si las exigencias de los correspondientes espesores mínimos no se cumplen, estos elementos, p. ej. tuberías o depósitos, deben quedar incluidos en una zona protegida contra descargas directas de rayo.

Un ligero recubrimiento de pintura, 1 mm de pintura bituminosa, o 0,5 mm de PVC no se considera como aislamiento adecuado en caso de descarga directa de rayo. Dichos revestimientos se perforan como consecuencia de la alta energía que se origina durante una descarga directa de rayo.

En caso de usar componentes naturales para las derivaciones, no deben existir recubrimientos en los puntos de conexión.

Si se encuentran elementos conductores en la superficie del tejado, éstos pueden utilizarse como elementos captadores naturales, siempre que no exista una conexión conductora con el interior del edificio.

En este caso, p. ej. tuberías o conductores eléctricos, podrían penetrar corrientes parciales de rayo en el interior del edificio y dañar, o incluso destruir instalaciones y dispositivos eléctricos/electrónicos sensibles.

Para evitar esta situación, se deben instalar sistemas captadores aislados.

El dimensionado de los sistemas captadores aislados puede efectuarse de acuerdo con el método de la esfera rodante o según el método del ángulo de protección. Una instalación captadora con un reticulado de malla definido conforme con el correspondiente nivel de protección, puede construirse cuando toda la



Fig. 5.1.2.1: Instalación captadora sobre tejado a dos aguas.

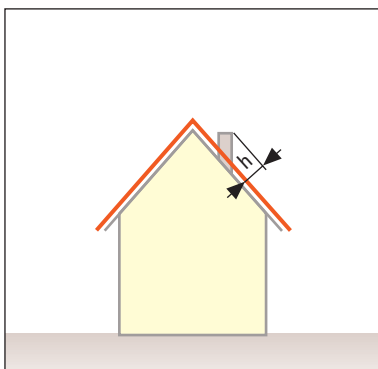


Fig. 5.1.2.2: Altura de una estructura sobre el tejado realizada en material no conductor (p. ej. PVC), $h \leq 0.5 \text{ m}$.



Fig. 5.1.2.3: Elementos captadores adicionales para tuberías de ventilación.

instalación está aislada (elevada) de la estructura a proteger a la distancia de separación s requerida.

En el capítulo 5.1.8 se describe un sistema universal de componentes para la realización de instalaciones captadoras aisladas.

5.1.2 Instalación captadora para edificios con tejados a dos aguas

Con el concepto de “instalación captadora” se entiende la totalidad de los componentes metálicos, p. ej. conductores captadores, puntas captadoras, soportes, clemas, etc.

Los puntos más expuestos a descargas de rayo, como son esquinas de tejados, chimeneas, caballetes y aristas, cantos de frontispicios, aleros, balastradas, antenas y cualquier otro elemento constructivo que sobresalga en cubierta, deben protegerse con dispositivos captadores.

Por lo regular, en tejados a dos aguas la instalación captadora en forma de malla se dispone sobre la superficie del tejado, con el nivel de protección correspondiente (p. ej. reticulado de malla de 15 m x 15 m para el nivel de protección III). (Figura 5.1.2.1).

La situación de las mallas se define tomando en consideración el caballete y los bordes exteriores, así como los componentes metálicos que sirven como elementos captadores. Los conductores captadores situados en los bordes exteriores del edificio deben tenderse tan cerca de los bordes como sea posible.

Para cerrar la “malla” de la instalación captadora tendida sobre la superficie del tejado suele utilizarse, por

lo general, el canalón del tejado. Partiendo del supuesto de que el canalón del tejado es conductor, en el punto donde se cruzan el sistema captador con el canalón del tejado se utiliza una borna de unión.

Las estructuras de tejado de material **no conductor**, (p. ej. tuberías de ventilación de PVC) se consideran protegidas si no sobresalen más de 0,5 m del plano de la malla (Figura 5.1.2.2).

Si sobresale más de 0,5 m, dicha estructura debe equiparse con un elemento captador (p. ej. punta captadora) y éste, a su vez, debe conectarse con el conductor captador más próximo. Una forma de hacerlo es usar una varilla de diámetro 8 mm con una longitud libre máxima de 0,5 m, tal y como se refleja en la **figura 5.1.2.3**.

Las estructuras metálicas situadas sobre el tejado, sin conexión conductora con el interior de la estructura a proteger, no necesitan conectarse a la instalación captadora si se dan los tres requisitos siguientes:

- ⇒ Sobresalir, como máximo, 0,3 m del nivel del tejado.
- ⇒ Tener una superficie máxima encerrada de 1 m² (p.ej. ventanas de tejado).
- ⇒ Tener como máximo, de 2 metros de largo (p. ej. cubiertas de chapa).

Solamente en el caso de que se cumplan las tres condiciones citadas podrá prescindirse de la conexión.

Además, con las condiciones arriba enunciadas, hay que respetar la distancia de separación en relación con la instalación captadora y derivadora (Figura 5.1.2.4).



Fig. 5.1.2.4: Edificio con una instalación fotovoltaica.
Fuente: Blitzschutz Wettingfeld, Krefeld.



Fig. 5.1.2.5: Antena con punta captadora.
Fuente: Oberösterreichischer Blitzschutz, Linz.

Para proteger las chimeneas, los elementos captadores deben instalarse de tal manera que toda la chimenea se encuentre dentro de la zona de protección. Para el cálculo de las puntas captadoras se aplicará el método del ángulo de protección.

Si la chimenea está hecha con ladrillos o con material prefabricado, la punta captadora puede instalarse directamente sobre la misma.

Si en el interior de la chimenea hay un tubo metálico (p. ej. en caso de restauración de edificios antiguos), tiene que respetarse la distancia de separación respecto a este elemento conductor. Este es un ejemplo en el que se usan sistemas captadores aislados y las puntas captadoras se sustentarán mediante distanciadores aislantes. El tubo metálico se conectará al sistema equipotencial general. La protección de antenas parabólicas se efectúa de manera similar a la de las chimeneas con tubo metálico interior.

En caso de descarga directa de rayo en antenas, corrientes parciales de rayo pueden penetrar en el interior del edificio que se desea proteger a través del blindaje de los conductores coaxiales y ocasionar daños en los equipos e interferencias en el funcionamiento de los mismos. Para evitarlo, las antenas se protegen con elementos captadores aislados (p. ej. con puntas captadoras) (**Figura 5.1.2.5**).

Los elementos captadores situados sobre el caballete determinan una zona de protección con vertientes angulares (de acuerdo con el procedimiento de ángulo de protección). El ángulo depende de la altura sobre el nivel de referencia (p. ej. superficie del terreno) y del nivel de protección elegido.

5.1.3 Instalación captadora para edificios con cubierta plana

En edificios con cubierta plana (**Figuras 5.1.3.1 y 5.1.3.2**) se aplica el método de mallas para el dimensionado de la instalación captadora. Se coloca una instalación captadora sobre la cubierta formando mallas, con un reticulado que se determina en función del nivel de protección elegido (**Tabla 5.1.1.3**).

La **figura 5.1.3.3** reproduce una aplicación práctica de instalación captadora mallada en combinación con puntas captadoras para la protección de elementos situados sobre el tejado, como son por ej. lucernarios, módulos fotovoltaicos o equipos de aire acondicionado.

El capítulo 5.1.8 muestra como deben tratarse estas estructuras situadas sobre cubierta.

Los soportes de conductor para tejados planos se colocan dejando una distancia entre sí de aproximadamente 1 metro. Los conductores captadores se conectan con el peto como elemento natural de la instalación captadora. Al cambiar la temperatura, también lo hace la longitud de los materiales utilizados en los petos, y por tanto los distintos segmentos de los mismos se equipan con piezas de dilatación.

Si se utiliza el peto como elemento captador, estos distintos segmentos tienen que estar unidos entre sí eléctricamente, sin que ello dificulte su capacidad de dilatación. Esto puede realizarse con ayuda de bandas de puenteo, cables o latiguillos de empalme (**Figura 5.1.3.4**).

Los cambios de longitud debidos a las variaciones de

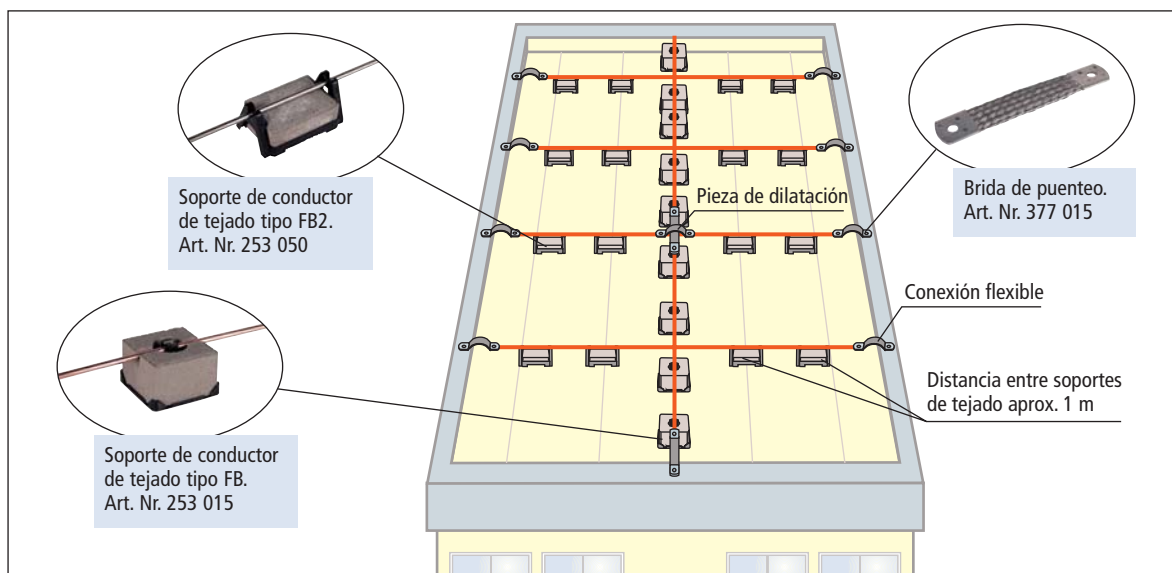


Fig. 5.1.3.1: Instalación captadora.



Fig. 5.1.3.2: Instalación captadora sobre tejado plano.



Fig. 5.1.3.3: Uso de puntas captadoras.



Fig. 5.1.3.4: Brida de puenteo.

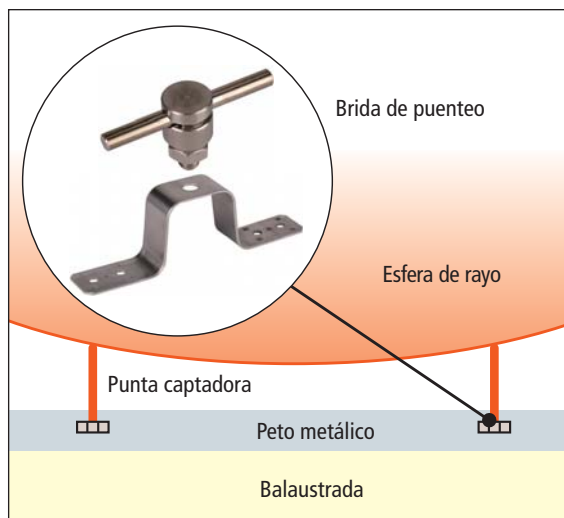


Fig. 5.1.3.5: Ejemplo de protección para un peto metálico cuando pueda producirse la fusión del material (Vista frontal).

temperatura hay que tenerlos en cuenta también en el caso de los conductores captadores y en el caso de las derivaciones (Ver capítulo 5.4).

Una descarga de rayo en el peto puede producir la fusión de los materiales utilizados en el mismo. Si esta circunstancia no puede asumirse, será necesario instalar un elemento captador suplementario, por ejem-

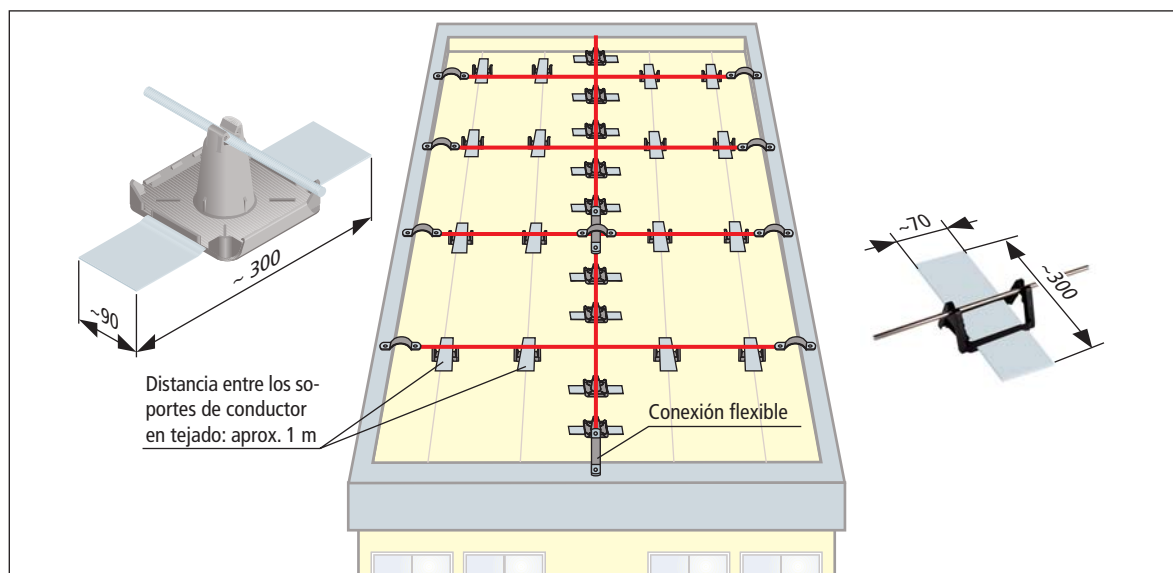


Fig. 5.1.3.6: Bandas para tejado plano sintético. Soporte de conductor de tejado tipo KF/KF2.

plo puntas captadoras, posicionadas de acuerdo con el método de la esfera rodante (Figura 5.1.3.5).

Soportes de conductor para tejados planos soldados homogéneamente

Como consecuencia de la acción del viento, el recubrimiento del tejado, si sólo está fijado mecánicamente o sustentado por su propio peso, puede moverse en sentido horizontal. Para que los soportes de conductores de la instalación captadora no se desplacen sobre la superficie lisa del tejado, es necesario asegurar la fijación de los conductores captadores sobre dicha superficie. Los soportes convencionales para conductores de tejado no pueden pegarse, de forma duradera, sobre el recubrimiento de tejado, ya que por lo general los pegamentos utilizados no son compatibles con el recubrimiento de las cubiertas.

Una forma sencilla y segura de asegurar la fijación, es utilizar soportes de conductores de tejado tipo KF en combinación con tiras (cortar las tiras a medida) del mismo material que el utilizado para el recubrimiento del tejado. La tira se fija al soporte de plástico y se suelda por los dos lados sobre la cubierta. El soporte y la tira deben posicionarse inmediatamente al lado de una junta de la cubierta a una distancia de aproximadamente 1 m. Las tiras se sueldan con el recubrimiento del tejado de acuerdo con las indicaciones proporcionadas por el fabricante del mismo. De este

modo, se evita que los conductores captadores se desplacen por el tejados. En caso de que el tejado tenga una inclinación de 5°, cada soporte debe tener su correspondiente elemento de fijación.

En caso de recubrimiento de tejado sintético fijado mecánicamente, los soportes de los conductores de tejado deben disponerse inmediatamente al lado de la fijación mecánica.

Hay que tener muy en cuenta que los trabajos de soldadura y pegado pueden afectar negativamente a la garantía proporcionada por el instalador de la cubierta.

Por lo tanto, este tipo de trabajos debe llevarlos a cabo el instalador de la cubierta o, en todo caso, de acuerdo con él (Figura 5.1.3.6).

5.1.4 Instalación captadora sobre cubiertas metálicas

Los modernos edificios industriales y comerciales, con mucha frecuencia, tienen tejados y fachadas de metal. Las chapas o las placas metálicas de los tejados suelen tener un espesor de 0,7 – 1,2 mm.

La figura 5.1.4.1 muestra un ejemplo de la forma de construcción de un tejado metálico.

Cuando se produce una descarga directa de rayo sobre la cubierta, puede producirse su perforación



Fig. 5.1.4.1: Tipos de tejados metálicos, p. ej. tejado con junta redondeada.



Fig. 5.1.4.2: Ejemplo de daños: cubierta de chapa.

como consecuencia de la fusión y la vaporización en el punto de la descarga del rayo. El tamaño del agujero depende de la energía del impacto de rayo y de

Apropiado para todos los niveles de protección contra rayos	
Distancia de los conductores horizontales	Altura de la punta captadora*)
3 m	0.15 m
4 m	0.25 m
5 m	0.35 m
6 m	0.45 m
* Valores recomendados	

Tabla 5.1.4.1: Protección contra rayos para tejados metálicos. Altura de las puntas captadoras.

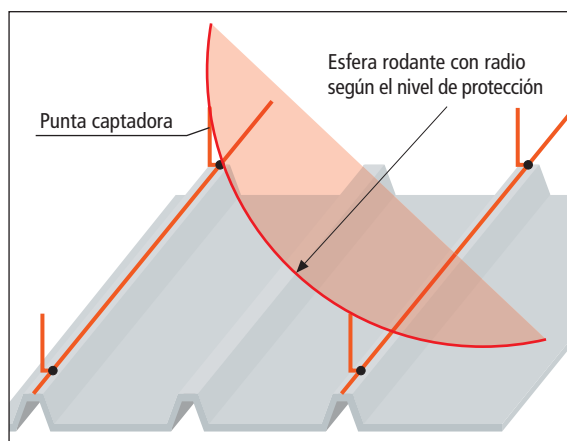


Fig. 5.1.4.3 Instalación captadora en tejado metálico. Protección contra perforaciones.

las propiedades del material (p. ej. espesor del mismo). El mayor problema que se da en estos casos, son los daños derivados, p. ej. goteras. Pueden pasar días e incluso semanas hasta que se adviertan estos daños. El aislamiento del tejado se humedece y el techo pierde su estanqueidad.

Un ejemplo de daños, que fue evaluado por el Servicio de Información sobre Rayos de Siemens (BLIDS – Blitz Informations Dienst von Siemens), muestra esta problemática. (Figura 5.1.4.2) Una corriente de aproximadamente 20.000 A descargó sobre la cubierta de chapa e hizo un agujero (Figura 5.1.4.2: Detalle A). Como la cubierta de chapa no estaba puesta a tierra, en la zona de la cornisa se produjeron saltos de chispas hacia partes metálicas naturales de la pared (Figura 5.1.4.2: Detalle B), lo que a su vez ocasionó que se hiciera otro agujero.

Para evitar estos tipos de daños, incluso en el caso de tejados metálicos finos, hay que instalar un sistema adecuado de protección externa contra el rayo, con cables y bornas capaces de soportar la corriente del mismo.

La norma de protección contra rayos UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) hace referencia expresa al riesgo de daños en tejados metálicos. Cuando sea necesario instalar una protección externa contra rayos, las chapas de metal tienen que tener los valores mínimos fijados en la tabla 5.1.1.5.

Los espesores t no son relevantes para las cubiertas de tejado. Si las chapas de metal tienen un espesor t' suficiente para soportar la perforación y fusión de la misma como consecuencia del sobrecalentamiento que puedan sufrir al producirse una descarga de rayo, pueden utilizarse como elementos captadores naturales.

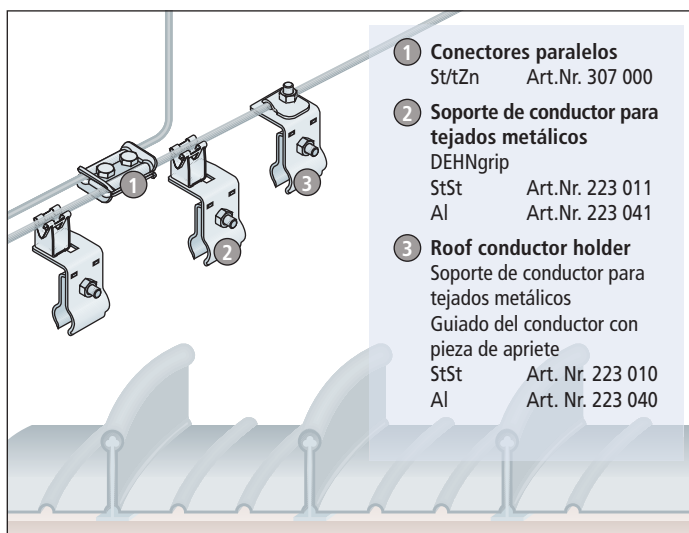


Fig. 5.1.4.4a: Soporte de conductores para tejado metálico - Tejado con junta redonda.

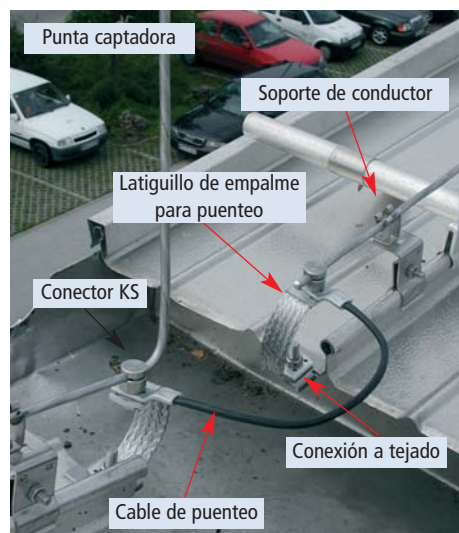


Fig. 5.1.4.4b: Soporte de conductores para tejado metálico - Tejado con junta redonda.

En estos casos, el propietario del edificio debe conocer y dar su conformidad a esta circunstancia puesto que el tejado no ofrece ya total garantía en términos de estanqueidad.

Si el propietario no está dispuesto a asumir el riesgo de sufrir este tipo de daños en el tejado como consecuencia de una descarga de rayo, habrá que instalar el correspondiente sistema de protección. La instalación captadora debe dimensionarse a partir del sistema de la esfera rodante (de radio r según el nivel de protección elegido) (Figura 5.1.4.3).

Para el montaje de la instalación captadora se reco-

mienda realizar una especie de "erizo" con conductores longitudinales y puntas captadoras.

En la práctica, con independencia del nivel de protección, se han usado y probado las alturas de las puntas captadoras según la **tabla 5.1.4.1**.

Es importante señalar que para sujetar y fijar los conductores y puntas captadoras sobre tejados metálicos, éstos no deben taladrarse. Para las distintas variantes de tejados metálicos (junta redonda, con nervio, trapezoidal) se dispone del correspondiente soporte. En la **figura 5.1.4.4a** se reproduce un posible diseño para un tejado metálico con junta redonda.



Fig. 5.1.4.5: Modelo de estructura de un tejado de chapa trapezoidal. Soporte de conductor con pieza de apriete.



Fig. 5.1.4.6: Modelo de estructura de tejado con junta redonda.



Fig. 5.1.4.7: Punta captadora para un lucernario en un tejado con junta redonda.

Hay que tener muy en cuenta que, al instalar los conductores, el soporte situado en la parte más alta del tejado, tiene que estar realizado con un guiado fijo del conductor, mientras que los restantes soportes de conductores deben estar realizados en ejecución suelta, debido a la compensación de longitud condicionada por la temperatura (Figura 5.1.4.4b).

El soporte con guiado fijo del conductor está reflejado en la figura 5.1.4.5 con el ejemplo de un tejado de chapa trapezoidal.

En la figura 5.1.4.5, además del soporte de conductor, se ha reproducido una punta captadora. El soporte de conductor tiene que sujetarse en el tornillo de fijación por encima de la arandela de estanqueidad para evitar la penetración de agua.

En la figura 5.1.4.6 se reproduce el guiado libre del conductor, con el ejemplo de un tejado con junta en forma de nervio.

También en la figura 5.1.4.6 se ha reproducido la conexión, capaz de soportar corriente de rayo, con la chapa en junta nervada en la zona del borde del tejado.

Los dispositivos no protegidos, que sobresalen del tejado, como p. ej. lucernarios y chimeneas, son puntos expuestos al riesgo de descargas de rayo, que deben protegerse instalando puntas captadoras jun-

to a los mismos. La altura de la punta captadora se calcula en base al ángulo de protección "alfa".

5.1.5 Instalación captadora en edificios con cubiertas de paja

Para realizar el dimensionado de un sistema de protección externo contra rayos con este tipo de cubierta, se suele utilizar un nivel III pues cumple, por lo general, las exigencias para un edificio de este tipo. En algunos casos especiales puede efectuarse un análisis de riesgos en base a la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2).

Los conductores de la instalación captadora emplazados sobre este tipo de tejados (de paja, cañizo o juncos) deben tenderse sobre soportes aislantes con libertad de movimiento. Deben respetarse determinadas distancias respecto de los aleros.

En el caso de que se lleve a cabo un sistema de protección contra rayos sobre el tejado hay que aumentar las distancias de seguridad, de manera que en caso de instalación de una nueva cubierta puedan cumplirse en cualquier caso las distancias mínimas exigidas. El valor típico para la distancia entre derivadores es de 15 metros en el nivel de protección III.

La distancia exacta entre derivadores se obtiene en base al cálculo de la distancia de separación "s" según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3).

En el capítulo 5.6 se expone el método de cálculo de la distancia de separación.

En el caso de conductores situados en caballetes de tejado, deben considerarse vanos de hasta aprox. 15 m. y en el caso de conductores para bajantes o derivadores, vanos de hasta aproximadamente 10 m. sin apoyos adicionales.

Los mástiles de apoyo tienen que estar fijados al tejado (vigas y travesaños) con arandelas y bulones de sujeción (Figuras 5.1.5.1 hasta 5.1.5.3).

Si en la superficie del tejado se encuentran piezas metálicas (p. ej. veletas, antenas, chapas metálicas, escaleri-

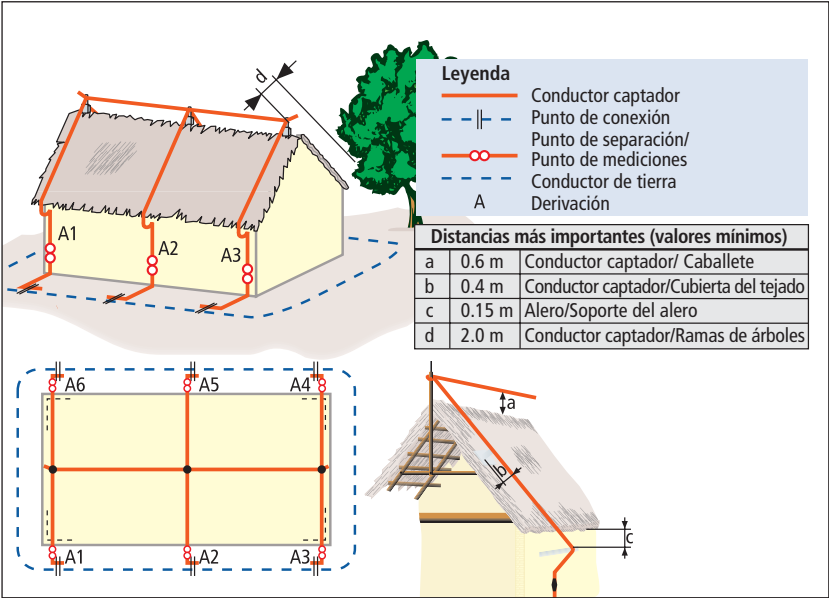


Fig. 5.1.5.1: Instalación captadora para edificios con cubiertas de paja.

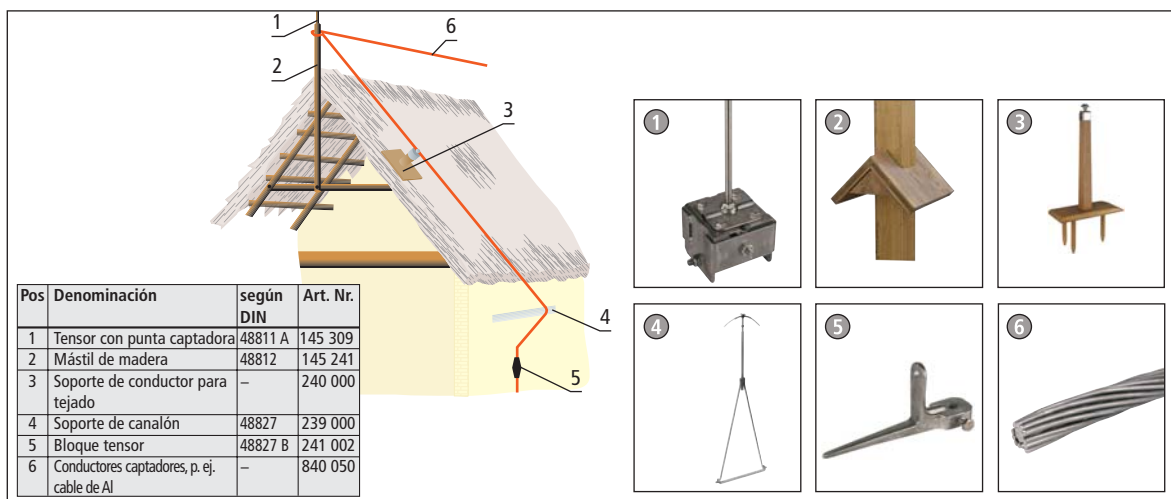


Fig. 5.1.5.2: Componentes para tejados de paja.

llas...), estos elementos deben quedar completamente dentro del volumen de protección que aporte el correspondiente sistema de protección aislado.

En estos casos, sólo se consigue una protección efectiva contra rayos utilizando un sistema de protección aislado con puntas captadoras ubicadas cerca del edificio, o con conductores captadores o mástiles interconectados junto al mismo.

Si un tejado de paja limita con una cubierta de metal, y se pretende instalar en el edificio una protección externa contra rayos, se debe introducir una placa no conductora, por ejemplo de plástico, de 1 metro de ancho como mínimo entre el tejado de paja y el otro tejado.

Las ramas de los árboles próximos deben mantenerse, como mínimo, a una distancia de 2 metros del tejado de paja. Si hay árboles situados muy cerca del edificio, y lo sobrepasan en altura, entonces en el borde de la edificación cercana a los árboles (borde del canalón, frontispicio) hay que instalar un conductor captador que deberá, a su vez, conectarse con la instalación de protección contra rayos del edificio, prestando debida atención a las distancias necesarias requeridas.



Fig. 5.1.5.3: Tejado de brezo.

Otra posibilidad para proteger edificios con tejados de paja contra descargas de rayo, es la de instalar mástiles captadores calculados de tal manera que todo el edificio quede dentro de la zona de protección.

Consultar al respecto el capítulo 5.1.8 sobre instalaciones captadoras aisladas (Mástiles de protección telescópicos).

Una nueva posibilidad, arquitectónica y estéticamente interesante es utilizar conductores aislados como derivadores.

En la **figura 5.1.5.4** puede verse un ejemplo de instalación de bajantes con conductores aislados: Reforma de un tejado en una granja histórica en la Baja Sajonia.

En España, la instalación o no de un sistema de pro-



Fig. 5.1.5.4: Granja histórica con protección externa contra rayos. (Fuente: Hans Tormählen GMBH & Co K.G.).

tección externo contra el rayo viene determina por la ley. Así, el Código Técnico de la Edificación establece

en que casos se debe instalar dicho sistema de acuerdo con una serie de parámetros definidos en el mismo. Fuera de esas situaciones, es decisión del propietario del edificio o instalación disponer o no de las correspondientes medidas de protección. Obviamente la adopción de estas medidas es más que recomendable en el caso de edificios o estructuras que, por su situación, tipo de construcción o uso son particularmente susceptibles de recibir descargas directas de rayo, o en los que dicha descarga pueda tener graves consecuencias, por pérdidas irreparables, continuidad de servicio o coste de reparación o reposición de los equipos que puedan verse afectados.

Teniendo en cuenta el incremento de casos de daños causados por descargas de rayo y sobretensiones, las Compañías de Seguros, al firmar o ampliar un contrato de seguro, exigen la adopción de medidas para la protección contra rayos y sobretensiones. La base de cálculo para la evaluación del riesgo es un análisis de riesgos según la norma UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2).

Para la granja histórica anteriormente mencionada, el sistema de protección contra rayos a instalar debe tener el nivel de pro-

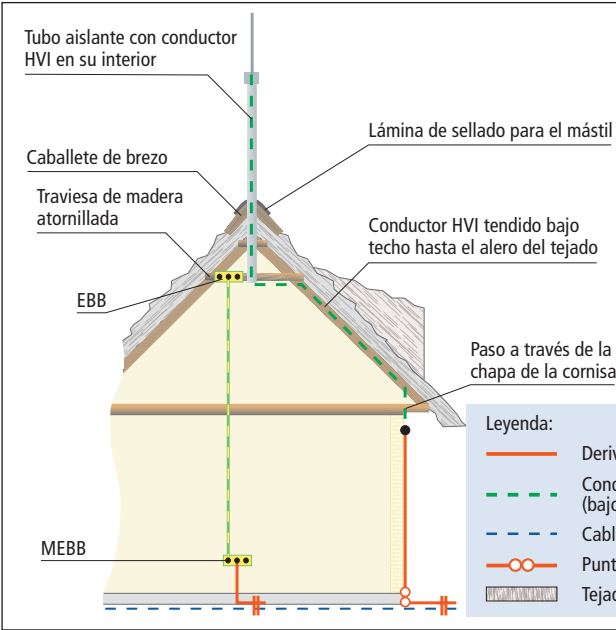
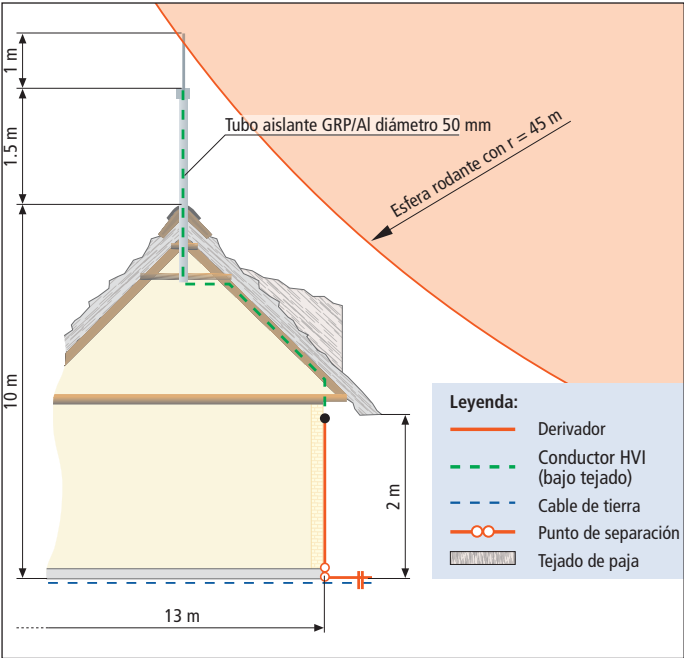




Fig. 5.1.5.7: Conductor HVI guiado por la cornisa.

tección III. Esto se corresponde con las exigencias contenidas en las normas para edificios con cubierta de paja UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3).

El objeto tiene un caballete de brezo que, para protegerlo contra daños causados por los pájaros, está cubierto por una malla de plástico.

Para planificar la instalación captadora hay que determinar, en primer lugar, las zonas a proteger, lo que se realiza por el procedimiento de la esfera rodante. De acuerdo con la normativa, en el nivel de protección III, debía aplicarse un radio de 45 metros. Según esto, se calculó una altura de la punta captadora de 2,30 m, con lo que quedaban incluidas en la zona protegida contra descargas de rayo las dos chimeneas situadas en el tejado, así como los tres nuevos salientes situados en un lado del mismo (Figura 5.1.5.5).

Se eligió instalar un tubo aislante (plástico reforzado con fibra de vidrio) para elevar la punta captadora a una altura suficiente y sujetar el sistema de derivadores aislados. Para garantizar la estabilidad mecánica del tubo, su parte inferior está hecha de aluminio. La presencia de elementos metálicos cercanos podía originar chispas indeseadas. Para evitarlo, es necesario asegurarse de que en un área de 1 metro alrededor del dispositivo captador no haya elementos puestos a tierra ni equipos eléctricos.

El aislamiento eléctrico entre la instalación captadora y los derivadores por una parte y las instalaciones metálicas y los equipos de energía eléctrica e informática por otra, dentro de la instalación del edificio o estructura a proteger, puede lograrse asegurando una distancia de separación "s" entre las distintas

partes conductoras. Esta distancia de separación se determina según lo dispuesto en la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3). El conductor HVI aislado está desarrollado de tal manera que aporta una distancia de separación equivalente en el aire de $s = 0,75 \text{ m}$, o $s = 1,50 \text{ m}$ en caso de materiales sólidos. La disposición del derivador está representada en la figura 5.1.5.6.

El conductor HVI se instala en el interior del tubo aislante. La instalación del conductor HVI requiere su conexión a una barra equipotencial de toma de tierra. La equipotencialidad se lleva a cabo mediante un conductor flexible H0V-K $1 \times 16 \text{ mm}^2$. El tubo aislante se sujetó a una construcción especial (travesía de madera), y los derivadores, en su posterior recorrido, se fijaron a lo largo de las vigas de sustentación del tejado (Figura 5.1.5.6).

En el alero del tejado los conductores HVI se guiaron a través de la chapa de la cornisa. (Figura 5.1.5.7).

Por razones arquitectónicas, el posterior tendido de los derivadores se efectuó en aluminio. El paso del conductor HVI a los derivadores no aislados en las proximidades de la instalación de toma de tierra se efectuó, como en toda la instalación, teniendo en cuenta las instrucciones de montaje del sistema DEHNconductor. Aquí no fue necesario utilizar una unidad de sellado.

5.1.6 Cubiertas transitables por personas y vehículos

Sobre cubiertas transitables no se pueden tender conductores captadores (p. ej. con soportes de hormigón). Una posible solución es disponerlos en el interior del hormigón o en las juntas de dilatación del pavimento. En este caso, en los puntos de intersección de la malla se instalarán cabezas tipo hongo que hacen el efecto de las puntas captadoras.

Las dimensiones de malla no pueden sobrepasar los valores del nivel de protección correspondiente (Ver capítulo 5.1.1- Tabla 5.1.1.3).

Si se garantiza que en estas superficies no va a haber tránsito de personas durante una tormenta, es suficiente con adoptar las medidas de protección que se acaban de enunciar.

En todo caso, se debe informar a las personas que puedan acceder a la cubierta donde está el aparcamiento, mediante los correspondientes avisos, de que la cubierta debe desalojarse inmediatamente en caso de tormenta y que no se debe acceder a la misma en estas circunstancias. (Figura 5.1.6.1).

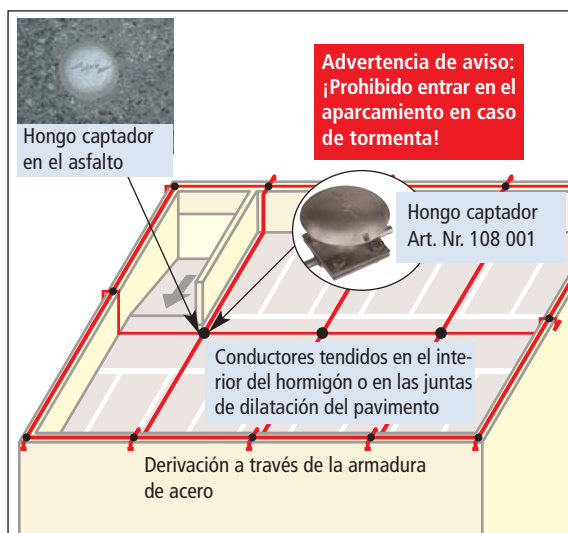


Fig. 5.1.6.1: Protección contra rayos de aparcamientos en cubierta – Protección del edificio.

Si, por el contrario, es previsible que, durante una tormenta puedan encontrarse personas en la superficie del tejado, los dispositivos captadores deben proyectarse a una altura de 2,5 m. (con los brazos extendidos) de tal manera que queden protegidas contra descargas directas de rayo.

La instalación captadora, según el nivel de protección, puede dimensionarse, por el método de la esfera rodante o por el del ángulo de protección (Figura 5.1.6.2).

La instalación captadora puede realizarse mediante puntas captadoras o con cables tensados. Las puntas captadoras se fijarán, por ejemplo, a elementos de la construcción como son parapetos, balaustradas o similares.

Por otra parte, para la protección de personas, también se pueden utilizar otros elementos como, por ejemplo, postes de alumbrado. En estos casos, sin embargo, deben tenerse muy en cuenta las corrientes parciales de rayo que pueden acceder al interior de la construcción a través de los cables de energía. Para estos conductores es imprescindible realizar medidas de conexión equipotencial contra rayos.

5.1.7 Instalación captadora para cubiertas ajardinadas y planas

Tanto desde un punto de vista económico como ecológico, las cubiertas ajardinadas cobran sentido. Las

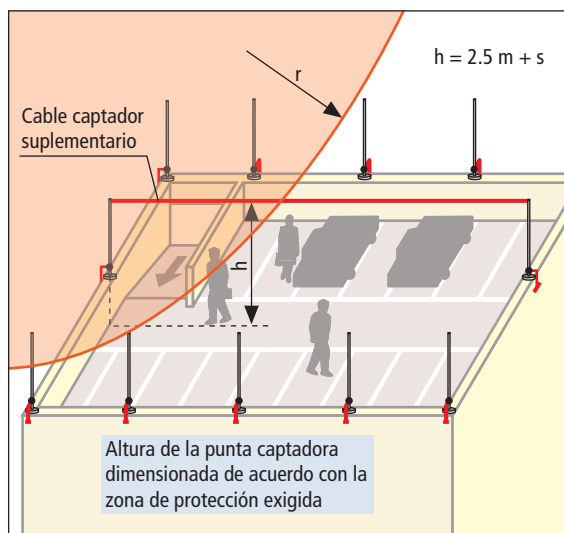


Fig. 5.1.6.2: Protección contra rayos de aparcamientos en cubierta – Protección de las personas y del edificio (UNE EN 62305-3); Anexo E.

razones que lo justificarían son: aislamiento del ruido, protección de la superficie del tejado, eliminación de polvo en el ambiente, aislamiento térmico adicional, filtrado y retención del agua de lluvia y mejora natural del ambiente de la vivienda y del lugar de trabajo. Se diferencia entre las denominadas cubiertas ajardinadas extensivas e intensivas. Las cubiertas extensivas no requieren muchos cuidados, contrariamente a lo que sucede en el caso de las cubiertas ajardinadas intensivas, que requieren trabajos y cuidados, como son riego, poda, y abono. Las cubiertas ajardinadas requieren un sustrato de tierra o un granulado sobre el tejado.

Si no se cuenta con un sistema de protección externa contra rayos, la impermeabilización de la cubierta puede quedar dañada en el punto de descarga de rayo.

La práctica nos demuestra que, independientemente del tipo de cuidados necesarios, se puede y se debe instalar un sistema de protección externa contra rayos en la superficie ajardinada en una cubierta.

La norma de protección contra rayos UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3), en caso de una instalación captadora en forma de malla, prescribe unas dimensiones que dependen directamente del nivel de protección elegido (Ver capítulo 5.1.1, tabla 5.1.1.3). Un conductor captador montado en el interior del recubrimiento de la cubierta, es muy difícil de inspeccionar transcurridos algunos años, ya que pequeñas puntas capta-



Fig. 5.1.7.1: Tejado ajardinado.



Fig. 5.1.7.2: Instalación captadora sobre un tejado ajardinado.



Fig. 5.1.7.3: Guiado de los conductores por encima del recubrimiento.

doras o los hongos captadores son casi imposibles de detectar a consecuencia de la acumulación de sustancias sobre ellos y por que, con frecuencia, sufren daños durante los trabajos de mantenimiento. A esto hay que añadir el peligro de corrosión de los conductores captadores tendidos dentro del recubrimiento. Los conductores de la malla captadora tendidos por encima de la superficie de cubierta, son fáciles de inspeccionar, pese a la acumulación de vegetación sobre ellos, y además, la altura de la instalación captadora puede elevarse mediante puntas captadoras que “crezcan” con la vegetación de cubierta. La instalación captadora puede diseñarse de maneras diferentes. Por lo general, con independencia de la altura del edificio, se suele tender sobre la superficie del tejado una instalación captadora en forma de malla con un reticulado que varía según el nivel de protección que se considere y que va desde los de 5 m x 5 m (Nivel de protección I), hasta un máximo de 15 m x 15 m (Nivel de protección III). Es aconsejable determinar el lugar de instalación de la malla teniendo en cuenta el perímetro de la cubierta y las estructuras metálicas que puedan y deban integrarse en la instalación captadora.

Un material aconsejable para los conductores

captadores situados sobre tejados ajardinados es el acero inoxidable (Nr. de material 1.4571).

En caso de tender los conductores dentro de la capa de recubrimiento (en el sustrato o granulado de tierra) no puede utilizarse conductor de aluminio. (Figuras 5.1.7.1 hasta 5.1.7.3).

5.1.8 Instalaciones captadoras aisladas

En la actualidad es frecuente que en los tejados de grandes edificios de oficinas y en edificios industriales, se ubiquen instalaciones de aire acondicionado y sistemas de refrigeración, p.ej. para servidores infor-

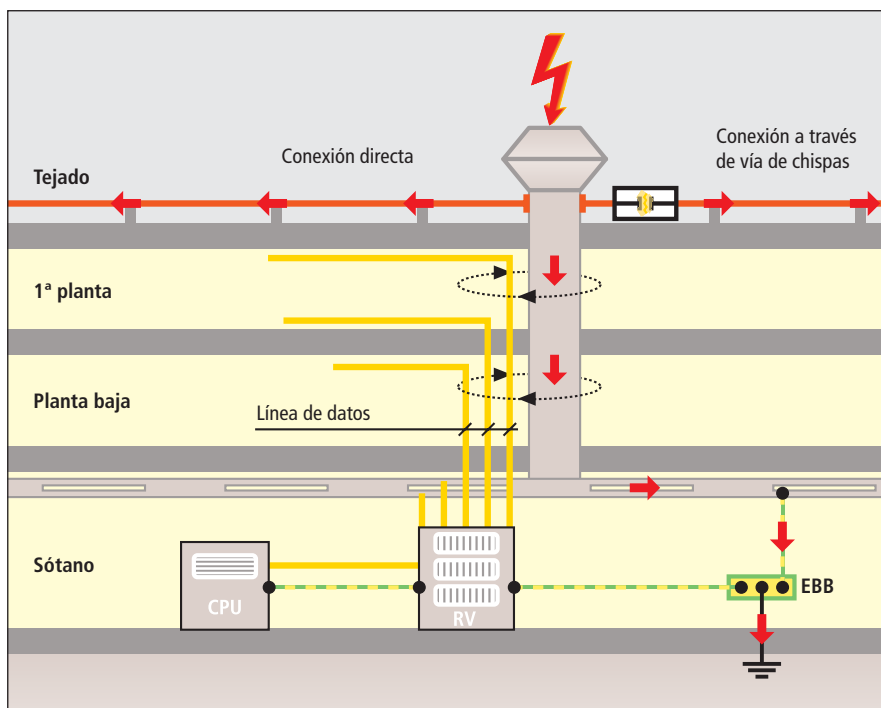


Fig. 5.1.8.1: Conexión de estructuras sobre cubierta.



Fig. 5.1.8.2: Instalación captadora aislada. Protección con punta captadora.

máticos. Antenas, lucernarios accionados eléctricamente, anuncios publicitarios con luz integrada y todas las demás estructuras que sobresalen de la cubierta conectadas por un elemento conductor, p.ej. a través de cables o tuberías, con el interior del edificio, deben ser tratadas de la misma forma.

De acuerdo con el estado actual de la técnica de protección contra rayos, estas estructuras situadas en cubierta se protegen contra descargas directas de rayo mediante una instalación captadora aislada. De esta forma, se evita que puedan penetrar corrientes parciales de rayo en el interior del edificio, donde interferirían o incluso llegarían a destruir equipos eléctricos/electrónicos sensibles.

En el pasado estas estructuras de tejado se conectaban directamente al sistema de protección externa.

Esta conexión directa significa que corrientes parciales de rayo podrían penetrar en el interior del edificio. Posteriormente se puso en práctica la "conexión indirecta" a través de una vía de chispas. De este modo, descargas directas de rayo en las estructuras del tejado podían fluir, también parcialmente a través del "conductor interior" y en caso de una descarga lejana en el edificio, las vías de chispas no deberían alcanzar la tensión de respuesta. Sin embargo, casi siempre se alcanzaba esta tensión de aprox. 4 kV, y así penetraba una corriente parcial de rayo en el interior del edificio, por ejemplo a través de un conductor eléctrico. Con ello podrían resultar dañados, o incluso destruidos totalmente equipos eléctricos y



Fig. 5.1.8.3: Punta captadora con soporte distanciador.

electrónicos situados en el interior del mismo.

La única forma de evitar la entrada de estas corrientes parciales en el interior de los edificios es utilizar instalaciones captadoras aisladas que aseguran que se mantiene la distancia de separación "s" necesaria.

La **figura 5.1.8.1** muestra la penetración de una corriente parcial de rayo en el interior del edificio.

Puntas captadoras

En el caso de pequeñas estructuras de tejado (p. ej. pequeños ventiladores) la protección puede lograrse mediante la instalación de una punta captadora o la combinación de varias. Las puntas captadoras con una altura de hasta 2 metros pueden fijarse con uno o dos zócalos de hormigón superpuestos (p. ej. Art. Nr. 102 010) (**Figura 5.1.8.2**).

Si las puntas captadoras son más altas de 2,5 o 3,0 m, las puntas captadoras deben fijarse al objeto que se pretende proteger con soportes de material aislante eléctrico (p. ej. soporte distanciador DEHNiso) (**Figura 5.1.8.3**).

Si, además, se quieren fijar las puntas captadoras con seguridad frente a los efectos del viento lateral, es aconsejable la utilización de soportes angulados (**Figuras 5.1.8.4 y 5.1.8.5**).

Si se precisan puntas captadoras de mayor altura, p. ej. para estructuras de tejado muy elevadas, pueden utilizarse soportes especiales para su instalación.



Fig. 5.1.8.4: Soporte angular para punta captadora.



Fig. 5.1.8.5: Soporte de la punta captadora.



Fig. 5.1.8.6: Instalación captadora aislada para una instalación fotovoltaica.

Las puntas captadoras auto soportadas hasta una altura de 8,5 metros pueden instalarse usando un soporte en forma de trípode. Estos soportes se fijan sobre el suelo con zócalos de hormigón convencionales (colocados unos sobre otros). A partir de una altura de 6 metros se requieren cables adicionales de sujeción, para resistir la acción del viento.

Esta clase de puntas captadoras pueden utilizarse para las más diversas aplicaciones (p. ej. antenas o instalaciones fotovoltaicas). Su instalación requiere muy poco tiempo ya que tan sólo es necesario atornillar algunos elementos entre sí. (**Figuras 5.1.8.6 a 5.1.8.7**).

En el caso de que haya que proteger instalaciones o edificios enteros mediante la disposición de puntas captadoras, (p. ej. instalaciones fotovoltaicas, depósitos de munición...), se utilizan mástiles de protección contra rayos. Estos mástiles se montan en un cimiento de hormigón. Con ellos se puede alcanzar una altura sobre el nivel de la base de hasta 19 metros, e incluso superiores si empleamos ejecuciones especiales. También es posible instalar cables sobre estos mástiles, cuando están adaptados expresamente para

ello. Los mástiles telescópicos de protección contra rayos se suministran en tramos empalmables lo que supone una enorme ventaja para el transporte.

Más información (p. ej. montaje e instalación) sobre estos mástiles telescópicos de acero para protección contra rayos en las Instrucciones de montaje Nr. 1574 (**Figuras 5.1.8.8 y 5.1.8.9**).

Tendido de cables o conductores

Según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) los cables captadores pueden instalarse sobre la estructura que se desea proteger.

Los cables captadores tendidos entre puntas definen un espacio protegido en forma de tienda de campaña a lo largo de los mismos y de forma cónica en sus extremos.

El ángulo de protección “alfa” depende de la clase de protección y de la altura de la instalación captadora respecto del plano de referencia.

Para el dimensionado de los cables o conductores puede aplicarse también el método de la esfera



Fig. 5.1.8.7: Instalación captadora aislada para estructuras sobre el tejado.



Fig. 5.1.8.8: Protección suplementaria contra la corrosión en la zona de transición, mediante cinta anticorrosiva para aplicación bajo tierra.



Fig. 5.1.8.9: Instalación de un mástil telescópico de protección contra el rayo.



Fig. 5.1.8.10: Instalación captadora.
Fuente: Protección contra rayos Wettingfeld, Krefeld.

rodante (Radio de la esfera rodante - de acuerdo con el nivel de protección).

Asimismo, puede utilizarse la malla como elemento captador, siempre que pueda asegurarse la distancia de separación correspondiente "s". En estos casos, los soportes distanciadores aislados se instalan en vertical sobre zócalos de hormigón, por ejemplo, para elevar la malla a una determinada altura. (Figura 5.1.8.10).

DEHNiso-Combi

El programa de productos DEHNiso-Combi ofrece diversas posibilidades para instalar cables o conductores de acuerdo con los tres métodos para el diseño de instalaciones captadoras (esfera rodante, ángulo de protección, malla).

Los tubos aislantes de aluminio con "tramo aislado" (GRP –plástico reforzado con fibra de vidrio) que se fijan al objeto que se desea proteger, proporcionan una forma de guiado para los cables. El posterior guiado hacia la instalación derivadora o hacia un sistema captador suplementario (p. ej. malla), se realiza con soportes distanciadores de plástico reforzado con fibra de vidrio.

Puede obtenerse más información sobre las distintas aplicaciones en los folletos DS 123, DS 111 y en las Instrucciones de montaje Nr. 1475.



Fig. 5.1.8.11: Trípode para tubos auto soportados aislados.



Fig. 5.1.8.12: Instalación captadora aislada con DEHNiso-Combi.

Las ejecuciones descritas pueden combinarse discrecionalmente entre sí, para adaptar la instalación captadora aislada a las condiciones locales (Figuras 5.1.8.11 hasta 5.1.8.14).



Fig. 5.1.8.13: Detalle de un DEHNiso-Combi.



Fig. 5.1.8.14: Instalación captadora aislada con DEHNiso-Combi.

5.1.9 Instalación captadora para campanarios e iglesias

Protección externa contra rayos

Según la Hoja suplementaria 2 de la UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3), apartado 18.1., un sistema de protección contra rayos dimensionado para el nivel de pro-

tección III cumple las exigencias normales para iglesias y campanarios. En algunos casos especiales, como por ejemplo, en edificaciones con un alto valor cultural, hay que efectuar un análisis de riesgos específico.

Naves de iglesias

Según la Hoja suplementaria a la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3), apartado 18.5. la nave de una iglesia tiene que dotarse de una protección especial contra rayos. En caso de estar anexa a la torre de la iglesia, debe unirse por la vía más corta posible con los derivadores instalados en ésta. En el caso de una nave de iglesia en cruz, tiene que instalarse un derivador en cada uno de los extremos del cable captador situado a lo largo del caballete.

Campanarios o torres de iglesias

Las torres con una altura de hasta 20 metros tienen que equiparse con un derivador. Si la torre y la nave de la iglesia están construidas juntas, el derivador debe conectarse, por la vía más corta posible, con la protección externa contra rayos de la nave de la iglesia. (Figura 5.1.9.1). Si un derivador de la torre coincide con un derivador de la nave de la iglesia, podrá utilizarse un solo derivador común para ambas.

Según la Hoja suplementaria 2 a la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3), apartado 18.3, en las torres de



Fig. 5.1.9.1: Tendido de los derivadores en una torre de iglesia.

iglesia de una altura superior a los 20 metros, hay que instalar, como mínimo, dos derivadores. Uno de estos derivadores, por lo menos, debe unirse, por la vía más corta posible, con la protección externa contra rayos de la nave de la iglesia.

Los derivadores de las torres deben instalarse, por principio, por el exterior de las mismas. No está permitido tender el derivador por el interior de la torre. UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3), Hoja suplementaria 2. Además tiene que respetarse la distancia de separación "s" respecto de elementos metálicos e instalaciones eléctricas existentes en la torre (p. ej. equipos de relojes, campanas) o debajo del tejado (p. ej. instalaciones de calefacción y de ventilación) mediante una disposición apropiada de la protección externa contra rayos. La distancia de separación exigida puede suponer un problema, especialmente en el caso del reloj de la torre. En este caso, y para evitar la formación de chispas peligrosas en partes de la protección externa contra rayos, la unión conductora con el interior del edificio puede sustituirse por una pieza aislante (p. ej. tubo de GRP – plástico reforzado con fibra de vidrio).

En las iglesias de nueva construcción que se construyen en hormigón armado, los hierros del mismo pueden utilizarse como derivadores, siempre que se garantice la continuidad eléctrica. Si se utilizan piezas prefabricadas de hormigón armado, pueden utilizarse como derivador si se han dispuesto los puntos de conexión correspondientes que aseguren la continuidad eléctrica requerida.

De acuerdo con la Hoja suplementaria 2 de la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) la compensación de potencial de protección contra rayos con el equipamiento electrónico (suministro eléctrico, telefonía y megafonía), el control de las campanas en el campanario y en el sistema de control del tiempo, se debe realizar en la entrada del edificio.

5.1.10 Instalación captadora para aerogeneradores

Requerimientos para la protección contra rayos

La norma IEC 61400-24 describe las medidas de protección contra rayos para aerogeneradores. En las directrices de certificación de la German Lloyd, se exige un nivel III para los sistemas de protección contra rayos en aerogeneradores con una altura de góndola de hasta 60 m. y un nivel II para alturas de góndola superiores a 60 m. En el caso de plantas Offshore

se exige el nivel de protección I. De este modo, pueden controlarse descargas de rayo con intensidades de hasta 200.000 A. Estos requerimientos están basados en las experiencias de campo en operación con aerogeneradores y en el análisis de riesgos según UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2).

Principio de protección externa contra rayos en aerogeneradores

La protección externa contra rayos consta de instalación captadora, instalación derivadora y sistema de puesta a tierra, y protege contra daños mecánicos y contra incendios. Las descargas de rayo en aerogeneradores tienen lugar, sobre todo, en las palas del rotor. Por eso, en dichos puntos se integran elementos cuya finalidad es actuar como receptores de la descarga del rayo (**Figura 5.1.10.1**).

Para conseguir que la corriente del rayo fluya a tierra de manera controlada, los receptores integrados en las palas del rotor, se conectan con la góndola mediante un conductor de interconexión (pletina de acero zincado St/tZn de 30 mm x 3,5 mm, o cable de cobre de 50 mm²).

A su vez, cepillos de fibra de carbono o vías de chispas aéreas puentean los rodamientos de bolas en la cabeza de la góndola a fin de evitar que se produzca soldadura en las piezas giratorias de la estructura.

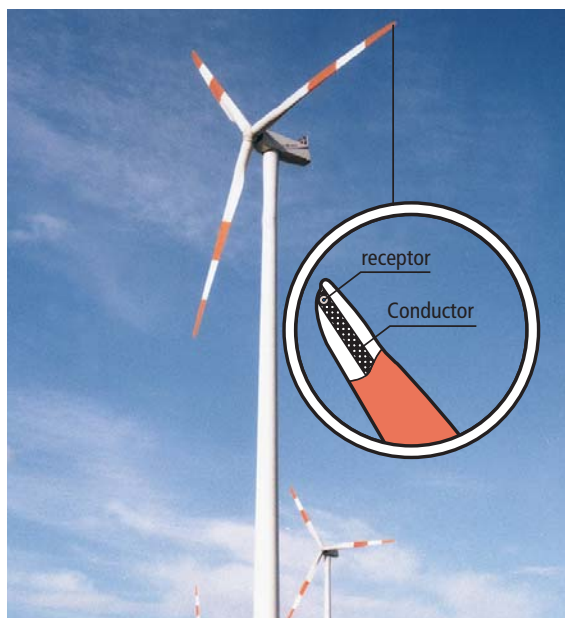


Fig. 5.1.10.1: Aerogeneradores con receptores integrados en las palas.



Fig. 5.1.10.2: Protección contra rayos de anemómetros situados en un aerogenerador.

Para proteger frente a la descarga de rayo los equipamientos instalados en el exterior de las góndolas de los aerogeneradores, como p. ej. anemómetros, se utilizan puntas captadoras o “jaulas captadoras” (Figura 5.1.10.2).

Como instalación derivadora se emplea la propia torre del aerogenerador en el caso de que sea metálica. En el supuesto de torres construidas de hormigón armado, se utilizan conductores embebidos en el mismo (redondo de acero zincado St/tZn diámetro 8...10 mm, o pletina St/tZn de 30 mm x 3,5 mm). El sistema de puesta a tierra del aerogenerador está constituido por una toma de tierra de cimientos en la base de la torre y la conexión en forma de malla con la toma de tierra de cimientos del edificio de operaciones. De este modo se consigue una “superficie equipotencial” que, en caso de descargas de rayo, impide que se originen diferencias de potencial.

5.1.11 Esfuerzos por acción del viento en puntas captadoras

Las cubiertas de los edificios se utilizan cada vez más como lugar de localización de instalaciones. Particularmente, en la cubierta de edificios de oficinas e industrias, se instalan numerosos equipos técnicos para ampliar los equipamientos de los mismos. Para disponer de un sistema correcto de protección contra rayos, es esencial proceder a la protección de las estructuras ubicadas en la cubierta del edificio, como son instalaciones de aire acondicionado, refrigeración, antenas, instalaciones de telefonía móvil, alumbrado, salidas de humo y otros elementos con conexiones al sistema eléctrico de baja tensión (Figura 5.1.11.1).



Fig. 5.1.11.1: Protección contra descargas directas de rayo mediante puntas captadoras autosoportadas.

Según las normas de protección vigentes de la serie UNE EN 62305 (IEC 62305) estas estructuras de tejado pueden ser protegidas mediante una instalación captadora aislada. Esto requiere un aislamiento de la instalación captadora y derivadora. Es decir, una distancia de separación suficiente respecto a las estructuras y equipamientos instalados en cubierta que se desea proteger. Esta opción proporciona una zona de protección en la que se descarta la posibilidad de descargas directas de rayo. Igualmente, se evita la entrada de corrientes parciales de rayo en el sistema de baja tensión y, por tanto, en el interior del edificio.

Esto tiene especial relevancia ya que, la entrada de corrientes parciales de rayo puede deteriorar e incluso destruir equipos eléctricos/electrónicos sensibles.

Este tipo de instalaciones captadoras se utilizan también para proteger estructuras de tejado extensas. Los diversos sistemas se conectan entre sí y con el sistema de puesta a tierra. El volumen del espacio de protección obtenido depende, entre otras cosas, del número y de la altura de los elementos captadores instalados. En el caso de estructuras de tejado pequeñas, esta protección se consigue con una sola punta captadora. El procedimiento para determinar el número y altura de las puntas que deban utilizarse en cada caso, implica el uso del método de la esfera rodante según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) (Figura 5.1.11.2).

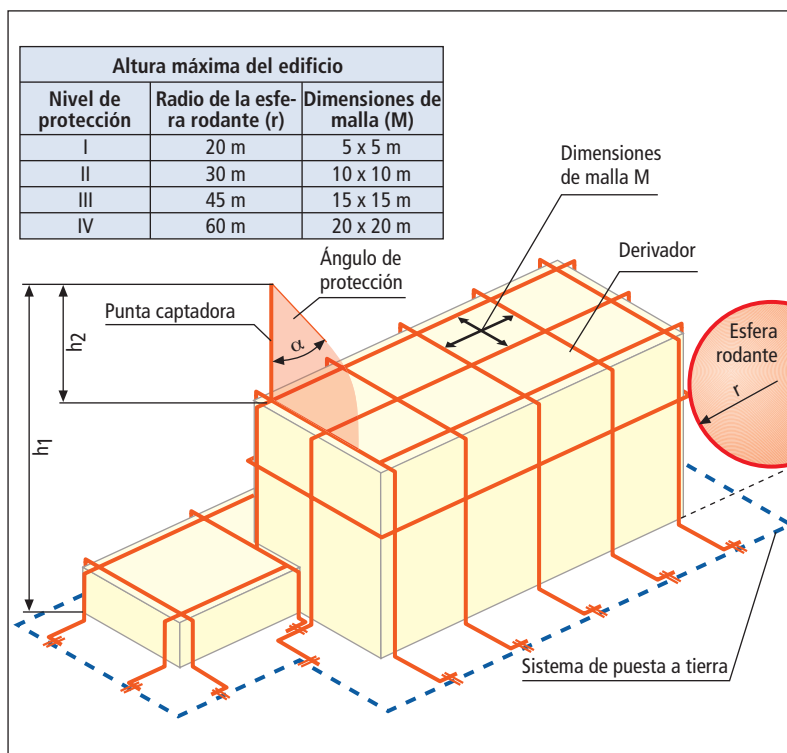


Fig. 5.1.11.2: Procedimiento para el dimensionado de instalaciones captadoras según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3).

El radio de la esfera dependerá del nivel de protección elegido. Dicha esfera se hace rodar en todas las direcciones posibles sobre la instalación a proteger, de modo que sólo toque en el suelo (superficie de referencia) y/o en la instalación captadora.

Con este procedimiento se consigue definir un volumen protegido en el que es imposible que se produzcan descargas directas de rayo.

Para obtener un volumen protegido lo más grande posible, o bien para poder proteger estructuras de tejado de mayor tamaño contra descargas directas de rayo, se utilizan puntas captadoras adicionales de altura suficiente. Las puntas captadoras auto-soportadas se aseguran contra roturas y contra vuelcos mediante una adecuada ejecución del soporte que le sirve de base y utilizando los elementos suplementarios de apoyo correspondientes. (Figura 5.1.11.3)

La altura de las puntas captadoras auto-soportadas tiende a ser la mayor posible pero se debe tener muy en cuenta que a mayor altura, mayor es la influencia de la acción del viento sobre las mismas y se incrementa el riesgo de cimbreos y caídas. Al mismo tiem-

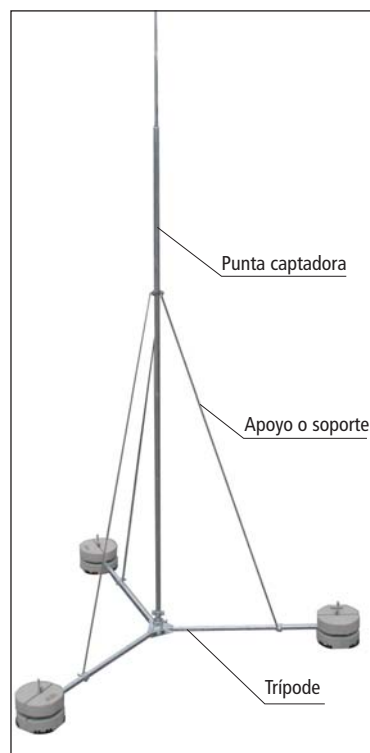


Fig. 5.1.11.3: Punta captadora auto-soportada con trípode.

po, desde el punto de vista de la instalación, los usuarios demandan una construcción ligera del sistema de puntas captadoras auto-soportadas, para facilitar el transporte y el montaje. Para garantizar que es seguro utilizar puntas captadoras sobre tejados se debe probar la estabilidad mecánica de las mismas.

Esfuerzos provocados por acción del viento

Normalmente, las puntas captadoras auto-soportadas se instalan en lugares expuestos (p. ej. sobre tejados), donde se originan esfuerzos mecánicos debidos a la acción del viento que son comparables a aquellos a los que se ven sometidos los soportes y fijaciones de las antenas.

Por eso, para las puntas captadoras auto-soportadas, se requieren las mismas exigencias, en lo que se refiere a la resistencia mecánica, que las que se plantean a los soportes de antena según norma DIN 4131.

En Alemania, por ejemplo, la norma DIN 4131 divide el país en 4 zonas en función de la velocidad del viento asociada a cada una de ellas. (Figura 5.1.11.4).

En los cálculos de los esfuerzos reales a soportar debido a la acción del viento, hay que tener en cuenta también la altura del edificio y las circunstancias locales de emplazamiento (edificio aislado situado en terreno abierto, o situado entre otras edificaciones). En la **figura 5.1.11.4** puede verse como, casi el 95% de toda la superficie de Alemania, puede incluirse en las zonas de viento I y II. Por este motivo, el dimensionado de las puntas captadoras se realiza, en general, para la zona de viento II. La aplicación de puntas captadoras auto-soportadas en las zonas de viento III y IV debe calcularse en cada caso en función de las cargas de viento esperadas.

Según esta normativa, en edificios de hasta 50 metros de altura, se puede contar con una presión dinámica constante sobre la altura del edificio. A efectos de los cálculos, se asume un altura máxima del edificio en 40 m, por lo que la altura total (altura

del edificio más longitud de las puntas captadoras) se mantiene por debajo del límite de los 50 metros.

En la definición de las puntas captadoras auto-soportadas deben cumplirse los requisitos siguientes en lo que a la acción del viento se refiere:

- ⇒ Resistencia frente a vuelco de las puntas captadoras.
- ⇒ Resistencia a la rotura de las puntas.
- ⇒ Garantizar la distancia de separación necesaria hacia el objeto a proteger, incluso bajo la acción del viento (evitar que la punta captadora se doble de forma indebida).

Determinación de la resistencia frente al vuelco

La presión dinámica originada (dependiente de la velocidad del aire), del coeficiente de resistencia c_w y de la superficie expuesta a la acción del viento de la punta captadora, generan una carga q' en la superficie, que determina un momento de vuelco M_T para la punta captadora. Para garantizar la estabilidad de la punta captadora auto-soportada, al momento de vuelco M_T se debe oponer un momento de resistencia M_O , que será generado por el pie de soporte.

La magnitud del momento soporte M_O depende del peso vertical y del radio del propio soporte de pie. Si el momento de vuelco es mayor que el contra-momento, la punta captadora se caerá debido a la acción del viento.

La prueba de estabilidad de puntas captadoras auto-soportadas se efectúa mediante cálculos estáticos. En los cálculos aparecen, además de las características mecánicas de los materiales utilizados, los valores siguientes:

- ⇒ **Superficie expuesta a la acción el viento de la punta captadora:**
Está definida por la longitud y el diámetro de cada una de las piezas de la punta captadora.

- ⇒ **Superficie de los tirantes expuesta a la acción del viento:**
Las puntas captadoras auto-soportadas de gran altura se sujetan por medio de 3 tirantes que se montan equidistantes respecto a la punta. La

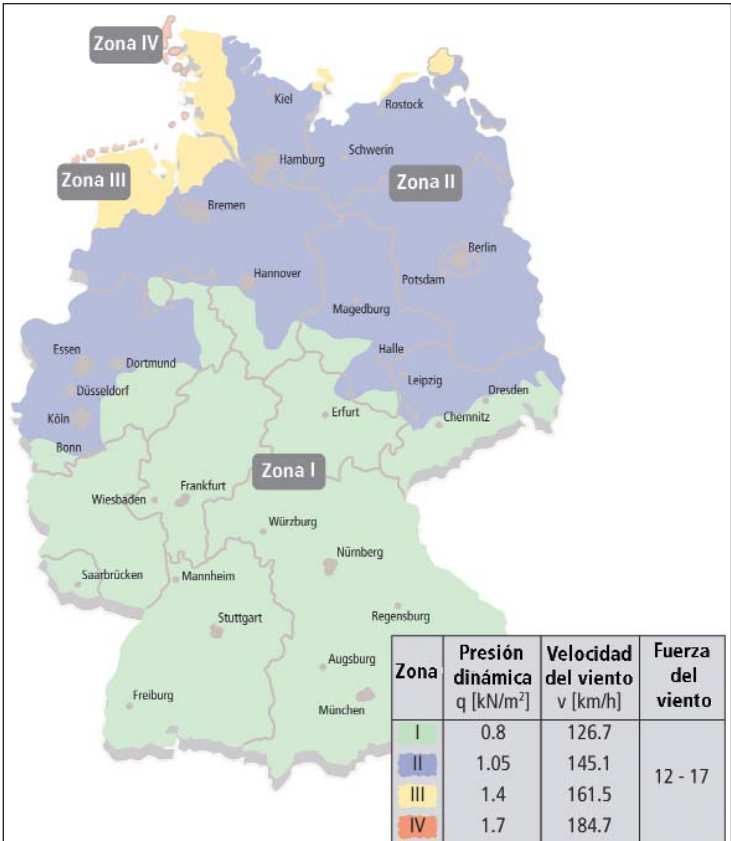


Fig. 5.1.11.4: División de Alemania en zonas de viento y valores correspondientes de la presión dinámica y de las velocidades máximas del viento.
Fuente: DIN 4131: 1991-11 Soportes de acero para antenas Berlin, Editorial Beuth-Verlag GMBH.(Mapa).

superficie expuesta a la acción del viento de estos tirantes se corresponde con la superficie de los mismos proyectada sobre un plano situado verticalmente a la acción del viento. Así, las longitudes de los tirantes se acortarían correspondientemente si los cálculos así lo determinan.

- ⇒ **Peso de la punta captadora y de los tirantes:**
El peso propio de la punta captadora y de los tirantes de sujeción debe tomarse en consideración al efectuar el cálculo del contra-momento.
- ⇒ **Peso del soporte de base:**
El soporte de base es una construcción en forma de trípode cuyo peso se incrementa, en caso necesario, utilizando zócalos de hormigón. Por tanto, el peso de este trípode se compone de la suma del peso del propio trípode más el peso de cada uno de los zócalos de hormigón que en su caso se coloquen.
- ⇒ **Palanca de oscilación:**
La palanca de oscilación es la distancia más corta existente entre el punto medio del trípode y la línea o punto en el que todo el sistema de soporte se volcaría.

La prueba de estabilidad se obtiene por la comparación de los siguientes momentos:

- ⇒ Momento de vuelco, constituido por la fuerza ejercida por el viento sobre la punta captadora o los tirantes de sujeción y el brazo de palanca de la punta captadora.
- ⇒ Momento de torsión del soporte formado por el peso del trípode de sujeción, el peso de la punta captadora y los tirantes de soporte, así como por la longitud de la palanca de oscilación a través del trípode de apoyo.

La **estabilidad** se alcanza cuando la relación entre el momento soporte y el momento de vuelco alcanza un valor >1 .

Básicamente: cuanto mayor sea la relación entre el momento soporte y el momento de vuelco mayor será la estabilidad.

La estabilidad requerida puede lograrse de las formas siguientes:

- ⇒ Reducir al máximo la superficie de la punta captadora expuesta a la acción del viento utilizando secciones lo más pequeñas posibles. Ciertamente, la carga sobre la punta captadora se reduce pero, al mismo tiempo, disminuye la rigidez mecánica de la punta captadora y ello incrementa el riesgo

de rotura de la misma. Por eso, es muy importante encontrar un equilibrio entre el uso de la sección más pequeña posible para reducir la carga del viento y conseguir la necesaria rigidez de la punta captadora.

- ⇒ Aumentar peso de la base del soporte y/o el radio de la misma. Esto, con frecuencia, entra en conflicto con la superficie de emplazamiento disponible así como con la demanda de elementos de peso reducido y fácil transporte.

Realización:

Para alcanzar una superficie de exposición al viento lo más reducida posible, se optimizan las secciones de las puntas captadoras de acuerdo con los resultados de los cálculos. Para facilitar el transporte y el montaje, la punta captadora se compone de un tubo de aluminio (que se puede dividir si así se desea) y de una punta captadora del mismo material. El pie de soporte para la punta captadora es abatible y se oferta en dos versiones. Se pueden compensar inclinaciones de tejado de hasta 10° .

Determinación de la resistencia a roturas

Además de la estabilidad hay que testar la resistencia de las puntas captadoras frente a roturas originadas por la acción del viento. La tensión de flexión o doblado no puede sobrepasar la tensión máxima tolerable. La tensión de flexión es mayor en el caso de puntas captadoras más largas. Las puntas captadoras deben diseñarse para que, las cargas del viento que pueden presentarse en la zona de viento II, no den lugar a deformaciones permanentes en las puntas captadoras.

Como quiera que debe tenerse en cuenta, tanto la geometría exacta de la punta captadora como el comportamiento no lineal de los materiales utilizados, la prueba contra roturas de puntas captadoras auto-soportadas se efectúa mediante un modelo de cálculo FEM. El FEM (Finite Element Method – El método de los elementos finitos) es un procedimiento numérico para calcular las tensiones y deformaciones de estructuras geométricas complejas. La estructura que se pretende analizar se divide en los denominados “elementos finitos” usando superficies imaginarias y líneas unidas entre sí mediante nudos.

Para efectuar los cálculos se necesitan los datos siguientes:

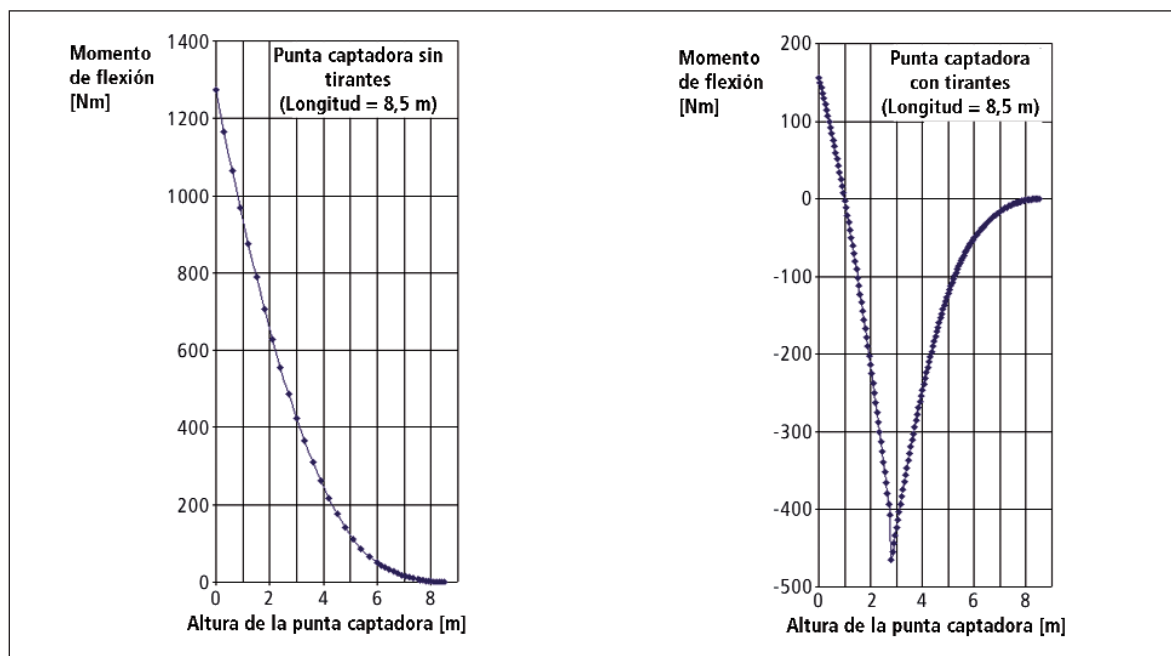


Fig. 5.1.11.5: Comparación entre el desarrollo de los momentos de flexión en puntas captadoras auto-soportadas con y sin tirantes (Longitud = 8,5 m).

⇒ Modelo de cálculo FEM

El modelo de cálculo FEM se corresponde, en forma simplificada, con la geometría de la punta captadora auto-soportada.

⇒ Características de los materiales

El comportamiento del material viene dado por los datos relativos a los valores de sección, elasticidad, densidad y contracción lateral.

⇒ Cargas

La carga del viento se aplica como carga de presión sobre el modelo geométrico.

La resistencia a la rotura se determina comparando la carga de flexión admisible (valor característico del material) y la carga máxima de flexión que se pueda presentar (calculada en base al momento de flexión y a la sección efectiva en el punto de mayor esfuerzo).

La resistencia contra rotura se consigue si la relación entre la carga de flexión admisible y la que puede presentarse, alcanza un valor >1 . Básicamente: cuanto mayor sea la relación entre la carga de flexión admisible y la existente, mayor será la seguridad frente a rotura.

Con el modelo FEM se calculan los momentos de flexión que se originan en función de la altura de las

puntas captadoras (longitud = 8,5 m) con y sin tirantes (Figura 5.1.11.5). Aquí se pone de manifiesto claramente la influencia de un posible tirante. En el momento máximo de flexión en la punta captadora sin tirante, tenemos un valor de aprox. 1270 Nm. Dicho valor se reduce, por acción del tirante, hasta aproximadamente 460 Nm. Mediante este tirante es posible reducir las tensiones en la punta captadora de tal manera que, con las cargas de viento máximas que se puede esperar, no se sobrepase la resistencia de los materiales utilizados y, en consecuencia, la punta captadora no se vea dañada.

Realización

Los tirantes de sujeción generan un punto de soporte adicional con el que se reducen considerablemente las tensiones de flexión en la punta captadora.

Sin un tirante de apoyo suplementario, las puntas captadoras no podrían soportar los esfuerzos de la zona de viento II. Por esta razón, las puntas captadoras se equipan con tirantes de sujeción a partir de una altura de 6 metros.

Además del momento de flexión, los cálculos FEM indican también las tensiones que se van a originar en los tirantes de apoyo, cuya resistencia debe testarse.

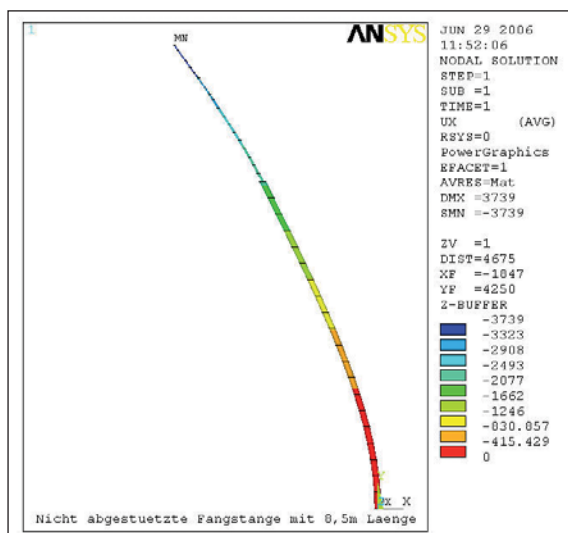


Fig. 5.1.11.6: Modelo FEM de una punta autosoportada sin tirantes.

Determinación de la flexión de la punta captadora debido a la carga de viento.

Otro resultado importante de los cálculos del modelo FEM hace referencia a la flexibilidad de la punta captadora. Las cargas del viento hacen que las puntas captadoras se doblen. La flexión permanente de la punta provoca una variación del volumen protegido por la misma. Por tanto, es posible que objetos que deberían estar protegidos, queden fuera de la zona de protección.

La aplicación del modelo de cálculo a una punta captadora, con y sin tirantes, muestra los resultados obtenidos en las **figuras 5.1.11.6 y 5.1.11.7**.

Los cálculos para el ejemplo elegido dan como resultado una flexión de la punta de la barra captadora de aprox. 1150 mm. Sin tirantes, la flexión sería de 3740 mm, un valor teórico que sobrepasaría el límite de rotura de la punta captadora considerada.

Resultados

La resistencia contra vuelcos, roturas y flexión son los factores decisivos en el dimensionado de las puntas captadoras. La base de soporte y la punta captadora deben ajustarse entre sí de tal manera que las cargas que se originan como consecuencia de la velocidad del viento correspondiente a la zona II, no den lugar al vuelco y/o a daños en la punta captadora.

También hay que tener en cuenta que las flexiones

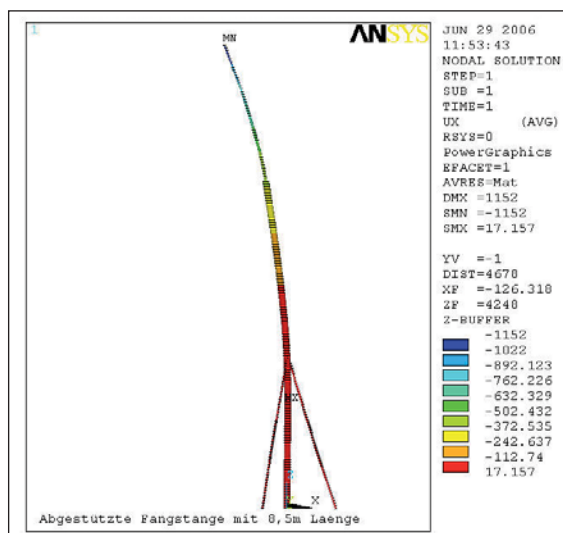


Fig. 5.1.11.7 Modelo FEM de una punta autosoportada con tirantes.

que pueda sufrir una punta captadora pueden influir negativamente en la necesarias distancias de seguridad que un sistema de protección externa contra rayos siempre debe asegurar. En el caso de puntas captadoras de mayor altura es necesario un apoyo suplementario para evitar desviaciones inadmisibles de las mismas.

5.2 Instalación derivadora

La instalación derivadora es la unión eléctrica conductora entre la instalación captadora y el sistema de puesta a tierra. La instalación derivadora debe conducir la corriente de rayo al sistema de puesta a tierra sin que se produzca un calentamiento indebido que, por ejemplo, dañe la estructura.

Para evitar que en el proceso de derivación a tierra de la corriente de rayo se produzcan daños en la instalación, los derivadores deben instalarse de tal modo que, desde el punto de descarga del rayo hasta tierra:

- ⇒ existan varias bajantes paralelas para conducir la corriente,
- ⇒ la longitud de estas bajantes se reduzca al mínimo posible (recto, vertical, sin bucles),
- ⇒ las uniones con partes conductoras de la estructura se efectúen en todos los lugares necesarios (Distancia < s; s = distancia de separación).

5.2.1 Determinación del número de derivadores

El número de derivadores depende del perímetro de los bordes exteriores del tejado (perímetro de la proyección sobre la superficie del suelo). Los derivadores deben instalarse de tal manera que, partiendo de las esquinas de la edificación, estén distribuidos de la forma más regular posible.

Dependiendo de las condiciones de la edificación (p. ej. puertas, elementos prefabricados de hormigón,...) las distancias entre derivadores pueden ser diferentes. En cualquier caso, hay que respetar el número total de los derivadores a instalar de acuerdo con el nivel de protección.

En la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) se indican las distancias típicas entre derivadores y anillos perimetrales dependiendo del nivel de protección (Tabla 5.2.1.1).

El número exacto de derivadores solamente puede determinarse mediante el cálculo de la distancia de separación "s". Si no se puede cumplir la distancia de separación calculada para el número de derivadores previsto en una estructura, una posibilidad para cumplir el requerimiento es elevar el número de derivadores a instalar. Las trayectorias de corriente paralelas mejoran el coeficiente de distribución de corriente kc. Con esta medida se disminuye la corriente que circula por cada uno de los derivadores y se puede, por tanto, mantener la distancia de separación exigida.

Los elementos naturales de la estructura (p. ej. columnas de hormigón armado, estructuras metálicas de acero,...) pueden utilizarse asimismo como derivadores si se garantiza la continuidad eléctrica de los mismos.

Al conectar los derivadores con el sistema de puesta a tierra y usar anillos perimetrales en edificios de mayor altura se consigue una simetría en la distribu-

Nivel de protección	Distancia típica
I	10 m
II	10 m
III	15 m
IV	20 m

Tabla 5.2.1.1: Distancias entre derivadores según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3).

ción de la corriente de rayo, lo que reduce la distancia de separación "s".

En la serie actual de normas UNE EN 62305 (IEC 62305) se concede gran relevancia a la distancia de separación. Con las medidas citadas anteriormente se facilita obtener dichas distancias y con ello garantizar una derivación segura de la corriente de rayo.

Si a pesar de las mismas, no se consigue alcanzar la distancia de separación requerida, pueden utilizarse los nuevos conductores aislados resistentes a alta tensión (HVI). Estos conductores se describen en el capítulo 5.2.4.

En el capítulo 5.6 se expone cómo se determina la distancia de separación de forma exacta.

5.2.2 Instalación derivadora para un sistema de protección contra rayos no aislado

Como norma general, los derivadores se instalan directamente sobre el edificio (sin distancia). El criterio para permitir o no su instalación directa sobre la estructura es que el aumento de temperatura que se produce en caso de un impacto de rayo en el sistema de protección pueda afectar al edificio en el que se instala. Así, si la pared del edificio está fabricada en material no inflamable o en material con un nivel normal de inflamabilidad, los derivadores pueden montarse directamente sobre o en la pared.

q mm²	Ø	Clase de protección											
		Aluminio			Hierro			Cobre			Acero inoxidable		
		III + IV	II	I	III + IV	II	I	III + IV	II	I	III + IV	II	I
16		146	454	*	1120	*	*	56	143	309	*	*	*
50	8 mm	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
78	10 mm	4	9	17	15	34	66	3	5	9	78	174	310
* se funden/evaporan													

Tabla 5.2.2.1: Elevación máxima de la temperatura "DeltaT" en K de diferentes materiales conductores.

Se considera que la madera tiene un grado de inflamabilidad normal si su densidad bruta es superior a 400 kg/m^3 y tiene un espesor mayor a 2 mm. En ese caso se permite la instalación de derivadores sobre pilares de madera.

Si la pared es de material altamente inflamable, los derivadores pueden instalarse directamente sobre la superficie de la pared, por cuanto la elevación de temperatura durante el flujo de la corriente de rayo no es peligrosa.

La elevación máxima de la temperatura " ΔT " en K de los distintos conductores para cada nivel de protección, puede verse en la **tabla 5.2.2.1**. En base a estos valores, se permite, por lo regular, incluso instalar derivadores por detrás de un aislamiento térmico, ya que estos aumentos de temperatura no suponen un peligro de incendio del mismo.

De este modo, queda garantizada asimismo la prevención contra incendios.

También se puede reducir la elevación de la temperatura en la superficie, utilizando un revestimiento adicional de PVC al efectuar el tendido de los derivadores en o detrás de un aislamiento térmico. También puede utilizarse varilla de aluminio recubierto de PVC.

Si la pared está fabricada en material altamente inflamable y la elevación de temperatura de los derivadores pudiera resultar peligrosa, éstos deben instalarse de tal manera que la distancia entre los derivadores y la pared sea superior a 0,1 metros. Los elementos de sujeción sí pueden tocar la pared.

El constructor del edificio tiene que especificar si la pared está realizada de material fácilmente inflamable o no.

La definición exacta de los conceptos "no inflamable, normal y altamente inflamable" está descrita en la Hoja suplementaria 1 de la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3).

5.2.2.1 Instalación de derivadores

Los derivadores deben estar dispuestos de tal manera que sean la continuación directa de la instalación captadora. Deben montarse verticales y rectos para que constituyan la conexión directa más corta posible con tierra.

Hay que evitar la formación de bucles, por ejemplo, en cornisas o en estructuras. Si esto no fuera posible,

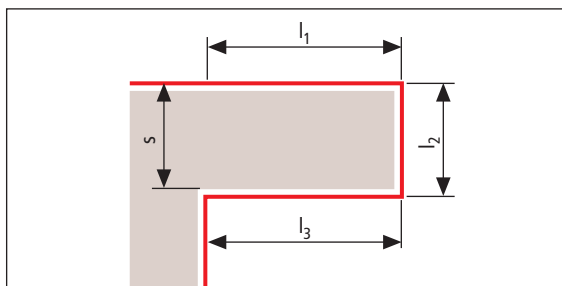


Fig. 5.2.2.1.1: Bucle en el derivador.

entonces la distancia, medida en el lugar de proximidad de dos puntos de un derivador, así como la longitud l del derivador entre estos puntos, tiene que cumplir con la distancia de separación " s " (**Figura 5.2.2.1.1**).

La distancia de separación " s " se calcula usando la longitud total $l = l_1 + l_2 + l_3$.

Los derivadores no deben instalarse en el interior de canalones ni en bajantes de agua, aún cuando estén revestidas de material aislante. La humedad en las bajantes de agua daría lugar a una corrosión excesiva de los derivadores.

Si se utiliza aluminio para el derivador, éste no debe tenderse directamente (sin distancia) sobre, en o bajo yeso, hormigón o mortero, ni tampoco en la zona del suelo. En caso de que el aluminio tenga un revestimiento de PVC, es posible efectuar el tendido en yeso, morteros u hormigón siempre que se garantice que el revestimiento no va a sufrir daños mecánicos ni se va a producir la rotura del aislamiento por frío.

Se recomienda tender los derivadores de tal manera que se mantenga la distancia de separación " s " requerida respecto a todas las puertas y ventanas (**Figura 5.2.2.1.2**).

Los canalones metálicos deben conectarse en los puntos de intersección con los derivadores (**Figura 5.2.2.1.3**).

Los tubos metálicos se deben conectar con el sistema equipotencial general o con la instalación de toma de tierra aún cuando no se utilicen como derivadores. Como quiera que el canalón del tejado por el que fluye la corriente de rayo está conectado a la tubería bajante, ésta lleva también una parte de la corriente de rayo que debe ser conducida al sistema de puesta a tierra. Ver **figura 5.2.2.1.4**.

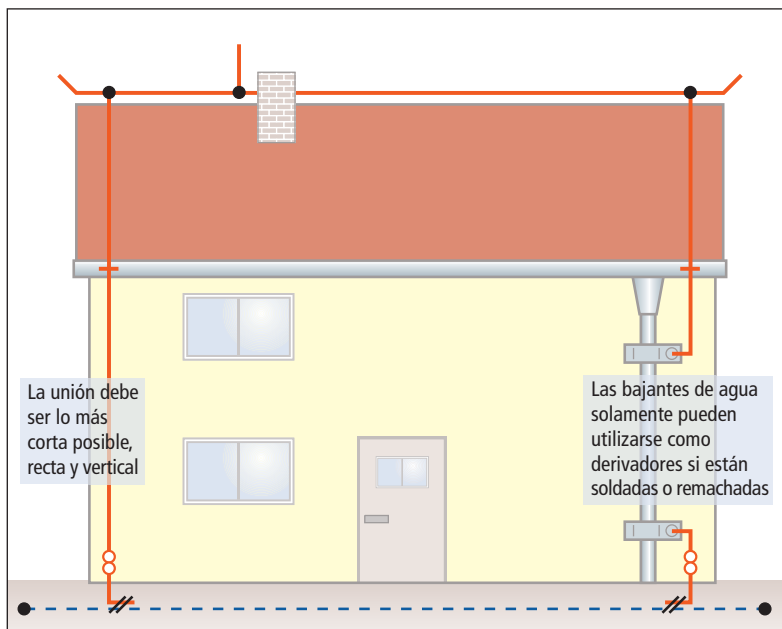


Fig. 5.2.2.1.2: Instalación derivadora.



Fig. 5.2.2.1.3: Instalación captadora con conexión al canalón del tejado.



Fig. 5.2.2.1.4: Puesta a tierra de bajantes de agua.

5.2.2.2 Componentes naturales de una instalación derivadora

Si se utilizan los componentes naturales de la estructura como derivadores, puede reducirse, o incluso suprimirse totalmente, el número de derivadores que fuera preciso instalar.

Los siguientes elementos de un edificio pueden utilizarse como "componentes naturales" de la instalación derivadora:

- ⇒ Instalaciones metálicas, siempre que la unión entre sus diferentes partes sea permanente y sus dimensiones se correspondan con las exigencias mínimas requeridas para los derivadores. Estas instalaciones metálicas pueden estar asimismo revestidas de material aislante.
- ⇒ La utilización como derivadores de tuberías con contenido inflamable o explosivo no está permitida si el sellado de las juntas no es metálico o las juntas de los tubos conectados no están unidas como para poder garantizar una unión eléctricamente conductora.
- ⇒ El esqueleto metálico de la estructura.
Si el armazón del esqueleto de acero o el hormi-

gón armado de la estructura se utiliza como derivador, no son necesarios anillos perimetrales, ya que con conductores suplementarios no se consigue una mejor distribución de la corriente.

- ⇒ Interconexión segura del armado de la estructura

En edificaciones ya existentes, el armado no puede utilizarse como componente natural de derivación, si no puede asegurarse que está interconectado de forma segura. En ese caso hay que instalar derivadores externos.

- ⇒ Hormigón prefabricado

En las piezas de hormigón prefabricado los puntos de conexión para el armado deben estar previstos. Las piezas de hormigón prefabricadas tienen que presentar una conexión conductora eléctrica entre todos los puntos de unión. Las distintas piezas tienen que interconectarse entre sí durante los trabajos de montaje (**Figura 5.2.2.2.1**).

Observación:

En el caso del hormigón pretensado hay que tener muy en cuenta el riesgo especial de eventuales influencias mecánicas debidas a la corriente de rayo

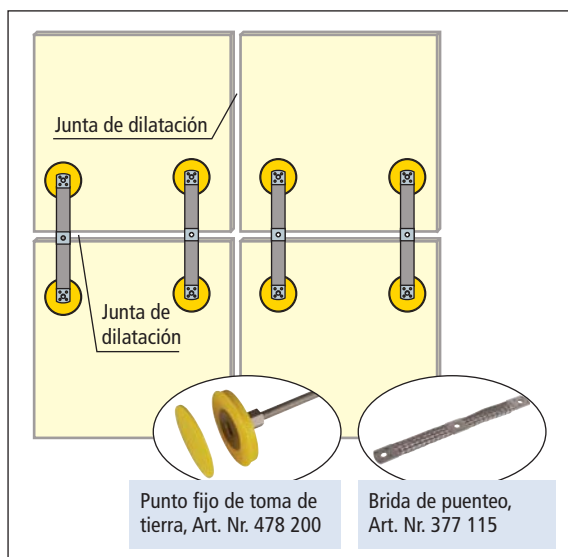


Fig. 5.2.2.2.1: Uso de elementos naturales. Nuevos edificios de hormigón prefabricado.

y, en consecuencia, a su conexión con el sistema de protección contra rayos.

En el caso de hormigón pretensado, la conexión a redondos o cables tensores solamente puede efectuarse fuera de la zona del pretensado. Antes de utilizar redondos o cables tensores como derivadores hay que solicitar la aprobación del responsable de la obra.

Si en estructuras existentes, el armado no está correctamente interconectado, no podrá utilizarse como derivador. En este caso se instalarán derivadores exteriores.

Asimismo pueden utilizarse como derivadores elementos de la fachada, rieles de montaje y estructuras metálicas, siempre que:

- ⇒ Cumplan las exigencias mínimas en cuanto a sus dimensiones. En chapas de metal el grosor de las mismas no debe ser inferior a 0,5 mm.
- ⇒ Se garantiza su conductibilidad eléctrica en sentido vertical. Si se utilizan fachadas metálicas como derivadores, tienen que estar interconectadas, de tal manera que, las diferentes chapas estén unidas entre sí mediante tornillos, pernos o bandas de puenteo. Hay que efectuar una conexión segura a la instalación captadora y al sistema de puesta a tierra que sea capaz de soportar corrientes rayo.

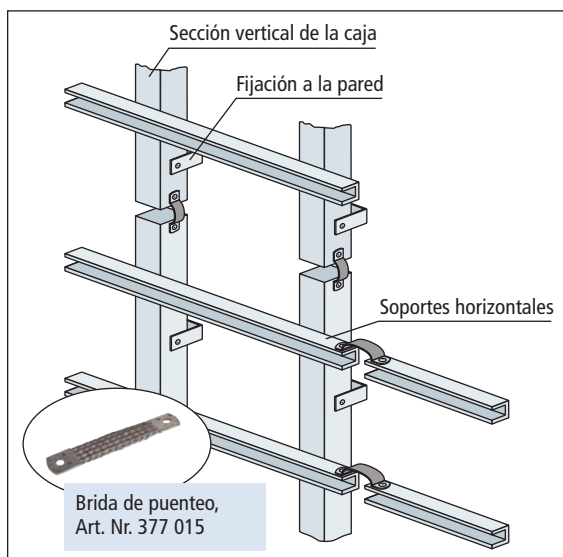


Fig. 5.2.2.2.2: Subestructura metálica, puenteada eléctricamente.

⇒ Si las chapas de metal no están unidas entre sí de acuerdo con las exigencias anteriores, pero las estructuras de soporte están realizadas de modo que desde la conexión a la instalación captadora hasta la conexión al sistema de puesta a tierra la se garantiza la continuidad eléctrica, estas estructuras podrán utilizarse como derivadores (Figuras 5.2.2.2.2 y 5.2.2.2.3).

Las bajantes de agua pueden utilizarse como derivadores naturales si están interconectadas de forma segura (mediante abrazaderas o remaches) y se cum-



Fig. 5.2.2.2.3: Conexión a tierra de una fachada metálica.

plen los espesores de pared mínimos exigidos de 0,5 mm.

Si una bajante no está interconectada de forma segura puede utilizarse como soporte para derivadores suplementarios. Este tipo de aplicación está representado en la **figura 5.2.2.2.4**. La conexión de la bajante al sistema de puesta a tierra debe ser capaz de soportar corrientes de rayo, ya que el conductor solamente es sostenido por la tubería.

5.2.2.3 Puntos de medida

En cada conexión de un derivador al sistema de puesta a tierra se debe instalar un punto de medida (a ser posible antes de entrar en el terreno).

Los puntos de medida son necesarios para poder comprobar las siguientes características del sistema de protección contra rayos:

- ⇒ Conexiones de los derivadores con el derivador siguiente a través de la instalación captadora
- ⇒ Interconexión de los terminales entre sí a través del sistema de puesta a tierra, p. ej. en caso de tomas de tierra anulares o tomas de tierra de cimientos (Toma de tierra Tipo B)
- ⇒ Resistencias de puesta a tierra en caso de tomas de tierra individuales (Toma de tierra Tipo A).

Los puntos de medida no son necesarios cuando el diseño constructivo (p. ej estructura de hormigón



Fig. 5.2.2.2.4: Derivador instalado a lo largo de la tubería.



Fig. 5.2.2.3.1: Punto de medida numerado.

armado) no permite la desconexión “eléctrica” de la derivación “natural” respecto al sistema de puesta a tierra. (p. ej. toma de tierra de cimientos).

El punto de medida solamente debe poder abrirse, para efectuar mediciones, con la ayuda de una herramienta. Si no, debe estar cerrado.

En el diseño del sistema de protección contra rayos, cada punto de medida debe identificarse claramente. Por lo general, cada punto de medida se identifica mediante un número (**Figura 5.2.2.3.1**).

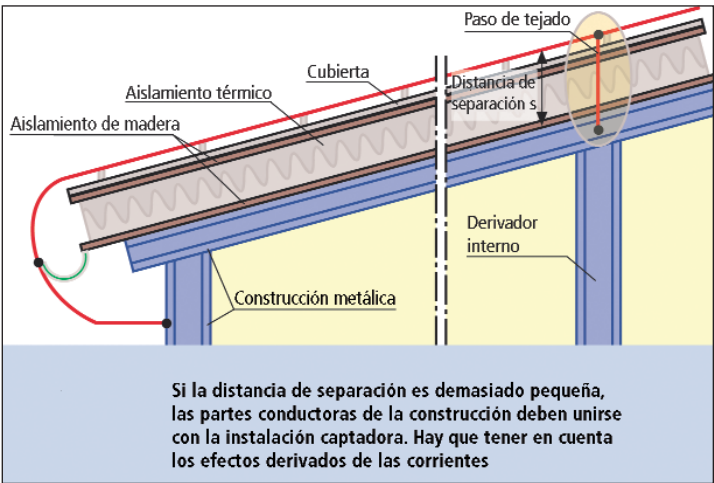


Fig. 5.2.2.4.1: Instalación captadora en cubiertas de grandes dimensiones - derivadores internos.

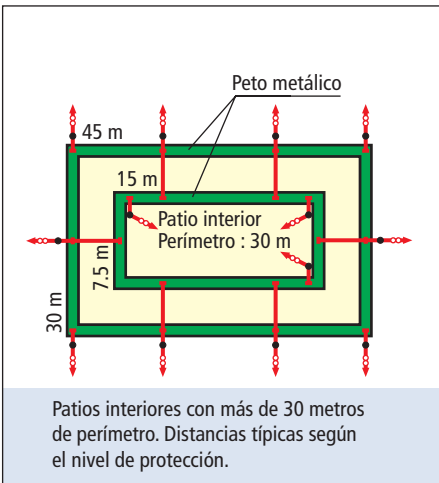


Fig. 5.2.2.5.1: Instalación derivadora en patios interiores.

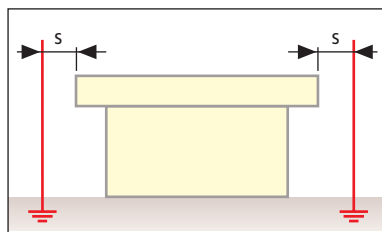


Fig. 5.2.3.1: Mástiles captadores aislados del edificio.

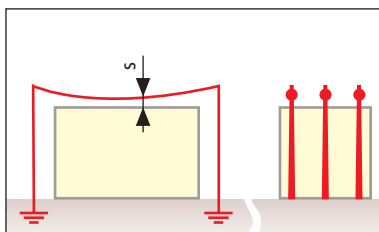


Fig. 5.2.3.2: Mástiles captadores interconectados mediante cables.

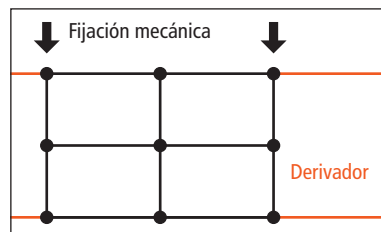


Fig. 5.2.3.3: Mástiles captadores interconectados mediante cables con uniones transversales (Malla).

5.2.2.4 Derivadores internos

Si las medidas del edificio (longitud y anchura) son cuatro veces más grandes que la distancia existente entre los derivadores, deberán instalarse derivadores adicionales internos en función del nivel de protección correspondiente (**Figura 5.2.2.4.1**).

Las dimensiones de la cuadrícula para los derivadores internos son de aprox. 40 m x 40 m.

Con mucha frecuencia se precisan derivadores internos para estructuras con cubiertas de grandes dimensiones, p. ej. grandes naves industriales o centros de distribución. En estos casos, los pasos de tejado debería realizarlos el instalador de la cubierta ya que es responsable de la estanqueidad de la misma.

El campo electro-magnético resultante que se origina cerca de los derivadores, debe asimismo tomarse en consideración al efectuar el proyecto de la protección interna contra rayos. (Atención a acoplamientos sobre sistemas eléctricos/electrónicos).

5.2.2.5 Patios interiores

En estructuras con patios interiores de más de 30 m de perímetro deben instalarse derivadores con distancias entre ellos según señala la tabla 5.2.1.1 (**Figura 5.2.2.5.1**).

5.2.3 Derivadores para una protección externa contra rayos aislada

Si la instalación captadora está constituida por puntas captadoras instaladas en mástiles aislados (o un mástil), ésta será al mismo tiempo instalación captadora y derivadora (**Figura 5.2.3.1**).

Para cada uno de estos mástiles se precisa, como

mínimo, un derivador. Los mástiles de acero o los mástiles con armado de acero interconectado no precisan derivadores suplementarios.

Un mástil de bandera metálico, por ejemplo, puede utilizarse como elemento captador lo que representa ventajas desde el punto de vista económico y estético.

La distancia de separación "s" debe mantenerse entre la instalación captadora y derivadora y la estructura.

Si la instalación captadora y derivadora se compone de uno o varios cables tensados, para cada extremo del conductor hay que instalar, por lo menos, un derivador (**Figura 5.2.3.2**).

Si la instalación captadora forma una malla, es decir, que cada uno de los cables se interconecta para formar una malla (están unidos entre sí transversalmente), en cada extremo de cada cable al que se unan los demás, debe instalarse, como mínimo, un derivador (**Figura 5.2.3.3**).

5.2.4 Sistema derivador aislado resistente a alta tensión - Conductor HVI

Para crear una red de telefonía móvil con una extensa cobertura se usan un gran número de estructuras donde localizar las estaciones bases que componen dicha red. Algunos de estos edificios están equipados con sistemas de protección contra rayos. Para una planificación y ejecución, conforme con la normativa, de la infraestructura de telefonía es necesario tomar en consideración la estructura anteriormente existente y las diferentes normativas aplicables deben estar estrictamente diferenciadas.

Desde el punto de vista del operador de la red de telefonía móvil existen básicamente tres situaciones:

- ⇒ El edificio no dispone de sistema de protección contra rayos.
- ⇒ El edificio está equipado con un sistema de protección contra rayos fuera de servicio.
- ⇒ El edificio está equipado con una instalación de protección contra rayos en correcto estado.

El edificio no dispone de sistema de protección contra rayos

En Alemania las estaciones de telefonía móvil se instalan según la norma DIN VDE 0855-300. En conformidad con el concepto de protección contra sobretensiones de los operadores de la red de telefonía, en los contadores se instalará una protección suplementaria contra sobretensiones.

El edificio está equipado con un sistema de protección contra rayos fuera de servicio

En Alemania, las instalaciones de telefonía móvil se conectan al sistema de protección externa contra rayos de acuerdo con el nivel de protección exigido. Así, se realiza un análisis y evaluación de las vías de derivación que se precisan para conducir a tierra la corriente de rayo. Después, se reemplazarán los elementos de la instalación que sea necesario, como puntas captadoras, derivadores y conexiones a la puesta a tierra. Las deficiencias existentes en las partes de la instalación que ya no son utilizadas se notificarán por escrito a los propietarios del edificio.

El edificio está equipado con un sistema de protección contra rayos en correcto estado

La experiencia nos demuestra que la mayoría de sistemas de protección contra rayos están contruidos generalmente según el nivel de protección III. Para ciertos edificios está prescrita la obligación de efectuar revisiones periódicas. La estación de telefonía móvil debe incluirse de acuerdo con el nivel de protección prefijado. En instalaciones con nivel de protección I y II, deberá registrarse fotográficamente el entorno del edificio, para poder demostrar, en caso de posteriores problemas, cual era la situación existente en la fecha de la construcción.

Si se realiza una instalación de telefonía móvil en un edificio con protección externa contra rayos en correcto estado, será de aplicación la normativa actual (UNE EN 62305 – IEC 62305). Las distancias de

seguridad deberán calcularse según el nivel de protección correspondiente en cada caso. Todos los componentes mecánicos utilizados deben poder soportar las corrientes parciales de rayo.

Por razones de estandarización, todos los elementos de fijación de acero y las estructuras para soportar antenas, deben diseñarse según el nivel de protección I. La unión debe efectuarse por la vía más corta, lo que no resulta problemático ya que el tendido de conductores en cubiertas planas suele realizarse en forma de malla. Si en el edificio que alberga la instalación de telefonía móvil existe un sistema de protección contra rayos, éste tendrá prioridad frente a una instalación de toma de tierra de antenas.

En todo caso, el sistema de protección a ejecutarse se debe tener en cuenta en la fase de planificación del proyecto:

- ⇒ Si los componentes del sistema se encuentran situados en la cubierta del edificio, es preferible instalar los cables eléctricos por el exterior del mismo.
- ⇒ Si los componentes del sistema se encuentran situados en la cubierta del edificio y se ha proyectado la disposición de un mástil central, se instalará un sistema de protección contra rayos aislado.
- ⇒ Si los componentes del sistema están situados dentro del edificio, es preferible instalar un sistema de protección contra rayos aislado. En estos casos, debe tenderse a una ejecución geométrica pequeña de la infraestructura de telefonía móvil, para que los costes de la protección contra rayos sean asumibles económicamente.

La experiencia nos enseña que, en muchos casos de instalaciones de protección contra rayos existentes, se detectan numerosas deficiencias, que pueden disminuir la eficacia y el rendimiento de la nueva instalación. Estas deficiencias dan lugar a que, pese a la correcta inclusión de la instalación de telefonía en el sistema de protección externa contra rayos, se pueden originar daños en el interior del edificio.

Para que el proyectista de la red de telefonía móvil pueda construir instalaciones de antena conformes a las normas, incluso en situaciones difíciles, antes solamente se disponía de la protección contra rayos aislada mediante distanciadores horizontales. En estos casos, sin embargo, este tipo de instalación puede resultar no demasiado estética (**Figura 5.2.4.1**).



5.2.4.1



5.2.4.2

Fig. 5.2.4.1: Instalación captadora aislada con soportes distanciados.

Fig. 5.2.4.2: Instalación captadora aislada para antenas de telefonía. Aplicación del sistema DEHNconductor.

Instalaciones captadoras como la que se muestra en la **figura 5.2.4.1** no pueden disponerse en emplazamientos donde prima el impacto estético que pueda tener la instalación de la antena.

El conductor HVI aislado representa una solución innovadora que proporciona al instalador de sistemas de protección contra rayos una nueva posibilidad para su diseño y una manera fácil de conseguir la distancia de separación (**Figura 5.2.4.2**).

5.2.4.1 Instalación y funcionamiento del sistema derivador aislado HVI

El concepto básico del sistema derivador aislado consiste en revestir el conductor por el que circula la corriente de rayo con material aislante, de tal manera que se mantenga la distancia de separación necesaria "s" respecto a otras partes conductoras de la construcción del edificio, así como respecto a conductores eléctricos y a tuberías.

En principio, cuando se utiliza este tipo de materiales aislantes en la construcción de la instalación derivadora, deben cumplirse las siguientes exigencias:

- ⇒ Posibilidad de conexión mediante terminales, resistentes a la corriente de rayo, de los derivado-

res a la instalación captadora (punta captadora, conductor captador, etc.).

- ⇒ Conformidad con la necesaria distancia de separación "s" mediante una suficiente resistencia dieléctrica del derivador, tanto en la zona de entrada como a lo largo de todo el derivador.
- ⇒ Suficiente capacidad para conducir corriente mediante una sección adecuada del derivador.
- ⇒ Posibilidad de conexión al sistema de puesta a tierra o al sistema equipotencial.

Mediante el recubrimiento del derivador con materiales aislantes de elevada resistencia dieléctrica, puede reducirse la distancia de separación. Sin embargo, para ello, deben cumplirse determinados requerimientos tecnológicos de alta tensión. Esto es necesario ya que, la resistencia dieléctrica del derivador aislado depende de su propia colocación y de la posibilidad de que se originen descargas.

El uso de derivadores aislados, no apantallados, es una solución fundamental que parece independiente, en un principio, de su posición y tendido. Sin embargo, únicamente con un conductor recubierto por un revestimiento de material aislante, no puede solucionarse el problema. Sólo con tensiones de impulso inducidas relativamente pequeñas, se producirían pequeñas descargas en la zona de las proximidades (p. ej. entre el metal, soportes puestos a tierra y en el punto de entrada de corriente) que podrían ocasionar una descarga total en la superficie de una sección importante de conductor.

En lo que se refiere a las descargas, son críticas las zonas en las que coinciden materiales aislantes, metal (puesto a potencial de alta tensión o puesto a tierra) y aire. Este entorno está sometido a un esfuerzo de alta tensión debido a la elevación de potencial de las descargas superficiales, obteniéndose como resultando una considerable reducción de la resistencia eléctrica. Las descargas superficiales se deben tener en cuenta, cuando componentes usuales de intensidad de campo eléctrica E (orientados verticalmente respecto a la superficie del material aislante) dan lugar a que se sobrepase la tensión de descarga y los componentes de campo tangenciales fomenten la propagación de las descargas superficiales (**Figura 5.2.4.1.1**).

La tensión inicial de descarga determina la resistencia de todo el dispositivo aislante y se encuentra en el orden de magnitudes de 250 - 300 kV de tensión de impulso de rayo.

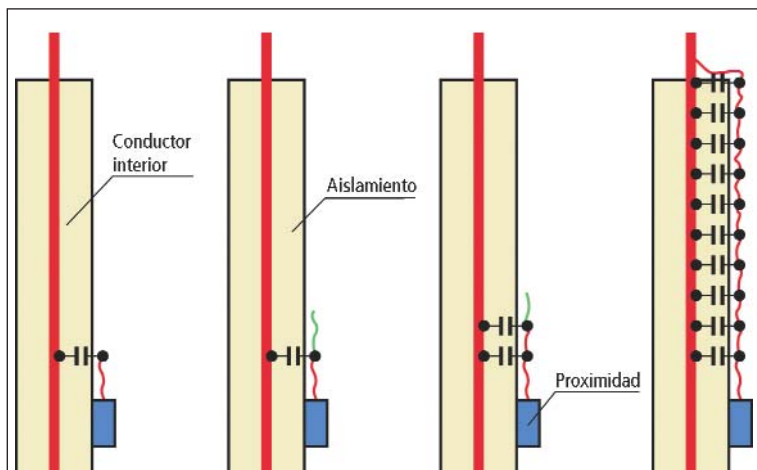


Fig. 5.2.4.1.1: Evolución de una descarga en un derivador aislado sin revestimiento especial.

Mediante el cable coaxial conductor (HVI conductor) - representado en la **figura 5.2.4.1.2** - se evita que se originen descargas superficiales y se consigue derivar a tierra la corriente de rayo con seguridad.

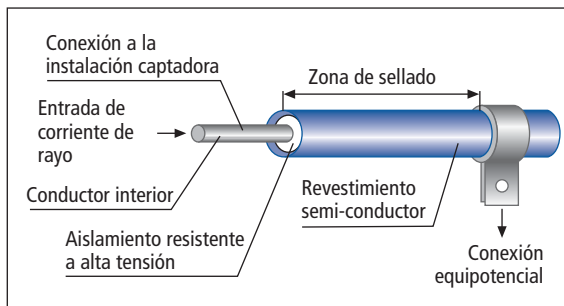


Fig. 5.2.4.1.2: Componentes del conductor HVI.



Fig. 5.2.4.1.3: Conductor HVI I y componentes del sistema DEHNconductor.

Los sistemas derivadores aislados con control de campo y apantallamiento semi-conductor impiden que las descargas superficiales influyan sobre el campo eléctrico en la zona del punto de entrada. Además, facilitan el guiado de la corriente de rayo por el interior del cable especial y garantizan la distancia de separación exigida "s". El blindaje semi-conductor del cable coaxial aísla del campo eléctrico. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, el campo magnético que rodea al conductor interior por el que fluye la corriente, no se vea influido.

La optimización del control de campo permite una unidad de sellado con una longitud de 1,50 m para conseguir una distancia de separación equivalente en aire "s" </- 0,75 o de "s" </- 1,50 metros en material sólido (**Figura 5.2.4.1.3**).

Esta unidad especial de sellado esta realiza mediante la conexión apropiada a la instalación captadora (punto de entrada) y la conexión equipotencial a una distancia fija. Todo el revestimiento semi-conductor del cable, tiene una resistencia claramente superior a la de un cable coaxial con blindaje metálico. Con ello, incluso en el caso de una conexión equipotencial múltiple del revestimiento del cable, podrían entrar en el edificio corrientes parciales de rayo insignificantes.

Además de la distancia de separación necesaria "s", la longitud máxima de cable L_{max} de un derivador aislado de este tipo puede calcularse mediante la ecuación siguiente:

$$L_{max} = \frac{k_m \cdot s}{k_i \cdot k_c}$$

5.2.4.2 Ejemplos de instalaciones

Aplicación para estaciones de telefonía móvil

Con frecuencia, las estaciones de telefonía móvil se ubican en la cubierta de los edificios. Por lo regular, existe un acuerdo entre el operador de telefonía móvil y el propietario de la edificación, en virtud del cuál se asegura que la construcción de la instalación de telefonía no representa ningún tipo de riesgo

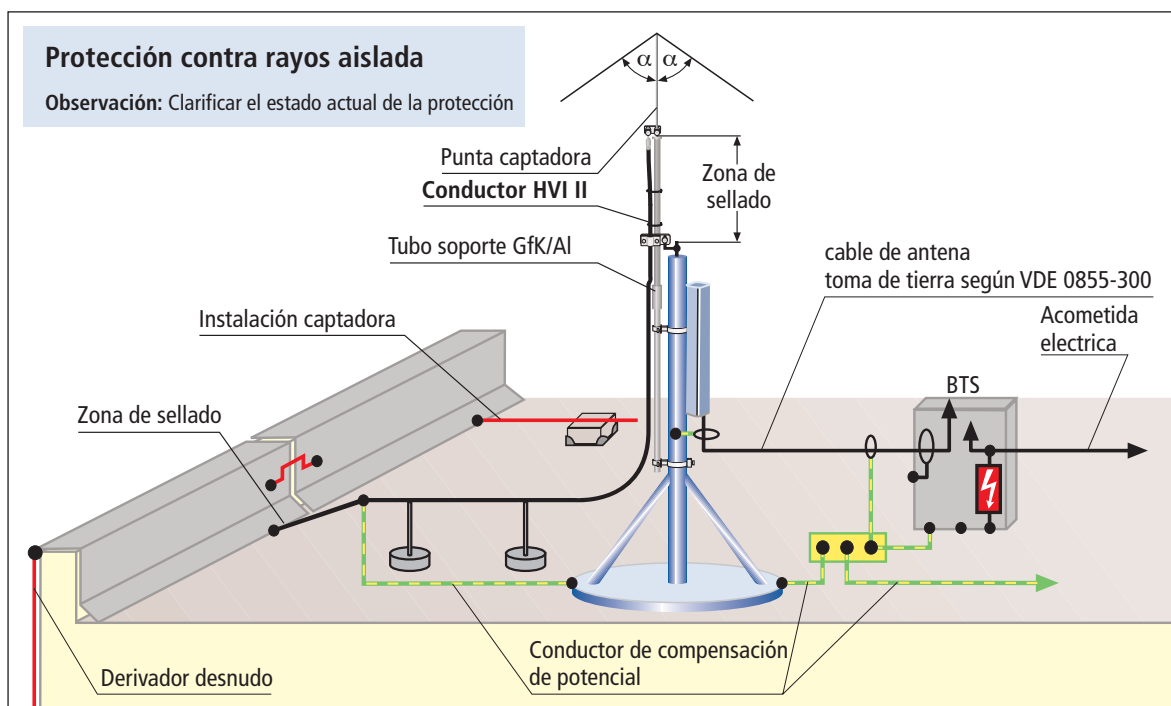


Fig. 5.2.4.2.1: Integración de una nueva antena 2G/3G en la instalación ya existente de protección contra rayos con utilización del conductor HVI.

para el edificio. En relación con la protección contra rayos, esto significa especialmente que, en caso de una descarga de rayo en la estructura de la antena, no entrarán corrientes parciales de rayo en la edificación. Una corriente parcial de rayo en el interior de la edificación pondría en peligro especialmente los equipos y dispositivos eléctricos y electrónicos que se encuentren en la misma.

En la **figura 5.2.4.2.1** se reproduce una solución para una "Instalación captadora aislada" montada en la estructura soporte de una antena.

La punta captadora debe fijarse al soporte de antena mediante un tubo de apoyo de material no conductor para que esté aislada. La altura de la punta captadora depende de que la estructura de antena y otros dispositivos eléctricos existentes, queden o no dentro de la zona de protección que aporta la punta captadora.

En edificios con varias antenas hay que instalar varias "puntas captadoras aisladas".

En las **figuras 5.2.4.2.a y b** se representa el montaje sobre un poste de antena.



Fig. 5.2.4.2.2a: Tubo aislante en la zona de la antena.



Fig. 5.2.4.2.2b: Conexión al soporte de la antena para control de potencial.



Fig. 5.2.4.2.3a: Ventiladores con puntas captadoras y tendido de cable.



Fig. 5.2.4.2.3b: Punta captadora, conductor circular elevado con conexión a sistema derivador aislado.

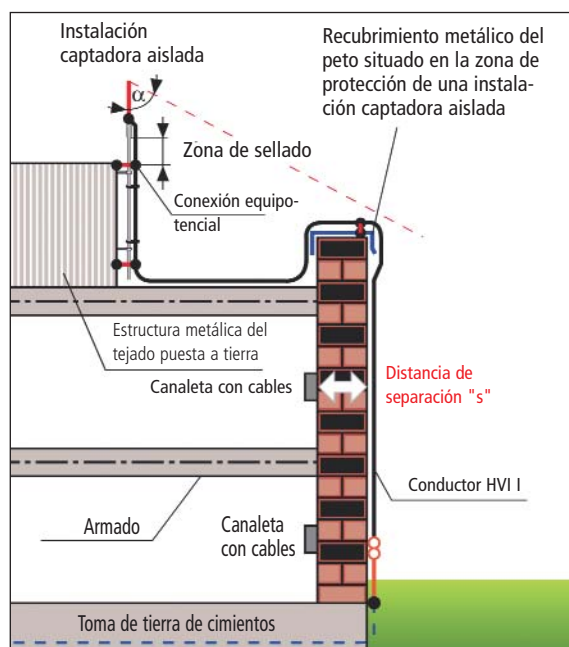


Fig. 5.2.4.2.4: Conservación de la distancia de separación necesaria mediante derivador aislado controlada por tensión (HVI).

Superestructuras de tejado

Las superestructuras metálicas y eléctricas de tejado sobresalen del plano de la cubierta y, consecuentemente, son puntos expuestos a descargas directas de rayo. Debido a la conexión conductora de estas estructuras con el interior del edificio (mediante tuberías y/o cables eléctricos), existe el riesgo de que fluyan corrientes parciales de rayo al interior del mismo.

Para evitar esta situación y los daños que pueda provocar, debe asegurarse la distancia de separación necesaria y conectar la instalación captadora a la instalación derivadora aislada (**Figuras 5.2.4.2.3a y 5.2.4.2.3b**).

De este modo, todas las estructuras metálicas/eléctricas que sobresalen del tejado se encontrarán dentro de la zona protegida y libres de recibir descargas directas de rayo. La corriente de rayo se conducirá a lo largo de la estructura hasta el sistema de puesta a tierra.

Instalación derivadora

En el caso de las instalaciones aisladas, desde un punto de vista estético, resulta especialmente problemático integrar la instalación derivadora en el edificio a proteger debido a que deben tomarse en consideración las distancias de seguridad..

Los conductores HVI pueden instalarse, por ejemplo, en la fachada y también pueden integrarse en su interior. (**Figura 5.2.4.2.5**). El nuevo sistema derivador aislado contribuye a mejorar el aspecto estético de la estructura. Funcionalidad y diseño pueden fusionarse y constituir una unidad, por lo que esta tecnología innovadora representa un aspecto importante para la arquitectura moderna.



Fig. 5.2.4.2.5: Sistema captador con cable tendido y sistema derivador aislado.

5.2.4.3 Ejemplo de proyecto: Edificio residencial

Estructura

El edificio de la **figura 5.2.4.3.1** se construyó desde la planta baja hasta el sexto piso en forma de construcción convencional.

Con posterioridad se levantó un piso más sobre la superficie de tejado existente. La fachada exterior del séptimo piso está formada por planchas de metal.

En el tercer piso se encuentra el centro de medios audiovisuales y en la planta baja se localiza la administración. Los restantes pisos hasta el séptimo, están dedicados a viviendas.

Las cubiertas de los pisos sexto y séptimo están rematadas con un peto metálico, cuyos elementos no están conectados eléctricamente.

El edificio tiene 25,80 metros de altura (sin peto) hasta el nivel de cubierta.

Más adelante, sobre la cubierta del séptimo piso, se montaron cinco instalaciones de antena para telefonía móvil y microondas de distintos operadores. El emplazamiento de las antenas se efectuó en las esquinas y en el centro de la cubierta.

Los cables (cables coaxiales) de las cuatro antenas situadas en las esquinas de la cubierta están instalados cerca del peto de la esquina sur-oeste.

Desde allí, se conducen a través de una bandeja metálica que conecta el peto de la cubierta de los pisos sexto y séptimo con la estación de telefonía móvil (BTS) situada en el sexto piso.

Los cables de la antena situada en el centro de la cubierta están instalados en otra bandeja de cables metálica que conecta directamente hasta la segunda estación de telefonía móvil situada en el lado noreste del edificio en el sexto piso. Esta conducción de cable está conectada a los petos perimetrales del edificio.

El edificio estaba protegido con un sistema de protección contra rayos. La nueva instalación de protección externa contra rayos para protección del edificio y de las personas se efectuó de acuerdo con la norma de protección contra rayos DIN VDE 0185 -3 (IEC 61024), que era a norma de aplicación cuando el edificio se construyó.

Durante la instalación de las antenas, la compensación de potencial y la puesta a tierra de la instalación se llevaron a cabo de acuerdo con la normativa alemana DIN VDE 0855-300 parte 300.

La puesta a tierra de los sistemas, sin embargo, no se efectuó aislada de la protección externa contra rayos existente hasta al sistema de puesta a tierra a nivel de suelo, sino solamente respecto de la instalación captadora.

De este modo, en caso de una descarga de rayo, se pueden introducir corrientes parciales de rayo en el edificio a través de las pantallas de los cables coaxiales. Estas corrientes parciales de rayo constituyen un peligro, no sólo para las personas sino también para los dispositivos eléctricos y electrónicos existentes en el mismo.

Nuevo concepto

Se requería una instalación de protección contra rayos que evitara que pudieran acceder al interior del edificio corrientes parciales de rayo a través de los componentes de las antenas (Estructuras soporte, blindajes de cables e instalaciones). Al mismo tiempo, debía asegurarse la distancia de separación necesaria "s" entre los soportes de las antenas y la instalación captadora situada sobre la cubierta del séptimo piso.

Esto es algo que no puede conseguirse con una instalación de protección contra rayos de ejecución convencional.

Mediante la instalación del conductor HVI se construyó un sistema de protección contra rayos con una ins-



Fig. 5.2.4.3.1: Vista general.

talación captadora aislada. Para ello se necesitaron los siguientes componentes:

- ⇒ Puntas captadoras sobre tubos aislantes, de material GRP, fijados directamente al mástil de las antenas (**Figura 5.2.4.2.2a**).
- ⇒ Derivación desde la punta captadora mediante un conductor HVI hasta conectar con el anillo aislado (**Figura 5.2.4.3.2**).
- ⇒ Sellado del punto entrada, a fin de garantizar la resistencia a descargas en el punto de entrada (**Figuras 5.2.4.2.2a y 5.2.4.2.2b**).
- ⇒ Anillo aislado realizado con varilla instalada sobre soportes aislantes de GRP. La altura de los soportes se calcula de acuerdo con la distancia de separación necesaria.

- ⇒ Derivadores del anillo aislado tendidos a través del peto y de la fachada metálica hacia los derivadores desnudos en el sexto piso con la correspondiente distancia de separación "s" necesaria respecto al peto (**Figura 5.2.4.3.3**).

- ⇒ Anillo perimetral suplementario, conectando todos los derivadores entre sí a una altura de aprox. 15 metros, para reducir la distancia de separación necesaria "s" de la instalación captadora y la instalación derivadora (**Figuras 5.2.4.3.4 y 5.2.4.4.1**).

Los distintos pasos de la ejecución, explicados en detalle, están representados en la **figura 5.2.4.3.4**

Es importante advertir que el concepto de ejecución proyectado ha sido analizado y discutido



Fig. 5.2.4.3.2: Instalación captadora aislada y anillo aislado.
Fuente: H. Bartels GMBH, Oldenburg.



Fig. 5.2.4.3.3: Derivador de anillo aislado.



Fig. 5.2.4.3.4: Vista general de la nueva protección externa contra rayos.

detalladamente con el instalador, a fin de evitar fallos o errores en la realización.

Al planificar la protección externa contra rayos se ha tenido en cuenta el hecho de que la cubierta del tejado, en el sexto piso del edificio (**Figura 5.2.4.3.1**) y los anexos al edificio situado más abajo (**Figura 5.2.4.3.4**) también están situados en la zona de protección/ángulo de protección de la instalación captadora.

5.2.4.4 Distancia de separación

Para el cálculo de la distancia de separación "s", hay que tener en cuenta, no sólo la altura del edificio, sino también la altura de cada una de las antenas con sus correspondientes sistemas captadores aislados.

Las cuatro antenas situadas en las esquinas del edificio sobrepasan la cubierta en 3,6 m. cada una. La antena central sobresale de la cubierta 6,6 m.

Así pues, teniendo en cuenta la altura del edificio, se obtuvieron las siguientes alturas totales que debían considerarse para el cálculo de la instalación:

⇒ 4 antenas situadas en las esquinas hasta el punto de base de la punta captadora +29,40 m

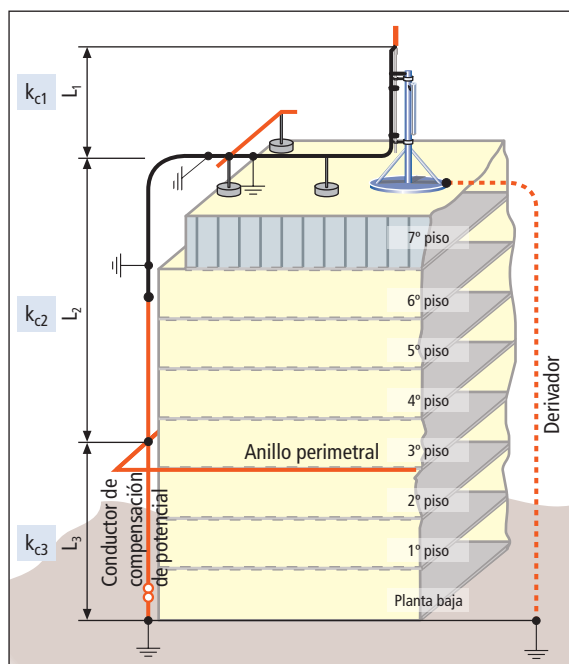


Fig. 5.2.4.4.1: Cálculo de la distancia de separación necesaria.

⇒ 1 antena en el medio de la cubierta hasta el punto de base de la punta captadora +32,40 m

⇒ Otras tres puntas captadoras aisladas, situadas en el lado oeste de la cubierta y dos mástiles captadores aislados situados en el balcón del sexto piso, en el lado sur, que completan la protección de toda la cubierta del edificio.

Como cable de derivación aislado se utilizó el cable especial DEHNconductor, con el que se consigue mantener una distancia de separación equivalente de $s = 0,74 \text{ m (aire)}/1,5 \text{ m (materiales sólidos de construcción)}$.

El cálculo de las distancias de separación necesarias se efectuó para tres sectores parciales según **figura 5.2.4.4.1**:

1. Sector parcial de altura +32,4 m y altura +29,4 (antenas) hasta +27,3 m (anillo aislado) sobre la cubierta
2. Sector parcial de +27,3 m hasta +15,0 m (anillo aislado sobre cubierta hasta anillo perimetral adicional inferior)
3. Sector parcial de +15,0 m hasta $\pm 0 \text{ m}$ (anillo perimetral inferior hasta el nivel del suelo).

La instalación derivadora se compone de seis derivadores desde el anillo aislado a una altura de +27,3 m. hasta el anillo perimetral adicional a +15,0 m. El anillo perimetral a nivel +15,0 m. está unido con el anillo de tierra a través de los seis derivadores del edificio residencial y otros cuatro derivadores instalados en anexos al edificio.

Con ello resulta una distribución de corriente diferente en cada uno de los sectores parciales, que deberá tenerse en cuenta en la planificación de la instalación de protección contra rayos.

La compensación de potencial necesaria y la toma de tierra de los componentes de las antenas sobre la cubierta (incluyendo las bandejas de cables, las fachadas metálicas y los petos en los dos niveles de tejado) se efectuó a través de dos cables suplementarios de toma de tierra NYY 1 x 25 mm², conectados al sistema equipotencial de cada una de las estaciones de telefonía.

Con la construcción de la instalación captadora aislada sobre cubierta y antenas, por un lado, y con los derivadores aislados en la zona de coexistencia con partes metálicas del edificio, por otro, se evita la entrada de corrientes parciales de rayo en el interior del edificio.

Material	Forma	Sección mínima mm ²	Observaciones ¹⁰⁾
Cobre	material plano macizo material redondo macizo ⁷⁾ cable material redondo macizo ^{3), 4)}	50 ⁸⁾ 50 ⁸⁾ 50 ⁸⁾ 200 ⁸⁾	Grosor mínimo 2 mm. Diámetro 8 mm. Diámetro mínimo de cada cable 1,7 mm. Diámetro 16 mm.
Cobre cincado ¹⁾	material plano macizo material redondo macizo ⁷⁾ cable	50 ⁸⁾ 50 ⁸⁾ 50 ⁸⁾	Grosor mínimo 2 mm. Diámetro 8 mm. Diámetro mínimo de cada cable 1,7 mm.
Aluminio	material plano macizo material redondo macizo cable	70 50 ⁸⁾ 50 ⁸⁾	Grosor mínimo 3 mm. Diámetro 8 mm. Diámetro mínimo de cada cable 1,7 mm.
Aleación de aluminio	material plano macizo material redondo macizo cable material redondo macizo ³⁾	50 ⁸⁾ 50 50 ⁸⁾ 200 ⁸⁾	Grosor mínimo 2,5 mm. Diámetro 8 mm. Diámetro mínimo de cada cable 1,7 mm. Diámetro 16 mm.
Acero cincado al fuego ²⁾	material plano macizo material redondo macizo ⁹⁾ cable material redondo macizo ^{3), 4), 9)}	50 ⁸⁾ 50 50 ⁸⁾ 200 ⁸⁾	Grosor mínimo 2,5 mm. Diámetro 8 mm. Diámetro mínimo de cada cable 1,7 mm. Diámetro 16 mm.
Acero Inoxidable ⁵⁾	material plano macizo ⁶⁾ material redondo macizo ⁶⁾ cable material redondo macizo ^{3), 4)}	50 ⁸⁾ 50 70 ⁸⁾ 200 ⁸⁾	Grosor mínimo 2 mm. Grosor mínimo 8 mm. Diámetro mínimo de cada cable 1,7 mm. Diámetro 16 mm.

- ¹⁾ Estañado al fuego o estañado galvánicamente. Espesor mínimo del recubrimiento 1 µm.
- ²⁾ El revestimiento debe ser liso, continuo, libre de restos de fundentes y presentar un grosor mínimo de 50 µm.
- ³⁾ Utilizable para puntas captadoras. Para aplicaciones en las que no sean críticos esfuerzos mecánicos como la carga del viento, puede utilizarse una punta captadora de 1 m de largo con fijación suplementaria y de diámetro de 10 mm.
- ⁴⁾ Aplicable para barras de penetración en el terreno.
- ⁵⁾ Cromo ≥ 16 %, níquel ≥ 8 %, carbono ≤ 0.03 %
- ⁶⁾ En caso de acero inoxidable en hormigón y/o en contacto directo con materiales inflamables, la sección mínima para el redondo macizo debe ser de 78 mm² (10 mm. de diámetro) y para material plano macizo 75 mm² (3 mm. de grosor)
- ⁷⁾ En determinadas aplicaciones en las que la resistencia mecánica no es de relevancia, la sección puede reducirse de 50 mm² (8 mm. de diámetro) a 28 mm² (6 mm. de diámetro). En estos casos, hay que tener en cuenta la disminución de la distancia de los elementos de fijación.
- ⁸⁾ Cuando las exigencias térmicas y mecánicas son relevantes, estas medidas pueden incrementarse a 60 mm² en el caso del material plano macizo y a 78 mm² para el redondo macizo.
- ⁹⁾ Con una energía específica de 10,000 kJ/Ω la sección mínima para evitar la fusión es de 16 mm² (cobre), 25 mm² (aluminio), 50 mm² (acero) y 50 mm² (acero inoxidable). Más información en el anexo E.
- ¹⁰⁾ Grosor, achura y diámetro están definidos para una tolerancia de ± 10%.

Tabla 5.3.1: Material, forma y sección mínima de puntas captadoras, conductores captadores y derivadores.

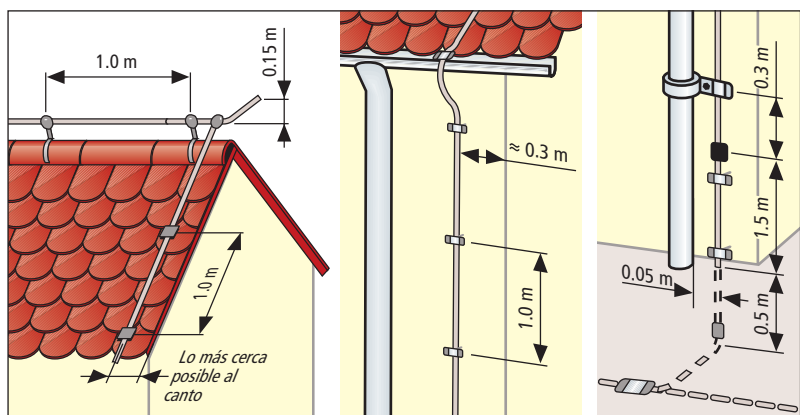


Fig. 5.4.1: Ejemplos de detalles de una protección externa contra rayos en un edificio con tejado a dos aguas.

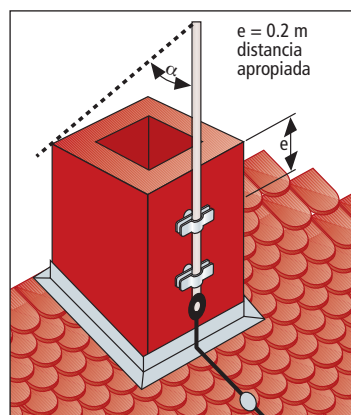


Fig. 5.4.2: Punta captadora para chime-
nea.

5.3 Materiales y medidas mínimas para dispositivos captadores y derivadores

En la **tabla 5.3.1** se recogen las secciones mínimas, la forma y el material de elementos captadores.

Estas exigencias están condicionadas por la capacidad de los materiales para soportar la corriente de rayo (elevación de la temperatura) y por los esfuerzos mecánicos al usarlos.

Si se utiliza varilla de diámetro 8 mm. como punta captadora, se permite una altura máxima libre de 0,5 m. La limitación de altura para una varilla de diámetro 10 mm. es de 1 m. de longitud libre.

Observación:

Según la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) punto 1 de la tabla 8, la sección mínima para un cable de unión entre dos barras equipotenciales es de 14 mm² Cu.

En pruebas efectuadas con un cable de cobre aislado con PVC y con una corriente de choque de 100 kA (10/350 μ s) se ha comprobado una elevación de la temperatura de 56 K. En este caso, puede utilizarse,

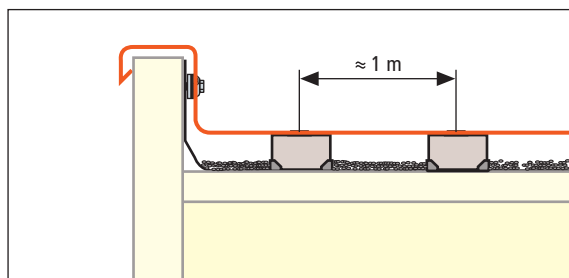


Fig. 5.4.3: Instalación en cubierta plana.

por ejemplo, un cable NYY 1 x 16 mm² Cu como derivador o como conductor de unión sobre tierra o bajo tierra.

5.4 Medidas de montaje para instalaciones captadoras y derivadoras

Las medidas de montaje que se recogen a continuación están basadas en la experiencia práctica (**Figura 5.4.1**) y vienen determinadas, principalmente, por las fuerzas mecánicas que actúan sobre los componentes del sistema de protección externa contra rayos.

Estas fuerzas mecánicas se originan, en menor medida, por las fuerzas electrodinámicas que se producen durante el flujo de la corriente de rayo y, en mayor medida, por fuerzas de presión y tracción (p. ej. por variación de la longitud a causa de la temperatura), por esfuerzos derivados del viento o por carga de nieve.

Los datos sobre la distancia máxima de 1,2 metros entre los soportes de conductores hacen referencia principalmente al acero, que es un material relativamente rígido. En el caso del aluminio, la distancia entre soportes es de 1 metro.

En la norma UNE EN 62305-3 (IEC62305 - 3) se recomiendan las siguientes medidas de montaje para la protección externa contra rayos (**Figuras 5.4.1 y 5.4.2**).

La **figura 5.4.3** muestra la aplicación sobre cubierta plana.

A ser posible, al instalar los derivadores, deberá mantenerse la distancia de separación “s” respecto a ventanas, puertas y otras aberturas.

En las **figuras 5.4.3 - 5.4.5** se representan otras medidas importantes de montaje.

El tendido de una toma de tierra alrededor de un edificio (p. j. anillo de tierra), deberá realizarse a una profundidad de >0.5 m y con una distancia respecto al mismo de aproximadamente 1 metro (**Figura 5.4.4**).

En las entradas a tierra o en las conexiones a la toma de tierra de cimientos (tomas de tierra anulares) deben tenerse en cuenta medidas de protección contra la corrosión, como, por ejemplo, la utilización de cinta anticorrosiva o el uso de varilla con revestimiento de PVC, 0,3 m por encima y por debajo de la entrada en tierra (**Figura 5.4.5**)

Es posible realizar una conexión segura frente a la corrosión y libre de impacto visual, utilizando un punto fijo de toma de tierra realizado en NIRO para instalar en el hormigón.

Igualmente, en el caso de lugares húmedos, el terminal de tierra debe protegerse contra corrosión en la barra equipotencial.

Las diferentes combinaciones de materiales que se muestran en la **tabla 5.4.1** (entre elementos de la instalación captadora, derivadores y con partes de la estructura) han sido experimentadas en la práctica y reflejan que son compatibles desde el punto de vista de la corrosión, incluso en el caso de que existan influencias medioambientales especialmente agresivas.

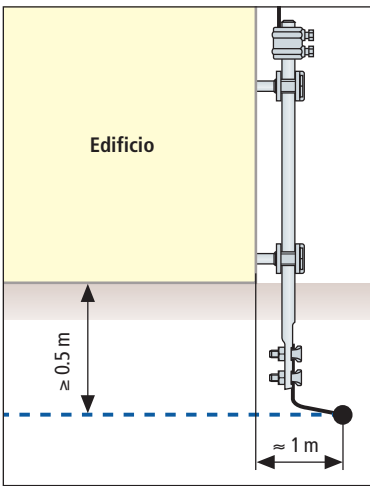


Fig. 5.4.4: Dimensiones para tomas de tierra anulares.

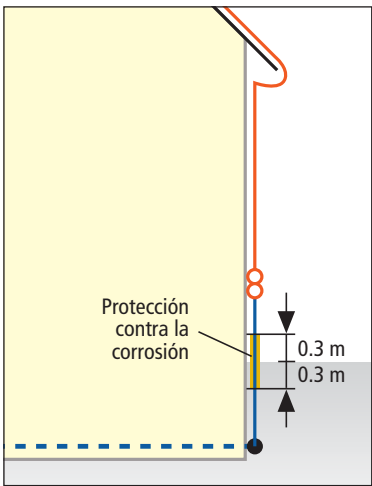


Fig. 5.4.5: Punto expuesto a riesgo de corrosión.

5.4.1 Variación de la longitud en cables metálicos

A menudo, en la práctica, tanto en instalaciones captadoras como en las derivadoras, no se toma en consideración la variación de la longitud de los materiales ocasionada por los cambios de la temperatura.

En las antiguas normas y disposiciones se recomendaba, de forma general, instalar cada 20 metros aproximadamente una pieza de dilatación. Esta disposición se refería a que antiguamente solía utilizarse única y exclusivamente varilla de acero. No se tenían en cuenta los valores más elevados de los coeficientes de dilatación longitudinal del acero inoxidable, el cobre y sobre todo del aluminio.

Hay que considerar que, en la cubierta y sus alrededores, a lo largo del año, pueden producirse variaciones de la temperatura de 100 K. En la **tabla 5.4.1.1** se enumeran las variaciones longitudinales que se pro-

	Acero (StZn)	Aluminio	Cobre	NIRO	Titanio	Estaño
Acero (StZn)	si	si	no	si	si	si
Aluminio	si	si	no	si	si	si
Cobre	no	no	si	si	no	si
NIRO	si	si	si	si	si	si
Titanio	si	si	no	si	si	si
Estaño	si	si	si	si	si	si

Tabla 5.4.1: Combinación de materiales.

Material	Coefficiente de dilatación longitudinal α $\frac{1}{10^6}$ $\frac{1}{K}$	ΔL Fórmula de cálculo $\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$ variación de la temperatura asumida en el tejado: $\Delta T = 100 K$
Acero	11,5	$\Delta L = 11,5 \cdot 10^6 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 100 = 0,115 \text{ cm} \cdot 1,1 \text{ mm/m}$
Acero inoxid.	16	$\Delta L = 16 \cdot 10^6 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 100 = 0,16 \text{ cm} \cdot 1,6 \text{ mm/m}$
Cobre	17	$\Delta L = 17 \cdot 10^6 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 100 = 0,17 \text{ cm} \cdot 1,7 \text{ mm/m}$
Aluminio	23,5	$\Delta L = 23,5 \cdot 10^6 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 100 = 0,235 \text{ cm} \cdot 2,3 \text{ mm/m}$

Tabla 5.4.1.1: Cálculo de la variación longitudinal Δ de varillas metálicas usadas en protección contra rayos, condicionada por la temperatura.



Fig. 5.4.1.1: Instalación captadora. Compensación de dilatación mediante bridas de puenteo.

Material	Superficie de fijación para conductores captadores o derivadores		Distancia de las piezas de dilatación en m
	blanda, p. ej. tejado plano con recubrimiento bituminoso o de plástico	dura, p. ej. ladrillos o mampostería	
Acero	X		≈ 15
		X	≤ 20
Acero inoxidable/Cobre	X		≈ 10
		X	≤ 15
Aluminio	X	X	≤ 10
Utilización de piezas de dilatación cuando no se realiza ninguna otra medida de compensación de longitud			

Tabla 5.4.1.2: Piezas de dilatación para protección contra rayos. Recomendaciones de uso.

ducen en los distintos materiales. Es de destacar que la variación longitudinal debido a la temperatura entre el acero y el aluminio difiere aproximadamente en un factor 2.

Los criterios para la utilización de piezas de dilatación se exponen en la **tabla 5.4.1.2**. Al utilizar piezas de dilatación hay que tener en cuenta que se tiene que tratar de una compensación flexible de la longitud. La flexión en forma de “S” de la varilla metálica no es suficiente, ya que estas “piezas de dilatación” realizadas manualmente no son suficientemente flexibles.

Al conectar instalaciones captadoras, por ejemplo a petos metálicos continuos en los bordes del tejado, debería recurrirse a una conexión flexible mediante piezas o medidas adecuadas. Si no se realiza esta conexión flexible, existe el riesgo de que el revestimiento metálico de los petos del tejado resulte dañado a causa de la variación de longitud de los materiales debido a los cambios de temperatura.

Para compensar dicha variación, es necesario instalar las correspondientes piezas de dilatación. (**Figura 5.4.1.1**).

5.4.2 Protección externa contra rayos para un edificio industrial y para una vivienda

La **figura 5.4.2.1a** muestra el diseño de la protección externa contra rayos para una vivienda con garaje incorporado, y la **figura 5.4.2.1b**, para un edificio industrial.

Las **figuras 5.4.2.1a** y **5.4.2.1b** y las **tablas 5.4.2.1a** y **b** muestran ejemplos de los componentes utilizados.

No se han tomando en consideración las medidas necesarias de protección interior contra rayos, como p. ej. la equipotencialidad de protección contra el rayo y la protección contra sobretensiones (Ver al respecto el capítulo 6.)

Particularmente centramos nuestra atención en los programas de soporte de DEHN, DEHNSnap y DEHN-grip.

La generación de soportes de plástico DEHNSnap (**Figura 5.4.2.2**) es apropiada como un componente básico (para pared y tejado). El conductor se fija al

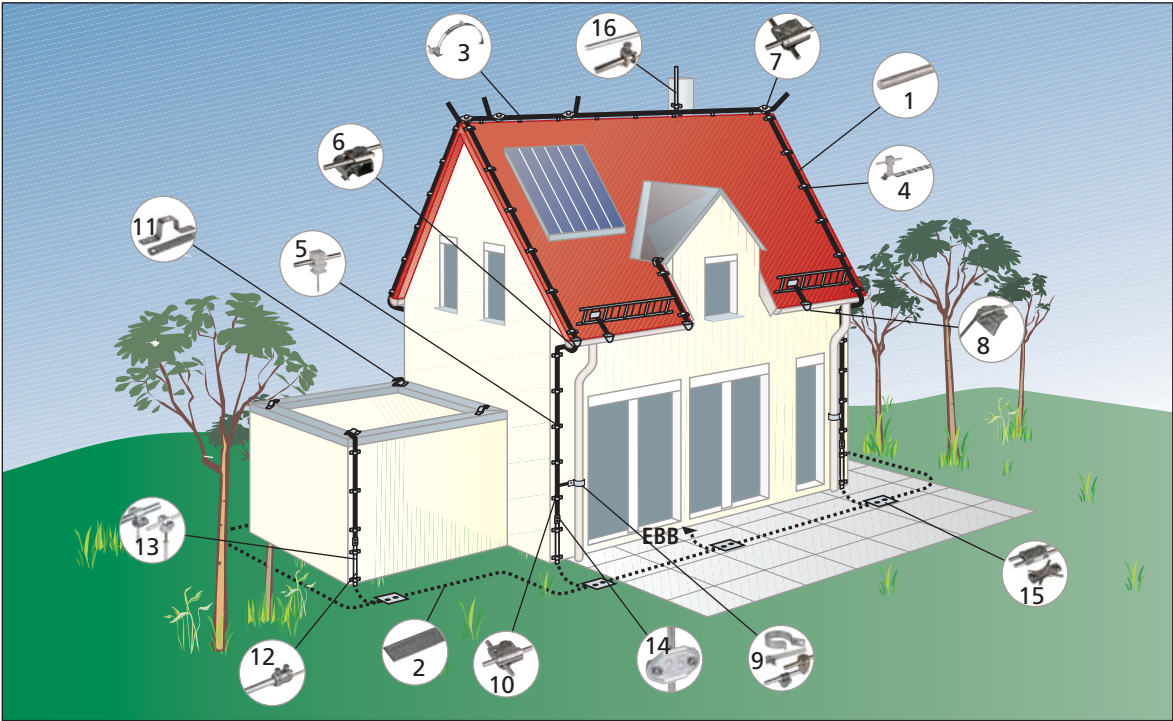


Fig. 5.4.2.1a: Protección externa contra rayos de una vivienda unifamiliar.

Pos.	Artículo - Descripción	Art.Nr.	Pos.	Artículo - Descripción	Art.Nr.
1	Varilla diámetro 8 mm. - DEHNALU semi-duro o blando.	840 008 840 018	7	Borna MV Borna MV	St/tZn 390 050 StSt 390 059
2	Pletina de acero 30 x 3,5 mm. Varilla de 10 mm. de diámetro	St/tZn 810 335 StSt V4A 860 010	8	Borna para rejilla para la nieve	St/tZn 343 000
3	Soporte de conductor de tejado para caballetes	St/tZn 202 020 StSt 204 109 StSt 204 249 StSt 204 269 StSt 206 109 StSt 206 239	9	Abrazadera para canalones ajustable ø 60 - 150 mm Abrazadera para canalones para cualquier sección Conector KS para conexión de conductores Conector KS	423 020 423 200 301 000 StSt 301 009
4	Soporte de conductor para cubierta	StSt 204 149 StSt 204 179 St/tZn 202 010 St/tZn 202 050 St/tZn 202 080 StSt 206 209 St/tZn 206 309	10	Borna MV	390 051
5	DEHNsnap DEHNgríp Soporte de conductor con taco y arandela Soporte de conductor para aislamiento térmico	204 006 207 009 275 160 273 740	11	Brida de puenteo Banda de puenteo	Aluminio 377 006 Aluminio 377 015
6	Borna para canalones de tejado Borna atornillada para canalones de tejado de	St/tZn 339 050 StSt 339 059 St/tZn 339 100 StSt 339 109	12	Barra de penetración diámetro 16 mm Completa	480 150 480 175
			13	Soporte de barra con taco y arandela Soporte de barra para aislamiento térmico	275 260 273 730
			14	Placa numerada para identificación de puntos de separación	480 006 480 005
			15	Conector paralelo Cruceta Bornas SV Bornas SV	305 000 306 020 319 201 St/tZn 308 220 StSt 308 229
			16	Puntas captadoras con orejeta soldada Puntas captadoras con extremos redondeados Conexión a punta	100 075 483 075 380 020

Tabla 5.4.2.1a: Componentes para la protección externa contra rayos de una vivienda unifamiliar.

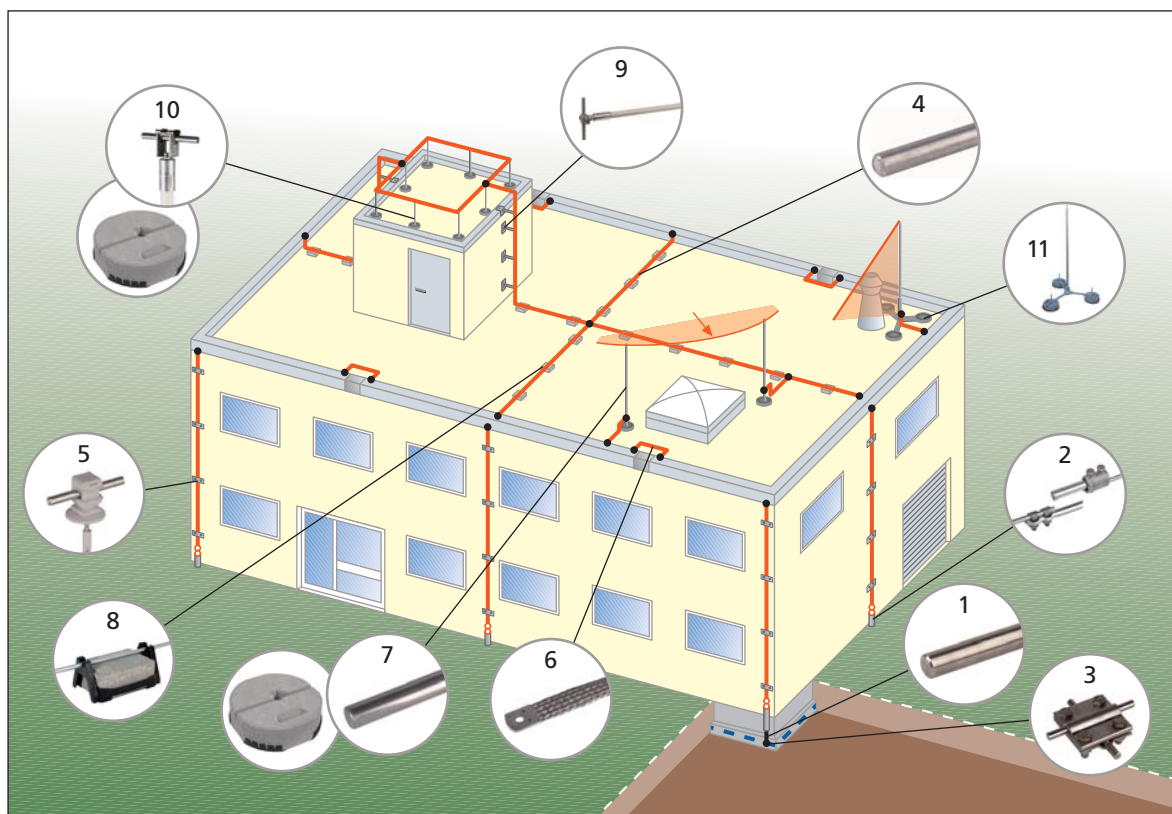


Fig. 5.4.2.1b: Protección externa contra rayos de un edificio industrial.

Pos.	Artículo - Descripción	Art.Nr.	Pos.	Artículo - Descripción	Art.Nr.
1	Varilla de acero inoxidable diámetro 10 mm. StSt	860 010	8	Soporte de conductor de tejado para cubiertas planas	253 050
2	Juego de barra de penetración en tierra St/tZn	480 150	9	Soporte distanciador DEHNiso ZDC-St/tZn	106 100
3	Cruceta StSt	319 209	10	Anillo elevado con zócalo de hormigón con placa protectora y distanciador StSt	102 340 106 160
4	Varilla DEHNALU® AlMgSi	840 008	11	Punta captadora aislada	105 500
5	Soporte de conductores DEHNsnap®	204 120			
6	Banda de puenteado Al	377 015			
7	Punta captadora AlMgSi	104 200			
	Con zócalo de hormigón con placa protectora	120 340			

Tabla 5.4.2.1b: Componentes para la protección externa contra rayos de un edificio industrial.

soporte simplemente basculando la caperuza del mismo. La técnica especial de enclavamiento no ejerce ningún tipo de esfuerzo mecánico sobre el cierre.

DEHNgrip (Figura 5.4.2.2) es un soporte de acero inoxidable sin tornillos que se añadió al programa de productos para complementar al sistema DEHNsnap de soportes de plástico.

Este sistema de soporte sin tornillos es apropiado para utilizarse como soporte de conductores de diámetro 8 mm. tanto en el tejado como en la pared. Basta sencillamente con presionar sobre el soporte y el conductor queda fijado en el DEHNgrip (Figura 5.4.2.2).

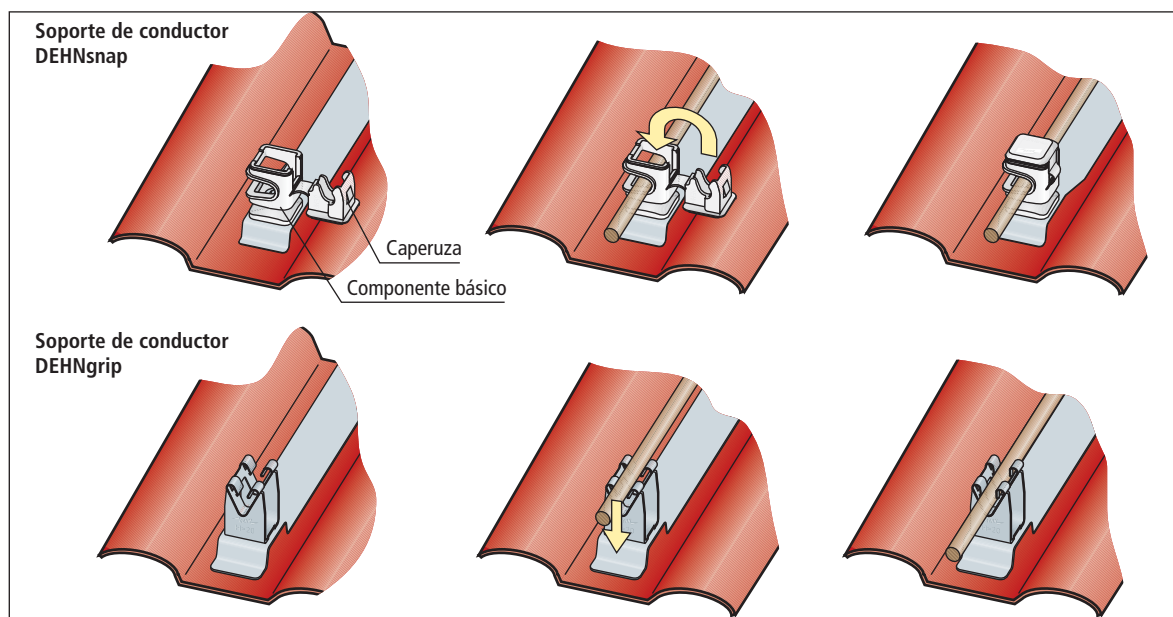


Fig. 5.4.2.2: Soportes de conductor DEHNSnap y DEHNgrip.

5.4.3 Consejos para el montaje de soportes de conductor de tejado

Tejas del caballete:

Ajustar los soportes de conductor de tejado según las dimensiones de las tejas del caballete mediante tornillo de ajuste (Figura 5.4.3.1).

El guiado del conductor puede, además, ajustarse en cualquier momento mediante soportes de conductores, desde el centro superior hasta el lateral inferior.

(Posibilidad de aflojar el soporte de conductor bien

girando el soporte o bien soltando el tornillo de sujeción).

⇒ Soporte de conductor de tejado SPANNsnap con soporte de conductor de plástico DEHNSnap o con soporte de conductor St/St DEHNgrip (Figura 5.4.3.2).

Tensión permanente mediante muelle tensor de S/tSt.

Margen de tensión universal de 180 - 280 mm. con guiado de conductores ajustable lateralmente, para conductores de diámetro 8 mm.

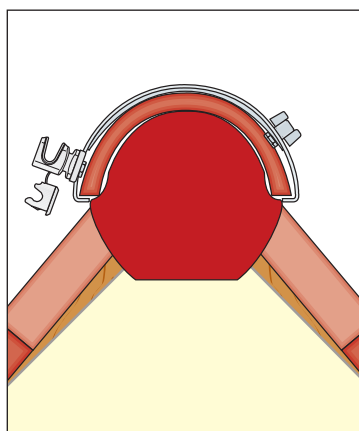


Fig. 5.4.3.1: Soporte de conductor de tejado con DEHNSnap para tejas de caballete.

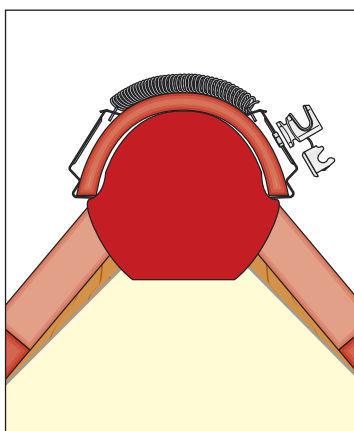


Fig. 5.4.3.2: SPANNsnap con soporte de conductor de plástico DEHNSnap.

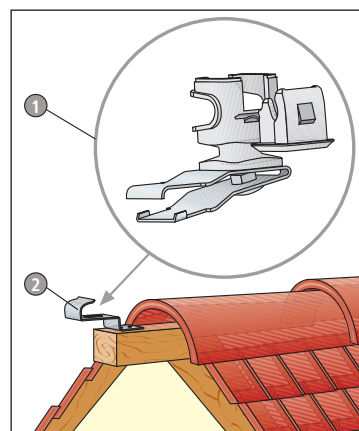


Fig. 5.4.3.3: FIRSTsnap para montaje sobre piezas de caballete ya existentes.

⇒ Soporte de conductor FIRSTsnap con soporte de conductor de plástico DEHNSnap, para colocar sobre abrazaderas de caballete ya existentes, en el caso de caballetes de madera.

El soporte de conductor DEHNSnap (1) (Figura 5.4.3.3) se monta sobre la pieza de caballete existente, (2) en el caso de caballetes de madera y se atornilla a mano (sólo hacer girar el DEHNSnap).

Tejas ranuradas:

El soporte de conductor de tejado UNIsnap con puntal preformado se utiliza para las superficies de tejado. Después de doblarlo a mano, el soporte de conductor se inserta en los listones de tejado. Además, puede clavarse para mayor seguridad (Figura 5.4.3.4).

Tejas planas (Figura 5.4.3.5)

Cubiertas de pizarra:

Cuando se utiliza sobre tejados de pizarra hay que doblar el enganche interior (Figura 5.4.3.6) o bien montar una pieza adicional de apriete (Art.Nr. 204 089).

Tejas con ranuras:

⇒ Soporte de conductor de tejado FLEXIsnap para tejas con reborde, para colocar directamente sobre las ranuras (Figura 5.4.3.7)

El tirante flexible de NIRO se introduce entre las tejas con ranura.

Presionando sobre la teja con ranuras situada en la parte superior, se conforma el tirante flexible de StSt y se ajusta al reborde. De este modo, queda fijo por debajo de la teja.

Está prevista una muesca para la fijación a la ventana en su caso.

Además el puntal del soporte puede clavarse.

⇒ Soporte conductor de tejado con pletina preformada para suspender en la ranura inferior. (Figura 5.4.3.8).

Tejas planas:

El soporte de conductor DEHNSnap (1) (Figura 5.4.3.9) se introduce con su dispositivo de apriete (2) entre las tejas planas (3) o entre las placas y se atornilla a mano (girar solamente el DEHNSnap).

Construcciones solapadas

En este caso (3) (p. ej. planchas y pizarras naturales) el soporte de conductor DEHNSnap con brida de apriete (1) (Figura 5.4.3.10) (2), se introduce lateralmente y, estando el soporte abierto, se fija con ayuda de un destornillador. El DEHNSnap, puede girarse de tal manera que permite un guiado vertical a plomo del conductor.

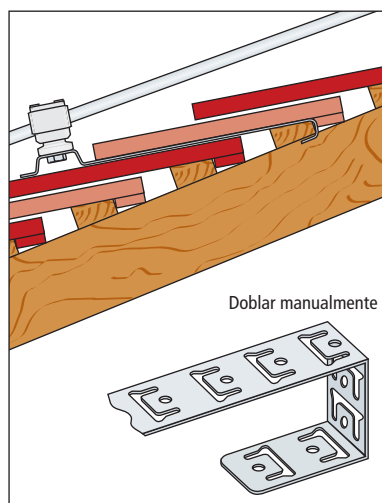


Fig. 5.4.3.4: Soporte de conductor de tejado UNIsnap con puntal preformado. Utilización sobre tejas ranuradas.

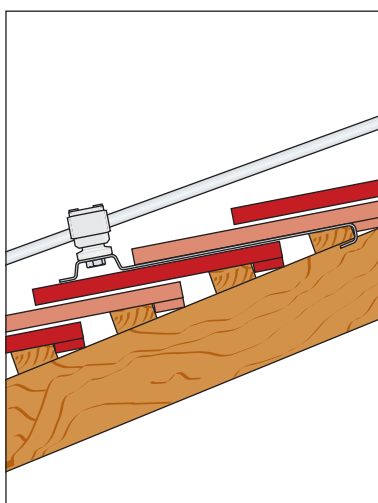


Fig. 5.4.3.5: Soporte de conductor de tejado UNIsnap con puntal preformado. Utilización sobre tejas planas.

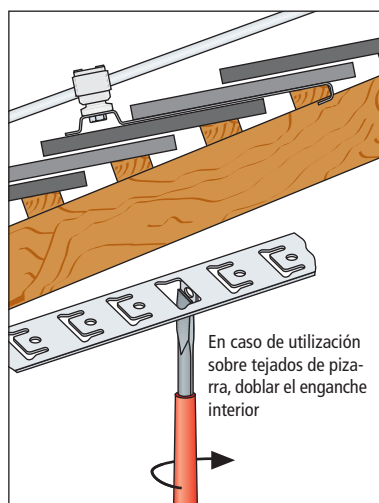


Fig. 5.4.3.6: Soporte de conductor de tejado UNIsnap con puntal preformado. Utilización sobre tejados de pizarra.

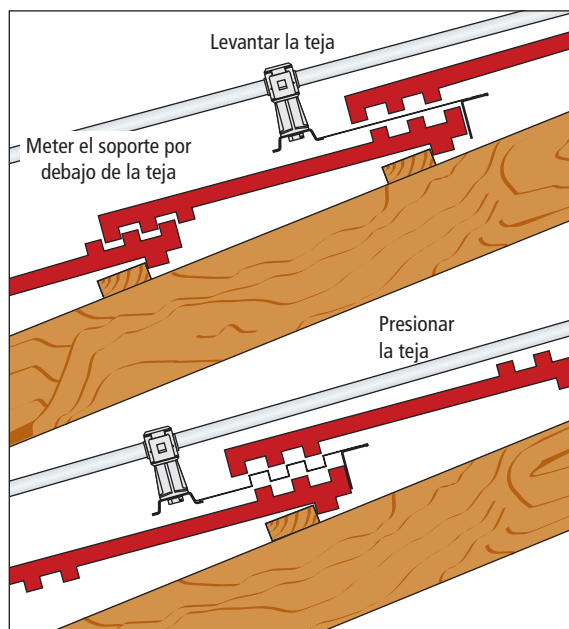


Fig. 5.4.3.7: Soporte de conductor FLEXIsnap para adaptación directa a la junta.

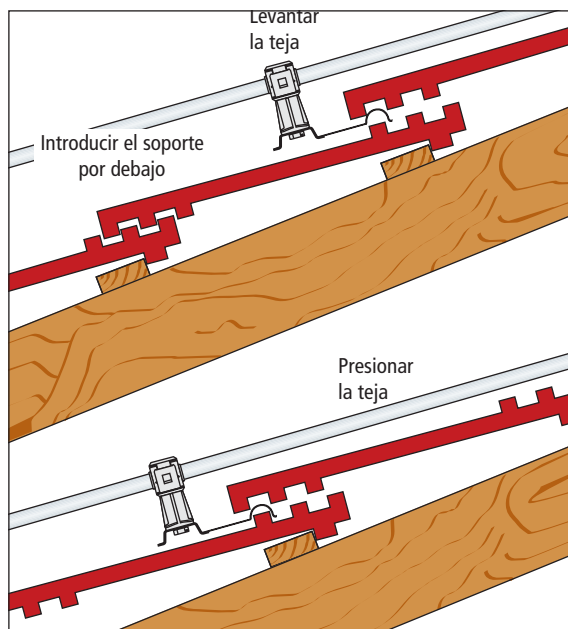


Fig. 5.4.3.8: Soporte de conductor de tejado para instalar en el reborde inferior en cubiertas de teja con ranuras.

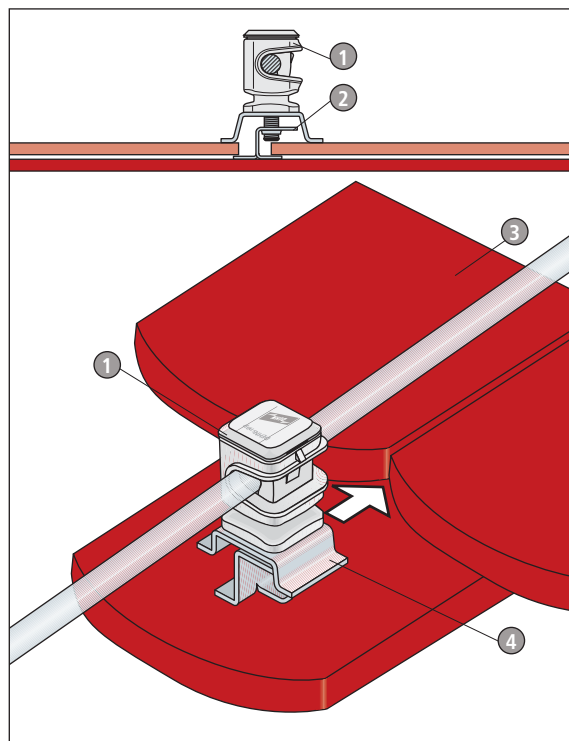


Fig. 5.4.3.9: ZIEGELsnap, para sujeción entre tejas o planchas planas.

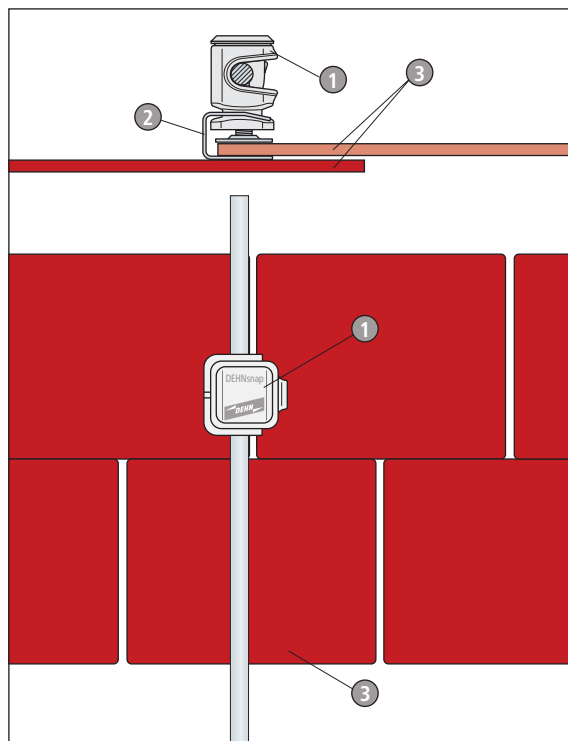


Fig. 5.4.3.10: Soporte de conductor de tejado PLATTENsnap para construcciones solapadas.

5.5 Instalaciones de toma de tierra

Las normas IEC 62305-3, EN 62305-3 y UNE EN 62.305-3 "Protección contra rayos – Daño físico a estructuras y riesgo humano", HD 637 S1 "Instalaciones de energía superiores a 1 kV", IEC 60050-826 "Vocabulario Electrotécnico Internacional Parte 826: Instalaciones eléctricas" e IEC 60363-5-54 "Instalaciones Eléctricas de Edificios – Parte 5-54", contienen una explicación detallada de los conceptos utilizados en la técnica de toma de tierra. En Alemania, además, se aplica la norma DIN 18014 para tomas de tierra de cimientos. A continuación, se expone la terminología utilizada y su significado para facilitar la comprensión de los sistemas que se describen más adelante.

Terminología

Tierra

Es la parte del terreno cuyo potencial eléctrico en cada punto, se pone igual a cero. La palabra "tierra" es también el concepto utilizado, tanto para definir a la tierra como lugar concreto como el material del

que se compone, p. ej., las diversas clase de tierra humus (mantillo), arcilla, arena, grava y rocas.

Tierra de referencia

(tierra neutra) es la parte de la tierra, especialmente de la superficie, fuera de la zona de influencia de una instalación de toma de tierra, en la que entre dos puntos cualquiera no se producen tensiones perceptibles originadas por la corriente en la toma de tierra (Figura 5.5.1).

Toma de tierra

Es uno o varios componentes conductores que se encuentran en contacto con el terreno y que constituyen una conexión eléctrica (se incluyen también las tomas de tierra de cimientos).

Instalación de toma de tierra

Es un conjunto de electrodos de tierra localizados en un emplazamiento limitado y unidos eléctricamente entre sí, así como elementos metálicos que puedan actuar como electrodos de dispersión (p. ej. armados de cimientos de hormigón, revestimientos o armaduras metálicas de cables en contacto con tierra, etc.).

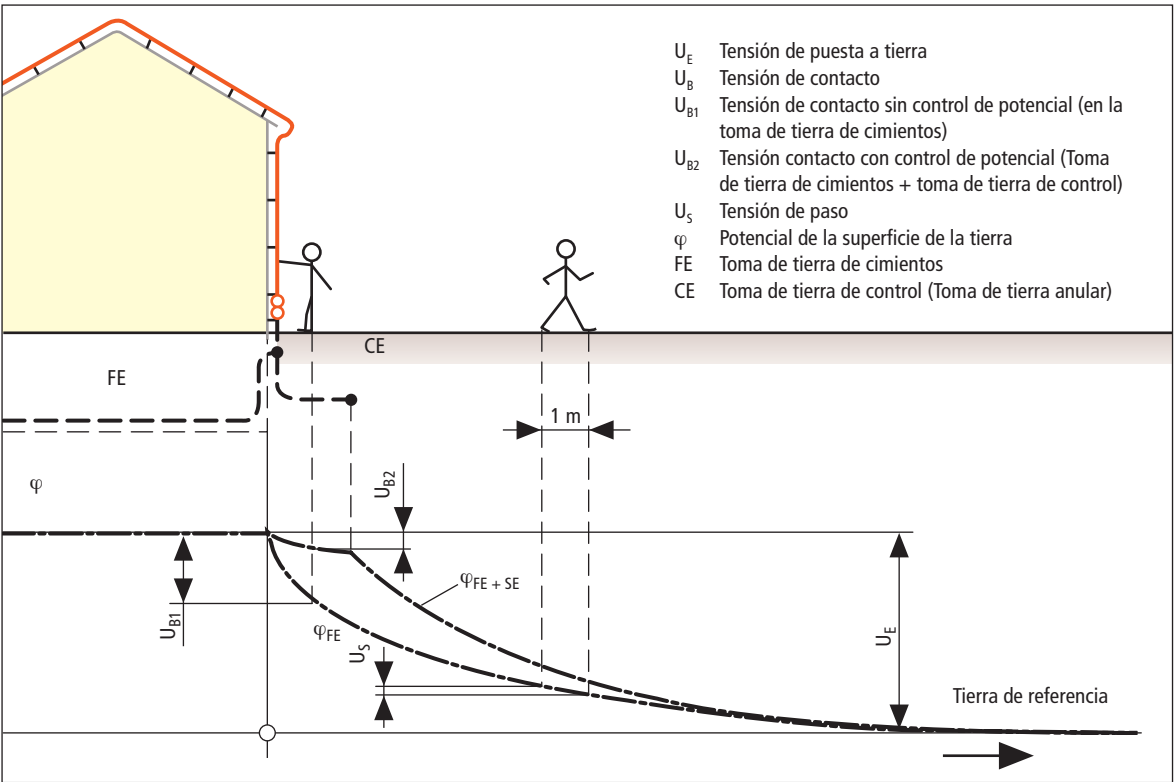


Fig. 5.5.1: Potencial de la superficie del terreno y tensiones en la toma de tierra de cimientos FE y tomas de tierra de control cuando están atravesados por la corriente.

Conductor de tierra

Es un conductor que une una parte de la instalación que se ha de poner a tierra con una toma de tierra y que está tendido sobre el terreno o aislado en el mismo.

Tierra de protección contra rayos

Es la toma de tierra de una instalación de protección contra rayos diseñada e instalada para derivar a tierra una corriente de rayo.

Seguidamente se describen diversos tipos de tomas de tierra y su clasificación según situación, forma y perfil.

Clasificación según situación

Tomas de tierra superficiales

Es una toma de tierra que, por lo general, se introduce a poca profundidad en el terreno, aproximadamente hasta 1 m. Se puede realizar en material conductor redondo o pletinas, pudiendo disponerse en forma radial, en forma anular, malla o combinación de varias de estas formas.

Tomas de tierra de profundidad

Es una toma de tierra que, por lo general, se introduce verticalmente en tierra a mayor profundidad que la anterior (picas de tierra). Como material puede utilizarse conductor redondo o de perfil.

Toma de tierra de cimientos

Se compone de uno o varios conductores que están embebidos en el hormigón de la cimentación y que se encuentran en contacto con el terreno en una gran superficie.

Toma de tierra de control

Es una toma de tierra que por su forma y disposición, está más destinada al control del potencial que al mantenimiento de una determinada resistencia de propagación.

Toma de tierra circular

Toma de tierra que, por debajo o sobre la superficie de la tierra, configura un anillo cerrado alrededor del edificio a proteger.

Toma de tierra natural

Es aquel elemento o componente metálico que se encuentra en contacto directo con tierra o con el agua, o que está dentro del hormigón, y cuyo objetivo o finalidad original no es el de actuar como parte del sistema de puesta a tierra pero que actúa como

tal (armados de cimientos de hormigón, tuberías metálicas, etc.).

Clasificación según forma y perfil.

Se puede diferenciar entre:

Tomas de tierra realizadas con conductor plano (pletinas); tomas de tierra realizadas con conductor de perfil en cruz y tomas de tierra realizadas con conductor redondo (varillas).

Clases de resistencia

Resistencia específica de tierra

ρ_E es la resistencia eléctrica específica de la tierra. Se indica en Ωm y representa la resistencia de un cubo de tierra de 1 m de lado, entre dos planos opuestos de dicho cubo.

Resistencia de propagación

R_A de una toma de tierra es la resistencia de la tierra entre la toma de tierra y la tierra de referencia. R_A es prácticamente una resistencia efectiva (óhmica).

Resistencia de choque de toma de tierra

R_{st} es la resistencia efectiva existente entre un punto de la instalación de toma de tierra y la tierra de referencia al producirse el paso de la corriente de rayo.

Tensiones en instalaciones de toma de tierra atravesadas por la corriente, control de potencial

Tensión de puesta de tierra

U_E es la tensión existente entre una instalación de toma de tierra y la tierra de referencia (Figura 5.5.1).

Potencial de la superficie de tierra

φ es la tensión existente entre un punto de la superficie de tierra y la tierra de referencia (Figura 5.5.1).

Tensión de contacto

U_B es la parte del potencial de la puesta a tierra que puede transmitirse a las personas (Figura 5.5.1), considerándose como vía para la corriente por el cuerpo humano la que va desde la mano hasta el pie (distancia horizontal de la pieza de contacto aproximadamente 1 m) o bien de una mano a otra.

Tensión de paso

U_s es la parte del potencial de la puesta a tierra que puede afectar a las personas al dar un paso de 1 metro de longitud siendo la vía de corriente la que va de un pie al otro pie a través del cuerpo (Figura 5.5.1).

Control de potencial

Es la posibilidad de influir sobre el potencial de tierra, en especial sobre el potencial de la superficie de la tierra, a través de tomas de tierra de control (Figura 5.5.1).

Compensación de potencial

Es la conexión de instalaciones metálicas y de sistemas eléctricos con la instalación de protección contra rayos a través de conductores, descargadores de corriente de rayo o de vías de chispas de separación.

Resistencia de propagación / Resistencia específica de toma de tierra

Resistencia de propagación R_A

La derivación de la corriente de rayo a tierra a través del sistema de puesta a tierra no se produce en un solo punto, sino que se pone bajo tensión una determinada zona alrededor de la toma de tierra. La forma de la toma de tierra y la forma del tendido tienen que elegirse de tal manera que las tensiones que actúan sobre la superficie de la tierra (tensiones de contacto y tensiones de paso) no adquieran valores peligrosos. Como mejor puede explicarse en qué consiste la resistencia de propagación R_A de una toma de tierra es con la ayuda de una bola de metal enterrada en el suelo.

Si la bola de metal está enterrada a suficiente profundidad, la corriente fluye de manera regular por toda la superficie de la tierra que la rodea de forma radial. Ver figura 5.5.2a. En comparación con ello, en la figura 5.5.2b se muestra el caso de una bola enterrada por debajo de la superficie de la tierra a poca profundidad. Los círculos concéntricos alrededor de la superficie de la bola representan superficies de nivel de tensión constante. La resistencia de propagación R_A se compone de la conexión en serie de la resistencias parciales de cada una de las capas de tierra que rodean la bola. La resistencia de una de estas capas de bola se calcula según la ecuación siguiente:

$$R = \rho_E \cdot \frac{l}{q}$$

siendo ρ_E la resistencia específica de la tierra considerado como un suelo homogéneo, espesor de una capa de bola supuesta.

y

q superficie media de esta capa de bola.

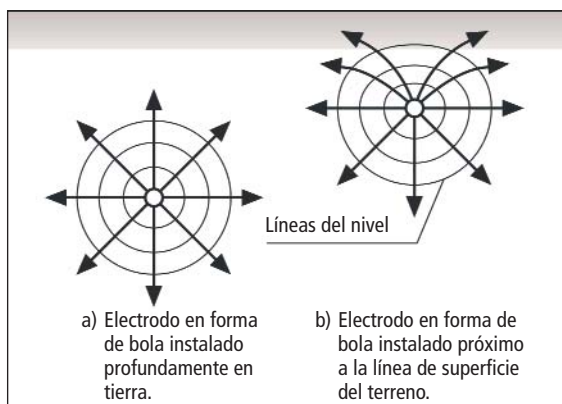


Fig. 5.5.2: Distribución de corriente de una toma de tierra en forma de bola.

Supongamos una bola de metal de 20 cm de diámetro enterrada a 3 m de profundidad, con una resistencia específica de suelo de 200 Ωm .

Al calcular el incremento de la resistencia para las diferentes capas de la esfera en función de la distancia al centro de la bola, se obtiene una curva como la que se muestra en la figura 5.5.3.

La resistencia de propagación ρ_A para la toma de tierra en forma de bola se calcula como sigue:

$$R_A = \frac{\rho_E \cdot 100}{2\pi \cdot r_K} \cdot \frac{1 + \frac{r_K}{2t}}{2}$$

siendo:

ρ_E Resistencia específica de la tierra en Ωm

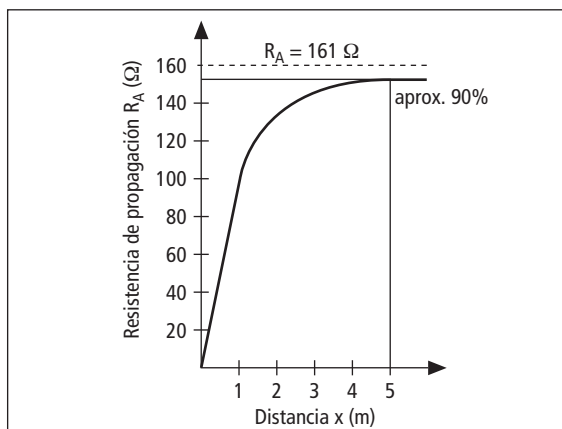


Fig. 5.5.3: Resistencia de propagación R_A de una toma de tierra en forma de bola con diámetro 20 cm, a 3 m de profundidad, siendo $\rho_E = 200 \Omega\text{m}$ dependiente de la distancia con respecto al centro de la bola.

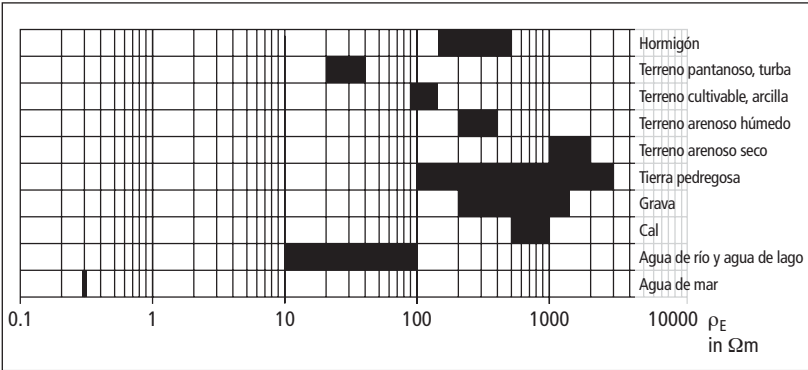


Fig. 5.5.4: Resistencia específica de tierra ρ_E de diferentes tipos de suelo.

t Profundidad de enterramiento en cm.

r_K Radio de la toma de tierra en forma de bola en cm.

En base a esta fórmula se obtiene una resistencia de propagación $R_A = 161 \Omega$, para la toma de tierra en forma de bola.

De la curva expuesta en la **figura 5.5.3** se deduce que la mayor parte de la resistencia de propagación total tiene lugar en la zonas más próximas a la toma de tierra. Así, por ejemplo, a 5 metros de distancia del centro de la bola, se ha alcanzado ya el 90% del total de la resistencia de propagación R_A .

Resistencia específica de tierra ρ_E

La resistencia específica ρ_E , determinante para la magnitud de la resistencia de propagación R_A de una toma de tierra, depende de la composición del suelo, de su humedad y de la temperatura. Puede oscilar entre límites muy amplios.

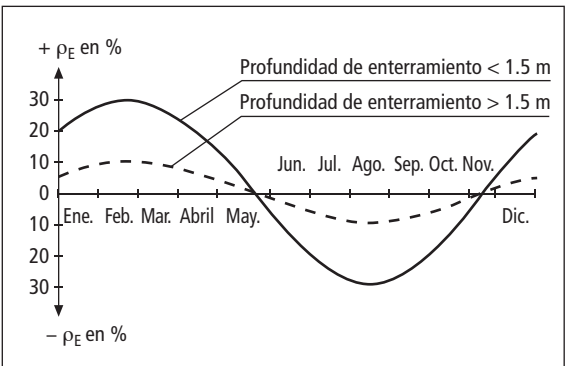


Fig. 5.5.5: Resistencia específica de tierra ρ_E dependiendo de la época del año, sin que influyan sobre ella las precipitaciones (profundidad de enterramiento de la toma de tierra $< 1,5$ m).

Valores para diferentes tipos de suelo

En la **figura 5.5.4** se exponen las amplitudes en las que puede oscilar la resistencia específica del terreno ρ_E para diferentes tipos de suelos.

Fluctuaciones dependientes de la época del año

Numerosas mediciones han demostrado que la resistencia específica de tierra varía de manera notable en función de la profundidad de enterramiento de la toma de tierra. Debido al coeficiente negativo de temperatura del suelo ($\alpha = 0,02 \dots 0,004$) las resistencias específicas de tierra alcanzan un valor máximo en invierno y un valor mínimo en verano. Se recomienda, por lo tanto, calcular los valores de medición de las tomas de tierra de acuerdo con los valores máximos que se pueden esperar, ya que los valores admisibles no deben ser superados ni siquiera bajo las condiciones más desfavorables (temperaturas mínimas). La evolución de la resistencia específica de tierra ρ_E dependiendo de la época del año (temperatura del suelo) puede representarse con bastante aproximación mediante una curva senoide, que tiene su máximo valor aproximadamente a mediados de febrero y el mínimo aproximadamente a mediados de agosto. Asimismo, ensayos realizados han demostrado que, en el caso de tomas de tierra que no están enterradas a más de 1,5 metros de profundidad, las desviaciones máximas de la resistencia

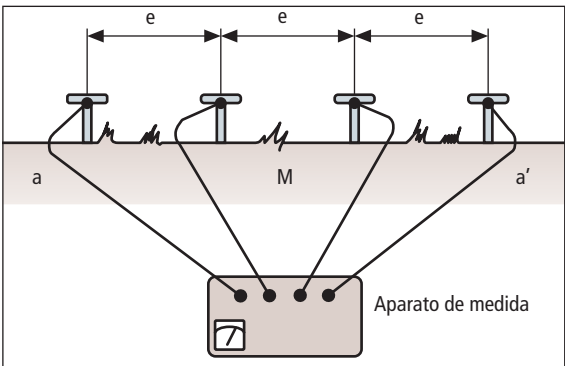


Fig. 5.5.6: Determinación de la resistencia específica de tierra ρ_E con un puente de medida de cuatro bornas según el método WENNER.

específica de tierra respecto a los valores medios llegaban a ser del $\pm 30\%$. (Figura 5.5.5.5).

En tomas de tierra enterradas a mayor profundidad (especialmente en las tomas de tierra de profundidad) la variación supone solamente un $\pm 10\%$.

La resistencia de propagación R_A de una instalación de toma de tierra puede calcularse sobre la base de la curva senoide de la resistencia específica de tierra, medida en un día concreto, para obtener los valores máximos que se pueden esperar(ver figura 5.5.5).

Medición

Para determinar la resistencia específica de tierra ρ_E , se utiliza un puente de medida de resistencia contra tierra con 4 bornas, que trabaja según el método cero.

La figura 5.5.6 reproduce la disposición del dispositivo de medida para este método denominado WENNER. La medición se realiza desde un punto medio

fijo M, que se mantiene para todas las mediciones que se hagan con posterioridad. A lo largo de una línea recta en tierra a-a', se introducen cuatro sondas de medida en el terreno (picas de tierra de 30 ... 50 cm de longitud). Partiendo de la resistencia R obtenida se calcula la resistencia específica de la tierra ρ_E para esa zona del terreno:

$$\rho_E = 2\pi \cdot e \cdot R$$

siendo:

- R Resistencia medida en Ω
- E Distancia entre sondas en metros.
- ρ_E Resistencia específica media de la tierra en Ωm hasta una profundidad correspondiente a la distancia entre las sondas e.

Incrementando la distancia de las sondas "e" y reajustando el punto de medida de toma de tierra, puede determinarse la curva correspondiente a la resis-

Toma de tierra	Fórmula empírica	Magnitud auxiliar
Toma de tierra superficial (Toma de tierra radial)	$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{l}$	–
Toma de tierra de profundidad (Pica de tierra)	$R_A = \frac{\rho_E}{l}$	–
Toma de tierra anular	$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot d}$	$d = 1,13 \cdot \sqrt[2]{A}$
Malla de toma de tierra	$R_A = \frac{\rho_E}{2 \cdot d}$	$d = 1,13 \cdot \sqrt[2]{A}$
Toma de tierra en placas	$R_A = \frac{\rho_E}{4,5 \cdot a}$	–
Toma de tierra semiesférica/ Toma de tierra de cimientos	$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot d}$	$d = 1,57 \cdot \sqrt[2]{V}$
R_A Resistencia de propagación (W) ρ_E Resistencia específica de tierra (Wm) l Longitud de la toma de tierra (m) d Diámetro de una toma de tierra anular, de la superficie circular equivalente o de una toma de tierra semianular (m) A Superficie (m²) de la superficie rodeada por una toma de tierra anular o por una malla de toma de tierra a Longitud de los cantos (m) de una placa de toma de tierra cuadrada. En placas rectangulares deberá aplicarse $=\sqrt{b \cdot c}$, siendo b y c los lados del rectángulo. V Contenido (m³) de un cimiento único.		

Tabla 5.5.1: Fórmulas de cálculo de la resistencia de propagación R_A para diferentes tomas de tierra.

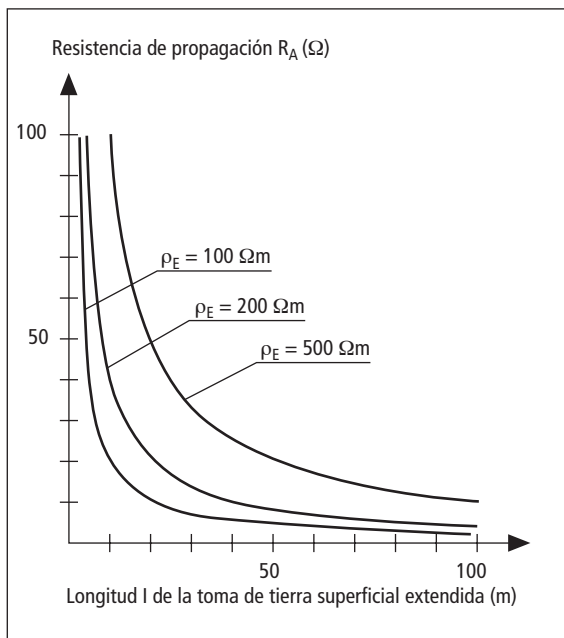


Fig. 5.5.7: Resistencia de propagación R_A en función de la longitud l de la toma de tierra superficial con diferentes resistencias específicas de tierra ρ_E .

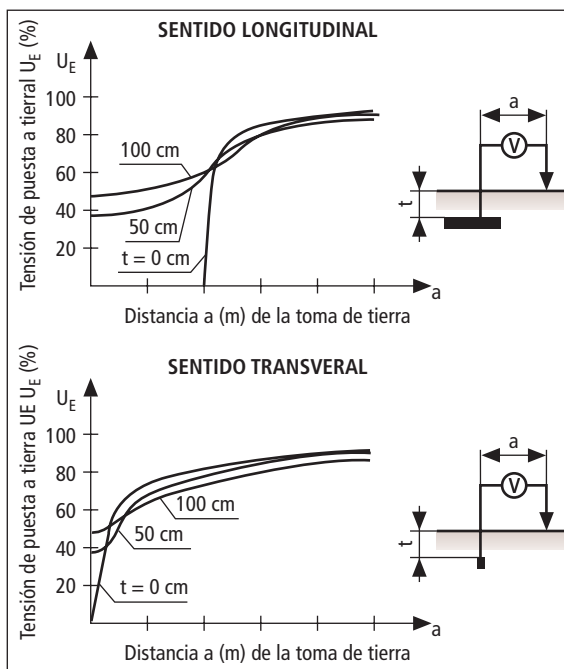


Fig. 5.5.8: Tensión de toma de tierra U_E entre el conductor de tierra y la superficie del terreno en función de la distancia existente hasta la toma de tierra, en una toma de tierra de fleje de 8 m de longitud a diferentes profundidades.

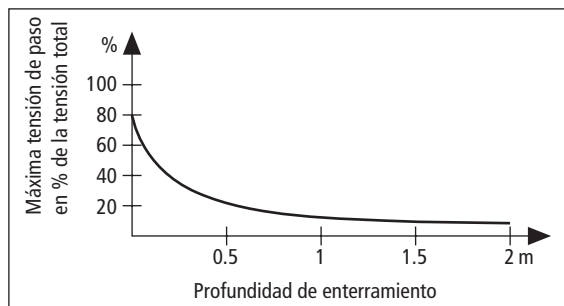


Fig. 5.5.9: Máxima tensión de paso U_S en función de la profundidad de enterramiento para una toma de tierra de fleje extendida.

tencia específica de tierra ρ_E en función de la profundidad.

Cálculo de las resistencias de propagación

En la tabla 5.5.1 se han expuesto las fórmulas para el cálculo de las resistencias de propagación para los tipos de terreno más usuales. En la práctica, estas fórmulas empíricas de cálculo son más que suficientes. Las fórmulas de cálculo exactas pueden encontrarse en los apartados siguientes.

Tomas de tierra superficiales extendidas

Las tomas de tierra superficiales, por lo general, se entierran horizontalmente en el suelo a 0,5... 1 metro de profundidad. Como la capa de terreno situada por encima de la toma de tierra se seca en verano y se congela en invierno, la resistencia de propagación R_A para este tipo de tomas de tierra superficiales, se calcula como si estuviera situada en la superficie del terreno:

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

siendo:

- R_A Resistencia de propagación de una toma de tierra superficial extendida en Ω
- ρ_E Resistencia específica de tierra en Ωm
- l Longitud de la toma de tierra superficial en m
- r Cuarta parte de la anchura del fleje de acero en metros o diámetro del conductor redondo en m

La **figura 5.5.7** muestra cómo puede calcularse la resistencia de propagación R_A en función de la longitud de la toma de tierra.

En la **figura 5.5.8** se ha representado la tensión de puesta a tierra U_E en sentido longitudinal y transversal para una toma de tierra de fleje de 8 metros de

longitud. En esta figura puede verse claramente la influencia de la profundidad de enterramiento sobre la tensión de puesta a tierra.

En la **figura 5.5.9** se ha reproducido la tensión de pasos U_s en función de la profundidad de enterramiento.

En la práctica suele ser suficiente el cálculo realizado según la fórmula empírica de la **tabla 5.5.1**

$$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{l}$$

Tomas de tierra de profundidad

La resistencia de propagación R_A de una toma de tierra de profundidad se calcula según la fórmula siguiente:

$$R_A = \frac{\rho_E}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

R_A Resistencia de propagación en Ω

ρ_E Resistencia específica de tierra en Ωm

l Longitud de la toma de tierra con picas de profundidad en m

r Radio de las picas de toma de tierra de profundidad en m.

La resistencia de propagación R_A puede calcularse con la fórmula empírica indicada en la **tabla 5.5.1**:

$$R_A = \frac{\rho_E}{l}$$

En la **figura 5.5.10** se representa la resistencia de propagación R_A en función de la longitud de picas l y de la resistencia específica ρ_E .

Combinación de tomas de tierra

Al introducir varias tomas de tierra de profundidad unas junto a otras, la distancia entre las tomas de tierra debe ser, como mínimo, equivalente a la profundidad de enterramiento. Las distintas tomas de tierra de profundidad tienen que interconectarse entre sí.

Las resistencias de propagación calculadas según las fórmulas y los resultados de las medidas representados en los diagramas, son válidos para corriente continua y corriente alterna de baja frecuencia y presuponiendo una extensión relativamente reducida (algunos cientos de metros) de la toma de tierra. En caso de longitudes superiores, por ejemplo tomas de

tierra superficiales, hay que añadir, a la corriente alterna, una parte inductiva.

Por otra parte, las resistencias de propagación calculadas no tienen validez para corrientes de rayo. En estos casos, la parte inductiva adquiere un papel significativo, especialmente en instalaciones de toma de tierra de gran extensión, ya que puede dar lugar a valores mayores de la resistencia de la toma de tierra de choque.

Prolongando tomas de tierra superficiales o tomas de tierra de profundidad por encima de 30 metros, se alcanza una reducción inapreciable de la resistencia de propagación de choque. Por ello resulta más eficaz la combinación de varias tomas de tierra de menor longitud. En este caso, es preciso tener en cuenta que, debido a la interacción de las tomas de tierra, la resistencia de propagación real total es superior que la resistencia de propagación calculada a base de la suma de la conexión en paralelo de cada una de las distintas resistencias.

Tomas de tierra radiales

Las tomas de tierra radiales dispuesta en forma de cruz, son una solución interesante cuando, en terrenos que son relativamente malos conductores, se han de conseguir resistencias de propagación relativamente bajas y con un coste razonable.

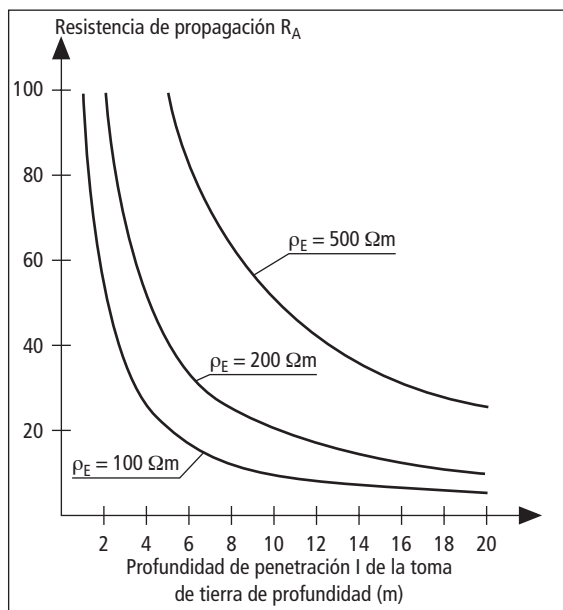


Fig. 5.5.10: Resistencia de propagación R_A de tomas de tierra de profundidad en función de su longitud l con diferentes resistencias específicas de tierra ρ_E .

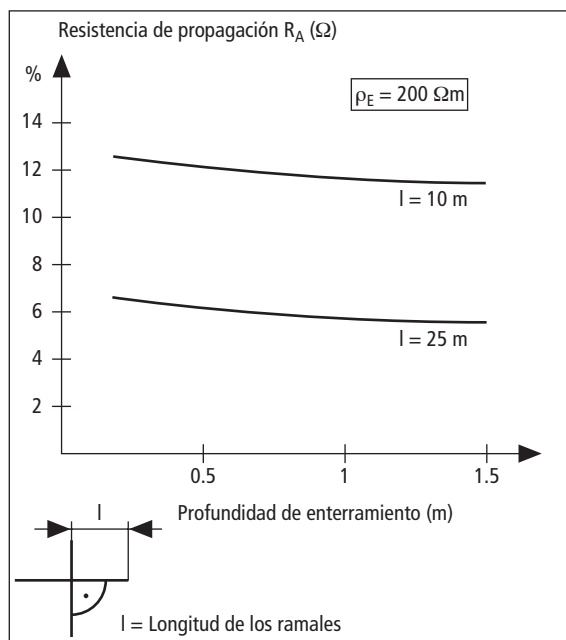


Fig. 5.5.11: Resistencia de propagación R_A de tomas de tierra superficiales en forma de cruz (90°) en función de la profundidad de enterramiento

La resistencia de propagación R_A de una toma de tierra superficial dispuesta en forma de cruz, cuyos ramales están situados en un ángulo de 90° uno respecto al otro, se calcula con la fórmula siguiente:

$$R_A = \frac{\rho_E}{4\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r} + 1.75$$

siendo:

- R_A Resistencia de propagación de la toma de tierra superficial en forma de cruz, expresado en Ω
- ρ_E Resistencia específica de tierra en Ωm
- l Longitud de los ramales en m
- d Mitad de la anchura del fleje de acero (en metros) o diámetro del conductor redondo (en metros)

Para una aproximación basta, en casos de longitudes de las ramas de la cruz muy grandes ($l > 10 m$), la resistencia de propagación R_A puede calcularse con la longitud total de las ramas según las ecuaciones de la **tabla 5.5.1**

La **figura 5.5.11** muestra la curva de la resistencia de propagación R_A de tomas de tierra superficiales en forma de cruz en función de la profundidad de enterramiento.

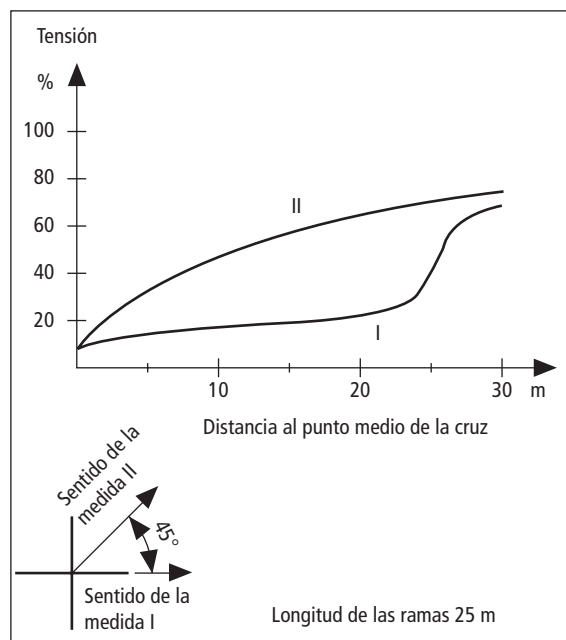


Fig. 5.5.12: Tensión de puesta a tierra U_E entre el conductor de tierra y la superficie del terreno de la toma de tierra superficial en forma radial (90°) en función de la distancia existente al punto de intersección (profundidad de enterramiento 0,5 m).

La **figura 5.5.12** muestra las curvas de la tensión de puesta a tierra.

En las tomas de tierra radiales en forma de cruz el ángulo entre los diversos ramales debe ser superior a 60°.

De acuerdo con la **figura 5.5.12** para el cálculo de la resistencia de propagación de una malla de toma de tierra se aplica la fórmula siguiente:

$$R_A = \frac{\rho_E}{2 \cdot d}$$

siendo d el diámetro del círculo equivalente a la superficie incluida en la malla de toma de tierra que se calcula como sigue:

En dimensiones rectangulares o poligonales de la malla de toma de tierra:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

Siendo:

A Superficie de la malla de toma de tierra.

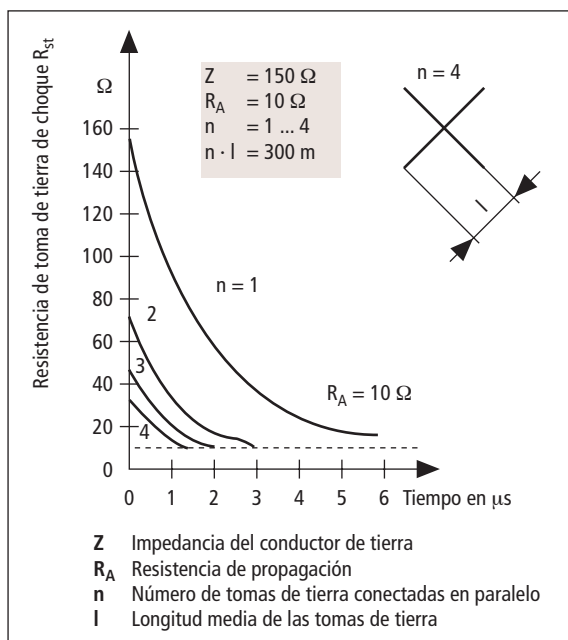


Fig. 5.5.13: Resistencia de toma de tierra de choque R_{st} de una toma de tierra de superficie con uno y varios ramales de la misma longitud.

Para dimensiones cuadradas (longitud de cantos b):

$$d = 1.1 \cdot b$$

La **figura 5.5.13** muestra el desarrollo de la resistencia de propagación de choque de tomas de tierra superficiales, con una y varias ramas, con tensiones de choque rectangulares. Como puede verse en este diagrama resulta más conveniente, para una determinada longitud, tender una toma de tierra de varias ramas en forma radial que una tierra de un solo ramal.

Tomas de tierra de cimientos

La resistencia de propagación de un conductor metálico en cimientos de hormigón puede calcularse aproximadamente utilizando la fórmula para tomas de tierra semiesféricas:

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot d}$$

siendo aquí " d " el diámetro de la semiesfera de cimientos de superficie equivalente.

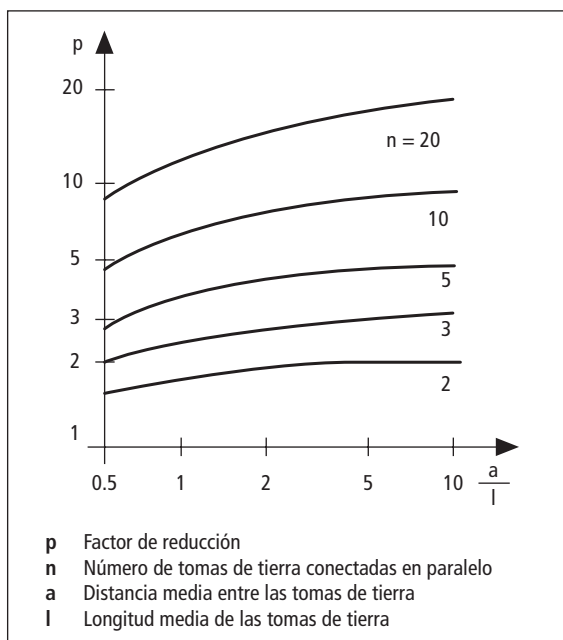


Fig. 5.5.14: Factor de reducción p para el cálculo de la resistencia total de propagación R_A de tomas de tierra de profundidad conectadas en paralelo.

$$d = 1.57 \cdot \sqrt[3]{V}$$

V = volumen del cimiento.

Al efectuar el cálculo de la resistencia de propagación, hay que tener en cuenta que la toma de tierra de cimientos solamente puede ser efectiva si el cuerpo del hormigón se encuentra en contacto directo con una amplia superficie de terreno. Los recubrimientos hidrófugos, aislantes, incrementan considerablemente la resistencia de propagación o incluso aíslan eléctricamente la toma de tierra de cimientos (Ver 5.5.2).

Tomas de tierra de profundidad conectadas en paralelo

Para mantener dentro de los límites aceptables las interferencias e interacciones mutuas en caso de tomas de tierra de profundidad conectadas en paralelo, la distancia entre las mismas no deberá ser inferior a la profundidad de introducción de dichas tomas de tierra.

Si las distintas tomas de tierra se encuentran situadas en círculo y son aproximadamente de la misma longi-

tud, la resistencia de propagación puede calcularse como sigue:

$$R_A = \frac{R_{A'}}{p}$$

R_A es la resistencia media de propagación de cada una de las tomas de tierra. El factor de reducción p puede calcularse según la **figura 5.5.14** en función del número de dichas tomas de tierra, de su longitud y de la distancia existente entre las mismas.

Combinación de tomas de tierra superficiales y tomas de tierra de profundidad

Cuando se trata de tomas de tierra de profundidad con una resistencia de propagación suficiente (por ejemplo en capas profundas impregnadas de agua, en suelos de arena...), la toma de tierra de profundidad debe encontrarse lo más cercana posible al objeto que se desea proteger. Si fuera imprescindible una línea conductora larga, resulta muy conveniente tender en paralelo a la misma una toma de tierra en forma radial compuesta de varios ramales, con el fin de reducir la resistencia durante la elevación de la corriente.

A modo de aproximación, la resistencia de propagación de una toma de tierra superficial con picas de tierra puede calcularse como si la toma de tierra superficial estuviera prolongada por la longitud enterrada de la toma de tierra de profundidad.

$$R_A \approx \frac{\rho_E}{l_{flat\ strip} + l_{earth\ rod}}$$

Tomas de tierra anulares

En anillos de toma de tierra de grandes diámetros ($d > 30$ m), la resistencia de propagación se calcula con la fórmula para tomas de tierra superficiales (en cuyo caso para la longitud de la toma de tierra se toma el perímetro del círculo $\pi \cdot d$):

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi^2 \cdot d} \cdot \ln \frac{\pi \cdot d}{r}$$

siendo:

r = radio del conductor redondo o la cuarta parte de la anchura del fleje de acero de la toma de tierra, en metros.

El cálculo de la resistencia de propagación en anillos de toma de tierra que no tienen forma de círculo, se

realiza utilizando el diámetro de un círculo equivalente de la misma superficie:

$$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot d}$$

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}$$

siendo:

A = Superficie rodeada por la toma de tierra anular.

Ejecución

De acuerdo con la normativas, por cada instalación que se desea proteger, se requiere una instalación propia de toma de tierra que, por sí misma, tiene que ser capaz de funcionar plenamente, incluso sin emplear otros elementos metálicos como tuberías de agua o conductores de la instalación eléctrica puestos a tierra. En el caso de la protección contra rayos, el valor de la resistencia de propagación R_A solamente tiene una importancia secundaria. Lo más importante es que la compensación de potencial esté realizada y consecuentemente la corriente de rayo pueda fluir sin peligro por tierra.

El edificio o estructura a proteger se eleva, a través de la corriente de rayo "i" hasta la tensión de puesta a tierra U_E ,

$$U_E = i \cdot R_A + \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{di}{dt}$$

respecto a la tierra de referencia.

El potencial de la superficie del terreno disminuye conforme aumenta la distancia con la toma de tierra (**Figura 5.5.1**).

La caída de tensión inductiva que se produce en la toma de tierra durante el incremento de la corriente de rayo, solamente tiene que ser tomada en consideración en el caso de instalaciones de toma de tierra de grandes dimensiones (p. ej. las tomas de tierra superficiales de gran longitud son necesarias en suelos que son malos conductores). En general, la resistencia de propagación está determinada solamente por la parte óhmica.

En conductores aislados introducidos en el edificio, el potencial de puesta a tierra U_E adquiere su valor total con respecto a los conductores.

Para evitar el riesgo de perforaciones y saltos de chispas, estos conductores aislados se conectan con la instalación de toma de tierra, en el marco de la compensación de potencial para protección contra rayos, a través de vías de chispas de separación o mediante equipos de protección contra sobretensiones en el caso de conductores con tensión (ver catálogo principal DEHN de protección contra sobretensiones UE).

Para mantener lo más bajas posibles las tensiones de paso y contacto, es necesario reducir la resistencia de propagación. La instalación de toma de tierra puede diseñarse como toma de tierra de cimientos, como toma de tierra anular o, en edificios de grandes superficies, también como mallas de toma de tierra, y en casos especiales, como tomas de tierra aisladas.

En Alemania, las tomas de tierra de cimientos deben dimensionarse según DIN 18014.

La toma de tierra de cimientos debe realizarse como anillo cerrado instalado en la base de los muros exteriores de la edificación o en la cimentación de la losa. En el caso de edificaciones de mayores dimensiones, la toma de tierra de cimientos deberá disponer de conexiones transversales, de manera que el tamaño máximo de las retículas no supere los 20 m x 20 m.

La toma de tierra de cimientos tiene que instalarse de tal manera que esté rodeada de hormigón por todas partes. En caso de pletinas o flejes de acero en hormigón no armado, el electrodo de toma de tierra tiene que disponerse de canto.

Hay que efectuar una conexión entre la toma de tierra de cimientos y la barra de compensación de potencial en la zona de acometida del edificio. Según la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) una toma de tierra de cimientos debe disponer de banderolas o esperas de conexión para la unión de los derivadores o bajantes de la protección externa contra rayos a la instalación de toma de tierra.

Debido al riesgo de corrosión, en el punto de salida de una banderola de conexión deberá preverse, además, una protección suplementaria contra la corrosión (con revestimiento de PVC o mediante utilización de acero inoxidable).

Las armaduras del hormigón de cimientos pueden utilizarse igualmente como toma de tierra, siempre que cuente con las necesarias banderolas de conexión y el armado del hormigón se conecte entre sí por encima de las juntas de dilatación.

Las tomas de tierra superficiales tienen que instalarse, como mínimo, a una profundidad de 0,5 metros.

La resistencia de puesta a tierra de choque de las instalaciones de toma de tierra depende del valor máximo de la corriente de rayo y de la resistencia específica de tierra. Ver a este respecto también la **figura 5.5.13**. La longitud de las tomas de tierra eficaces en caso de corriente de rayo se calcula, de forma aproximada, como sigue:

Tomas de tierra superficiales:

$$l_{eff} = 0.28 \sqrt{\hat{i} \cdot \rho_E}$$

Tomas de tierra de profundidad:

$$l_{eff} = 0.2 \sqrt{\hat{i} \cdot \rho_E}$$

Siendo:

- l_{eff} Longitud efectiva de la toma de tierra en metros
- $\hat{i}$ Valor punta de la corriente de rayo en kA
- ρ_E Resistencia específica de tierra en Ω m.

La resistencia de puesta a tierra de choque RST puede calcularse de acuerdo con las fórmulas de la **tabla 5.5.1**, aplicando para la longitud l la longitud efectiva de la toma de tierra l_{eff} .

Desde el punto de vista económico, las tomas de tierra superficiales son siempre más ventajosas que las tomas de tierra de profundidad, cuando las capas superiores del terreno presentan una resistencia específica más pequeña que las capas del subsuelo.

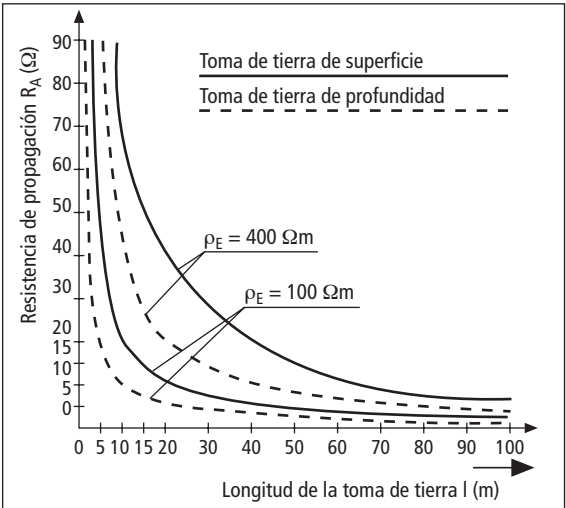


Fig. 5.5.15: Resistencia de propagación R_A de tomas de tierra de superficie y de tomas de tierra de profundidad en función de la longitud de la toma de tierra l .

Cuando el terreno es relativamente homogéneo (es decir cuando la resistencia específica de tierra es aproximadamente igual en la superficie del terreno que en la profundidad del subsuelo), los costes de instalación son similares para ambas.

Según la **figura 5.5.15**, en el caso de una toma de tierra de profundidad, se precisa aproximadamente sólo la mitad de la longitud que en una toma de tierra superficial.

Si el terreno en la zona del subsuelo presenta una mejor conductividad que en la superficie, p.e j. por presencia de corrientes subterráneas de agua, por lo regular, resulta económicamente más ventajosa una toma de tierra de profundidad que una toma de tierra superficial. La cuestión de si un tipo de toma de tierra u otro resulta más ventajoso, sólo podrá determinarse, en cada caso concreto, por medio de mediciones de la resistencia específica de tierra en función de la profundidad.

Las tomas de tierra de profundidad no precisan de trabajos de excavación, provocan pocos daños en el suelo y sus costes de instalación son, en comparación con una toma de tierra superficial, normalmente bajos. Con estas tomas de tierra se pueden conseguir resistencias de propagación buenas y son muy apropiadas para ampliar y mejorar instalaciones de toma de tierra ya existentes.

5.5.1 Instalaciones de toma de tierra según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3)

La instalación de toma de tierra es, al fin y al cabo, la prolongación de los dispositivos captadores y derivadores para dispersar la corriente de rayo en el terreno. Otros cometidos de la instalación de toma de tie-

rra son, por un lado, realizar la compensación de potencial entre los derivadores y, por otro, realizar un control del potencial en las proximidades de las paredes del edificio. El sistema de puesta a tierra debe estar conectado a la barra equipotencial.

A partir de la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) se asume la necesaria equipotencialidad del sistema de protección contra rayos. No se requiere ningún valor particular para la resistencia de la puesta a tierra, si bien, se recomienda un valor bajo (inferior a 10Ω , medida con baja frecuencia).

La normativa considera dos disposiciones de puesta a tierra, **Tipo A y Tipo B**.

Para los dos tipos de tomas de tierra, tipo A y tipo B, la longitud mínima l_1 de cada electrodo de tierra, es determinante para definir la clase de protección (**Figura 5.5.1.1**).

El valor de la resistencia específica de tierra en cada caso, solamente puede determinarse mediante mediciones realizadas "in situ" por el método "WENNER". (Medición de cuatro conductores).

Toma de tierra tipo A

La disposición de tomas de tierra tipo A describe electrodos de tierra en forma de líneas individuales dispuestas horizontalmente (tomas de tierra superficiales) o verticalmente (tomas de tierra de profundidad) que, en cada caso, deben conectarse con un derivador. El número mínimo de electrodos no debe ser inferior a 2.

Para las clases de protección III y IV se exige una longitud mínima de la toma de tierra de 5 metros. Para las clases de protección I y II la longitud de la toma de tierra se fijará en función de la resistencia específica del terreno.

La longitud mínima de la toma de tierra l_1 puede verse en la **figura 5.5.1.1**. La longitud mínima de cada toma de tierra es:

$l_1 \times 0.5$ para tomas de tierra verticales o inclinadas.
 l_1 para tomas de tierra horizontales.

Estos valores son válidos para cada toma de tierra individual. En caso de combinaciones de diferentes tomas de tierra (verticales y horizontales) debe tenerse en cuenta la longitud total equivalente.

La longitud mínima de la toma de tierra puede no tomarse en consideración cuando se alcanza una resistencia de propagación en tierra inferior a 10Ω (UNE EN 62 305-3).

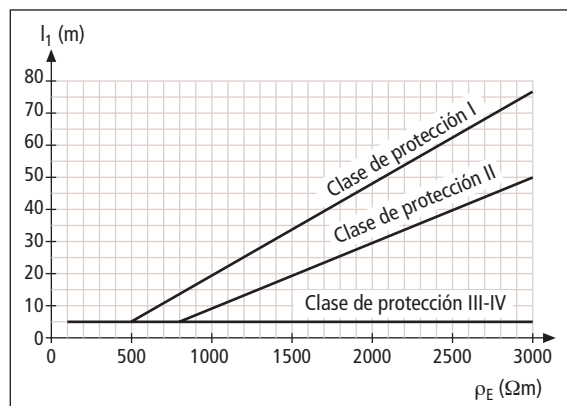


Fig. 5.5.1.1: Longitudes mínimas de electrodos de tierra.

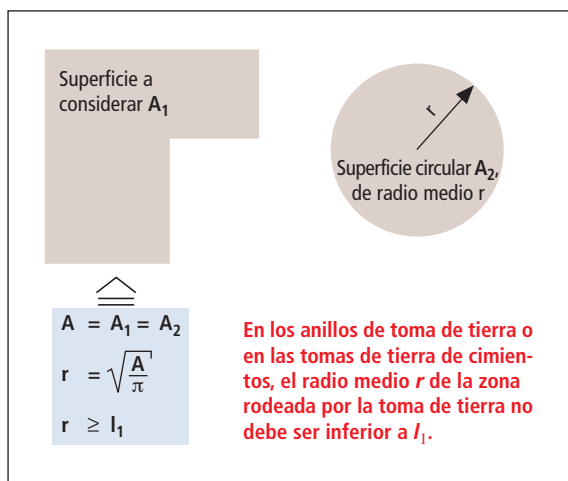


Fig. 5.5.1.2: Toma de tierra tipo B: determinación del radio medio. Ejemplo de cálculo.

Las tomas de tierra de profundidad suelen introducirse verticalmente en el terreno a gran profundidad. Se introducen en terrenos firmes que, regularmente, sólo empiezan a encontrarse por debajo de las cimentaciones. La práctica ha mostrado como muy ventajosas las tomas de tierra de 9 metros. Las tomas de tierra de profundidad tienen la ventaja de que están en contacto con capas del suelo más profundas, cuya resistencia específica, en general, es inferior a la que hay en zonas más cercanas a la superficie.

En zonas de posibles heladas es recomendable no considerar el primer metro de una toma de tierra vertical. La toma de tierra del tipo A no cumple las exigencias de la compensación de potencial entre los derivadores y el control de potencial. Por ello, han de interconectarse entre sí para conseguir una distribución regular de la corriente. Es importante tener en cuenta este aspecto a la hora de realizar el cálculo de la distancia de separación "s". La conexión de este tipo de puesta a tierras puede efectuarse en la superficie o bajo tierra.

Toma de tierra tipo B

Las tomas de tierra tipo B son tomas de puesta a tierra anulares alrededor del objeto a proteger o bien tomas de tierra de cimientos. Las exigencias que se plantean a este tipo de tomas de tierra están descritas en la norma DIN EN 18014.

Si no es posible disponer un anillo cerrado alrededor del edificio, dicho anillo deberá completarse mediante la disposición de conductores en el interior de la

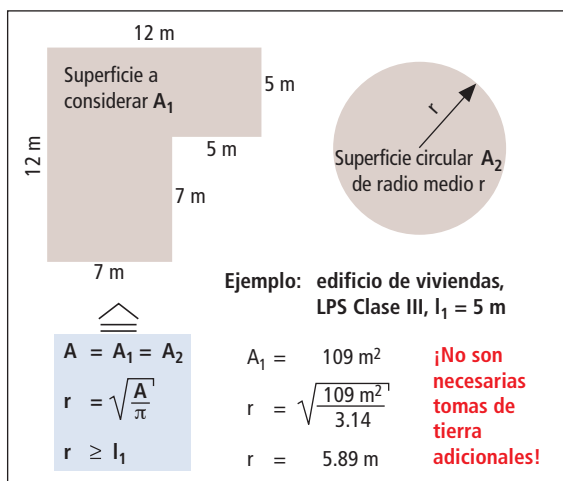


Fig. 5.5.1.3: Toma de tierra tipo B: determinación del radio medio. Ejemplo de cálculo.

edificación o estructura. Para ello pueden utilizarse tuberías o cualquier otro tipo de estructuras metálicas que estén permanentemente conectados. Como mínimo, el 80% de la longitud de la toma de tierra tiene que estar en contacto con el terreno. Las longitudes mínimas de las tomas de tierra, de acuerdo con las disposiciones del tipo B, dependen de los niveles de protección. En los niveles de protección I y II, la longitud mínima de las tomas de tierra se fija, además, en función de la resistencia específica del terreno. (Ver al respecto la **figura 5.5.4**).

En las tomas de tierra del tipo B, el radio medio "r" de la zona rodeada por la toma de tierra no puede ser inferior a la longitud mínima l_1 indicada. Para determinar el radio medio "r", la superficie a considerar se traslada a una superficie circular equivalente y se determina el radio de acuerdo con las **figuras 5.5.1.2 y 5.5.1.3**.

Seguidamente presentamos un cálculo a título de ejemplo:

Si el valor exigido l_1 es mayor que el valor de "r" correspondiente a la estructura, es necesario complementar con tomas de tierra radiales o verticales (o tomas de tierra inclinadas) cuyas correspondientes longitudes l_r (radial/horizontal) y l_v (vertical) se deducen de las ecuaciones siguientes:

$$l_r = l_1 - r$$

$$l_v = \frac{l_1 - r}{2}$$

El número de tomas de tierra adicionales no debe ser inferior al número de derivadores, pero como mínimo deben ser 2. Estas tomas de tierra adicionales deben estar distribuidas regularmente por todo el perímetro y han de conectarse con la toma de tierra circular (anillo de toma de tierra).

Si fuera necesario conectar tomas de tierra adicionales a la toma de tierra de cimientos, hay que prestar mucha atención al material que se utilice. En este supuesto es preferible el uso de acero inoxidable, número de material 1.4571 (**Figura 5.5.2.1**).

Algunos sistemas o instalaciones pueden, a su vez, requerir medias complementarias. Así:

- ⇒ Sistemas eléctricos - Condiciones de desconexión del suministro con respecto al tipo de red correspondiente (Sistemas TN, TT, IT), según normativa IEC 60364-4-41: 2005, mod y HD 60364-4-41:2007
- ⇒ Compensación de potencial según normativa IEC 60364-5-54: 2002 y HD 60364-5-54: 2007.
- ⇒ Sistemas electrónicos - Técnica informática.
- ⇒ Puesta a tierra de antenas.
- ⇒ Compatibilidad electromagnética.
- ⇒ Centros de transformación en o junto a la instalación de obra.

5.5.2 Instalaciones de tomas de tierra, tomas de tierra de cimientos y tomas de tierra de cimientos en caso de medidas constructivas especiales

Toma de tierra de cimientos - Toma de tierra tipo B

En la norma alemana DIN 18014 "Tomas de tierra de cimientos", se detallan las exigencias o requisitos correspondientes para las tomas de tierra de este tipo.

Muchas normas, tanto nacionales como internacionales, especifican que la toma de tierra de cimientos es una de las tomas de tierra preferidas, pues, con una correcta instalación, se consigue que el electrodo de dispersión esté rodeado de hormigón por todos lados y sea, por tanto, además, resistente a la corrosión. Igualmente, las propiedades higroscópicas del hormigón, favorecen que, por lo general, se alcancen valores de resistencia de propagación muy bajos.

La toma de tierra de cimientos debe instalarse, como anillo cerrado, en la fosa de cimentación o en la solera de cimientos encima del denominado hormigón de limpieza (**Figura 5.5.2.1**) cumpliendo, de este modo, la función de la compensación de potencial. Hay que prestar atención a la distribución de las mallas ≤ 20 m x 20 m, así como a las banderolas de conexión hacia fuera necesarias para la conexión de los derivadores de la protección externa contra rayos, y hacia dentro para la compensación de potencial (**Figura 5.5.2.2**).

La instalación de una toma de tierra de cimientos es una medida electrotécnica por lo que tiene que ser realizada y supervisada por un técnico.

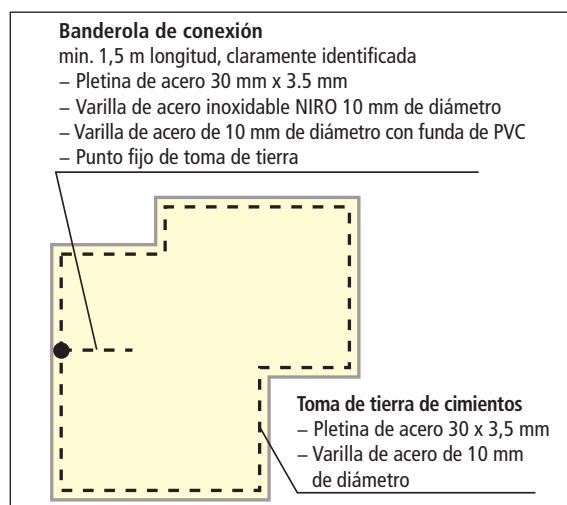


Fig. 5.5.2.1: Malla en tomas de tierra de cimientos.

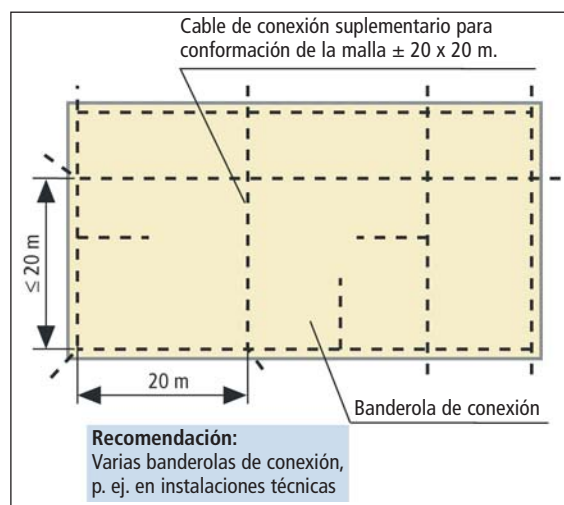


Fig. 5.5.2.2: Toma de tierra de cimientos.



Fig. 5.5.2.3: Toma de tierra de cimientos

Tendido en hormigón no armado

En cimentaciones no armadas, como p. ej. cimientos de edificios de viviendas (**Figura 5.5.2.3**) es preciso utilizar soportes distanciadores. Solamente si se instalan soportes de este tipo a una distancia de 2 metros puede garantizarse que, la toma de tierra de cimientos “este elevada” y, por tanto, quede totalmente rodeada de hormigón.

Tendido en hormigón armado

En caso de utilización de planchas de acero, jaulas de armado o hierros de armado en los cimientos, no sólo puede sino que deben unirse estos componentes naturales metálicos a la toma de tierra de cimientos. De esta manera, la toma de tierra de cimientos es aún más ventajosa. En este caso, no es necesario utilizar soportes distanciadores.

Con los modernos métodos para la colocación del hormigón, con aplicación inmediata de compactadores/prensadores, está totalmente garantizado que el hormigón “fluya” también por debajo de la toma de tierra de cimientos y que la rodee por todos los lados.

La **figura 5.5.2.4** muestra un ejemplo de aplicación para el tendido horizontal de una pletina como toma de tierra de cimientos. Los puntos de cruce de la toma de tierra de cimientos tienen que estar conectados y ser capaces de soportar la corriente. El acero cincado como material para las tomas de tierra de cimientos es suficiente.

Las banderolas de conexión hacia el exterior en la zona del terreno tienen que protegerse adicionalmente contra la corrosión en los puntos de salida. Para esto es apropiado, por ejemplo, el uso de varillas de acero con revestimiento de plástico (a causa del peligro de rotu-



Fig. 5.5.2.4: Aplicación de tomas de tierra de cimientos.

ra del recubrimiento de plástico a bajas temperaturas es necesario un cuidado especial durante el montaje), acero inoxidable de alta aleación, material Nr. 1.4571 o puntos fijos de puesta a tierra.

Si la instalación está hecha correctamente, la toma de tierra estará rodeada de hormigón por todos los lados y será resistente a la corrosión.

Al instalar la toma de tierra de cimientos han de realizarse mallas con retículas no superiores a 20 m x 20 m. Esta amplitud de mallas no guarda ninguna relación con la clase de protección de la protección externa contra rayos.

En la actual técnica de edificación los diferentes tipos de cimientos se realizan en las más diferentes formas de ejecución y con las más diversas variantes de impermeabilización. La reglamentación sobre protección térmica ha adquirido una notable influencia sobre la ejecución de zapatas y losas de cimentación.

Respecto a las tomas de tierra de cimientos que se construyen en nuevas edificaciones sobre la base de la norma DIN 18014, la impermeabilización o aislamiento tiene repercusiones sobre la colocación y disposición de dichas tomas de tierra.

Perímetros Aislados / Bases Aisladas

Con la expresión “Perímetro” se denomina la zona de muros y terreno de un edificio que está en contacto con la tierra. El aislamiento perimetral es el aislamiento térmico exterior alrededor de la estructura. El aislamiento perimetral situado en el exterior sobre la capa de impermeabilización puede rodear al cuerpo del edificio sin puentes térmicos y constituye una protección adicional de impermeabilización frente a daños mecánicos.

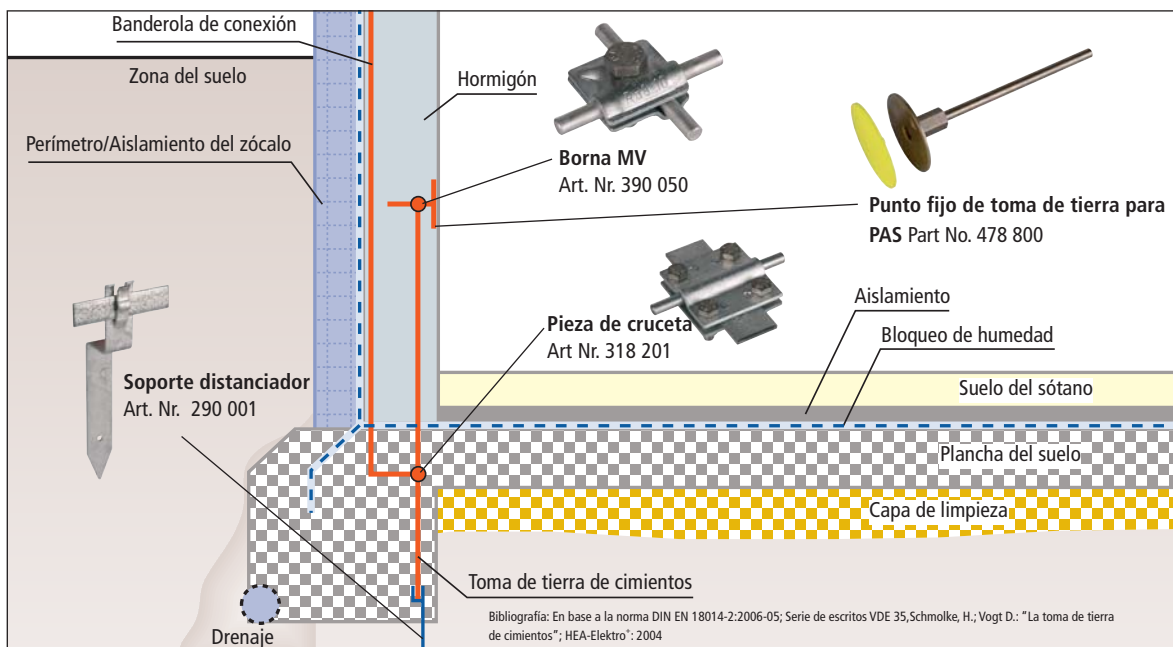


Fig. 5.5.2.5: Disposición de la toma de tierra de cimientos (Pared del sótano aislada).

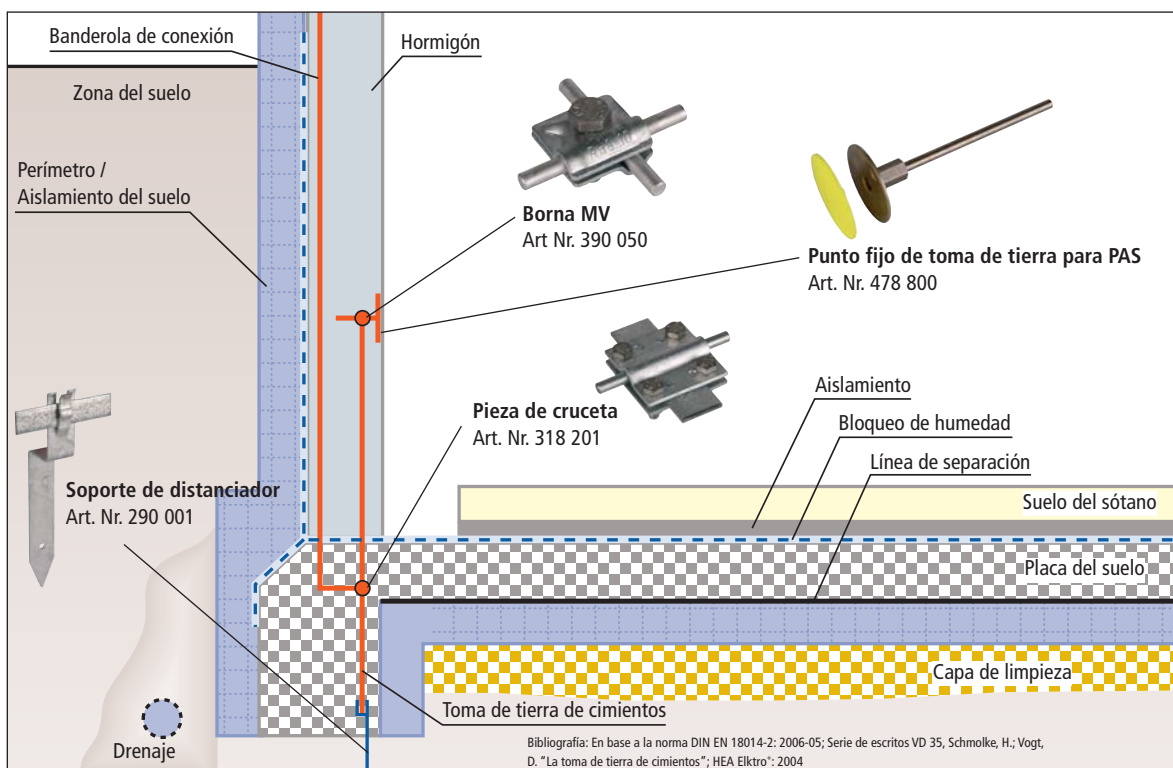


Fig. 5.5.2.6: Disposición de toma de tierra de cimientos (Pared del sótano y plancha de suelo aisladas).

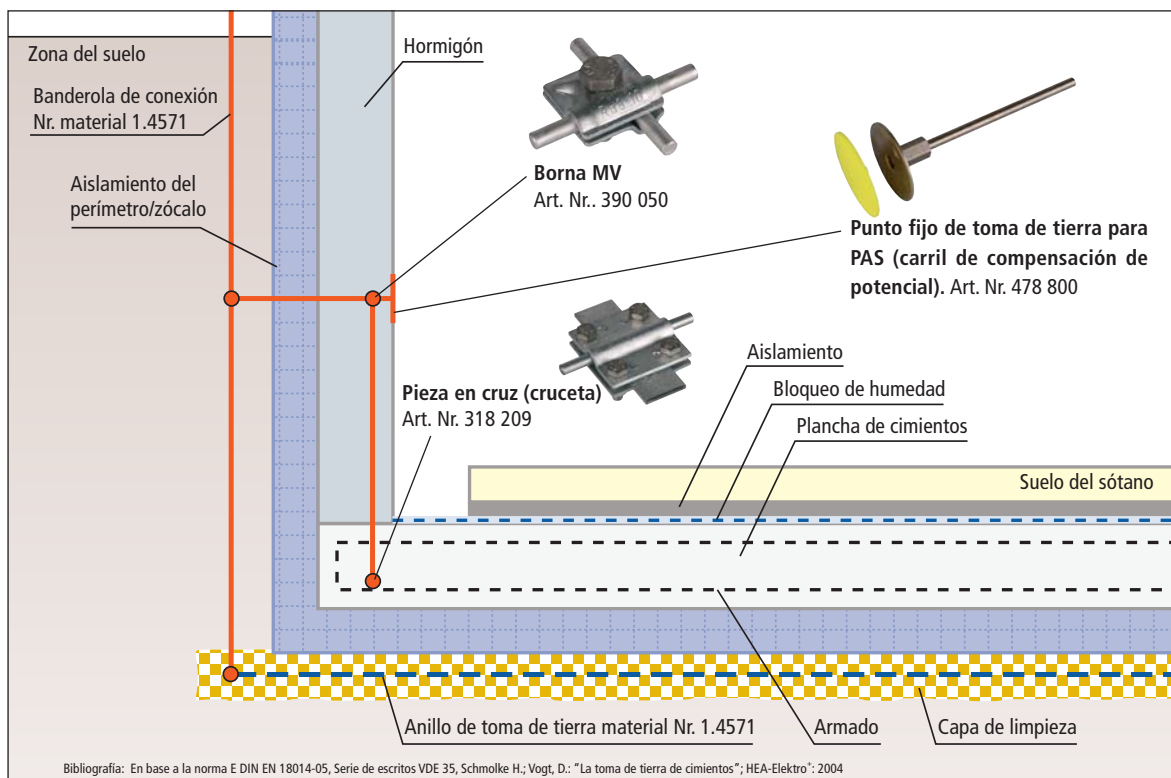


Fig. 5.5.2.7: Disposición de la toma de tierra de cimientos en una plancha de suelo cerrada (completamente aislada).

La resistencia específica de las planchas aislantes perimetrales representa un factor decisivo al considerar las consecuencias del aislamiento perimetral sobre la resistencia de propagación de tomas de tierra de cimientos en ejecución convencional en los cimientos (zapatas de cimentación, losas de cimientos). Así por ejemplo, se indica una resistencia específica $5,4 \cdot 10^{12} \Omega\text{m}$ para una espuma dura de poliuretano con una densidad bruta de 30 kg/m^2 . Frente a esto, la resistencia específica del hormigón se encuentra entre $150 \Omega/\text{m}$ y $500 \Omega/\text{m}$. Sólo en base a estas consideraciones puede deducirse que, con un aislamiento perimetral continuo, una toma de tierra convencional instalada en los cimientos no tiene prácticamente ningún efecto. El aislamiento perimetral también actúa como aislante eléctrico.

Las siguientes figuras muestran las diferentes posibilidades de instalación de tomas de tierra de cimientos en edificios con aislamiento perimetral y aislamiento de base (Figuras 5.5.2.5 hasta 5.5.2.7)

La disposición de la toma de tierra en las zapatas de cimentación, con aislamiento en los lados situados

exteriormente y en la solera de suelo, no debe considerarse crítico (Figuras 5.5.2.5 y 5.5.2.6).

En caso de un aislamiento completo de la losa de cimientos, la toma de tierra debe instalarse por debajo de la capa del terreno. Aquí debería usarse para ello V4A (Nr. de material 1.4571). (Figura 5.5.2.7)



Fig. 5.5.2.8: Punto fijo de toma de tierra.

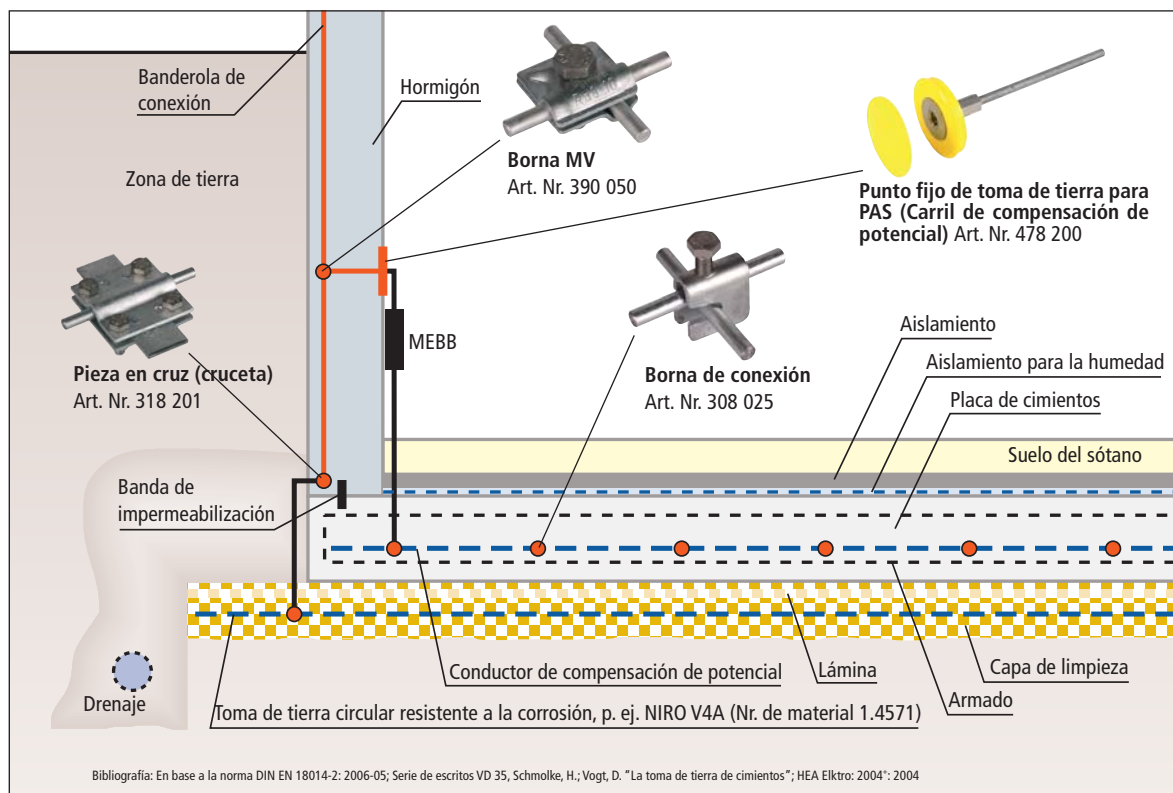


Fig. 5.5.2.9: Disposición de una toma de tierra de cimientos en una cubeta cerrada, ejecución "cubeta blanca".

En la construcción con armados resulta muy conveniente la instalación de puntos fijos de toma de tierra. En este caso hay que prestar especial atención a que la instalación se lleve a cabo de manera correcta durante la fase de construcción (Figura 5.5.2.8).

Cubeta negra, cubeta blanca

En edificios que se construyen en zonas con niveles elevados de aguas subterráneas o emplazamientos con "presión del agua", por ejemplo, edificaciones en laderas, es necesario prever medidas especiales contra la humedad en los sótanos. Las paredes exteriores rodeadas de tierra y las losas de cimientos deben estar selladas contra la penetración de agua de modo que, en el interior de la obra, no puedan formarse humedades peligrosas. En la técnica de edificación, hoy en día, existen los dos procedimientos para efectuar la impermeabilización.

Una cuestión especial al respecto en estos casos, es conocer si el funcionamiento de una toma de tierra de cimientos está garantizado según las medidas de pro-

tección de personas de la norma IEC 60364-4-41 y según las medidas de toma de tierra de protección contra el rayo de la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3).

Tomas de tierra de cimientos en edificios con "cubeta blanca"

El nombre "cubeta blanca" está en contraposición a "cubeta negra": La cubeta blanca no tiene ningún tratamiento adicional en el lado orientado al suelo, es por lo tanto "blanco". Debido a los materiales utilizados en la producción, el cuerpo del hormigón es absolutamente impermeable al agua. Frente a lo que sucedía en años anteriores, en la cubeta blanca ya no se produce la penetración de humedad en un espacio de algunos centímetros. Por esta razón, en los edificios con cubeta blanca debe tenderse una toma de tierra fuera de la cubeta.

La figura 5.5.2.8 muestra la ejecución de una conexión de tierra con un punto fijo de toma de tierra.

La disposición de la toma de tierra de cimientos en una cubeta blanca está representada en la figura 5.5.2.9.

Tomas de tierra en edificios con “cubeta negra”

El nombre “cubeta negra” proviene de las bandas negras de alquitrán de varias capas adosadas exteriormente al edificio en la zona del suelo. El cuerpo del edificio se recubre con masa de alquitrán/brea, sobre la que luego se disponen, por lo regular, hasta 3 capas de bandas de alquitrán.

Un conductor circular instalado en la losa de cimientos por encima de la impermeabilización puede servir como control del potencial en el edificio. Sin embargo, debido al aislamiento de alta impedancia hacia el exterior, el electrodo de tierra es ineficaz.

Para cumplir las exigencias de toma de tierra, según las diversas normas, es necesaria la instalación de una toma de tierra por el exterior y alrededor del edificio o en la capa de limpieza por debajo de todas las impermeabilizaciones.

En edificios con “cubeta negra” la amplitud de retículas debería ser, como máximo de 10 m x 10 m.

Las líneas de entrada de conexión al interior del edificio, procedentes de la toma de tierra exterior, deberán

situarse, siempre que sea posible, por encima de la impermeabilización del edificio (**Figura 5.5.2.10**) con el fin de garantizar, también a largo plazo, una cubeta del edificio que sea impermeable. Atravesar la “cubeta negra” únicamente puede hacerse con una conducción especial de toma de tierra en el edificio.

Losas de cimientos de hormigón de fibra

El hormigón de fibra es una clase de hormigón que se consigue añadiendo fibras de acero en hormigón líquido. Después del endurecimiento de éste, se forma una losa de hormigón capaz de soportar cargas muy elevadas. Las fibras de acero tienen una longitud aproximada de 6 cm y un diámetro de 1-2 mm. Están ligeramente onduladas y se mezclan uniformemente con el hormigón líquido. La proporción de fibras de acero es aproximadamente de 20-30 kg/m³ de hormigón.

Gracias a esta mezcla, la losa de hormigón no sólo es resistente en gran parte a la presión, sino también a la tracción, y en comparación con una losa de hormigón armado convencional, presenta, además, una elasticidad muy superior.

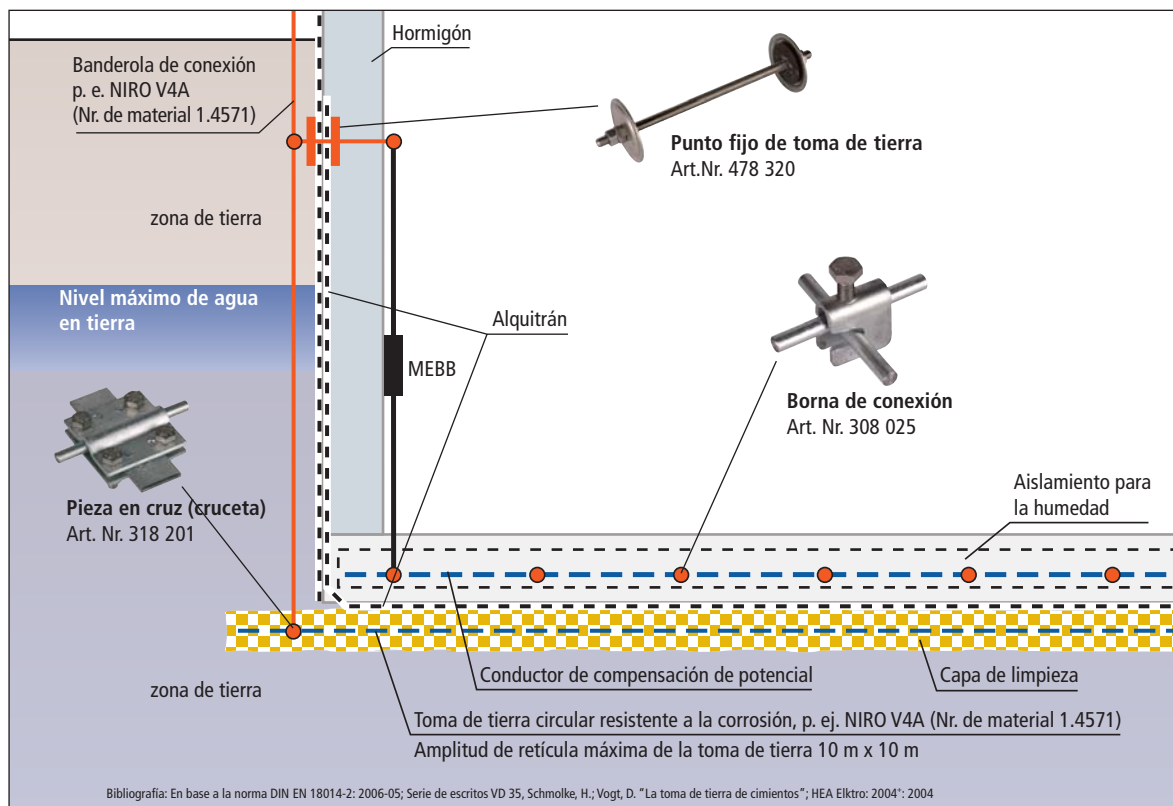


Fig. 5.5.2.10: Disposición de una toma de tierra de cimientos en una cubierta cerrada, ejecución “cubeta negra”.

El hormigón líquido es vertido *in situ* y puede conseguirse una superficie muy lisa, sin fisuras, para grandes extensiones. Se utiliza, por ejemplo, para losas de hormigón en cimentaciones de naves industriales de grandes dimensiones.

El hormigón de fibra no tiene armado, de modo que en lo que se refiere a las medidas de toma de tierra hay que instalar adicionalmente un conductor circular o una malla. El electrodo de tierra puede introducirse en el hormigón. Si es de material cincado, tiene que estar cerrado y rodeado de hormigón por todos los lados. Esto es algo que, *in situ* suele ser muy difícil de realizar. Por eso, se recomienda instalar, por debajo de la losa de hormigón, acero inoxidable de alta aleación, resistente a la corrosión (Nr. de material 1.4751). No deben olvidarse las correspondientes banderolas de conexión.

Observación:

El montaje de conductores de toma de tierra y conexiones en hormigón tiene que ser realizado por personal técnico especializado. Si esto no fuera posible, el responsable de la obra puede llevar a cabo esta tarea sólo si el trabajo es supervisado por un especialista.

5.5.3 Toma de tierra anular - Toma de tierra tipo B

En todos los edificios públicos de nueva construcción la norma DIN 18914 prescribe la instalación de una toma de tierra de cimientos. En edificios públicos ya existentes puede realizarse como toma de tierra anular (Figura 5.5.3.1).

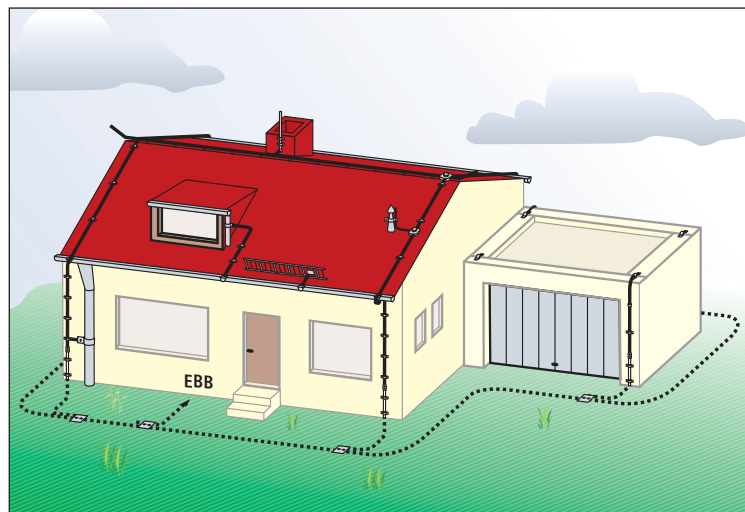


Fig. 5.5.3.1: Anillo perimetral de toma de tierra de un edificio de viviendas.

Estas tomas de tierra tienen que ejecutarse como un anillo cerrado alrededor del edificio y, si esto no fuera posible, habría que disponer una conexión para cerrar el anillo en el interior del edificio.

El 80 por ciento del electrodo de tierra debe estar en contacto con el terreno. Si no se puede llegar a este 80% es necesario comprobar la necesidad de tomas de tierra adicionales tipo A. Han de tenerse en cuenta las longitudes mínimas de las tomas de tierra en función del nivel de protección (Ver capítulo 5.5.1).

Al instalar el anillo de toma de tierra, es preciso asegurarse de que se encuentre instalado a una profundidad de > 0,5 m y a 1 metro de separación del edificio. Si se instala la toma de tierra como acabamos de exponer, se consigue reducir la tensión de paso y, de este modo, puede emplearse como control de potencial alrededor del edificio.

El anillo de toma de tierra deberá tenderse en suelo firme. La instalación debe realizarse en terrenos naturales. Si se hace en zonas de relleno, escombros de obra o grava, la resistencia de propagación de tierra se deteriora.

La corrosión es un aspecto que debe tenerse muy en cuenta a la hora de escoger el material que va a utilizarse en la instalación de puesta a tierra. El empleo de acero inoxidable es muy recomendable. Este tipo de material no sufre corrosión y, por tanto, no precisará en un futuro medidas de saneamiento que pueden resultar muy costosas.

Además las banderolas de conexión tienen que protegerse de forma adecuada contra la corrosión.

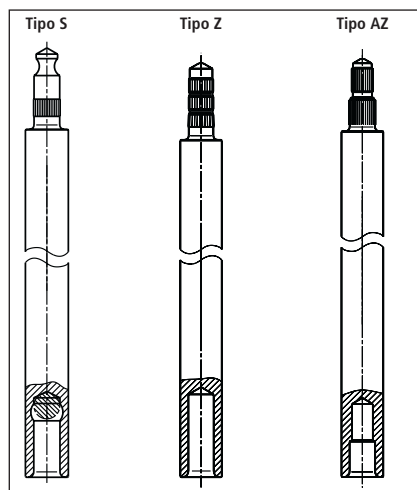


Fig. 5.5.4.1: Tomas de tierra de profundidad autoempalmables DEHN.

5.5.4 Tomas de tierra de profundidad - Tomas de tierra tipo A

Las tomas de tierra de profundidad autoempalmables, sistema DEHN, se construyen en acero especial y son cincadas al fuego en un baño completo, o bien están realizadas en acero inoxidable de alta aleación de material Nr. 1.4571 (la toma de tierra de acero inoxidable de alta aleación se utiliza en sectores especialmente expuestos al riesgo de la corrosión). Una característica especial identificativa de estas tomas de tierra de profundidad es su punto de acoplamiento, que posibilita la unión de las picas de toma de tierra sin aumentar el diámetro de las mismas. Cada pica tiene, en su extremo inferior, un taladro y en el otro extremo de la barra presenta una espiga (**Figura 5.5.4.1**).

En la toma de tierra tipo "S", durante el proceso de introducción o hincado en tierra, el relleno de metal blando se introduce en el taladro de manera que se logra una unión mecánica y eléctrica extraordinariamente buena.

En la toma de tierra tipo "Z" la elevada calidad de acoplamiento se consigue mediante una espiga moleteada varias veces.



Fig. 5.5.4.2: Introducción de una toma de tierra de profundidad con ayuda de trípode y martillo neumático motocompresor.

En la toma de tierra tipo "AZ" la elevada calidad de acoplamiento se consigue mediante un moleteado doble de la espiga con distinto diámetro.

Las ventajas de las tomas de tierra de profundidad DEHN son:

- ⇒ Acoplamiento especial
- ⇒ Sin incremento del diámetro, de manera que, la toma de tierra de profundidad, en toda su longitud, está en contacto directo con el terreno.
- ⇒ Cierra automáticamente al introducirse las picas
- ⇒ Facilidad de introducción con martillo neumáticos de vibración (**Figura 5.5.4.2**) o martillo manual.
- ⇒ Se alcanzan valores de resistencia constantes, invariables, debido a que las tomas de tierra de profundidad penetran en capas del terreno que no se ven afectadas por las variaciones de humedad y temperatura dependientes de la época del año.
- ⇒ Elevada resistencia a la corrosión gracias a un cincado al fuego en baño completo de inmersión (espesor de la capa de cinc 70 micras).
- ⇒ Los puntos de acoplamiento también están cincados al fuego.
- ⇒ Facilidad de almacenaje y transporte, gracias a la longitud de cada una de las picas de 1,5 m ó 1 m.

5.5.5 Tomas de tierra en suelos rocosos

En terrenos rocosos o de piedra, las tomas de tierra superficiales son, con mucha frecuencia, la única posibilidad real para realizar la instalación de una toma de puesta a tierra. Al instalar la toma de tierra, la pletina o el redondo a utilizar se ha de disponer sobre las rocas o piedras del terreno, y posteriormente debe cubrirse con grava, hormigón, tierra vegetal o similar.

Es muy conveniente utilizar material de acero inoxidable, Nr. de Material 1.4571. Los puntos de enclavamiento deben realizarse con especial cuidado y ser protegidos contra la corrosión.

5.5.6 Interconexión de tomas de tierra

Una instalación de puesta a tierra puede tener múltiples finalidades.

La tarea de la toma de tierra de protección es conectar instalaciones eléctricas y equipos de servicio de forma segura con el potencial de tierra y, en caso de un fallo eléctrico, garantizar la seguridad de personas e instalaciones.

La toma de tierra de protección contra rayos se encarga de recoger, con seguridad, la corriente de las bajantes y dispersarla en el terreno.

La toma de tierra de servicios tiene como cometido garantizar que las instalaciones eléctricas y electrónicas funcionan de un modo seguro.

La instalación de toma de tierra de protección debe ser común para todos los elementos y equipos que deban estar conectados a ella. En otro caso podrían surgir diferencias de potencial entre equipamientos/elementos puestos a tierra en diferentes toma de tierra.

Anteriormente, en la práctica se utilizaba, para la toma de tierra de sistemas electrónicos, una “tierra limpia” separada de la protección contra rayos y de la toma de tierra protección. Sin embargo, esta disposición es poco aconsejable e incluso puede resultar peligrosa. Por la acción de rayos, en la instalación de toma de tierra, aparecen diferencias de potencial muy elevadas, hasta de algunos cientos de kV, lo que puede llegar a ocasionar la destrucción de instalaciones eléctricas e incluso suponer un grave peligro para las personas.

Por lo tanto, las normas UNE EN 62305-3 y -4 (IEC 62305-3 y -4) recomiendan una compensación de potencial continua dentro de una instalación. La toma de tierra de equipos puede realizarse en el interior de un edificio, en forma radial, central o mallada. Una dis-

posición en forma de malla es lo más aconsejable. En todo caso, esto depende tanto del entorno electromagnético como de las características de los sistemas electrónicos.

En una instalación de grandes dimensiones, con diferentes edificios interconectados con conductores eléctricos y líneas de datos, la combinación de los distintos sistemas de puesta a tierra puede reducir la resistencia (total) de tierra. (Figura 5.5.6.1). De este modo, se reducen notablemente las diferencias de potencial existentes entre los diversos edificios. Al mismo tiempo se disminuyen los esfuerzos por cargas de tensión de los diferentes conductores de conexión eléctricos y de datos. En cualquier caso, las uniones de los distintos sistemas de toma de tierra de los edificios, deben constituir entre sí una red mallada. Esta red mallada de toma de tierra deberá estar realizada de tal modo que se una con la instalación de toma de tierra allí donde también se conectan las derivaciones verticales. Las diferencias de potencial entre edificios, en caso de una descarga de rayo, son tanto más pequeñas cuanto más estrechas sean las retículas de la red mallada de toma de tierra. Esto, por otra parte, depende de la superficie total de la edificación. Se ha demostrado que retículas de malla de 20 m x 20 hasta 40 m x 40 m son efectivas y económicamente ventajosas. Si, por ejemplo, existen chimeneas de aireación muy elevadas (puntos preferidos para las descargas de rayo), alrededor de las partes

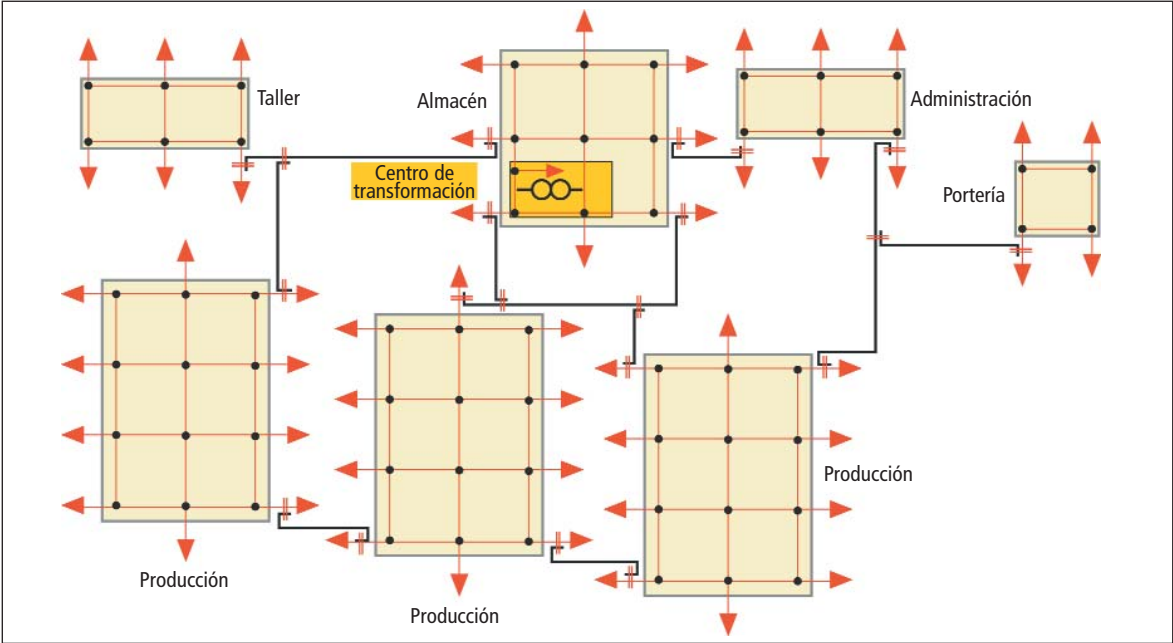


Fig. 5.5.6.1: Instalación de toma de tierra en forma de malla de una instalación industrial.

de la edificación correspondientes, las uniones deberían ser más estrechas y, a ser posible, realizarse en forma radial con conexiones transversales circulares (Control de potencial). Al elegir el material a utilizar como electrodos de la malla de puesta a tierra es preciso tener en cuenta su resistencia a la corrosión y la compatibilidad de los mismos.

5.5.7 Corrosión de las tomas de tierra

5.5.7.1 Sistemas de puesta tierra con especial consideración a la corrosión

Los metales en contacto directo con el suelo o el agua (electrolitos) pueden sufrir corrosión por causa de corrientes parásitas, suelos corrosivos y la formación de celdas voltaicas. No es posible proteger a los electrodos de puesta a tierra de la corrosión aislándoles completamente, es decir, separando los metales del terreno, pues todas los revestimientos convencionales que se emplearon hasta ahora han tenido una alta resistencia eléctrica y, por lo tanto, invalidan el efecto de los electrodos de puesta a tierra.

Los electrodos de puesta a tierra fabricados con un material uniforme pueden estar expuestos al riesgo de corrosión por suelos agresivos y a la formación de celdas de concentración. El riesgo de corrosión depende de la naturaleza del material y del tipo y composición del terreno.

Cada vez aumentan más los daños por corrosión debido a la formación de celdas voltaicas. Esta formación de celdas entre diferentes metales con potenciales de metal/electrolitos ampliamente diferentes se conoce desde hace muchos años. Sin embargo, lo que aún es desconocido es que las armaduras del hormigón de cimentación también pueden convertirse en el cátodo de una celda y, de esta manera, causar corrosión a otras instalaciones.

Con los cambios en las técnicas de construcción de edificios -estructuras de hormigón armado más grandes y áreas de metal libre más pequeñas en tierra – la relación de superficie ánodo/cátodo es cada vez más desfavorable y el riesgo de corrosión de los metales más básicos se incrementa inevitablemente.

El aislamiento eléctrico de las instalaciones que actúan como ánodos para evitar la formación de estas celdas sólo es posible en casos excepcionales. Hoy en día, el objetivo es integrar todos los electrodos de puesta a tierra, incluidas las instalaciones metálicas conectadas a tierra para poder lograr la equipotencialidad y, en consecuencia, la máxima seguridad contra tensiones

con riesgo de choque por fallas o por impactos de rayos.

En las instalaciones de alta tensión, los electrodos de puesta a tierra de protección se conectan a electrodos de puesta a tierra que operan a baja tensión, de conformidad con la norma HD 63751. Asimismo, la norma IEC 60364-4-41 2005 modificada y la HD 60364-41(2007) requieren de la integración de conductos y demás instalaciones en las medidas de protección contra riesgo de choque eléctrico. Así, la única manera de prevenir o, por lo menos, reducir el riesgo de corrosión de los electrodos de puesta a tierra y demás instalaciones en contacto con ellos, es eligiendo materiales adecuados para la fabricación de electrodos de puesta a tierra.

La norma DIN VDE 0151 titulada “Materiales y dimensiones mínimas de electrodos de puesta a tierra respecto de la corrosión” está disponible desde junio de 1986 como documento oficial. Además de décadas de experiencia en el campo de la tecnología de puesta a tierra, esta norma incluye, también, los resultados de extensivos exámenes preliminares. Hay muchos resultados interesantes disponibles que resultan importantes para los electrodos de puesta a tierra, incluidos los de los sistemas de protección contra rayos.

A continuación, se explican los procesos fundamentales que llevan a la corrosión.

De los conocimientos adquiridos por el grupo de Trabajo VDE “materiales de la puesta tierra” se derivan las medidas prácticas anticorrosivas y de conservación del buen estado del material, especialmente en lo que respecta a los electrodos de puesta tierra para la protección contra las descargas atmosféricas.

Términos empleados en protección contra la corrosión y en las medidas de protección contra corrosión

Corrosión

Reacción de un material metálico con el entorno que lleva al deterioro de las características de dicho material y/o de su entorno. Por lo general, la reacción es de carácter electroquímico.

Corrosión electroquímica

Corrosión durante la cual tienen lugar procesos electroquímicos. Se producen exclusivamente en presencia de un electrolito.

Electrolito

Medio corrosivo conductor de iones (como por ejemplo, suelo, agua, sales fundidas).

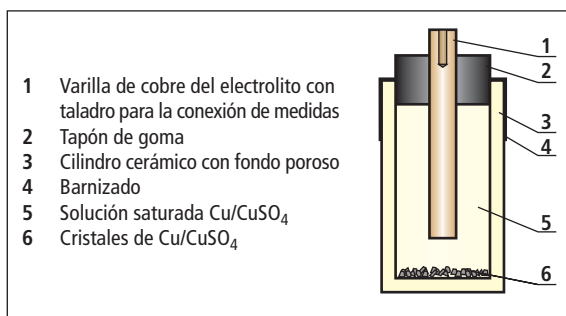


Fig. 5.5.7.1.1: Ejemplo de aplicación de un electrodo de medida no polarizado (electrodo de cobre-sulfato de cobre) para adquirir un potencial dentro del electrolito (vista sección transversal).

Electrodo

Material conductor de electrones en un electrolito. El sistema de electrodo y electrolito forma una media celda.

Ánodo

Electrodo desde el cual una corriente continua ingresa al electrolito.

Cátodo

Electrodo desde el cual una corriente continua deja el electrolito.

Electrodo de referencia

Electrodo de medición para determinar el potencial de un metal en el electrolito.

Electrodo de cobre / sulfato de cobre

Electrodo de referencia que apenas puede polarizarse, fabricado de cobre en una solución saturada de sulfato de cobre.

El electrodo de sulfato de cobre es la forma más común del electrodo de referencia para la medición del potencial de objetos metálicos subterráneos (Fig. 5.5.7.1.1).

Celda de corrosión

Celda voltaica con diferentes densidades locales de corrientes parciales para disolver el metal. Pueden formarse ánodos y cátodos de la celda de corrosión:

⇒ En el material

Por diferentes metales (corrosión por contacto) o por diferentes componentes estructurales (corrosión selectiva o intercristalina).

⇒ En el electrolito

Por diferentes concentraciones de determinados materiales con características estimulantes o inhibitorias para disolver el metal.

Potenciales

Potencial de referencia

Potencial de un electrodo de referencia respecto del electrodo de hidrógeno estándar.

Potencial eléctrico de un metal

Potencial eléctrico de un metal o de un sólido conductor de electrones en un electrolito.

5.5.7.2 Formación de celdas voltaicas, corrosión

Los procesos de corrosión pueden explicarse claramente con la ayuda de una celda voltaica. Si, por ejemplo, se sumerge una varilla de metal en un electrolito, los iones con carga positiva pasan al electrolito y, a la inversa, los iones positivos se absorben del electrolito desde la banda de metal. En este contexto, se habla de "presión de la solución" del metal y de "presión osmótica" de la solución. Dependiendo de la magnitud de ambas presiones, o bien, los iones del metal de la varilla pasan a la solución (por lo que la varilla se convierte en negativa respecto de la solución) o los iones del electrolito se agrupan en grandes números en la varilla (la varilla se torna positiva respecto del electrolito). Así, se crea una tensión entre dos varillas de metal en el electrolito.

En la práctica, los potenciales de los metales en tierra se miden con la ayuda de un electrodo de sulfato de cobre. Ello consiste en una varilla de cobre que se

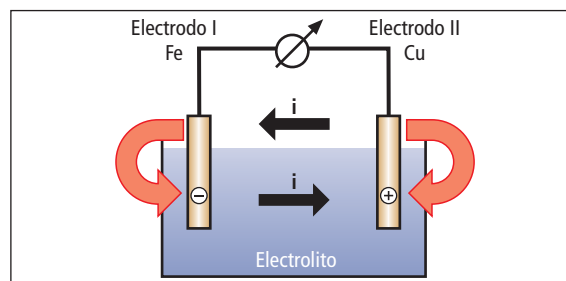


Fig. 5.5.7.2.1: Celda galvánica: hierro/cobre.

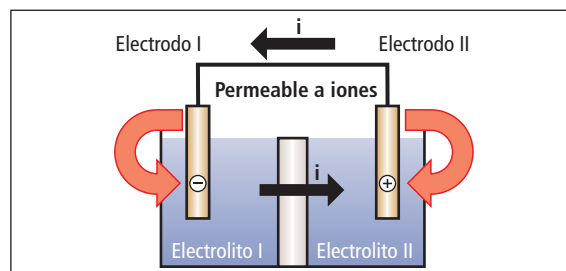


Fig. 5.5.7.2.2: Celda de concentración.

sumerge en una solución saturada de sulfato de cobre (el potencial de referencia de este electrodo de referencia permanece constante).

Considérese el caso de dos varillas fabricadas con diferentes metales que se sumergen en el mismo electrolito. Se crea ahora una tensión de determinado valor en cada varilla del electrolito. Puede emplearse un voltímetro para medir la tensión entre varillas (electrodos); esta es la diferencia entre los potenciales de los electrodos individuales respecto del electrolito.

¿De qué manera surge ahora que la corriente fluye en el electrolito y, por lo tanto, que el material se transporta, es decir, se produce la corrosión?

Si, según se muestra en este documento, los electrodos de cobre y hierro se conectan mediante un amperímetro fuera del electrolito, por ejemplo, se verifica lo siguiente en el circuito exterior, la corriente *i* fluye de + a –, es decir, del electrodo de cobre “más noble” de acuerdo con la **Tabla 5.5.7.2.1**, al electrodo de hierro. (**Figura 5.5.7.2.1**).

Por otro lado, en el electrolito, la corriente *i* debe fluir del electrodo de hierro “más negativo” al electrodo de cobre para cerrar el circuito. Esto significa que los iones positivos pasan del polo más negativo al electrolito y, por lo tanto, se convierte en el ánodo de la celda voltaica, es decir, se disuelve. La disolución del metal tiene lugar en estos puntos, donde la corriente ingresa al electrolito.

También puede surgir una corriente de corrosión a partir de una celda de concentración (**Figura 5.5.7.2.2**). En este caso, dos electrodos del mismo tipo de metal se sumergen en diferentes electrolitos. El electrodo en el electrolito II que tiene la mayor concentración de iones de metal se torna eléctricamente más positivo que el otro. La conexión de ambos electrodos permite que la corriente *i* fluya y el electrodo, que es más negativo desde el punto de vista electroquímico, se disuelve.

Puede formarse una celda de concentración de este tipo, por ejemplo, por dos electrodos de hierro, uno de los cuales se fija en el hormigón; mientras el otro queda en tierra (**Figura 5.5.7.2.3**).

	Definición	Símbolo(s)	Unidad de medición	Cobre	Plomo	Latón	Hierro	Zinc
1	Potencial de corrosión libre en el suelo ¹⁾	$U_{M-Cu/CuSO_4}$	V	De 0 a -0,1	De -0,5 a -0,6	De -0,4 a -0,6 ²⁾	De -0,5 a -0,8 ³⁾	De -0,9 a -1,1 ⁵⁾
2	Potencial de protección catódica en el terreno ¹⁾	$U_{M-Cu/CuSO_4}$	V	-0,2	- 0,65	-0,65 ²⁾	-0,85 ⁴⁾	-1,2 ⁵⁾
3	Equivalente electroquímico	$K = \frac{\Delta m}{It}$	Kg/(A·año)	10.4	33.9	19.4	9.1	10.7
4	Velocidad de corrosión lineal a $J = 1 \text{ mA/dm}^2$	$W_{lin} = \frac{\Delta s}{t}$	mm/año	0,12	0,3	0,27	0,12	0,15
1)	Medida con el electrodo de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/Cu SO ₄)							
2)	Valores verificados en ensayos realizados recientemente. El potencial del cobre revestido en latón depende del espesor del recubrimiento de latón. Los recubrimientos de latón comunes hasta el presente representan una pocos μm y, por lo tanto, se encuentran entre los valores del latón y el cobre en el suelo.							
3)	Estos valores también se aplican a tipos de hierro de menor aleación. El potencial del acero en el hormigón depende considerablemente de influencias externas. Medido con un electrodo saturado de cobre/sulfato de cobre, generalmente representa de -0,1 a 0,4 V. En el caso de conexiones conductoras de metal con amplias instalaciones subterráneas de metal con potencial más negativo, es polarizado catódicamente y, por lo tanto, alcanza valores de hasta aproximadamente -0,5V.							
4)	En suelos anaeróbicos, el potencial de protección debería ser de -0,95V.							
5)	Acero galvanizado por inmersión en caliente, con recubrimiento de zinc, de acuerdo con la tabla antes mencionada, que posee una capa de zinc pura externa y cerrada. El potencial del acero galvanizado por inmersión en caliente en el suelo, por lo tanto, corresponde aproximadamente a el valor indicado de zinc en el suelo. En caso de pérdida de la capa de zinc, el potencial se hace más positivo. Con esta corrosión completa, puede alcanzar el valor del acero. El potencial del acero galvanizado por inmersión en caliente en el hormigón posee aproximadamente los mismos valores iniciales. Con el tiempo, el potencial se hace más positivo. Sin embargo, todavía no se hallaron valores más positivos de aproximadamente -0,75V. El cobre enérgicamente galvanizado por inmersión en caliente con una capa de zinc de, por lo menos, 70 μm también posee una capa externa cerrada de zinc puro. El potencial del cobre galvanizado por inmersión en caliente del suelo, por lo tanto, corresponde a aproximadamente el valor indicado de zinc en el suelo. En el caso de una capa de zinc más delgada o de corrosión de la capa de zinc, el potencial se hace más positivo. Aún no se han definido los valores límite.							

Tabla 5.5.7.2.1: Valores de potenciales y tasas de corrosión de materiales de metal común.

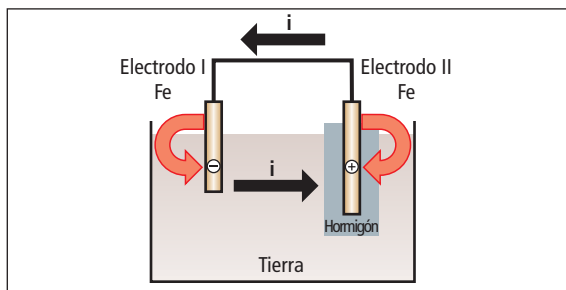


Fig. 5.5.7.2.3: Celda de concentración: Hierro en tierra / Hierro en hormigón.

Al conectar estos electrodos, el hierro en el hormigón se convierte en el cátodo de la celda de concentración y el de tierra se convierte en el ánodo; por lo tanto, este último se destruye por pérdida de iones.

Para la corrosión electroquímica, cuanto más grandes son los iones y menor es su carga, mayor es el transporte de metal asociado al flujo de corriente i (es decir, i es proporcional a la masa atómica del metal).

En la práctica, los cálculos se realizan con corrientes que fluyen durante un período de tiempo determinado, por ejemplo, un año. La **Tabla 5.5.7.2.1** indica valores que expresan el efecto de la corriente de corrosión (densidad de corriente) en términos de la cantidad de metal disuelto. Así, las mediciones de la corriente de corrosión posibilitan el cálculo por adelantado de cuántos gramos de un metal erosionarán durante un período de tiempo considerado.

Sin embargo, más práctica es la predicción de si, y durante qué período de tiempo, la corrosión causará orificios o picaduras en los electrodos de puesta a tierra, tanques de acero, cañerías, etc.

Por lo tanto, resulta importante si el ataque de la presunta corriente tendrá lugar de manera difusa o uniforme.

Para el ataque corrosivo, no es sólo la magnitud de la corriente de corrosión la que resulta decisiva, sino también y en especial, su densidad, es decir, la corriente por unidad del área de descarga.

A menudo no se puede determinar directamente esta densidad de corriente. En esos casos, se maneja con mediciones de potencial desde los cuales puede tomarse el grado de "polarización" disponible. El comportamiento de los electrodos respecto de la polarización sólo se expone básicamente en este documento.

Considérese el caso de una pletina de acero galvani-

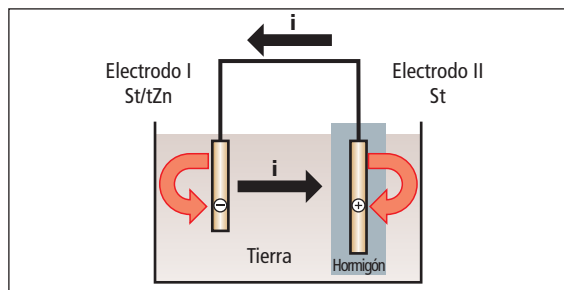


Fig. 5.5.7.2.4: Celda de concentración: Acero galvanizado en tierra/acero (negro) en hormigón.

zada situada en tierra y conectada a la armadura de acero (negro) del hormigón de cimiento (**Figura 5.5.7.2.4**). De acuerdo con nuestras mediciones, se producen las siguientes diferencias de potencial respecto del electrodo de sulfato de cobre:

Acero (desnudo) en hormigón: -200 mV.
Acero galvanizado en arena: -800 mV.

Así, existe una diferencia de potencial de 600 mV entre estos dos metales. Si ahora se los conecta sobre tierra, fluye una corriente i en el circuito exterior desde el hormigón armado hasta el acero en la arena y en el suelo desde el acero en la arena hasta el acero en el refuerzo.

La magnitud de la corriente i ahora es una función de la diferencia de tensión, la conductividad del suelo y la polarización de los dos metales.

Por lo general, se observa que la corriente i en tierra es generada por cambios en el material.

Sin embargo, un cambio en el material también significa que la tensión de los metales individuales cambia respecto del suelo. Esta variación de potencial causada por la corriente de corrosión i se denomina polarización. La resistencia de la polarización es directamente proporcional a la densidad de la corriente. Ahora, los fenómenos de polarización tienen lugar en los electrodos negativos y positivos. Sin embargo, las densidades de corriente en ambos electrodos son muy diferentes.

A modo de ilustración, consideraremos el siguiente ejemplo:

Se conecta un tubería de gas de acero, con un buen aislamiento de tierra, a electrodos de cobre de puesta a tierra.

Si la tubería aislada sólo posee unos pequeños puntos donde falta material, existe una mayor densidad

de corriente en estos puntos como resultado de la corrosión rápida del acero.

En oposición, la densidad de corriente es baja en el área más grande de los electrodos de puesta a tierra de cobre donde ingresa la corriente.

Así, la polarización es mayor en el conductor de acero aislado más negativo que en los electrodos de puesta a tierra de cobre positivos. El potencial del conductor de acero cambia a valores más positivos. Así, también disminuye la diferencia de potencial entre los electrodos. Por lo tanto, la magnitud de la corriente de corrosión es también una función de las características de polarización de los electrodos.

La resistencia de polarización puede estimarse midiendo los potenciales de los electrodos de un circuito dividido. El circuito se divide para evitar la caída de tensión en el electrolito. Por lo general, para dichas mediciones se utilizan instrumentos de registro, ya que frecuentemente existe una rápida despolarización inmediatamente después de interrumpida la corriente de corrosión.

Si ahora se mide la fuerte polarización en el ánodo (el electrodo más negativo), es decir, si hay un cambio obvio a potenciales más positivos, habrá un alto riesgo de corrosión del ánodo.

Volvamos a nuestra celda de corrosión – acero (desnudo) en hormigón/acero, galvanizado en la arena (Figura 5.5.7.2.4). Con respecto a un electrodo de sulfato de cobre distante, es posible medir un potencial de celdas interconectadas de entre -200 y -800 mV. El valor exacto depende de la relación del área anódica a catódica y de la polaridad de los electrodos.

Si, por ejemplo, el área del cimientado de hormigón armado es muy grande en comparación con la superficie del conductor de acero galvanizado, se producirá en el último una densidad de corriente anódica alta, que se polariza a prácticamente el potencial de la armadura de acero y se destruye en un periodo de tiempo relativamente corto. Así, una polarización positiva alta indica siempre un mayor riesgo de corrosión.

En la práctica, obviamente, es importante conocer el límite sobre el cual un cambio de potencial positivo significa un riesgo elevado de corrosión. Lamentablemente para este caso, no es posible indicar un valor preciso que puede aplicarse, debido a que la influencia de las características del terreno es demasiado elevada. Sin embargo, sí es posible determinar los márgenes de desviación del potencial para suelos naturales.

Resumen:

Una polarización por debajo de +20 mV, por lo general, no es peligrosa. Los cambios de potencial que exceden de +100 mV son definitivamente peligrosos. Entre 20 y 100 mV siempre habrá casos en los que la polarización causará fenómenos de corrosión considerables.

A modo de resumen se puede concluir lo siguiente:

La condición previa para la formación de celdas de corrosión (celdas voltaicas) es siempre la presencia de ánodos y cátodos de metal conectados y electrolíticos que cierran el circuito conductivo.

Los ánodos y cátodos se forman a partir de:

⇒ Materiales

- Diferentes metales o diferentes condiciones de superficies de un metal (corrosión por contacto).
- Diferentes componentes estructurales (corrosión selectiva o intercrystalina).

⇒ Electrolitos:

- Diferente concentración (como por ejemplo, salinidad, ventilación).

En las celdas de corrosión, los campos anódicos siempre poseen un potencial de metal/electrolito más negativo que los campos catódicos.

Los potenciales de metal/electrolito se miden utilizando un electrodo de cobre/sulfato de cobre saturado dispuesto en los alrededores inmediatos del metal en el terreno o sobre éste. Si existe una conexión conductora metálica entre el ánodo y el cátodo, la diferencia de potencial produce una corriente continua en el electrolito que pasa desde el ánodo y se introduce en el electrolito disolviendo el metal antes de reingresar al cátodo.

Con frecuencia se aplica la “regla de superficies” para estimar la densidad de corriente anódica promedio I_A :

$$J_A = \frac{U_C - U_A}{\varphi_C} \cdot \frac{A_C}{A_A} \text{ in A/m}^2$$

- J_A densidad media de la corriente anódica.
 U_A, U_C Potenciales de ánodo o cátodo en V.
 φ_C Resistencia de polarización específica del cátodo en m^2 .
 A_A, A_C Superficies de ánodo o cátodo en m^2 .

La resistencia de polarización es la relación de la tensión de polarización y la corriente total de un electrodo mixto (un electrodo donde tiene lugar más de una reacción de electrodo).

En la práctica, es posible determinar las tensiones de excitación de celda $U_A - U_C$ y el tamaño de las superficies A_C y A_A como una aproximación para estimar la tasa de corrosión. Sin embargo, no se dispone con exactitud suficiente, de los valores de φ_A (resistencia de polarización específica de ánodo) y φ_C , sino que dependen de los materiales de los electrodos, los electrolitos y las densidades de corriente anódica y catódica.

Los resultados de los exámenes disponibles hasta ahora permiten concluir que φ_A es mucho más pequeño que φ_C .

Para φ_C se aplica lo siguiente:

Acero en tierra	Aprox. $1 \Omega m^2$
Cobre en tierra	Aprox. $5 \Omega m^2$
Acero en hormigón	Aprox. $30 \Omega m^2$

De la regla de superficies puede deducirse claramente que aparecen fuertes manifestaciones de corrosión tanto en conductores de acero recubiertos y depósitos de acero con pequeños puntos de fallo donde falta material en el recubrimiento protector conectados a con tomas de puesta a tierra de cobre, como en conductores de toma de tierra de acero cincado conectados a instalaciones de toma de tierra muy extensas de cobre o en cimientos de hormigón armado muy grandes.

Mediante la elección de materiales apropiados, pueden evitarse o reducirse considerablemente los riesgos por corrosión para tomas de tierra. Para conseguir una durabilidad suficiente hay que respetar las dimensiones mínimas de los materiales (Tabla 5.5.8.1).

5.5.7.3 Elección de los materiales para los electrodos de puesta a tierra

En la tabla 5.5.8.1 se enumeran los materiales y dimensiones mínimas que habitualmente se emplean en la actualidad en los electrodos de puesta a tierra.

Acero galvanizado por inmersión en caliente

El acero galvanizado por inmersión en caliente también es adecuado para empotrar en el hormigón. Las tomas de tierra de cemento, los electrodos de puesta a tierra y las conexiones equipotenciales de acero galvanizado en el hormigón, pueden conectarse con las armaduras metálicas.

Acero con revestimiento de cobre

En el caso del acero con recubrimiento de cobre, para el material del revestimiento se aplican las mismas observaciones que para el cobre desnudo. Sin embargo, el eventual daño que se infiera al recubrimiento de cobre, supone un elevado riesgo de corrosión del núcleo de acero; de ahí que siempre deba existir una capa de cobre cerrada completa y de grosor suficiente.

Cobre desnudo

El cobre desnudo es muy resistente debido a su posición en la calificación de aislamiento electrolítico. Asimismo, en combinación con electrodos de puesta a tierra u otras instalaciones en tierra realizadas con materiales "menos nobles", como por ejemplo, el acero, posee una protección catódica adicional. Ahora bien, a costa de los metales más "básicos".

Aceros inoxidables

Determinados aceros inoxidables de alta aleación de acuerdo con la norma EN 10088 son inertes y resistentes a la corrosión en el terreno. El potencial de corrosión libre de estos materiales en terrenos normalmente aireados se encuentra, en la mayoría de los casos, próximo al valor del cobre. Los materiales de tomas de tierra superficiales de acero inoxidable en el espacio de pocas semanas se comportan de forma neutral frente a otros materiales (nobles y menos nobles).

En base a múltiples mediciones se ha deducido que, únicamente un acero inoxidable de alta aleación con, por ejemplo el material número 1.4571, es suficientemente resistente a la corrosión en tierra.

Otros materiales

Se pueden utilizar otros materiales, si en determinados entornos son especialmente resistentes a la corrosión o si son equivalentes, como mínimo, a los materiales especificados en la tabla 5.5.8.1.

5.5.7.4 Combinación de tomas de tierra de diferentes materiales

La densidad de corriente de la celda resultante de la combinación de dos metales diferentes instalados en tierra para ser eléctricamente conductores lleva a la corrosión del metal que actúa como ánodo (Figura 5.5.7.4.1). Ello depende esencialmente de la relación entre el tamaño de la superficie catódica A_C respecto al tamaño de la superficie anódica A_A .

El proyecto de investigación "Comportamiento frente a la corrosión de materiales de tomas de tierra" ha

dado los siguientes resultados para la elección del material de la toma de tierra, especialmente en lo que se refiere a la interconexión de diferentes materiales: Se espera un mayor grado de corrosión si la relación de las superficies es la siguiente:

$$\frac{A_c}{A_A} > 100$$

En general puede partirse del supuesto de que, el material con el potencial más positivo pasa a ser cátodo. El ánodo de un elemento de corrosión, efectivamente existente, puede reconocerse por el hecho de que, tras separarse la unión metálica conductora, presenta el potencial más negativo.

En conexión con instalaciones de acero tendidas en tierra (en terrenos que forman varias capas), los siguientes materiales de tomas de tierra, se comportan siempre catódicamente:

- cobre desnudo.
- cobre cincado.
- acero inoxidable de alta aleación.

Armados de acero del hormigón de cimentación

El armado de acero del hormigón de cimientos puede presentar un potencial muy positivo (similar al cobre). Por ello, las tomas de tierra y los conductores de tomas de tierra que se unen directamente con los armados del hormigón de grandes cimentaciones, deberían ser de acero inoxidable o cobre.

Esto es válido, sobre todo, para conductores de conexiones cortas situadas junto a los cimientos.

Instalación de vías de chispas de separación

Como ya hemos citado, es posible interrumpir la co-

nexión eléctrica entre instalaciones tendidas en tierra con potenciales muy diferentes, mediante el montaje de vías de chispas de separación. Normalmente, ya no es posible que fluyan corrientes de corrosión. Al producirse una sobretensión, se activa la vía de chispas de separación y conecta las instalaciones entre sí durante el tiempo que dure dicha sobretensión. Sin embargo, en las tomas de tierra de protección y de servicio no debe instalarse estas vías de chispas de separación, ya que estas tomas de tierra tienen que estar conectadas siempre con las instalaciones de servicio.

5.5.7.5 Otras medidas de protección contra la corrosión

Conductores de conexión de acero cincado de tomas de tierra de cimientos hacia conductores de bajada o derivadores.

Los conductores de conexión de acero cincado de tomas de tierras de cimientos hacia los derivadores o bajantes deben llevarse siempre en hormigón o en mampostería hasta por encima de la superficie del suelo.

Si los cables de unión se llevan por el terreno hay que utilizar acero cincado con revestimiento de hormigón o con recubrimiento de plástico, o bien habrá que utilizar banderolas de conexión con cable NYY, de acero inoxidable o puntos fijos de toma de tierra.

Los cables de toma de tierra pueden llevarse por dentro de la mampostería sin protección contra la corrosión.

Entradas en tierra de acero cincado

Las entradas en tierra de acero cincado tienen que protegerse contra la corrosión desde la superficie de la tierra hacia arriba y hacia abajo como mínimo 0,3 m.

Por lo general, las capas de asfalto no son suficientes. Sí ofrecen protección revestimientos que no absorban humedad, como por ejemplo, bandas de caucho o fundas termorretráctiles.

Conexiones y uniones subterráneas

Las superficies de corte y los puntos de conexión en el terreno tienen que estar diseñados de tal modo que sean equivalentes en su resistencia a la corrosión, con la capa de protección contra la corrosión del material de las tomas de tierra. Por eso los puntos de unión en la zona del suelo tienen que estar provistos de una capa protectora adecuada, por ejemplo recubrimiento con una banda de protección contra la corrosión.

Material con pequeña superficie	Material con gran superficie			
	Acero galvanizado	Acero	Acero en hormigón	Cobre Acero inox.
Acero galvanizado	+	+ zinc removal	–	–
Acero	+	+	–	–
Acero en hormigón	+	+	+	+
Acero con rev. de Cu	+	+	+	+
Cobre/acero inox.	+	+	+	+
+ combinable – no combinable				

Tabla 5.5.7.4.1 Combinaciones de material de sistemas de puesta a tierra para diferentes relaciones de superficie (A_c > 100 x A_A).

Material	Configuración	Dimensiones mínimas			Observaciones
		Pica de Tierra Ø (mm)	Conductor de tierra	Placa de Tierra (mm)	
Cobre	Cableado ³⁾		50 mm ²		Diámetro mínimo de un alambre 1,7 mm
	Barra maciza redonda ³⁾		50 mm ²		Diámetro 8 mm
	Placa maciza ³⁾		50 mm ²		Espesor 2 mm
	Barra maciza redonda	15 ⁸⁾			
	Tubería	20			Espesor mínimo de pared 2 mm
	Placa maciza			500 x 500	Espesor mínimo 2 mm
	Placa tipo rejilla			600 x 600	25 mm x 2 mm de sección. Longitud mínima de una placa tipo rejilla: 4,8 m
Acero	Barra redonda maciza galvanizada ^{1), 2)}	16 ⁹⁾	Diámetro 10 mm		
	Tubería galvanizada ^{1), 2)}	25			Espesor mínimo de pared 2 mm
	Plancha galvanizada ¹⁾		90 mm ²		Espesor mínimo 3 mm
	Placa maciza galvanizada ¹⁾			500 x 500	Espesor mínimo 3 mm
	Placa tipo rejilla galvanizada ¹⁾			600 x 600	30 mm x 3 mm de sección.
	Barra redonda revestida en cobre ⁴⁾	14			Revestimiento de cobre 99,9% 250 µm
	Barra redonda desnuda ⁵⁾		Diámetro 10 mm		
	Placa maciza desnuda o galvanizada ^{5), 6)}		75 mm ²		Espesor mínimo 3 mm
	Cableado galvanizado ^{5), 6)}		70 mm ²		Diámetro mínimo de un alambre 1,7 mm
Acero Inoxidable ⁷⁾	Barra maciza redonda	15	Diámetro 10 mm		
	Placa maciza		100 mm ²		Espesor mínimo 2 mm

¹⁾ Los revestimientos deben ser lisos, continuos y libres de fundentes y manchas residuales, con un espesor mínimo de 50 µm para las barras redondas y 70 µm para las placas.

²⁾ Los materiales deben ser mecanizados antes del galvanizado.

³⁾ Puede ser también revestido en estaño.

⁴⁾ Es conveniente que el cobre esté unido al acero de forma íntima.

⁵⁾ Admitido solamente si se embuten completamente en el hormigón.

⁶⁾ Admitido solamente para la parte de la cimentación en contacto con la tierra, si se conecta correctamente por lo menos cada 5 m con las armaduras naturales de acero de la cimentación...

⁷⁾ Cromo ≥ 16%, níquel ≥ 5%, molibdeno ≥ 2%, carbono ≤ 0,08%.

⁸⁾ En algunos países, son admisibles valores de 12 mm.

⁹⁾ En algunos países, se utiliza el electrodo de tierra para conectar el conductor de bajada en el punto de entrada a tierra.

Tabla 5.5.8.1: Material, configuración y dimensiones mínimas de los electrodos de puesta a tierra, de acuerdo la Tabla 7 de la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3)

Residuos agresivos

Al efectuar el relleno de zanjas y fosas en las que hay tendidas tomas de tierra, los electrodos de dispersión no deben entrar en contacto directo con escombros, residuos ni carbón.

5.5.8 Materiales y dimensiones mínimas para tomas de tierra

En la tabla 5.5.8.1 se exponen las secciones mínimas, formas y materiales para tomas de tierra.

5.6. Aislamiento eléctrico de la protección externa contra rayos – Distancia de separación

Existe un riesgo de descarga incontrolada (chispas) desde los elementos de la protección externa contra rayos a las instalaciones eléctricas y metálicas en el interior del edificio cuando no existe suficiente distancia entre los dispositivos captadores o derivadores y dichas instalaciones.

Instalaciones metálicas, como por ejemplo, tuberías de agua, conducciones de aire acondicionado, cables eléctricos, etc... originan tensiones de choque por bucles de inducción en el interior del edificio como consecuencia de la rápida evolución magnética del campo del rayo. Hay que impedir que, como consecuencia de estas tensiones de choque, se produzca una descarga incontrolada que pueda dar origen a un incendio.

Como consecuencia de una descarga, por ejemplo sobre un cable eléctrico, pueden originarse daños enormes en la instalación y en los consumidores a ella conectados. La **figura 5.6.1** representa el principio de la distancia de separación.

La fórmula para el cálculo de la distancia de separación no es fácil de aplicar.

La fórmula es:

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} \cdot l(m)$$

donde

k_i depende del nivel de protección elegido para la instalación de protección (Factor de inducción).

k_c depende de la disposición geométrica (coeficiente de distribución de la corriente).

k_m depende del material en el punto de aproximación (Factor de material).

$l(m)$ Longitud a todo lo largo del dispositivo captador, o de la derivación, desde el punto a partir del cual se ha de determinar la distancia de separación hasta el punto más próximo de la compensación de potencial.

El coeficiente k_i (Factor de inducción) se aplica de acuerdo con el riesgo derivado de la pendiente de la corriente y en función del nivel de protección que corresponda.

El factor k_c toma en consideración la distribución de la corriente entre los diferentes derivadores de la protección externa contra rayos. En la norma se indican diferentes fórmulas para determinar k_c . Para conseguir, en la práctica, que se puedan obtener las distancias de separación sobre todo en edificios de mucha altura, se recomienda la instalación de anillos conductores, es decir, una malla de los derivadores. Con esta malla se consigue una simetría en el flujo de la corriente, lo que influye para la reducir la distancia de separación necesaria.

El factor de material k_m tiene en cuenta las características de aislamiento del entorno. A las características de aislamiento eléctrico del aire, en estos cálculos, se le asigna el factor 1. Todos los restantes materiales utilizados en la construcción (por ejemplo, mampostería,

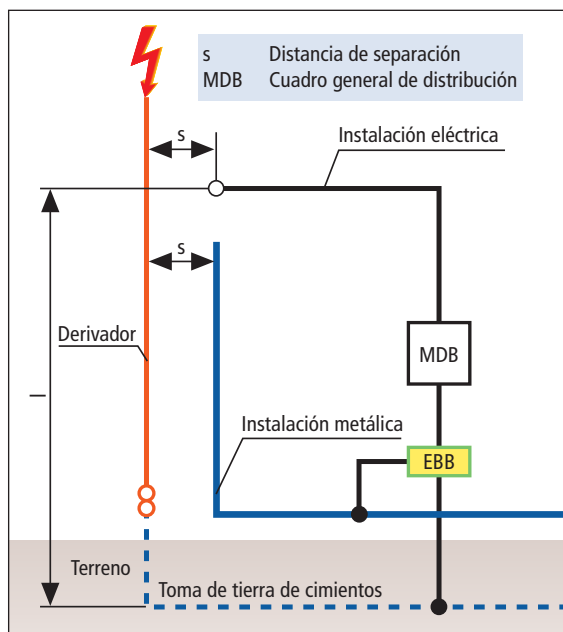


Fig. 5.6.1: Distancia de separación.

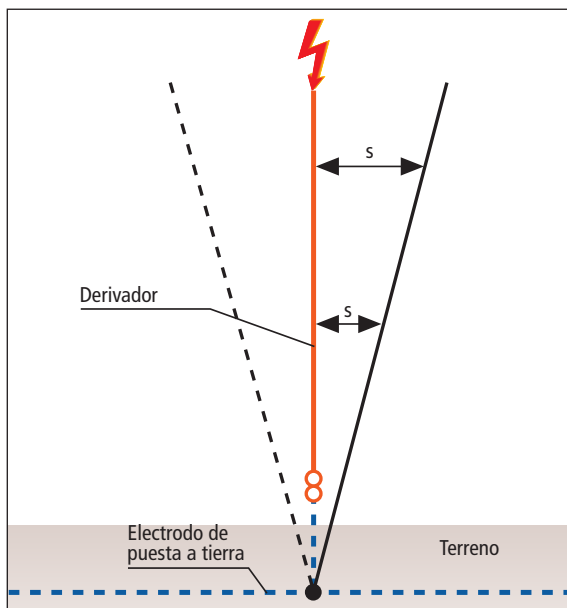


Fig. 5.6.2: Diferencia de potencial al aumentar la altura.

madera etc.) tienen una características de aislamiento inferior que el aire, de la mitad.

No se citan otros factores de material. Los valores que difieran de lo especificado tienen que demostrarse con ensayos técnicos. Para el material GFK (plástico reforzado con fibra de vidrio) utilizado en los productos de los dispositivos captadores aislados de DEHN + SÖHNE (Soporte de distanciador DEHNiso, DEHNiso Combi) se especifica el factor 0,7. Este factor puede aplicarse para los cálculos igual que otros factores de materiales.

La longitud "l" es la longitud real a lo largo del dispositivo captador o derivador, desde el punto que se ha de determinar la distancia de separación hasta la compensación de potencial más próxima, o hasta el nivel más próximo de compensación de potencial para la protección contra rayos.

Los edificios con equipotencialidad de protección contra rayos tienen próxima a la superficie del suelo una superficie equipotencial de la toma de tierra de cimientos o de la toma de tierra. Esta superficie es el nivel de referencia para la determinación de la distancia "l".

En el caso de edificios muy elevados, es necesario crear un nivel equipotencial de protección contra rayos, por ejemplo, a una altura de 20 m, realizando dicha compensación equipotencial para todos los cableados tan-

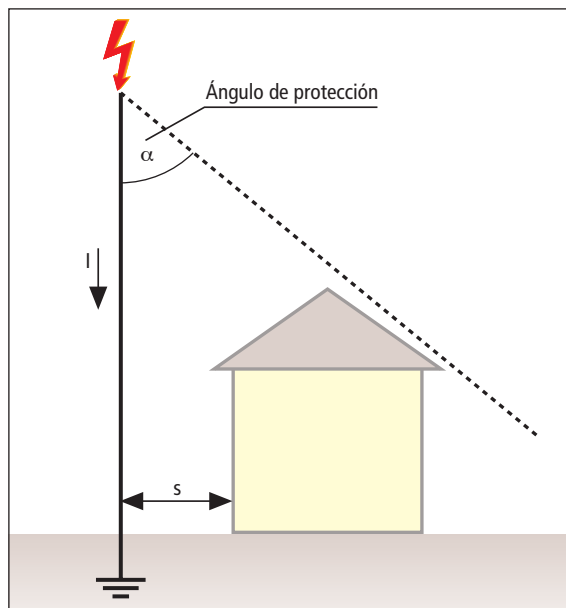


Fig. 5.6.3: Terminal de captación con $k_c = 1$.

to en líneas eléctricas como de datos, así como en todas las instalaciones metálicas. La equipotencialidad debe realizarse con dispositivos de protección del tipo 1.

Por lo demás, también en edificios elevados, como base para la longitud "l", debe utilizarse la superficie equipotencial de la toma de tierra de cimientos/toma de tierra como punto de referencia. Debido a estas elevadas alturas, en algunos edificios es difícil mantener las distancias de separación requeridas.

La diferencia de potencial entre las instalaciones del edificio y las derivaciones es igual a cero cerca de la superficie del suelo. Al aumentar la altura se incrementa la diferencia de potencial. Esto puede representarse como un cono invertido sobre la punta (**Figura 5.6.2**).

Por lo tanto, la distancia de separación que se ha de mantener, es mayor en la cubierta del edificio y va reduciéndose al aproximarse a la instalación de toma de tierra. Por este motivo, puede resultar necesario calcular varias veces la distancia con los derivadores dando como resultado distancias distintas.

El cálculo del coeficiente de distribución de la corriente k_c es a menudo complicado de realizar, a causa de diferentes estructuras. Si, por ejemplo, se instala un sólo terminal de captación junto a la edificación, toda la corriente del rayo fluye por este terminal captador y derivador. El factor k_c es por lo tanto igual a 1. La corriente de rayo, en este caso, no puede repartirse y

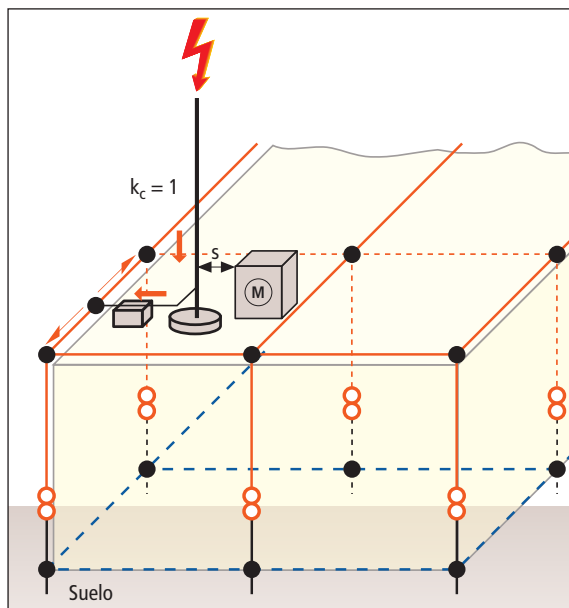


Fig. 5.6.4: Protección equipo de ventilación en cubierta.

por eso muchas veces resulta difícil mantener la distancia de separación. En la **figura 5.6.3** se muestra como puede lograrse si el terminal de captación se instala alejado del edificio.

La misma situación se da también en el caso de puntas captadoras para protección de estructuras en cubierta. La corriente de rayo sigue este camino definido al

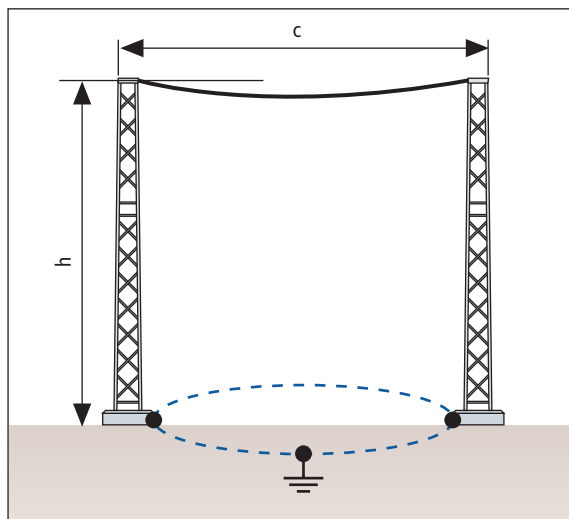


Fig. 5.6.5: Cálculo de K_c en caso de dos mástiles captadores conectados mediante un cable y toma de tierra del tipo B.

100% ($k_c = 1$) hasta la conexión más próxima de la punta captadora a la instalación captadora o a los derivadores.

Si se disponen dos mástiles captadores, la corriente de rayo puede repartirse por dos vías (**Figura 5.6.5**). La distribución o reparto no tiene lugar al 50% para cada vía, debido a las diferentes impedancias (longitudes) y debido a que el rayo no siempre descarga en el centro del dispositivo captador.

El caso más desfavorable es considerado en la fórmula con el cálculo del factor " k_c ". En este cálculo se considera una instalación de toma de tierra del tipo B. Si existen también tomas de tierra aisladas del tipo A, éstas deben conectarse entre si.

$$k_c = \frac{h + c}{2h + c}$$

h Longitud del derivador.

c Distancia de los mástiles captadores entre sí.

El ejemplo siguiente muestra el cálculo del coeficiente en un tejado a dos aguas con dos derivadores (**Figura 5.6.6**). Existe una instalación de toma de tierra del tipo B (Toma de tierra circular o toma de tierra de cimientos).

$$k_c = \frac{9 + 12}{2 \cdot 9 + 12} = 0.7$$

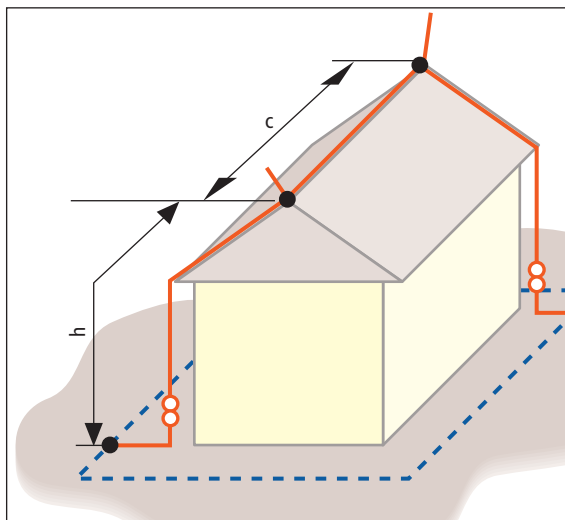


Fig. 5.6.6: Cálculo de K_c en caso de un tejado a dos aguas con 2 derivadores.

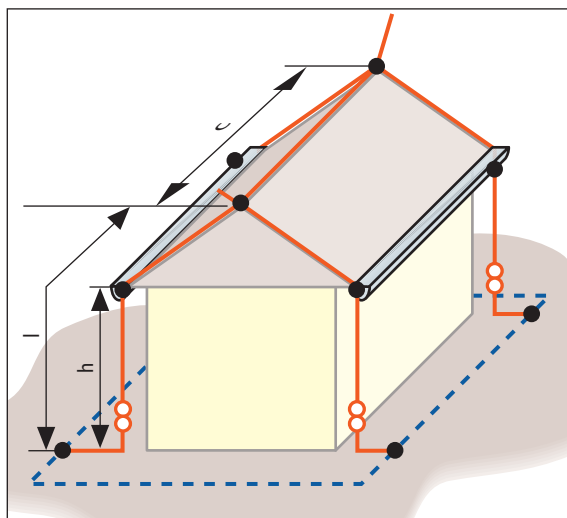


Fig. 5.6.7: Tejado a dos aguas con 4 derivadores.

La disposición de los derivadores según **figura 5.6.6**, no debería instalarse en una vivienda unifamiliar. Con la incorporación de otros dos derivadores, un total de 4, el coeficiente de distribución de corriente mejora notablemente (**Figura 5.6.7**).

Para el cálculo se aplica la fórmula siguiente:

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0.1 + 0.2 \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

siendo:

- h Longitud del derivador hasta el canalón del tejado del edificio, como punto más desfavorable para un impacto de rayo.
- c Distancia de los derivadores entre sí.
- n Número total de derivadores.

$$k_c = \frac{1}{2 \cdot 4} + 0.1 + 0.2 \sqrt[3]{\frac{12}{4}}$$

Resultado: $k_c \approx 0,51$

En edificaciones con tejados planos, el coeficiente de distribución de la corriente se calcula como sigue.

Se considera una disposición de toma de tierra tipo B (**Figura 5.6.8**).

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0.1 + 0.2 \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

siendo:

- h Distancia o altura sobre conductores circulares.
- c Distancia de un derivador al siguiente.
- n Número total de derivadores.

Las distancias entre las derivaciones se consideran iguales. Si la distancia es diferente, ha de tomarse como "c" la distancia mayor.

Si sobre el tejado plano se encuentran dispositivos eléctricos o lucernarios (**Figura 5.6.9**), deberán tenerse en cuenta dos coeficientes de distribución de la corriente para el cálculo de la distancia de separación. Para los captadores hasta la punta captadora siguiente se tiene un $k_c = 1$. El cálculo de los coeficientes de distribución de la corriente k_c para el recorrido posterior de los dispositivos captadores y derivaciones se efectúa como hemos expuesto arriba.

Para una mejor comprensión vamos a analizar la distancia de separación s para un tejado plano con estructuras sobre él.

Ejemplo:

En un edificio con un nivel de protección III se han construido lucernarios con accionamientos eléctricos.

Datos del edificio:

- ⇒ Largo 40 m.
- ⇒ Ancho 30 m.
- ⇒ Alto 14 m.
- ⇒ Sistema de puesta a tierra, toma de tierra de cimientos tipo B.
- ⇒ Número de derivadores: 12.
- ⇒ Distancia de las derivadores:
 - mínima: 10 m.
 - máxima: 15 m.
- ⇒ Altura de los lucernarios con accionamiento eléctrico: 1,5 m.

El cálculo del coeficiente de distribución de la corriente k_c para el edificio es como sigue:

$$k_c = \frac{1}{2 \cdot 12} + 0.1 + 0.2 \sqrt[3]{\frac{15}{14}}$$

Resultado: $k_c \approx 0,35$

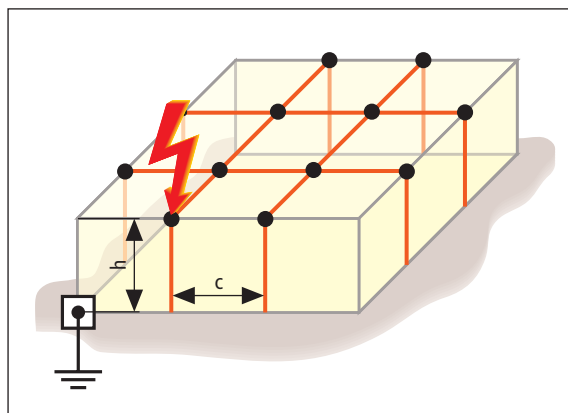


Fig. 5.6.8: Valores del coeficiente K_c en caso de una malla captadora y una toma de tierra tipo B.

El factor k_c para la barra captadora no tiene que calcularse, $k_c = 1$.

En relación con la distribución de corriente se considera que la punta captadora está posicionada sobre el borde del tejado y que no se encuentra dentro de la malla captadora. Si la punta captadora está dentro de la malla, deberá tenerse en cuenta adicionalmente la distribución de la corriente y la longitud mínima de la malla.

Cálculo de la distancia de separación para el borde superior del tejado del edificio:

Como factor de material k_m se supone material de construcción sólido $k_m = 0,5$.

$$s = 0.04 \frac{0.35}{0.5} 14(m)$$

Resultado: $s \approx 0,49m$

Cálculo de la distancia de separación para la punta captadora:

Por la posición de la punta captadora sobre el tejado plano, el factor de material es: $k_m = 0,5$

$$s = 0.04 \frac{1}{0.5} 1.5(m)$$

Resultado: $s \approx 0,15m$

Esta distancia de separación calculada sería correcta si la punta captadora estuviera emplazada sobre la

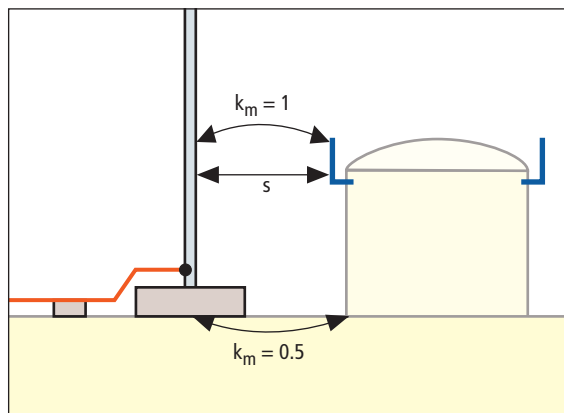


Fig. 5.6.9: Factores del material en una punta captadora sobre tejado plano.

superficie del terreno (Nivel de equipotencialidad para protección contra rayos).

Para obtener una distancia de separación completa y correcta, hay que sumar la distancia de separación del edificio.

$$\begin{aligned} S_{ges} &= S_{edificio} + S_{barra\ captadora} \\ &= 0,49\ m + 0,15\ m \end{aligned}$$

$$S_{ges} = 0,64\ m.$$

Según este cálculo, en el punto más alto del lucernario hay que mantener una distancia de separación de 0,64 m en el aire. Este valor se ha determinado con el factor de material 0,5 para materiales sólidos y se ha efectuado la conversión para al aire.

Debido a la instalación de la punta captadora en un zócalo de hormigón sobre un techo (materiales sólidos), en el pie de la barra captadora no se da la "propiedad total de aislamiento" del aire. (Figura 5.6.9). En el pie del zócalo de hormigón, es suficiente una distancia de separación del edificio de 0,39 m (material sólido).

Si en edificios de gran altura se crean niveles de equipotencialidad de protección contra rayos a diferentes alturas, conectando para ello todas las instalaciones metálicas y todos los conductores eléctricos y de datos mediante descargadores de corriente de rayo (DPS tipo I), puede aplicarse el cálculo siguiente. Esto implica el cálculo de distancias hacia conductores que están tendidos en un nivel equipotencial, así como hacia los que están instalados a lo largo de varios niveles.

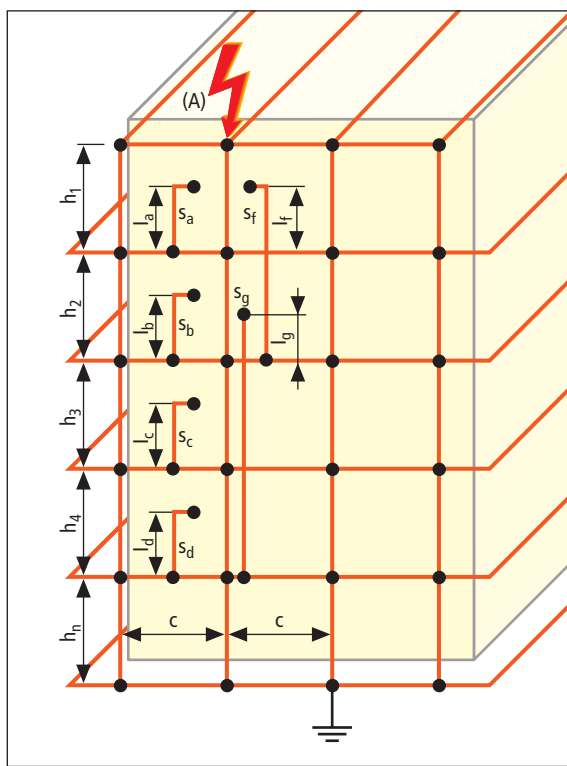


Fig. 5.6.10: Valores del coeficiente K_c en caso de una malla captadora, anillos perimetrales que unen los derivadores y una toma de tierra tipo B.

Esto supone un sistema de puesta a tierra en forma de toma de tierra de cimientos o anillo de tierra (tipo B) o una red mallada (Figura 5.6.10).

Como ya se ha indicado, pueden instalarse adicionalmente varios anillos perimetrales alrededor del edificio para un mejor reparto de la corriente de rayo y de este modo tener un efecto positivo sobre la distancia de separación. La figura 5.6.10 ilustra el principio de anillos perimetrales al edificio sin que se establezca un nivel equipotencial de protección contra rayos a la altura de los anillos mediante la utilización de descargadores de corrientes de rayo.

A cada uno de los segmentos se les asigna distintos coeficientes de distribución de corriente k_c . Si se desea determinar la distancia de separación para una estructura sobre el tejado, hay que basarse en la longitud total desde la superficie equipotencial de la toma de tierra hasta la parte superior de la estructura de tejado (suma de las longitudes parciales). Si se

pretende calcular la distancia total de separación S_{tot} , hay que efectuar los cálculos con la fórmula siguiente:

$$S_{tot} = \frac{k_i}{k_m} (k_l \cdot l_{tot} + k_{c3} \cdot l_3 + k_{c4} \cdot l_4)$$

Con esta forma de ejecución de anillos perimetrales adicionales alrededor del edificio, no se conduce ningún tipo de corrientes parciales de rayo al interior del edificio.

Si, debido a un número elevado de derivadores y a los numerosos anillos perimetrales adicionales, no se pudiera mantener la distancia de separación para toda la instalación, existe la posibilidad de definir el perímetro superior del edificio como superficie equipotencial de protección contra rayos (+/-0). Esta superficie equipotencial sobre el nivel del cubierta, suele realizarse, por lo regular, en edificios muy elevados, donde es físicamente imposible mantener la distancia de separación.

En estos casos se incluyen en la compensación de potencial todas las instalaciones metálicas y todos los conductores eléctricos y de datos, mediante descargadores de corriente de rayo Tipo 1. Esta compensación de potencial se conecta también directamente con la protección externa contra rayos. Mediante estas medidas, descritas anteriormente, se igualan a cero las distancias de separación en el borde superior del edificio. El inconveniente de esta forma de ejecución es que, todos los conductores, instalaciones metálicas (p. ej. armados), carriles de ascensores, y también los descargadores son portadores de corriente de rayo. Las repercusiones y consecuencias de estas corrientes sobre sistemas eléctricos y de datos tienen que ser tenidas muy en cuenta al planificar la protección interna contra rayos.

5.7. Tensión de paso y de contacto

En las normas UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) se hace referencia expresa a que, en casos especiales, fuera del edificio y en las proximidades de los derivadores, la tensión de contacto y la tensión de paso pueden ser peligrosas para la vida de las personas, aún cuando el sistema de protección contra rayos haya sido proyectado de acuerdo con el estado actual de la normativa.

Casos especiales, a título de ejemplo, son zonas con gran afluencia de personas, como teatros, cines, centros comerciales, guarderías infantiles, en los que, en ocasiones los derivadores e incluso las tomas de tierra se encuentran situados muy próximos a las personas.

En instalaciones de libre acceso o de pública concurrencia que estén especialmente expuestas al riesgo de descargas de rayos, puede ser necesario tomar medidas especiales para la limitación de las tensiones de paso y contacto.

En estos casos, se aplican controles de potencial, aislamiento de los emplazamientos y otras medidas que a continuación se van a describir. Estas medidas pueden combinarse entre sí.

Definición de tensión de contacto

La tensión de contacto es la tensión que actúa sobre una persona entre la superficie de posicionamiento sobre el terreno al tocar un derivador.

La vía de corriente va desde la mano, a través del cuerpo, hasta los pies (Figura 5.7.1).

El riesgo de una tensión de contacto elevada no existe en el caso de edificaciones construidas en estructuras de acero o de hormigón armado, siempre que los armados estén interconectados entre sí de forma segura o los derivadores estén instalados en el hormigón.

Asimismo, en el caso de fachadas metálicas, la tensión de contacto puede desprejarse si las fachadas están integradas en la compensación de potencial y/o se utilizan como componentes naturales de las derivaciones.

Si en zonas de riesgo (exterior de la instalaciones) hay hormigón armado bajo la superficie de tierra, el conexionado de este armado de manera segura a la toma de tierra de cimientos, permitirá mejorar considerablemente el desarrollo del embudo de potencial y actuar como control del potencial. Con esta medida es posible no tener que tomar en consideración la tensión de paso.

El riesgo de que una persona sufra daños al tocar un derivador, puede reducirse mediante las medidas siguientes:

⇒ Recubrir el derivador con de material aislante (mínimo 3 mm de polietileno

reticulado con una resistencia a la tensión de choque vertical de 100 kV 1,2/50 μ s).

⇒ Modificar la posición de los derivadores. Por ejemplo, no deben estar en la zona de acceso a la instalación.

⇒ Poner carteles de aviso o carteles de prohibición así como pensar en cierres o bloqueos de acceso.

⇒ Conseguir que la resistencia específica de la capa de superficie de la tierra a una distancia de hasta 3 metros alrededor del derivador no sea inferior a 5000 Ohmios m. Normalmente, esto se logra con una capa de asfalto de 5 cm de espesor o una capa de grava con un grosor de 15 cm.

⇒ Reducir el reticulado de la mallas de puesta a tierra mediante - Control de potencial.

Observación

Una canalón de recogida de aguas de lluvia, aún cuando esta tubería no esté definido como derivador, puede suponer un peligro para las personas en caso de contacto. En estos casos debe sustituirse la tubería metálica, por ejemplo, por una tubería de PVC (Altura: 3 m).

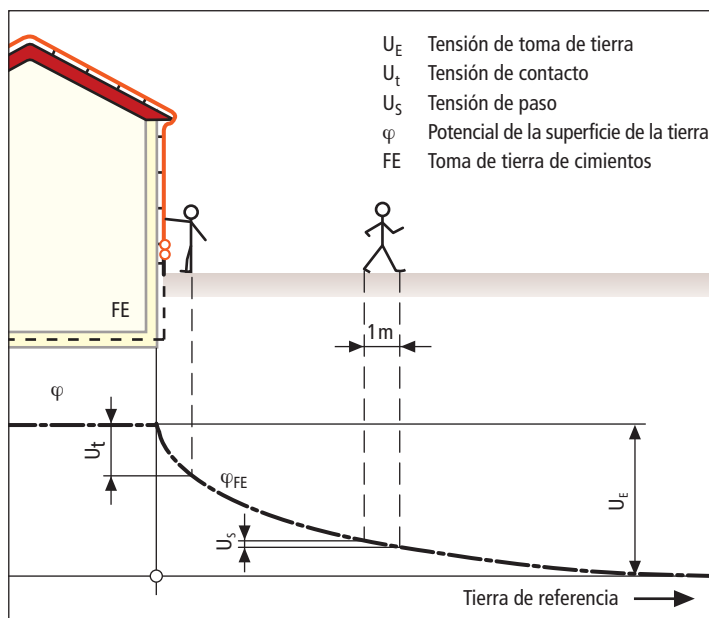
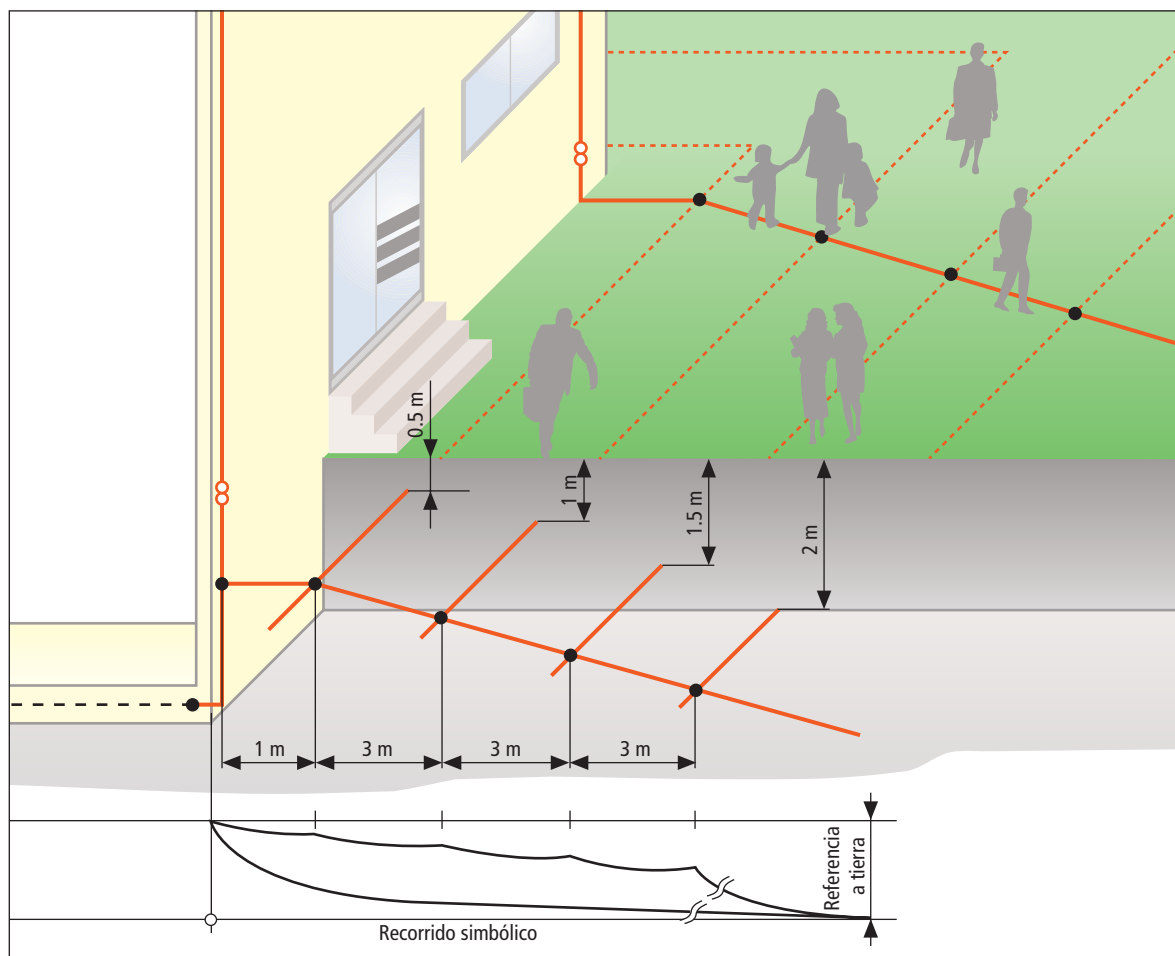


Fig. 5.7.1: Ilustración de la tensión de paso y de contacto.



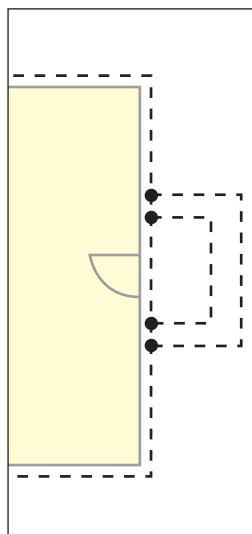


Fig. 5.7.3: Posible control de potencial en la zona de acceso a una instalación de obra.

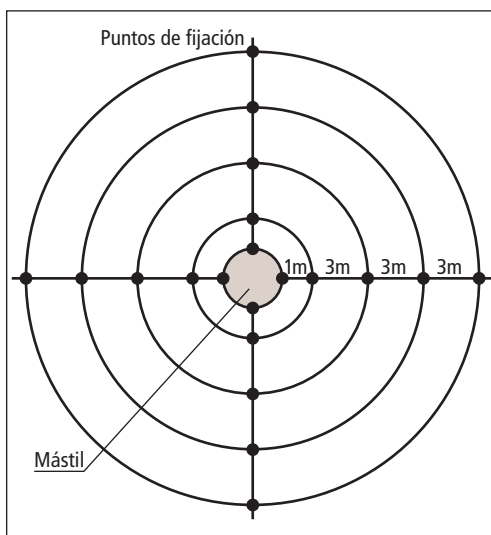


Fig. 5.7.4: Ejecución del control de potencial para torre de iluminación o para una torre de antenas de telefonía móvil.

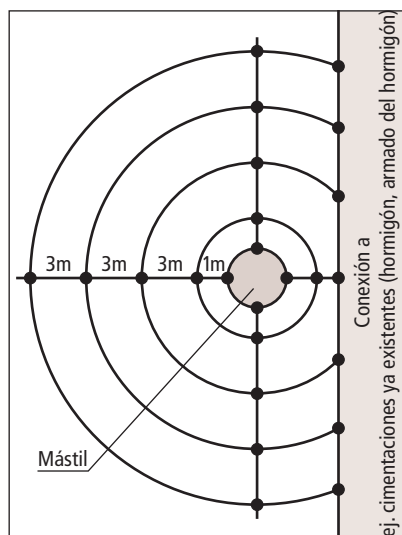


Fig. 5.7.5: Control de conexión al anillo de toma de tierra/toma de tierra de cimientos.

control de potencial para protección de estas personas.

El control de potencial es suficiente cuando la caída de tensión en la superficie de la tierra de la zona a proteger no supone más de 1 "Ohmio/m. Para ello debería instalarse, adicionalmente a una toma de tierra de cimientos existente, una toma de tierra circular a una distancia de 1 metro y a una profundidad de 0,5 metros.

Si en la edificación ya existe una instalación de toma de tierra perimetral, ésta ya puede considerarse como el "primer anillo" del control de potencial.

No obstante, se deberán instalar otros anillos de toma de tierra a una distancia de 3 metros de la primera toma de tierra y de las demás tomas de tierra. Será necesario un incremento de la profundidad de

0,5 m en cada nueva tierra, en sentido creciente desde el edificio (Ver **tabla 5.7.1**).

Si se realiza un control de potencial para una instalación, deberá instalarse según se indica en las **figuras 5.7.2 y 5.7.3**.

Los derivadores han de conectarse con todos los anillos del control de potencial.

La conexión de cada uno de los anillos tiene que realizarse, como mínimo, dos veces (**Figura 5.7.4**).

Si los anillos de toma de tierra (tomas de tierra de control) no pueden ejecutarse en forma circular, deberán conectarse sus extremos con los otros extremos de las tomas de tierra circulares. Deben realizarse, al menos, dos conexiones en el interior de cada anillo (**Figura 5.7.5**).

Al elegir los materiales para los anillos de toma de tierra es necesario tener muy en cuenta la posible carga ocasionada por la corrosión (Capítulo 5.5.7).

Teniendo en cuenta los procesos galvánicos de los elementos entre las tomas de tierra de cimientos y de los anillos de toma de tierra, una opción muy recomendable es el empleo de material NIRO V4A (Nr. de material 1.4571).

Las anillos de toma de tierra pueden realizarse como conductor redondo o varilla de 10 mm de diámetro o pletinas de de 30 mm x 3,5 mm.

	Distancia al edificio	Profundidad
1 anillo	1 m	0.5 m
2 anillo	4 m	1.0 m
3 anillo	7 m	1.5 m
4 anillo	10 m	2.0 m

Tabla 5.7.1: Distancia de los anillos y profundidades de los controles de potencial.

5.7.1 Control de la tensión de contacto en derivadores de instalaciones de protección contra rayos

La zona de riesgo en términos de tensiones de paso y de contacto para personas que se encuentren fuera de un edificio, viene definida por una distancia de 3 metros al mismo y por una altura máxima de otros tres. Esta zona a proteger se corresponde en su altura con la máxima altura alcanzable por una persona con el brazo extendido más una distancia de separación adicional. (Figura 5.7.1.1).

En zonas de acceso con gran afluencia de personas, como teatros, cines, centros comerciales, guarderías infantiles, etc... en los que se encuentran situados muy próximos derivadores y tomas de tierra, se requieren medidas especiales de protección.

En instalaciones especialmente expuestas (al riesgo de rayos), que sean de libre acceso (por ejemplo refugios), puede ser necesario tomar medidas especiales para la limitación de las tensiones de contacto.

Por otra parte, en el análisis de riesgos de una instalación, según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) es necesario considerar el riesgo de personas como parámetro L1 (Lesiones o muerte de personas).

El peligro derivado de las tensiones de contacto puede reducirse adoptando las medidas siguientes:

- ⇒ Recubrir los derivadores con material aislante (mínimo 3 mm de polietileno reticulado con una resistencia a la tensión de choque vertical de 100 kV 1,2/50 μ s).

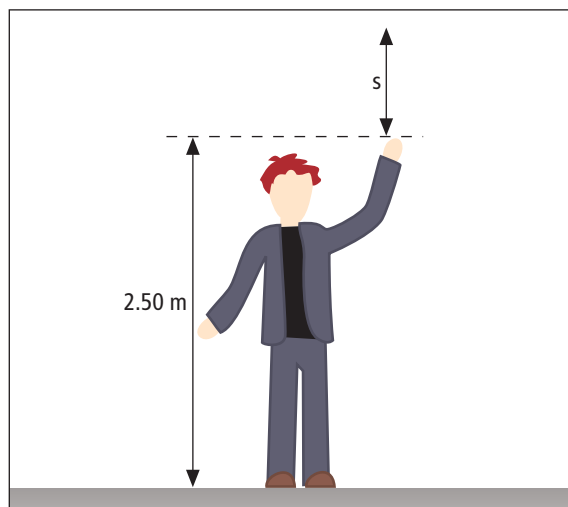


Fig. 5.7.1.1: Zona a proteger para una persona.

- ⇒ Modificar la posición de los derivadores. Así, por ejemplo, no deben instalarse en la zona de acceso a la instalación.
- ⇒ Conseguir que la resistencia específica de la capa de superficie de la tierra a una distancia de hasta 3 metros alrededor del derivador será como mínimo de 5000 Ohmios m.
- ⇒ Reducir la probabilidad del agrupamiento de personas mediante carteles de aviso o carteles de prohibición. También es posible pensar en cierres o bloqueos de acceso.

Las medidas de protección contra tensiones de contacto no siempre son suficientes para una protección efectiva de las personas en cada caso. Así, por ejemplo, la exigencia de un revestimiento con un aislamiento resistente eléctrico a altas tensiones, para un derivador expuesto, no es suficiente si, al mismo tiempo, no se adoptan medidas de protección contra saltos de chispa en la superficie del aislamiento. Esto tiene especial relevancia cuando las influencias medioambientales como la lluvia (humedad) también deben tenerse en cuenta.

Al igual que en un derivador desnudo, en un derivador aislado se produce una elevada tensión en caso de una descarga de rayo. Esta tensión, sin embargo, se mantiene separada de las personas por su aislamiento.

Como el cuerpo humano puede considerarse un buen conductor en comparación con el material aislante, la capa de aislamiento es sometida prácticamente a toda la tensión de contacto. Si el aislamiento no soporta la tensión, una parte de la corriente de rayo puede fluir a tierra a través del cuerpo humano, igual que en el caso de un derivador desnudo. Para garantizar una protección segura de las personas frente a tensiones de contacto, es absolutamente imprescindible impedir, tanto la penetración a través del aisla-

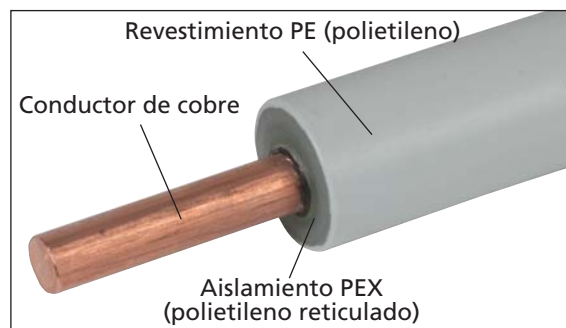


Fig. 5.7.1.2: Estructura del conductor CUI.



Fig. 5.7.1.3: Prueba de tensión vertical bajo lluvia.

miento como un salto de chispa por el recorrido del mismo.

Una solución a este problema es el conductor CUI que cumplen con las exigencias de resistencia de aislamiento y saltos de chispa requeridas para la protección contra tensiones de contacto.

Estructura del conductor CUI

El conductor CUI está formado por un conductor interior de cobre con una sección de 50 mm², y recubierto por una capa aislante de polietileno (PEX) reticulado resistente a tensiones de choque con un grosor de aprox. 6 mm (Figura 5.7.1.2).

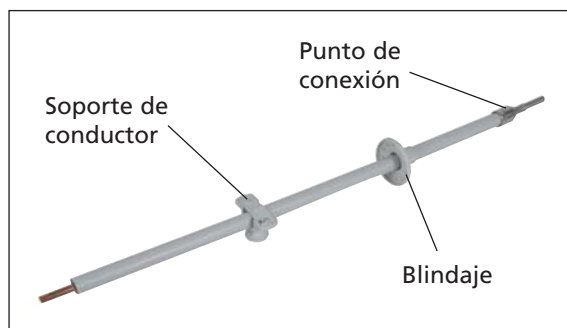


Fig. 5.7.1.4: Conductor CUI.

Para dotarle de una protección contra influencias externas, el conductor aislado está recubierto adicionalmente con una delgada capa de polietileno (PE). El derivador aislado se tiende por toda la zona de riesgo, es decir, 3 metros por encima de la superficie de la tierra. El extremo superior del conductor se conecta con el derivador procedente del dispositivo captador, mientras que el extremo inferior se conecta a la instalación de toma de tierra.

Además de la resistencia eléctrica de aislamiento, hay que considerar asimismo el riesgo de saltos de chispas entre el punto de conexión a los derivadores desnudos y la mano de la persona que lo toca. Este problema de salto de chispa, ya conocido en la técnica de alta tensión, se agrava aún más en caso de lluvia. Mediante ensayos se ha demostrado que, un derivador aislado, sin medidas adicionales, en un tramo de más de 1 metro puede sufrir saltos de chispas en caso de lluvia. Con la disposición de un blindaje apropiado en el derivador aislado, se crea en el conductor CUI una zona suficientemente seca que impide el salto de chispas a lo largo de la superficie del aislamiento. Con las pruebas de tensión vertical bajo la lluvia según IEC 60060-1 se demostró la seguridad de servicio del conductor CUI, tanto en lo que se refiere a la seguridad frente aislamiento eléctrico, como al saltos de chispa con tensiones de impulso de hasta 100 kV (1,2/50 Micros). Para estas pruebas de lluvia, se rocía sobre el conductor una cantidad definida de agua con una conductividad determinada y con un ángulo de rociado de aprox. 45°.

El conductor CUI está prefabricado con un elemento de conexión para conectar al derivador (punto de separación), y puede acortarse en la propia instalación para la conexión con la toma de puesta a tierra. Este producto puede adquirirse con una longitud de 3,5 m y 5 m y con los soportes de anclaje necesarios en plástico o metálicos. (Figura 5.7.1.4).

Con el conductor especial CUI, las medidas para el control de las tensiones de contacto en derivadores resultan sencillas y con reducidos gastos de instalación, minimizando considerablemente el peligro para personas en zonas especialmente expuestas.

Acoplamiento inductivo con grandes pendientes de corriente

En relación con el riesgo para las personas, debe tenerse también en cuenta el campo magnético del dispositivo y las repercusiones sobre el entorno más próximo del derivador.

En bucles de instalación muy extensos pueden aparecer en las proximidades de la derivación, tensiones de varios 100 kV, que pueden ocasionar elevadas pérdidas económicas. También el cuerpo humano, debido a sus características conductivas, forma un bucle junto con el derivador y la zona del terreno conductora con una inductancia mutua M , en la que se pueden inducir tensiones muy elevadas U_i . (Figuras 5.7.1.5a. y 5.7.1.5b). En esta situación el sistema derivador - persona actúa como un transformador.

Esta tensión acoplada se encuentra en el aislamiento, ya que el cuerpo humano y la zona del suelo, en principio, pueden suponerse como conductores. Si la carga de tensión es demasiado elevada, puede originar una descarga o salto de chispas del aislamiento. La tensión inducida conduce entonces por este bucle una corriente, cuya magnitud depende de las resistencias y de la propia inductividad del bucle, pudiendo resultar mortalmente peligrosa para la persona afectada. El aislamiento, por tanto, tiene que poder soportar estas cargas de tensión. Los valores de la norma de 100 kV en 1,2/50 micros, incluyen impulsos de tensión, muy elevados pero muy cortos, que únicamente están aplicados durante la elevación de la

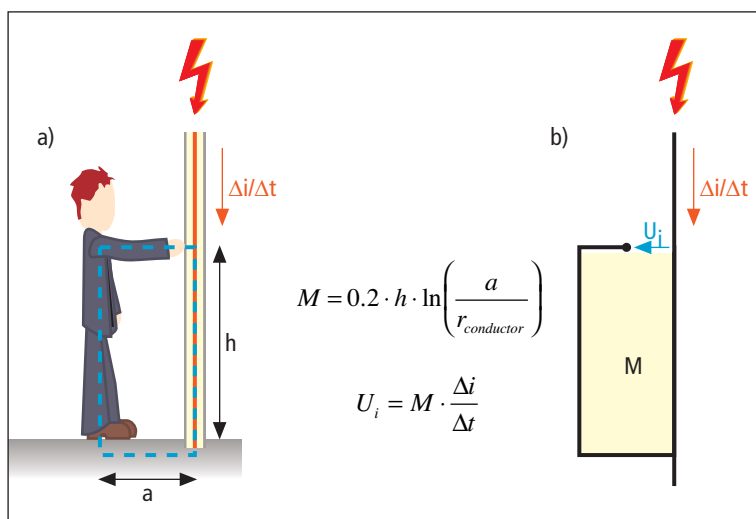


Fig. 5.7.1.5: a) Bucle derivador-persona
b) Inductancia mutua M y tensión inducida U_i .

corriente (0,25 micros con rayo consecutivo negativo). Al aumentar la profundidad de empotramiento de los derivadores aislados, el bucle se hace más grande y con ello la inductancia mutua. De este modo se incrementa, en la medida correspondiente, la tensión inducida y los esfuerzos a que es sometido el aislamiento. Tras estas consideraciones el acoplamiento inductivo es algo que debe ser tenido muy en cuenta.

6. Protección interna contra rayos

6.1 Compensación de potencial para instalaciones metálicas

Equipotencialidad según IEC 60364-4-41 e IEC 60364-5-54

La compensación de potencial se exige para todas las instalaciones eléctricas de nueva construcción. Según IEC 60364 la compensación de potencial evita las diferencias de potencial, es decir, impide la formación de tensiones de contacto peligrosas, por ejemplo, entre el conductor de protección de la instalación de consumidores de baja tensión y las tuberías metálicas de agua, gas y calefacción. Según la norma IEC 60364-4-41 la compensación de potencial se compone de:

Compensación principal de potencial (en adelante: equipotencialidad de protección).

y:

Compensación adicional de potencial (en adelante: equipotencialidad de protección adicional).

En todos los edificios debe instalarse una equipotencialidad de protección principal según las normas arriba citadas (Figura 6.1.1).

La equipotencialidad de protección adicional está prevista para aquellos casos en los que no se pueden cumplir las condiciones de desconexión, o para determinados sectores especiales según la serie IEC 60364 Parte 7.

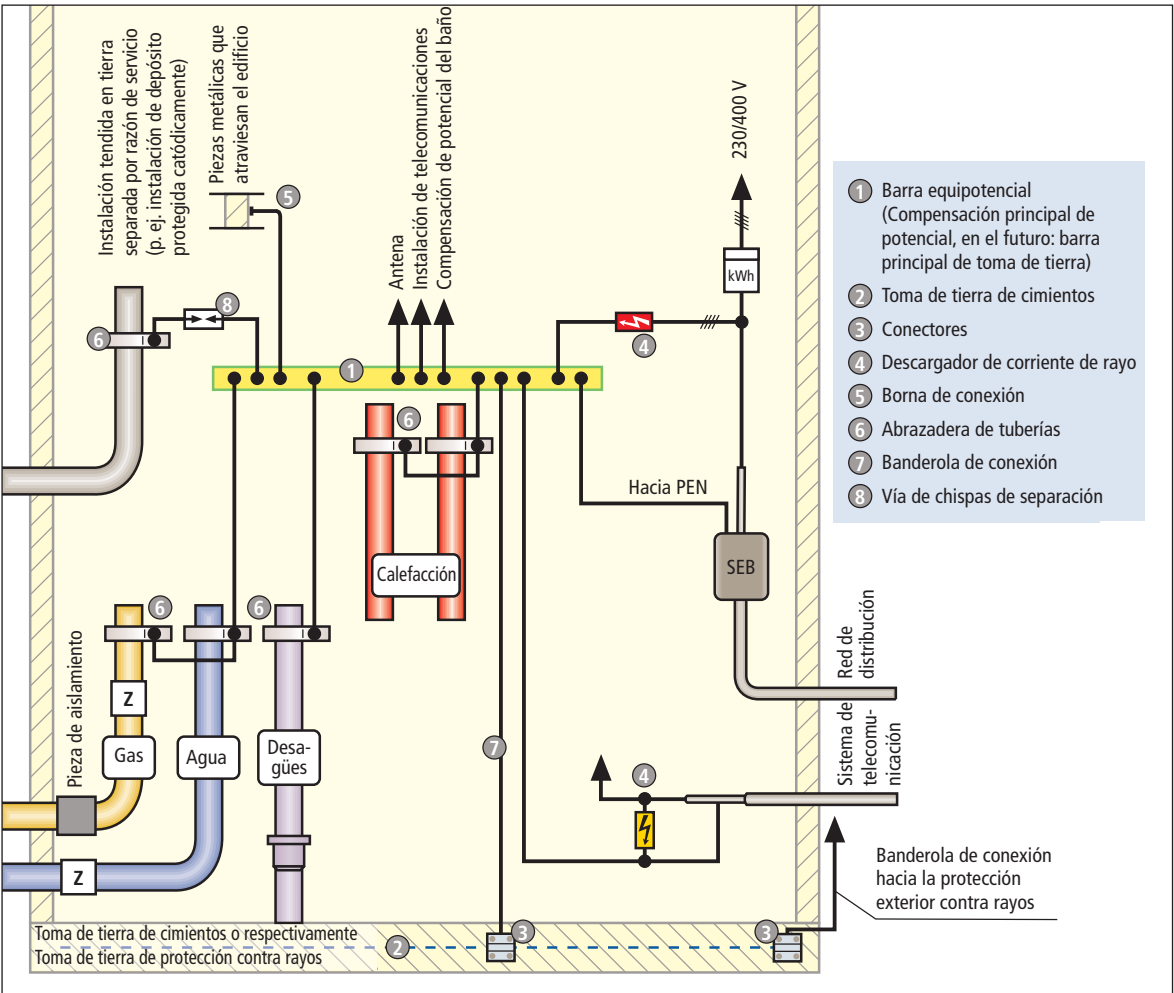


Fig. 6.1.1 Principio de la compensación de potencial de protección contra rayos, compuesta de compensación de potencial principal y de protección contra rayos (En el futuro: compensación de potencial de protección).

Compensación de potencial principal

Las siguientes partes o piezas conductoras tienen que incluirse **directamente** en la compensación de potencial principal:

- ⇒ Conductores para la compensación principal de potencial según IEC 60364-1-41 (en adelante, conductores de tierra).
- ⇒ Tomas de tierra de cimientos o respectivamente toma de tierra de protección contra rayos.
- ⇒ Instalaciones centrales de calefacción.
- ⇒ Tuberías de conducción para agua de consumo.
- ⇒ Piezas conductoras de la estructura del edificio (p. ej. guías de ascensores, armados de acero, conductos de ventilación y aire acondicionado).
- ⇒ Tuberías metálicas de desagüe.
- ⇒ Tuberías interiores para gas.
- ⇒ Conductores de toma de tierra para antenas (en Alemania DIN VDE 0855-300).
- ⇒ Conductores de toma de tierra para instalaciones de telecomunicaciones (en Alemania DIN VDE 0800-2).
- ⇒ Conductor de protección de la instalación eléctrica según IEC 60364 series (Conductor PEN en sistemas TN y conductor PE en sistemas TT o IT).
- ⇒ Blindajes metálicos de conductores eléctricos y electrónicos.
- ⇒ Revestimientos metálicos de cables de corriente de alta intensidad hasta 1000 V.
- ⇒ Instalaciones de toma de tierra de instalaciones de más de 1 kV según HD 637 S1, cuando no pueden arrastrarse tensiones de toma de tierra excesivamente elevadas.

Definición normativa en la norma IEC 60050-826 de un componente conductor extraño:

Es aquél que no pertenece a la instalación eléctrica pero que, sin embargo, puede introducir un potencial eléctrico, incluido el potencial de tierra.

Observación: En los componentes conductores extraños se incluyen también suelos y paredes conductoras cuando, a través de ellos, puede introducirse un potencial eléctrico, incluido el potencial de tierra.

Las siguientes partes de la instalación deben incluirse **indirectamente**, en la compensación de potencial principal a través de vías de chispas de separación:

- ⇒ Instalaciones con protección catódica contra la corrosión y medidas de protección contra corrientes parásitas según EN 50162.
- ⇒ Puestas a tierra de instalaciones superiores a 1 kV según DIN VDE 0101, cuando puedan arrastrarse tensiones de toma de tierra indebidamente altas.

⇒ Toma de tierra de ferrocarriles en ferrocarriles de corriente alterna y corriente continua según DIN VDE 0155 (Los carriles de los ferrocarriles alemanes sólo pueden conectarse previa autorización expresa por escrito).

⇒ Tierra de medida para laboratorios, siempre que esté separada de los conductores de protección.

En la **figura 6.1.1** se representan las conexiones y los correspondientes componentes de la compensación principal de potencial.

Realización de la toma de tierra para la compensación de potencial

La instalación eléctrica de consumidores de baja tensión requiere determinadas resistencias de toma de tierra (condiciones de desconexión de los elementos de protección). La toma de tierra de cimientos proporciona una buena resistencia de puesta a tierra con costes económicos muy asumibles. Por tanto, la toma de tierra de cimientos representa un complemento óptimo y eficaz a la compensación de potencial.

El diseño de la toma de tierra de cimientos está regulado en Alemania por la norma DIN 18014 que, por ejemplo, exige banderolas de conexión para las barras equipotenciales.

En el capítulo 5.5 se incluyen descripciones detalladas y formas de ejecución de las tomas de tierra de cimientos.

Al utilizar tomas de tierra de cimientos como tomas de tierra de protección contra rayos, eventualmente habrá que cumplir otras exigencias, que pueden consultarse asimismo en el capítulo 5.5.

Conductores de compensación de potencial (en adelante: conductores de protección equipotencial)

Los conductores de protección equipotencial, en el caso de que tengan funciones de protección, deben identificarse como cables de protección, es decir, amarillo/verde.

Los cables de compensación de potencial no llevan corriente de servicio y, por lo tanto, pueden ir desnudos o aislados.

La sección del cable principal de protección es determinante para el dimensionado de los cables de compensación de potencial según IEC 60364-5-54 y 60364-5-54. El cable principal de protección es el conductor que parte de la fuente de corriente, de la caja de conexiones de la instalación o del distribuidor principal.

	Compensación del potencial principal	Compensación de potencial adicional	
Normal	0.5 x sección del conductor de protección más más pequeño	Entre dos cuerpos	1 x sección del conductor conductor de protección más pequeño
		Entre un cuerpo y una parte conductora ajena	0,5 x sección del conductor de protección
Mínimo	6 mm ²	Con protección mecánica	2.5 mm ² Cu o valor de conducción similar
		Sin protección mecánica	4 mm ² Cu o valor de conducción similar
Posible limitación	25 mm ² Cu o valor de conducción similar	–	–

Tabla 6.1.1 Secciones para conductores de protección equipotencial.

En cualquier caso, la sección mínima del conductor principal de compensación de potencial son 6 mm² Cu. Como posible limitación hacia arriba se han fijado 25 mm² Cu.

Como secciones mínimas para la equipotencialidad de protección adicional (**Tabla 6.1.1**) se exigen 2,5 mm² Cu en caso de tendido protegido y 4 mm² Cu en caso de tendido no protegido.

Para cables de toma de tierra de antenas, según EN 60728-11 (IEC60728-11), la sección mínima es de 16 mm² Cu, 25 mm² Al, ó 50 mm² acero.

Barras equipotenciales

La barra equipotencial es un elemento básico de la compensación de potencial y tiene que poder embornarse en ella con seguridad todos los conductores de conexión, así como conducir la corriente de forma segura y cumplir las exigencias de protección frente a la corrosión.

En la norma alemana DIN VDE 0618-08 se describen las exigencias que deben cumplir este tipo de barras para la equipotencialidad de protección. En dicha norma se definen las posibilidades de conexión que, como mínimo, deben ofrecer:

- ⇒ 1 x conductor plano 4 x 30 mm. o conductor redondo diámetro 10 mm.
- ⇒ 1 x 50 mm².
- ⇒ 6 x 6 mm² hasta 25 mm².
- ⇒ 1 x 2,5 mm² hasta 6 mm².

El modelo K-12 cumple sobradamente estas exigencias (**Figura 6.1.2**).

También está incluida en esta norma la prueba de capacidad para soportar corrientes de rayo para pun-

tos de conexión a partir de una sección de 16 mm². Aquí se hace referencia a la verificación de los componentes de la protección contra rayos según la norma EN 50164-1.

Si se cumplen las condiciones y exigencias de la norma antes indicada, estas piezas o elementos de obra pueden aplicarse asimismo para la compensación de potencial de protección contra rayos según la norma UNE EN 62305-1-4 (IEC 62305-1-4).

Terminales para conexión equipotencial

Los terminales de conexión equipotencial deben proporcionar un contacto seguro y duradero.

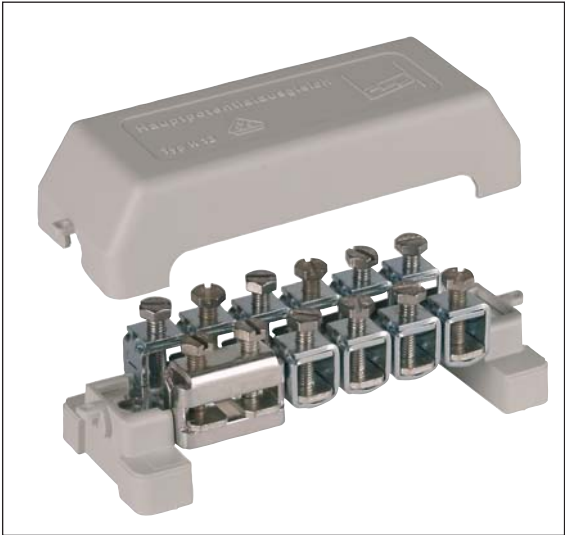


Fig. 6.1.2 Barra de compensación de potencial K-12, Art. Nr. 563 200



Fig. 6.1.3 Abrazadera de tubería de toma de tierra, Art. Nr. 408 014.



Fig. 6.1.4 Abrazadera de tubería de toma de tierra, Art. Nr. 407 114.

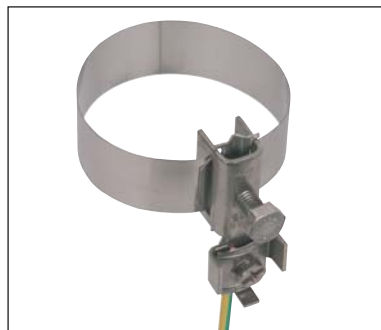


Fig. 6.1.5 Abrazadera de tubería en banda de toma de tierra, Art. Nr. 540 910.

Inclusión de tuberías en la compensación de potencial

Para la inclusión de tuberías en la compensación de potencial se utilizarán abrazaderas adaptadas a los diámetros correspondientes. (Figuras 6.1.3 y 6.1.4).

Las abrazaderas de banda para puesta a tierra de tuberías en NIRO ofrecen grandes ventajas, ya que pueden adaptarse a los diferentes diámetros de las tuberías (Figura 6.1.5). Además, con este tipo de abrazaderas, pueden conectarse tuberías de diferentes materiales (p. ej. acero, cobre o acero inoxidable). Igualmente, con estos componentes, es posible efectuar un cableado de paso.

La figura 6.1.6 muestra una equipotencialidad de tuberías de calefacción con cableado de paso.

Prueba e inspección de la equipotencialidad

Antes de la puesta en servicio de la instalación eléctrica hay que comprobar su eficacia y si las conexiones están correctamente efectuadas.

Se recomienda una baja impedancia hacia las diversas partes de la instalación y la conexión equipotencial. A título orientativo, un valor inferior a 1Ω se considera suficiente para las conexiones equipotenciales.



Fig. 6.1.6 Compensación de potencial con cableado de paso.

Equipotencialidad de protección adicional

Si no se pueden cumplir las condiciones de desconexión para una instalación o para una parte de la misma, es necesario realizar una equipotencialidad local adicional. La cuestión esencial es conectar entre sí todos los elementos metálicos que pueden ser tocados simultáneamente y conectar también partes ajenas conductoras. El objetivo final es mantener lo más baja posible cualquier tensión de contacto que eventualmente pudiera darse.

Asimismo, deberá aplicarse la equipotencialidad de protección adicional en instalaciones o partes de instalaciones en sistemas IT con vigilancia del aislamiento.

Igualmente es necesaria la equipotencialidad de protección adicional en casos especiales de riesgo debido a las condiciones medioambientales.

En la serie IEC 60364 Parte 7, se hace referencia especial a la equipotencialidad de protección adicional para locales de servicio, recintos o instalaciones de carácter especial.

Estos pueden ser, por ejemplo:

- ⇒ DIN VDE 0100-701 Recintos con bañeras o duchas.
- ⇒ DIN VDE 0100-702 Piscinas y otros recintos similares.
- ⇒ DIN VDE 0100-705 Para recintos agrícolas o de jardinería.

La diferencia respecto a la equipotencialidad de protección principal radica en el hecho de que pueden elegirse secciones de conductores más pequeñas. (Tabla 6.1.1), y que esta compensación de potencial adicional puede estar limitada localmente.

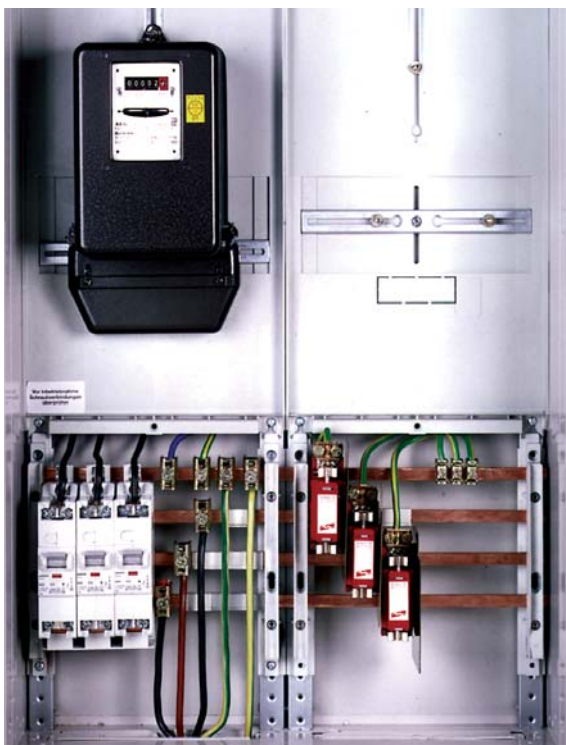


Fig. 6.2.1 Descargador de corriente de rayo DEHNbloc NH instalado en barras de contadores (Ver al respecto la figura 6.2.2).

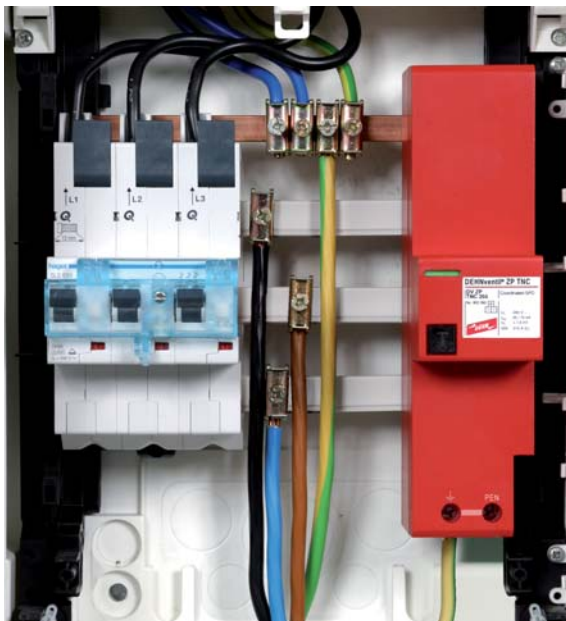


Fig. 6.2.2 Descargador combinado DEHNventil ZP para instalar directamente sobre barras de contadores.

6.2 Compensación de potencial para instalaciones de suministro de energía

La equipotencialidad para instalaciones de consumidores de baja tensión en el marco de la protección interna contra rayos supone una ampliación de la equipotencialidad de protección principal según IEC 60364-4-41. (Figura 6.1.1).

Además de todos los sistemas conductores, se incluirán en la compensación de potencial, los cables de entrada de la línea suministro de baja tensión. Dicha conexión equipotencial solamente puede efectuarse utilizando descargadores de corrientes de rayo y sobretensiones.

Las exigencias que se plantean a este tipo de equipos de protección están descritas con detalle en el Anexo E, apartado 6.2.1.2 de la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3), así como en el apartado 7 y en los Anexos C y D de UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4).

Análogamente a la equipotencialidad en instalaciones metálicas (Ver capítulo 6.1), la equipotencialidad de protección para instalaciones de consumidores de baja tensión debe efectuarse directamente en el punto de acceso al equipo a proteger. Para la instalación de los equipos de protección contra sobretensiones en zona no especificada de la instalación de consumidores de baja tensión (sistema de suministro de corriente principal) son aplicables las exigencias descritas en la directriz VDN "Dispositivos de protección contra sobretensiones – tipo 1 – Directriz para aplicación en sistemas de suministro de corriente principal". (Ver también al respecto el capítulo 7.5.2 y el 8.1) (Figuras 6.2.1 y 6.2.2).

6.3 Compensación de potencial para instalaciones de telecomunicaciones

La equipotencialidad de protección contra el rayo exige que todas las partes metálicas conductoras, como líneas de cableado y blindajes, se incluyan en la compensación de potencial a la entrada del edificio, a ser posible con baja impedancia. Entre estos elementos se incluyen, por ejemplo, cables de antena (Figura 6.3.1), cables de telecomunicaciones con conductores metálicos y también sistemas de fibra óptica con elementos metálicos. Los conductores se conectan con ayuda de dispositivos capaces de soportar

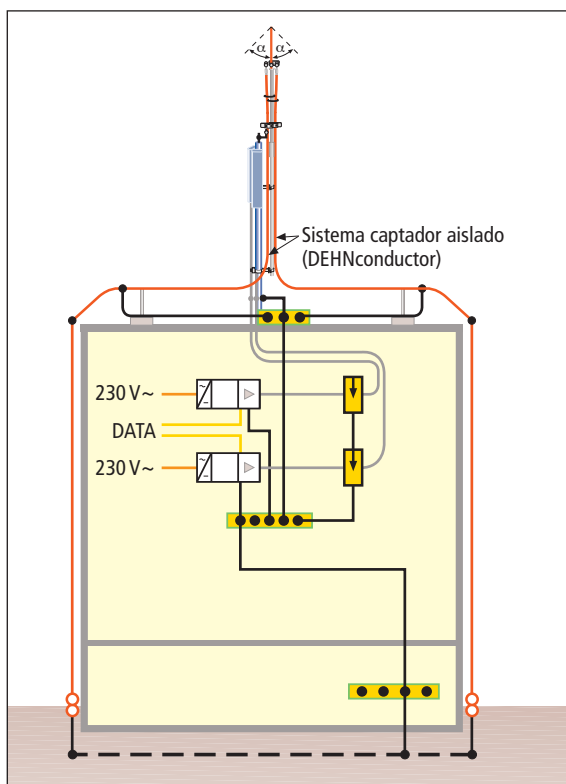


Fig. 6.3.1 Equipotencialidad de protección contra rayos con sistema captador aislado, tipo DEHNconductor para instalaciones de antena según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3)

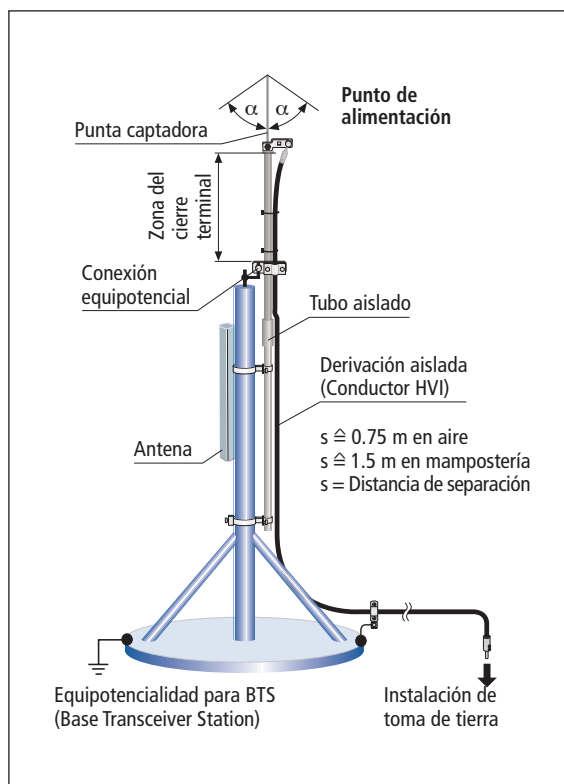


Fig. 6.3.2 Instalación de sistema captador aislado de protección contra rayos en antena de telefonía móvil.

corrientes de rayo (descargadores con técnica de conexión del blindaje). Una zona muy adecuada para la instalación de este tipo de protecciones, es el punto de transición exterior/interior o acometida de los diferentes cables de entrada al edificio.

Tanto los descargadores como la técnica de conexión del blindaje deben elegirse en conformidad con los parámetros de corriente de rayo que cabe esperar.

Para minimizar la formación de bucles de inducción en el interior del edificio, se recomienda:

- ⇒ Disponer la entrada de cables y tuberías metálicas por el mismo lugar.
- ⇒ Hacer un tendido conjunto pero blindado de cables de energía y cables de datos.
- ⇒ Evitar longitudes innecesarias de cables mediante tendido directo del conductor.

Instalaciones de antenas

Por razones de servicio, las instalaciones de antenas, se ubican en lugares expuestos y están sometidas a

una mayor influencia de sobretensiones, especialmente en caso de descargas directas de rayo. En Alemania deben integrarse en la compensación de potencial según DIN VDE 0855-300 a través de su propia construcción (estructura del cable, conectores enchufables y blindados) y/o mediante medidas adicionales apropiadas. Los elementos de antena que no puedan conectarse directamente a la equipotencialidad de protección y que están unidos a un cable de alimentación, deben protegerse mediante descargadores.

En términos generales, se asume que el 50% de las descargas directas de rayo fluye a través de los blindajes o apantallamientos de los cables de antena. Si una instalación de antena está dimensionada para corrientes de rayo de hasta 100 kA (10/350 μ s) (Nivel III de protección), tendremos una división de la corriente de rayo de 50 kA sobre el cable de toma de tierra y de 50 kA a través de los blindajes de los cables de antena. Las instalaciones de antena que no puedan soportar corrientes de rayo, deberán equi-

parse con dispositivos captadores, dentro de cuya zona de protección deben quedar situadas las antenas.

Al elegir un cable apropiado hay que tener en cuenta la parte correspondiente de corriente de rayo para cada uno de los conductores de antena que intervienen en la derivación. La resistencia necesaria a la tensión del cable puede determinarse en base a la resistencia de acoplamiento, a la longitud del conductor de antena y a la amplitud de la corriente de rayo.

Según la norma actual UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3), las antenas instaladas en la cubierta de los edificios, deben integrarse en la zona protegida contra descargas de rayo, respetando la distancia de separación s , mediante:

- ⇒ Puntas captadoras.
- ⇒ Cables elevados.
- ⇒ Cables mallados.

Con el aislamiento eléctrico de la instalación de protección contra rayos de las partes conductoras de la construcción del edificio (piezas metálicas de la construcción, armados etc.) y el aislamiento frente a conductores eléctricos en el edificio, se evita la penetración de corrientes parciales de rayo en los cables de control y suministro, y con ello se impide la interferencia/destrucción de equipos eléctricos y electrónicos sensibles. (Figura 6.3.1 y Figura 6.3.2).

Instalación de fibra óptica

Las instalaciones de fibra óptica con elementos metálicos pueden clasificarse, normalmente, en los siguientes tipos:

- ⇒ Cable con núcleo no metálico, pero con revestimiento de metal (p. ej. bloqueo metálico de presión) o elementos metálicos portantes.
- ⇒ Cable con elementos metálicos en el núcleo y con revestimiento de metal o con elementos metálicos portantes.
- ⇒ Cable con elementos metálicos en el núcleo pero sin revestimiento de metal.

Para todos los tipos de cables con elementos metálicos tiene que determinarse el valor mínimo de cresta de la corriente de rayo que pueda ocasionar un deterioro de las propiedades de transmisión del conductor de fibra óptica. Deben elegirse cables capaces de soportar la corriente de rayo y los elementos metálicos deben conectarse a la barra equipotencial bien directamente o a través de un equipo de protección contra sobretensiones.

- ⇒ Revestimiento de metal: Conexión en la entrada del edificio por ejemplo con bornas de conexión tipo SAK.
- ⇒ Núcleo con elemento metálico: Conexión con bornas de toma de tierra tipo SLK, cerca de la caja de empalme.
- ⇒ Evitar corrientes de compensación: Conexión indirecta a través de vías de chispas de separación, por ejemplo, descargador tipo DEHNgap C S.

Cables de telecomunicaciones;

Las líneas de telecomunicaciones con conductores metálicos, por lo general, consisten en cableados simétricos o coaxiales de los tipos siguientes:

- ⇒ Cable sin elementos metálicos adicionales.
- ⇒ Cable con revestimiento metálico y/o elementos metálicos de soporte.
- ⇒ Cable con revestimiento de metal y con armado adicional de protección contra el rayo.

La distribución de la corriente de rayo sobre los conductores de telecomunicación se determina según el Anexo E de la norma UNE EN 62305-1 (IEC 62305-1). Los diferentes cables deben incluirse en la compensación de potencial de la siguiente manera:

- a) Cables no blindados deben conectarse con descargadores capaces de soportar la corriente de rayo: corriente parcial de rayo del cable dividida por el número de conductores individuales = corriente de rayo por hilo.
- b) Si el blindaje del cable puede soportar corrientes de rayo, ésta fluirá a través del mismo. Sin embargo, pueden aparecer acoplamientos de perturbación capacitivos/inductivos en los hilos, siendo necesario, en estos casos, utilizar descargadores de sobretensiones. Condiciones previas:



Fig. 6.3.3 Sistema de conexión de blindaje SAK capaz de soportar corrientes de rayo.

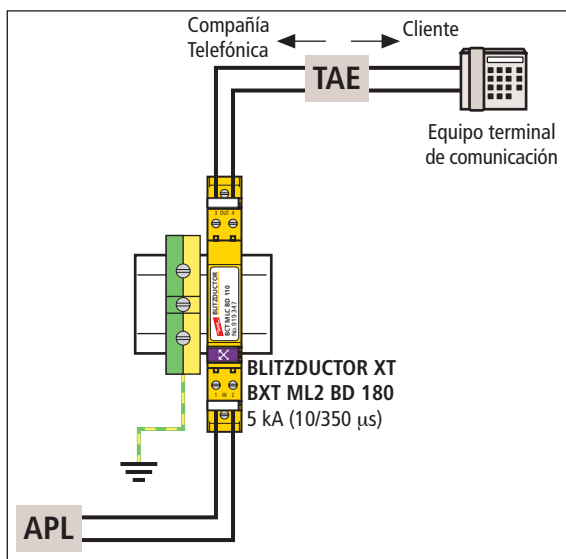


Fig. 6.3.4 Equipotencialidad de protección contra rayos para línea telefónica con el BLITZDUCTOR XT.
(Utilización autorizada por el Deutsche TELEKOM).



Fig. 6.3.5 Envoltorio DEHN capaz de soportar corrientes de rayo (DPG LSA) para técnica LSA 2/10.

- ⇒ El blindaje en sus dos extremos ha de conectarse al sistema equipotencial de protección capaz de soportar la corriente de rayo.
- ⇒ En los dos edificios, en los que termina el cable, tiene que aplicarse el concepto de zonas de protección contra rayos y efectuarse la conexión de los cables activos en la misma zona de protección contra rayos (generalmente LPZ 1).
- ⇒ Si se tiende un cable no blindado en una tubería de metal, ésta debe tratarse como si fuera un cable con blindaje capaz de soportar corrientes de rayo.

c) Si el blindaje del cable no es capaz de soportar corrientes de rayo, entonces tendremos que:

- ⇒ En caso de conexión del cable en ambos lados, hay que proceder igual que con un hilo de señal de un conductor no blindado. Corriente parcial de rayo del conductor dividido por el número de hilos individuales + 1 blindaje = corriente parcial de rayo por hilo.
- ⇒ Si el blindaje no está tendido por ambos lados, se considera como no existente:
- ⇒ Corriente parcial de rayo del conductor dividida por el número de los hilos individuales = Corriente parcial de rayo por hilo.

Si no se puede determinar la carga de los hilos, es más conveniente recurrir a los parámetros de riesgo según IEC 61643-22. De aquí se deriva una carga máxima por hilo de 2,5 kA (10/350) para un conductor de telecomunicaciones.

Naturalmente, no solo los equipos de protección contra sobretensiones tienen que poder soportar la corriente de rayo esperada, sino también la propia línea de derivación. (Figura 6.3.4).

Esto puede explicarse con el ejemplo de un cable de telecomunicaciones de cuatro hilos:

- ⇒ En una distribución principal de edificio tenemos un cable de telecomunicaciones con 100 pares de hilos, procedente de una LPZ 0_A y que pretende conectarse con descargadores.
- ⇒ La carga de corriente de rayo para el cable se ha supuesto con aproximadamente 30 kA (10/350).
- ⇒ Se tendrá entonces una distribución simétrica de la corriente de rayo a cada uno de los hilos individuales: 30 kA/200 hilos = 150 A por hilo.

Esto, en principio, significa que no hay exigencias especiales respecto de la capacidad de derivación de los elementos de protección que se han de utilizar. Una vez que ha fluído la corriente por todos los elementos de protección, vuelve a sumarse cada una de las corrientes parciales hasta su valor de 30 kA y sobrecargan en la línea posterior de derivación por ejemplo, carcasas de bornas, bornas de toma de tierra o conductores de equipotencialidad. Para asegurarse de que no se produzcan daños en la línea de derivación, pueden utilizarse envoltorios certificados contra descargas de rayo (Figura 6.3.5).

7. Protección de sistemas eléctricos y electrónicos contra LEMP

7.1 Concepto de zonas de protección contra rayos

Con un sistema de protección contra rayos (Sistema de protección LEMP (LPMS) según UNE EN 62305-3, el edificio, las personas y los bienes materiales que se encuentran en el mismo quedan protegidos frente al impacto directo del rayo. Sin embargo, los sistemas eléctricos y electrónicos, que son sensibles frente a sobretensiones de corta duración pero de gran energía, no lo están.

Precisamente estos sistemas de gestión, telecontrol, seguridad,... de utilización cada vez más frecuente, llegan a prácticamente todas las zonas de los edificios ya sean viviendas o edificios industriales o de servicio. Las exigencias que los propietarios/usuarios de estas instalaciones demandan sobre la permanente disponibilidad y la fiabilidad de estos sistemas son muy altas.

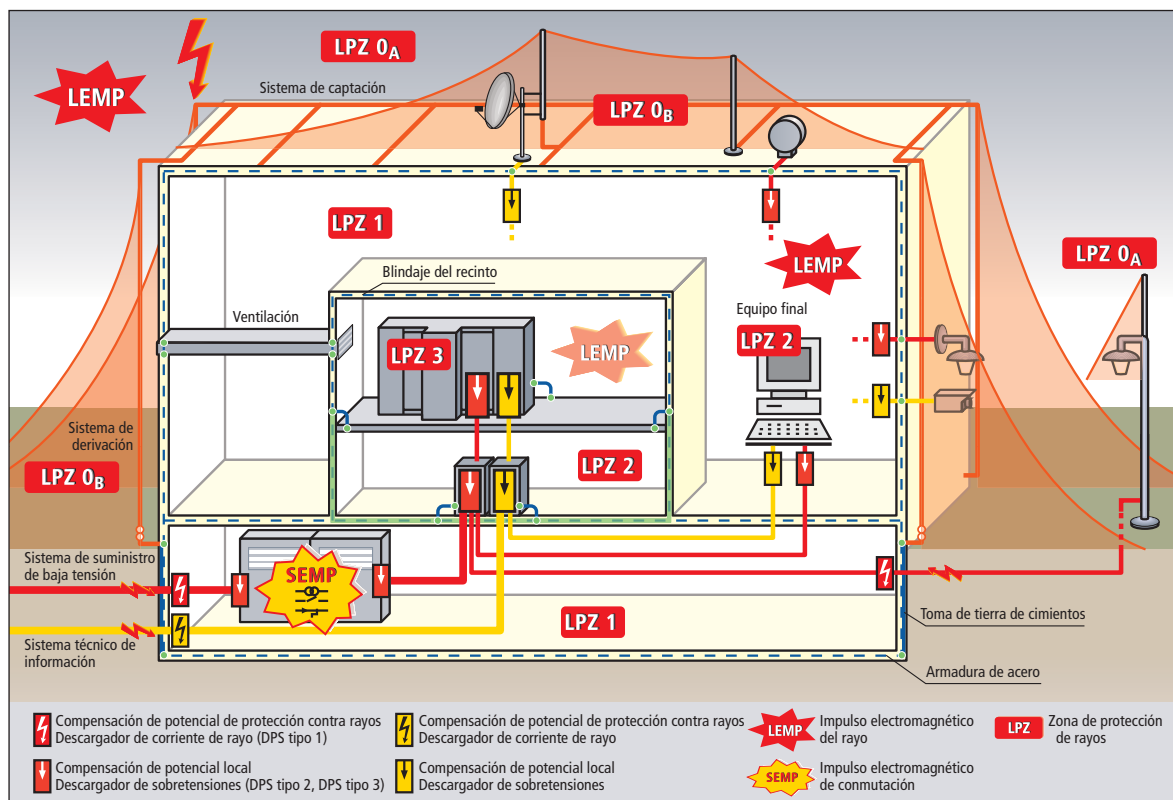
La protección de sistemas eléctricos y electrónicos en edificios o estructuras contra sobretensiones, causadas por el impulso electromagnético del rayo (LEMP),

se basa en el principio de las zonas de protección contra el rayo (LPZ – Lightning Protection Zones). Según este principio, el edificio o estructura que se pretende proteger debe dividirse en zonas de protección contra el rayo, según el nivel de riesgo por LEMP (Figura 7.1.1). De este modo, las áreas con diferentes valores de riesgo LEMP pueden ajustarse a la inmunidad de los sistemas electrónicos.

Con este concepto flexible, se pueden definir LPZ apropiadas, en función del número, tipo y sensibilidad de los equipos/sistemas electrónicos existentes. Desde pequeñas zonas locales hasta grandes zonas que pueden abarcar todo el volumen del edificio. A partir de la zona de amenaza de impacto de rayo, se definen las siguientes zonas de protección:

Zonas exteriores

⇒ **LPZ 0_A** – Zona de riesgo por impacto directos de rayo, por corrientes de impulso, hasta por corriente total de rayo y por todo el campo electromagnético del rayo.



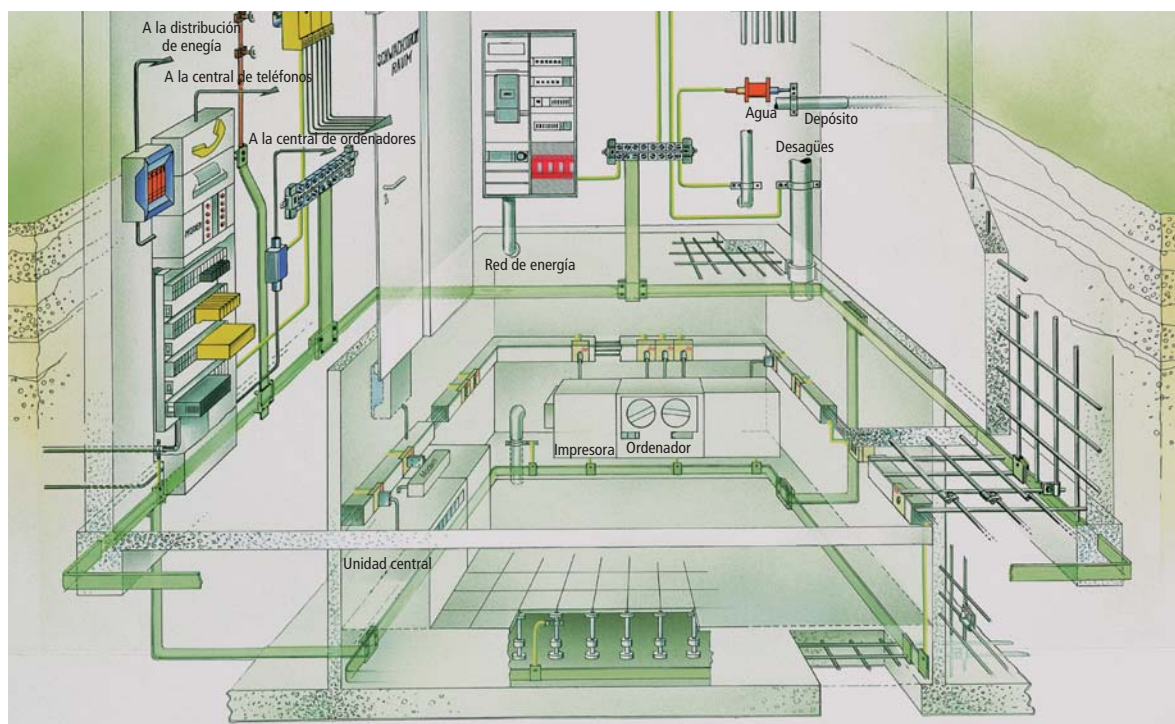


Fig. 7.1.2: Ejemplo para la realización del concepto de zonas de protección contra rayos.

⇒ **LPZ 0_B** – Zona protegida contra impactos directos de rayo, pero expuesta al riesgo de todo el campo electromagnético del mismo. Los sistemas interiores pueden estar expuestos a corrientes de rayo (parciales).

Zonas interiores

- ⇒ **LPZ 1** – Corrientes de impulso limitadas por la distribución de la corriente y por dispositivos de protección contra sobretensiones (SPDs) en los pasos de zona. El campo electromagnético del rayo puede atenuarse mediante blindaje local.
- ⇒ **LPZ 2...n** – Corrientes de impulso más limitadas por distribución de la corriente y por dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) en los pasos de zona. El campo electromagnético del rayo está atenuado generalmente mediante blindaje local.

Las exigencias para las zonas interiores tienen que definirse de acuerdo con la resistencia de los sistemas eléctricos y electrónicos que se pretenden proteger.

En los límites de cada zona interior tiene que realizarse la compensación de potencial para todas las partes metálicas y conductores de suministro que

acceden a la misma. Esta compensación de potencial se realiza o bien directamente o mediante DPS apropiados.

La **figura 7.1.2** muestra un ejemplo de ejecución de las medidas descritas para el concepto de zonas de protección contra rayos.

7.2 Gestión de protección LEMP

En el caso de edificios de nueva construcción, la protección de los sistemas electrónicos, puede optimizarse en términos económicos y de servicio si dichos sistemas se diseñan al mismo tiempo y conjuntamente con el edificio y antes de comenzar su construcción. De esta forma, se pueden integrar en la gestión de protección LEMP componentes del edificio como por ejemplo: armadura de hormigón, vigas metálicas, pilares metálicos etc.

En el caso de edificios ya construidos, los costes para la protección LEMP son casi siempre más altos que para edificios nuevos. Sin embargo, si se eligen las zonas de protección contra rayos adecuadas y se aprovechan instalaciones ya existentes, pueden reducirse considerablemente.

Paso	Objetivo	Medidas a realizar por
Análisis de riesgos inicial ^{a)}	Evaluación de la necesidad de protección LEMP. Si fuera necesario hay que elegir un sistema de protección contra LEMP adecuado (LPMS) basado en la evaluación de riesgos.	• Técnico en protección contra rayos ^{b)}. • Propietario
Análisis de riesgos final ^{a)}	Optimizar la relación coste/beneficio para las medidas de protección elegidas mediante evaluación de riesgos. Como resultado se fijará: • Clase de protección (LPL) y los parámetros de rayo. • LPZs y sus límites.	• Técnico en protección contra rayos ^{b)}. • Propietario.
Diseño del sistema protección contra LEMP (LPMS)	Definición del LPMS: • Medidas para blindaje local. • Redes de compensación de potencial. • Sistemas de puesta a tierra. • Tendido de conductores y blindajes. • Blindaje de conductores de alimentación entrantes. • Dispositivos de protección contra sobretensiones.	• Técnico en protección contra rayos. • Propietario. • Arquitecto. • Proyectista de los sistemas electrónicos. • Proyectista de las instalaciones específicas.
Diseño del LEMP	Planos y descripciones generales. Preparación de la documentación para la licitación. Esquemas de detalle y calendarios para la instalación.	• Oficina de ingeniería o similar.
Instalación e Inspección LEMP	Calidad de la instalación. Documentación. Posible revisión de los esquemas de detalle.	• Técnico en protección contra rayos. • Instalador del LPMS. • Oficina de ingeniería. • Representante de la inspección.
Recepción del LPMS	Inspección y documentación del sistema.	• Técnico en protección contra rayos. • Instalador del LPMS. • Oficina de ingeniería. • Representante de la inspección.
Inspección repetitiva	Garantía de un LPMS adecuado	• Técnico en protección contra rayos. • Inspector autorizado.
^{a)} Véase UNE EN 62305-2.		
^{b)} Con conocimientos fundamentados de la compatibilidad electromagnética y de la práctica en instalaciones.		

Tabla 7.2.1: Plan de gestión de la protección contra LEMP para nuevos edificios y para modificaciones de la construcción o de utilización de edificios según UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4).

En caso de que el análisis de riesgos según UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2) exija la protección LEMP, sólo podrá conseguirse si:

- ⇒ Las medidas a adoptar son diseñadas por un técnico especializado en protección contra rayos con conocimientos profundos sobre compatibilidad electromagnética (EMC).
- ⇒ Hay una coordinación estrecha en todos los

aspectos de la ejecución de obra entre los expertos de la edificación (p. ej. ingenieros civiles y eléctricos) y aquellos expertos en protección LEMP.

- ⇒ Si se sigue el plan de gestión según **tabla 7.2.1** (UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4, apartado 8.1).

El análisis final de riesgos tiene que demostrar que el riesgo residual es inferior al riesgo asumible.

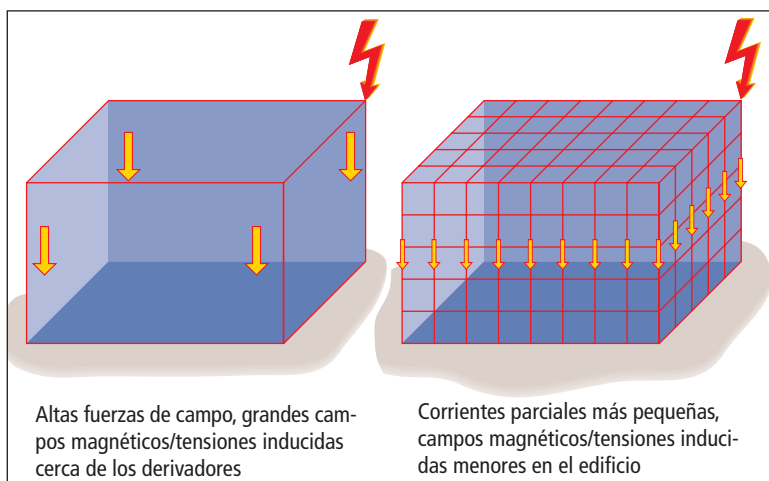


Fig. 7.3.1: Reducción del campo magnético mediante blindaje de rejilla.

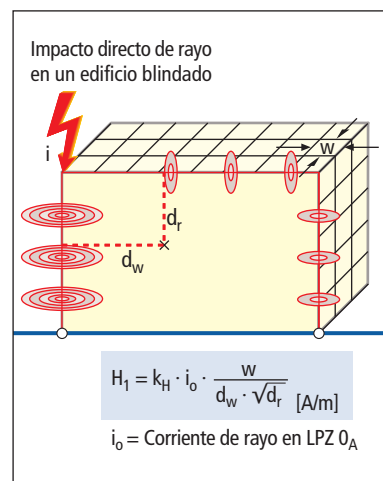


Fig. 7.3.2: Campo magnético en un impacto de rayo (LEMP) UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4).

7.3 Cálculo de la atenuación magnética del blindaje en blindajes de edificios/locales

La corriente de rayo y el campo electromagnético asociado a la misma representan la principal fuente de perturbación para las instalaciones y equipos a proteger ubicados en el interior de un edificio. En la **figura 7.3.1** se representa el principio de funcionamiento en estructuras blindadas en forma de rejilla. Las bases de cálculo están descritas en la norma UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4). La distribución del campo magnético dentro de este tipo de blindajes es muy compleja y los cálculos se realizan sobre la base de estimaciones y aproximaciones. Las fórmulas para la determinación del campo magnético se basan sobre cálculos numéricos del campo magnético. En los cálculos se ha tenido en cuenta el acoplamiento de campo magnético de cada varilla del blindaje con las restantes varillas del mismo, incluido el canal de rayo simulado.

Para determinar si el efecto del campo electromagnético del primer impacto parcial de rayo o del impacto de rayo consecutivo supone la magnitud de perturbación más crítica para la instalación eléctrica que se pretende proteger, deberán realizarse los cálculos con el valor máximo de la corriente del primer impacto corto (*short strike*) ($i_{f,max}$) y con el valor máximo de la corriente del rayo consecutivo (*long strike*) ($i_{s,max}$) de acuerdo con la clase de protección según la **tabla 5** de la norma UNE EN 62305-1 (IEC 62305-1).

El efecto de blindaje en estos casos, en el supuesto de un impacto directo de rayo, puede calcularse mediante la fórmula indicada en la **figura 7.3.2**. Esta consideración se basa en el hecho de que el impacto de rayo puede tener lugar en cualquier punto de la cubierta del edificio.

Los valores calculados para el campo magnético tienen validez para el volumen de seguridad V_s dentro del blindaje en forma de rejilla, que está definido por la distancia de separación $d_{s/1}$... (**Figura 7.3.3**).

Este volumen de seguridad considera el valor máximo de la intensidad de campo magnético tomado directamente junto a la estructura de rejilla, el cuál no es tenido suficientemente en cuenta por la fórmula de aproximación. Los equipos informáticos solamente pueden instalarse dentro del volumen V_s .

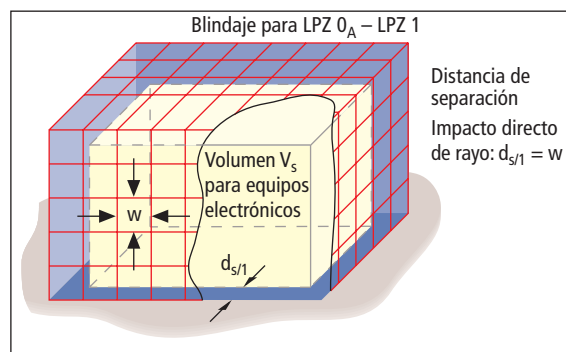


Fig. 7.3.3: Volumen para equipos electrónicos dentro de la zona de protección contra rayos 1 (LPZ 1).

Los resultados de este cálculo del campo magnético tienen validez para un volumen de seguridad V_s

La distancia de separación $d_{s/1}$ es (para $SF < 10$):

$$d_{s/1} = w \text{ [m]}$$

w medida de las mallas del blindaje en forma de rejilla en metros.

Los componentes metálicos extensos existentes en la obra, como son p. ej. tejados y fachadas metálicas, armaduras de acero en hormigón, extensiones metáli-

cas en paredes, rejillas, estructuras de soporte metálicas y sistemas de tuberías son de especial importancia para el blindaje frente campos magnéticos, y con ello para la instalación de zonas de protección contra rayos. Mediante la interconexión en forma de malla de todos estos componentes se consigue un blindaje electromagnético realmente efectivo.

La **figura 7.3.6** muestra el principio de cómo una armadura de acero puede convertirse en una jaula electromagnética (blindaje con orificios). En la práctica, sin embargo, en grandes edificios y estructuras, no será posible soldar o unir con clemas cada punto de unión. Lo más usual en la práctica es disponer en el armado de un sistema de conductor en forma de malla con una medida típica a ≤ 5 m.

Esta red de mallas está conectada de forma eléctricamente segura en los puntos de cruce, p. ej. mediante clemas y “adossada eléctricamente” a la armadura con una distancia de seguridad de $b \leq 1 \text{ m}$. Esto se realiza en la obra, por ejemplo, mediante puntos de unión.

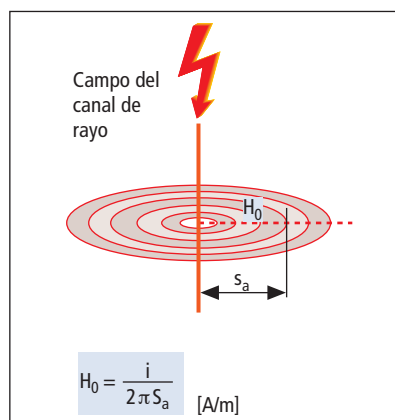


Fig. 7.3.4: Campo magnético en un impacto de rayo (LEMP) UNE EN 62305-4 1.

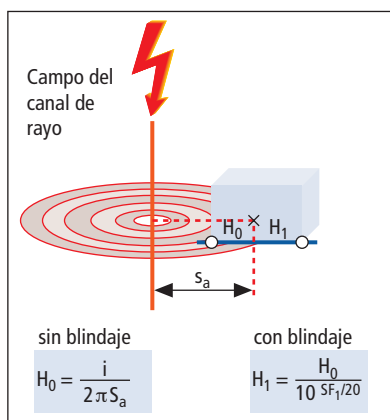


Fig. 7.3.5: Campo magnético en un impacto de rayo lejano (LEMP) UNE EN 62305-4 1.

Material	Factor de blindaje SF (dB)		w = medida de malla (m) (w ≤ 5 m) r = radio de la varilla (m) μ = 200 (permeabilidad)
	25 kHz (primer impacto)	1 MHz (impacto consecutivo)	
Cobre	$20 \cdot \log (8,5/ w)$	$20 \cdot \log (8,5/ w)$	
Aluminio	$20 \cdot \log (8,5/ w)$	$20 \cdot \log (8,5/ w)$	
Acero	$20 \cdot \log \frac{(8,5/w)}{\sqrt{1+18 \cdot 10^{-6}/r^2}}$	$20 \cdot \log (8,5/ w)$	

Ejemplo: rejilla de acero

W(m)	r (m)	dB con 25 kGz	dB con 1 MHz
0,012	0,0010	44	57
0,100	0,0060	37	39
0,200	0,0090	32	33
0,400	0,0125	26	27

Tabla 7.3.1: Atenuación magnética de rejillas en caso de impacto próximo de rayo según UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4).

Los mallazos del hormigón armado pueden también utilizarse para estos fines.

En el caso de instalaciones existentes, este tipo de planchas de hormigón pueden incorporarse posteriormente. En estos casos, es necesario galvanizar las planchas de obra para proteger el mallazo metálico contra la corrosión. Una vez galvanizadas, se disponen superpuestas sobre tejados o bien se instalan sobre las paredes externas del edificio, bien por fuera o por dentro de las mismas.

Las figuras 7.3.7a y 7.3.7.b muestran la instalación a posteriori de planchas de acero de obra galvanizadas sobre el tejado de un edificio.

Para puentear juntas de dilatación, para la conexión de la armadura de piezas de hormigón prefabricadas y para conexiones a la instalación exterior de tomas de tierra o a la compensación de potencial interior del edificio es necesario prever en el edificio de un número suficiente de puntos fijos de toma de tierra.

La figura 7.3.8 muestra una instalación de este tipo, que tiene que ser tenida en cuenta en el proyecto inicial de obra.

El campo magnético dentro del edificio o estructura se reduce en un amplio margen de frecuencias mediante bucles de reducción que se producen por la red de mallas de compensación de potencial. Las amplitudes típicas de mallas son $a \leq 5$ m.

Con la interconexión de todos los componentes metálicos en el interior así como con los elementos metálicos y estructuras de los edificios, se logra una "red tridimensional de mallas de compensación de potencial".

La figura 7.3.9 muestra una red de mallas de compensación de potencial con las correspondientes conexiones.

Si se instala una red de compensación de potencial en las zonas de protección contra rayos, el campo magnético calculado según las fórmulas indicadas anteriormente, se reduce a la mitad (corresponde a 6 dB).

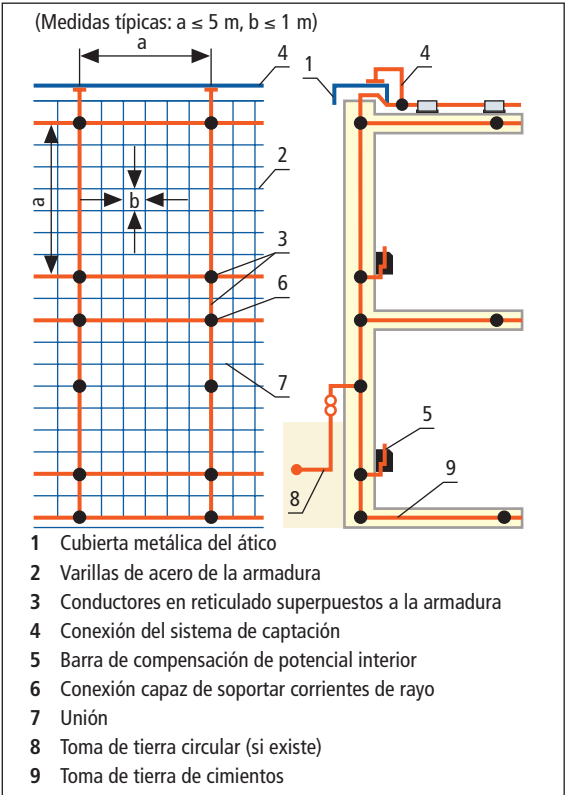


Fig. 7.3.6: Utilización de las varillas de la armadura de un edificio o estructura para blindaje y para compensación de potencial.



Fig. 7.3.7a: Rejillas de acero galvanizadas.



Fig. 7.3.7b: Utilización de rejillas de acero para blindaje, p. ej. en cubiertas de tejado ajardinadas.

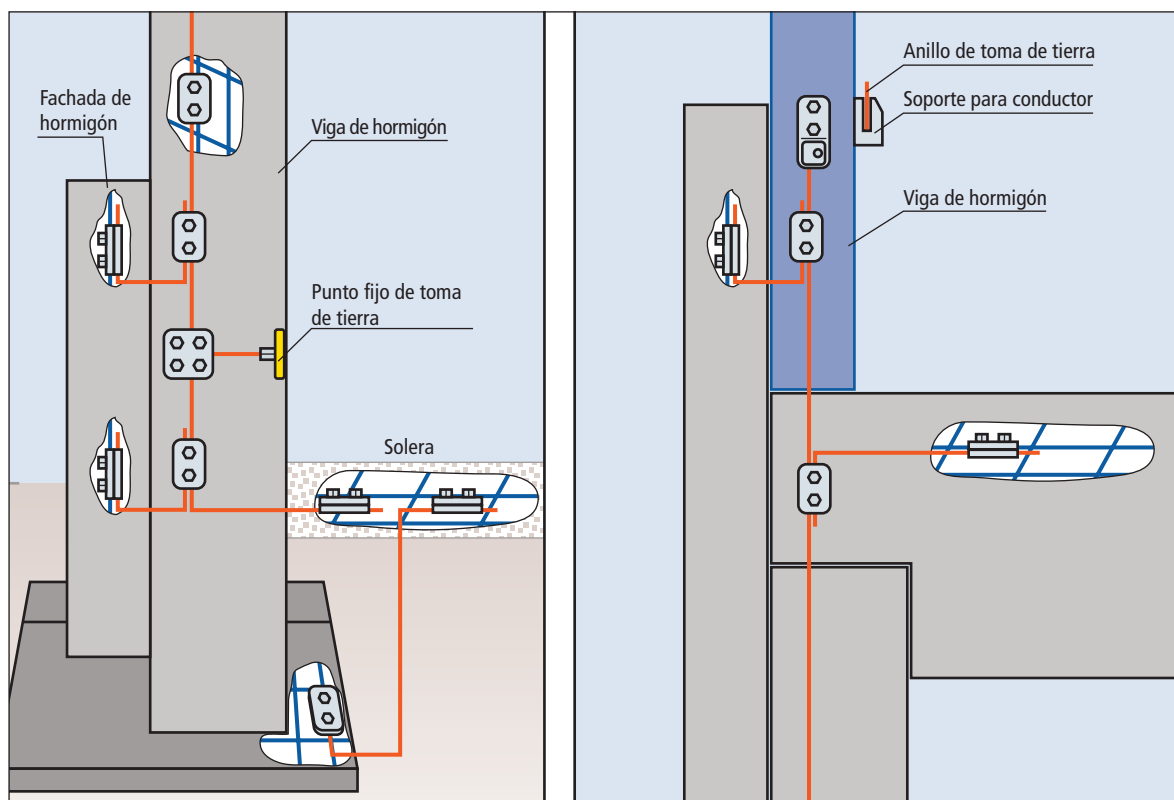


Fig. 7.3.8: Blindaje de un edificio o estructura.

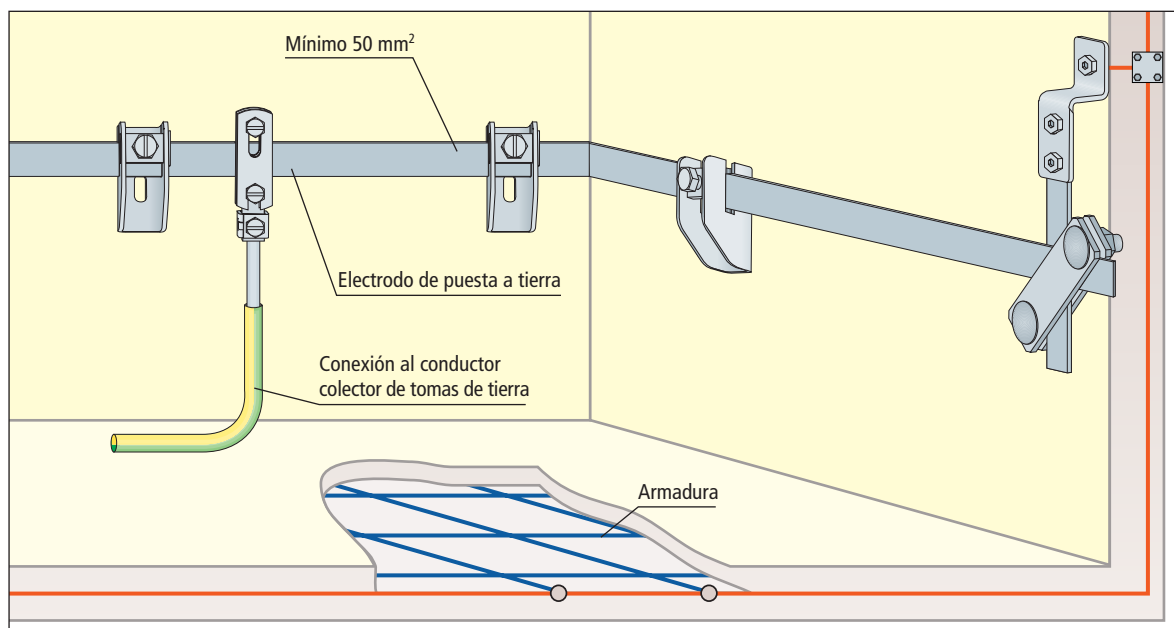


Fig. 7.3.9: Conductor colector de tomas de tierra según DIN VDE 0800-2.

7.3.1 Apantallamiento de cables

Los apantallamientos de cables se utilizan para disminuir los efectos de interferencias sobre los hilos activos y para reducir la emisión de interferencias sobre sistemas vecinos. Desde el punto de vista de la protección contra rayos y contra sobretensiones, deben tenerse en consideración los siguientes casos en relación con conductores apantallados:

- ⇒ El apantallamiento no está puesto a tierra Hay sistemas de instalación que, si bien recomiendan un cable apantallado, no permiten la puesta a tierra de los apantallamientos (p. ej. KNX). Sin conexión del apantallamiento, éste no actúa contra interferencias y debe considerarse como no existente (Figura 7.3.1.1).
- ⇒ El apantallamiento está puesto a tierra en ambos extremos

Un apantallamiento del conductor tiene que estar unido a lo largo de todo su recorrido y tiene que estar puesto a tierra, como mínimo, en ambos extremos.

Solamente un apantallamiento utilizado en ambos lados puede minimizar los acoplamientos inductivos y capacitivos.

Para evitar que se originen chispas peligrosas, los apantallamientos de cable que entran en un edificio o estructura tienen que tener una sección mínima. Si no es así, los apantallamientos deben considerarse como no aptos para soportar corrientes de rayo.

La sección mínima de un apantallamiento de conductor (S_{cmin}) tendido aislado de tierra o aire, depende de la resistencia específica del apantallamiento (ρ_c), (Tabla 7.3.1.1), de la corriente de rayo que fluye por el conductor (I_f), de la tensión de choque vertical del sistema (U_w) y de la longitud del conductor (L_c).

$$S_{cmin} = (I_f \cdot \rho_c \cdot L_c \cdot 10^6 / U_w)[mm^2]$$

I_f puede calcularse según UNE EN 62305-1 (IEV 62305-1). Como la técnica de conexión del apantallamiento se prueba, generalmente, hasta 10 kA (10/350 μ s), en una primera aproximación, puede utilizarse este valor como un valor máximo.

U_w puede interpretarse de muy diversas formas. Si el apantallamiento del cable se interrumpe a la entrada del edificio, entonces hay que considerar la rigidez eléctrica del mismo. Sin embargo, si el apantallamiento del cable se mantiene continuo hasta el equipo final, entonces es la rigidez eléctrica del equipo final la que debe ser tenida en cuenta. (Tabla 7.3.1.2).

Material del apantallamiento	ρ_c in Ωm
Cobre	$17.241 \cdot 10^{-9}$
Aluminio	$28.264 \cdot 10^{-9}$
Plomo	$214 \cdot 10^{-9}$
Acero	$138 \cdot 10^{-9}$

Tabla 7.3.1.1: Resistencia específica del apantallamiento U_c para diferentes materiales.

Ejemplos	Rigidez eléctrica
Cable de baja tensión	15 kV
Cable de telecomunicación	5 kV
Telecomunicación al lado del usuario	1.5 kV
Equipos de control y medida	0.5 – 1 kV

Tabla 7.3.1.2: Rigidez eléctrica.

La diferencia puede explicarse mejor con dos ejemplos:

Apantallamiento del cable TC hasta la entrada del edificio, Al, cargado con 10 kA, longitud 100 m: $S_{cmin} \approx 6 mm^2$. Hay que tener también en cuenta, que las conexiones del apantallamiento en la barra equipotencial principal deben ser capaces de soportar corrientes de rayo.

Apantallamiento del conductor bus hasta el equipo final, Cu, cargado con 5 kA, longitud 100 m: $S_{cmin} \approx 17 mm^2$. Este tipo de apantallamientos de cables para conductores bus no es apropiado pues no es capaz de soportar corriente de rayo.

- ⇒ Puesta a tierra en un solo lado y puesta a tierra indirecta del apantallamiento

Por razones de funcionamiento, puede suceder que los apantallamientos de los cables se pongan a tierra en un solo lado del cable. Con ello, si bien se da una cierta atenuación contra campos de interferencia capacitivos, no hay ninguna protección contra la inducción electromagnética que se produce con las descargas de rayo. La razón para la puesta tierra del apantallamiento en un solo lado es el temor a corrientes de compensación de baja frecuencia. En instalaciones de gran extensión, un conductor bus, por ejemplo, se extiende con frecuencia a lo largo de varios cientos de metros entre edificios. Especialmente en instalaciones antiguas, puede suceder que una parte de la instalación de toma de tierra ya no esté operativa, o que no haya ninguna malla de compensación de potencial. En estos casos, pueden originarse perturbaciones a causa de las múltiples tomas de tierra de los apantallamientos. Las diferencias de

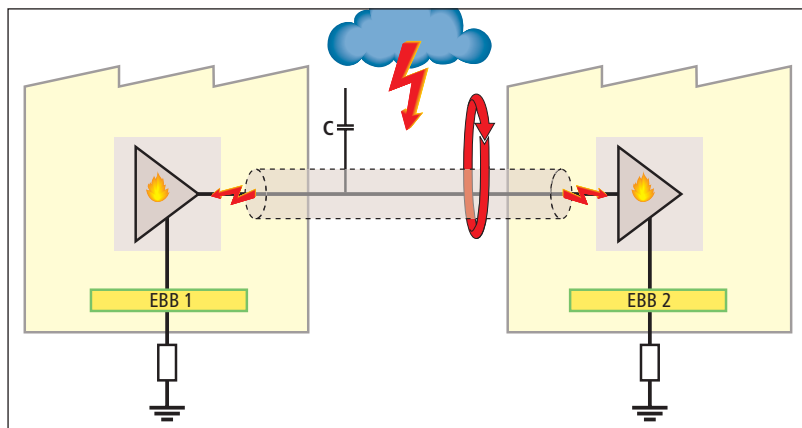


Fig. 7.3.1.1: Sin conexión del apantallamiento. No hay apantallamiento frente a acoplamientos capacitivos/inductivos.

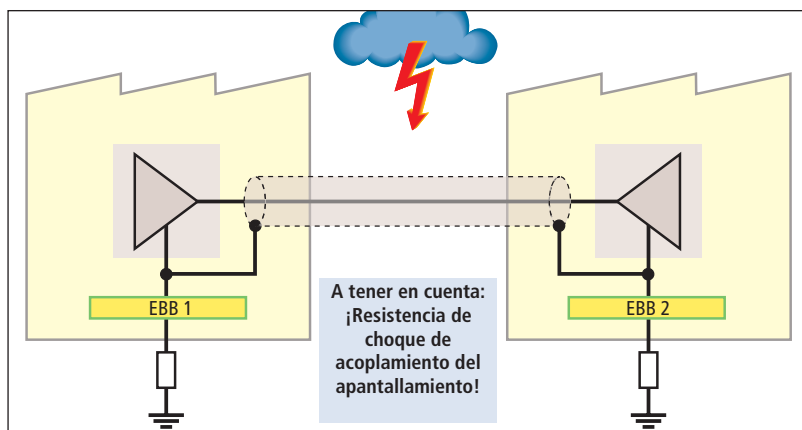


Fig. 7.3.1.2: Conexión del apantallamiento en ambos extremos. Apantallamiento frente a acoplamientos capacitivos/inductivos.

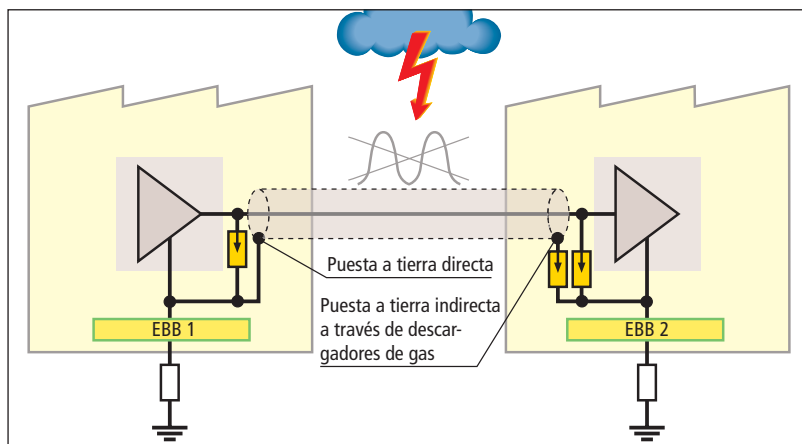


Fig. 7.3.1.3: Conexión del apantallamiento en ambos extremos. Solución: Puesta a tierra directa e indirecta del apantallamiento.

potencial de varios sistemas de toma de tierra diferentes en los edificios pueden favorecer que fluyan corrientes de compensación de baja frecuencia ($n \times 50$ Hz), y éstas, a su vez, pueden provocar corrientes transitorias superpuestas. Con ello, son posibles intensidades de corriente de varios amperios, lo que en casos extremos, puede provocar que se quemen los cables.

Además, pueden ocasionarse alteraciones de la señal por sobreactuación cuando la frecuencia de la señal está en el mismo margen de frecuencias que la señal de perturbación.

El objetivo es implementar al mismo tiempo las exigencias de la compatibilidad electromagnética y evitar corrientes de compensación. Esto se puede conseguir mediante la combinación de la puesta a tierra del apantallamiento en un solo lado del cable, con la puesta a tierra indirecta del mismo. En un punto central, por ejemplo, en la sala de control, se pueden conectar directamente todos los apantallamientos con la compensación de potencial local.

En los extremos lejanos de los conductores se conectan los apantallamientos indirectamente con el potencial de tierra a través de vías de chispas de separación. Como la resistencia de una vía de chispas tiene un valor aproximado de $10 \text{ G}\Omega$, se previenen las corrientes de compensación, en condiciones de funcionamiento, sin sobretensiones. Si se producen perturbaciones de compatibilidad electromagnética, como son los efectos de descargas de rayo, la vía de chispas se ceba y deriva el impulso de perturbación sin que se produzca ningún daño en el

equipo. Con ello se reduce el impulso residual sobre los conductores activos y los equipos finales están sujetos incluso a menos esfuerzos. El descargador BLITZDUCTOR XT está preparado para integrar, si fuese necesario, un descargador de gas. Éste se conecta entre el apantallamiento del cable y la tierra local. El descargador de gas puede insertarse o extraerse durante trabajos de mantenimiento, para cambiar entre puesta a tierra del apantallamiento directa o indirecta. (Figura 7.3.1.3).

⇒ Puesta a tierra del apantallamiento de baja impedancia

Los apantallamientos de los cables pueden soportar corrientes de choque de hasta varios kA. Durante la descarga, las corrientes de choque fluyen a través del apantallamiento y de los terminales de conexión del apantallamiento hacia tierra. La impedancia del apantallamiento del conductor y los terminales de conexión del apantallamiento originan diferencias de tensión entre el potencial del apantallamiento y tierra. En estos casos, pueden aparecer tensiones de hasta algunos kV y destruir los aislamientos de los conductores o de los equipos conectados. Las puestas a tierra en carril de los apantallamientos gruesos y la torsión que puedan sufrir los mismos, son particularmente críticos. La calidad del apantallamiento del conductor utilizado influye en el número necesario de puestas a tierra del mismo. En determinadas circunstancias puede ser necesario realizar puestas a tierra cada 10 metros para lograr un efecto eficaz de apantallamiento. Para la conexión del mismo se reco-

mienda utilizar bornas elásticas de contacto de gran superficie. (Figura 7.3.1.4).

⇒ Longitud máxima de cables apantallados

Los apantallamientos de los cables poseen la denominada resistencia de acoplamiento, que se corresponde aproximadamente con la resistencia de corriente continua indicada por el fabricante del cable. A causa de esta resistencia, sobre el apantallamiento del conductor, tiene lugar una caída de tensión cuando es recorrido por un impulso de perturbación. En función de la rigidez eléctrica del equipo final y del cable, así como en función de la longitud del mismo, se puede determinar la resistencia de acoplamiento admisible para el apantallamiento del conductor. Es imprescindible que la caída de tensión sea más pequeña que la resistencia de aislamiento del sistema. Si no es así, será necesario utilizar descargadores de sobretensiones (Figura 7.3.1.5).

⇒ Extensión de LPZs con la ayuda de cables apantallados

Según UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4), al utilizar un cable apantallado entre dos zonas de protección iguales, puede prescindirse de la utilización de descargadores. Esta afirmación es válida en el caso de perturbaciones que pueden esperarse en el entorno del cable apantallado (p. ej. campos electromagnéticos) y con compensación de potencial con mallas según las normas. En cualquier caso, es necesario ser muy cuidadoso. Dependiendo de las condiciones de la instalación, pueden surgir riesgos que harán necesaria la utilización de descargadores. Riesgos poten-

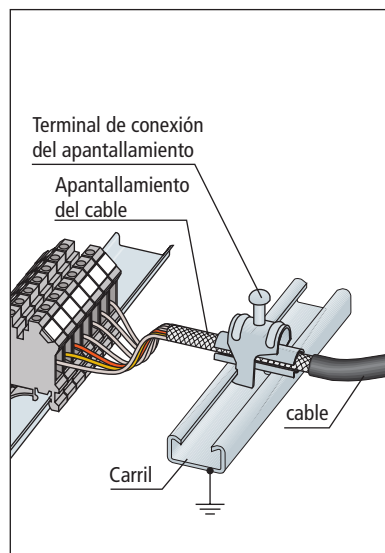


Fig. 7.3.1.4: Conexión del apantallamiento

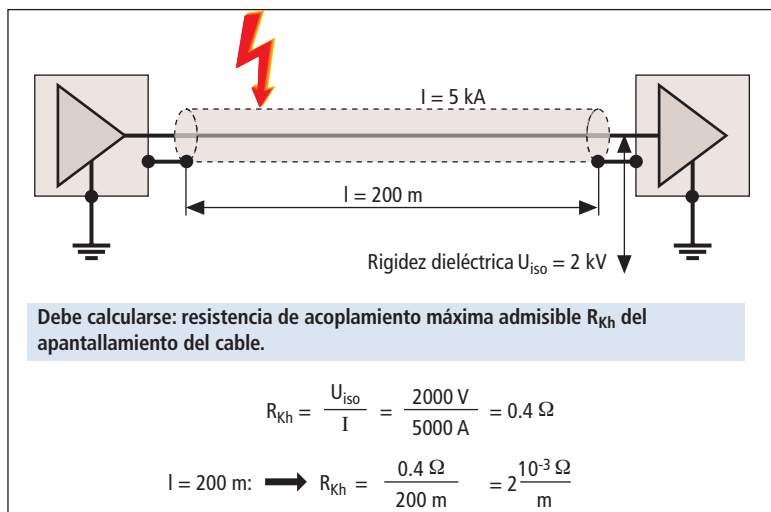


Fig. 7.3.1.5: Conexión del apantallamiento en ambos extremos. Apantallamiento contra acoplamiento capacitivo/inductivo.

ciales típicos son: la alimentación de los equipos finales desde distintos cuadros generales de baja tensión (CGBT), sistemas TN-C, elevadas resistencias de acoplamiento de los apantallamientos del cable o puesta a tierra insuficiente de los mismos. También hay que tener cuidado en el caso de conductores con un apantallamiento pobre, los cuales se utilizan con mucha frecuencia por razones económicas. La consecuencia de ello son perturbaciones residuales sobre los hilos de señal. Este tipo de perturbaciones se pueden controlar mediante un cable apantallado de alta calidad o con la aplicación de dispositivos de protección contra sobretensiones.

7.4 Red de compensación de potencial

La función principal de la red de compensación de potencial es evitar en las diferencias de potencial peligrosas y reducir el campo magnético del rayo.

La red de compensación de potencial de baja inductancia se consigue mediante múltiples conexiones de todos los componentes metálicos con ayuda de conductores de compensación de potencial dentro de la zona de protección contra rayos (LPZ) del edificio. Con ello se origina una red de malla tridimensional (**Figura 7.4.1**). Los componentes típicos de la red son:

- ⇒ Todas las instalaciones metálicas (p. ej. tuberías, calderas).
- ⇒ Armados en el hormigón (en suelos, paredes y techos).
- ⇒ Entramados de rejilla (p. ej. suelos intermedios).
- ⇒ Escaleras, puertas y bastidores de metal.
- ⇒ Canalizaciones de cables.
- ⇒ Canalizaciones de ventilación.
- ⇒ Carriles de ascensores.
- ⇒ Suelos metálicos.
- ⇒ Líneas de suministro.

Una solución ideal consistiría en una estructura en forma de malla de retícula 5 m x 5 m. Con ello se reduciría el campo electromagnético del rayo dentro de una zona de protección contra rayos por el factor 2 (equivalente a 6 dB).

Las carcasas y racks de equipos y sistemas electrónicos deben integrarse con conexiones cortas a la red de compensación de potencial. Para ello hay que prever en el edificio suficientes barras de compensación de potencial y/o anillos circulares que lo faciliten (**Figura 7.4.2**). Todos ellos, a su vez, tienen que conectarse a la red de compensación de potencial general. (**Figura 7.4.3**).

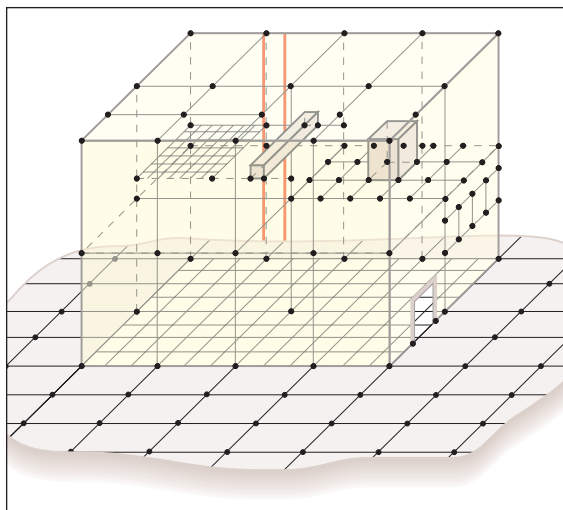


Fig. 7.4.1: Red de compensación de potencial en un edificio.



Fig. 7.4.2: Anillo de compensación de potencial en una instalación de ordenadores.



Fig. 7.4.3: Unión del anillo circular de compensación de potencial con la red de compensación de potencial mediante puntos fijos de toma de tierra.

	Disposición en forma de estrella S	Disposición en forma de malla M	Legenda para 7.4.4 y 7.4.5
Disposición básica			Red de compensación de potencial Conductor de compensación de potencial Equipo Punto de conexión a la red de compensación de potencial
Integración en la red de compensación de potencial			ERP Punto de referencia de toma de tierra S_s Disposición en forma de estrella integrada a través de un punto común M_m Disposición en forma de malla integrada a través de una rejilla de mallas M_s Disposición en forma de malla integrada a través de un punto común

Fig. 7.4.4: Integración de sistemas electrónicos en la red de compensación de potencial.

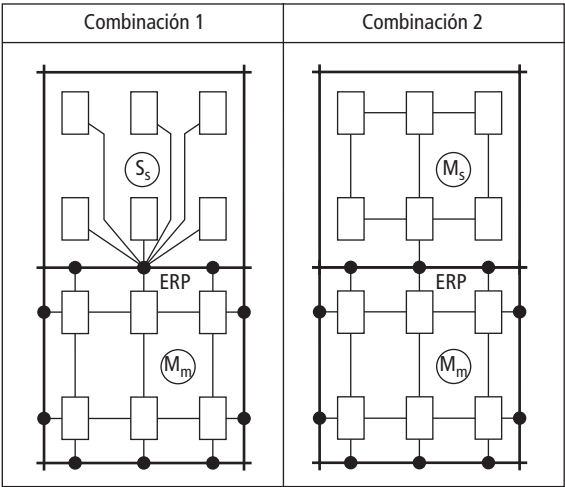


Fig. 7.4.5: Combinación de los métodos de integración según figura 7.4.4. Integración en la red de compensación de potencial.

El conductor de protección (PE) y los apantallamientos de los cables de datos de equipos y sistemas electrónicos tienen que integrarse en la red de compensación de potencial de acuerdo con las indicaciones del fabricante del sistema. La conexión puede realizarse en forma de malla o de estrella. (Figura 7.4.4).

Si se utiliza una disposición en estrella S, todos los componentes metálicos del sistema electrónico tienen que estar aislados adecuadamente frente a la red de compensación de potencial. Por eso, una disposición en forma de estrella está indicada, en la mayoría de los casos, a sistemas pequeños limitados localmente. En este caso, todos los conductores tie-

nen que entrar en el edificio o en una sala dentro del edificio por un único punto. La disposición en estrella S solamente puede conectarse a la red de compensación de potencial en un único punto de referencia de toma de tierra (ERP). De aquí se deduce la disposición S_s .

Si se utiliza la disposición en mallas M, los componentes metálicos del sistema electrónico no tienen que estar aislados frente a la red de compensación de potencial. Todos los componentes metálicos deben integrarse en la red de compensación de potencial, a ser posible, en muchos puntos de compensación de potencial. La disposición resultante M_m se utilizará para sistemas extensos y abiertos, en los que hay muchos cables y conductores entre los distintos equipos. Otra ventaja complementaria de esta disposición es que los cables o conductores del sistema pueden entrar en el edificio o en una sala por diferentes puntos.

En sistemas electrónicos complejos pueden también realizarse combinaciones de disposiciones en estrella y en mallas (Figura 7.4.5), a fin de poder disponer de las ventajas de ambas disposiciones.

7.5 Compensación de potencial en los límites entre las zonas LPZ 0 y LPZ 1

7.5.1 Compensación de potencial para instalaciones metálicas

En las intersecciones de las zonas de compatibilidad electromagnética de protección contra rayos deben tomarse medidas para la reducción de los campos



electromagnéticos. Así, todos los conductores/sistemas metálicos y eléctricos que cruzan las intersecciones deben incluirse, sin excepción, en la compensación de potencial.

Esta exigencia de la compensación se debe llevar a cabo de conformidad con la norma IEC 60364-4-41 e IEC 60364-5-54, HD 60364-5-54.

Complementariamente a la barra de compensación principal de potencial, en esta intersección de zonas, debe realizarse también la compensación de potencial de protección contra rayos para cables y sistemas eléctricos y electrónicos (ver también capítulo 7.5.2). Esta compensación de potencial se llevará a cabo lo más cerca posible al punto de entrada al edificio de los conductores y de los dispositivos metálicos. El conductor de compensación de potencial debe tener la menor longitud posible (baja impedancia).

En la compensación de potencial, deben tenerse en cuenta diferentes secciones mínimas para: la unión de la barra de compensación de potencial al sistema de toma de tierra, para la unión de diferentes barras de compensación de potencial entre sí y para la conexión de instalaciones metálicas a la barra de compensación de potencial. A saber:

Material	Sección
Cu	14 mm ²
Al	22 mm ²
Fe	50 mm ²

Las siguientes instalaciones metálicas deben incorporarse a la compensación de potencial:

- ⇒ Canalizaciones metálicas de cables.
- ⇒ Cables y conductores apantallados.
- ⇒ Armado del edificio.
- ⇒ Tuberías de agua de consumo.
- ⇒ Tubos metálicos para conductores.
- ⇒ Otros sistemas de tuberías metálicas o componentes conductores (p. ej. aire comprimido).

La conexión a tierra puede realizarse de manera sencilla y resistente a la corrosión mediante puntos fijos de toma de tierra. Aquí puede conectarse al mismo tiempo el armado con la compensación de potencial (Figura 7.5.1.1).

La unión de los apantallamientos de cables a la compensación de potencial se trata con detalle en el capítulo 7.3.



Fig. 7.5.1.1: Conexión de barra equipotencial a un punto fijo de toma de tierra

7.5.2 Compensación de potencial para instalaciones de suministro de energía

De manera análoga a las instalaciones metálicas, todos los conductores de energía y de datos, deben unirse en la entrada al edificio (transición de zona de protección contra rayos LPZ 0_A a LPZ 1) con la compensación de potencial. Mientras que en el apartado 7.3.5 se describe el diseño para líneas de datos, a continuación se va a entrar en detalle en el diseño de la compensación de potencial para líneas de energía. Las intersecciones para la compensación de potencial en los límites de la zona de protección contra rayos

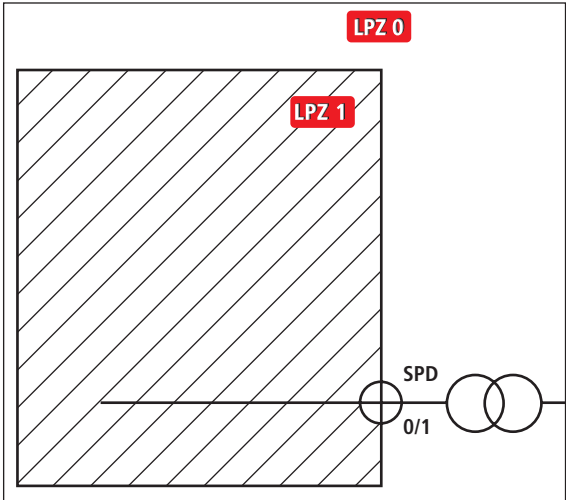


Fig. 7.5.2.1: Transformador situado fuera del edificio.

LPZ 0_A a 1 se definen con la ayuda del diseño específico de la propiedad que requiere protección. Para instalaciones con sistemas de alimentación de baja tensión, los límites LPZ 0_A-1 suelen estar generalmente en los límites del edificio. (Figura 7.5.2.1).

En instalaciones o edificios que se alimentan directamente de la red de media tensión, la zona de protección contra rayos LPZ 0_A se extiende hasta el lado del secundario del transformador. La compensación de potencial para protección contra rayos se realiza en el lado de 230/400 V del transformador (Figura 7.5.2.2).

Para evitar daños en el transformador, se recomienda instalar adicionalmente dispositivos de protección contra sobretensiones en el lado de alta tensión (p. ej. Descargador DEHNmid).

Para prevenir el flujo de corrientes parciales de rayo en LPZ 0 de partes afectadas de la instalación/sistemas en la zona LPZ 1, se necesitan medidas adicionales de apantallamiento para los conductores de media tensión que entran en el edificio.

Para evitar la formación de corrientes de compensación entre los diferentes puntos de compensación de potencial de una instalación eléctrica, se recomienda realizar la compensación de potencial de protección contra el rayo de todos los conductores metálicos y de todas las líneas de energía y datos que entren en el edificio centralmente en un único punto. Si esto no fuera posible, se recomienda la aplicación de un anillo circular de compensación de potencial. (Figuras 7.5.2.3 y 7.5.2.4).

La capacidad de derivación de los descargadores de corriente de rayo utilizados (DPS Tipo 1) tiene que corresponderse con las cargas en el lugar de la instalación, basándose en el nivel de riesgo fijado para el objeto a proteger. La protección idónea se definirá a partir del correspondiente cálculo de riesgos.

Si no se dispone de un cálculo de riesgos, o no se pueden proporcionar informaciones detalladas sobre la distribución de la corriente de rayo en los límites de la zona de protección contra rayos LPZ 0_A hacia 1, se recomienda adoptar la protección correspondiente al caso de máxima exi-

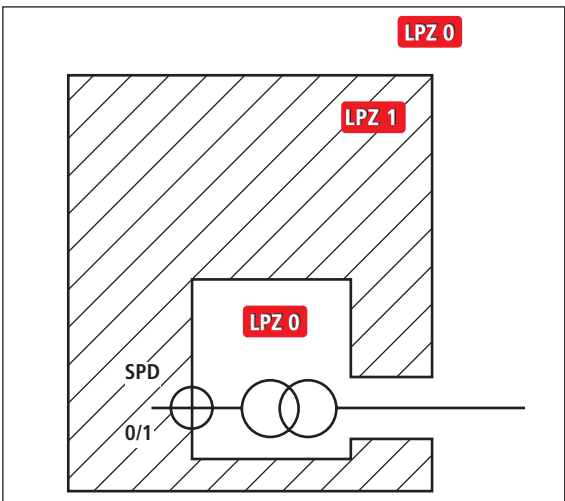


Fig. 7.5.2.2: Transformador dentro del edificio (LPZ 0 intercalado en LPZ 1).

gencias (Nivel de riesgo 1). La carga de corriente de rayo resultante de cada una de las vías de descarga está representada en la tabla 7.5.2.1.

En la instalación de descargadores de corriente de rayo en los límites entre la zona de protección contra rayos 0A y 1, debe tenerse en cuenta que, si el lugar de instalación recomendado directamente es la caja de conexiones de entrada del edificio, muchas veces solamente puede realizarse de acuerdo con la compañía de suministro de energía. Las exigencias para los descargadores de corriente de rayo en los siste-

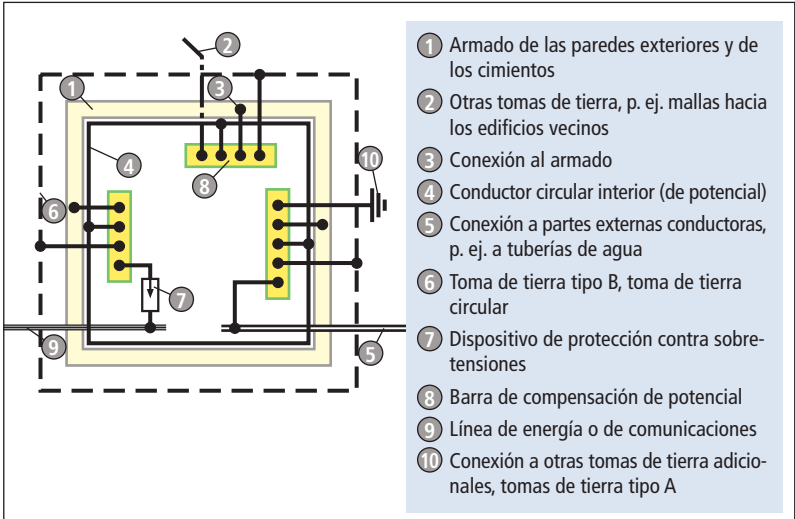


Fig. 7.5.2.3: Ejemplo de la compensación de potencial en un edificio con varias entradas y con un conductor circular interior para unión de las barras de compensación de potencial.

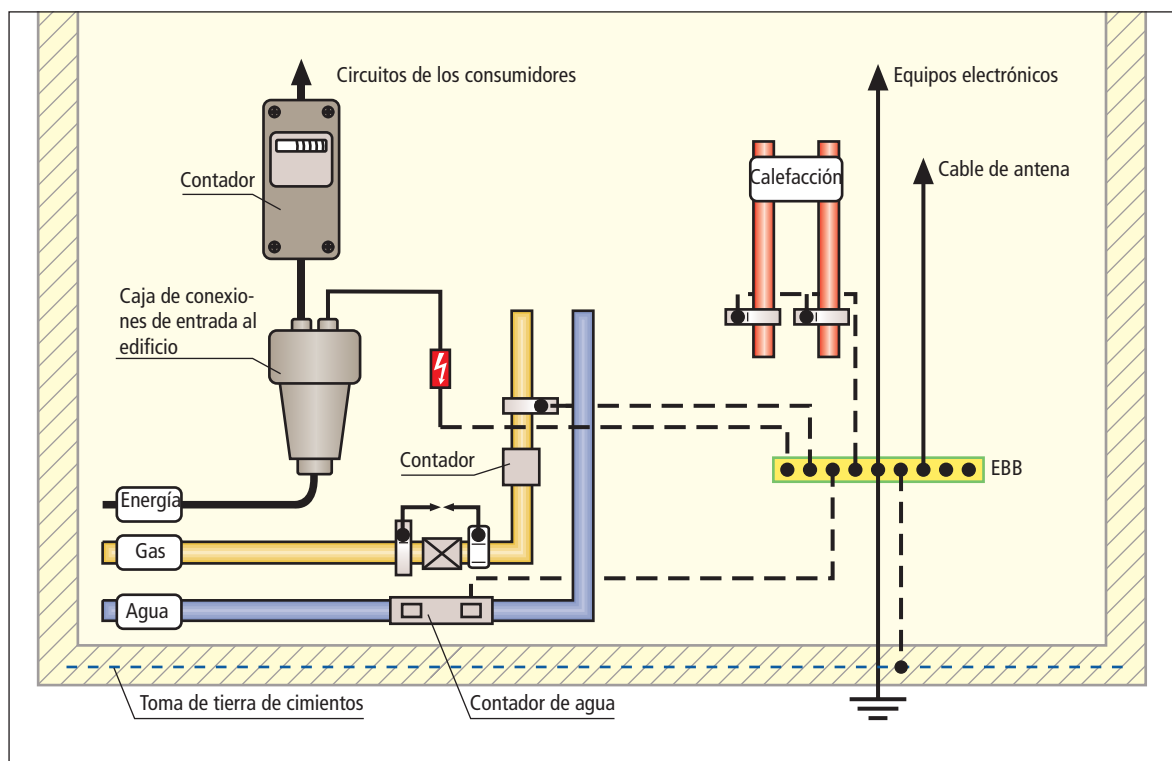


Fig. 7.5.2.4: Protección interna contra rayos con una entrada común de todas las líneas de suministro eléctrico.

mas principales de suministro de corriente se derivan de la directriz VDN 2004-08: "Dispositivos de protección contra sobretensiones tipo 1. Directriz para la aplicación de dispositivos de protección contra sobretensiones (ÜSE) tipo 1 (hasta ahora Clase de exigencias B) en sistemas principales de suministro de corriente" y DIN V VDE V 0100-534.

En la elección de descargadores de corriente de rayo en los límites de la zona LPZ 0_A a 1, además de la capacidad de derivación, hay que tener en cuenta la corriente de cortocircuito que cabe esperar en ese punto de la instalación. Según UNE EN 62305-3 (IEC

62305-3) Anexo E, apartado 6.2.1.2, los descargadores de corriente de rayo basados en vías de chispas deberían tener una elevada capacidad de apagado y una elevada limitación de la corriente consecutiva de red, para garantizar una desconexión automática de las corrientes consecutivas de frecuencia de red y para impedir que se disparen indebidamente los dispositivos de protección contra sobrecorrientes, por ej., fusibles. (Figuras 7.5.2.5 – 7.5.2.7).

Las peculiaridades en relación a la elección, instalación y montaje de descargadores de corriente de rayo (DPS Tipo 1) se describen con detalle en el apartado 8.1.

Nivel de protección (antes: Clase de protección contra rayos)	Capacidad para soportar corriente de choque de rayo		
	en sistemas TN	en sistemas TT (L – N)	en sistemas TT (N – PE)
I	$\geq 100 \text{ kA / m}$	$\geq 100 \text{ kA / m}$	$\geq 100 \text{ kA}$
II	$\geq 75 \text{ kA / m}$	$\geq 75 \text{ kA / m}$	$\geq 75 \text{ kA}$
III / IV	$\geq 50 \text{ kA / m}$	$\geq 50 \text{ kA / m}$	$\geq 50 \text{ kA}$
m : Número de conductores, p. ej.: para L1, L2, L3, N y PE m es =5			

Tabla 7.5.2.1: Capacidad exigida para soportar corrientes de choque de rayo por dispositivos de protección contra sobretensiones DPS Tipo 1, en función del nivel de riesgo y del tipo de la instalación de consumidores de baja tensión.

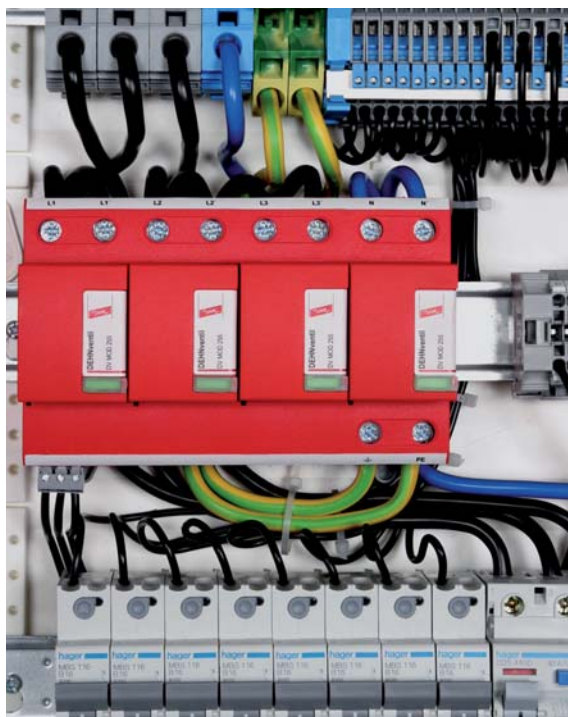


Fig. 7.5.2.5: Descargador combinado contra rayos y sobretensiones DEHNventil.

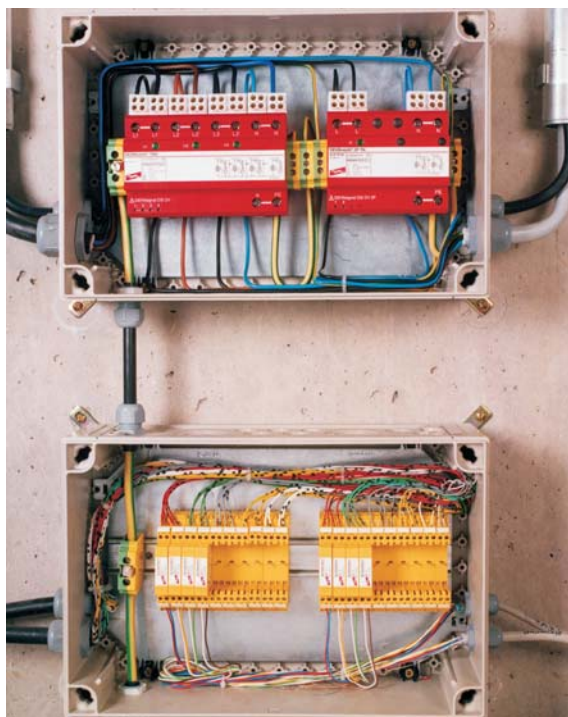


Fig. 7.5.2.6: Compensación de potencial de protección contra el rayo para un sistema de alimentación y de tecnología de la información centralizado en un punto.



Fig. 7.5.2.7: Descargadores de corriente de rayo en la zona de intersección LPZ 0A-1.

7.5.3 Compensación de potencial para instalaciones de transmisión de datos

LPZ 0 – 1

La compensación de potencial para protección contra el rayo de LPZ 0 a 1 debe realizarse para todos los sistemas metálicos que entran en un edificio. Las líneas IT deben conectarse lo más cerca posible al punto de entrada al edificio con descargadores de corriente de rayo que dispongan de una capacidad adecuada de derivación.

Para líneas IT se exige capacidad de derivación general de 2,5 kA (10/350 μ s) por hilo en la transición de la zona LPZ 0_A a 1.

Sin embargo, cuando se dimensiona la capacidad de derivación para instalaciones con un gran número de líneas IT se prescinde de esta estimación. Tras el cálculo de la corriente parcial de rayo esperada para un cable IT (UNE EN 62305-1; IEC 62305-1) la corriente de rayo debe dividirse entre el número de hilos utilizados en el cable, a fin de obtener la corriente de cho-

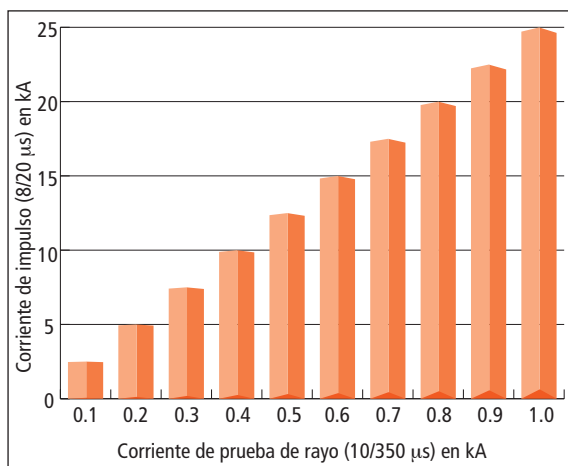


Fig. 7.5.3.1: Comparación de la amplitud de corrientes de prueba, forma de onda 10/350 μs y 8/20 μs, en cada caso con la misma carga.

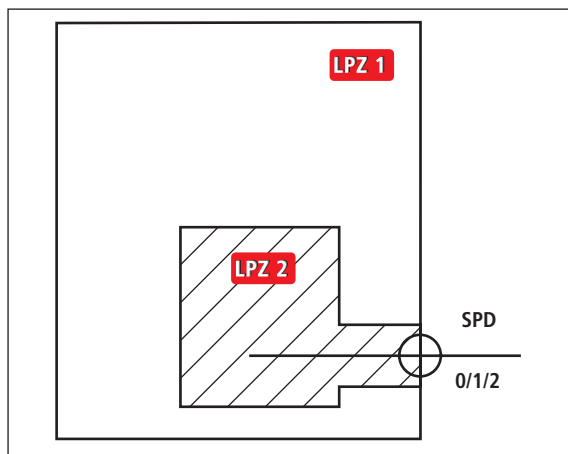


Fig. 7.6.2.1: Solamente es necesario un SPD (0/1/2) – (LPZ 2 integrado en LPZ 1).

que para cada uno de ellos. En el caso de cables de muchos hilos, la carga de corriente parcial de rayo será, obviamente, más baja por hilo que en el caso de cables con pocos hilos. (Ver informaciones complementarias en el capítulo 6.3).

Pueden utilizarse los siguientes dispositivos de protección contra sobretensiones:

1. Descargadores diseñados para una corriente de choque de derivación (10/350 μs).
2. Descargadores diseñados para una corriente de choque de derivación (8/20 μs) si:

⇒ no tienen ninguna inductancia como elemento de desacople.

⇒ la corriente nominal de choque especificada (8/20 μs) es > 25 x corriente de choque de derivación exigida (10/350 μs) por hilo (Figura 7.5.3.1).

Si la compensación de potencial para conductores se lleva a cabo en el punto de transición LPZ 0_B a 1, es suficiente la utilización de dispositivos de protección contra sobretensiones con una capacidad de derivación de 20 kA (8/20 μs), ya que no tiene lugar flujo de corrientes parciales de rayo acopladas galvánicamente.

7.6 Compensación de potencial en los límites entre las zonas LPZ 0_A y LPZ 2

7.6.1 Compensación de potencial para instalaciones metálicas

Ver capítulo 7.5.1

7.6.2 Compensación de potencial para instalaciones de suministro de energía

LPZ 0_A – 1

Dependiendo del diseño del edificio, con frecuencia es inevitable ejecutar en una zona límite la transición del LPZ 0_A a 2. Esto es especialmente frecuente en el caso de instalaciones compactas (Figura 7.6.2.1).

Llevar a cabo una transición de este tipo plantea elevadas exigencias a los dispositivos de protección contra sobretensiones que se utilicen así como al entorno de la instalación.

Además de los parámetros ya descritos en el apartado 7.5.2, debe alcanzarse un nivel de protección que garantice el funcionamiento seguro de equipos y sistemas de la zona de protección contra rayos LPZ 2. Un bajo nivel de protección y una alta limitación de la energía de perturbación que deja pasar el descargador, son la base para una coordinación energética segura con los dispositivos de protección contra sobretensiones en la zona de protección contra rayos LPZ 2 o con los componentes supresores de sobretensiones en los circuitos de entrada de los equipos a proteger. Los descargadores combinados contra rayos y sobretensiones de la familia DEHNventil M están diseñados para este tipo de aplicaciones y hacen posible para el usuario la combinación, en un solo dispositivo, de la compensación de potencial para protección contra rayos con la protección coordinada de los equipos finales. (Figura 7.6.2.2).



Fig. 7.6.2.2: DEHNventil M TT 255.

Como en la transición de LPZ 0 a 2, necesariamente las dos zonas de protección contra rayos limitan directamente una con otra, es absolutamente imprescindible un elevado apantallamiento en los límites de las zonas. Por principio se recomienda realizar las zonas de protección contra rayos LPZ 0 y 2 lo más pequeñas posibles. Si el edificio lo permite, la LPZ 2 debería equiparse con un apantallamiento de zona suplementario, construido separadamente del apantallamiento de zona recorrido por la corriente de rayo y que esté instalado en el límite de zona 0, de

manera que, como puede verse en la **figura 7.6.2.1**, la LPZ 1 se realice para un sector más amplio de la instalación. La atenuación del campo electromagnético en LPZ 2, conseguida con esta medida, evita el apantallamiento sistemático de todos los conductores y sistemas dentro de LPZ 2, que en otro caso sería necesario.

7.6.3 Compensación de potencial para instalaciones de técnica de la información

LPZ 0_A – 2

Normalmente un descargador de corriente de rayo de la LPZ 0 a 1 trabaja como una especie de rompeolas. Deriva una gran parte de la energía de perturbación y, de este modo, ofrece una primera barrera de protección frente a los daños derivados de corrientes de rayo. Sin embargo, con frecuencia, la tensión residual de perturbación aguas debajo de este DPS, resulta demasiado alta para aportar una protección adecuada a los equipos finales.

En un paso posterior, en la transición de LPZ 1 a 2, se instalan dispositivos de protección contra sobren-

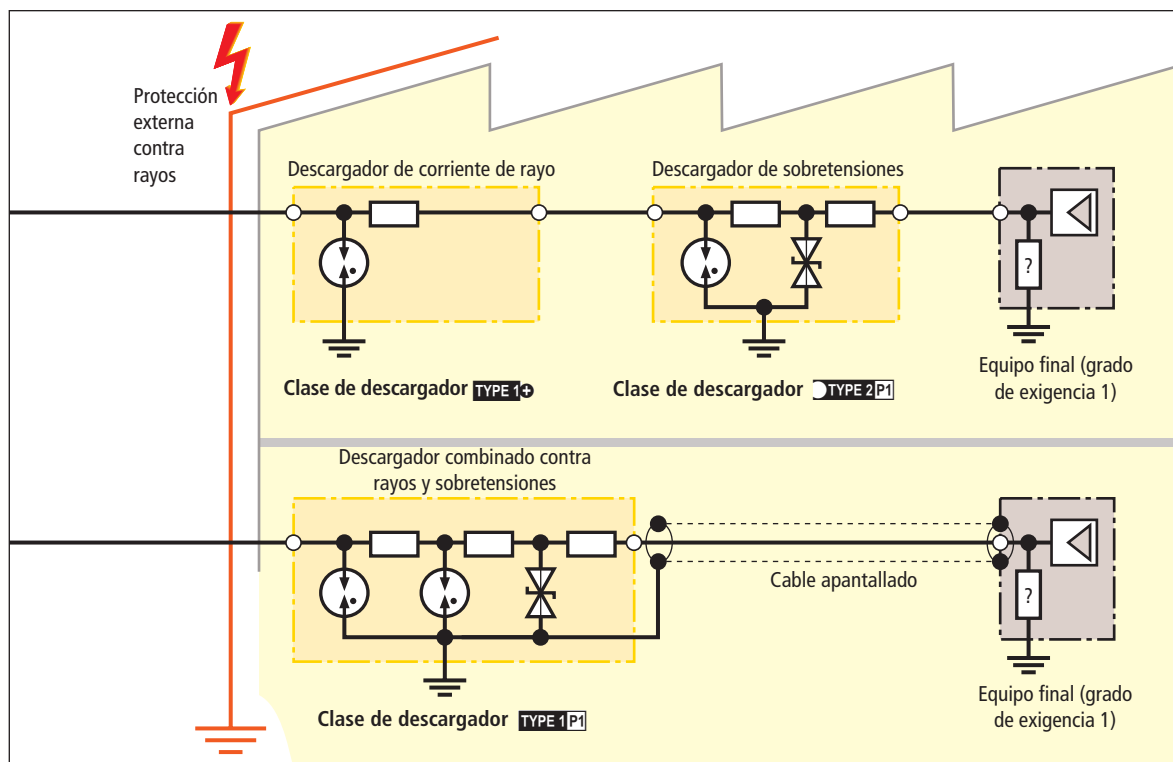


Fig. 7.6.3.1: Combinación para clases de descargadores Y/L.

siones, con el fin de obtener un nivel de protección adecuado para los equipos que se pretende proteger.

Si se lleva a cabo la compensación de potencial de LPZ 0 a 2, lo primero que hay que hacer es decidir el lugar de instalación de los DPS y calcular la corriente parcial de rayo de cada uno de los hilos y apantallamientos, tal y como se ha descrito en el apartado 6.3.

Sin embargo, las exigencias que se plantean tanto al cableado como al DPS que se ha de instalar en la transición LPZ, varían. El dispositivo de protección debe estar diseñado como un descargador combinado contra rayos y sobretensiones y estar coordinado energéticamente con el equipo final (**Figura 7.6.3.1**). Los descargadores combinados contra rayos y sobretensiones tienen, por una parte, una gran capacidad de derivación y, por otra parte, un nivel residual de perturbación muy bajo, adecuado para proporcionar protección a equipos finales sensibles. Además, debe prestarse atención a que el cable que sale del dispositivo de protección al equipo final esté apantallado, y que el apantallamiento del cable esté incluido en la compensación de potencial en ambos extremos.

Se recomienda la utilización de descargadores combinados contra rayos y sobretensiones:

- ⇒ Cuando los equipos finales están situados cerca de la entrada del cable al edificio.
- ⇒ Cuando se pueda establecer una compensación de potencial de baja impedancia desde el dispositivo de protección hasta el equipo final.
- ⇒ Cuando el conductor que va desde el dispositivo de protección al equipo está apantallado en toda su extensión y en los dos extremos está puesto a tierra.
- ⇒ Cuando se busca una solución especialmente rentable y económica.

Se recomienda la utilización de descargadores de corriente de rayo y de descargadores de sobretensiones:

- ⇒ Cuando desde el dispositivo de protección hasta el equipo final hay grandes longitudes de cable.
- ⇒ Cuando la toma de tierra de los dispositivos de protección (energía y datos) se realiza a través de distintas barras de compensación de potencial.
- ⇒ Cuando se utilizan conductores no apantallados.
- ⇒ Cuando pueden aparecer grandes perturbaciones dentro de la zona de protección contra rayos (LPZ) 1.

7.7 Compensación de potencial en los límites de las zonas LPZ 1 y LPZ 2 y superiores

7.7.1 Compensación de potencial para instalaciones metálicas

Esta compensación de potencial debe realizarse lo más cerca posible al punto de entrada de los conductores y de las instalaciones metálicas en la zona.

Además deben conectarse todos los sistemas y todas las partes conductoras como se indica en el capítulo 7.5.1.

El cableado debe hacerse lo más corto posible (de baja impedancia).

Un anillo circular de compensación de potencial en estas zonas facilita la conexión de baja impedancia de los sistemas a la compensación de potencial.

La **figura 7.7.1.1** muestra la preparación de la conexión de un cable al anillo de compensación de potencial en la zona de transición.

Las siguientes instalaciones metálicas deben incluirse en la compensación de potencial:

- ⇒ Canalizaciones metálicas de cables.
- ⇒ Cables y conductores apantallados.
- ⇒ Armados del edificio.
- ⇒ Tuberías metálicas de conducción de agua de consumo.
- ⇒ Tubos metálicos para conductores.
- ⇒ Otros sistemas de tuberías metálicas o de piezas conductoras (p. ej. tuberías de aire acondicionado).

Se tienen que utilizar las mismas secciones para los conductores de conexión de la barra de compensa-



Fig. 7.7.1.1: Anillo de compensación de potencial y punto fijo de toma de tierra para la conexión de instalaciones metálicas.

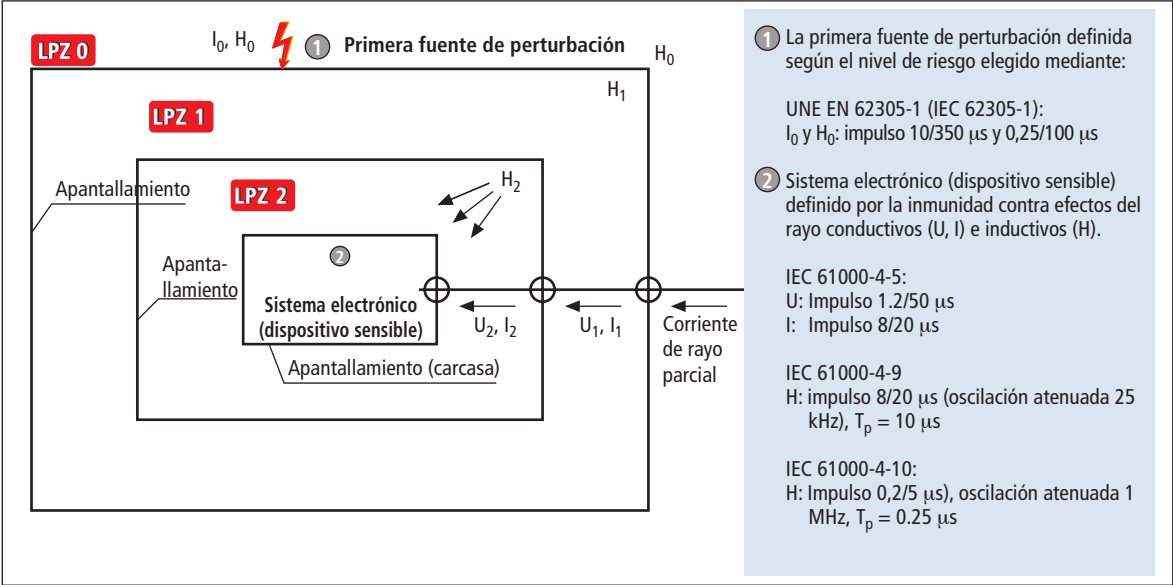


Fig. 7.7.2.1: Compatibilidad electromagnética en caso de impacto de rayo.

ción de potencial a las instalaciones de toma de tierra y a otras barras de compensación de potencial tal y como se ha descrito en el capítulo 7.5.1.

Para las conexiones de instalaciones metálicas a la compensación de potencial, en las zonas de transición, pueden utilizarse secciones menores:

Material	Sección
Cu	5 mm ²
Al	8 mm ²
Fe	16 mm ²

7.7.2 Compensación de potencial para instalaciones de suministro de energía

LPZ 1-LPZ 2 y superiores

También en la transición de las zona LPZ 1 a 2 y superiores, se consigue una limitación de sobretensiones y una atenuación del campo, mediante la integración sistemática de las líneas de energía y datos en la compensación de potencial en cada transición LPZ, tal y como se hace con todos los sistemas metálicos. (Figura 7.7.2.1). Mediante la realización del apantallamiento de recintos y equipos se alcanza una atenuación del efecto electromagnético.

Los dispositivos de protección contra sobretensiones que se instalan en las transiciones de las zonas de protección contra rayos LPZ 1 a 2 o en las LPZ superiores, tienen como cometido terminar de minimizar las magnitudes residuales de los dispositivos de protección contra sobretensiones instalados aguas arriba. Tienen que reducir las sobretensiones inducidas que afectan a los conductores tendidos en la zona de protección contra rayos, así como las sobretensiones generadas en la propia zona de protección contra rayos. Dependiendo del lugar en el que se adopten



Fig. 7.7.2.2: Dispositivo de protección contra sobretensiones para circuitos finales, DEHNflex M.



Fig. 7.7.2.3: Descargador multipolar de sobretensiones DEHNguard MTT.

las medidas de protección, éstas pueden asignarse, o bien a un equipo (protección del equipo) (Figura 7.7.2.2) o bien constituir la base infraestructural para el funcionamiento de un equipo o sistema en la instalación. (Figura 7.7.2.3).

Las formas de ejecución de la protección contra sobretensiones en los límites de las zonas de protección contra rayos 1 a 2 y superiores pueden estar realizadas de maneras muy diferentes.

7.7.3 Compensación de potencial para instalaciones de técnica de la información

LPZ 1 – LPZ 2 and higher

En los puntos de transición de las zonas de protección contra rayos dentro de los edificios hay que adoptar otras medidas de protección adicionales para reducir el nivel de perturbación (Figura 7.7.3.1). Como en la zona de protección contra rayos 2 y superiores, por lo regular, suelen estar instalados equipos finales, las medidas de protección adoptadas tienen que garantizar un nivel de perturbación residual que esté por debajo de los valores que puedan soportar los equipos finales a proteger.

- ⇒ Montaje de dispositivos de protección contra sobretensiones cerca de equipos finales.
- ⇒ Integración de los apantallamientos de los conductores en la compensación de potencial.
- ⇒ Compensación de potencial de baja impedancia del DPS para instalaciones IT hacia el equipo final y DPS para instalaciones de energía.
- ⇒ Prestar atención a la coordinación energética de DPS y equipos finales.
- ⇒ La distancia de instalación entre los cables de telecomunicaciones y las lámparas de descarga de gas tiene que ser, como mínimo, de 130 mm.



Fig. 7.7.3.1: Protección de equipos de electrónica industrial (p. ej. un SPC) con el BLITZDUCTOR XT y el SPS-Protector.

- ⇒ Los cuadros de distribución de instalaciones eléctricas y de datos tienen que estar localizados en armarios diferentes.
- ⇒ Los cables de baja tensión y de telecomunicaciones tienen que cruzarse en un ángulo de 90°.
- ⇒ Los cruces de cables deben realizarse por la vía más corta.

7.8 Coordinación de las medidas de protección en diferentes límites de las zonas de protección

7.8.1 Instalaciones de suministro de energía

Una protección contra sobretensiones en el equipo final o instalada inmediatamente por delante del mismo, cumple expresamente la función de protección del mismo mientras que, la función de los dispositivos de protección contra sobretensiones en la instalación general es, la de proteger todo el sistema en su conjunto. Los parámetros de riesgo del sistema y la resistencia a perturbaciones del equipo a proteger son, de este modo, factores de dimensionado para definir la cascada de protección que se pretende instalar. Para que esta cascada de protección, empezando por el descargador de corriente de rayo hasta terminar en la protección del equipo final, pueda funcionar, debe asegurarse que los diferentes dispositivos de protección sean efectivos selectivamente, es decir, que cada dispositivo de protección solamente asuma la energía de perturbación para la que está realmente dimensionado. Esta sincronización entre las diversas etapas de protección se denomina coordinación energética y está explicada con más detalle en la norma UNE EN 62305-4 apartado 7 (IEC 62305-4).

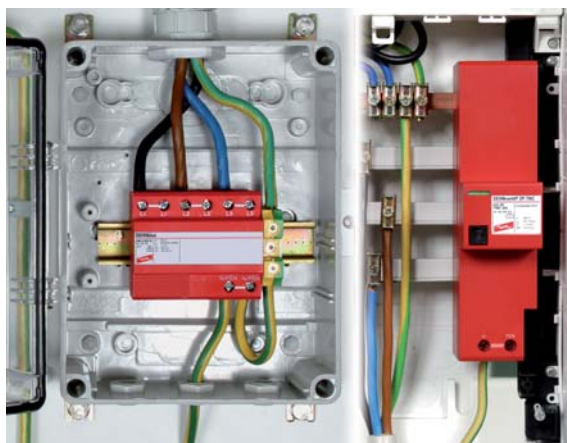


Fig. 7.8.1.1: Descargador de corriente de rayo – DEHNbloc 3 y descargador combinado DEHNventil ZP.



Fig. 7.8.1.2: DEHNGuard TT H LI – Descargador multipolar de sobretensiones con indicación de estado de funcionamiento.

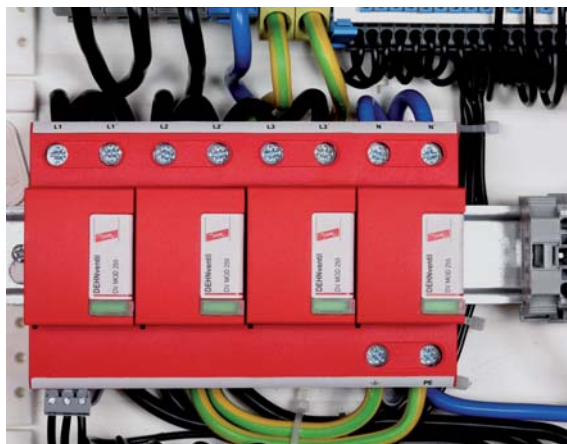


Fig. 7.8.1.3: DEHNventil M TNS – Descargador combinado modular.

Para conseguir la selectividad descrita en el funcionamiento del dispositivo de protección, los parámetros de las distintas etapas o fases de derivación deben coordinarse entre sí de tal manera que, en caso de una amenaza de sobrecarga energética de una etapa de protección, el derivador preconectado de mayor capacidad “se active” y de este modo asuma la derivación de la energía de perturbación. En el dimensionado de la coordinación hay que prestar mucha atención a que la forma de onda con la mayor duración de impulso tiene que ser considerada como una amenaza para toda la cadena de descargadores.

Aunque los dispositivos de protección contra sobretensiones, según su definición, solamente están verificados con forma de onda de impulso 8/20 μ s, es imprescindible, para la coordinación entre descargadores de sobretensiones y de corriente de rayo, la determinación de la capacidad para soportar corriente de choque de corrientes parciales de rayo de la forma de onda 10/350 μ s. Para impedir una coordinación defectuosa y la subsiguiente sobrecarga resultante de etapas de protección de energía más débil, se ha creado la familia de productos Red/Line coordinada energéticamente.

Estos dispositivos de protección contra sobretensiones coordinados entre sí y también con el equipo a proteger, ofrecen la máxima seguridad al usuario. Con las versiones de los equipos de protección como descargadores de corriente de rayo, descargadores de sobretensiones y descargadores combinados, se consigue una adaptación ideal a las correspondientes transiciones de las zonas de protección contra rayos (Figuras 7.8.1.1 – 7.8.1.3).

7.8.2 Instalaciones IT

En la definición de las medidas de protección dentro de un edificio contra las perturbaciones procedentes de los efectos cercanos, lejanos y directos de descargas de rayo, es aconsejable aplicar un concepto de dispositivos de protección en varias fases. De este modo se reduce la magnitud de perturbación de gran energía (corriente parcial de rayo) en varias etapas, para lo cual una primera etapa de absorción de energía, evita que la parte principal de la perturbación alcance al sistema aguas abajo. Las sucesivas etapas sirven para reducir las magnitudes de perturbación a valores soportables por el sistema. Según las condiciones de la instalación, también pueden realizarse varias etapas de protección en un mismo DPS mediante una combinación de circuitos de protección.

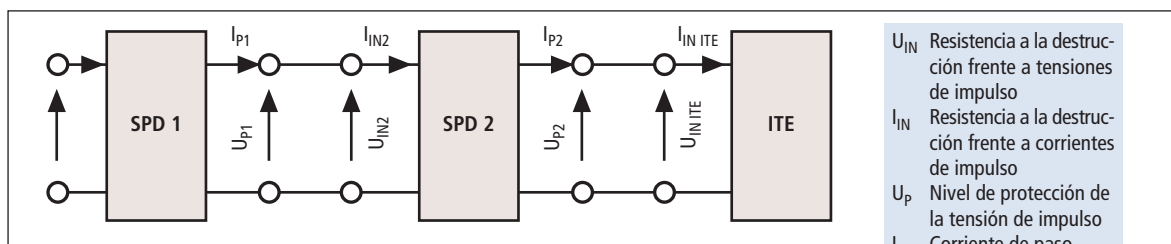


Fig. 7.8.2.1: Coordinación según el método "let-through" de 2 dispositivos de protección y de un equipo final (según IEC 61643-21).

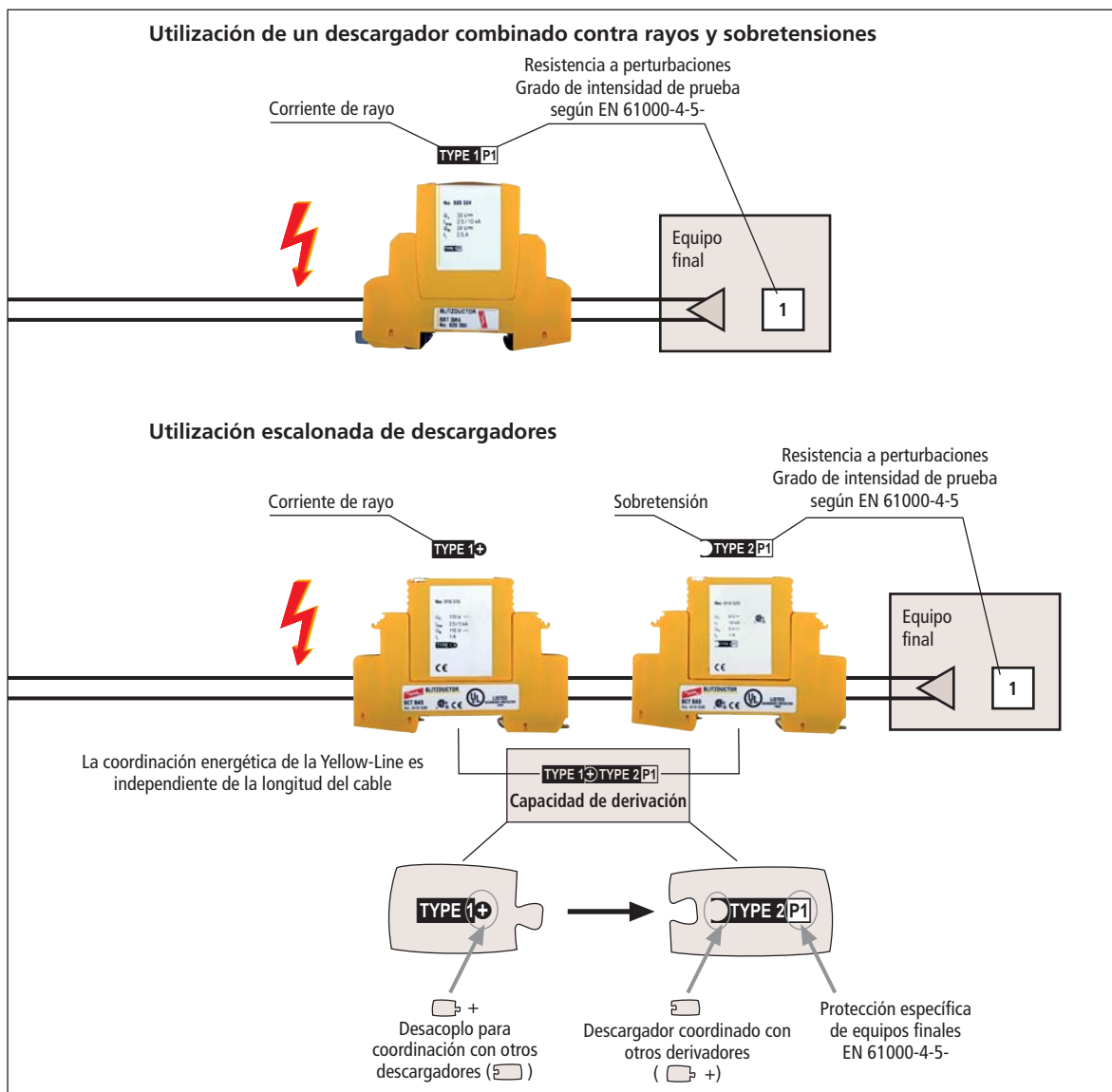


Fig. 7.8.2.2: Ejemplos para la aplicación de descargadores coordinados energéticamente según el TIPO de descargadores Yellow-Line y estructura del símbolo de los descargadores.

Característica	Símbolo	Leyenda
Capacidad del descargador (según categorías de IEC 61643-21)	TYPE 1	Impulso D1 (10/350 µs), corriente de choque de derivación de un de rayo ≥ 2.5 kA/hilo o ≥ 5 kA/total • sobrepasa la capacidad de derivación de TYPE 2 – TYPE 4
	TYPE 2	Impulso C2 (8/20 µs), carga de choque intensificada ≥ 2.5 kA/hilo o ≥ 5 kA/total • sobrepasa la capacidad de derivación de TYPE 3 – TYPE 4
	TYPE 3	Impulso C1 (8/20 µs), carga de choque ≥ 0.25 kA/hilo o ≥ 0.5 kA / total • sobrepasa la capacidad de derivación de TYPE 4
	TYPE 4	Carga < TYPE 3
Efecto de protección de un descargador (limitación por debajo de grados de intensidad de prueba según EN 61000-4-5)	P1	Grado de intensidad de prueba exigido al equipo final: 1 o superior
	P2	Grado de intensidad de prueba exigido al equipo final: 2 o superior
	P3	Grado de intensidad de prueba exigido al equipo final: 3 o superior
	P4	Grado de intensidad de prueba exigido al equipo final: 4
Coordinación energética (con otro descargador Yellow Line)	+	El descargador contiene una impedancia de desacople y es apropiado para la coordinación con un descargador identificado con ⌋
	⌋	Descargador apropiado para la coordinación con un descargador que contenga una impedancia de desacople +

Tabla 7.8.2.1: Símbolo de la clase de descargador.

Cableado	DPS	Ejemplo de asignación de las clases de descargadores a las transiciones LPZ		
		a LPZ 1	a LPZ 2	a LPZ 3
De LPZ 0 _A	DPS combinado	TYPE 1 P1		
	Cascada	TYPE 1 +	TYPE 2 P1	
		TYPE 1 C	TYPE 3 P1	
De LPZ 0 _B	Solución igual que LPZ 0 _A	Ver arriba.		
	Descargador de sobretensiones	TYPE 2 P1 o TYPE 2 P1		
	Cascada	TYPE 2 C	TYPE 3	
De LPZ 1	DPS combinado	–	TYPE 1 P1	
	Descargador de sobretensiones	–	TYPE 2 P1 o TYPE 2 P1	
De LPZ 2	Solución igual que LPZ 1	–	ver arriba	
	Descargador de sobretensiones	–	–	TYPE 2 P1
		–	–	TYPE 3 P1
		–	–	TYPE 4 P1

Tabla 7.8.2.2: Asignación de las clases de descargadores a las transiciones LPZ.

Los interfaces más relevantes en los que se emplean en cascada los dispositivos de protección son, p. ej. los límites de zonas (LPZ) de un concepto de protección contra rayos según UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4).
 La disposición en cascada de los dispositivos de protección debe realizarse respetando los criterios de coordinación energética.

Existen diversos métodos para determinar las condiciones de coordinación según IEC 61643-22 (IEC 60364-5-53/A2), algunos de los cuales requieren determinados conocimientos de la estructura de los dispositivos de protección.
 Un método “caja negra” es el denominado método “Let-Through-Energy” (Energía de penetración) que

se basa en parámetros de impulso Standard y, por lo tanto, puede entenderse tanto desde un punto de vista aritmético como práctico.

La cascada según **figura 7.8.2.1** se considera coordinada recíprocamente cuando los valores residuales I_p para una salida cortocircuitada y U_p para una salida en circuito abierto, son más pequeñas que las magnitudes de entrada I_{in}/U_{in} .

Sin embargo, estos métodos son muy difíciles de utilizar por el usuario, ya que son muy costosos y complicados. Para ahorrar tiempo y esfuerzos, la norma permite también usar los datos aportados por el fabricante para realizar la coordinación.

Los descargadores de corriente de rayo en la zona de protección contra rayos LPZ 0/1 o superiores, presentan, por lo regular, una capacidad de derivación de la forma de onda 10/350 μs .

Los descargadores de sobretensiones, por el contrario, solamente con la forma de onda 8/20 μs . Esto se debe a que los descargadores de sobretensiones han sido desarrollados, para proteger frente a perturbaciones de acoplamiento inductivo y capacitivo.

Sin embargo, si se conecta un cable que sale del edificio, con una cascada de protección compuesta por descargadores de corriente de rayo y descargadores de sobretensiones, de las condiciones de coordinación se deduce que:

- ⇒ En primer lugar, se activa el elemento más sensible – el descargador de sobretensiones.
- ⇒ El descargador de sobretensiones tiene que poder soportar también una parte – si bien pequeña – de la corriente parcial de rayo con la forma de onda 10/350 μs .
- ⇒ Antes de que el descargador de sobretensiones resulte sobrecargado, tiene que activarse el descargador de corriente de rayo y asumir la energía de derivación.

Los dispositivos de protección de la familia de Yellow-Line están coordinados de forma segura entre sí y también con los equipos finales. Para ello llevan los símbolos de su clase de descargador (**Figura 7.8.2.2, tablas 7.8.2.1 y 7.8.2.2**).

7.9 Inspección y mantenimiento de la protección LEMP

En lo que se refiere a la inspección y al mantenimiento de la protección LEMP, tienen vigencia las mismas bases y supuestos que para la inspección y mantenimiento de sistemas de protección contra rayos que ya se han descrito en el capítulo 3.4.

Las inspecciones de la protección LEMP realizadas durante la fase de construcción tienen una importancia especial, ya que una gran parte de los componentes de la protección LEMP no son accesibles una vez terminados los trabajos de construcción. Las medidas necesarias (p. ej. unión y conexión del armado) deben documentarse fotográficamente y adjuntarse al informe de inspección.

Deben realizarse pruebas:

- ⇒ Durante la instalación de la protección LEMP.
- ⇒ Después de la instalación de la protección LEMP.
- ⇒ Periódicamente.
- ⇒ Después de cualquier modificación de componentes que sean de relevancia para la protección LEMP.
- ⇒ En caso necesario, después de que se haya producido una descarga de rayo en el edificio.

Una vez finalizada la inspección tienen que subsanarse inmediatamente todos los defectos o fallos detectados. En caso necesario deberá actualizarse la documentación técnica.

Una amplia inspección de la protección LEMP debe realizarse, como mínimo, cada dos o cuatro años, como parte de la revisión de la instalación eléctrica.

8. Selección, instalación y montaje de dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS)

8.1 Sistemas de suministro de energía (en el marco del concepto de zonas de protección contra rayos (LPZ) según UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4))

Un sistema de protección contra rayos y sobretensiones para instalaciones eléctricas es, hoy en día, condición indispensable para poder asegurar un servicio libre de perturbaciones así como para prevenir la destrucción de sistemas eléctricos y electrónicos. Los requisitos exigidos a los DPS que se precisan para la instalación de un sistema de protección contra rayos y sobretensiones en el marco del concepto de zonas de protección contra rayos según UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4) para sistemas de suministro de energía, están fijados en la norma IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534).

Los DPS se clasifican en dispositivos de protección contra sobretensiones del Tipo 1, 2 y 3 en función de las exigencias y cargas y de su lugar de instalación y se verifican de acuerdo con la norma UNE EN 61643-11(IEC 61643-1).

Las máximas prestaciones en términos de capacidad de derivación, hacen referencia a los descargadores del Tipo 1. Estos aparatos se instalan en la intersec-

ción de la zona de protección contra rayos (LPZ) 0_A a 1 y superiores, según **figura 8.1.1** en el marco del sistema de protección contra rayos y sobretensiones. Estos dispositivos de protección tienen que poder conducir varias veces, sin destruirse, corrientes parciales de rayo de la forma de onda 10/350 μ s. Se denominan "Descargadores de corriente de rayo". La misión de estas protecciones es impedir la entrada de corrientes parciales de rayo en la instalación eléctrica de un edificio.

En la transición de la zona de protección contra rayos 0_A a 1 y superiores, o en la transición de la zona de protección contra rayos 1 a 2 y superior, se instalan DPS del Tipo 2 para protección contra sobretensiones. Su capacidad de derivación es de algunas decenas de kA (onda 8/20 μ s).

El último elemento del sistema de protección contra rayos y sobretensiones en instalaciones de suministro de energía es el DPS de Tipo 3 que se instala en la transición de la zona de protección contra rayos LPZ 2 a LPZ 3 y superior. La tarea principal de los dispositivos del Tipo 3 es la de aportar protección contra las sobretensiones que aparecen entre L y N en el sistema eléctrico. Se trata, especialmente, de sobretensiones de conmutación.

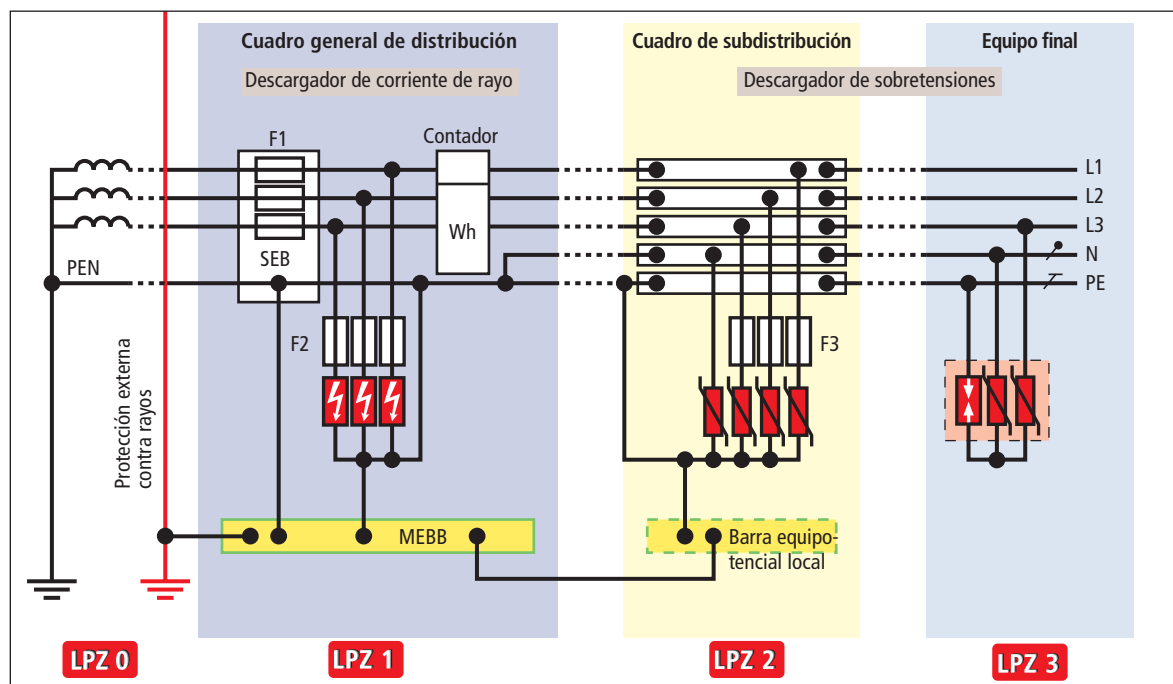


Fig. 8.1.1: Utilización de DPS en un sistema de suministro de energía.

Tipo/Denominación	Norma	E DIN VDE 0675-6 con A1, A2 ... etc (Ya retirada)	IEC 61643-1: 2005	EN 61643-11: 2002
Descargador de corriente de rayo – Descargador Combinado		Descargador de clase de exigencias B	DPS clase I	DPS Tipo 1
Descargador de sobretensiones para cuadros de distribución, sub distribuciones, instalación fija		Descargador de clase de exigencias C	DPS clase II	DPS Tipo 2
Descargador de sobretensiones para tomas de enchufe/ Equipo final		Descargador de clase de exigencias D	DPS clase III	DPS Tipo 3

Tabla 8.1.1: Clasificación de los DPS según VDE, IEC y EN.

8.1.1 Características técnicas de los DPS

Máxima tensión permisible de servicio U_c

La máxima tensión permisible de servicio (antiguamente: tensión de dimensionado) es el valor efectivo de la tensión máxima que, por razones de servicio, puede aplicarse en las bornas de conexión del dispositivo de protección contra sobretensiones.

Es aquella tensión máxima que se aplica al descargador en situación definida, no conductora y que después de haberse activado, el descargador garantice la reposición a la situación anterior.

El valor de U_c depende de la tensión nominal del sistema a proteger así como de las indicaciones del fabricante (IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534). Para sistemas de 230/400 V, se define á una tensión permanente máxima U_c de 253 en sistemas TN y TT, con tolerancia de tensión del 10%.

Corriente de choque de rayo

Es una curva de la corriente de choque estandarizada con la forma de onda 10/350 μs ., también llamada "Corriente de impulso". Con sus parámetros (valor cresta, carga, energía específica) reproduce los esfuerzos de carga propios de las corrientes de rayo naturales.

Los descargadores de corrientes de rayo Tipo 1 tienen que ser capaces de derivar varias veces, sin destruirse, este tipo de corrientes de choque de rayo.

Corriente nominal de descarga I_n

El valor nominal de descarga es el valor cresta I_n de la corriente que fluye por el dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS). Tiene la forma de onda de corriente de choque de 8/20 μs y se utiliza para clasificar y probar los DPS del Tipo 2.

Nivel de protección U_p

Con la expresión nivel de protección de un DPS se indica el valor momentáneo máximo de la tensión en

las bornas de un DPS, y al mismo tiempo caracteriza la capacidad de un descargador para limitar sobretensiones a un nivel residual.

El nivel de protección de un DPS se determina en base a las siguientes pruebas individuales:

- ⇒ Tensión de choque de rayo de respuesta 1,2/50 μs (100%).
- ⇒ Tensión residual en caso de corriente de choque nominal (según EN 61643-11: U_{res}).

El nivel de protección determina el lugar de instalación o emplazamiento del dispositivo de protección de acuerdo con las categorías de sobretensiones descritas en la norma EN 60664-1 (IEC 60664-1). Hay que tener en cuenta que, el valor mínimo exigido de 2,5 kV para un sistema trifásico de 230/400 V solamente es aplicable para aparatos de servicio de la instalación eléctrica fija. Los equipos alimentados por ella que estén instalados en la parte final del circuito, precisan un nivel de protección considerablemente inferior a 2,5 kV.

También según IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534), se requiere un nivel mínimo de protección de 2,5 kV para una instalación de consumidores de baja tensión de 230/400 V. Este nivel mínimo de protección se consigue mediante la instalación coordinada de DPS del Tipo 1 y DPS del Tipo 2, o bien mediante la utilización de un dispositivo combinado de corriente de rayo y sobretensiones del Tipo 1.

Resistencia a cortocircuitos

Es el del valor de la corriente prospectiva de cortocircuito, de frecuencia de servicio, que puede ser soportada por el aparato de protección contra sobretensiones estando debidamente conectados los fusibles previos exigidos (Protección Back-up).

Capacidad de apagado de corrientes consecutivas con U_c (I_{fi})

La capacidad de apagado de corrientes consecutivas,

conocida también como capacidad de desconexión, es el valor efectivo no influenciado (prospectivo) de la corriente consecutiva de red que puede ser apagado automáticamente por el aparato de protección contra sobretensiones al estar aplicada U_c (Tensión permanente máxima).

Según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) y IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534) la capacidad de apagado de corrientes consecutivas de los DPS debería corresponderse con la corriente máxima de cortocircuito que cabe esperar en el lugar de emplazamiento de los DPS.

En el caso de instalaciones industriales con corrientes de cortocircuito muy altas, hay que elegir fusibles que permitan interrumpir, a través del aparato de protección, las corrientes consecutivas de red.

Según IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534) y según UNE EN 61643-11 (IEC 61643-1) los DPS que están conectados entre el conductor PE y el conductor neutro, y en los que, tras activarse el aparato, pueda producirse una corriente consecutiva con frecuencia de red (p. ej. vías de chispas) tienen que presentar una capacidad de apagado de corrientes consecutivas de $I_{fi} \geq 100 A_{eff}$.

Limitación de corrientes consecutivas (en DPS del Tipo 1 sobre la base de vías de chispas).

Con la expresión limitación de corrientes consecutivas se define la capacidad de un DPS, desarrollado sobre la base de vías de chispas, para limitar las corrientes consecutivas de tal modo que, la corriente que efectivamente fluya sea notablemente más pequeña que la corriente de cortocircuito posible en el lugar de instalación del descargador.

Una limitación de corrientes consecutivas alta impide que los elementos de protección preinstalados (p. ej. fusibles) se disparen a causa de una corriente consecutiva de red excesivamente elevada.

Especialmente en el caso de los DPS desarrollados sobre la base de vías de chispas y que ofrecen un nivel de protección bajo, la limitación de corrientes consecutivas es un parámetro muy importante para garantizar la disponibilidad y continuidad de servicio de la instalación eléctrica.

Coordinación

Para garantizar un efecto selectivo de los diferentes DPS es imprescindible una coordinación energética entre los mismos. En este caso, el principio básico de la coordinación energética radica en que, cada etapa de protección, solamente derive la energía de perturbación para la que el DPS está dimensionado. Así, si

aparecen energías de perturbación aguas arriba de un DPS, por ejemplo del Tipo 1, éste tiene que hacerse cargo de la derivación de la corriente de choque y, de este modo, liberar de esta tarea a los aparatos de protección instalados aguas abajo. Una adecuada coordinación energética entre diferentes tipos de DPS debe tomar en consideración toda clase de perturbación independientemente de su origen, como son sobretensiones por conmutación, corrientes parciales de rayo etc. El fabricante debe asegurar la coordinación energética de los DPS de acuerdo con las normas UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4). Los descargadores de la familia de productos de la Red/Line están coordinados entre sí y verificados en lo que a la coordinación energética se refiere.

Tensión TOV

Con la expresión tensión TOV (TOV = Temporary Over Voltage) se hace referencia a las sobretensiones temporales que pueden originarse como consecuencia de fallos en redes de media y de baja tensión.

Para sistemas TN y para la vía L-N en sistemas TT con una duración de dimensionado de 5 segundos, el valor de U_{TOV} es de $1,45 \times U_0$, siendo U_0 la tensión alterna nominal del conductor exterior contra tierra.

En sistemas de 230/400 V, para los DPS situados entre L y N el valor de TOV a considerar será de $U_{TOV} = 333,5$ V.

En el caso de TOVs que se originan el sistema de alta tensión como consecuencia de fallos de tierra, el valor de TOV, para la vía N-PE en sistemas TT, será $U_{TOV} = 1200$ V, con una duración de dimensionado de 200 ms.

La norma IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534) exige para los DPS en instalaciones de consumidores de baja tensión, una capacidad de resistencia frente a TOV.

Los descargadores de productos de la familia Red/Line están dimensionados para tensiones TOV según la norma EN 61643-11 y cumplen además las exigencias de la norma IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534).

8.1.2 Utilización de DPS en diferentes sistemas

Las medidas para la protección de personas tienen siempre prioridad frente a las medidas para protección contra sobretensiones. Ambos tipos de medidas están en estrecha relación con el tipo de los sistemas de red utilizados y, consecuentemente, con el uso de

dispositivos de protección contra sobretensiones. A continuación, se describen los diferentes sistemas de red - TN TT e IT - y las correspondientes aplicaciones de DPS en los mismos. Las corrientes eléctricas que fluyen por el cuerpo humano pueden tener graves consecuencias. Por eso es necesario adoptar medidas de protección para reducir este riesgo al máximo. Así, debe evitarse que los elementos o componentes que se encuentran bajo tensión puedan entrar en contacto con las personas, mediante el aislamiento, revestimiento o disposición adecuada de los mismos, evitando que el cuerpo humano sea recorrido por corrientes eléctricas peligrosas. Esta medida de protección se denomina "Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones normales". Más allá de esto, naturalmente, tampoco debe haber peligro para las personas como consecuencia de un fallo o deterioro del aislamiento de un equipo eléctrico.

Esta protección frente a los peligros que pueden surgir en caso de fallo como consecuencia del contacto con cuerpos o con piezas ajenas conductoras se denomina "Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones de fallo".

Por lo regular, el límite de la tensión de contacto permanente tolerada U_L es de 50 V en caso de tensión alterna, y de 120 V en caso de tensión continua.

Las tensiones de contacto más altas que pueden producirse en caso de fallo, tienen que desconectarse automáticamente en un espacio de tiempo de 0,4 s en los circuitos de corriente con cajas de enchufes y en circuitos de corriente que contengan aparatos de servicio móviles de la clase de protección I, y que normalmente durante el servicio se tienen en la mano de forma duradera. En todos los demás circuitos de corriente, tensiones de contacto más altas tienen que desconectarse automáticamente en un tiempo de 5 s.

En la norma IEC 60364-4-41: 2005-12 (DIN VDE 0100-410) se describen medidas de protección para contacto indirecto con conductores de protección. Estas medidas de protección actúan, en caso de fallo, mediante desconexión automática o aviso. Al disponerse las medidas para "Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones de fallo" es necesaria una subordinación entre la forma de sistema y los dispositivos de protección.

Según IEC 60364-4-41: 2005-12 (DIN VDE 0100-410) un sistema de distribución de baja tensión, en su totalidad, desde la fuente de corriente hasta el último aparato de servicio se caracteriza esencialmente por:

- ⇒ Situación de la toma de tierra de la fuente de corriente (p. ej. lado de baja tensión del transformador local de red).
- ⇒ Situación de la toma de tierra de las carcasas de los equipos eléctricos en instalaciones eléctricas de consumidores de baja tensión.

Con ello se definen, esencialmente tres tipos de sistemas o redes de distribución:

Sistema **TN**, Sistema **TT** y Sistema **IT**.

Las letras utilizadas tienen el significado siguiente:

La **PRIMERA LETRA** describe las condiciones de toma de tierra de la fuente de corriente de alimentación:

- T** Toma de tierra directa de un punto de la fuente de corriente (por lo regular el punto de estrella del devanado del transformador).
- I** Aislamiento de todas las partes activas frente a tierra o conexión de un punto de la fuente de corriente con tierra a través de una impedancia.

La **SEGUNDA LETRA** describe las condiciones de toma de tierra de las carcasas de los consumidores en la instalación eléctrica:

- T** La carcasa del equipo está directamente puesta a tierra, independientemente de una eventual toma de tierra de un punto de la alimentación de corriente.
- N** Está unida directamente con la toma de tierra de servicio (Toma de tierra de la fuente de corriente).

OTRAS LETRAS describen la disposición del conductor neutro y del conductor de protección:

- S** El conductor neutro y el conductor de protección están separados uno de otro.
- C** El conductor neutro y el conductor de protección están combinados en un mismo conductor.

Con ello, para el sistema TN hay tres variantes posibles:

Sistema **TN-S**, Sistema **TN-C**, Sistema **TN-C-S**.

Los dispositivos de protección que pueden instalarse en los diferentes sistemas son:

- ⇒ Dispositivo de protección contra sobrecorrientes.
- ⇒ Dispositivo de protección contra corriente de defecto.
- ⇒ Dispositivo de vigilancia del aislamiento.
- ⇒ Dispositivo de protección contra tensiones de error (en casos especiales).

Como ya hemos dicho, es necesaria una correspondencia entre la forma del sistema y el dispositivo de protección. Así, se dan las siguientes posibilidades:

Sistema TN:

- ⇒ Dispositivo de protección contra sobrecorriente.
- ⇒ Dispositivo de protección contra corrientes de defecto.

Sistema TT:

- ⇒ Dispositivo de protección contra sobrecorrientes.
- ⇒ Dispositivo de protección contra corrientes de defecto.
- ⇒ Dispositivo de protección contra tensiones de error (En casos especiales).

Sistema IT:

- ⇒ Dispositivo de protección contra sobrecorrientes.
- ⇒ Dispositivo de protección contra corrientes de defecto.
- ⇒ Dispositivo de vigilancia del aislamiento.

Estas medidas de la protección de personas tienen la máxima prioridad en la construcción de instalaciones de corriente de alta intensidad. Todas las demás, como son las medidas de protección contra rayos y sobretensiones, deben subordinarse a las medidas adoptadas para protección contra contacto indirecto con conductor de protección, teniendo en cuenta la forma de sistema. Además, debe tenerse siempre en cuenta la posibilidad de un caso de fallo de un DPS, aun cuando sea sumamente improbable. Esto es de especial relevancia ya que la instalación de los aparatos de protección contra sobretensiones tiene lugar siempre contra el conductor de protección.

En los capítulos siguientes se describirá la utilización de DPS en diferentes tipos de redes, de acuerdo con la norma IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534).

Los ejemplos de soluciones expuestos muestran la instalación de descargadores de corriente de rayo, fundamentalmente, en la acometida de baja tensión, por ejemplo, delante del contador. La norma IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534) define el lugar de instalación de los descargadores de corriente de rayo lo más "cerca posible de la acometida de baja tensión".

En Alemania, la instalación de descargadores de corriente de rayo por delante del contador, está regulada por la directriz VDN 2004-08: "Dispositivos de protección contra sobretensiones del Tipo 1. Directriz para la utilización de dispositivos de protección contra sobretensiones (ÜSE), del tipo 1 en sistemas de suministro de corriente".

Esta directriz elaborada por VDN fija determinadas exigencias básicas que, dependiendo del VNG (Usuario de la red de distribución) pueden dar lugar a diferentes ejecuciones técnicas.

8.1.3 Utilización de DPS en sistemas TN

En sistemas TN los dispositivos de protección contra sobrecorrientes y contra corrientes de defecto están permitidos como equipos de protección para la "Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones de fallo". A efectos de instalación de DPS esto significa que solamente pueden instalarse por detrás de los dispositivos de protección para "Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones de fallo", a fin de garantizar la operatividad de las medidas de protección de las personas incluso en caso de fallo de un DPS.

Si se instala un DPS del Tipo 1 ó 2 por detrás de un interruptor de corriente de defecto, entonces hay que contar con que, debido a la corriente de choque derivada contra PE este proceso pueda ser interpretado por un interruptor de protección (RCD) como una corriente de defecto y, en consecuencia, interrumpa el circuito de corriente.

Además de lo dicho, en los esfuerzos por corrientes parciales de rayo a que se ven sometidos los DPS del Tipo 1, hay que partir del supuesto de que, debido a la elevada dinámica de la corriente de rayo, el interruptor de protección contra corrientes de defecto resultaría dañado mecánicamente. (**Figura 8.1.3.1**).

Con ello quedaría anulada la medida de protección "Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones de fallo". Naturalmente, esto debe evitarse. Por ello, ambos descargadores Tipo 1 y Tipo 2 deben instalarse por delante del interruptor de protección contra corrientes de defecto. Con ello para DPS del Tipo 1 y del Tipo 2 solamente puede tenerse en cuenta como medida para "Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones de fallo" la instalación de dispositivos de protección contra sobrecorrientes. La instalación de un DPS, por lo tanto, debe estar siempre en coordinación con un fusible como complemento de protección contra sobrecorrientes. La disposición de un fusible adicional en la rama del descargador depende del valor de los fusibles previos existentes en la instalación. Para la instalación de DPS de los Tipos 1, 2 y 3 en el sistema TN, hay que considerar las tensiones permanentes máximas que se recogen en las figuras 8.1.3.2 y 8.1.3.3.a hasta b.

La **figura 8.1.3.4** muestra un ejemplo de instalación de descargadores de corriente de rayo y de sobretensiones en el sistema TN-C-S. Puede verse que la instalación de DPS del Tipo 3 tiene lugar por detrás del dispositivo de protección contra corrientes de defecto (RCD). En este contexto, hay que hacer notar lo siguiente:

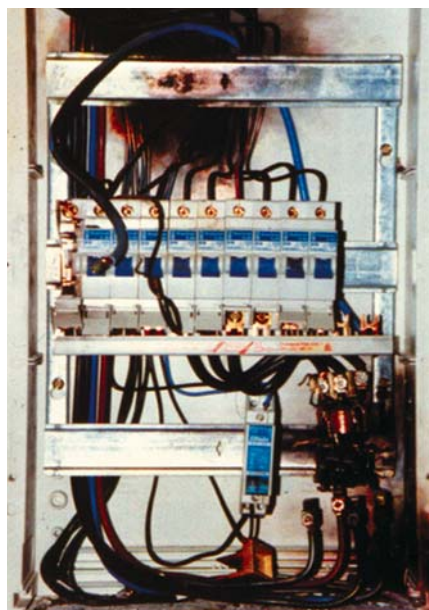


Fig. 8.1.3.1: RCD destruido por corriente de choque de rayo.

Debido a la frecuencia de sobretensiones de conmutación en circuitos finales de corriente, los DPS del Tipo 3 se instalan fundamentalmente para aportar protección contra sobretensiones transversales. Estas sobretensiones suelen aparecer, por lo regular, entre el conductor L y N. Con una limitación de sobretensión entre L y N, no se deriva ninguna corriente de choque hacia PE, de manera que este proceso tampoco puede ser reconocido por el RCD como corriente de defecto. Hay que indicar que los DPS del Tipo 3 están dimensionados para una capacidad nominal de derivación de 1,5 kA. Estos valores son suficientes siempre que existan etapas de protección preconectadas de DPS de los Tipos 1 y 2 que se hagan cargo de la derivación de impulsos de gran energía. Al utilizar un RCD resistente a corrientes de choque, éstas no pueden provocar el disparo de los RCD ni tampoco originar daños mecánicos. Las figuras 8.1.3.5 hasta 8.1.3.9 muestran la instalación de DPS en el marco del concepto de zonas de protección contra rayos, así como las medidas de protección contra rayos y sobretensiones necesarias para un sistema TN-C-S.

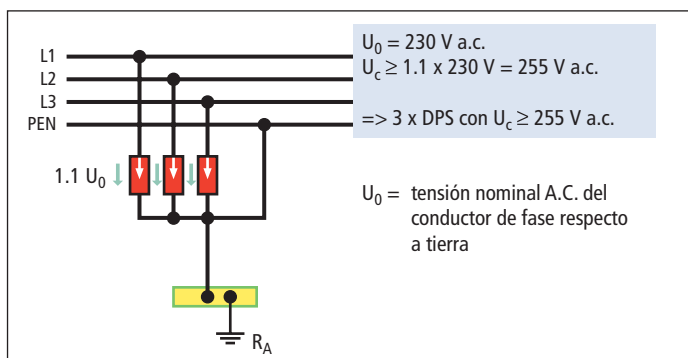


Fig. 8.1.3.2: Variante de circuito "3-0" en un sistema TN-C.

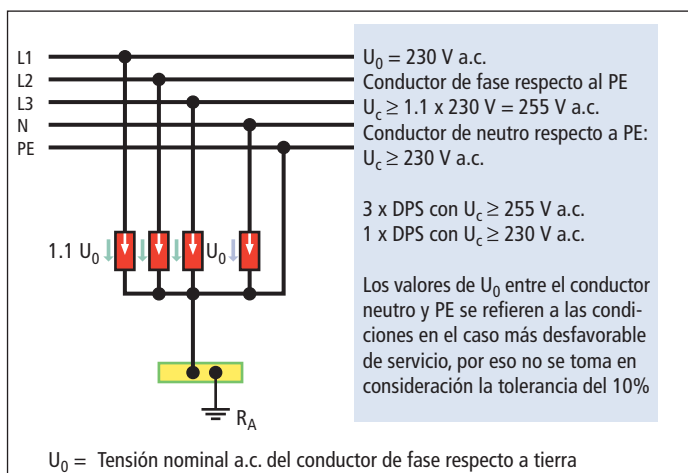


Fig. 8.1.3.3a: Variante de circuito "4-0" en un sistema TN-S.

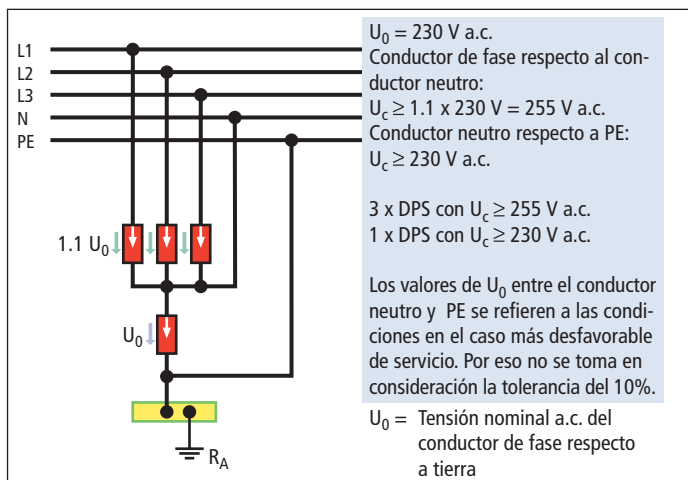


Fig. 8.1.3.3b: Variante de circuito "3+1" en un sistema TN-S.

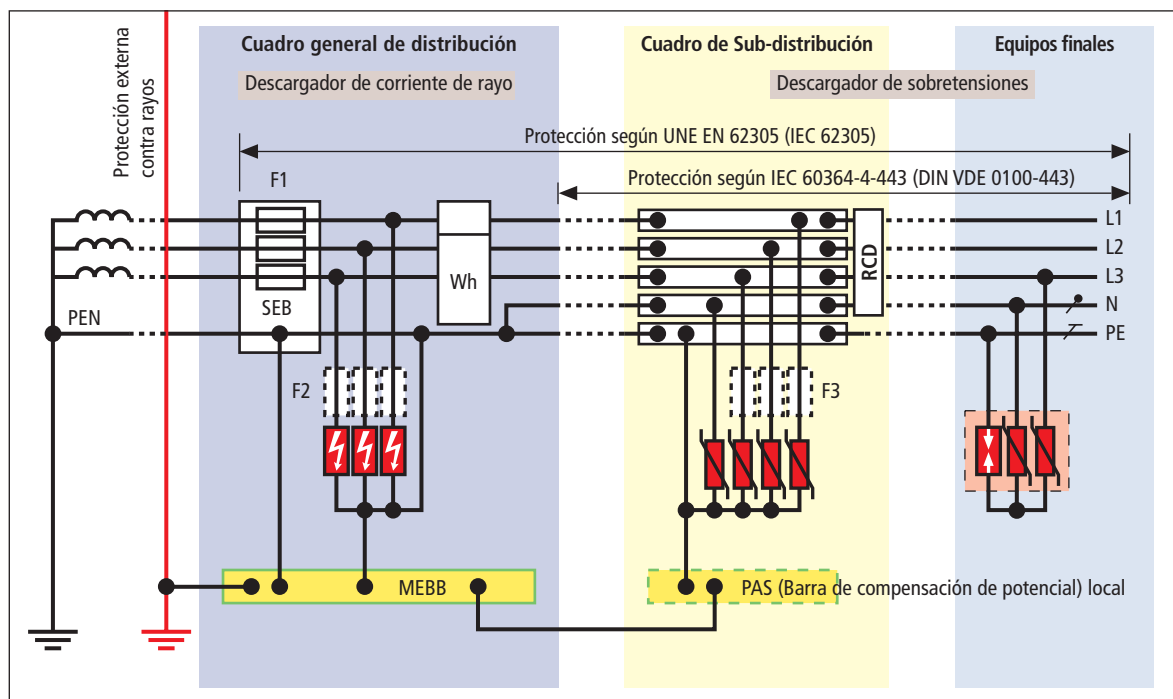


Fig. 8.1.3.4: Instalación de DPS en un sistema TN-C-S.

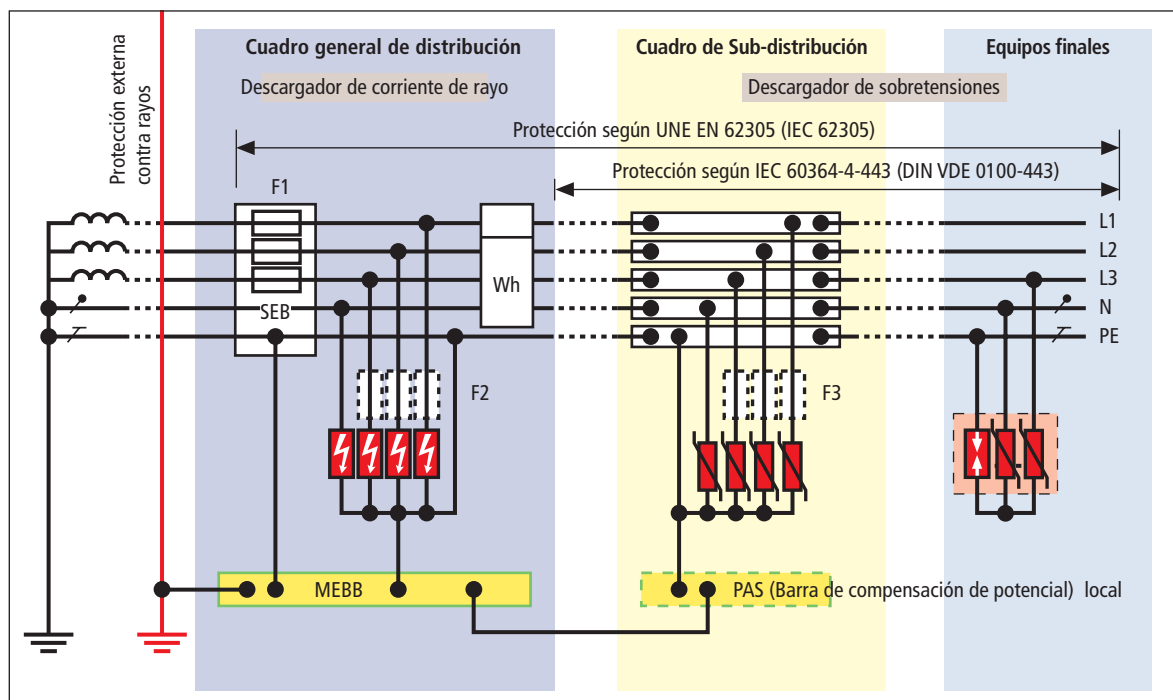


Fig. 8.1.3.5: Instalación de DPS en un sistema TN-S.

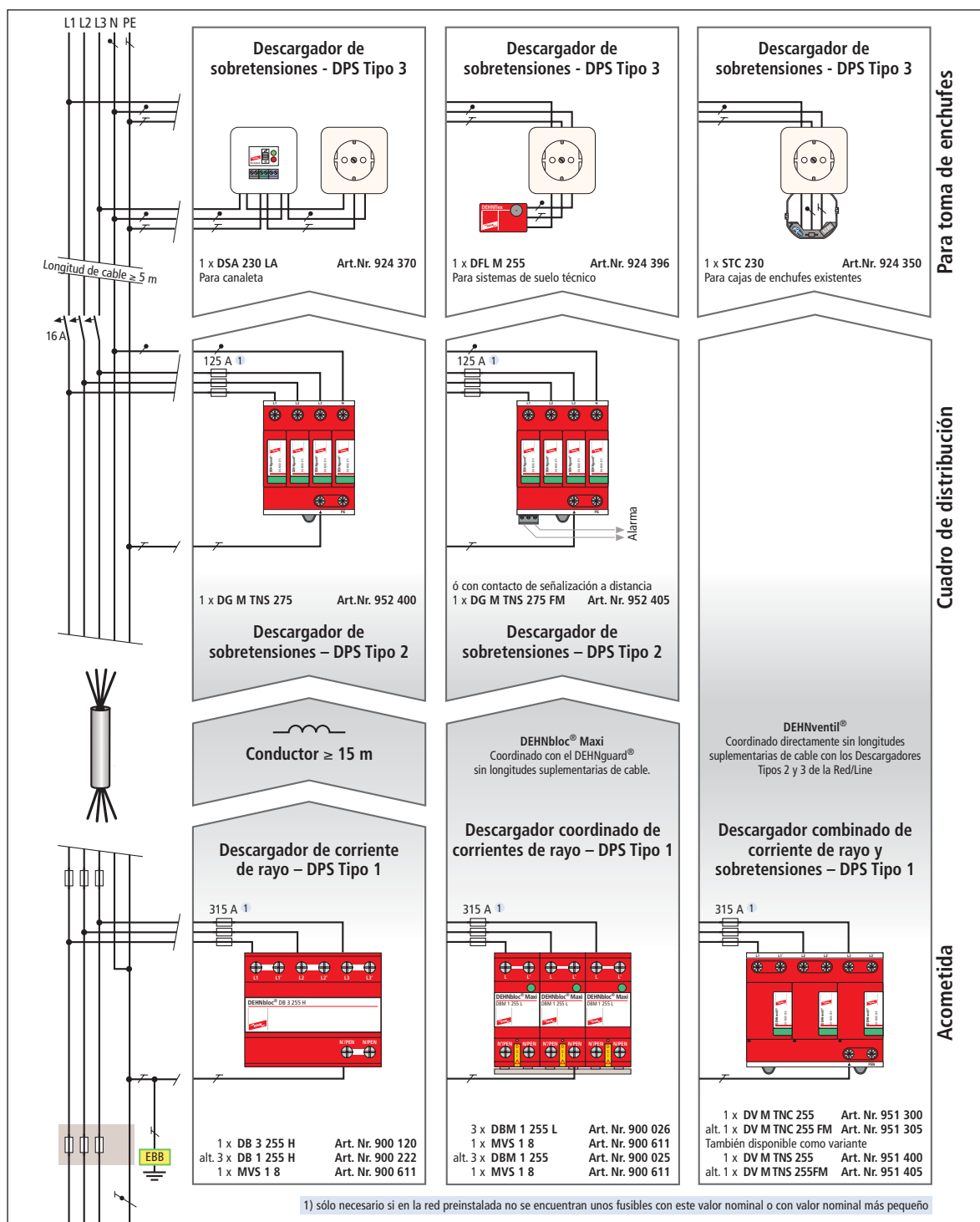


Fig. 8.1.3.6: Instalación de DPS en un sistema TN – Ejemplo de un edificio de oficinas con separación del conductor PEN en el cuadro general de distribución.

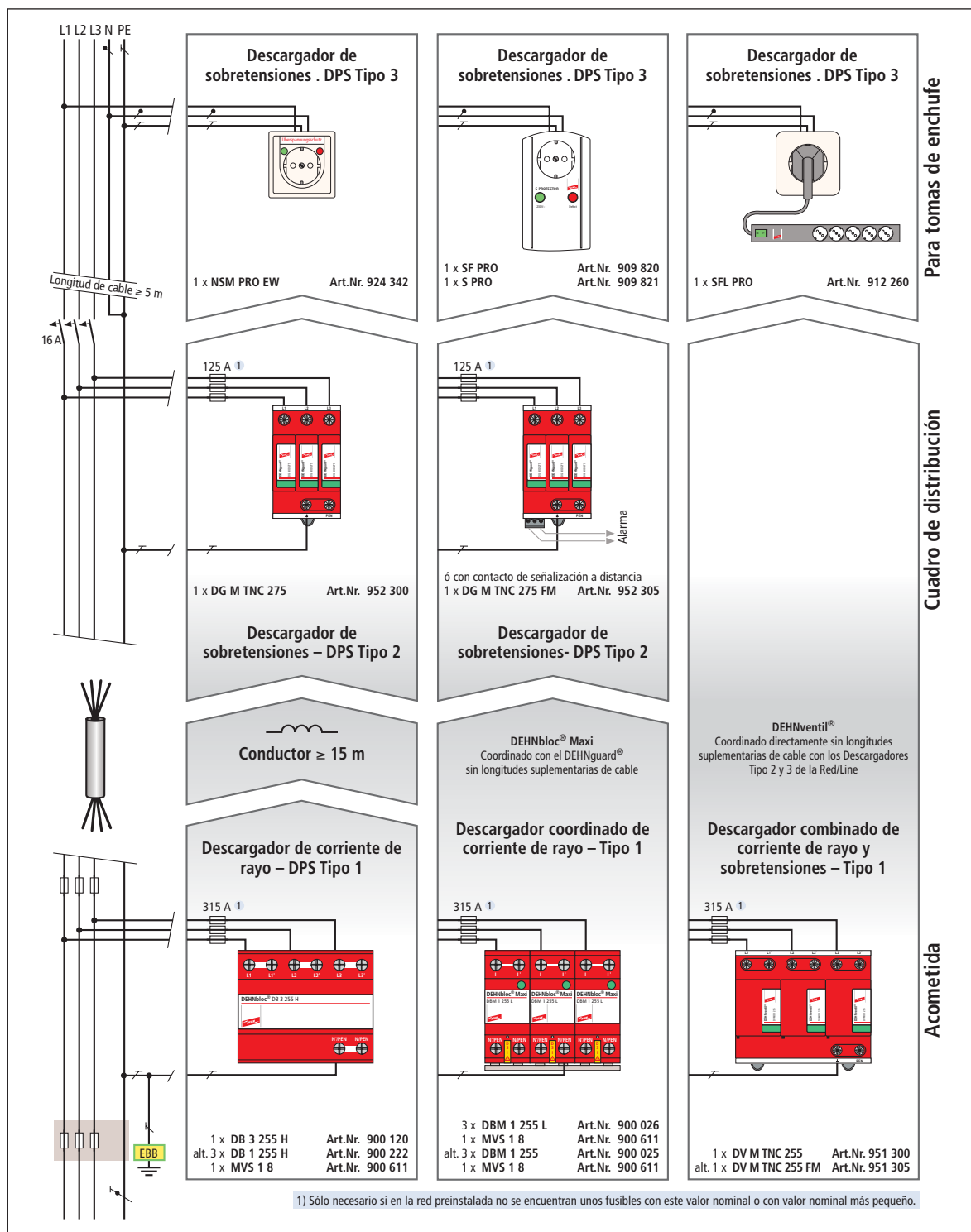


Fig. 8.1.3.7: Instalación de DPS en un sistema TN – Ejemplo de un edificio de oficinas con separación del PEN en el cuadro de sub-distribución.

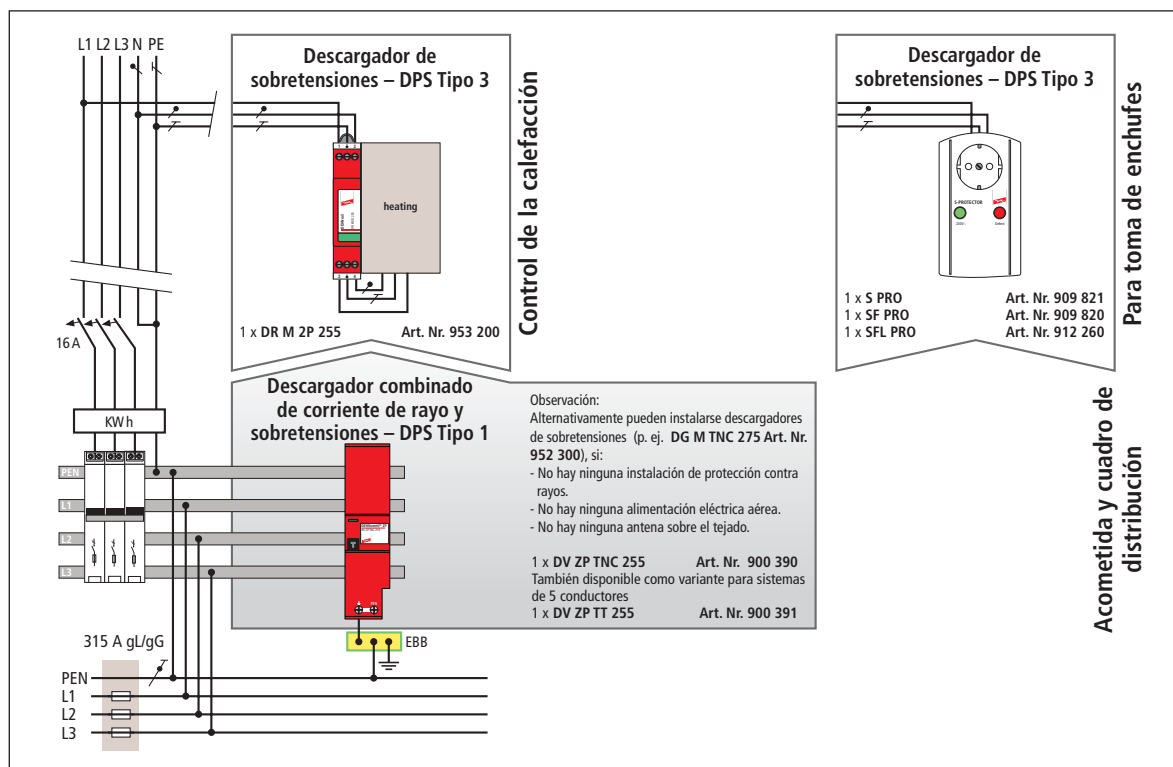


Fig. 8.1.3.9: Instalación de DPS en el sistema TN – Ejemplo de una vivienda unifamiliar.

8.1.4 Utilización de DPS en sistemas TT

En el sistema TT está permitida la utilización de dispositivos de protección contra sobrecorrientes, dispositivos de protección contra corrientes de defecto (RCD) y, en casos especiales, también el uso de dispositivos de protección contra tensiones de fallo (Dispositivos de protección FU) como dispositivos para la "Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones de error".

Esto significaría en principio, que solamente pueden instalarse tras los dispositivos de protección arriba enunciados, para que, en caso de fallo de un dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS), quedase garantizada la "Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones de fallo".

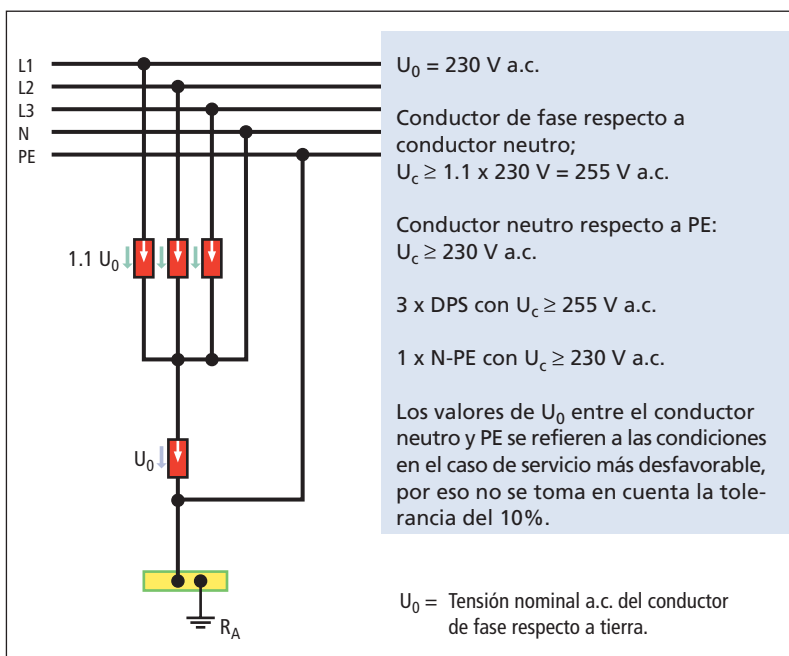


Fig. 8.1.4.1: Sistema TT (230/400 V); Variante de circuito "3+1".

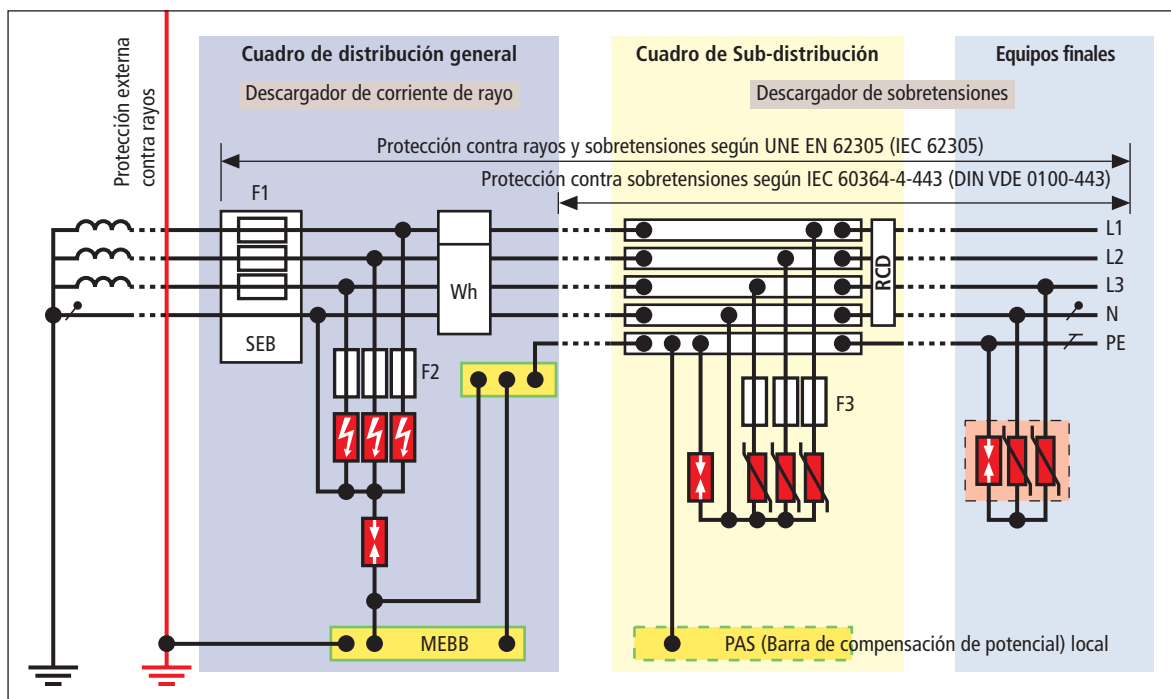


Fig. 8.1.4.2: Instalación de DPS en un sistema TT.

Como ya hemos descrito en el capítulo 8.1.3, en el caso de la instalación de un DPS del Tipo 1 y 2 por detrás de un RCD hay que contar con que el proceso de derivación pueda ser reconocido por el RCD como corriente de defecto y en consecuencia interrumpir el circuito de corriente.

En el caso de instalación de DPS del Tipo 1 hay que partir, además, del supuesto de que, lo mismo que en el sistema TN, el RCD pudiera resultar dañado mecánicamente por la dinámica de la corriente parcial de rayo derivada al activarse el DPS del Tipo 1. Una situación de este tipo naturalmente debe evitarse ya que puede comportar riesgos para las personas. Por eso, en un sistema TT los DPS del Tipo 1 y Tipo 2 deben instalarse por delante de los dispositivos de protección contra corrientes de defecto.

En caso de fallo, es decir, en caso de un DPS defectuoso, deben fluir corrientes de cortocircuito que inicien una desconexión automática de los dispositivos de protección contra sobrecorrientes en 5 s. Si la disposición de los descargadores en un sistema TT se efectúa como se indica en las figuras 8.1.3.4 y 8.1.3.5 para el sistema TN, en caso de fallo no se formarían corrientes de cortocircuito sino tan solo corrientes de derivación a tierra. Estas corrientes de derivación a

tierra, sin embargo y bajo determinadas circunstancias, no provocan el disparo del dispositivo protección contra sobrecorriente instalado aguas arriba en el tiempo exigido.

La instalación de los DPS del Tipo 1 y del tipo 2 en un sistema TT se realiza, por lo tanto, entre fases y neutro. Con esta disposición se pretende garantizar que, en el caso de que haya un descargador defectuoso se produzca una corriente de cortocircuito que haga que se dispare el dispositivo de protección contra sobrecorriente instalado aguas arriba (fusible o interruptor). Como, por otra parte, las corrientes de rayo, por principio, solamente aparecen contra tierra, es decir contra PE, es necesario habilitar una vía de derivación entre N y PE a través de los correspondientes descargadores.

Estos "descargadores N-PE" tienen que cumplir ciertas exigencias especiales, ya que, por una parte, tienen que ser capaces de conducir la suma de las corrientes parciales de derivación de L1, L2, L3 y N y, por otra parte, y condicionado por un eventual desplazamiento del punto de estrella, tiene que tener una capacidad de apagado de corrientes consecutivas de $100 A_{eff}$.

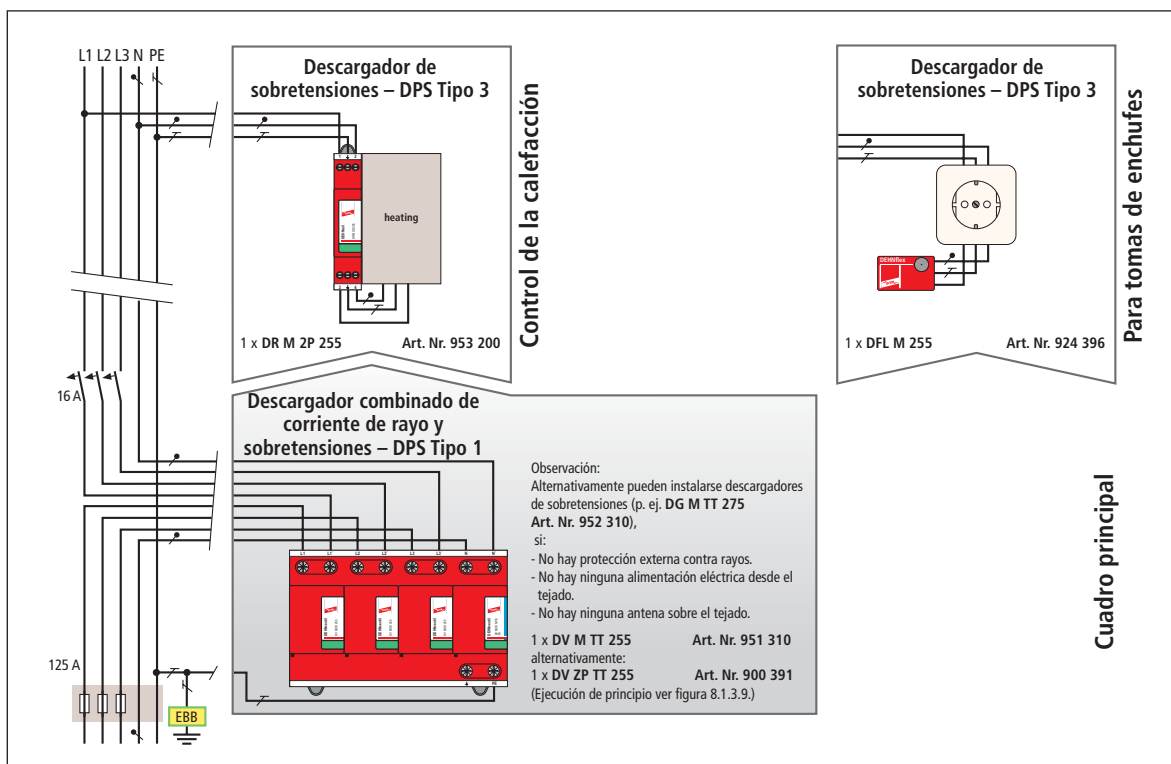


Fig. 8.1.4.3: Instalación de DPS en un sistema TT – Ejemplo de una vivienda unifamiliar.

Las tensiones máximas permanentes para la instalación de DPS en el sistema TT entre L y N se recogen en la **figura 8.1.4.1**.

La capacidad de soportar corrientes de rayo de los DPS del Tipo 1 se dimensiona de acuerdo con los niveles de protección I, II, III y IV según UNE EN 62305-1 (IEC 62305-1).

En el caso de los descargadores de corrientes de rayo para N-PE deben cumplirse los valores siguientes:

Nivel de protección:

- I $I_{\text{imps}} > \text{100 kA (10/350 } \mu\text{s)}$.
- II $I_{\text{imps}} > \text{75 kA (10/350 } \mu\text{s)}$.
- III/IV $I_{\text{imps}} > \text{50 kA (10/350 } \mu\text{s)}$.

Los DPS del Tipo 2 se conectan igualmente entre L y N, así como entre N y PE. En el caso de los DPS conectados entre N y PE, en combinación con DPS del Tipo 2, la capacidad de derivación debe ser como mínimo $I_n > \text{20 kA (8/20 } \mu\text{s)}$ en el caso de sistemas trifásicos y de $I_n > \text{10 kA (8/20 } \mu\text{s)}$ para sistemas monofásicos.

Como la coordinación se realiza siempre sobre la base de las magnitudes de riesgo más desfavorables (forma de onda 10/350 μs), un descargador N-PE Tipo

2 de la familia de productos de la Red/Line deriva hasta un valor de 12 kA(10/350 μs).

En las **figuras 8.1.4.2** hasta **8.1.4.6** se muestran ejemplos de conexión para la instalación de DPS en un sistema TT. Los dispositivos de protección contra sobretensiones del Tipo 3, tanto en redes TT como en redes TN, se instalan detrás del RCD. La corriente de choque derivada por este DPS, por lo regular es tan reducida que, este proceso no es detectado por el RCD como corriente de defecto.

Pese a ello, también aquí no debería prescindirse de la instalación de un RCD resistente a corriente de choque.

8.1.5 Utilización de DPS en sistemas IT

Para un sistema IT están admitidos como dispositivos de protección para la "Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones de fallo" dispositivos de protección contra sobrecorriente, dispositivos de protección contra corrientes de defecto (RCD) y dispositivos de vigilancia del aislamiento.

Mientras que en los sistemas TN y TT la "Protección

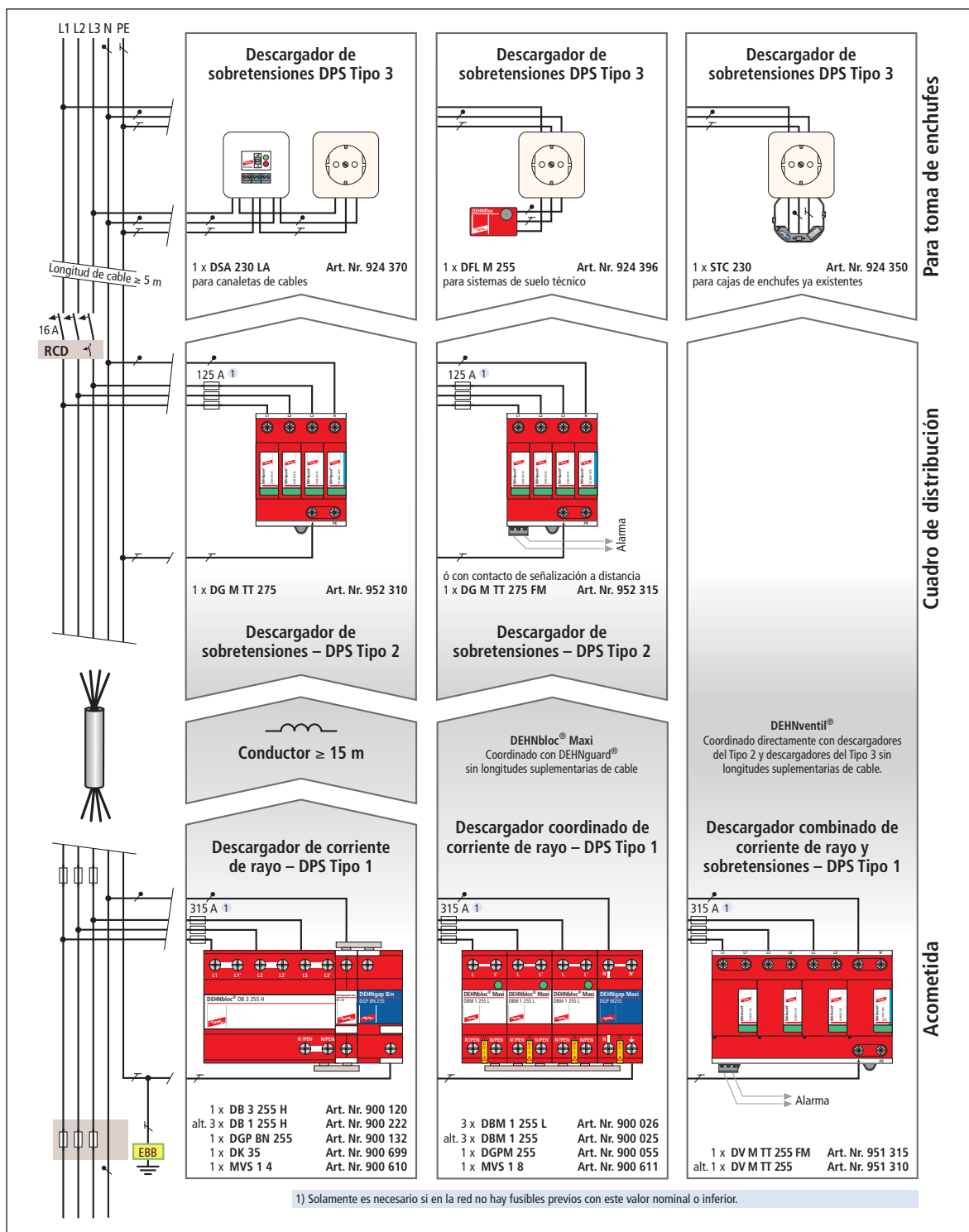


Fig. 8.1.4.4: Instalación de DPS en un sistema TT – Ejemplo de un edificio de oficinas.

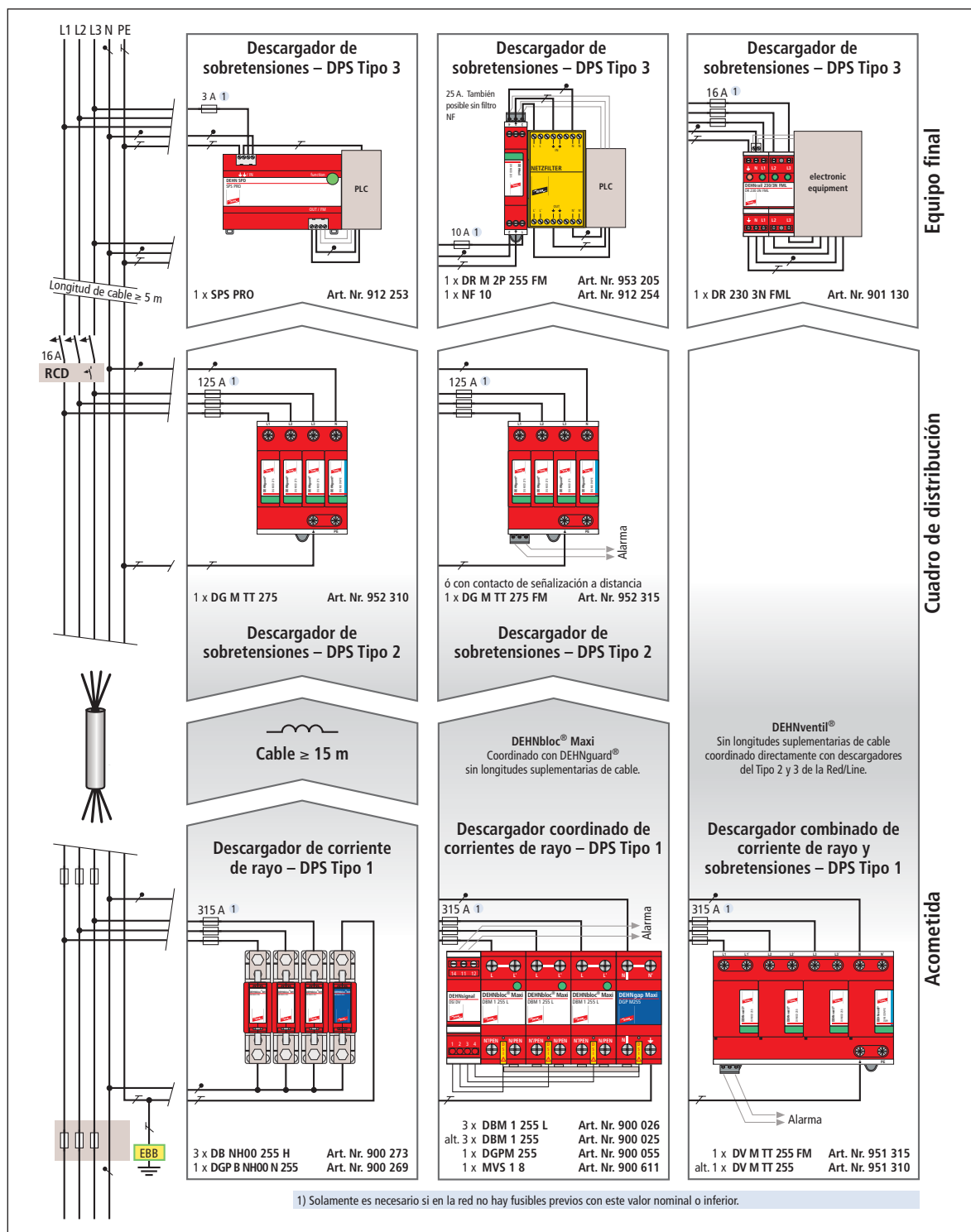


Fig. 8.1.4.5: Instalación de DPS en un sistema TT - Ejemplo de una industria.

contra descargas eléctricas bajo condiciones de fallo” está garantizada en el caso del primer fallo mediante las correspondientes condiciones de desconexión de los dispositivos de protección contra sobrecorrientes o de los RCDs, en el sistema IT, al producirse el primer fallo tiene lugar únicamente un aviso. No se puede ocasionar una tensión de contacto excesivamente alta, ya que al producirse un primer fallo en el sistema IT solamente se establece una conexión a tierra del sistema. El sistema IT, en lo que se refiere a su situación de servicio pasa a un sistema TN y TT. Por eso, un sistema IT puede seguir funcionando sin riesgo alguno tras el primer fallo, de modo que los trabajos o procesos de producción iniciados (p. ej. de la industria química) pueden finalizarse. Al producirse el primer fallo, el conductor de potencial asume el potencial del conductor exterior defectuoso, lo que no supone riesgo alguno, ya que a través del conductor de protección todos los cuerpos y piezas de metal que puedan ser tocados adoptan este potencial y por tanto no es necesario puentear diferencias de potencial peligrosas. Hay que tener en cuenta que, al producirse el primer caso de fallo, la tensión del sistema IT de los conductores no afectados de fallo contra tierra, se corresponde con la tensión entre los conductores exteriores. De este modo, en un sistema IT de 230/400 V en caso de un DPS defectuoso, asume en los DPS no defectuosos una tensión de 400 V. Esta posible situación de servicio debe ser tenida en cuenta al elegir los DPS, en lo que se refiere a su máxima tensión permanente.

Al analizar los sistemas IT hay que diferenciar entre sistemas IT con conductor neutro integrado y sistemas IT sin conductor neutro integrado. En los sistemas IT sin conductor neutro integrado, los DPS se conectan en el denominado circuito “3-0” entre cada conductor exterior y el conductor PE.

Para sistemas IT con conductor neutro integrado puede aplicarse tanto el circuito “4-0” como también el circuito “3+1”. Al utilizar el circuito “3+1” hay que asegurarse de que en la vía N-PE también se encuentre instalado un DPS con una capacidad de apagado de corrientes consecutivas conforme con las condiciones del sistema.

Los valores de las tensiones permanentes máximas en el caso de instalación de DPS de los Tipos 1, 2 y 3 en sistemas IT con y sin conductor neutro integrado se recogen en la **figura 8.1.5.1a** (hasta c).

En caso de un segundo fallo en un sistema IT, tiene que dispararse un dispositivo de protección. Para la

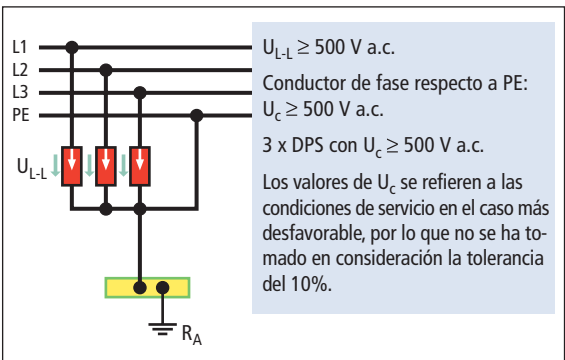


Fig. 8.1.5.1a: Sistema IT sin conductor neutro integrado:
Variante de conexión “3-0”.

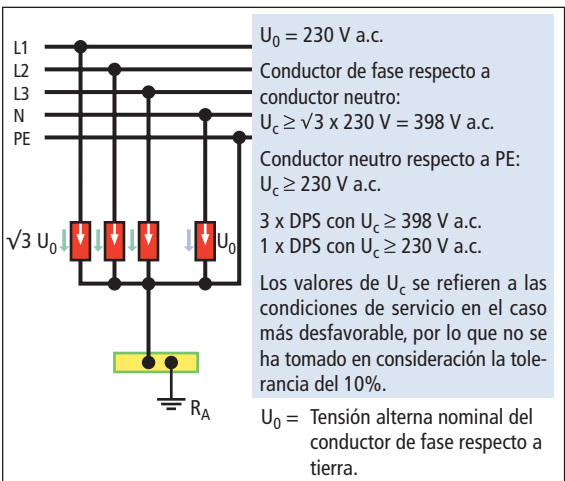


Fig. 8.1.5.1b: Sistema IT con conductor neutro integrado:
Variante de conexión “4-0”.

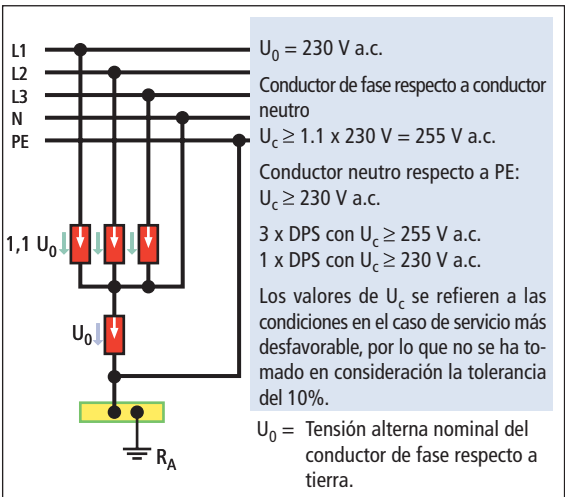


Fig. 8.1.5.1c: Sistema IT con conductor neutro integrado:
Variante de conexión “3+1”.

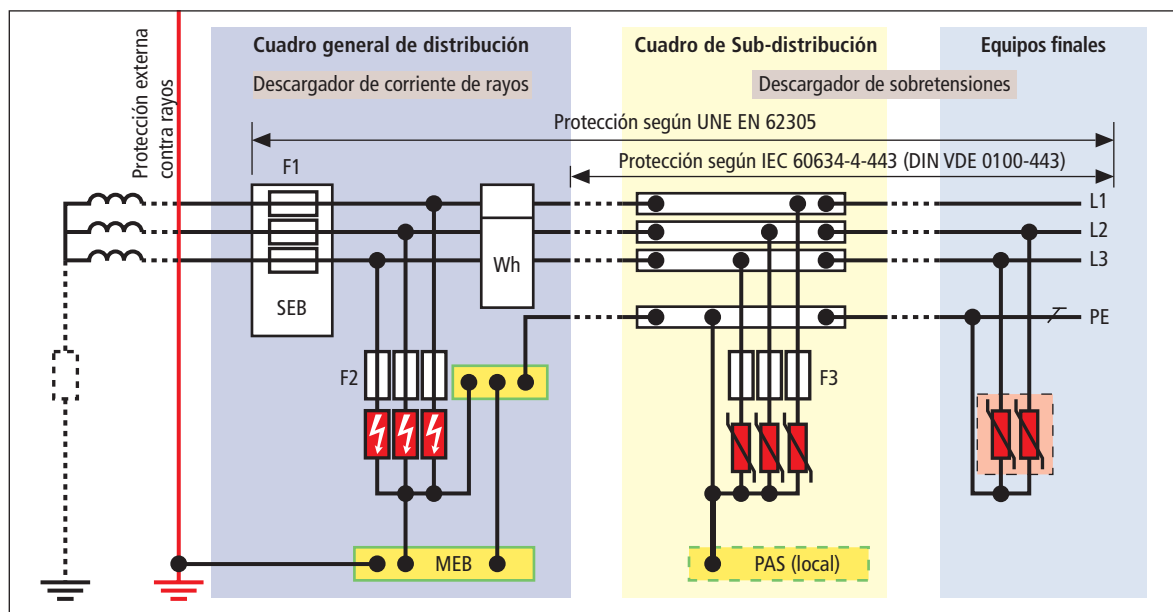


Fig. 8.1.5.2: Instalación de descargadores en un sistema IT sin conductor neutro integrado.

instalación de DPS en un sistema IT en relación con un dispositivo de protección para la "Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones de fallo" son válidas las indicaciones que figuran en el capítulo 8.1. y 8.2 para el sistema TN y para el sistema TT.

De este modo, también en el sistema IT es aconsejable la instalación de DPS Tipos 1 y 2 por delante de un RCD. En las figuras 8.1.5.2 y 8.1.5.3 se muestran ejemplos de conexión para la instalación de DPS en un sistema IT sin conductor neutro integrado.

La figura 8.1.5.4 muestra la instalación de DPS en sistemas IT con conductor neutro integrado.

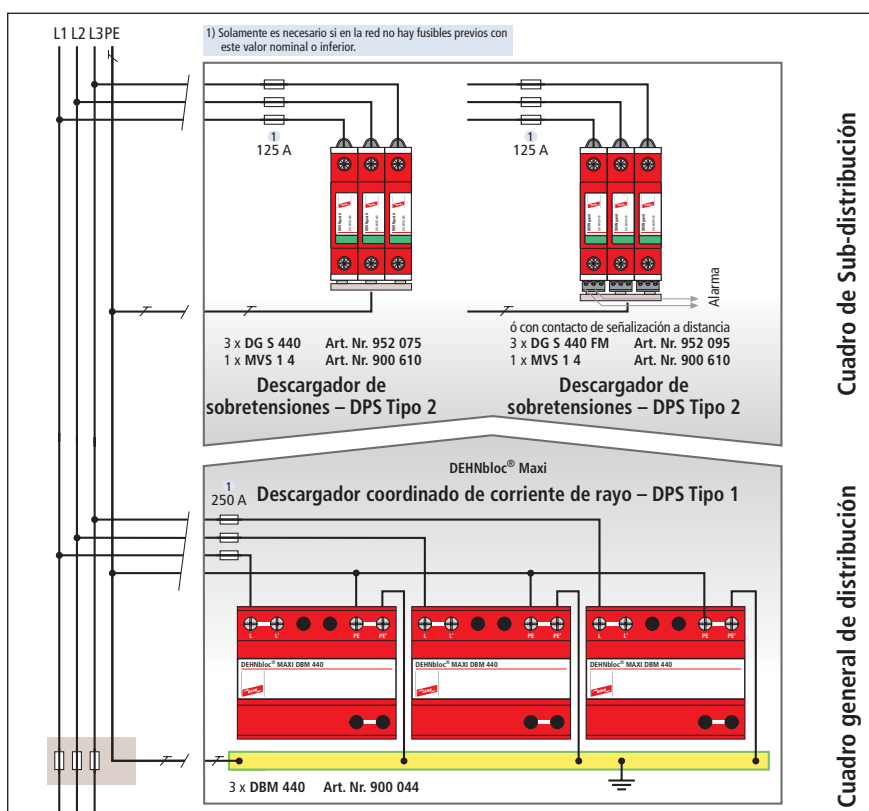


Fig. 8.1.5.3: Instalación de DPS en un sistema IT de 400 V - Ejemplo sin conductor neutro integrado.

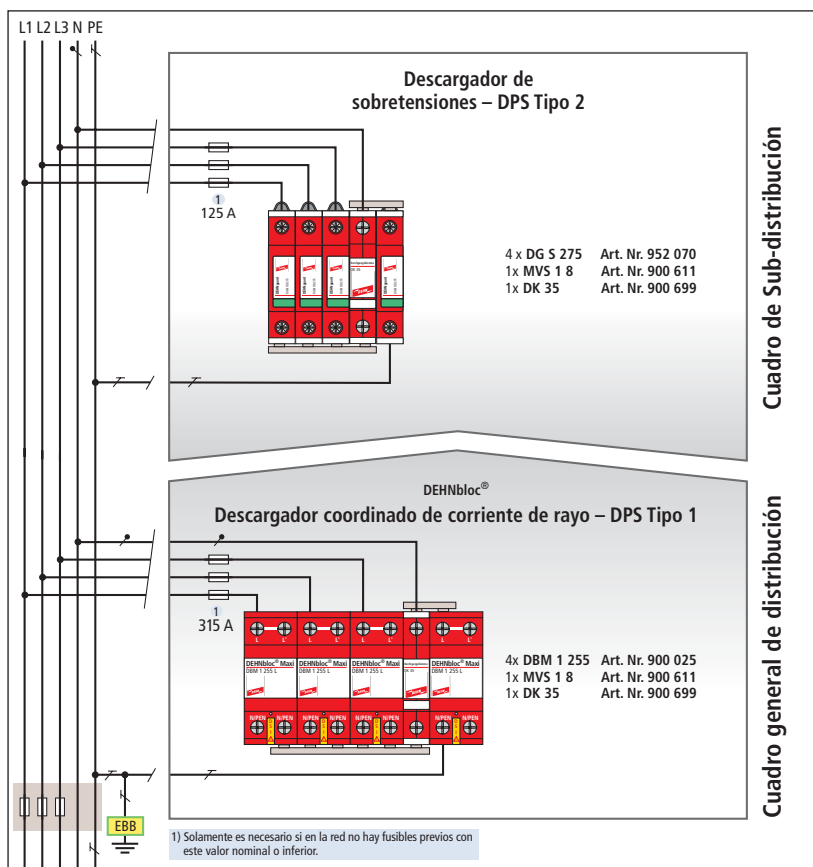


Fig. 8.1.5.4: Instalación de DPS en un sistema IT de 230/400 V – Ejemplo con conductor neutro integrado.

8.1.6 Dimensionado de la longitud de los conductores de conexión para DPS

El dimensionado de las longitudes de conexión de aparatos de protección contra sobretensiones es una parte esencial de la directriz de instalación de este tipo de dispositivos IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534).

Los aspectos que se citan a continuación son, con mucha frecuencia, motivos de reclamaciones en inspecciones efectuadas por técnicos, colaboradores de entidades de inspección, etc.

Técnica de conexión en –V- según IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534)

El nivel de tensión de choque que está aplicado realmente en la instalación a proteger es determinante para la protección de la misma y de los consumidores conectados a ella. Cuando el nivel de la tensión de choque en el equipo a proteger coincide con el nivel

de protección del DPS, se logra un efecto óptimo de protección.

Por esta razón, en la norma IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-53), en el caso de los DPS, se aconseja una conexión en serie (conexión en V) según la **figura 8.1.6.1**. En este caso, no se utilizan conductores en paralelo para la conexión de los aparatos de protección contra sobretensiones.

Técnica de conexión en paralelo según IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534)

No siempre es posible realizar el conexionado en serie.

La corriente nominal de la instalación, en el caso de un conexionado en –V- debe pasar por las bornas de conexión y esto determina una limitación debido a la capacidad térmica de carga de las mismas. Por esta razón, el fabricante del DPS, exige un determinado valor máximo tolerado de fusibles previos, lo que en sistemas con corrientes nominales de servi-

cio muy grandes lleva a que, en ciertos casos, no se pueda aplicar el cableado en –V-.

La industria, sin embargo, dispone de las denominadas “Bornas de conexión de dos conductores” o bornas de casquillo de conexión, con las que se pueden solucionar mejor estos problemas. Así, se pueden mantener reducidas las longitudes de conexión al aumentar la corriente nominal de servicio. Al utilizar estas “Bornas de conexión de dos conductores” debe tenerse muy en cuenta el valor de los fusibles previos indicado por el fabricante. (**Figuras 8.1.6.2 y 8.1.6.3**).

Si definitivamente se prescinde del cableado en serie (–V-) los DPS deben instalarse en una rama paralelo del circuito de corriente. Si el valor nominal de los fusibles de la instalación situados más próximos al DPS sobrepasa la intensidad de la corriente nominal de los fusibles máximos tolerados por éste, la rama paralelo tiene que equiparse con unos fusibles previos para el DPS (**Figura 8.1.6.4**), o bien hay que utili-

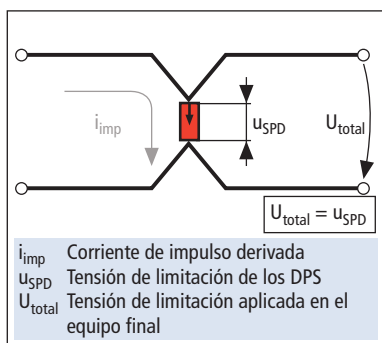


Fig. 8.1.6.1: Conexión de aparatos de protección contra sobretensiones en técnica de conexión en -V.

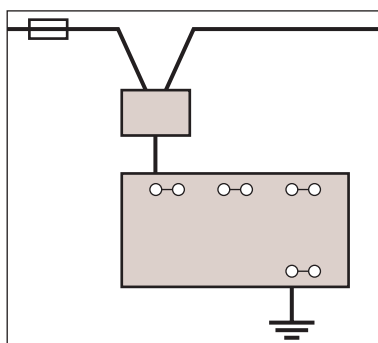


Fig. 8.1.6.2: Principio de la "Borna de conexión de dos conductores" (TCT) – Representación unipolar.



Fig. 8.1.6.3: Casquillo de borna de conexión tipo STAK 2x16.

zar DPS con fusibles previos integrados (Figuras 8.1.6.5 y 8.1.6.6).

Al activarse el dispositivo de protección contra sobretensiones en la rama paralelo, la corriente de derivación pasará por elementos suplementarios (conductores, fusibles) que pueden ocasionar caídas de tensión adicionales.

Aquí puede constatarse que la componente óhmica es despreciablemente pequeña en contraposición a la componente inductiva.

Teniendo en cuenta la ecuación:

$$u_{dyn} = i \cdot R + \left(\frac{di}{dt} \right) L$$

Y considerando las velocidades de variación de la corriente (di/dt) en casos de procesos transitorios de algunos 10 kA/ μ s, la caída de tensión U_{dyn} generada en estos elementos, estará determinada esencialmente por la componente inductiva.

Para mantener esta caída dinámica de tensión lo más pequeña posible, la inductividad del cable de conexión y, con ello también su longitud, tiene que ser lo más pequeña posible. En la norma IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534) se recomienda, por lo tanto, que la longitud total de conexión de aparatos de protección contra sobretensiones en derivación no sea superior a 0,5 m (Figura 8.1.6.7).

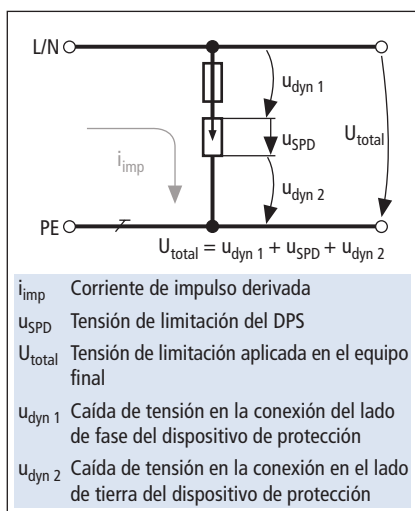


Fig. 8.1.6.4: Conexión de dispositivos de protección contra sobretensiones en paralelo.



Fig. 8.1.6.5: DEHNbloc Maxi S: Descargador coordinado de corriente de rayo para embarrados con fusibles previos integrados.



Fig. 8.1.6.6: Descargador de sobretensiones NV NH Tipo 2 para instalación en bases de fusibles NH.

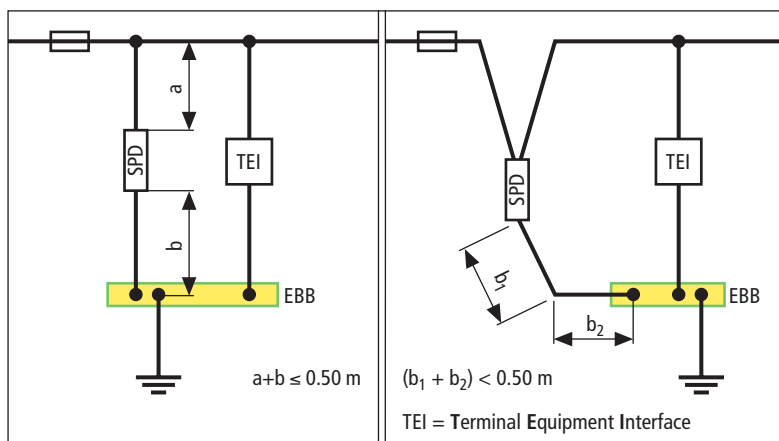


Fig. 8.1.6.7: Longitudes máximas para cables recomendadas para dispositivos de protección contra sobretensiones en la rama paralelo.

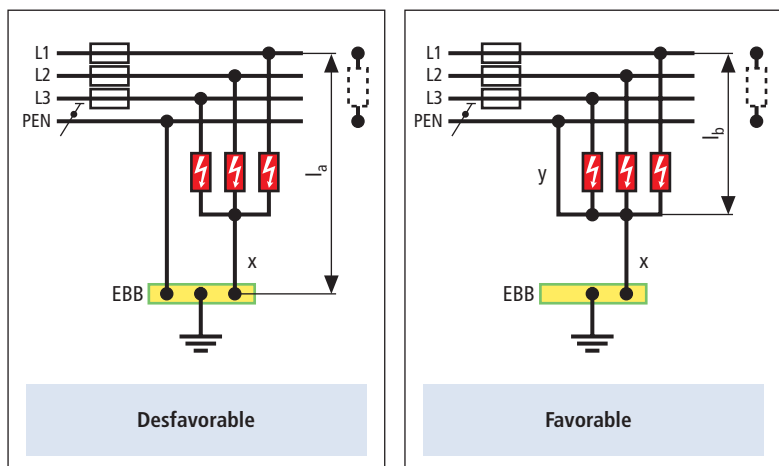


Fig. 8.1.6.8a: Desde el "punto de vista del consumidor" guiado desfavorable de conductor.

Fig. 8.1.6.8b: Desde el "punto de vista del consumidor" guiado favorable de conductor.

Configuración del cable de conexión en el lado de tierra

Esta exigencia, aparentemente muy difícil de poner en práctica, vamos a explicarla con ayuda de las **figuras 8.1.6.8a y b**. En ellas se muestra la compensación principal de potencial (en el futuro: compensación de potencial de protección) de una instalación de consumidores de baja tensión según IEC 60364-4-41 (DIN VDE 0100-410) e IEC 60364-5-54 (DIN VDE 0100-540), completándose aquí la utilización de dispositivos de protección contra sobretensiones del Tipo 1 con la compensación de potencial para protección contra rayos.

La **figura 8.1.6.8a** muestra como se han instalado ambas medidas separadas una de otra. Para ello, el PEN se ha conectado con el carril de compensación de potencial y, a través de un cable separado de compensación de potencial, se ha efectuado la conexión de la toma de tierra de los dispositivos de protección contra sobretensiones.

La longitud efectiva de conexión (l_a) para los dispositivos de protección contra sobretensiones es, de este modo, la distancia existente entre el lugar de instalación del DPS (p. ej. caja de conexión de la casa, cuadro general de distribución) hasta la barra de compensación de potencial. Con una configuración de este tipo, en muy pocos casos puede lograrse una protección efectiva de la instalación.

Sin embargo, sin grandes costes adicionales, se puede reducir la longitud efectiva de conexión de los dispositivos de protección contra sobretensiones ($l_b < 0,5 \text{ m}$) mediante un guiado del cable según **figura 8.1.6.8b**.

Esto se consigue mediante un conductor "By-pass" (y) desde la salida en el lado de tierra del descargador hacia PEN. La conexión de la salida en el lado de tierra del descargador hacia la barra de compensación de potencial (x) continúa manteniéndose.

Según la directriz VDN 2004-08: "Dispositivos de protección contra sobretensiones Tipo 1. Directriz para la utilización de dispositivos de protección contra sobretensiones (ÜSE) Tipo 1 (hasta ahora clase de exigencias B) en sistemas principales de corriente", solamente puede prescindirse del conductor (y) cuando el dispositivo de protección contra sobretensiones está instalado muy próximo ($\leq 0,5 \text{ m}$) a la caja de conexiones de la casa y junto a la compensación de potencial.

La solución de este problema se refería exclusivamente a la configuración del cable de conexión en el lado de tierra de los dispositivos de protección contra sobretensiones.

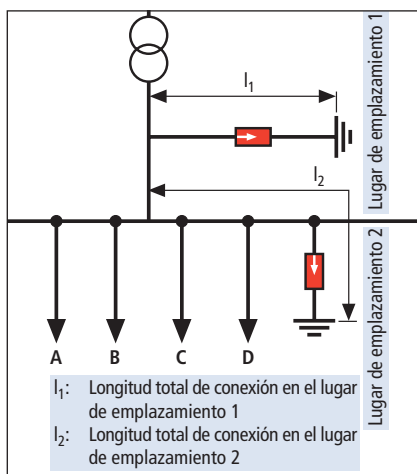


Fig. 8.1.6.9: Disposición de dispositivos de protección contra sobretensiones en una instalación y las longitudes de conductor efectivas resultantes.

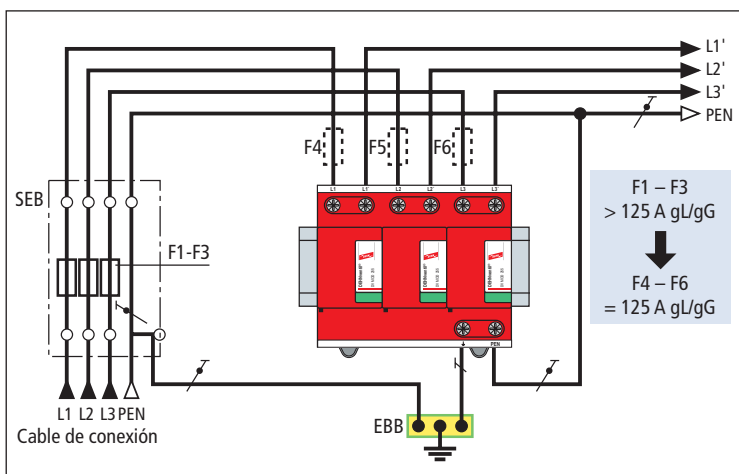


Fig. 8.1.6.10: Cableado serie.

Configuración del cable de conexión en el lado de fase

También es importante tener en cuenta la longitud del cable de conexión en el lado de fase. A este respecto vamos a exponer el siguiente ejemplo:

En una instalación de conexión muy extensa en términos de longitud de cableado, debe instalarse una protección contra sobretensiones para el embarrado y para los circuitos conectados (A hasta D) con sus correspondientes consumidores. (Figura 8.1.6.9).

Para la instalación de los dispositivos de protección contra sobretensiones se consideran los lugares de emplazamiento 1 y 2. El lugar de emplazamiento 1 se encuentra situado inmediatamente junto a la entrada de alimentación del sistema. Esta ubicación garantiza el mismo nivel de protección contra sobretensiones para todos los consumidores. La longitud efectiva de conexión del aparato de protección contra sobretensiones en el lugar de emplazamiento 1 es la medida I_1 para todos los consumidores. Algunas veces, por razones de espacio, se elige como lugar de emplazamiento de los dispositivos de protección contra sobretensiones el embarrado. En un caso extremo tendríamos la disposición considerada en la figura 8.1.6.9. En este supuesto, la longitud efectiva de conexión será I_2 . Los sistemas de embarrados, tienen una reducida

inductividad en comparación con cables y conductores (aprox. 1/4) y con ello una caída de tensión inductiva baja. Sin embargo, esto no significa que pueda obviarse.

La disposición de los cables de conexión tiene una influencia determinante en el grado de eficacia de los dispositivos de protección contra sobretensiones.

Los contenidos de la norma IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-534) arriba descritos, fueron tenidos muy en cuenta en el desarrollo del nuevo descargador combinado de corriente de rayo y sobretensiones DEHNventil, el cuál, en un solo dispositivo, unifica las exigencias de los descargadores de corriente de rayo y de sobretensiones, de acuerdo con las normas UNE EN 62305-1-4 (IEC 62305-1-4).



Fig. 8.1.6.11: Cableado serie en -V- del descargador combinado de corriente de rayo y sobretensiones DEHNventil M TNC mediante regleta de peine.

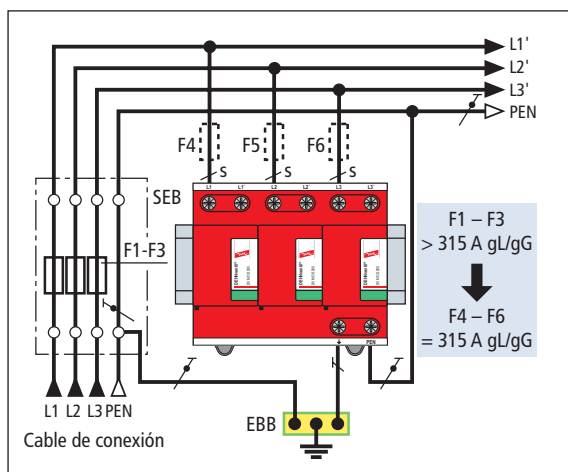


Fig. 8.1.6.12: Cableado paralelo.

Así, es posible realizar un cableado en –V- directamente sobre el equipo de protección. Ver **figura 8.1.6.10**.

En la **figura 8.1.6.11** puede verse cómo hacer un cableado en –V- con ayuda de una regleta de peine.

El cableado serie en forma de –V- es válido hasta un valor máximo 125 A debido a la capacidad de carga térmica de las bornas dobles que incorpora el descargador.

Para el caso de corrientes de instalación > 125 A, la conexión de los dispositivos de protección contra sobretensiones debe hacerse en paralelo.

En estos casos hay que tener muy en cuenta las longitudes máximas de conexión según norma IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-453). La **figura 8.1.6.12** muestra un cableado paralelo.

En este contexto es de señalar que, también en este caso, la borna doble facilita el conexionado del cable de tierra. Aquí, como se muestra en la **figura 8.1.6.12**, con frecuencia y sin grandes costes, puede alcanzarse una longitud efectiva de conexión <0,5 m mediante el guiado del conductor desde la borna marcada como “PE” de la borna doble en el lado de tierra, hacia el conductor PEN.

En la instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones, como norma general, debe tenerse en cuenta que los cables afectados de corriente de choque y los cables no afectados por corriente de choque deben tenderse lo más separados posible uno de otro. En cualquier caso, hay que evitar un tendido directo en paralelo de ambos cables (**Figura 8.1.6.13**).

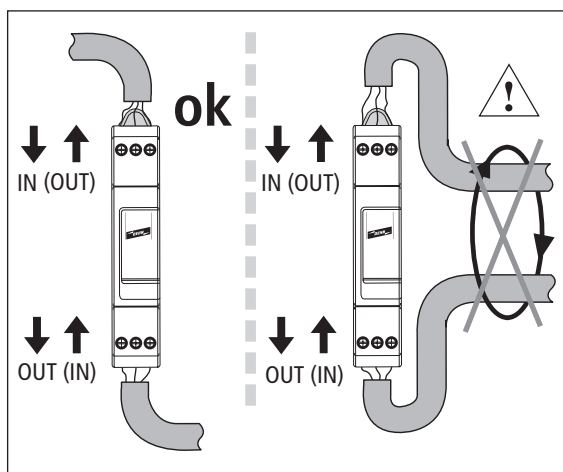


Fig. 8.1.6.13: Guiado del cable.

8.1.7 Secciones de conexión y dimensionamiento de la protección previa de los descargadores de sobretensiones

Los cables de conexión de los descargadores pueden estar sometidos a esfuerzos de corrientes de choque, de servicio y de cortocircuito. Las diferentes cargas dependen de diversos factores:

- ⇒ Tipo del circuito de protección un-puerto (**Figura 8.1.7.1**) o dos-puertos (**Figura 8.1.7.2**).
- ⇒ Tipo de descargador: Descargador de corriente de rayo, descargador combinado de corriente de rayo y sobretensiones o dispositivos de protección contra sobretensiones.

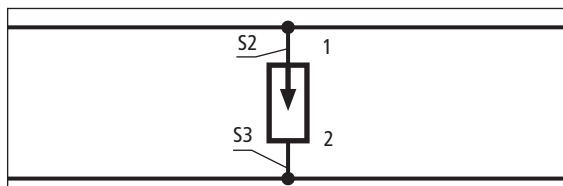


Fig. 8.1.7.1: Circuito de protección. Un puerto.

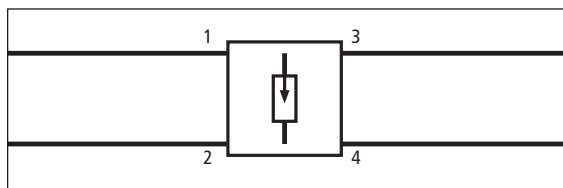


Fig. 8.1.7.2: Circuito de protección. Dos puertos.

Material del conductor	Material del aislamiento		
	PVC	EPR / XLPE	Goma
Cu	115	143	141
Al	76	94	93

Tabla 8.1.7.1: Coeficiente del material k para conductores de cobre y de aluminio con diferentes materiales de aislamiento (según IEC 60364-4-43).

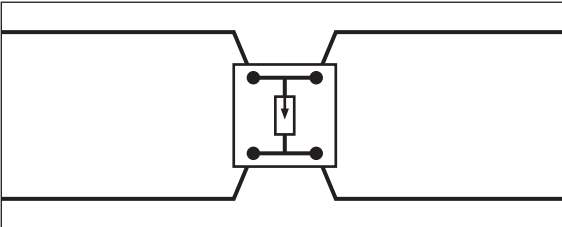


Fig. 8.1.7.3: DPS con cableado serie.

⇒ Comportamiento del descargador respecto de corrientes consecutivas: capacidad de apagado y limitación de las mismas.

Si se instalan dispositivos de protección contra sobretensiones según **figura 8.1.7.1**, los cables de conexión S2 y S3 deben dimensionarse de conformidad con los criterios de la protección contra cortocircuitos según IEC 60364-4-43 (DIN VDE 0100-430) y según su capacidad para soportar corrientes de choque. En la hoja de datos técnicos del dispositivo de protección se indica el máximo valor de protección contra sobrecorriente admisible, que puede instalarse para el descargador en el marco del concepto de protección previa.

En la instalación de los DPS hay que prestar atención a que la corriente de cortocircuito que efectivamente fluye, no impida el eventual funcionamiento de la protección previa existente. El dimensionado de la sección del conductor se obtiene en base a la ecuación siguiente:

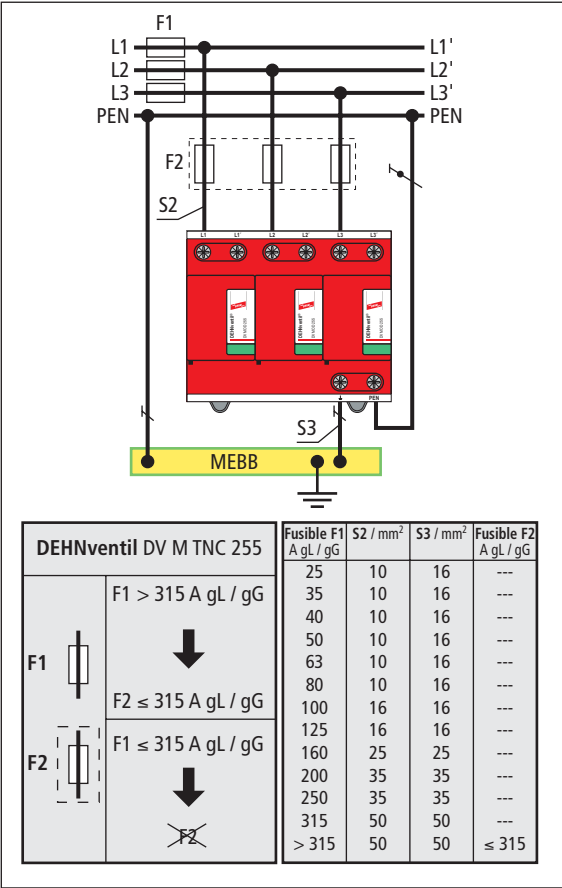


Fig. 8.1.7.4: Ejemplo DEHNventil DV TNC 255.

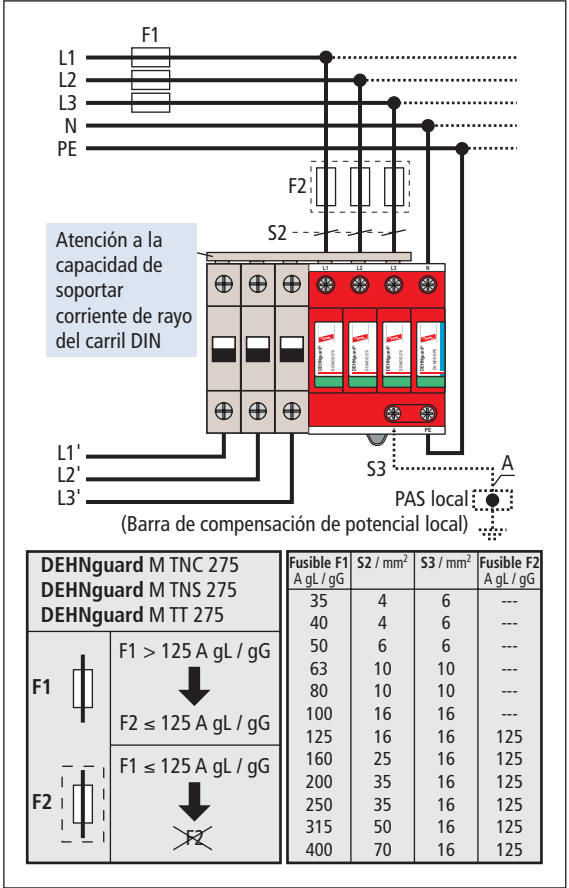


Fig. 8.1.7.5: Ejemplo de un DEHNguard (M) TNC/TNS/TT.

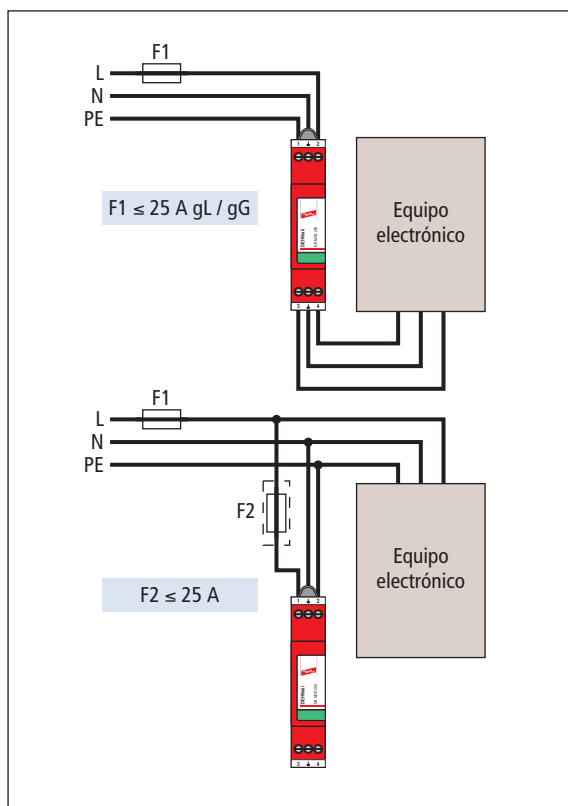


Fig. 8.1.7.6: Ejemplo DEHNrail.

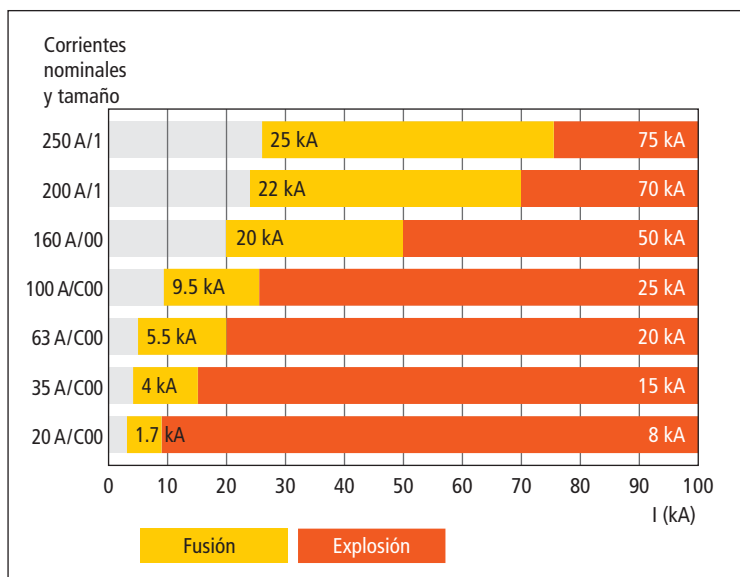


Fig. 8.1.7.7: Comportamiento de fusibles NH durante cargas por corrientes de choque de 10/350 μs.

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

siendo:

- t Tiempo tolerado de desconexión en caso de cortocircuito en s.
- S Sección del conductor en mm².
- I Corriente en caso de cortocircuito completo en A.
- k Coeficiente del material en A · s/mm² según **tabla 8.1.7.1**.

Por otra parte, hay que tener en cuenta el valor de la resistencia indicada frente a cortocircuito asignada al descargador. Si la corriente de cortocircuito en el lugar de emplazamiento es superior al valor de la resistencia a cortocircuito indicada para el aparato de protección, hay que seleccionar unos fusibles previos adecuados. Estos fusibles deben ser más pequeños que los fusibles máximos indicados en la hoja técnica del descargador en una relación 1: 1.6.

En el caso de dispositivos de protección contra sobretensiones instalados según **figura 8.1.7.2**, la corriente máxima de servicio no debe superar la corriente nominal de carga indicada en los mismos. En los aparatos de protección con posibilidad de instalación en serie se aplica la corriente máxima del cableado interno de paso (**Figura 8.1.7.3**).

Las secciones de conexión y la protección previa para descargadores de corriente de rayo y descargador combinado de corriente de rayo y sobretensiones del Tipo 1, se recogen en la **figura 8.1.7.4**.

La **figura 8.1.7.5** muestra las secciones de conexión y los fusibles previos para los descargadores de Tipo 2. Y la **figura 8.1.7.6** hace lo propio respecto de los descargadores de sobretensión del Tipo 3.

El dimensionado de fusibles previos para DPS se efectúa tomando en consideración el comportamiento de éstos frente a la corriente de choque. Los fusibles presentan claras diferencias en la desconexión de corrientes de cortocircuito en comparación con los esfuerzos derivados de corrientes de choque, en especial con corrientes de choque de rayo de la forma de onda 10/350 μs.

El comportamiento de los fusibles previos viene determinado en función del valor de la corriente de choque de rayo (**Figura 8.1.7.7**).

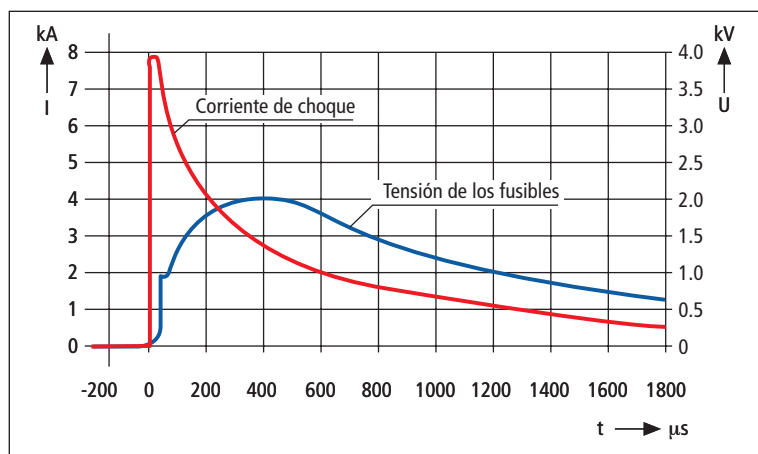


Fig. 8.1.7.8: Corriente y tensión en unos fusibles de 25 A NH sometidos a corrientes de rayo (10/350 μs).

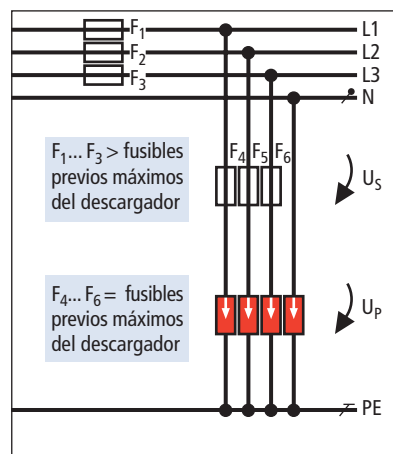


Fig. 8.1.7.9: Instalación de fusibles previos separados para dispositivos de protección contra sobretensiones.

Caso 1: No hay fusión

La energía generada por la corriente de choque de rayo es demasiado baja para provocar la fusión del fusible.

Caso 2: Fusión

La energía de la corriente de choque de rayo es suficiente para hacer que se fundan los fusibles y con ello interrumpir el paso de corriente a través de los mismos. (Figura 8.1.7.8).

Los fusibles no deben interferir el paso de la corriente de rayo. Los fusibles se activan después de que se haya atenuado la corriente de choque de rayo.

Por tanto, no son selectivos en lo que se refiere a la capacidad de desconexión en caso de corrientes de choque de rayo. En consecuencia, deben utilizarse siempre los fusibles previos máximos indicados en las correspondientes instrucciones de montaje del dispositivo de protección.

En la figura 8.1.7.8 puede verse también que, durante el proceso de fusión, a través de los fusibles se origina una caída de tensión que puede estar claramente por encima de 1 kV. En aplicaciones como las expuestas en la figura 8.1.7.9, la fusión de unos fusibles puede llevar a que el nivel de protección de la instalación sea significativamente más alto que el nivel de protección de los dispositivos de protección contra sobretensiones instalados.

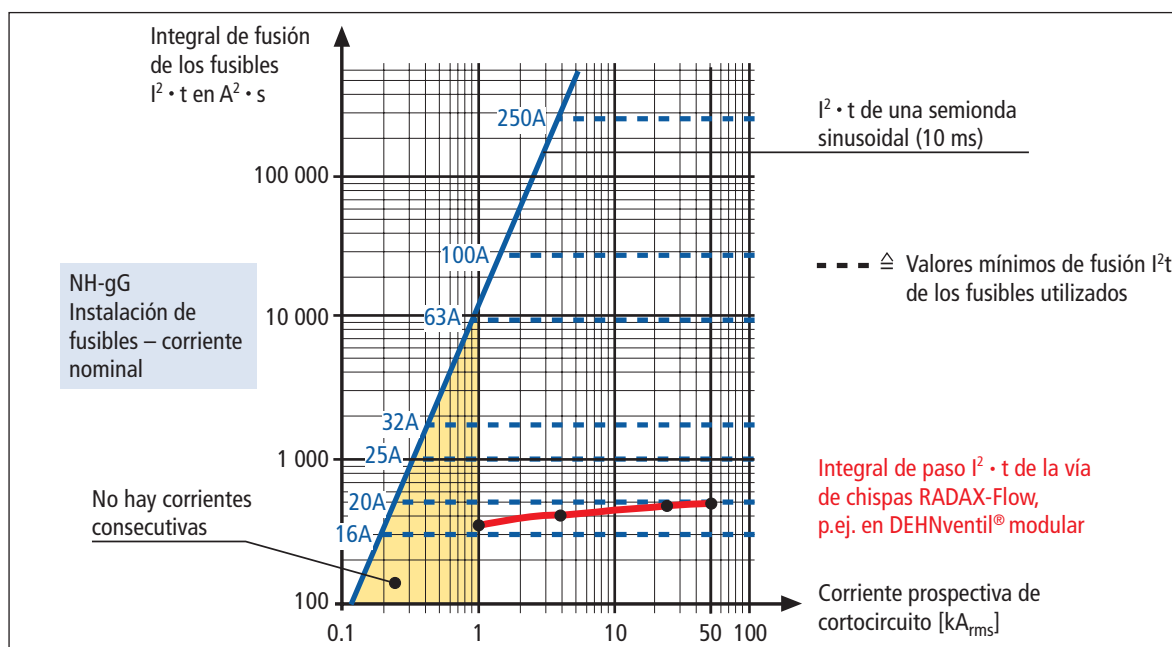
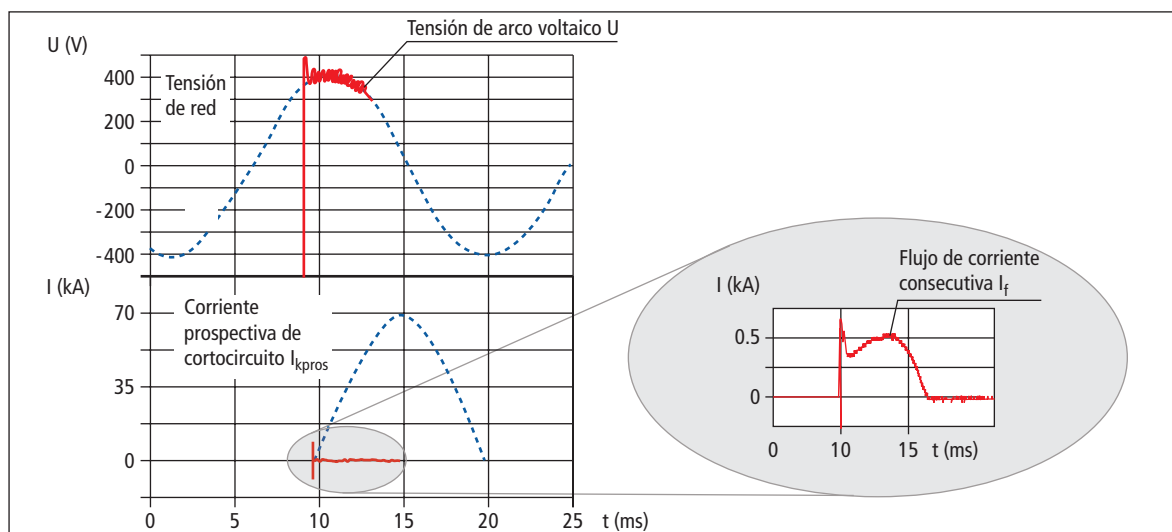
Caso 3: Explosión

Si la energía de la corriente de choque de rayo está muy por encima de la energía de pre-arco de los fusibles,

puede suceder que el filamento de los mismos se evapore en forma de explosión. La destrucción de la carcasa de los fusibles suele ser la consecuencia inmediata de ello. Además de las consecuencias mecánicas hay que tener en cuenta que la corriente de choque de rayo, en forma de arco voltaico, sigue fluyendo a través de los fusibles en proceso de destrucción. Por ello, la corriente de choque de rayo no se interrumpe. Por esa misma razón, no se puede reducir la capacidad soportar corrientes de rayo del descargador empleado.

Selectividad para protección de las instalaciones

En la aplicación de dispositivos de protección contra sobretensiones sobre la base de vías de chispas (spark-gap) es importante destacar que la corriente consecutiva de red iniciada se limitará de tal modo que los elementos de protección contra sobrecorriente, como son por ejemplo los fusibles de protección de conductores y/o los fusibles previos de descargadores, no se disparen. Esta propiedad de los dispositivos de protección se denomina limitación de corrientes consecutivas, o supresión de corrientes consecutivas. Únicamente con técnicas sofisticadas, como la tecnología RADAX-Flow, se consigue desarrollar descargadores y combinaciones de descargadores que, incluso en caso de corrientes de cortocircuito de la instalación muy elevadas, son capaces de reducir y de apagar de tal manera la corriente prospectiva de cortocircuito, que los fusibles preinstalados con corrientes de dimensionado más pequeñas no llegan a dispararse. (Figura 8.1.7.10).



La disponibilidad de las instalaciones exigida en la norma EN 60439-1, incluso en caso de activación de los dispositivos de protección contra sobretensiones, se garantiza con la utilización de equipos de protección que incorporan esta capacidad de limitación de corrientes consecutivas. En los dispositivos de protección contra sobretensiones con baja tensión de cebado, que no sólo deben cumplir en la instalación la

tarea de compensación de potencial para protección contra rayos, sino también la protección contra sobretensiones en la instalación, es especialmente importante su comportamiento frente a la limitación de corrientes consecutivas, para garantizar la continuidad de servicio y disponibilidad de la instalación eléctrica (Figura 8.1.7.11).

8.2 Sistemas de transmisión de datos

La primera función de los descargadores es la protección de los equipos finales postconectados y, al propio tiempo, reducir el riesgo de daños en los conductores.

La elección de los descargadores depende, entre otras, de las siguientes consideraciones:

- ⇒ Zonas de protección contra el rayo, si existen.
- ⇒ Energías que se han de derivar.
- ⇒ Disposición de los dispositivos de protección.
- ⇒ Resistencia a perturbaciones de los equipos finales.
- ⇒ Protección contra perturbaciones simétricas y/o asimétricas.
- ⇒ Exigencias del sistema, p. ej. parámetros de transmisión.
- ⇒ Coincidencia con normas específicas de producto o de aplicación, si se exigen.
- ⇒ Adaptación a las condiciones medioambientales/condiciones de instalación.

Los dispositivos de protección para cables de antena se clasifican de acuerdo con su idoneidad para sistemas coaxiales, simétricos o huecos, dependiendo de la ejecución física de los cables de antena.

En sistemas coaxiales y de conductor hueco, por lo

regular el conductor de protección puede conectarse directamente con la compensación de potencial, para lo cual son apropiados manguitos de toma de tierra.

Procedimiento para la selección e instalación de descargadores:

Ejemplo BLITZDUCTOR CT

Contrariamente a lo que sucede en la elección de dispositivos de protección para sistemas de alimentación de energía, (ver capítulo 8.1), donde en un sistema de 230/400 V cabe contar con condiciones unificadas en los que se refiere a la tensión y a la frecuencia, en los sistemas de automatización existen diversos tipos de señales a transmitir, en relación con:

- ⇒ Tensión (p. ej. 0-10 V).
- ⇒ Corriente (p. ej. 0-20 mA, 4-20 mA).
- ⇒ Referencia de la señal (simétrica, asimétrica).
- ⇒ Frecuencia (DC, NF, HF).
- ⇒ Tipo de señal (analógica, digital).

Cada una de estas magnitudes eléctricas de la señal a transmitir, puede contener la información que realmente debe transmitirse.

Por eso la señal no debe verse influenciada por la disposición de descargadores de corriente de rayo y de

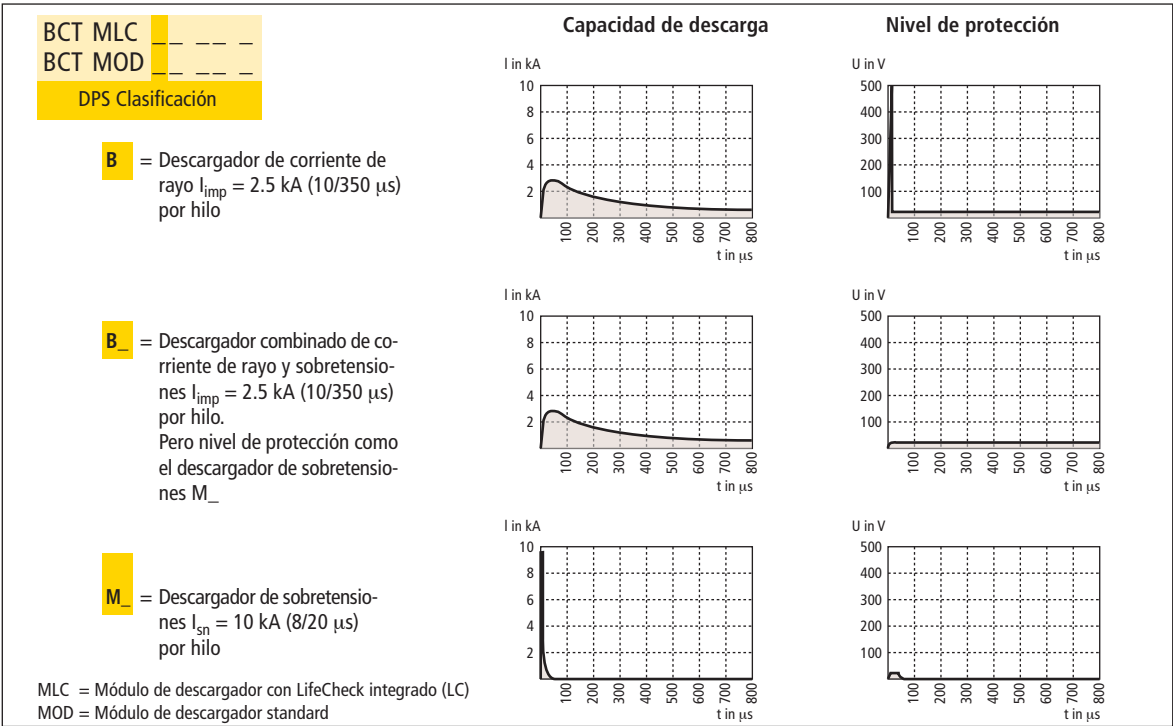


Fig. 8.2.1: Clasificación de los DPS.

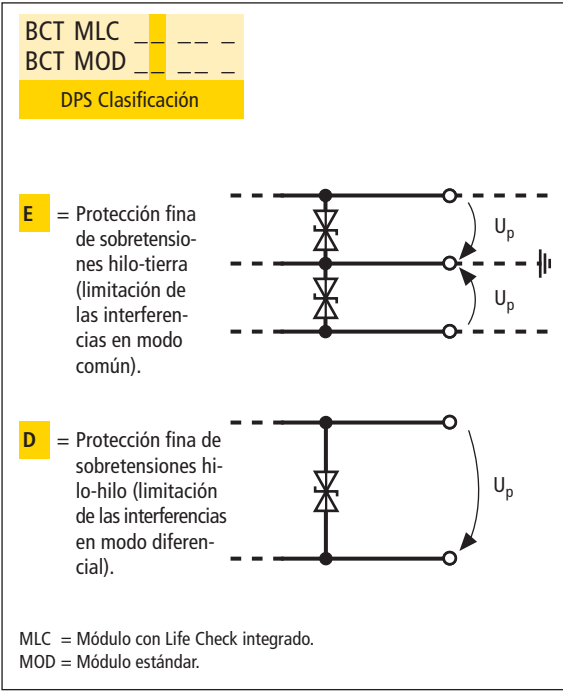


Fig. 8.2.2: Comportamiento de limitación.

sobretensiones en instalaciones de medición, control y regulación (MCR). A este respecto, a la hora de elegir los dispositivos de protección deben tenerse en cuenta determinadas variables para conseguir que el circuito de protección sea compatible con la señal a proteger. A continuación, se describen y se ilustran casos prácticos de aplicación, utilizando como ejemplo el equipo de protección universal BLTZDUCTOR CT (Figuras 8.2.1 hasta 8.2.4. y tabla 8.2.1).

Identificación de los módulos de protección

- C** Limitación suplementaria de tensiones transversales y resistencias de desacoplo adicionales en la salida del BLITZDUCTOR CT para desacoplo de los diodos de protección con eventuales diodos situados en la entrada del aparato a proteger (p. ej. diodos Clamping, diodos optoacopladores).
- HF** Ejecución especial para protección de transmisión de señales de alta frecuencia (Instalación de una matriz de diodos para limitación fina de sobretensiones). Limitación de tensiones longitudinales y transversales.
- EX** Equipo de protección para instalación en circuitos de medida auto-protectidos, homologación ATEX y FISCO (Resistencia de la tensión contra tierra 500 V AC).

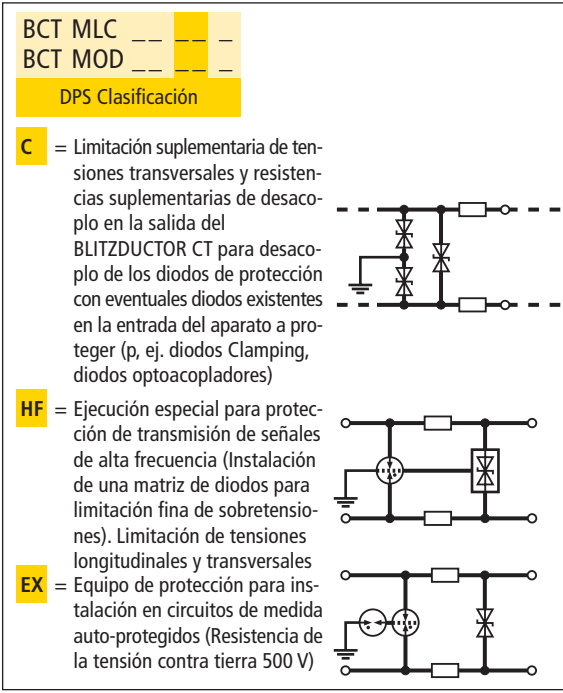


Fig. 8.2.3: Observaciones sobre aplicaciones especiales.

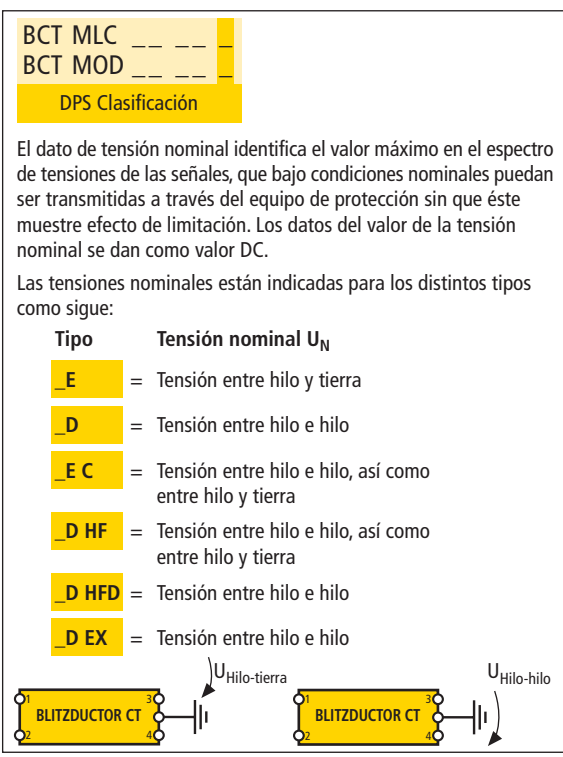


Fig. 8.2.4: Tensión nominal.

MLC B	110	MOD B	110
MLC BE	5	MOD ME	5
MLC BE	12	MOD ME	12
MLC BE	15	MOD ME	15
MLC BE	24	MOD ME	24
MLC BE	30	MOD ME	30
MLC BE	48	MOD ME	48
MLC BE	60	MOD ME	60
MLC BE	110	MOD ME	110
MLC BD	5	MOD MD	5
MLC BD	12	MOD MD	12
MLC BD	15	MOD MD	15
MLC BD	24	MOD MD	24
MLC BD	30	MOD MD	30
MLC BD	48	MOD MD	48
MLC BD	60	MOD MD	60
MLC BD	110	MOD MD	110
MLC BD	250	MOD MD	250
MLC BE C	5	MOD ME C	5
MLC BE C	12	MOD ME C	12
MLC BE C	24	MOD ME C	24
MLC BE C	30	MOD ME C	30
MLC BD HF	5	MOD MD HF	5
MLC BD HFD	5	MOD MD HFD	5
MLC BD HFD	24	MOD MD HFD	24
		MOD MD EX	24
		MOD MD EX	30
		MOD MD EX HFD	6

Tabla 8.2.1: Identificación de tipos de los módulos de protección BCT.

Datos técnicos

Nivel de protección U_p

El nivel de protección de un DPS es la capacidad del protector de limitar la tensión de salida en las bornas de conexión. La tensión residual que deja pasar una vez haya actuado la protección.

En los DPS destinados a instalarse en redes de transmisión de datos, el nivel de protección debe adaptarse a la resistencia frente a perturbaciones electromagnéticas de los equipos a los que se pretende proteger.

Tensión de limitación con una pendiente de la onda de tensión de prueba utilizada de 1 kV/ μ s

Esta prueba sirve para determinar el comportamiento de respuesta de descargadores de gas (gas discharge tubes: GTD). Estos elementos de protección tienen una "Característica de conmutación". El funcionamiento de un GTD puede describirse como el de un interruptor, cuya resistencia, al sobrepasarse un determinado valor de la tensión puede saltar "automáticamente" desde >10 G Ω (en situación de no encendido) a valores de <0,1 Ω (en situación de encendido), de manera que la sobretensión aplicada casi es cortocircuitada. El

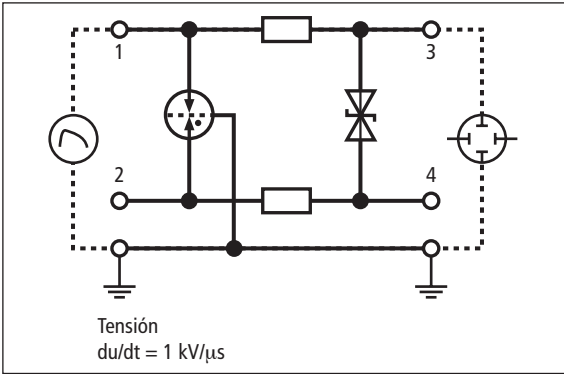


Fig. 8.2.5: Estructura de prueba para determinación de la tensión de limitación con una velocidad de elevación de la tensión du/dt = 1 kV/ μ s.

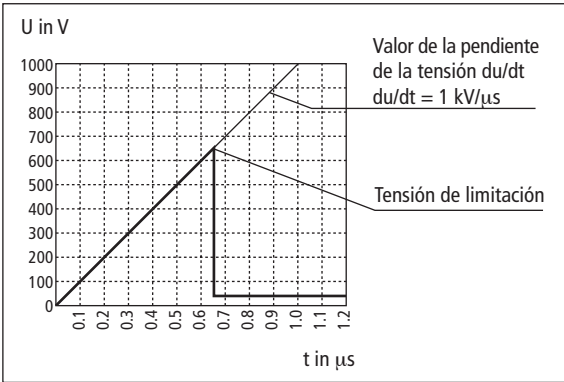


Fig. 8.2.6: Comportamiento de cebado de un DPS con du/dt = 1 kV/ μ s.

B	1 A	ME	1 A
BE	1 A	MD	1 A
BD	1 A	ME C	0.1 A
BE C	0.1 A	MD HF	0.1 A
BD HF	0.1 A	MD HFD	0.1 A
BD HFD	0.1 A	MD EX	0.5 A
		MD EX HFD	4.8 A

Tabla 8.2.2: Corrientes nominales de los módulos de protección BCT.

valor de la tensión con el que se produce la activación del GTD depende de la velocidad de ascenso de la onda de tensión entrante (du/dt).

Como regla general:

Cuando mayor sea du/dt tanto mayor será la tensión de respuesta del descargador de gas (GTD). Para permitir una comparación entre los valores de respuesta de diferentes GTD, se aplica a los electrodos del mismo una tensión con una velocidad de respuesta de



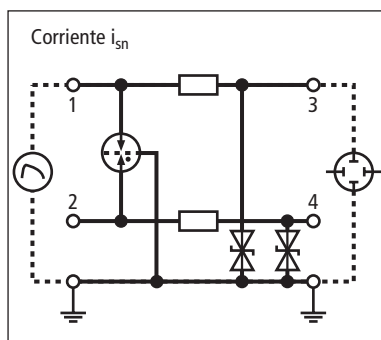


Fig. 8.2.7: Estructura de prueba para determinar la tensión de limitación en caso de corriente nominal de descarga.

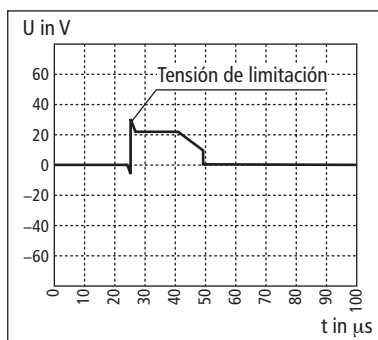


Fig. 8.2.8: Tensión de limitación con corriente nominal de descarga.

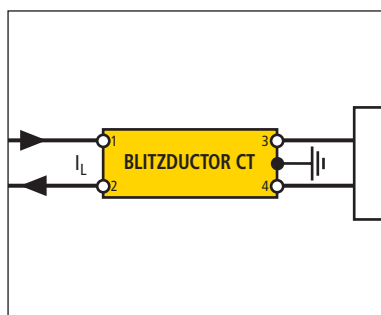


Fig. 8.2.9: Corriente nominal del BLITZDUCTOR CT.

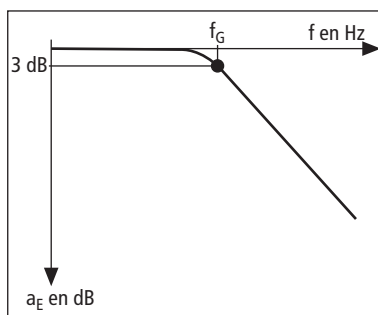


Fig. 8.2.10: Respuesta de frecuencia típica de un BLITZDUCTOR CT.

Las corrientes nominales de los diferentes tipos de módulos de protección del BLITZDUCTOR CT pueden verse en la **tabla 8.2.2**.

Frecuencia límite f_G

La frecuencia límite describe el comportamiento de un descargador en función de la frecuencia. Se considera frecuencia límite, aquella frecuencia que, bajo determinadas condiciones de prueba, da lugar a una atenuación de intercalación (a_E) de 3 dB. (Ver EN 61643-21).

Si no se indica otra cosa, los datos de frecuencia se refieren a un sistema de 50 Ω (**Figura 8.2.10**).

Criterios de selección (CS)

1. ¿Qué capacidad de derivación se requiere?

El dimensionado de la capacidad de derivación de un BLITZDUCTOR CT depende de las tareas de protección que deban ser realizadas por este descargador. A continuación, se exponen algunos casos para facilitar su elección.

ascenso de 1 kV/ μ s. Esto nos permite determinar la tensión de respuesta dinámica (**Figuras 8.2.5 y 8.2.6**).

Tensión de limitación medida con corriente nominal de descarga

Esta prueba sirve para determinar el comportamiento de limitación de elementos de protección con característica de limitación constante (**Figuras 8.2.7 y 8.2.8**).

Corriente nominal I_L

La corriente nominal del BLITZDUCTOR CT caracteriza a la corriente de servicio tolerada del circuito de medida a proteger. La corriente nominal del BLITZDUCTOR CT se determina por la capacidad de soportar corrientes y por las pérdidas de inserción de las impedancias empleadas para el desacople de los descargadores de gas y los elementos de protección fina, así como por la capacidad de apagado de corrientes consecutivas de aquellos. Se expresa como valor de corriente continua (**Figura 8.2.9**).

Caso a: En este caso, el equipo final a proteger se encuentra situado en un edificio que tiene un sistema de protección externa contra rayos, o que cuenta con estructuras metálicas sobre la cubierta que están expuestas al riesgo de descargas directas de rayo (p. ej. mástiles de antena o equipos de aire acondicionado). El cable de medición, control o telecomunicaciones conecta el equipo final con un sensor de medida, (**Figura 8.2.11**) que se encuentra situado en el exterior del edificio. Como quiera que en éste hay una protección externa contra rayos, en ese punto será necesario instalar un descargador de corriente de rayo del Tipo 1. Por ejemplo el BLITZDUCTOR CT BCT MLC B....ó B.

Caso b: El caso b es similar al caso a, pero aquí el edificio en el que está situado el equipo final, no tiene protección externa contra rayos. Por tanto, no se considera el riesgo de que existan corrientes de rayo.

La instalación de un descargador capaz de soportar corrientes de rayo del Tipo 1, solamente será neces-

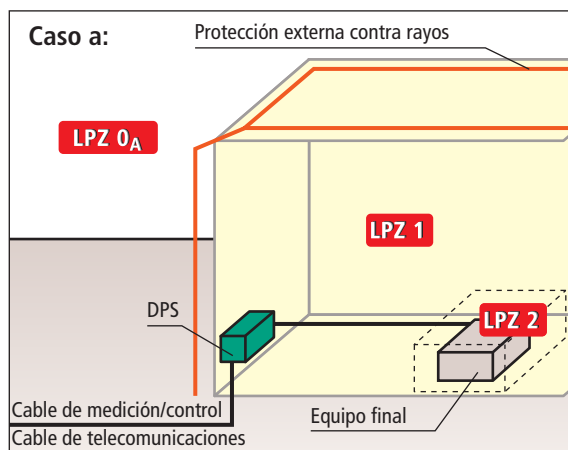


Fig. 8.2.11: Edificio con protección externa contra rayos y cables que salen fuera del edificio, de acuerdo con el concepto de zonas de protección contra rayos.

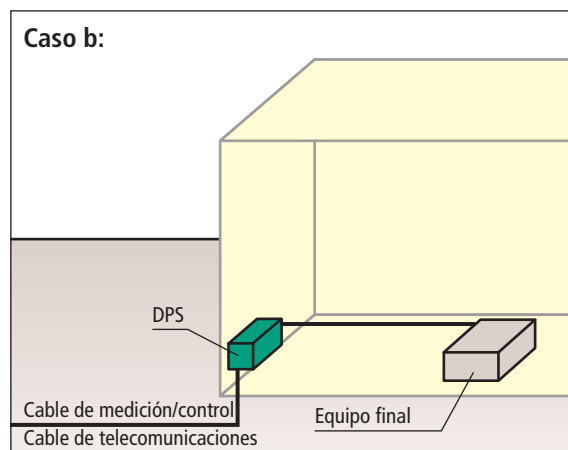


Fig. 8.2.12: Edificio sin protección externa contra rayos y cables que salen fuera del edificio.

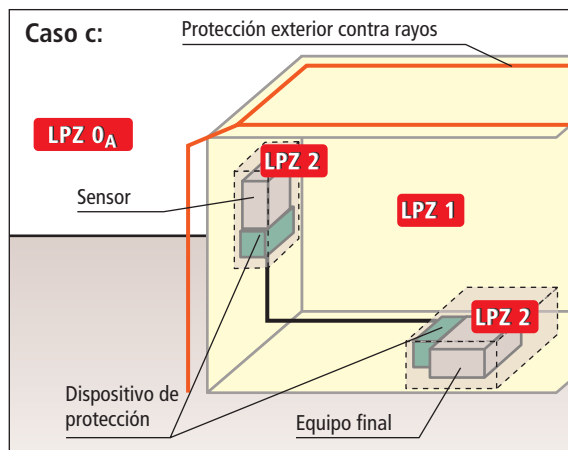


Fig. 8.2.13: Edificio con protección externa contra rayos y cables en el interior del edificio, de acuerdo con el concepto de zonas de protección contra rayos.

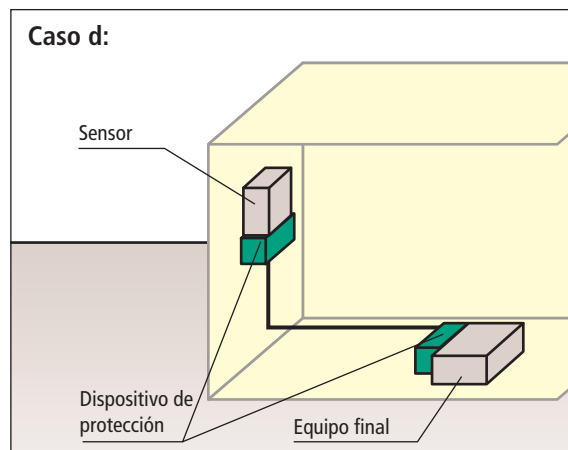


Fig. 8.2.14: Edificio sin protección externa contra rayos y con cables en el interior del edificio.

ría si el cable de medición y control pudiera estar influenciado por corrientes de rayo de edificios vecinos.

Si puede descartarse esta circunstancia, entonces se instalará el BLITZDUCTOR CT módulo BCT MOD M.... como protección contra sobretensiones tipo 2 (Figura 8.2.12).

Caso c: En este caso no existe ningún conductor que salga fuera del edificio. A pesar de que el éste dispone de una protección externa contra rayos, en la zona considerada del sistema de telecomunicaciones no puede acoplarse ninguna corriente directa de

rayo. Por eso, en este caso, se instalarán descargadores de sobretensiones y no de corrientes de rayo (Figura 8.2.13).

Caso d: El caso d se diferencia del caso c en que, el edificio considerado no cuenta con protección externa contra rayos y tampoco cables de datos y de telecomunicaciones que salgan fuera del edificio. Así pues, aquí solamente hay que instalar descargadores de sobretensiones. Al igual que en los casos b y c, se instalarán los módulos de descargadores de la familia de productos del BLITZDUCTOR CT BCT MOD M.... (Figura 8.2.14).

2. ¿Contra qué fenómenos de perturbación debemos protegernos?

Básicamente las interferencias se dividen en **sobretensiones longitudinales (modo común) y transversales (modo diferencial)**. Las **sobretensiones longitudinales se producen siempre entre el conductor de señal y tierra**, mientras que **las sobretensiones transversales tienen lugar entre dos conductores de señal**. La mayoría de las perturbaciones que aparecen en los circuitos de corriente de señal son sobretensiones longitudinales. Esto significa que, normalmente, deben elegirse dispositivos de protección que lleven a cabo una limitación fina de las sobretensiones entre el conductor de señal y tierra (**Tipo....E**). En determinadas entradas de aparatos, como p. ej. en convertidores de señal es imprescindible una limitación fina de las sobretensiones entre el hilo y tierra. Aquí la protección contra sobretensiones longitudinales se efectúa mediante descargadores de gas. Como estos dispositivos presentan un comportamiento de respuesta diferente en el tiempo, los descargadores de gas contribuyen con su activación a que de una sobretensión longitudinal se pueda generar, bajo determinadas circunstancias, una sobretensión transversal.

Por eso, en estos casos, se instala un elemento de protección fina entre los hilos de señal (**Tipo....D**).

3. ¿Existen exigencias especiales en cuanto a la adaptación del circuito de protección al circuito de entrada del equipo a proteger?

A veces, puede ser necesario proteger las entradas de equipos contra la aparición de tensiones longitudinales y trasversales. En muchas ocasiones, los equipos electrónicos a proteger, por lo regular, disponen ya de sus propios circuitos de protección, o bien tienen entradas de optoacopladores para separación de potencial del circuito de señal y del circuito interno del equipo. Esto hace que sean necesarias medidas suplementarias de protección para desacoplar el BLITZDUCTOR CT del circuito de entrada del aparato a proteger. Este desacoplo se realiza mediante elementos suplementarios instalados entre los elementos de protección fina y las bornas de salida del DPS.

4. ¿Cómo es la frecuencia y la velocidad de transmisión de la señal a proteger?

El circuito de protección del BLITZDUCTOR CT presenta un comportamiento similar a paso bajo. Los datos de la frecuencia límite indican a partir de qué valor la amplitud de la frecuencia a transmitir se ve atenuada

(más de 3 dB). Para mantener en límites admisibles los efectos de transmisión del BLITZDUCTOR CT sobre el sistema de transmisión, la frecuencia de señal del circuito tiene que estar por debajo de la frecuencia límite para el BLITZDUCTOR CT. Los datos de la frecuencia límite tienen validez para magnitudes sinusoidales. Sin embargo, en el sector de la transmisión de datos no suelen aparecer formas de señal sinusoidales. En relación con esto hay que tener en cuenta que la velocidad máxima de transmisión de datos del BLITZDUCTOR sea superior a la velocidad de transmisión del circuito de señal. En la transmisión de magnitudes de señal de forma de impulso, en la que se valora el flanco de impulso creciente o descendiente, hay que prestar atención a que este flanco, en un espacio de tiempo determinado pase de L hacia H o de H hacia L. Este intervalo de tiempo es importante para detectar y reconocer un flanco y para recorrer una "zona prohibida". Así pues, esta señal precisa una anchura de banda de frecuencia que sea considerablemente superior a la onda básica de esta oscilación. La frecuencia límite para el aparato tiene que aplicarse, por lo tanto, correspondientemente alta. Como regla básica se considera que : "la frecuencia límite no debe ser inferior a 5 veces el valor de la onda fundamental".

5. ¿Cómo es la corriente de servicio del sistema a proteger?

Debido a las propiedades eléctricas de los componentes utilizados en el circuito de protección del BLITZDUCTOR CT, la corriente de servicio que puede ser transmitida a través del aparato de protección, es limitada. Esto significa que la corriente de servicio de un sistema de señal debe ser más pequeña o igual a la corriente nominal del aparato de protección.

6. ¿Qué tensión máxima posible de servicio puede aparecer en el sistema a proteger?

La tensión máxima de servicio que puede aparecer en el circuito de señal tiene que ser más pequeña o igual a la tensión máxima permanente del BLITZDUCTOR CT para que el aparato de protección, bajo condiciones normales de servicio, no presente ningún efecto limitador.

La tensión máxima de servicio que aparece en un circuito de corriente de señal es, por lo regular, la tensión nominal del sistema de transmisión, tomando en consideración ciertas tolerancias. En el caso de bucles de corriente (ej. 4-20 mA), para la máxima tensión posible de servicio, debe aplicarse siempre la tensión a circuito abierto del sistema.

7. ¿Qué referencias tiene la máxima tensión de servicio que pueda presentarse?

Los diferentes circuitos de corriente de señal tienen distintas referencias de señal (simétrica/asimétrica). Por una parte, la tensión de servicio del sistema puede definirse como tensión hilo/hilo y, por otra parte, como tensión hilo/terra.

Esto debe tenerse en cuenta al elegir el dispositivo de protección: existen diferentes tensiones nominales para distintos módulos de protección del BLITZDUCTOR CT. Ver **figura 8.2.4** y **Tabla 8.2.1**.

8. ¿Pueden afectar los elementos de desacoplo del BLITZDUCTOR CT a la transmisión de la señal?

Para lograr la coordinación de los elementos de protección del BLITZDUCTOR CT se instalan impedancias de desacoplo. Éstas, bajo ciertas circunstancias, pueden influir sobre dicho circuito a proteger. Especialmente en el caso de bucles de corriente (0...20 mA, 4...20 mA) la conexión (activación) del BLITZDUCTOR CT puede ocasionar que se sobrepase la máxima carga tolerada del circuito de corriente de señal, cuando éste se encuentra ya trabajando a su máxima carga. ¡Esto debe ser tenido muy en cuenta antes de la instalación!

9. ¿Cuál es el nivel de protección necesario?

Por principio, se puede dimensionar el nivel de protección para un dispositivo de protección contra sobretensiones de manera que se encuentre por debajo del límite de destrucción del equipo final a proteger. El problema es que, por lo general, esta información se desconoce. Por eso es necesario recurrir a otro criterio de comparación. En el marco de la prueba de compatibilidad electromagnética (EMC) los equipos de servicio eléctricos y electrónicos tienen que presentar una resistencia frente a magnitudes de perturbación de forma de impulso, llevadas por el conductor. Las exigencias para estas pruebas están descritas en la norma IEC 61000-4-5:2005 (DIN EN 61000-4-5- (VDE 0847-4-5)). Para diferentes aparatos, que se instalan en diferentes condiciones medioambientales electromagnéticas, se fijan diferentes grados de intensidad de prueba en cuanto a la resistencia a perturbaciones frente a magnitudes de perturbación de forma de impulso.

Estos grados de intensidad de prueba se identifican desde 1 hasta 4, teniendo el grado de intensidad de prueba 1 las menores exigencias de resistencia a las perturbaciones (en los equipos a proteger), mientras que el grado de intensidad de prueba 4 garantiza las máximas exigencias de resistencia de un equipo a perturbaciones electromagnéticas.

En términos de protección, esto significa que, la "energía de paso" unida al nivel de protección, tiene que encontrarse por debajo de la resistencia a perturbaciones del correspondiente equipo a proteger. Por eso, los productos de la familia Yellow/Line se clasifican teniendo en cuenta ciertas características que permiten la instalación coordinada de los mismos con los equipos y elementos eléctricos y electrónicos a proteger. Así, por ejemplo, si un equipo se ha fabricado con el grado de intensidad de prueba 1, el DPS solamente podrá presentar una máxima "energía de paso" que se corresponda con este nivel de perturbación. En la práctica esto significa que los equipos verificados con el grado de intensidad de prueba 4, pueden trabajar sin problemas cuando la salida del dispositivo de protección presente un nivel de protección correspondiente a los grados de intensidad de pruebas 1, 2, 3 ó 4. De este modo es muy fácil para el usuario elegir los dispositivos de protección apropiados.

10- ¿Debe realizarse la protección en una instalación en una sola fase o en dos fases?

Dependiendo de la infraestructura del edificio y de las exigencias de protección que se plantean en virtud del concepto de zonas de protección, puede ser necesario instalar descargadores de rayos y sobretensiones separados espacialmente unos de otros, o bien instalarlos en un punto determinado de la instalación.

En el primer caso se procederá a la instalación del BLITZDUCTOR CT con el módulo de descargador BCT MLC B, como descargador de corriente de rayo, y el descargador BLITZDUCTOR CT módulo BCT MOD M... como descargador de sobretensiones.

Si fuera necesario instalar medidas de protección contra rayos y contra sobretensiones en el mismo punto de la instalación, entonces se instalará un descargador combinado de corrientes de rayo y sobretensiones BLITZDUCTOR CT, tipo B....

Observación:

Los siguientes ejemplos de soluciones muestran la elección de dispositivos de protección contra sobretensiones de la familia BLITZDUCTOR CT sobre la base de los 10 criterios de selección descritos. El resultado de cada uno de los pasos se expone en la columna "Resultado intermedio".

La columna "Resultado total" muestra la influencia de los correspondientes resultados intermedios sobre el resultado final de elección.

CS	Paso de selección	Resultado Intermedio	Resultado final
1	El sensor de medida está en un sistema de procesamiento en una nave industrial y el convertidor de medida en la estación de vigilancia de la medición dentro del mismo edificio. El edificio no tiene protección externa contra rayos. Los cables de medida van por el interior del edificio. Este ejemplo se corresponde con el caso d (Figura 8.2.14)	BLITZDUCTOR CT BCT MOD M...	BLITZDUCTOR CT BCT MOD M...
2	El riesgo de sobretensiones del sensor de medida Pt 100 y del convertidor de medida Pt 100 aparece entre el cable de señal y tierra. Por eso es necesaria una limitación fina de la tensión Longitudinal .	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME
3	No hay exigencias especiales para la adaptación del circuito de protección al circuito de entrada de los aparatos a proteger (Pt 100, convertidor de medida).	No hay influencia.	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME
4	El dispositivo de medida de temperatura a proteger es un sistema que funciona con corriente continua. La tensión de medida, dependiente de la temperatura, también es una magnitud de tensión continua. Por tanto, no hay ninguna frecuencia de señal a tener en cuenta.	No hay influencia	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME
5	La corriente de servicio del circuito de corriente de alimentación está limitado a 1 mA a causa del principio físico de medida de Pt 100. La corriente de servicio de la señal de medida tiene valores de μA debido a la alta impedancia.	I_t tipo ME = 1 A $1 \text{ mA} < 1 \text{ A} \Rightarrow \text{ok}$ $\mu\text{A} < 1 \text{ A} \Rightarrow \text{ok}$	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME
6	La tensión máxima de servicio en este sistema se deriva de las consideraciones siguientes: Según IEC 60751 (DIN EN 751) las resistencias de medida Pt 100 se dimensionan hasta una temperatura máxima de 850°C. La resistencia correspondiente para ellos, por lo tanto, de 340 W. Teniendo en cuenta la corriente de medida integrada de 1 mA se tendrá entonces una tensión de medida de aprox. 340 mV .	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ... 5 V	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME 5
7	La tensión de servicio del sistema aparece hilo -hilo .	BCT MOD ME 5 V Tiene tensión nominal de 5 V d.c. hilo $\Rightarrow$ tierra. Esto permite un valor hilo $\Rightarrow$ hilo 10 V d.c. $\Rightarrow$ No influye en la señal de medida	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME 5
8	Mediante la aplicación del circuito de cuatro conductores para la medición de temperatura con el Pt 100, se logra una total supresión de la influencia de la resistencia del conductor y de sus variaciones dependientes de la temperatura, sobre los resultados de la medición. Esto también es válido para el incremento de la resistencia del conductor a causa de las impedancias de desacople del BLITZDUCTOR CT	No hay influencia	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME 5
9	El convertidor de medida Pt 100 tiene una resistencia a perturbaciones frente a magnitudes perturbación de grado 2 según IEC 61000-4-5:2005. La "energía de paso" relacionada con el nivel de protección del aparato de protección contra sobretensiones debe coincidir como máximo con el grado de intensidad de prueba 2 de la norma IEC 61000-4-5:2005.	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME 5  según grado de intensidad de prueba 1. La "energía de paso" del aparato de protección es menor que la resistencia a perturbaciones del equipo final $\Rightarrow$  es OK	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME 5
10	La protección contra sobretensiones debe realizarse en una sola etapa .	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME 5 $\Rightarrow$ Descargador de sobretensiones	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME 5
		Resultado de la elección:	BLITZDUCTOR CT BCT MOD ME 5

Tabla 8.2.3: Criterios de selección para equipos eléctricos de medida de temperatura.

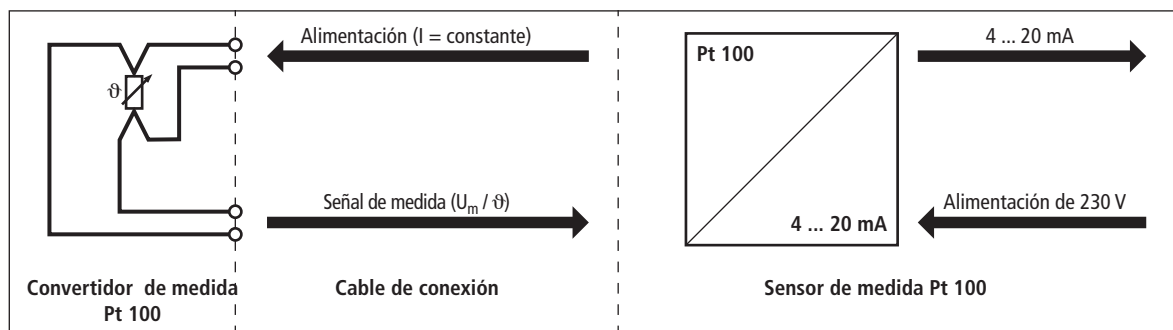


Fig. 8.2.15: Esquema de bloque de la medición de temperatura.

Protección contra sobretensiones para un sistema eléctrico de control de temperatura

El control de la temperatura de los materiales utilizados en procesos tecnológicos se realiza en todas las ramas de la industria. Sin embargo, los campos de aplicación pueden ser muy diferentes: Se extienden desde la elaboración y procesamiento de comestibles, pasando por procesos químicos, hasta la técnica de climatización de edificios y la técnica de gestión de edificios. Todos estos procesos tienen en común que, el lugar del registro del valor de medida está muy alejado del lugar de indicación o del lugar de procesamiento del mismo. Debido a estas grandes longitudes de cables de unión, existe la posibilidad de acoplamiento de sobretensiones que tienen su origen no solo en descargas atmosféricas.

A continuación se presenta un ejemplo de protección contra sobretensiones de un medidor de temperaturas tipo Pt 100. El edificio en el que se encuentra el dispositivo de medición no dispone de protección externa contra rayos.

La medición de la temperatura tiene lugar indirectamente, a través de la medición de la resistencia eléctrica. El sensor Pt 100 tiene, a 0°C, un valor de resistencia de 100 Ω . Dependiendo de la temperatura, este valor cambia, a saber 0,4 Ω /K. Para medir la temperatura se aplica una corriente de medida constante que ocasiona una caída de tensión en la resistencia termopolar, y que es proporcional a la temperatura.

Para impedir el calentamiento propio de la resistencia termopolar a causa de la corriente de medida, ésta se encuentra limitada a 1 mA. Con ello en el Pt 100, a 0°C hay una caída de tensión de 100 mV.

Esta tensión de medida tiene que trasladarse ahora al lugar de control de evaluación (Figura 8.2.15). Existen diferentes técnicas de conexión posible del Pt 100 al convertidor de medida. En este caso vamos a escoger el circuito de cuatro conductores.

Esta es la técnica de conexión óptima para una resistencia termopolar. Gracias a esta configuración, se evita por completo la influencia de la resistencia del conductor y sus variaciones dependientes de la temperatura en los resultados de la medición. El sensor Pt 100 se alimenta con una corriente característica. La variación de la resistencia del conductor se compensa con el ajuste automático de la tensión de alimentación. Si no varía la resistencia del conductor, la tensión medida U_m se mantiene constante.

Así pues, esta tensión de medida varía únicamente a causa de la variación de la resistencia de medida en dependencia de la temperatura y es recogida con alto ohmioaje por el transformador de medida del convertidor. Por lo tanto, en esta técnica de conexión no es necesario un ajuste del conductor.

Observación

Para facilitar el montaje, tanto la línea de energía como la de medida del sistema de control de temperatura, se equiparán con el mismo tipo de dispositivos de protección. La práctica demuestra que cada señal debe ser protegida por un solo descargador. (Tabla 8.2.3).

Igualmente es necesaria la protección contra sobretensiones de la alimentación de 230 V del convertidor de medida Pt 100, así como los bucles de corriente de 4...20 mA que salen del convertidor de medida Pt 100 pero, por razones de simplificación, no se han mostrado en los ejemplos anteriores.

8.2.1 Sistemas de medida, control y regulación (MCR)

En las instalaciones de medida, control y regulación, debido a que la distancia existente entre el sensor del valor de medida y la unidad de control son importantes, existe la posibilidad de que, en estos recorridos de cable, se acoplen sobretensiones. El deterioro o destrucción de componentes, provoca graves perjuicios en

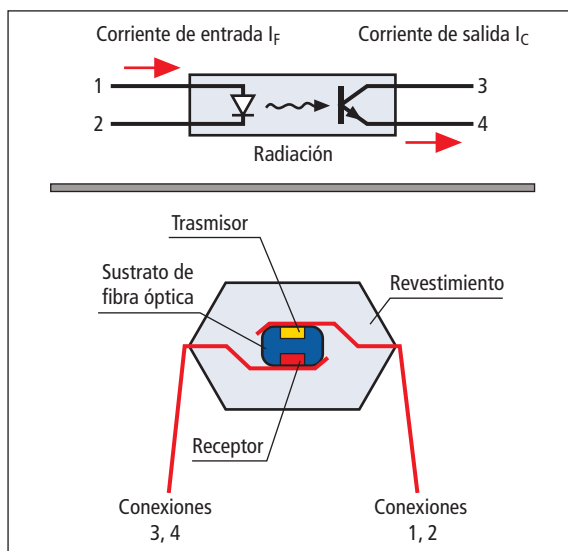


Fig. 8.2.1.1: Optoacoplador. Esquema.

el funcionamiento de un proceso tecnológico. Con frecuencia, hasta pasadas algunas semanas, no se conoce la magnitud efectiva de los daños por sobretensiones ocasionados por los efectos de una descarga de rayo. El usuario puede sufrir graves consecuencias, ya que todos los componentes inteligentes del sistema de bus de campo pueden fallar al mismo tiempo.

En estos casos es muy importante la utilización de dispositivos de protección contra rayos y sobretensiones (DPS), que tienen que ser elegidos específicamente para cada caso.

Los Interfaces habituales y los correspondientes dispositivos de protección pueden verse en nuestro catálogo de productos "Protección contra sobretensiones", o en nuestra página web www.dehn.es

Separación galvánica mediante optoacopladores

Con frecuencia suelen utilizarse elementos optoelectrónicos de servicio (**Figura 8.2.1.1**) para la transmisión de la señal, con el fin de separar galvánicamente el lado de campo del lado de proceso. Estos elementos optoelectrónicos crean una rigidez dieléctrica entre la tensión de entrada y la salida que van desde algunos 100V hasta 10 kV. Su función es similar a la de los transmisores, y pueden utilizarse, en primera línea, para bloquear pequeñas tensiones longitudinales. Sin embargo, no pueden proporcionar una protección suficiente frente a la aparición de tensiones longitudinales y transversales en caso de impacto de rayo (> 10

kV) por encima de su resistencia a tensión de choque del emisor/receptor.

Muchos proyectistas y usuarios de instalaciones de este tipo parten del supuesto erróneo de que, con estos elementos, también queda realizada la protección contra rayos y sobretensiones. Es importante señalar que, con ello únicamente se garantiza la resistencia al aislamiento entre entrada y salida (tensión longitudinal). Esto quiere decir que, en el caso de sistemas de transmisión, además de la limitación de tensiones longitudinales hay que prestar atención a la limitación de tensiones transversales. Además, mediante la integración de resistencias suplementarias de desacople en la salida del DPS, se consigue una coordinación energética con los diodos optoacopladores.

Por lo tanto, en este caso, hay que instalar DPS limitadores de tensiones longitudinales y transversales, p. ej. BLITZDUCTOR XT tipo BXT ML BE C 24.

En el capítulo 9 se proporcionan aclaraciones detalladas sobre la elección específica de la aplicación de dispositivos de protección para la técnica MCR (Medición – Control – Regulación).

8.2.2 Técnica de gestión de edificios

La presión producida por la creciente subida de costes obliga a los propietarios y usuarios de edificios, tanto del sector privado como del sector público, a buscar maneras de ahorrar gastos. El método con cuya ayuda pueden reducirse eficazmente los gastos, es la gestión técnica de edificios. El objetivo es mantener permanentemente disponibles para su funcionamiento el equipamiento técnico de los mismos, así como adaptarlo a los cambios y necesidades de organización y servicios. Con ello se consigue una explotación óptima que incrementa la rentabilidad de los edificios.

La automatización de edificios (AE) se ha derivado, por una parte, de la técnica MCR (Medida, control y regulación) y, por otro lado, de la técnica centralizada de gestión. En este contexto, la automatización de edificios tiene el cometido de automatizar en su totalidad, las funciones técnicas del edificio. Para ello, desde el nivel de gestión (**Figura 8.2.2.1**) se interconecta entre sí toda la instalación compuesta por la automatización de locales, la instalación de medida de Bus-M, así como la instalación de calefacción, ventilación, aire acondicionado y sistemas de alarma. En el nivel de gestión se encuentra el archivo de datos. A través de archivo de larga duración pueden obtenerse evaluaciones sobre el consumo de energía y los ajustes de las instalaciones en el edificio.

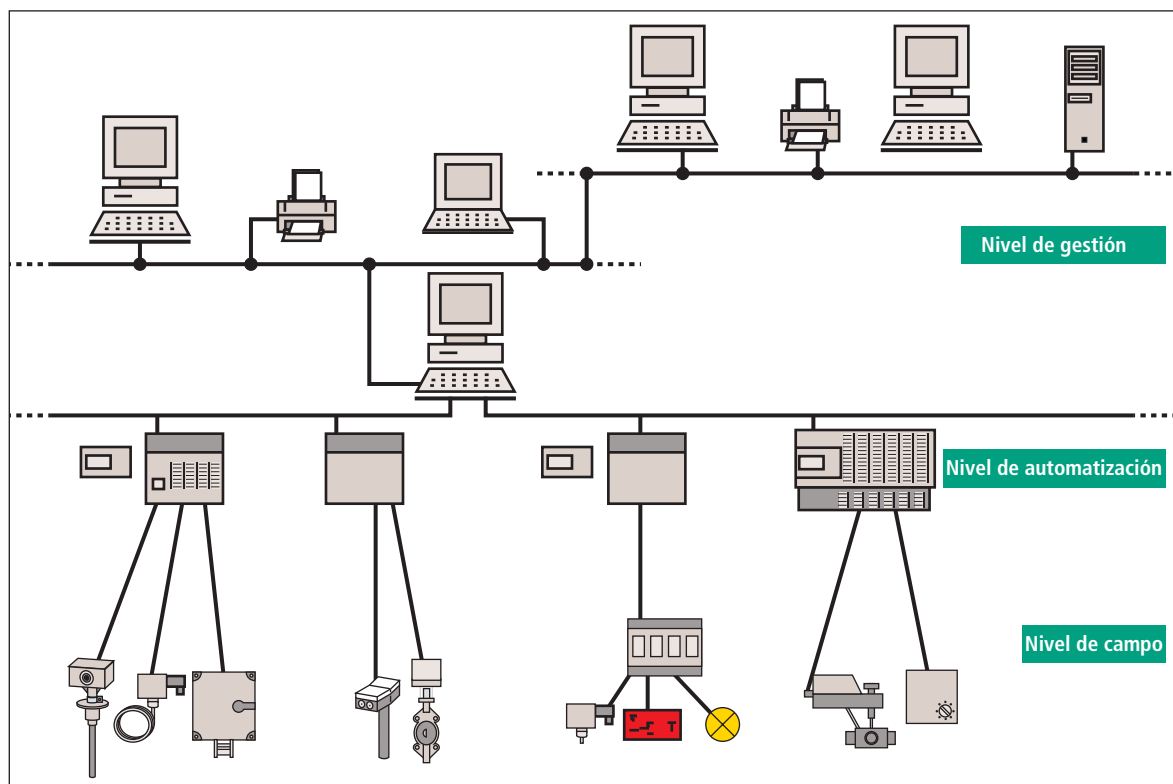


Fig. 8.2.2.1: Modelo de niveles en una automatización de edificio.

En el nivel de automatización se encuentran los aparatos de regulación propiamente dichos. Cada vez se utilizan más estaciones DDC (Direct Digital Control), que implementan por Software todas las funciones de regulación y conmutación. En el nivel de automatización se encuentran todas las modalidades de servicio, los parámetros de regulación, los valores nominales, tiempos de conexión, valores límites de alarma y el correspondiente Software para ello.

En el nivel inferior se encuentran los diversos aparatos de campo, como son sensores, actuadores, etc.. Estos aparatos representan la intersección (interface) entre el control/regulación eléctrico y el proceso de servicio. Los actuadores transforman una señal eléctrica en otra magnitud física (motores, válvulas etc.).

Los sensores transforman una magnitud física en una señal eléctrica (sensor de temperatura, interruptor final etc.).

Precisamente la interconexión de muchos ramales de las estaciones DDC, y con ello su integración en el sistema de técnica de gestión de edificios, ofrece un amplio campo para perturbaciones causadas por

corrientes de rayo y sobretensiones. Si, como consecuencia de ello, se produce un fallo general de toda la instalación de luz, aire acondicionado y calefacción, esto no sólo causa gastos primarios en el aspecto de la técnica, sino que también habrá que correr con los gastos secundarios derivados del fallo de la instalación. De este modo, pueden originarse incrementos importantes en los costes de la energía, ya que debido a los fallos o defectos producidos en la electrónica de control, no pueden analizarse ni optimizarse los valores punta de carga. Si existen procesos de producción integrados en la automatización de edificios (AE), eventuales fallos en la gestión de edificios darán lugar a fallos de la productividad y, en consecuencia, a elevados daños y costes económicos. Para garantizar su disponibilidad de forma permanente, hay que adoptar medidas de protección.

8.2.3. Sistemas de cableado universal (Redes EDP, instalaciones de telecomunicaciones TC)

La norma europea EN 50173 "Técnica de información – Sistemas de cableado universales" define un siste-

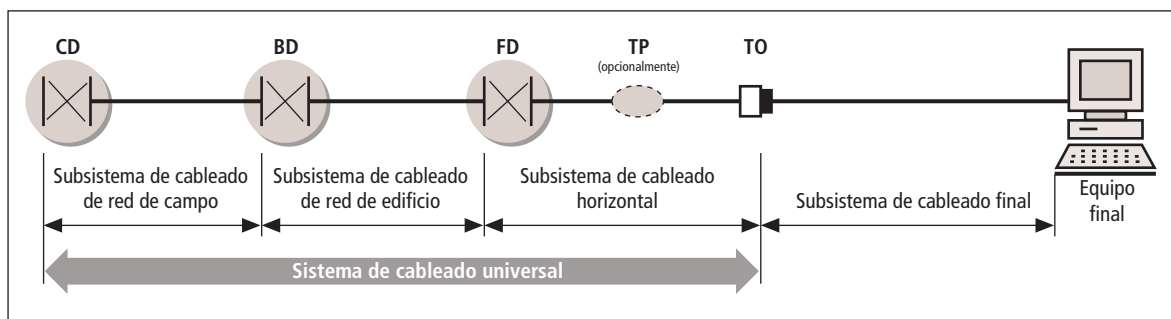


Fig. 8.2.3.1: Estructura de cableado universal.

ma de cableado universal que puede ser utilizado en uno o varios edificios dentro del lugar de emplazamiento del sistema. Trata de cableados con cables simétricos de cobre y cables fibra óptica (cables OF). Este cableado universal apoya una amplia gama de servicios y prestaciones, incluidos idiomas, datos, textos e imágenes.

Este cableado ofrece:

- ⇒ Un sistema de utilización universal, independiente de las aplicaciones, y un mercado abierto para los componentes del mismo (activo y pasivo).
- ⇒ Una topología flexible que permite que se puedan realizar modificaciones de forma sencilla y económica.
- ⇒ A los profesionales de la construcción (por ejemplo arquitectos) una guía para la instalación de cableado, aún antes de conocer las exigencias específicas del caso concreto.
- ⇒ A la industria y a los gremios responsables de las normas para aplicaciones de la red, un sistema de cableado que apoya los productos actuales y que ofrece además una base para el desarrollo futuro de productos.

El cableado universal se compone de los siguientes elementos funcionales:

- ⇒ Distribuidor local (CD).
- ⇒ Red de campo.
- ⇒ Distribuidor de edificios (BD).
- ⇒ Red de edificio (distribución vertical).
- ⇒ Distribuidor de plantas (FD).
- ⇒ Cableado horizontal.
- ⇒ Puntos de tránsito (opcional) (TP).
- ⇒ Salida telecomunicaciones (TO).

Grupos de estas unidades de funcionamiento se conectan para formar subsistemas de cableado.

Un sistema universal de cableado se compone de tres

sistemas parciales: red de campo, red del edificio y cableado horizontal. Los sistemas parciales del cableado forman una estructura, como se expone en la **figura 8.2.3.1**. Mediante los correspondientes distribuidores puede realizarse cualquier topología de red, como Bus, estrella, anillo etc.

El sistema parcial de la red de campo se extiende desde el distribuidor local hasta los distribuidores del edificio, que normalmente están situados en edificios separados.

En este caso, el sistema incluye los cables de la red de campo, sus correspondientes terminales (en el lugar de emplazamiento y en los distribuidores de edificios) y las conexiones en el distribuidor de campo.

El sistema parcial del cableado de la red de edificio se extiende desde el distribuidor del edificio hasta los distribuidores de plantas. Este sistema parcial incluye el cable de la red de edificio, sus correspondientes terminales (en el edificio y en los distribuidores de plantas) y las conexiones en el distribuidor del edificio.

El subsistema de cableado horizontal se extiende desde el cableado de planta hasta las conexiones del sistema técnico de información. El subsistema incluye el cable horizontal y sus terminales de conexión en el distribuidor de planta, el distribuidor local y los conectores técnicos de información.

Entre el CD y el BD se utilizan, normalmente, cables de fibra óptica como conexiones de datos. De este modo, desde el punto de campo no se necesitan descargadores de sobretensiones (DPS). Sin embargo, si el cable de fibra óptica lleva una protección envolvente metálica, ésta debe integrarse en el sistema de protección contra rayos. Los componentes activos de la fibra óptica para distribución tienen, en el lado de la energía, una tensión de 230 V. Aquí pueden instalarse DPS para el sistema de alimentación de energía.

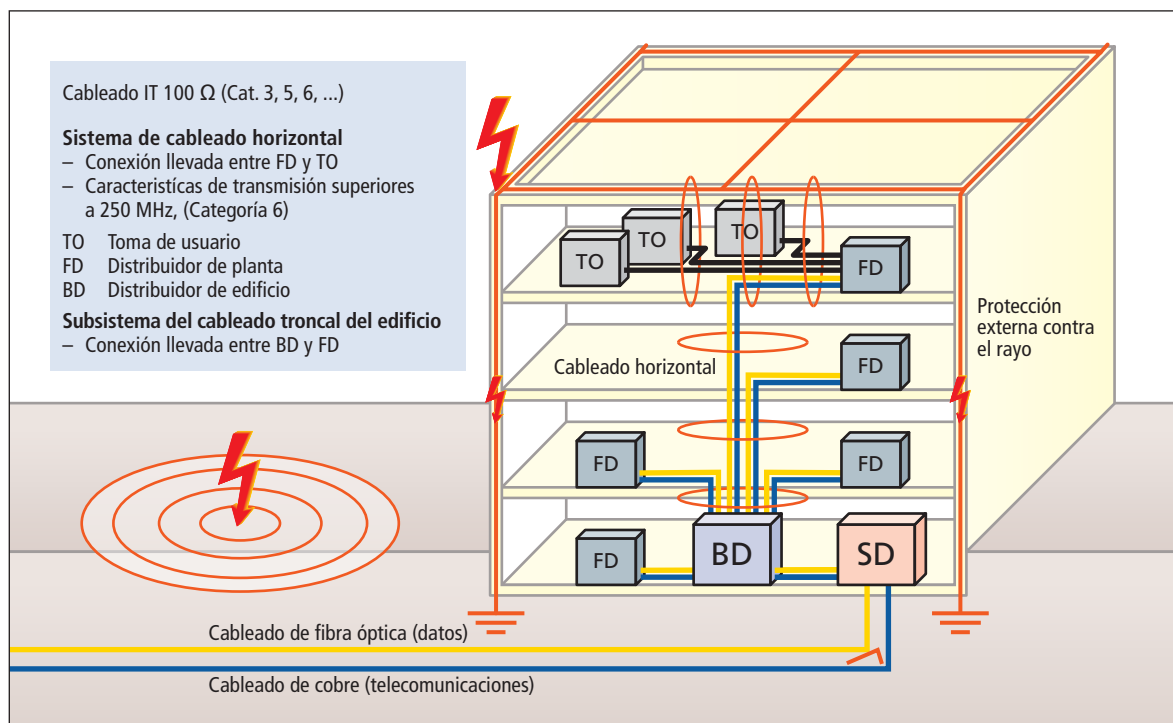


Fig. 8.2.3.2 Influencia del rayo en subsistemas de cableado IT.

El cableado vertical (desde BD hasta FD) se realiza hoy día casi exclusivamente con fibra óptica para transmisión de datos. Para la transmisión de voz (teléfono) se sigue utilizando, sin embargo, cable trenzado de cobre. En el cableado horizontal (desde BD hasta FD) se utilizan actualmente, con muy pocas excepciones, pares trenzados de cobre.

En cables con una longitud aproximada de 500 m (cableado red de edificio) o de 100 m (Cableado horizontal) pueden inducirse sobretensiones en caso de descarga directa de rayo en el edificio (**Figura 8.2.3.2**) que rompan el grado de aislamiento de un router y/o una tarjeta RDSI en el PC. En este caso, es necesario considerar medidas de protección, tanto en el distribuidor del edificio/distribuidor de plantas (Hub, switch, router) como en el equipo final (TA).

Los dispositivos de protección necesarios deben elegirse de acuerdo con los distintos sistemas de red. Los mas habituales son:

- ⇒ Token Ring.
- ⇒ Ethernet 10 Base T.
- ⇒ Fast Ethernet 100 Base TX.
- ⇒ Gigabit Ethernet 1000 Base TX.

8.2.4. Circuitos de seguridad intrínseca

En todos los sectores de la industria en los que se procesan o transportan materiales combustibles se producen gases, vapores, nieblas inflamables o polvo. Dichas sustancias, mezcladas con el aire, pueden formar una atmósfera potencialmente explosiva de proporciones peligrosas. Por tanto, deben tomarse medidas especiales de protección.

Dependiendo de la posibilidad de que aparezca una atmósfera explosiva y de su duración, los sectores de una instalación se catalogan como áreas peligrosas, las denominadas zonas Ex.

Áreas peligrosas

Las zonas en las que se pueden originar atmósferas potencialmente peligrosas debido a gases, vapores y nieblas inflamables, se clasifican en zonas 0 a 2. Aquellas en las que se pueden ocasionar atmósferas potencialmente explosivas a causa del polvo se clasifican en zonas 20, 21 o 22.

De acuerdo con la capacidad de inflamación de las sustancias combustibles que aparecen en los distintos campos de aplicación, se diferencian varios grupos de

explosión: I, IIA, IIB y IIC. Los criterios de clasificación son, por un lado, el intersticio máximo de seguridad ("Maximum Experimental Gap (MESG)") y, por otro, la corriente mínima de ignición "Minimum Ignition Current (MIC)". El intersticio máximo y la corriente mínima se determinan para los diferentes gases y vapores según un procedimiento de prueba estipulado.

El grupo de explosión IIC contiene las sustancias altamente combustibles como el hidrógeno y el acetileno. Estas sustancias, al calentarse, presentan diferentes temperaturas de ignición, clasificadas en clases de temperatura (T1...T6).

Para evitar que los aparatos eléctricos sean fuentes de ignición en atmósferas explosivas, éstos se diseñan con diferentes tipos de protección. Un tipo de protección muy utilizado en todo el mundo, especialmente en sistemas de control y medición, es el modo de protección "seguridad intrínseca" Ex(i).

Modo de protección contra ignición – seguridad intrínseca:

La seguridad intrínseca se basa en el principio de la limitación de corriente y tensión en un circuito eléctrico. Con este sistema, la energía del circuito o de una parte del circuito, que está en situación de producir la ignición de una atmósfera explosiva, se mantiene tan baja que no puede producirse la inflamación de la misma, ni por chispas ni por calentamiento inadmisibles de la superficie de los componentes o piezas eléctricas que puedan originar la inflamación de la atmósfera circundante susceptible de explotar. Además de las tensiones y corrientes del equipamiento eléctrico, las inductancias y capacitancias del circuito que actúan como elementos de almacenaje de energía, deben limitarse a valores máximos seguros.

Por ejemplo, la operación segura de un circuito de control y medida implica que, ni las chispas ocasionadas durante la apertura y cierre del circuito por razones de operación (p. ej. en un contacto de conmutación situado en un circuito de seguridad intrínseca) ni las que aparezcan en caso de un fallo (p. ej. en caso de cortocircuito o derivación a tierra) deben ser capaces de causar una ignición. Además, tanto durante el servicio normal como también en caso de fallo, debe excluirse la ignición debido a sobrecalentamiento del equipamiento y los cables del circuito de seguridad intrínseca.

Con ello, queda limitado el modo de protección "seguridad intrínseca" a circuitos que relativamente

requieran poca potencia. Este sería el caso de circuitos en sistemas de medición y control y en sistemas de datos. La seguridad intrínseca alcanzable mediante limitación de la energía disponible en el circuito de corriente, no se limita al equipamiento individual - contrariamente a lo que sucede con otros modos de protección - sino al circuito completo. De ello se derivan algunas ventajas considerables frente a otros modos de protección.

En primer lugar, no se requieren ejecuciones especiales, muy costosas para los equipos eléctricos instalados en campo como, por ejemplo, encapsulados resistentes a la llama o inmersión en resina fundida, con lo que se consiguen soluciones económicamente más efectivas. Por otra parte, la seguridad intrínseca es el único modo de protección que permite al usuario trabajar libremente en todas las instalaciones intrínsecamente seguras en tensión situadas en zona clasificada sin interferir en la protección contra explosiones.

La ventaja económica de la aplicación de circuitos de seguridad intrínseca radica en el hecho de que, incluso en áreas clasificadas, pueden utilizarse equipos de trabajo pasivos convencionales sin certificación. Con ello, este modo de protección es también uno de los tipos de instalación más sencillos.

Por lo tanto, la seguridad intrínseca tiene una importancia considerable, particularmente en los sistemas de medición y control, debido a la creciente utilización de sistemas electrónicos de automatización. Sin embargo, la seguridad intrínseca demanda más del proyectista o constructor que otros modos de protección. La seguridad intrínseca de un circuito no depende solamente del cumplimiento de las normas de diseño de cada uno de los aparatos individuales, sino que está condicionada, además, por la adecuada interconexión de todos los equipos situados en el circuito de seguridad intrínseca y de su correcta instalación.

Sobretensiones transitorias en áreas clasificadas

La seguridad intrínseca como modo de protección tiene en cuenta todos los acumuladores de energía existentes en el sistema, pero no la energía que proviene del exterior, como sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas.

Las sobretensiones inducidas se originan en grandes instalaciones industriales, principalmente por descargas de rayo cercanas y lejanas. En el caso de una descarga directa de rayo, la caída de tensión ocasiona en el sistema de puesta a tierra una elevación de potencial entre 10 y 100 kV. Este incremento de potencial

actúa como una diferencia de potencial en todo el equipamiento conectado a través de cables a equipos más alejados. Estas diferencias de potencial son considerablemente superiores a las resistencias de aislamiento del equipamiento, que pueden verse sobrepasadas fácilmente.

En caso de descargas de rayo lejanas, las sobretensiones inducidas actúan, sobre todo, en conductores y pueden llegar a destruir las entradas de los equipos electrónicos actuando como interferencias en modo diferencial (tensión diferencial entre hilos).

Clasificación del equipamiento eléctrico en categoría ia ó ib

Un aspecto importante de la seguridad intrínseca para protección contra explosiones es la cuestión relativa a la fiabilidad respecto al mantenimiento de los límites de tensión y corriente, incluso en caso de determinados fallos. En relación con la fiabilidad se diferencian dos categorías.

La categoría **ib** indica que, en caso de producirse un fallo, la seguridad intrínseca en el circuito se mantiene.

La categoría **ia** exige que, si se producen sucesivamente dos fallos independientes uno de otro, la seguridad intrínseca se mantiene.

Tanto el BLITZDUCTOR como el DEHNconnect DCO están clasificados como ia, en la categoría más alta. Así pues, el BLITZDUCTOR puede utilizarse junto con otros equipos situados en las zonas clasificadas 0 y 20.

Se debe prestar especial atención a las condiciones especiales de las zonas 0 y 20 y clasificarlas en cada caso.

La **figura 8.2.4.1** muestra el uso de descargadores en circuitos de medición y control.

Valores máximos de corriente I_0 , tensión U_0 , inductancia L_0 y capacidad C_0

En el punto de intersección entre la zona clasificada y segura se instalan barreras de seguridad o convertidores de medida con circuito de salida Ex (i) para separar estas dos zonas diferentes.

Los valores máximos relativos a seguridad de una barrera ó de un convertidor de medida con una salida Ex(i) quedan definidos por los certificados de un laboratorio autorizado:

- ⇒ Tensión máxima de salida U_0
- ⇒ Corriente máxima de salida I_0
- ⇒ Inductividad exterior máxima L_0
- ⇒ Capacidad exterior máxima C_0 .

El proyectista/constructor deberá comprobar en cada caso si estos valores máximos tolerados de seguridad se cumplen en todos los equipos (p. ej. aparatos de campo, conductores y descargadores) que están situados en el circuito de seguridad intrínseca.

Los valores correspondientes pueden verse en la placa de características del aparato en cuestión, o bien consultarse en su certificado de prueba.

Clasificación en grupos de explosión

Los gases, vapores y nieblas inflamables se clasifican de acuerdo con la energía necesaria para la inflamación de la mezcla más explosiva con aire.

El equipamiento se clasifica en función de los gases con los que puede ser utilizado.

El grupo II C tiene validez para todos los campos de

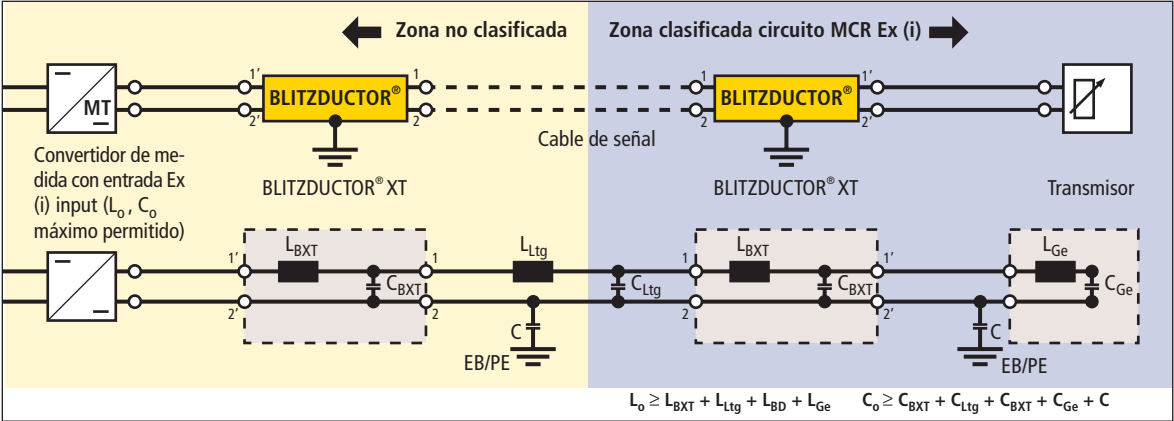


Fig. 8.2.4.1: Cálculo de L_0 y C_0 .

aplicación, p. ej. industria química, carbón y procesamiento de grano, con excepción de la minería bajo tierra.

El grupo II posee el riesgo de explosiones más elevado, ya que este grupo considera una mezcla con la más baja energía de ignición.

La certificación del BLITZDUCTOR para el grupo de explosiones II C cumple, por lo tanto, con las exigencias más elevadas.

División en clases de temperatura

Cuando una atmósfera potencialmente explosiva se inflama debido al calor superficial de una pieza, se requiere una temperatura mínima típica asociada al material para que se produzca la explosión. La temperatura de ignición es una cifra identificativa del material que indica el comportamiento de inflamación con gases, vapores o polvo en contacto con superficies calientes. Por razones de economía, los gases y vapores se clasifican en determinadas clases de temperatura. La clase de temperatura T6 indica, que la temperatura superficial máxima de la pieza o componente no puede sobrepasar los 85° C, tanto en situación de servicio como en caso de fallo, y que la temperatura de ignición de los gases y vapores debe ser superior a los 85° C.

Con la clasificación T6 el BLITZDUCTOR XT cumple, también en este aspecto, con las máximas exigencias.

De acuerdo con la certificación de conformidad expedida por KEMA, se deben tener también en cuenta los siguientes parámetros eléctricos.

Este componente cuenta con certificado de conformidad expedido por KEMA.

El equipo de protección contra sobretensiones tiene la clasificación **II 2(1) G Ex Ia IIC T4, T5, T6**.

Esta clasificación indica lo siguiente:

- II** Grupo de equipos - El descargador puede utilizarse en todos los sectores, con excepción de su uso en minería bajo tierra.
- 2(1)G** Categoría de equipos - El descargador puede instalarse en atmósferas potencialmente explosivas en zona 1 y también en conductores procedentes de la zona 0 (para protección de equipos terminales instalados en zona 0)
- EEx** El laboratorio de pruebas certifica que este equipo eléctrico cumple las normas europeas armonizadas.
EN 60079-0:2004-12: Disposiciones generales
EN 50020:2003-08: Seguridad intrínseca "i"
El equipo BLITZDUCTOR XT ha pasado de forma satisfactoria la prueba.
- ia** Tipo de protección - El descargador también controla una combinación de dos fallos arbitrarios en un circuito de seguridad intrínseca si causar ignición por el mismo.
- IIC** Grupo de explosión - El descargador cumple las exigencias del grupo de explosión IIC y puede utilizarse incluso en caso de gases inflamables como el hidrógeno o el acetileno.
- T4** Entre -40°C y +80°C
- T5** Entre -40°C y +75°C
- T6** Entre -40°C y +60°C

Criterios de selección para el SPD-BLITZDUCTOR XT

Utilizando como el ejemplo el BLITZDUCTOR XT, BXT ML4 BD EX 24 se exponen a continuación los criterios de selección específicos para este componente (Figuras 6.2.4.2a y 8.2.4.2b).

Otros datos técnicos importantes:

- ⇒ Inductancia externa máxima (L_0) y capacidad externa máxima (C_0):
Debido a la elección especial de componentes en el descargador BLITZDUCTOR XT los valores de la



Fig. 8.2.4.2a: Descargador con seguridad intrínseca.

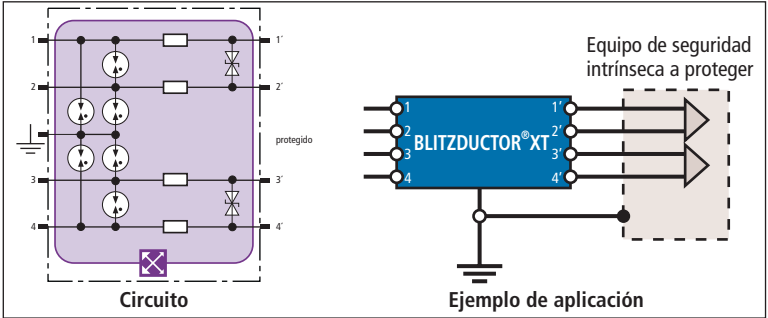


Fig. 8.2.4.2b: Esquema del BXT ML4 BD Ex 24.

La puesta a tierra solamente puede hacerse en un punto mediante conexión con la compensación de potencial. Los descargadores con una tensión continua de respuesta respecto a tierra <500 V DC suponen una puesta a tierra del circuito de seguridad intrínseca.

En caso de una tensión continua de respuesta del descargador >500 V DC, el circuito de seguridad intrínseca se considera como no puesto a tierra. El BLITZDUCTOR XT, BXT ML4 BD EX 24 cumple esta exigencia.

Para coordinar la rigidez dieléctrica de los equipos a proteger (convertidor de medida y sensor) con el nivel de protección del descargador, hay que asegurarse de que la resistencia de aislamiento de los equipos a proteger se encuentre claramente por encima de las exigencias para una tensión alterna de prueba de 500 V AC.

Para evitar que la caída de tensión producida por la perturbación que se descarga a tierra deteriore el nivel de protección, debemos asegurar que la unión equipotencial entre el descargador y el equipo a proteger está realizada de forma correcta.

En la **figura 8.2.4.4** se representa un caso especial de aplicación: cuando el equipo final que se pretende proteger tiene una rigidez dieléctrica <500 V AC. En este caso, el circuito de seguridad intrínseca no es flotante.

Se usa un BLITZDUCTOR XT, BXT ML4 BE, sin certificación para uso en zonas clasificadas, como descargador en zona clasificada que consigue un nivel de protección entre hilos y tierra/compensación de potencial considerablemente inferior a 500 V. Esto es necesario en esta aplicación particular ya que la rigidez dieléctrica del convertidor de medida corresponde con un valor <500 V AC.

Este ejemplo muestra, de manera especial, la importancia de la consideración conjunta de las condiciones de seguridad intrínseca y de la compatibilidad electromagnética/protección contra sobretensiones.

Puesta a tierra/ Compensación de potencial

Hay que asegurar una correcta equipotencialidad y una interconexión de la instalación de toma de tierra en zonas clasificadas.

La sección del conductor de tierra, desde el descargador hasta el sistema equipotencial, debe tener como mínimo una sección de 4 mm² de cobre.

Instalación de descargadores BLITZDUCTOR XT en circuitos de corriente Ex(i)

Las disposiciones normativas para los circuitos Ex(i), desde la perspectiva de la protección contra explosiones y las normas sobre compatibilidad electromagnética (EMV) corresponden a diferentes puntos de vista, lo que suele ocasionar problemas y dudas en los proyectistas y constructores de instalaciones.

En el capítulo 9.15, bajo el título “Utilización de dispositivos de protección contra sobretensiones en circuitos de seguridad intrínseca”, se presenta un listado de los criterios de elección más importantes para cumplir con la seguridad intrínseca y la compatibilidad electromagnética/protección contra sobretensiones en instalaciones, para detectar la interacción de una en la otra.

8.2.5 Peculiaridades en la instalación de los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS)

Se considera logrado el efecto de protección de un descargador cuando una fuente de interferencias se reduce a un valor situado por debajo del límite de perturbación o destrucción y por encima de la tensión máxima de servicio especificada para el equipo a proteger.

Generalmente el nivel de protección de un descargador viene dado por el fabricante mediante el valor U_p (Ver EN 61643-21 (IEC 61643-21)). La eficacia de un aparato de protección está en función, sin embargo, de otra serie de parámetros complementarios que dependen de la instalación.

Durante la descarga, la corriente circula a través de la instalación (p. ej. L y R del cable de puesta a tierra) causando una caída de tensión $U_L + U_R$ que se suma a U_p y que da lugar a la tensión residual en el equipo final U_r .

$$U_r = U_p + U_L + U_R$$

Una óptima protección contra sobretensiones es posible bajo las siguientes condiciones:

- ⇒ La tensión máxima de servicio U_c del descargador debe estar ligeramente por encima de la tensión en vacío del sistema.
- ⇒ La U_p del descargador debe ser la menor posible, ya que entonces las caídas de tensión suplementarias en la instalación reducen su efecto.

- ⇒ El cable de puesta a tierra o conexión equipotencial se debe diseñar con la menor impedancia posible.
- ⇒ Instalar el descargador lo más cerca posible del equipo final reduce la tensión residual.

Ejemplos de instalación

Ejemplo 1: Instalación correcta (Figura 8.2.5.1).

El equipo final se pone a tierra únicamente a través del punto de conexión a tierra del descargador. Esto tiene como consecuencia que la U_p del descargador se aplica directamente al equipo final. Esta forma de instalación muestra el caso de aplicación más favorable para la protección del mismo.

$$U_r = U_p$$

$U_L + U_R$ no tienen efecto alguno.

Ejemplo 2: Instalación más frecuente (Figura 8.2.5.2)

El equipo final se pone a tierra directamente en el punto de conexión a tierra del descargador y a través del conductor de protección. Esto trae como consecuencia que una parte de la corriente de derivación, dependiendo de la relación entre impedancias, fluye hacia el equipo final a través de la conexión. Para impedir un acoplamiento de la perturbación desde el cable de unión equipotencial hacia los hilos protegidos y para mantener pequeña la tensión residual, esta conexión debe realizarse, a ser posible, de forma

separada y/o realizarse con muy baja impedancia (p. ej. placa de montaje metálica). Esta forma de instalación se corresponde con la forma de instalación más corriente para equipos finales de la clase de protección I.

$$U_r = U_p + U_v$$

Ejemplo 3: Equipotencialidad realizada incorrectamente.

El equipo final se pone a tierra únicamente de forma directa, por ejemplo, a través del conductor de protección. No existe una unión equipotencial de baja impedancia hasta el dispositivo de protección. El tramo del cable de puesta a tierra que va desde el equipo de protección hasta el encuentro con la conexión del conductor de protección del equipo final (p. ej. barra equipotencial) influye considerablemente sobre la tensión residual. Dependiendo de la longitud del conductor, pueden producirse caídas de tensión de hasta algunos kV, que se suman a la U_p y que pueden llegar a ocasionar la destrucción del equipo a proteger.

$$U_r = U_p + U_L + U_R$$

Ejemplo 4: Tendido incorrecto de los conductores (Figura 8.2.5.4).

A pesar de una equipotencialidad realizada correctamente, un tendido incorrecto de los conductores

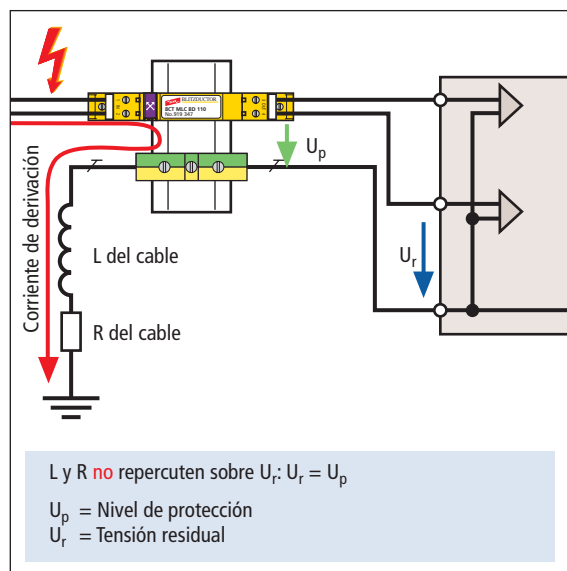


Fig. 8.2.5.1: Instalación correcta.

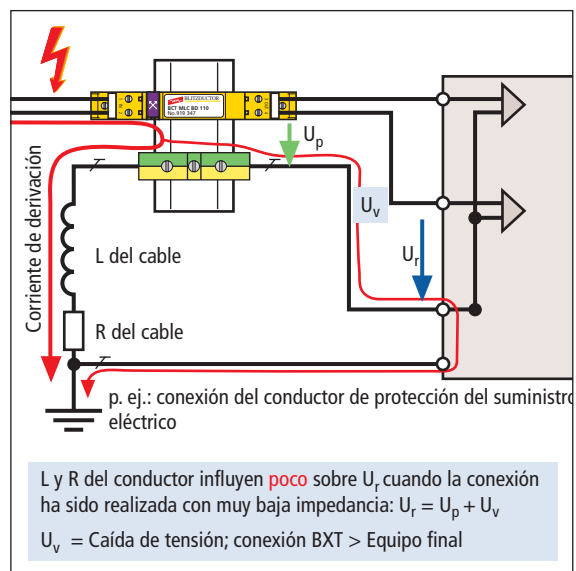


Fig. 8.2.5.2: Instalación más frecuente.

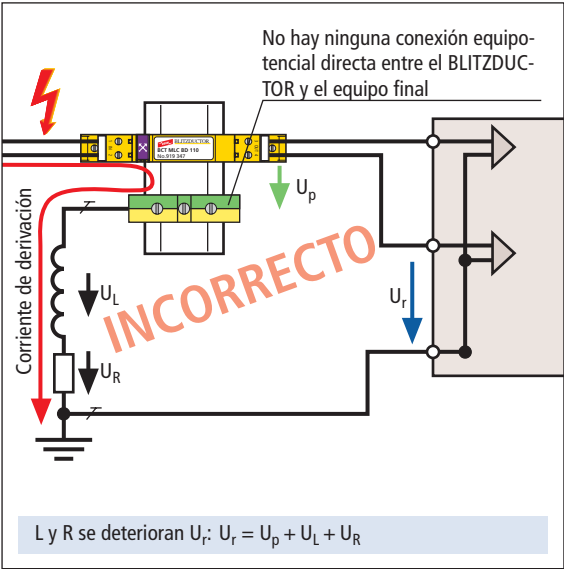


Fig. 8.2.5.3: Equipotencialidad realizada incorrectamente.

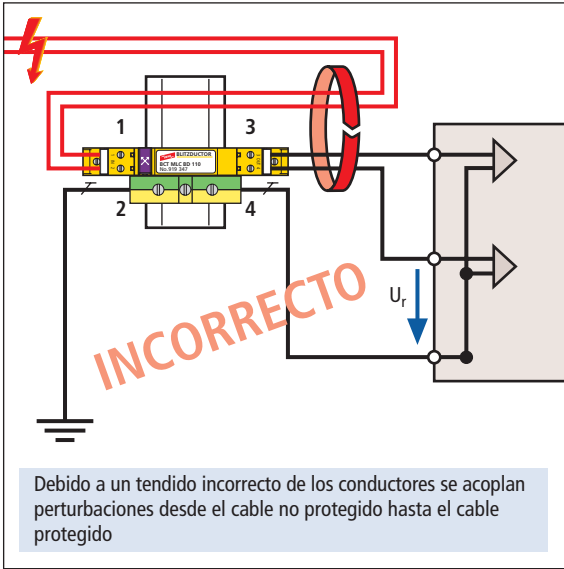


Fig. 8.2.5.4: Tendido incorrecto de los conductores.

puede dar lugar a un deterioro del efecto de protección, e incluso pueden llegar a producirse daños en el equipo a proteger. Si no se mantiene una estricta separación o un blindaje del cable no protegido delante del descargador y del cable protegido detrás del descargador puede ocasionarse un acoplamiento de impulsos de perturbación sobre el cable protegido, debido al campo electromagnético.

Apantallamiento

El apantallamiento del cable se describe en el apartado 7.3.1.

Recomendaciones para la instalación:

La utilización de blindajes metálicos o de conductores de cables reduce los efectos recíprocos entre los pares de cables y el entorno. En los cables apantallados debe tenerse muy en cuenta lo siguiente:

- ⇒ Toma de tierra en un extremo de la pantalla del cable: disminuye la radiación de campos eléctricos.
- ⇒ Toma de tierra en ambos extremos de la pantalla del cable: disminuye la radiación de campos electromagnéticos.

Tipo de instalación	Distancia		
	Sin separador o separador no metálico	Separador de aluminio	Separador de acero
Cables de baja tensión no apantallados y cables de telecomunicaciones no apantallados	200 mm	100 mm	50 mm
Cables de baja tensión no apantallados y cables de telecomunicaciones apantallados	50 mm	20 mm	5 mm
Cables de baja tensión apantallados y cables de telecomunicaciones no apantallados	30 mm	10 mm	2 mm
Cables de baja tensión apantallados y cables de telecomunicaciones apantallados	0 mm	0 mm	0 mm

Tabla 8.2.5.1: Separación de cables de telecomunicaciones y cables de baja tensión según EN 50174-2.

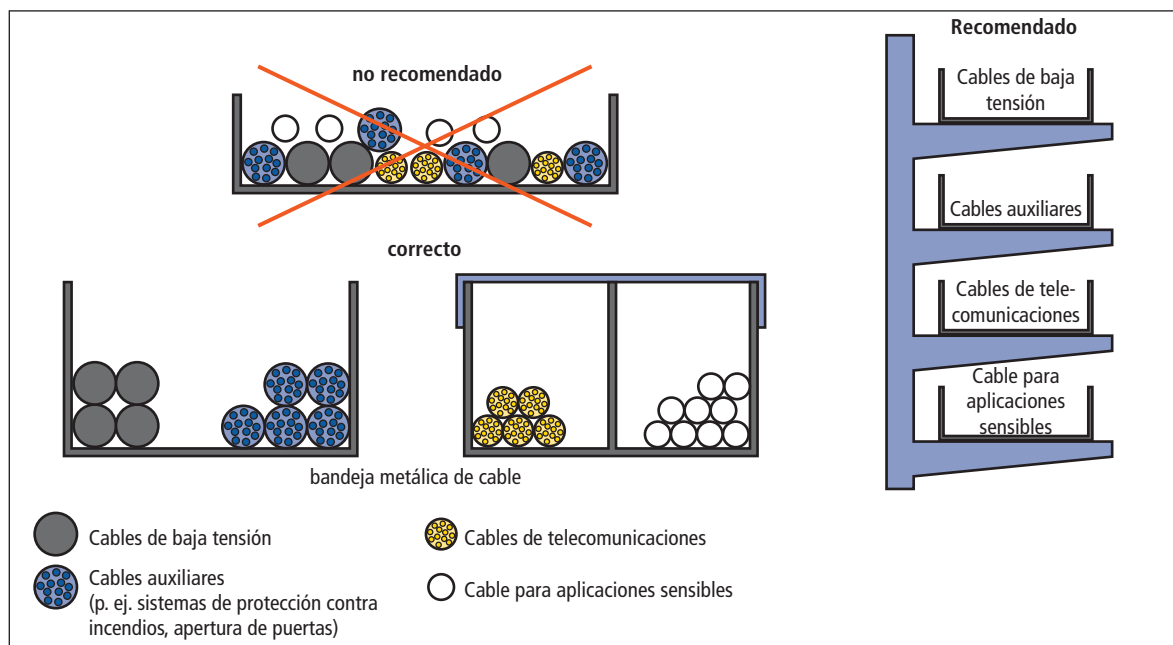


Fig. 8.2.5.5: Separación de cables en bandejas.

⇒ Los apantallamientos convencionales no ofrecen ninguna protección frente a campos magnéticos de baja frecuencia.

Recomendaciones

La pantalla del cable debería ser continua entre instalaciones de telecomunicaciones, presentar una escasa resistencia de acoplamiento y, a ser posible, estar conectada en todo su contorno. El blindaje debe recubrir, a ser posible, los conductores en toda su superficie. Deben evitarse interrupciones del blindaje, conexiones a tierra de alta impedancia y bucles. La medida en que los cables de baja tensión influyen sobre los cables de telecomunicaciones depende de

un gran número de factores. Los valores recomendados para la distancia respecto a los cables de baja tensión se describen con detalle en la norma EN 50174-2. En caso de una longitud de conductor inferior a 35 m, no se precisa, por lo regular, ninguna distancia de separación. En los otros casos se aplicaría lo expuesto en la **tabla 8.2.5.1**.

Se recomienda el tendido de cables de telecomunicaciones en bandejas metálicas cerradas y conectadas eléctricamente. Los sistemas de guiado de cable metálicos deberían conectarse a tierra con baja impedancia, a ser posible repetidas veces, pero como mínimo al principio y al término de los mismos (**Figura 8.2.5.5**).

9. Ejemplos de aplicación

9.1 Protección contra sobretensiones de convertidores de frecuencia

En principio, un convertidor de frecuencia se compone de un rectificador, un circuito intermedio, un alternador y la electrónica de control. (Figura 9.1.1).

En la entrada del alternador, la tensión alterna monofásica o trifásica enlazada se transforma en una tensión continua pulsante y llega así al circuito intermedio, que actúa asimismo como acumulador de energía.

Debido a la presencia de condensadores en el circuito intermedio y elementos L-C conectados contra masa en el filtro de red, pueden surgir problemas con

dispositivos de protección RCD preconectados. (RCD= Residual Current protective Device). Muchas veces, estos problemas se relacionan, equivocadamente, con la utilización de descargadores de sobretensión. De hecho, se originan a causa de la inducción, durante corto tiempo, de corrientes de error generadas por el convertidor de frecuencia. Estas corrientes de error son suficientes para hacer que se disparen dispositivos de protección RCD muy sensibles. Una posible solución es la utilización de interruptores de protección RCD resistentes a corrientes de choque, con una corriente de disparo de $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ y con una capacidad de derivación desde 3 kA (80/20 micros).

El rectificador alternador, a través de la electrónica de control, proporciona una tensión de salida acom-

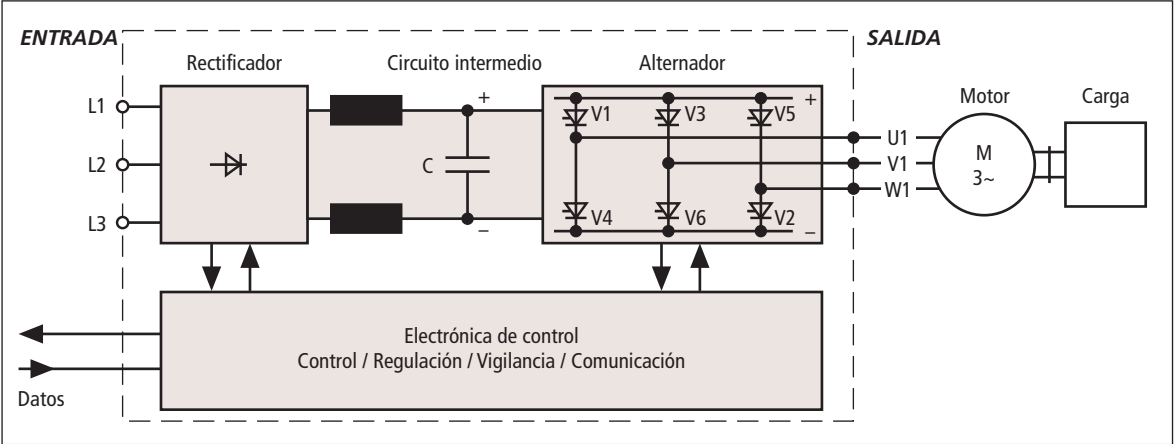


Fig. 9.1.1: Estructura de principio de un convertidor de frecuencia.

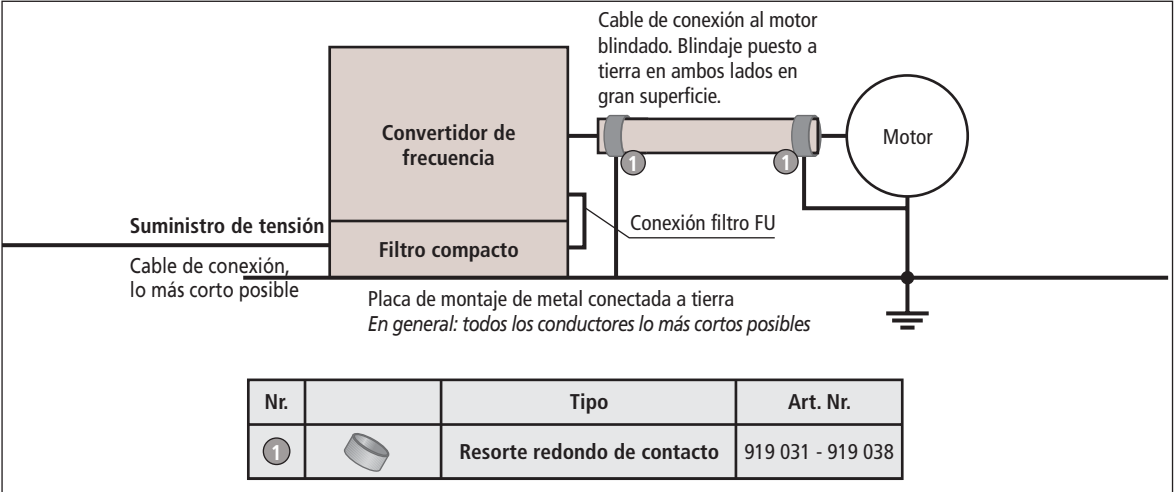


Fig. 9.1.2: Conexión del blindaje del cable del motor de acuerdo con la compatibilidad electromagnética.

pasada. Cuanto más elevada sea la frecuencia de tacto de la electrónica de control para la modulación de la amplitud de impulsos, tanto más se asemejará la tensión de salida a una forma sinusoidal. Con cada tacto se produce una punta de tensión, que se superpone al desarrollo de la oscilación básica. Esta punta de tensión llega a alcanzar valores superiores a 1200

V (dependiendo del convertidor de frecuencia). Cuanto mejor sea la reproducción del desarrollo sinusoidal, tanto mejor será el comportamiento de marcha y control del motor. Esto, sin embargo, significa que las puntas de tensión aparecen con mayor frecuencia en la salida del convertidor de frecuencia.

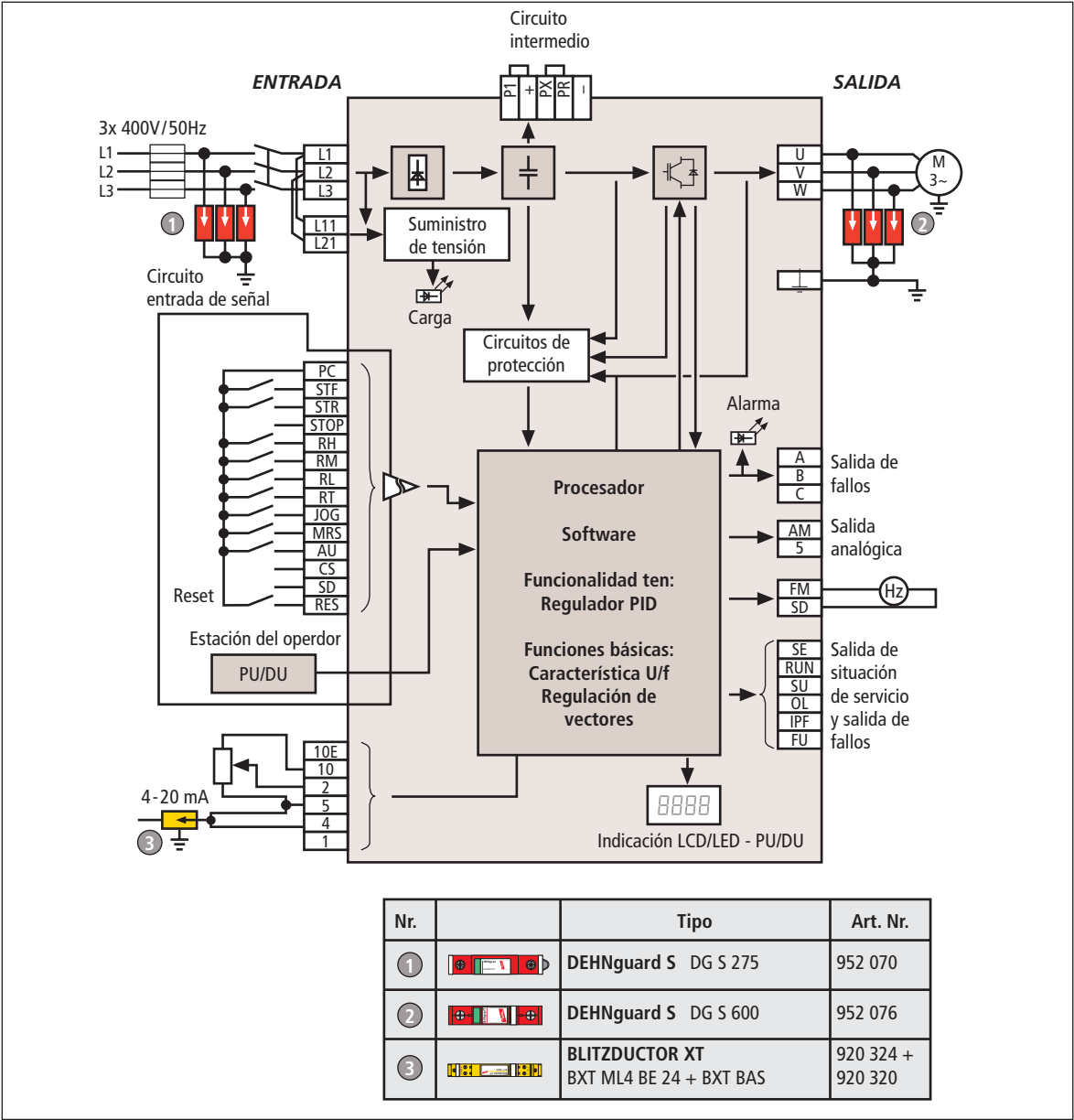


Fig. 9.1.3: Vista de conjunto del circuito de un rectificador de frecuencia con descargador de sobretensiones.

En la elección de descargadores de sobretensión hay que prestar atención a la "máxima tensión permisible de servicio" U_c . Ésta indica la tensión de servicio máxima admisible a la que se puede conectar un dispositivo de protección contra sobretensiones. Esto significa que, en el lado de salida del convertidor de frecuencia, se instalarán descargadores con un valor correspondientemente más elevado para U_c .

Con ello, se evitará que, en un estado de servicio "normal" y con las puntas de tensión correspondientes, se origine un "envejecimiento artificial" por el continuo calentamiento de los descargadores. Este calentamiento acorta la vida útil del protector.

La tensión en la salida del convertidor de frecuencia es variable y se ajusta algo más alta que la tensión nominal en la entrada. Con frecuencia supone aproximadamente +5% en servicio permanente a fin de poder compensar, por ejemplo, la caída de tensión de los conductores conectados. Por lo demás, puede decirse, simplificando, que la tensión máxima en la entrada del convertidor de frecuencia es igual a la tensión máxima en la salida del mismo.

La elevada frecuencia de tactos en la salida del convertidor de frecuencia origina perturbaciones dependientes del campo.

Para que, con ello, no se destruyan otros sistemas, es necesario disponer de un tendido blindado del conductor. El blindaje del cable del motor debe ponerse a tierra bilateralmente, es decir, tanto en el convertidor de frecuencia como en el motor. Al hacerlo hay que prestar atención a que haya una superficie de contacto superficial grande del blindaje por razones de compatibilidad electromagnética. Para ello resulta muy ventajosa la utilización de resortes de rodillo de contacto (**Figura 9.1.2**).

Mediante instalaciones de toma de tierra entrelazadas, es decir conexión de la instalación de toma de tierra del convertidor de frecuencia y del motor de accionamiento, se reducen las diferencias de potencial entre las partes de la instalación y con ello se evitan corrientes de compensación sobre el blindaje.

En la **figura 9.1.3** se representa la utilización de dispositivos de protección contra sobretensiones del tipo DEHNguard para el lado de suministro de energía, y del tipo BLITZDUCTOR para el lado de señales de 4-20 mA. Dependiendo de cada interface se utilizará uno u otro dispositivo de protección.

Al efectuar la integración del convertidor de frecuencia en la automatización de edificios es absolutamente necesario dotar a todos los interfaces de evaluación y comunicación con DPS para evitar fallos del sistema.

9.2 Protección contra rayos y sobretensiones en instalaciones exteriores de alumbrado

Las lámparas o farolas externas de iluminación pueden estar situadas tanto en los muros externos de los edificios como aisladas sobre el terreno. En cada uno de los dos casos hay que verificar si se encuentran en la zona de protección contra rayos LPZ 0_A o bien en la zona de protección contra rayos LPZ 0_B .

Las farolas exteriores que se encuentran en la zona de protección contra rayos LPZ 0_A están expuestas al riesgo de descargas directas de rayo, corrientes de impulso e incluso a la corriente total de rayo. En la zona de protección contra rayos LPZ 0_B están protegidas contra descargas directas de rayo pero, sin embargo están expuestas al riesgo de corrientes de impulso, así como a corrientes parciales de rayo.

Si se trata de farolas instaladas en la zona de protección contra rayos LPZ 0_B , las lámparas deben estar interconectadas entre sí a nivel de tierra y asimismo estar unidas a la toma de tierra de los edificios a tra-

vés de cables subterráneos. Para el dimensionado de los materiales y para las secciones que se han de aplicar recomendamos utilizar la tabla de la norma UNE EN 62305-3.

A continuación exponemos un extracto, muy utilizado en la práctica, de la citada tabla (Tabla 9.2.1). El material a emplear debe elegirse siempre teniendo en cuenta las correspondientes medidas contra la corrosión.

Las medidas a adoptar para reducir la probabilidad de una descarga eléctrica debida a una tensión de contacto o a una tensión de paso deberán decidirse en cada caso independientemente.

Análogamente a lo indicado en la norma UNE EN 62305-3, como medida para reducir las tensiones de contacto se precisa, por ejemplo, disponer una capa de asfalto de 3 metros alrededor de la farola (Figura 9.2.1) que tenga un espesor mínimo de 5 cm. Asimis-

Material	Forma	Conductor de tierra	Observación
Cobre	Cable Redondo Banda	50 mm ² 50 mm ² 50 mm ²	Diámetro mínimo del hilo 1,7 mm Diámetro 8 mm Grosor mínimo 2 mm
Acero	Redondo cincado 50 µm Banda cincada 70 µm	Diámetro 10 mm 90 mm ²	- Grosor mínimo 3 mm
V4A Acero	Redondo Banda	Diámetro 10 mm 100 mm ²	- Grosor mínimo 2 mm

Tabla 9.2.1: Dimensiones mínimas de conductores de tierra para conexión de farolas en la zona de protección contra rayos 0_A , entre sí y con la instalación de toma de tierra del edificio.

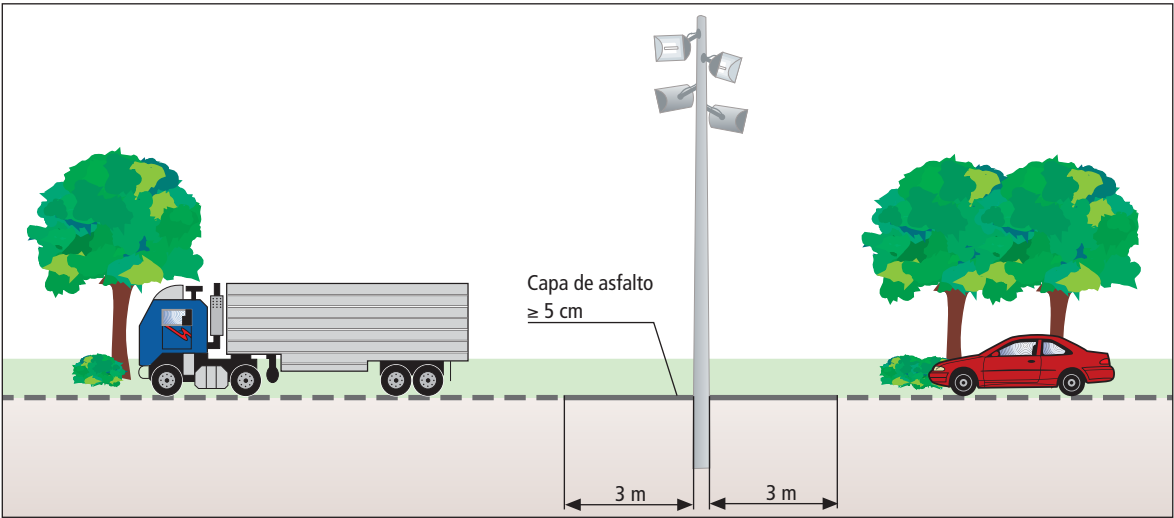


Fig. 9.2.1: Aislamiento en el lugar de emplazamiento para reducción de la tensión de contacto que se produce en caso de descargas de rayos en una farola.

mo, en dicha norma se cita, para reducir la tensión de paso, a título de ejemplo, el control de potencial. Para ello se disponen cuatro anillos en las distancias 1,0 m; 4,0 m; 7,0 m y 10,0 m a las profundidades correspondientes de 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m y 2,0 m alrededor de la farola. Estos anillos se unen entre sí y con la farola con cuatro conductores de conexión desplazados en 90° (Figura 9.2.2).

Los tipos de descargadores que se citan a continuación están dispuestos en la transición de las zonas de protección LPZ 0_A-1 ó bien LPZ 0_B-1.

La entrada del cable que comunica las farolas exteriores situadas en la zona de protección contra rayos LPZ 0_A con el edificio, debería protegerse mediante la instalación de descargadores de corriente de rayo tipo 1 en la entrada del mismo.

Para determinar si las farolas están o no en la zona de protección contra rayos LPZ 0_A se utilizará el método de la esfera rodante (Figuras 9.2.3 y 9.2.4).

Al utilizar descargadores de corriente de rayo Tipo 1, hay que verificar si, en la distribución eléctrica en la que deben instalarse hay ya un descargador de

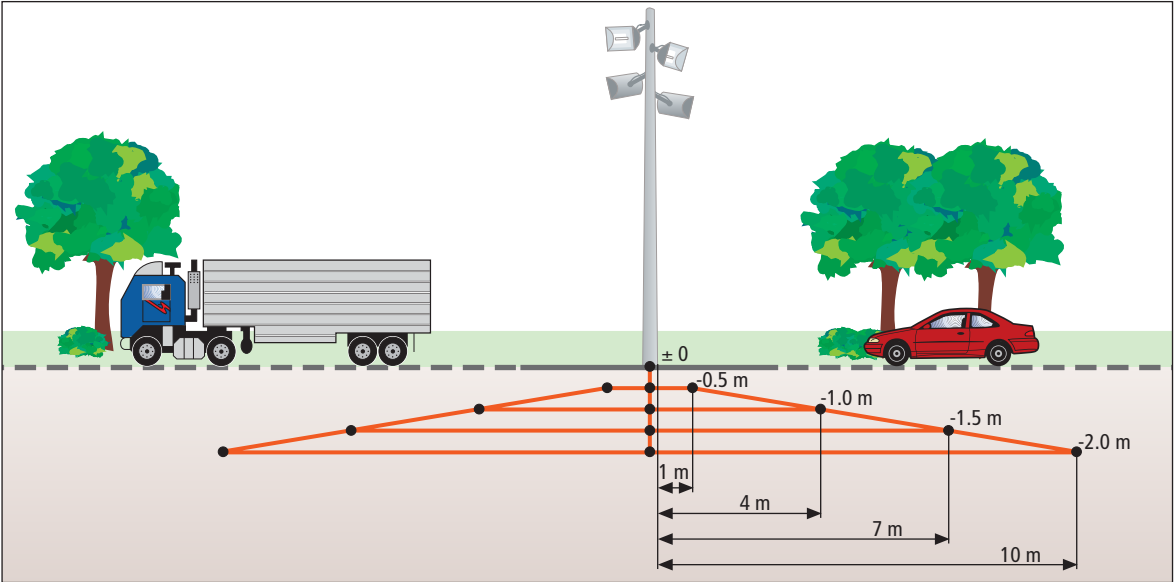


Fig. 9.2.2: Control de potencial para reducción de la tensión de paso que se origina en caso de una descarga de rayo en una farola.

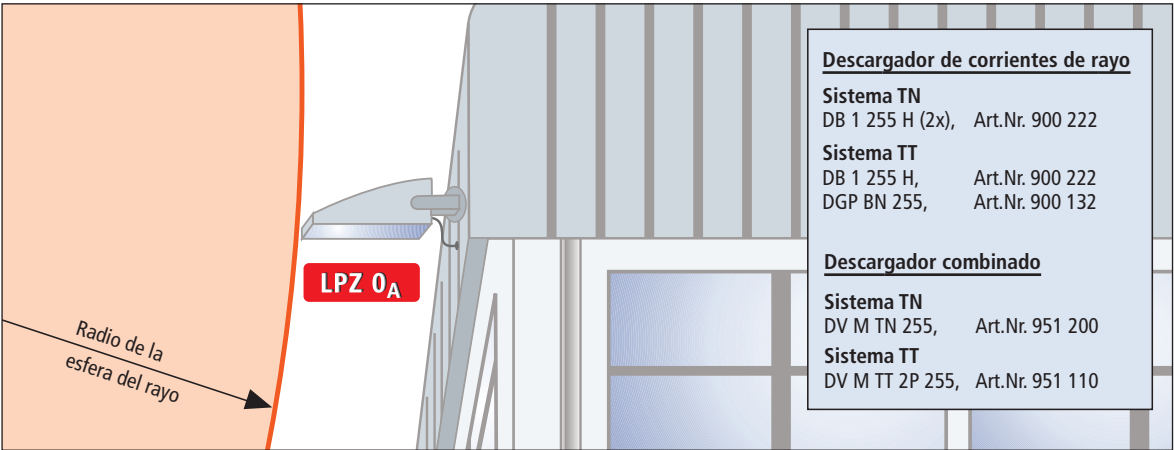


Fig. 9.2.3: Farola exterior en la zona de protección contra rayos 0_A.

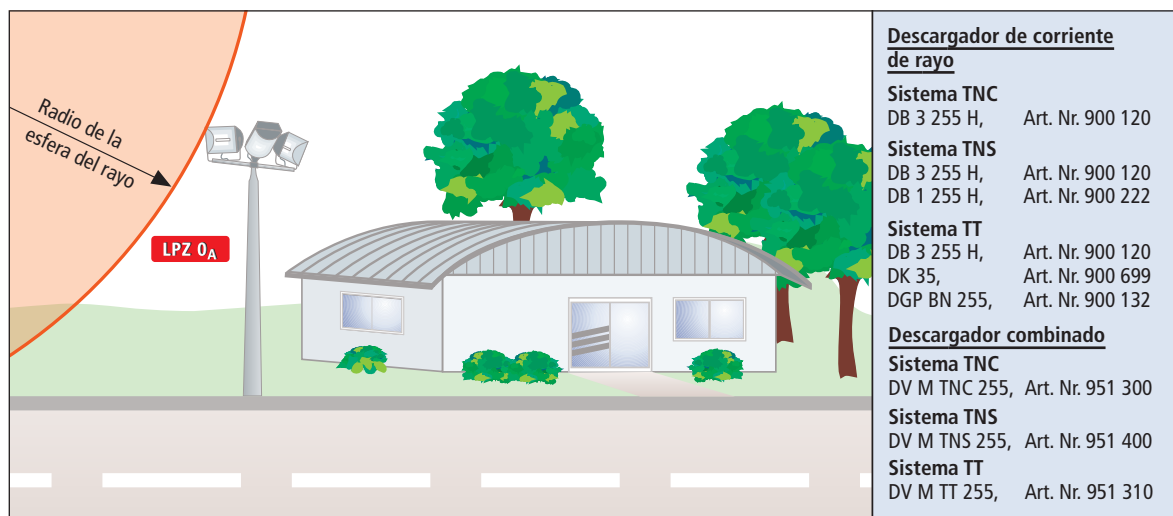


Fig. 9.2.4: Farola exterior en la zona de protección contra rayos 0_A .

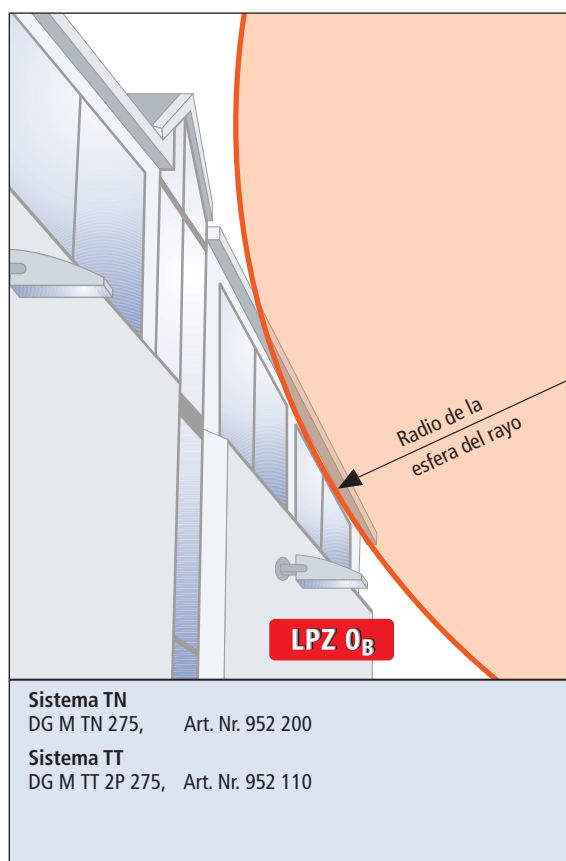


Fig. 9.2.5: Farola exterior en la zona de protección contra rayos 0_B .

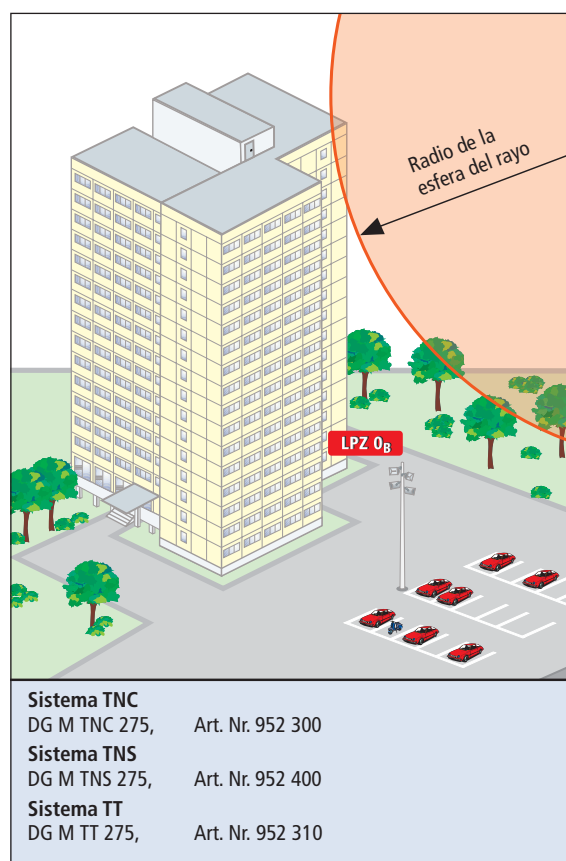


Fig. 9.2.6: Farola exterior en la zona de protección contra rayos 0_B .

sobretensiones del tipo 2 y si lo hay, que esté coordinado energéticamente. Si no es este el caso, recomendamos instalar descargadores combinados en la zona de transición de protección contra rayos.

En el caso de farolas situadas en la zona de protec-

ción contra rayos LPZ 0_B deben instalarse descargadores de sobretensiones del Tipo 2 en la entrada del edificio. Para poder determinar esta zona de protección contra rayos se utiliza el método de la esfera rodante. (**Figuras 9.2.5 y 9.2.6**).

9.3 Protección contra rayos y sobretensiones en instalaciones de biogás

En las instalaciones modernas de gas se reciclan biológicamente sustratos orgánicos como el estiércol, la hierba, la paja...y residuos biotónicos como, restos de la fabricación de azúcar, vino, cerveza, comidas y grasas. Para ello, los materiales orgánicos se introducen en depósitos herméticos al aire (Fermentadores / recicladores). En este entorno libre de oxígeno, las bacterias producen biogás a partir de los componentes fermentables, orgánicos, de la biomasa. El biogás obtenido se utiliza para generar corriente y calor.

En la **figura 9.3.1** se reproduce una visión de conjunto de una instalación típica de biogás. Las instalaciones de biogás se componen, generalmente, de un depósito mezclador (depósito previo), eventualmente un dispositivo de higienización, uno o varios fermentadores, un depósito acumulador, eventualmente de un post-fermentador, un depósito de gas y una instalación de tratamiento de gas.

El Ligavator (depósito de líquidos) representado en la **figura 9.3.1** sirve para la conservación, por ejemplo, de cereales. El motor de gas con intercambiador térmico y con generador acoplado, se denomina central térmica de bloque (BHKW). Esta central genera corriente eléctrica con un grado de efectividad de aprox. el 30%,

referido al contenido energético de biogás y calor con un grado de efectividad de aproximadamente el 60%. El calor generado se utiliza, en parte, para calentar el fermentador, mientras que el calor restante se aplica para la calefacción de los edificios de vivienda y edificios agrícolas.

Necesidad de un sistema de protección contra rayos

Hasta enero del año 2003 había que aplicar la reglamentación eléctrica "Normas sobre instalaciones eléctricas en zonas expuestas al riesgo de explosiones" y posteriormente fue reemplazada por la "Reglamentación sobre seguridad de servicio" (BetrSichV).

Esta normativa es aplicable a la disponibilidad de elementos de trabajo por parte de los patronos así como a la utilización de estos medios de trabajo por parte de los empleados durante el trabajo (Ver artículo 1, apartado 1 de la norma BetrSichV). También es aplicable en caso de instalaciones que requieren vigilancia en el sentido del artículo 2, apartado 2a de la Ley de seguridad de equipos (GSPG). Según ésta, las instalaciones expuestas al riesgo de explosiones se clasifican como instalaciones que requieren vigilancia.

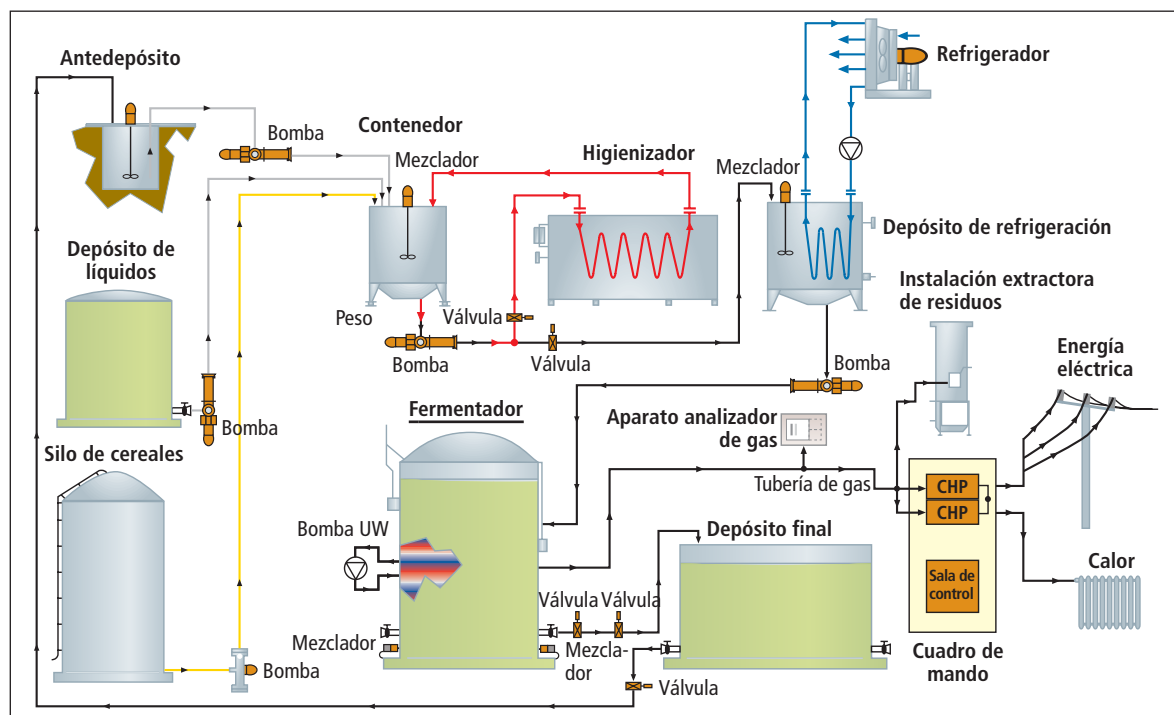


Fig. 9.3.1: Vista de conjunto de una instalación de biogás.

Así, por ejemplo, como en el entorno de depósitos y acumuladores de gas se producen mezclas explosiva de gas/aire, las instalaciones de biogás deben clasificarse como instalaciones expuestas al riesgo de explosión. Según el artículo 12 de la Reglamentación sobre seguridad en el trabajo, las instalaciones de biogás deben instalarse y gestionarse de acuerdo con el estado actual de la técnica. En consecuencia, deben disponerse el correspondiente sistema de protección contra rayos, que ha de ser instalado de acuerdo con la Reglamentación sobre seguridad en el trabajo. En las normas de seguridad para instalaciones agrícolas de biogás BGR 104, apartado 2 se hace referencia expresa a que, en zonas expuestas al riesgo de explosiones deberán adoptarse “Medidas que impidan la inflamación de atmósferas explosivas” a fin de evitar fuentes de explosión.

Según la norma EN 1127-1, apartado 5.3.1 se puede diferenciar entre trece posibles fuentes de inflamación. En el apartado 5.3.8 de la EN 1127-1 así como en la disposición BGR 104 se considera el rayo como posible causa de inflamación.: “Cuando descarga un rayo en una atmósfera inflamable (explosiva) ésta siempre se enciende. Además existe la posibilidad de inflamación por el calentamiento del recorrido de derivación del rayo. Desde el punto de descarga del rayo fluyen corrientes que, también a grandes distancias, ocasionan en todas direcciones desde el punto de descarga del rayo, chispas que pueden dar lugar a incendios. Incluso, sin descarga directa de rayo, las descargas eléctricas que se producen durante una tormenta pueden generar altas tensiones inducidas en instalaciones, aparatos y componentes.”

Las normas de protección contra explosiones exigen que, en caso de riesgos derivados de descargas de rayo, se adopten medidas apropiadas de protección contra rayos.

La norma BetrSichV obliga claramente al propietario de la instalación a realizar una determinación y valoración completa de los factores de riesgo para lugares de trabajo expuestos al riesgo de explosiones.

Según el artículo 5 de la citada norma, el patrono debe dividir en zonas los sectores expuestos al riesgo de explosiones, tomando en consideración los resultados obtenidos en una evaluación de riesgos. La determinación de las zonas de protección contra explosiones debe señalarse en un documento específico.

En la norma de protección contra rayos UNE EN 62305-3, Anexo D, se enumeran “otras informaciones para sistemas de protección contra rayos en instalaciones de obra expuestas al riesgo de explosión”. Según esta norma el sistema de protección contra rayos para estos sis-

temas debe realizarse, como mínimo según la clase de protección II.

En casos especiales hay que verificar si existe la obligación de adoptar medidas de protección suplementarias según UNE EN 62305-2.

Con el procedimiento de cálculo contenido en esta normativa puede efectuarse un análisis de riesgos cuyo objetivo es determinar el riesgo de daños que pueden producirse en una instalación como consecuencia de una descargas directa o indirecta de rayo sobre una instalación, incluyendo los que puedan afectar a las personas y equipamientos que se encuentran dentro de la misma.

Si el riesgo de daños es superior al aceptable, deberá minimizarse mediante la adopción de las correspondientes medidas de protección contra.

En la hoja complementaria 2 de la norma UNE EN 62305-3 se recoge información adicional para instalaciones de obra especiales. Aquí se especifican con más detalle las exigencias que se plantean en la protección contra rayos en instalaciones de biogás. Según ello, cuando no se puedan descartar totalmente eventuales riesgos y peligros a causa de chispas inflamables en los puntos de conexión y unión, las instalaciones de biogás deben protegerse mediante soluciones aisladas de protección contra el rayo.

Protección exterior contra rayos

La pieza capital de una instalación de biogas es el fermentador.

En el mercado existe un amplio espectro de sistemas de fermentación que se diferencian por su forma de ejecución. El sistema de protección contra rayos debe adaptarse siempre a las circunstancias de obra de este sistema de fermentación. Teniendo los mismos objetivos de protección puede haber diferentes posibilidades de solución. Como ya hemos mencionado antes, el sistema de protección contra rayos de la clase de protección II cumple las exigencias normales para instalaciones expuestas al riesgo de explosión y por lo tanto también para instalaciones de biogas.

Como ya se ha indicado varias veces, un sistema correcto y eficaz de protección contra rayos se compone de la protección exterior e interior.

La protección exterior tiene como objetivo capturar todas las descargas de rayo, incluidas las descargas laterales, que se puedan producir en la instalación a proteger; desviar la corriente de rayo desde el punto de descarga a tierra y, finalmente, dispersar la corriente del rayo en el terreno sin que se produzcan daños en la ins-

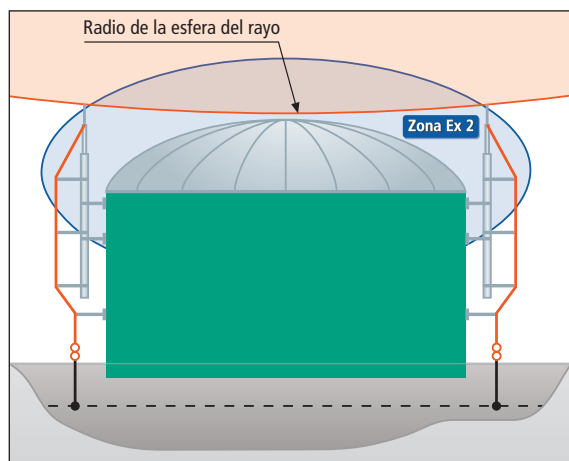


Fig. 9.3.2: Aplicación del sistema DEHNiso Combi para protección de un fermentador con cubierta de lámina.

	DEHNiso Combi St (Art. Nr. 105 455)
	1 pieza. longitud total 5700 m compuesta por:
	1 punta captadora Al, L = 1000 mm (Art. Nr. 105 071)
	1 Tubo de soporte GFK, L = 4700 mm (Art. Nr. 105 301)
	3 x ángulos de fijación a la pared NIRO (V2A) (Art. Nr. 105 340)
	2 x soportes distanciadores GFK/Al, L = 1030 mm (Art. Nr. 106 331)

Tabla 9.3.1: Set DEHNiso-Combi.

talación a causa de efectos mecánicos, térmicos o eléctricos.

Fermentador con lámina de cubierta

En las instalaciones de biogas se utilizan frecuentemente fermentadores con cubierta de lámina. Una eventual descarga de rayo en la cubierta de lámina del fermentador comportaría daños severos en la misma. Debido a los efectos de fusión y formación de chispas en el punto de descarga del rayo existe el riesgo de incendio y explosiones.

Las medidas de protección contra rayos deben realizarse de tal manera que no se produzca ninguna descarga directa de rayo en la cubierta de lámina del fermentador (Figura 9.3.2).

De acuerdo con las normas de seguridad para instalaciones agrícolas de biogas, la zona EX 2 está fijada en un espacio de 3 metros alrededor de la cubierta de lámina del fermentador. La zona EX 2 contiene muy raramente atmósferas explosivas y durante corto tiempo. Esto sig-

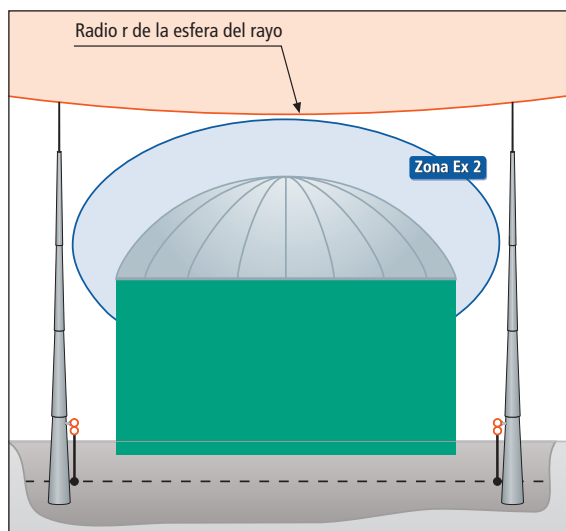


Fig. 9.3.3: Protección de un fermentador con lámina de cubierta con tele-mástiles de acero de protección contra el rayo.

nifica que, en la zona EX 2 sólo hay que contar con atmósfera EX en casos muy raros de servicio imprevistos (Casos de averías y trabajos de servicio técnico).

Por lo tanto, en la zona EX 2, según UNE EN 62305-3 está permitida la colocación de dispositivos captadores. La altura y el número de los dispositivos captadores se determinan por el método isogeométrico de la esfera del rayo. A las instalaciones expuestas al riesgo de explosiones les corresponde un nivel de protección II y, en consecuencia, el radio de la esfera del rayo es de de 30 metros (Figura 9.3.2).

La membrana interior en el depósito de gas del fermentador, está dispuesta y apoyada sobre la pared interior metálica del fermentador, dependiendo en cada caso de la cantidad de gas.

Para que no se produzcan descargas incontroladas desde el derivador hacia la pared metálica del fermentador, este derivador se instala como derivación separada, independiente. El tendido separado del derivador se realiza utilizando soportes distanciadores de GFK (GFK = Plástico de fibra de vidrio reforzada). Estos soportes especiales aportan el necesario aislamiento eléctrico del sistema de protección contra rayos en relación con las piezas conductoras del fermentador. La longitud del soporte distanciador se calcula de acuerdo con lo establecido en la norma UNE EN 62305-3 sobre distancias de seguridad.

El set DEHNiso Combi según tabla 9.3.1 se utiliza en los casos de aplicación que se indican en la figura 9.3.2.

Otra posibilidad de evitar una descarga directa de rayo

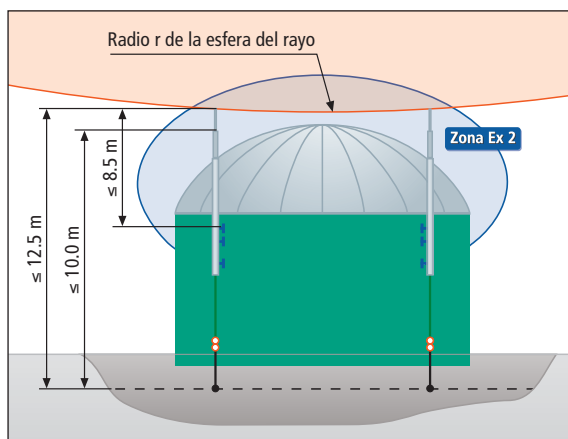


Fig. 9.3.4: Protección del fermentador mediante mástil captador aislado con conductor 1 HVI.

en un fermentador con cubierta de lámina es la utilización de tele-mástiles de acero de protección contra rayos (Figura 9.3.3). Los mástiles se introducen en el suelo o en los cimientos. Con estos mástiles se pueden alcanzar alturas libres sobre el terreno de hasta 21 metros y, en caso de ejecuciones especiales, se pueden alcanzar incluso alturas superiores. La longitud habitual de los tramos de los mástiles de acero de tele-protección contra rayos se es de 3,5 metros., lo cuál facilita enormemente las tareas de transporte.

En las Instrucciones de montaje Nr. 1574 pueden verse más datos sobre la utilización de tele-mástiles de acero de protección contra rayos.

Una tercera posibilidad para proteger al fermentador con lámina de cubierta contra una descarga directa de rayo es la utilización del sistema de DEHNconductor.

El programa de elementos del sistema DEHNconductor se compone del conductor especial HVI y de los elementos de conexión y fijación necesarios para su instalación. El HVI es un conductor controlado por tensión, aislado frente a altas tensiones con un revestimiento exterior especial. Es una magnífica solución para conseguir asegurar la necesaria distancia de separación entre los componentes del sistema de protección externo contra el rayo y elementos metálicos de la instalación según exige la norma UNE EN 62305-3. Así pues, en primer lugar, hay que calcular la distancia de separación que según la norma citada, debe respetarse. Cuando no es posible conseguirla de un modo natural, la distancia de separación equivalente puede obtenerse con la que aporta el conductor HVI.

Hay dos variantes de soluciones con el sistema del DEHNconductor.

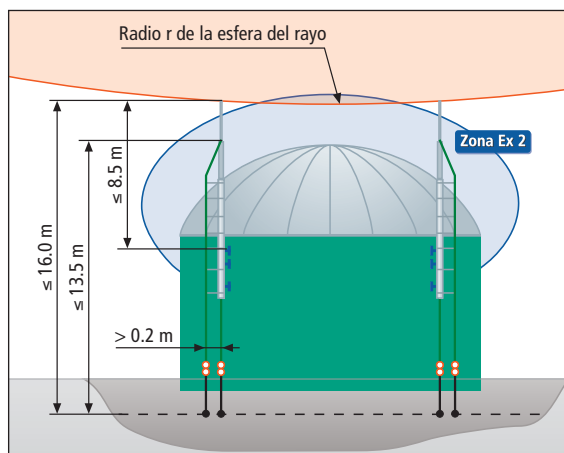


Fig. 9.3.5: Protección del fermentador mediante mástiles captadores aislados con 2 conductores HVI.

1ª. Variante.: Mástiles captadores con un conductor HVI (Figura 9.3.4). La longitud total máxima del dispositivo captador, desde el nivel de compensación de potencial (Instalación de toma de tierra) hasta la punta captadora, es de 12,5 metros, pudiendo ser la longitud máxima libre sobre el borde superior del fermentador de 8,5 metros por razones mecánicas).

2ª. Variante: Mástiles captadores con dos conductores HVI (Figura 9.3.5). La longitud total máxima del dispositivo captador, desde el nivel de la compensación de potencial (Instalación de toma de tierra) hasta la punta captadora, es de 16 metros, siendo también aquí la longitud máxima libre sobre el borde superior del fermentador de 8,5 metros.

Observación: Los dos conductores HVI tienen que tenderse paralelos a una distancia superior a 20 cm.

Puede encontrarse información más detalladas sobre el sistema del DEHNconductor en las Instrucciones de montaje que se citan a continuación y que están disponibles gratuitamente en la página web www.dehn.de:

- ⇒ Instrucciones de montaje 1565: Mástil captador con conductor HVI tendido en el interior para instalaciones de biogas.
- ⇒ Instrucciones de montaje 1501: Conductor HVI en la Zona EX.

Observación sobre servicios de planificación

DEHN + SÖHNE ofrece unos servicios gratuitos de planificación y asesoramiento técnico sobre la aplicación de dispositivos captadores separados sobre la base del sistema del DEHNconductor, del sistema DEHNiso-Combi ó también para Tele-mástiles de acero para protección contra rayos.

Este asesoramiento incluye:

- ⇒ Realización de los dibujos de la protección contra rayos (Esquemas generales)
- ⇒ Dibujos detallados para dispositivos captadores separados.
- ⇒ Lista completa de los componentes necesarios para los dispositivos captadores separados.
- ⇒ Presentación de una oferta basada en esta lista de componentes.

En caso de estar interesados en esta prestación les rogamos se pongan en contacto con su Delegación local o con la casa matriz en Neumarkt (www.dehn.de).

Depósitos fermentadores de planchas metálicas

Los depósitos fermentadores de planchas metálicas suelen tener normalmente un grosor de entre 0,7 y 1,2 mm. Estas planchas metálicas independientes están atornilladas unas con otras. (Figura 9.3.6).

Para poder utilizar las chapas metálicas como dispositivos captadores naturales de un sistema de protección externo contra el rayo, deben tenerse en cuenta los grosores de las mismas, según la **tabla 3** de la norma UNE EN 62305-3. Si no se respetan los grosores recogidos en dicha tabla, puede suceder que una descarga de rayo de lugar a la fusión del metal o a un calentamiento inadmisibles en el punto de descarga. En este caso se produce un grave riesgo de incendio y explosión. Estos depósitos fermentadores tienen que protegerse mediante dispositivos captadores suplementarios para evitar esta situación claramente peligrosa. En estos casos es necesario instalar un sistema de protección aislado contra el rayo. La disposición de los elementos captadores se determina mediante el procedimiento de la esfera del rayo. Los derivadores se disponen a lo largo de las planchas de metal de acuerdo con una distancia de separación previamente calculada (Figura 9.3.7).

Depósitos de acero

En la **figura 9.3.8** se representa un depósito de biogas con una carcasa de planchas de acero totalmente soldadas. Las exigencias planteadas al material según la tabla 3 de la norma UNE EN 62305-3 se cumplen a par-

tir de un espesor mínimo de la pared de la carcasa de 4 mm. en el caso del acero. Para el sistema de protección contra rayos serán aplicables las exigencias según UNE EN 62305-3 anexo D "Informaciones adicionales para sistemas de protección contra rayos en estructuras con riesgo de incendio o explosión". Si las zonas EX de los venteos se encuentran dentro zona de protección aportada por la estructura metálica del depósito, no serán necesarios dispositivos captadores adicionales. En caso contrario, habrá que instalar otros dispositivos capta-



Fig. 9.3.6: Depósito fermentador de planchas de metal atornilladas.



Fig. 9.3.7: Protección del depósito fermentador con planchas de metal con dispositivo captador separado. (Fuente: Büro für Technik, Hösbach).



Fig. 9.3.8: Depósitos de acero soldado. (Fuente: Eisenbau Heilbronn GmbH).

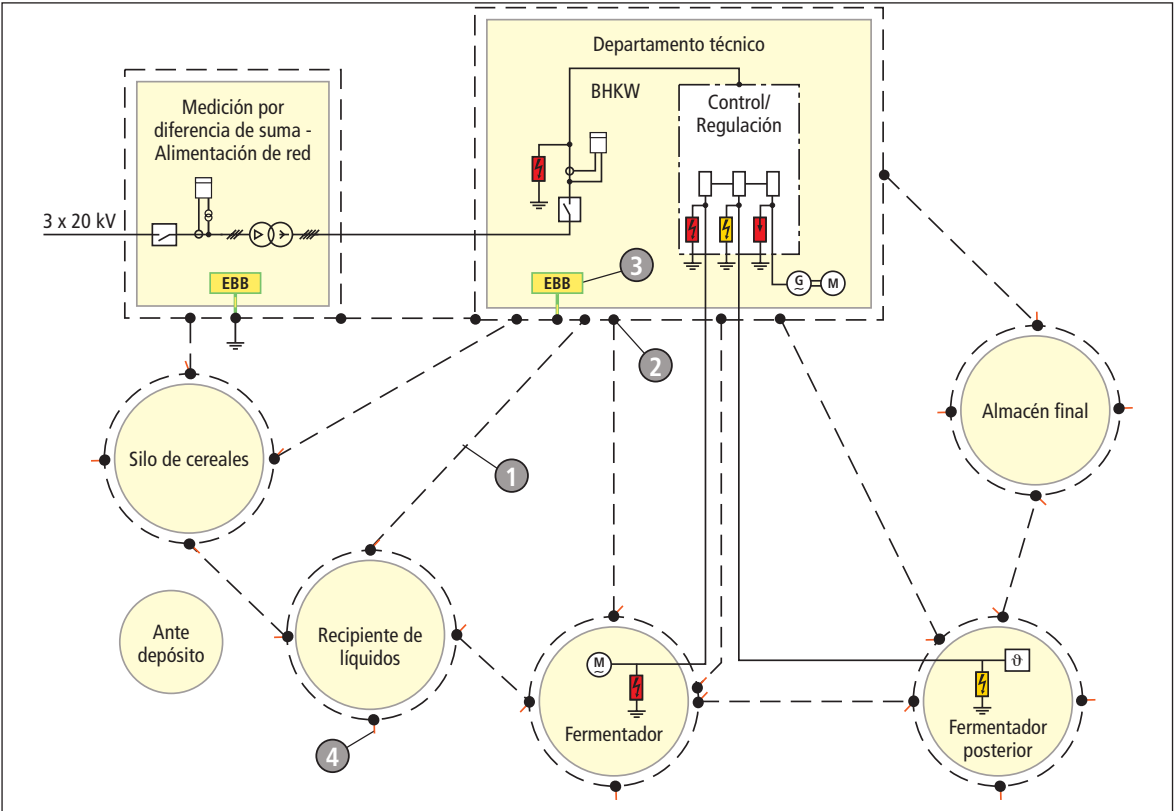


Fig. 9.3.9: Instalación de toma de tierra entrelazada para una planta de biogas.

dores suplementarios para proteger los venteos de salida contra descargas directas de rayo.

Para evitar diferencias de potencial elevadas entre las distintas instalaciones de toma de tierra, éstas se conectan entre sí para formar una instalación equipotencial de toma de tierra.

(Figura 9.3.9 y tabla 9.3.2). Esto se logra entrelazando (interconectando) las diferentes instalaciones de toma de tierra de edificios y de sistemas. Aquí ha demostrado ser muy útil, tanto económica como técnicamente, utilizar retículas de malla de 20 m x 20 m hasta 40 m x 40 m. Mediante la interconexión de todas las instalaciones de

toma de tierra se reducen considerablemente las diferencias de potencial entre las partes de la instalación. También se reducen las exigencias de tensión de los cables conductores eléctricos entre los distintos edificios en el caso de una descarga de rayo.

Alimentación de red

El biogas generado suele utilizarse normalmente en motores de gas o de radiación de encendido para generación de corriente y calor. En este contexto, este tipo de motores se denominan centrales de calefacción de bloque (BHKW). Estos dispositivos están instalados en un edifi-

Nr.		Art. Nr.
1	Banda de acero inoxidable NIRO (V4A) 30 mm. x 3,5 mm. Alternativa: Alambre redondo de acero inoxidable NIRO (V4A) diámetro 10 mm.	860 335 860 010
2	Cruceta NIRO V4A Alternativa: Borna SV NIRO (V4A) Observación: Banda protegida contra la corrosión	319 209 308 229 556 125
3	Barra de compensación de potencial NIRO Alternativa: Carril de toma de tierra	472 209 472 139
4	Banderolas de conexión orientadas, banda plana NIRO (V4A) Alternativa: Banderolas de conexión orientadas hilo redondo NIRO (V4A)	860 215 860 115

Tabla 9.3.2: Datos de material para toma de tierra y compensación de potencial de toma de tierra.

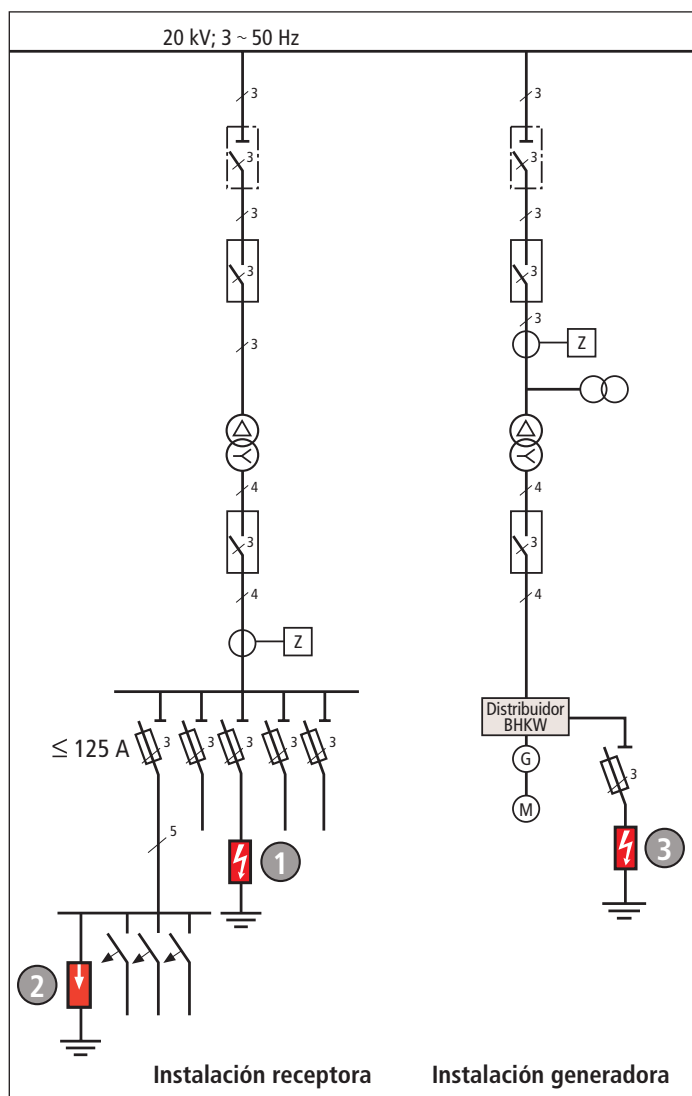


Fig. 9.3.10: Extracto de un plan general de conexión de una planta de biogas.

cio de servicio separado. En el mismo edificio, o en un recinto diferente se encuentran los elementos de la técnica eléctrica, los cuadros de conmutación y los cuadros de control y regulación. La energía eléctrica generada por las centrales de calefacción de bloque se hace llegar a la red pública de energía (Ver **figura 9.3.10**).

Un sistema integral de protección contra rayos y sobretensiones se fundamenta en el principio de equipotencialidad. Así, la compensación de potencial para protección contra rayos debe realizarse para todos los sistemas conductores que acceden al interior del edificio o instalación a proteger.

La compensación de potencial para protección contra rayos exige que, todos los sistemas metálicos deben incluirse en la misma, a ser posible con baja impedancia, así como todos los sistemas que se encuentran bajo tensión de servicio deben integrarse indirectamente en la compensación de potencial a través de aparatos de protección contra sobretensiones del tipo 1. La compensación de potencial de protección contra rayos debe realizarse lo más cerca posible del punto de entrada en la instalación, a fin de evitar la penetración de corrientes parciales de rayo en el edificio.

Así, en los conductores 230/400 V AC de la distribución principal de baja tensión que entran al edificio desde el exterior (**Figura 9.3.10**), se instalan descargadores de corrientes de rayo del tipo 1. Por ejemplo, un aparato de protección contra rayos tipo 1 para instalaciones de suministro de energía en baja tensión, desarrollado sobre la base de vías de chispas RADAX FLOW es el DEHNbloc.

Este descargador tiene una capacidad de derivación de hasta 50 kA por polo (onda 10/350). Mediante la tecnología patentada RADAX FLOW se limitan en su amplitud las corrientes de cortocircuito de la instalación de hasta 50 kA_{eff} a aproximadamente 500 A y tras cinco minutos aproximadamente se anulan.

Este comportamiento del descargador permite, incluso el caso de que existan pequeños fusibles en la instalación, un comportamiento selectivo de desconexión. Se evitan así interrupciones indeseadas del suministro por disparo (activación) indebido de los fusibles principales. En las subdistribuciones postconectadas se instalan descargadores de sobretensiones del tipo 2, p. ej. el tipo DEHN-guard DG TNS H230 400 LI. Estos protectores de sobretensiones tienen una indicación visual de duración de vida de 3 fases, con señalización a distancia incorporada, que informa, en todo momento, sobre la disponibilidad de funcionamiento de la protección contra sobretensiones.

En el distribuidor BHKW (**Figura 9.3.10**) se ha utilizado un descargador combinado multipolar que, además de aportar una gran capacidad de derivación y un excelente nivel de protección, ofrece una elevada limitación de corriente consecutiva. Es el DEHNventil M.

Nr.	Protección para:	Aparatos de protección	Art. Nr.	Observaciones
Descargador de corriente de rayo tipo 1				
1	Sistema TN-C	3 x DB 1 255 H	900 222	Descargador unipolar de corriente de rayo con elevada limitación de corriente consecutiva
	Sistema TN-S	4 x DB 1 255 H	900 222	
	Sistema TT	3 x DB 1 255 H + 1 x DGP BN 255	900 222 + 900 132	
Alternativa				
1	Sistema TN-C	3 x DBM 1 255 S	900 220	Descargador coordinado de corriente de rayo con fusibles previos integrados para sistemas industriales de barras colectoras
	Sistema TN-S	4 x DBM 1 255 S	900 220	
	Sistema TT	3 x DBM 1 255 S+ 1 x DGPM 1 255 S	900 220+ 900 050	
Descargador de sobretensiones tipo 2				
2	Sistema TN-C	DG TNC H230 400 LI	950 160	Descargador multipolar de sobretensiones con vigilancia del descargador "Pro Active indicación visual de 3 fases
	Sistema TN-S	DG TNS H230 400 LI	950 170	
	Sistema TT	DG TT H230 400 LI	950 150	
Descargador combinado				
3	Sistema TN-C	1 x DV M TNC 255	951 300	Descargador combinado modular con elevada limitación de corriente consecutiva y un nivel de protección ≤ 1.5 kV
	Sistema TN-S	1 x DV M TNS 255	951 400	
	Sistema TT	1 x DV M TT 255	951 310	

Tabla 9.3.3: Protección contra sobretensiones para el suministro de corriente.

Este descargador combinado, desarrollado sobre la base de vías de chispas, está listo para su conexión y aúna en un solo elemento las mejores prestaciones de un descargador de corriente de rayo y de un descargador de sobretensiones. Se compone de una parte de base y de módulos de protección enchufables. Con el DEHNventil M, se garantiza la máxima disponibilidad de la instalación y una selectividad de desconexión de fusibles de 20 A gI/gG hasta 50 kA_{eff} de corriente de cortocircuito.

En caso de que la distancia eléctrica entre el DEHNventil y los equipos finales a proteger no fuera superior a aprox. 5 metros, dichos equipos quedarían perfectamente protegidos sin necesidad de añadir ninguna protección complementaria del tipo 3.

Vigilancia a distancia

Con ayuda del sistema de vigilancia a distancia es posible disponer permanentemente de los datos de prestaciones de la instalación de biogas. Los datos de medida específicos de la instalación pueden leerse directamente en la unidad de registro. La unidad de registro de datos dispone de interfaces, como RS 232 ó RS 485 a las que se conectan un PC y/o un módem para consulta y mantenimiento a distancia. Mediante un sistema, por ej. por módem, el personal de servicio puede entrar en instalaciones existentes y prestar ayuda inmediatamente al usuario en casos de fallo. El módem está conectado a la salida de red (NTBA) de una conexión básica RDSI. La posterior transmisión de los datos técnicos de medida a través de la red de transmisión a distancia por módem tiene que estar asimismo asegurada para que

se pueda efectuar un control permanente y una optimización de las prestaciones de la instalación. Para ello se protege el interface Uk0 por delante del NTBA al que está conectado el módem RDSI, con un adaptador de protección contra sobretensiones NT PRO. (Figura 9.3.11). Con este adaptador está asegurada asimismo la protección del suministro de 230 V del NTBA. Para protección de equipos finales de telecomunicaciones y de instalaciones telefónicas con conexión RJ, se recomienda utilizar el descargador de sobretensiones del tipo BLITZDUCTOR VT RDSI.

En la figura 9.3.11 se muestra además la protección de una cámara de vigilancia. Para protección de los cables coaxiales (transmisión de imagen) se utiliza el descargador de sobretensiones blindado UKGF BNC.

Otras aplicaciones para protección e instalaciones de vigilancia de vídeo están descritas en el capítulo 9 bajo el título " Protección contra sobretensiones para instalaciones de seguridad ".

Control de procesos

El control es uno de los componentes determinantes de la instalación de biogas.

El control debe poder activar y dirigir centralizadamente todas las bombas y mezcladores de la instalación, registrar datos del proceso, como cantidad y calidad del gas, vigilar la temperatura, registrar todas las sustancias del interior, visualizar todos los datos y documentarlos.

Si a causa de una sobretensión tiene lugar el fallo del control de procesos, se alterarán o incluso se interrumpirán las fases del desarrollo técnico del proceso para

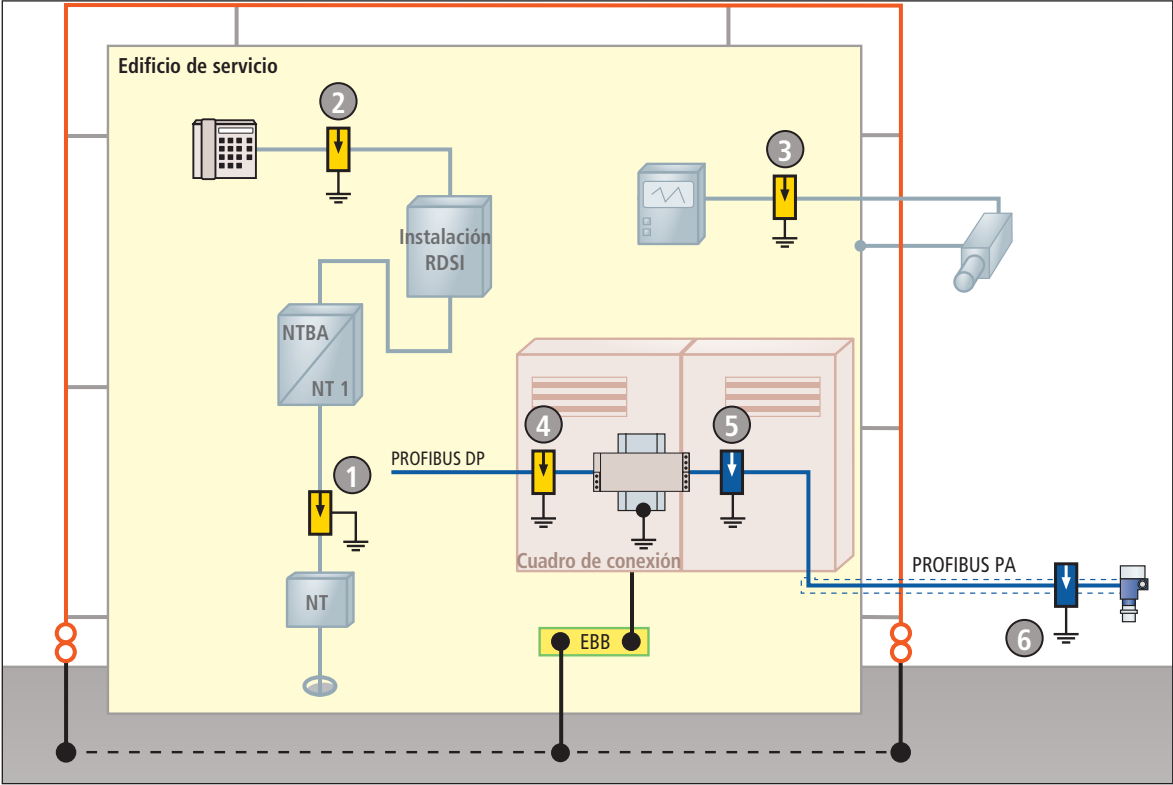


Fig. 9.3.11: Protección contra sobretensiones para instalaciones informáticas.

Nr.	Protección para...	Aparato de protección	Art. Nr.
1	Entrada de red y datos de un NTBA	NT PRO	909 958
2	Aparatos terminales de telecomunicaciones y instalación telefónica con clavija enchufable RJ	BLITZDUCTOR BVT ISDN	918 410
3	Cable coaxial (Transmisión de imagen)	UGKF BNC	929 010

Tabla: 9.3.4: Protección contra sobretensiones para instalaciones informáticas.

Nr.	Protección para...	BLITZDUCTOR XT Tipo	Art. Nr.
	4 – 20 mA	BXT ML4 BE 24 + BXT BAS	920 324 + 920 300
	0 – 10 V	BXT ML4 BE 12 + BXT BAS	920 322 + 920 300
4	Profibus DP/FMS	BXT ML4 BD HF 5 + BXT BAS	920 371 + 920 300
	Medición de temperatura PT 100, PT 1000, Ni 1000	BXT ML4 BE 5 + BXT BAS	920 320 + 920 300
5	Profibus PA; Ex (i)	BXT ML4 BD EX 24 + BXT BAS EX	920 381 + 920 301

Tabla 9.3.5: Descargador de sobretensiones para técnica MSR.

Nr.	DEHNpipe Tipo	Aplicación/Homologación	Rosca	Art. Nr.
6	DPI MD EX 24 M 2	4 – 20 mA, Profibus PA, Fieldbus Foundadtion; Ex (i)	M20 x 1,5; Rosca interior/exterior	929 960

Tabla 9.3.6: Descargador de sobretensiones para equipos de campo.



Fig. 9.3.12: Módulos de descargador combinado con LifeCheck.



Fig. 9.3.13: Descargador de sobretensiones DEHNpipe para la zona exterior, para atornillar en equipos de campo de dos conductores.

generación del biogas. Como todos estos procesos ya son en sí mismos sumamente complejos, en caso de producirse una alteración o interrupción del servicio no planificada pueden surgir problemas y dificultades suplementaria que incluso harán que el tiempo de fallo de la instalación se prolongue incluso varias semanas.

En el cuadro de mando se encuentra la unidad de control. Además de las entradas y salidas digitales aquí se evalúan señales PT 100 y señales de 20 mA.

Para garantizar en todo momento una transmisión continuada y no alterada de los datos técnicos de medida a la unidad de control en el cuadro de mandos, los conductores de control y de señal que sobrepasen el edificio, por ejemplo, los conductores de los convertidores de frecuencia y de los accionamientos locales, deben equiparse, lo más cerca posible del punto de entrada con descargadores de corriente de rayo (Categoría D1), tipo BLITZDUCTOR XT (Figura 9.3.12). Estos descargadores integran un sistema de chequeo rápido, y sin necesidad de contacto, para comprobar el estado operativo de los mismos. Es el sistema Life-Check. Una carga extrema térmica o eléctrica es detectada de manera completamente segura y fiable y puede controlarse y registrarse con rapidez de segundos mediante el lector manual DEHNrecord DRC LC.

La elección de los aparatos de protección para sistemas técnicos informáticos se efectuará en función de la tensión máxima de servicio, de la corriente nominal, del tipo de señal (DC, NF, HF) y de la referencia de la señal (simétrica, asimétrica).

En la **tabla 9.3.5** se exponen, a título e ejemplo, aparatos de protección para cables de señal y de control.

Para protección de los equipos de campo de 2 conductores, como son sensores de presión y del nivel de llenado, válvulas, transmisores de presión, aparatos de medida de flujo, etc...se recomienda la utilización del descargador de sobretensiones DEHNpipe (Figura 9.3.13). Este descargador ofrece protección contra sobretensiones coordinada energéticamente para equipos de campo en la zona exterior, con exigencias mínimas de espacio.

Las normas BGR 104 y EN 1127 deben aplicarse en el caso de instalaciones de biogas, ya que se trata de instalaciones expuestas al riesgo de explosiones.

El rayo se describe en las normas BGR 104 y EN 1127 como fuente de inflamación. En el caso de que pueda darse el riesgo de daños originados como consecuencia de una descarga de rayo, la norma 104 exige que todas las zonas estén protegidas mediante un adecuado sistema de protección contra descargas atmosféricas.

Para una instalación expuesta al riesgo de explosiones, y de acuerdo con la norma de protección contra rayos UNE EN 62305-3 es de aplicación el nivel de protección II. La protección exterior contra rayos debe estar realizada de tal modo que no puedan fluir hacia la zona expuesta al riesgo de explosiones, corrientes parciales de rayo. Este objetivo de protección se consigue mediante dispositivos captadores aislados. Para asegurar la disponibilidad de equipos electrónicos sensibles deberán adoptarse, además, otras medidas suplementarias de protección, como la instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones.

9.4 Protección contra rayos y sobretensiones de estaciones depuradoras de agua

Los recursos cada vez más escasos de agua potable exigen una gestión muy eficiente de los mismos. Por eso las plantas depuradoras tienen una importancia capital en el “circuito” del agua potable. La alta eficiencia y rendimiento que se exige a las plantas depuradoras (Figura 9.4.1) requiere la optimización técnica de los procesos que en ellas se realizan a la par que la máxima disminución de los gastos corrientes de servicio. Por ello, en los últimos años, se han invertido sumas considerables de dinero con objeto de dotarlas de dispositivos electrónicos de medida y con sistemas electrónicos descentralizados de control y automatización. Sin embargo, estos nuevos sistemas electrónicos presentan una reducida resistencia frente a sobretensiones transitorias. Las características de construcción de las extensas instalaciones al aire libre con los dispositivos de medida y los controles repartidos por la misma elevan aún más el riesgo de influencias e interferencias a causa de descargas de rayo o sobretensiones. De este modo, cabe esperar con elevada probabilidad un fallo de toda la técnica de control de procesos o de partes de la misma si no se

adoptan medidas adecuadas de protección. Las consecuencias de un fallo de este tipo pueden ser muy serias: extenderse desde los costes de reposición del funcionamiento de la instalación hasta los costes, difícilmente cuantificables que se derivan de la limpieza y contaminación de las aguas subterráneas.

Para poder actuar eficazmente frente a estas amenazas y para incrementar la disponibilidad de los sistemas deberán adoptarse medidas de protección interior y exterior contra rayos.

Concepto de zonas de protección contra rayos

Para conseguir la mejor protección, tanto desde el punto técnico como económico, la planta depuradora se divide en zonas de protección contra rayos (LPZ. Lightning Protection Zone). A continuación, se efectúa el análisis de riesgos para cada LPZ y para los tipos de daños más relevantes. Finalmente se comprueban las interdependencias mutuas de las LPZ y se fijan las medidas de protección que se han de adoptar definitivamente, para que se pueda alcanzar el

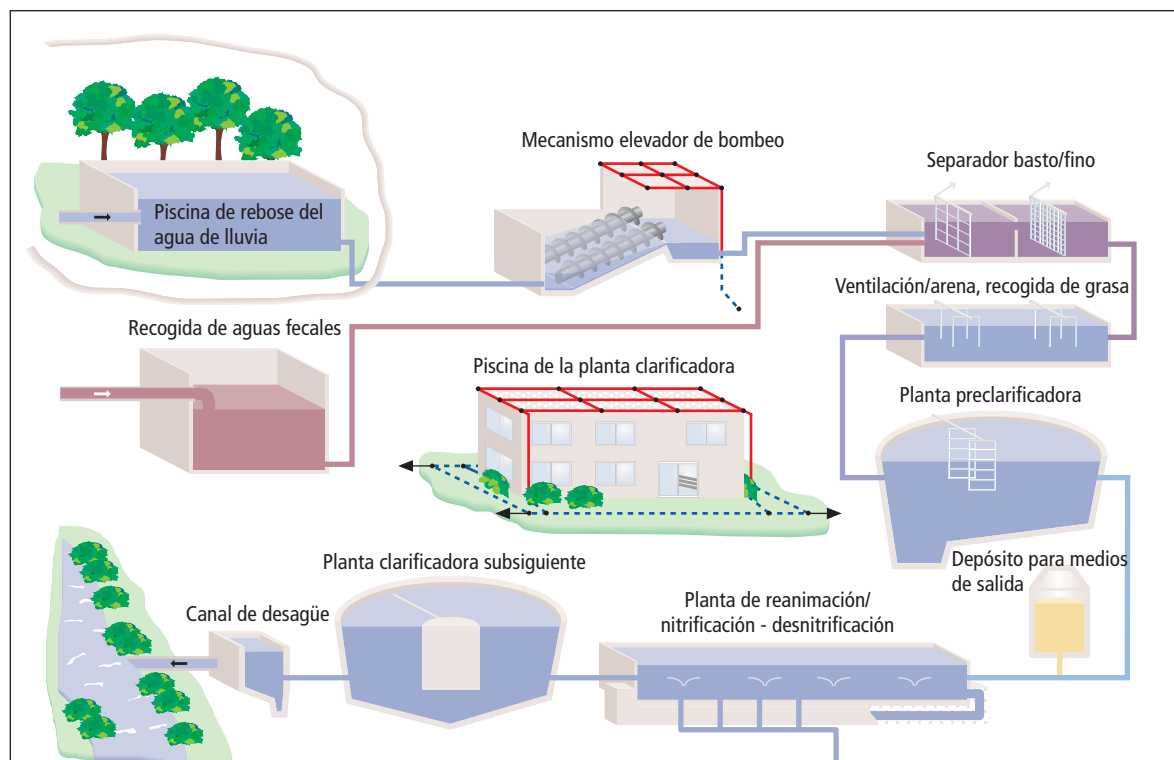


Fig. 9.4.1: Estructura esquemática de una planta depuradora.

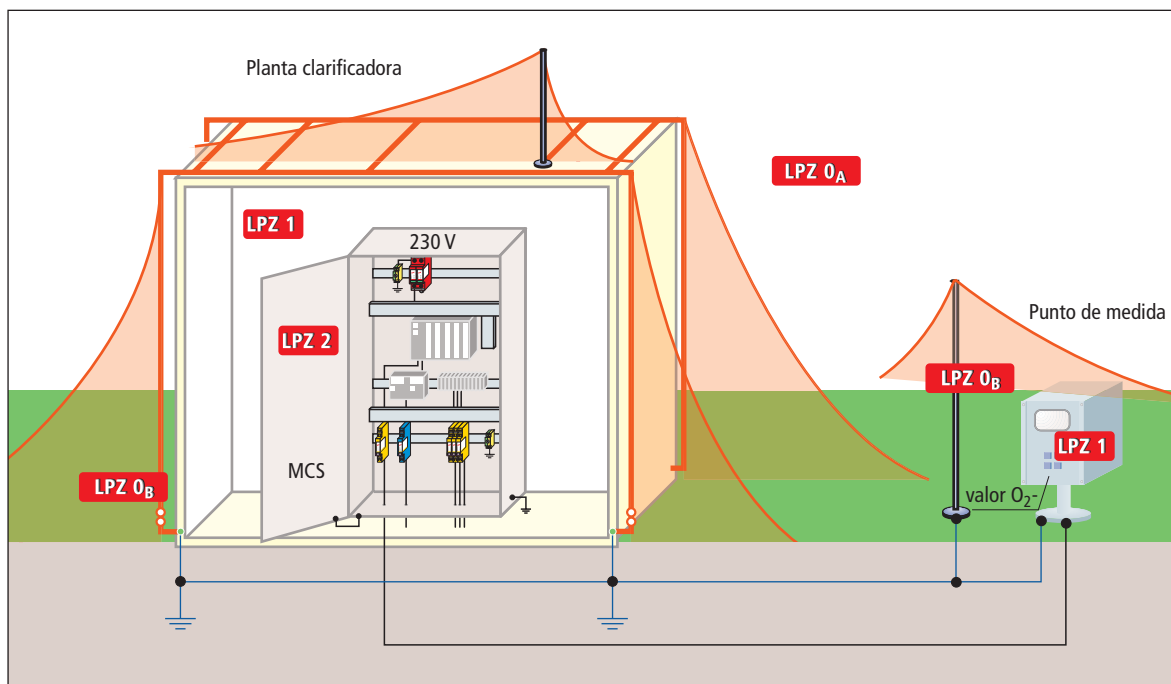


Fig. 9.4.2: División de una planta depuradora en zonas de protección contra rayos.

objetivo de protección necesario en todas las zonas de protección contra rayos. Los sectores siguientes se han clasificado en zona de protección contra rayos 1 (LPZ 1) y zona de protección contra rayos 2 (LPZ 2):

- ⇒ Electrónica de evaluación en la zona de medida (LPZ 2).
- ⇒ Medición de oxígeno en la cuba de reanimación (LPZ 1).
- ⇒ Espacio interior de la unidad de medida (LPZ 1).

De acuerdo con el concepto de zonas de protección contra rayos según UNE EN 62305-4 todos los cables que pasen de una zona de protección a otra tienen que estar provistos de las correspondientes medidas de protección contra sobretensiones (**Figura 9.4.2**).

Cálculo del riesgo de daños para la planta depuradora

El ejemplo que se expone a continuación se ha calculado de acuerdo con la norma UNE EN 62305-2. Se trata tan solo de un ejemplo y la solución mostrada no es vinculante en modo alguno.

En primer lugar se han definido y fijado por escrito, de acuerdo con el usuario, un documento con las

cuestiones relevantes sobre la instalación a proteger y su utilización. Este procedimiento garantiza que se lleve a cabo un sistema de protección contra rayos correcto y eficaz. Representa la exigencias mínimas que deben cumplirse y que, por otra parte, pueden ser mejoradas en cualquier momento.

Descripción de la instalación

El control y gestión de la estación se encuentra centralizado en el edificio principal de la planta.

Debido a las extensas conexiones de cable con las subestaciones y las estaciones de medida, a través de estos cables, tanto telefónicos como de suministro de energía, pueden penetrar corrientes parciales de rayo y sobretensiones, algo que en el pasado ocasionaba siempre destrucciones en la instalación y fallos de la planta. (**Figura 9.4.3**).

La propia planta depuradora debe protegerse contra daños causados por el fuego (descargas directas de rayo) y los sistemas eléctricos y electrónicos (sistema de control y automatización, técnica de actuación a distancia) deben protegerse contra los efectos del campo electromagnético del rayo (LEMP).

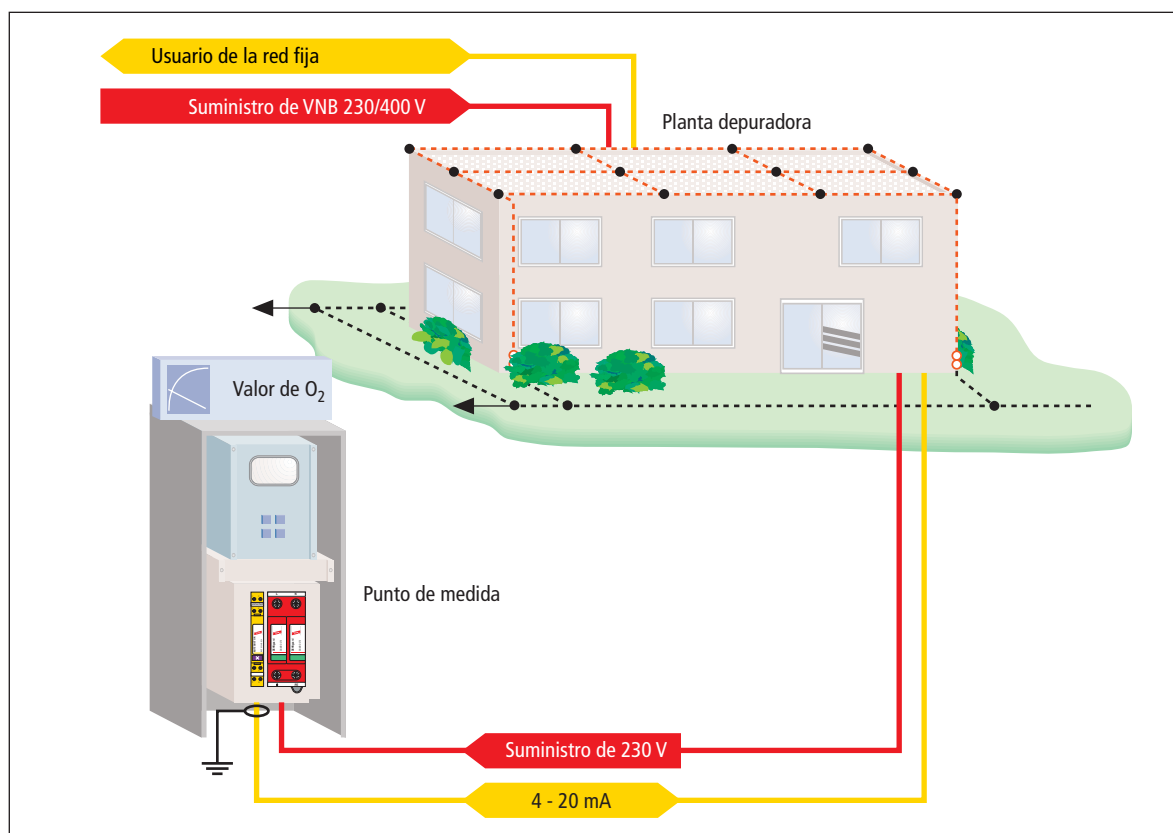


Fig. 9.4.3: Cables eléctricos en la planta depuradora.

Condiciones adicionales

- ⇒ Existen ya medidas de protección contra rayos: protección exterior contra rayos; dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) de la clase anterior de exigencias B del tipo VGA 280/4 en la acometida de baja tensión y DPS de la clase anterior de exigencias C del tipo VM 280 en los cuadros de control de la técnica MSR.
- ⇒ Los siguientes tipos de daños pueden considerarse como relevantes: L2 Fallo de prestaciones de servicios para el público (Suministro y depuración de aguas) y L4: Pérdidas económicas (instalaciones de obra y sus contenidos). El tipo de daños L1: Pérdidas de vidas humanas ha sido eliminado ya que en el posterior servicio de la instalación, ésta debe funcionar automáticamente.

El resultado de los cálculos indica que, tanto para el tipo de daños L2, como también para el tipo L4 el riesgo de daños calculado R se encuentra claramente por encima del riesgo de daños aceptable T.

Ahora se introducirán posibles medidas de protección para lograr que en el caso de los dos tipos de daños, R sea menor que RT :

- ⇒ Instalación de un sistema de protección contra rayos de la clase de protección III según UNE EN 62305-3. (Esto se desprende también de la Hoja informativa VdS 2010).
- ⇒ Instalación del tipo 1 según EN 61643-11 (Suministro de energía) y DPS de la categoría D1 según IEC 61643-21 para cables de transmisión de datos (Cables MSR y cables de telecomunicaciones).
- ⇒ DPS tipo 2 según EN 61643-11 (Suministro de energía) y DPS de la categoría C2 según IEC 61643-21 para redes de transmisión de datos (Cables MSR y cables de telecomunicaciones).

Sistema de protección contra rayos

El sistema de protección contra rayos existente en la planta depuradora ha sido actualizado de acuerdo con las exigencias del nivel de protección III (Figura

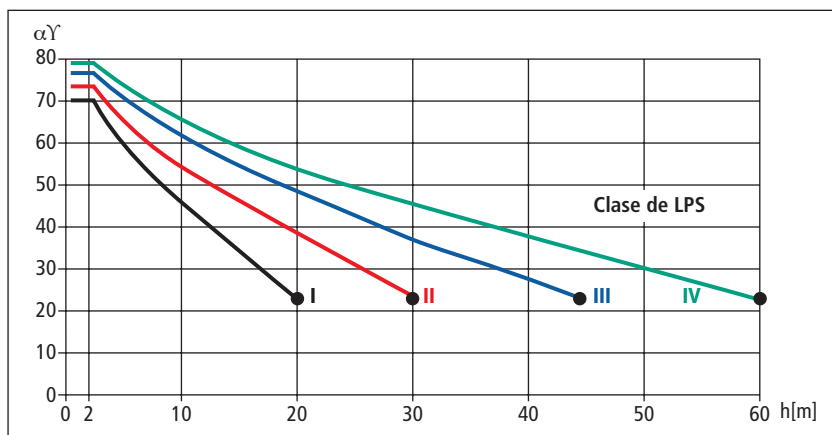


Fig. 9.4.4: Método del ángulo de protección según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3.)

9.4.4). La conexión indirecta existente de las supraestructuras del tejado (aparatos de aire acondicionado) a través de vías de chispas de separación ha sido suprimida.

m). La instalación local de toma de tierra de la planta depuradora ha sido verificada en todos los puntos de medida y se han protocolizado los valores obtenidos. Aquí tampoco hay que adoptar ninguna medida adicional de protección.

La protección contra una descarga directa ha sido realizada mediante puntas captadoras manteniendo las distancias de separación y el ángulo de protección exigidos.

En caso de una descarga directa de rayo en la unidad de medida no podrá penetrar, ahora, ninguna corriente parcial de rayo en el edificio ni causar daños en las instalaciones.

El número de derivadores (4) no ha tenido que modificarse a causa del tamaño de la caseta de control (15 m x 12

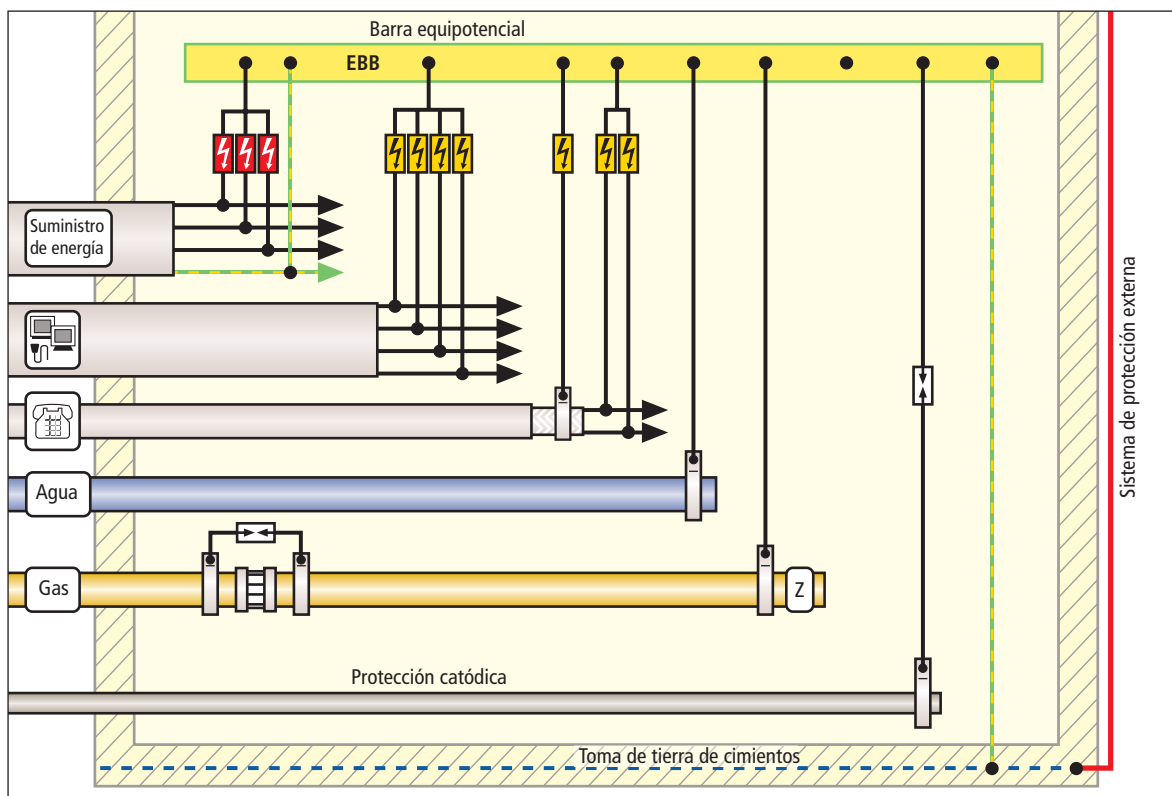


Fig. 9.4.5: Equipotencialidad contra rayos según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3).

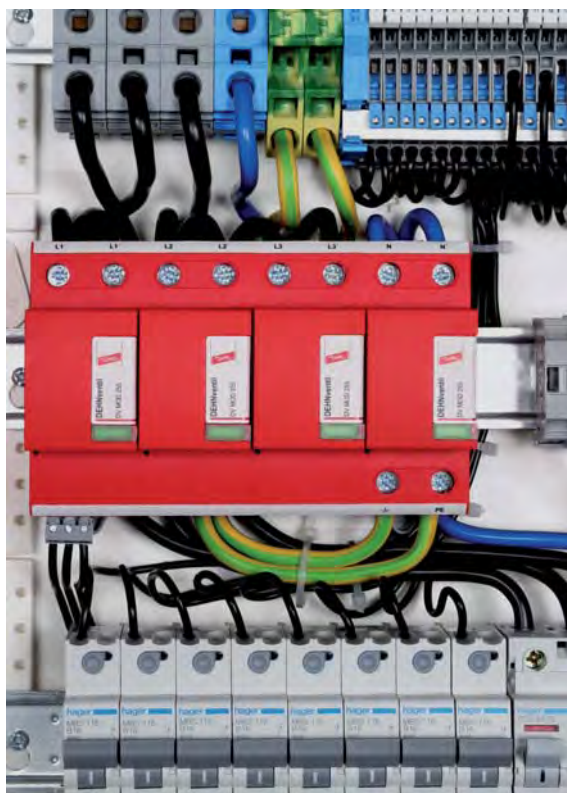


Fig. 9.4.6: DEHNventil instalado en cuadro para proteger el sistema de baja tensión.

Equipotencialidad contra rayos de todos los cables que entran del exterior

En principio, todos los elementos conductores que entren a la planta depuradora deben integrarse en el sistema equipotencial (**Figura 9.4.5**). Los requerimientos de equipotencialidad se cumplen mediante una conexión directa de todos los conductos metálicos y mediante una conexión indirecta de los sistemas en tensión a través de descargadores. Los DPS Tipo 1 (sistemas de energía) y los DPS Tipo 1 (sistemas de comunicaciones) deben poseer capacidad de descarga de rayo con forma de onda 10/350. El sistema equipotencial contra rayos debe instalarse preferentemente cerca de la entrada al edificio o estructura para prevenir la entrada de corrientes de rayo en su interior.

Equipotencialidad

En la totalidad de la planta depuradora, se ha implementado un sistema equipotencial según IEC 60364-4-41 e IEC 60364-5-54. Este sistema evita diferencias

de potencial entre partes conductoras tanto internas como externas. Asimismo, la estructura metálica del edificio, tuberías, depósitos... deben incluirse en el sistema equipotencial, para evitar diferencias de tensión incluso en caso de fallo. Para la aplicación de descargadores de sobretensiones, la sección del cable de tierra debe tener un mínimo de sección de 6 mm² en cobre para DPS instalados en el sistema de energía y un mínimo de 4 mm² en cobre para sistemas de comunicaciones. Además, en áreas con riesgo de incendio o explosión la conexión de los cables debe asegurarse, por ejemplo, mediante barras equipotenciales que incluyan arandelas.

Protección contra sobretensiones en el lado de baja tensión

En la aplicación descrita, el DPS tipo VGA 280/4 instalado en la acometida al edificio se sustituye por un DPS Tipo 1 DEHNventil M TNS 255 (**Figura 9.4.6**), al no cumplir el antiguo descargador con los requerimientos para protección contra rayos según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3). Los DPS Tipo 2 (anteriormente Clase C), tipo VM 280, se chequearon con un equipo de prueba de descargadores, tipo PM 10. Al estar los resultados dentro de los márgenes tolerables, no hay razón para sustituir los descargadores. Si se instalaran posteriormente más descargadores para proteger los equipos finales, se deben coordinar entre ellos y con el equipo final a proteger. Se deben seguir las instrucciones de montaje proporcionadas con el equipo.

Por lo demás, no hay ninguna peculiaridad con otras aplicaciones ya descritas en el uso de descargadores de sobretensión en baja tensión (para más información ver publicación DS649 E – “Surge Protection-Easy Choice”).

Protección contra sobretensiones en sistemas de comunicaciones

Desde el punto de vista de la protección, el *interface* de transferencia de todas las líneas de señal a la planta depuradora se encuentra en su entrada. En ese punto, se usan DPS (categoría D1) tipo DRL 10B 180 FSD, capaces de derivar corrientes de rayo. Del *interface* de transferencia, los cables son guiados directamente a los cuadros generales y se conectan allí. De acuerdo con el análisis de riesgo, los cables entrantes se guiarán a través de DPS, tipo DCO RK ME 24 (señales 20 mA) o DCO RK MD 110 (telecontrol). Éstos son válidos para su utilización en el concepto de zonas de



Fig. 9.4.7: Descargadores de sobretensiones DCO ME 24 instalados en cuadro para la completa protección del sistema de medida y control.

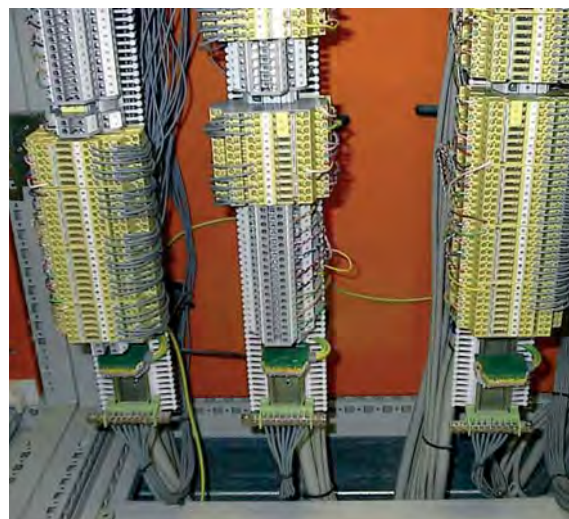


Fig. 9.4.8: Descargadores de sobretensiones DCO ME 24 instalados en el cuadro, para la protección de las líneas de entrada provenientes de falso suelo.

protección (categoría C2) y son compatibles con el sistema (**Figuras 9.4.7 y 9.4.8**).

Esto asegura un concepto completo de protección para el cableado del sistema de comunicaciones.

Podemos encontrar aplicaciones adicionales para depuradoras en el folleto DS107 E. Se puede descargar de nuestra web: www.dehn.es.

9.5 Protección contra rayos y sobretensiones para redes de cables y antenas para señales de televisión, señales de sonido y servicios interactivos

La norma DIN EN 60728-11 (VDE 0855-1): 2005-09 refleja el estado actual de la técnica y ofrece mecanismos de protección sencillos, unificados y eficaces contra las consecuencias y repercusiones de descargas de rayo en las antenas.

Las antenas construidas de acuerdo con esta normativa no elevan la probabilidad de descargas de rayo. Es importantes señalar que la instalación de una antena fabricada de acuerdo con esta norma, no elimina la eventual necesidad de instalar un sistema de protección contra rayos ni lo sustituye.

Esta norma trata de las exigencias de seguridad de instalaciones y aparatos fijos y es aplicable asimismo, siempre que sea utilizable, también para instalaciones y aparatos móviles o instalados temporalmente (p. ej. móviles de vivienda). El margen de validez de la norma se extiende a redes de cables de televisión (redes GAA), redes GA y SAT-GA así como a redes receptoras aisladas.

Están exceptuadas de las medidas que se describen a continuación, las antenas exteriores situadas más de 2 metros por debajo de la cubierta del tejado o del borde del mismo, y dispuestas a menos de 1,5 metros

del edificio (**Figura 9.5.1**) así como las instalaciones de antenas situadas en el interior del edificio.

Aquí se recomienda encarecidamente, como mínimo, la conexión de los blindajes de cable coaxiales a un conductor de compensación de potencial. Igualmente deben integrarse en la compensación de potencial todas las partes conductoras de la instalación y susceptibles de ser tocadas.

No deben instalarse antenas sobre edificios que tienen cubiertas de tejado fácilmente inflamables (p. ej. paja, alquitrán o materiales semejantes).

Cables de antena y conductores de toma de tierra no pueden llevarse a través de locales o recintos del edificio, que sirven para almacenaje de sustancias fácilmente inflamables como son, paja, heno y similares, ni tampoco deben llevarse por aquellos recintos en los que exista un riesgo de atmósfera explosiva.

Como cable de compensación de potencial debe utilizarse un conductor que sea mecánicamente estable y que tenga una sección mínima de 4 mm² de cobre. Los blindajes de los cables coaxiales que penetran o salen del edificio deben conectarse, por la vía más corta posible, con un carril común de compensación de potencial.

Como cable de toma de tierra capaz de soportar corrientes de rayo se consideran distintas opciones: un hilo macizo único con una sección mínima de 16 mm² de cobre aislado o desnudo, o bien de 25 mm² de aluminio aislado o un hilo de 50 mm² de aleación de aluminio y plástico (no directamente en o sobre el hormigón) o un hilo de 50 mm² de acero que, preferiblemente esté llevado por la zona exterior.

Pueden utilizarse componentes “naturales” como p. ej.:

- ⇒ la estructura metálica de la instalación de obra;
- ⇒ el acero interconectado del armado de la obra;
- ⇒ barandillas y otros elementos metálicos de la construcción.

siempre en el supuesto de que:

- ⇒ Sus dimensiones cumplan las exigencias de los derivadores y su grosor no sea inferior a 0,5 mm,
- ⇒ Esté asegurada su conexión conductora eléctrica en sentido vertical (las conexiones deben realizarse de manera segura mediante soldadura dura, soldadura, presión, atornillamiento o mediante pernos) o si la distancia entre las piezas

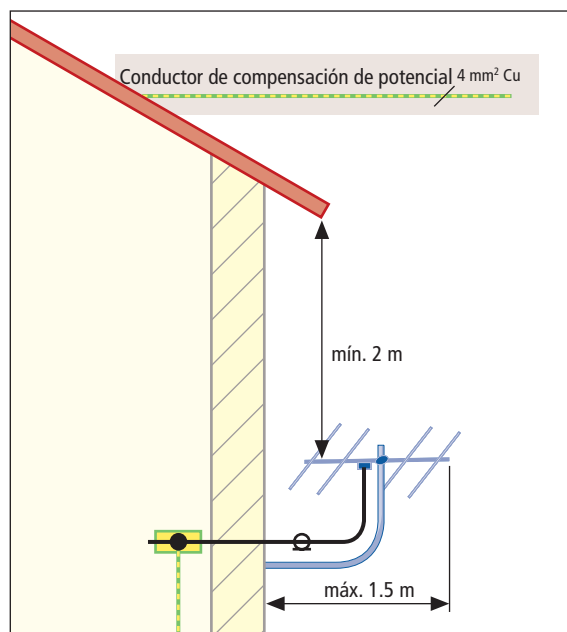


Fig. 9.5.1: Distancias horizontales y verticales en la disposición de antenas, que no precisan ninguna conexión de toma de tierra.

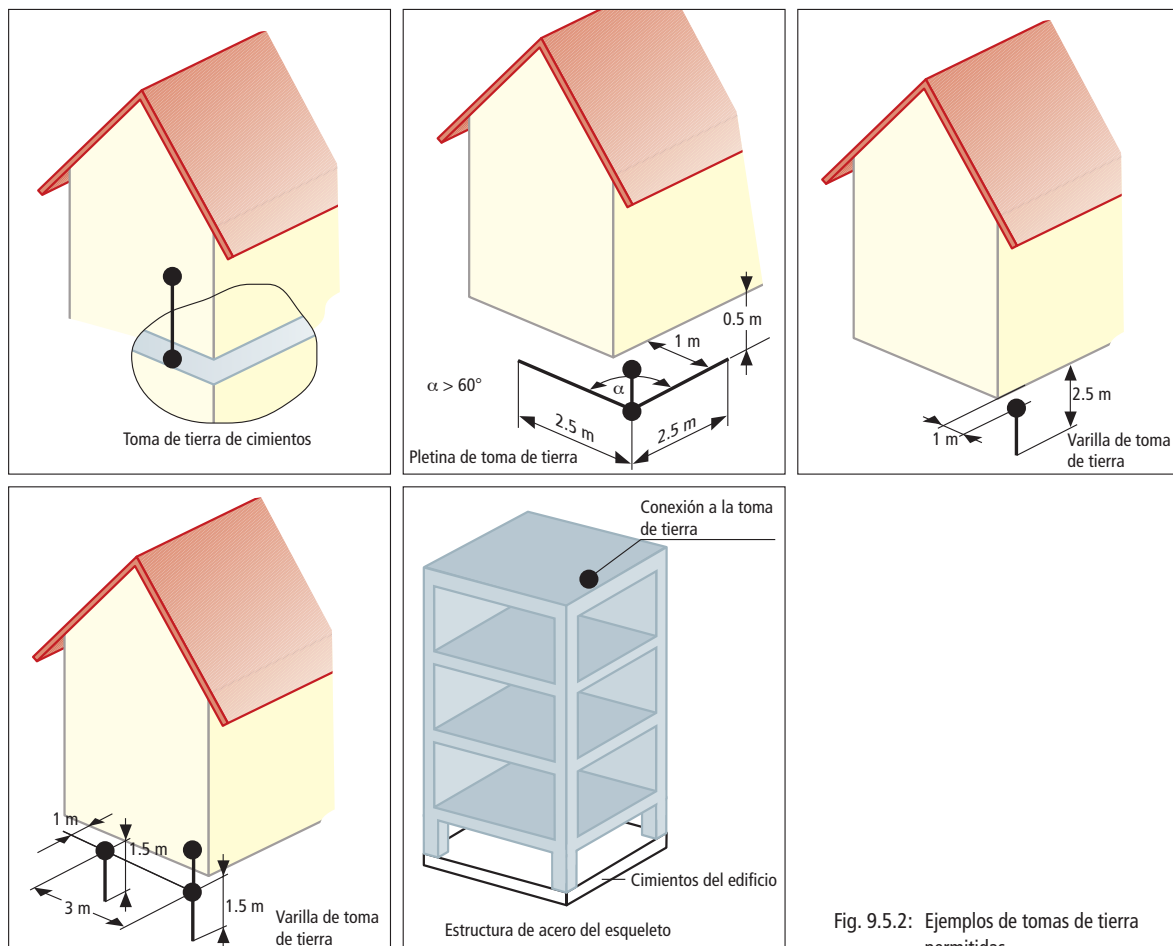


Fig. 9.5.2: Ejemplos de tomas de tierra permitidas.

metálicas no supera 1 mm y la superposición de dos elementos supone, como mínimo, 100 cm². La norma UNE EN 62305-3 no incluye esta posibilidad de las planchas metálicas superpuestas, salvo en el caso de que la construcción inferior esté conectada eléctricamente en sentido vertical.

Si no es este el caso, las chapas superpuestas tienen que interconectarse entre sí de manera segura, según las indicaciones de la citada norma. En cualquier caso, debe evitarse la formación de bucles.

La instalación de toma de tierra tiene que realizarse de acuerdo con alguna de las modalidades que se especifican a continuación:

⇒ Conexión con la protección exterior contra rayos del edificio.

⇒ Conexión con el sistema de toma de tierra del edificio.

⇒ Conexión, como mínimo, con dos tomas de tierra horizontales, de 2,5 m de longitud mínima, que están tendidas con un ángulo superior a 60°, a una profundidad mínima de 0,5 metros y no se encuentran a menos distancia de 1 metro de los cimientos, o bien con una toma de tierra vertical o inclinada de 2,5 m de longitud como mínimo, ó dos tomas de tierra verticales de 1,5 metros de longitud como mínimo y una distancia de 3 metros, y que no se encuentran a menos de 1 metro de los cimientos.

La sección mínima de cada toma de tierra es de 50 mm² de cobre, o de 80 mm² de acero.

Se pueden utilizar asimismo componentes "natura-

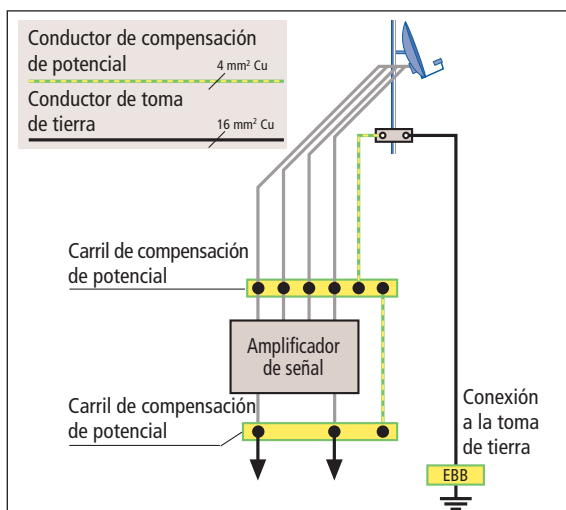


Fig. 9.5.3: Toma de tierra y compensación de potencial para antenas sobre edificios sin protección exterior contra rayos.

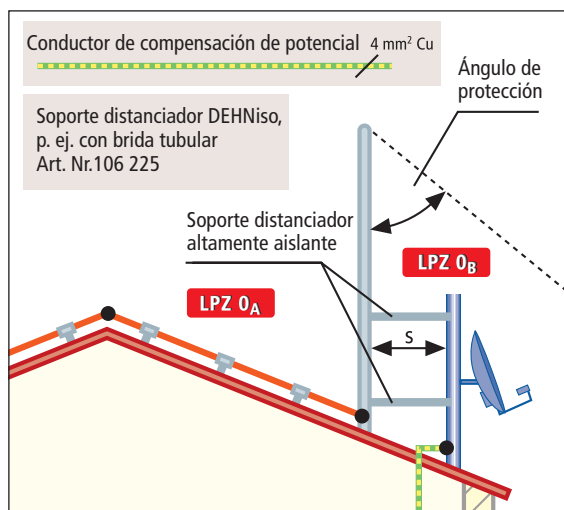


Fig. 9.5.5: Antena con punta captadora y con soporte distanciador altamente aislante sobre tejado inclinado en edificios con protección exterior contra rayos.

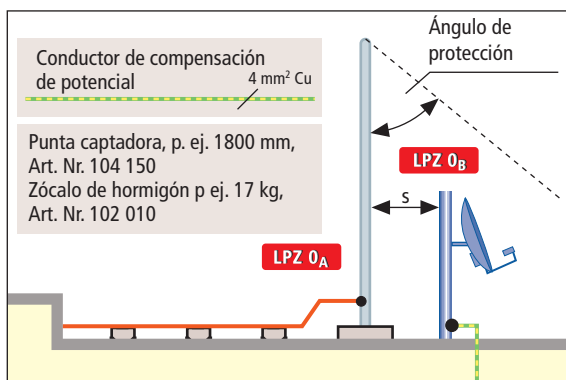


Fig. 9.5.4: Antena con punta captadora sobre tejado plano en edificios con protección exterior contra rayos.

les”, con armados de acero y hormigón, u otras construcciones metálicas subterráneas apropiadas instaladas en los cimientos del edificio y cuyas dimensiones se corresponden con los valores límite arriba enunciados.

Igualmente están permitidas otras instalaciones de toma de tierra según UNE EN 62305-3. Si se instala una toma de tierra complementaria adicionalmente al sistema de toma de tierra del edificio, todas las tomas de tierra tienen que interconectarse entre si.

En edificios sin sistema de protección contra rayos el mástil de la antena debe conectarse a la toma de tierra por la vía más corta posible mediante un conductor de toma de tierra. Al hacerlo, el conductor de

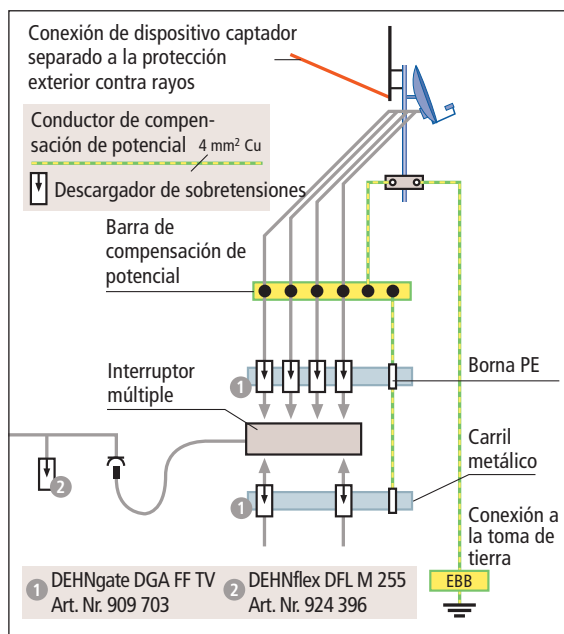


Fig. 9.5.6: Dispositivos de protección contra sobretensiones por detrás de la barra de compensación de potencial para los blindajes coaxiales de cable en instalaciones de antenas con protección exterior contra rayos y dispositivo captador separado.

toma de tierra tiene que llevarse en línea recta y vertical. Los blindajes coaxiales de cables deben conectarse con el mástil mediante conductores de compensación de potencial (Figura 9.5.3).

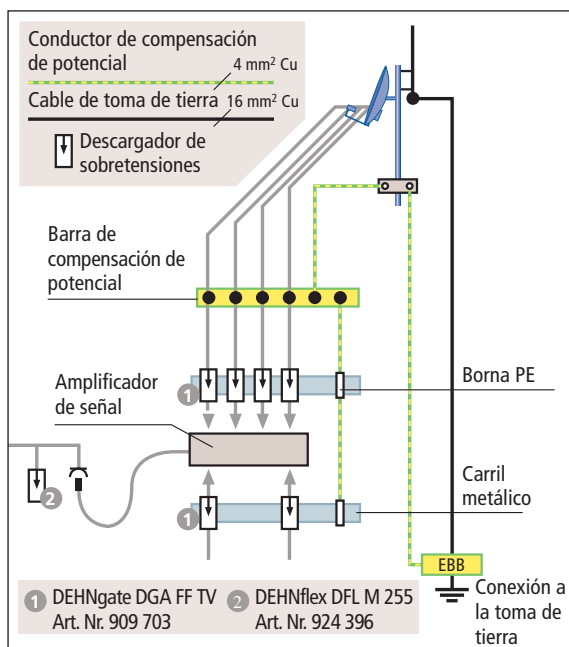


Fig. 9.5.7: Dispositivo de protección contra sobretensiones por detrás de la barra de compensación de potencial para los blindajes coaxiales de cable en instalaciones de antena sin protección exterior contra rayos y con dispositivo captador separado.

En edificios con sistema de protección contra rayos las antenas deben instalarse, preferentemente, en el espacio de protección aportado por un dispositivo captador. Esto quiere decir que deben instalarse en la zona de espacios de protección ya existentes o bien equiparse con dispositivos captadores separados. Sólo si esto no es posible podrá efectuarse una conexión directa a la protección exterior contra rayos. En este caso hay que hacer referencia expresa a las corrientes parciales de rayo que pueden presentarse a través de los cables coaxiales, situación que debe considerarse individualmente para cada caso. Hay que realizar la compensación de potencial para protección contra rayos para los conductores que entran al edificio.

Si una antena se protege mediante dispositivos captadores instalados separados, significa que:

⇒ En el caso de cubiertas planas se instalará una punta captadora, de acuerdo con la distancia de separación "s", de modo que la antena quede incluida en el campo de protección aportado por la punta. (Figura 9.5.4). De este modo la antena ya no se encuentra en la zona de protección con-

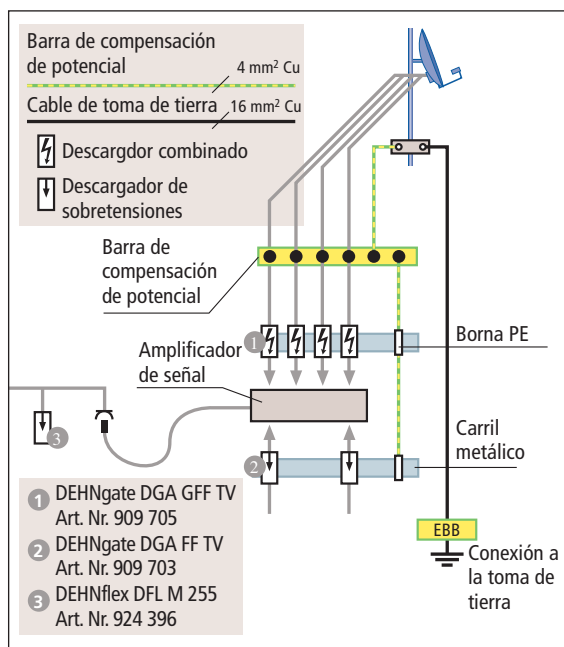


Fig. 9.5.8: Descargador combinado cerca de la barra de compensación de potencial para los blindajes de cable coaxiales en instalaciones de antena sin protección exterior contra rayos.

tra rayos LPZ 0_A (riesgo de corrientes directas de rayo) sino en la zona de protección contra rayos LPZ 0_B (Riesgos a causa de corrientes indirecta de impulso y campo electromagnético no atenuado del rayo).

⇒ En el caso de tejados inclinados, la punta se fija mediante soportes distanciadores altamente aislantes (Distanciador DEHNiso) y de acuerdo con la distancia de separación "s", al tubo de soporte de la antena, lo que supone la inclusión de todo el dispositivo de antena (mástil y antena) en la zona de protección aportada por la punta (Figura 9.5.5). De este modo la antena ya no se encuentra en la zona de protección contra rayos LPZ 0_A (riesgo de corrientes directas de rayo) sino en la zona de protección contra rayos LPZ 0_B (Riesgos a causa de corrientes indirecta de impulso y campo electromagnético no atenuado del rayo).

La protección contra sobretensiones debe preverse, con independencia de los dispositivos captadores instalados separados, mediante dispositivos de protección contra sobretensiones por detrás del cable de compensación de potencial instalado para los blindajes de cables coaxiales (Figura 9.5.6). Estos equipos de

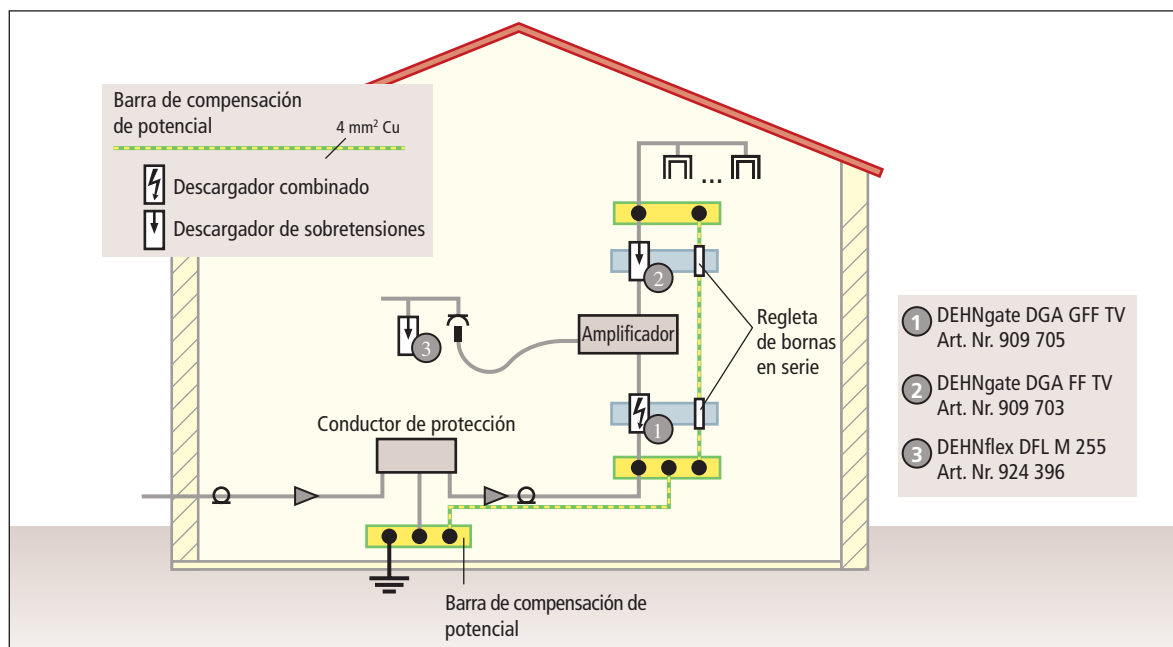


Fig. 9.5.9: Descargador combinado por detrás de la barra de compensación de potencial para los blindajes de cables coaxiales en instalaciones subterráneas de redes de cable.

protección, protegen a los aparatos post-conectados contra acoplamientos inductivos y/o capacitivos de la forma de onda 8/20 que se pueden originar tanto por descargas de rayo de nube a nube, como por descargas lejanas o descargas directas de rayo en el dispositivo captador separado.

Si detrás de la barra de compensación de potencial instalada para los blindajes de cables coaxiales se encuentran aparatos eléctricos de servicio con 230 V/50 Hz, deberán instalarse adicionalmente dispositivos de protección contra sobretensiones tipo 3. Todos los cables que accedan al edificio deben estar incorporados a la compensación de potencial.

En instalaciones sin sistema de protección contra rayos se recomiendan las siguientes medidas:

⇒ La descarga directa de rayo en la antena puede evitarse mediante la instalación de una punta captadora instalada sobre soportes distanciados aislados. Para ello hay que conectar la punta captadora con la toma de tierra a través de un

conductor de toma de tierra tendido separadamente, (Figura 9.5.7). Preferentemente este tendido debe realizarse fuera del edificio y conectarlo con la toma de tierra a nivel del suelo.

El mástil de la antena y la barra de compensación de potencial de los blindajes deben conectarse a la toma de tierra mediante un conductor de compensación de potencial.

⇒ Si el mástil de la antena se pone directamente a tierra, deberá preverse la utilización de descargadores combinados (Figura 9.5.8) ya que en este caso fluyen corrientes parciales de rayo por el cable coaxial, que ya no pueden ser controladas por descargadores de sobretensiones. En este caso, el mástil de la antena debe conectarse con la toma de tierra a través de un conductor de toma de tierra.

En el caso de cables de alimentación subterráneos deben instalarse descargadores combinados lo más cerca posible a la entrada del edificio. (Figura 9.5.9).

9.6 Protección contra rayos y sobretensiones para explotaciones agrícolas y ganaderas



Fig. 9.6.1: Instalación de ordeño moderna.

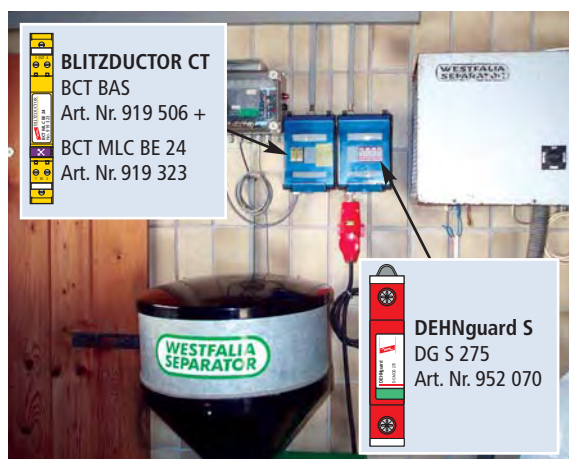


Fig. 9.6.2: Instalación automática de pienso.



Fig. 9.6.3: Instalación de ventilación y lavado.

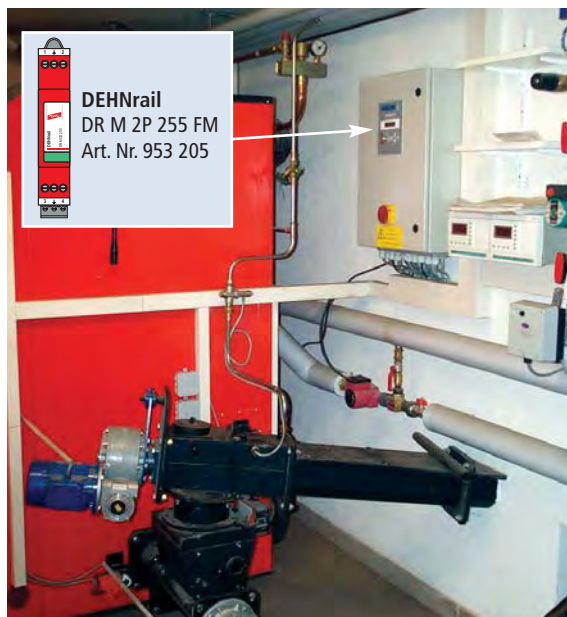


Fig. 9.6.4: Instalación de calefacción con recuperación del calor y suministro de agua.

Las explotaciones agrícolas y ganaderas modernas se caracterizan por disponer de complejas instalaciones eléctricas y sistemas de procesamiento de datos. Numerosos procesos están automatizados y son dirigidos y controlados por ordenadores. Hoy en día, el funcionamiento de una red de datos es un factor básico no solamente en la industria sino también en la agricultura.

Para proteger las instalaciones y sistemas contra la destrucción a causa de sobretensiones transitorias de alta energía, es necesario utilizar dispositivos de protección contra sobretensiones. En la actualidad, una protección exterior contra rayos como única medida de protección, no es suficiente en este tipo de instalaciones.

Estructura

Un ejemplo del alto grado de automatización de las explotaciones ganaderas es el tratamiento del ganado vacuno. En ellas podemos encontrar instalaciones eléctricas y electrónicas muy modernas, como: instalaciones de ordeño (Figura 9.6.1), de alimentación del ganado (Figura 9.6.2), sistemas de ventilación, de lavado (Figura 9.6.3), de calefacción con recuperación del calor y suministro de agua (Figura 9.6.4).



Fig. 9.6.5: Instalación de ordeño con caja de control.

La instalación de ordeño (**Figura 9.6.5**), por ejemplo, funciona prácticamente de forma automática.

Siguiendo un ciclo natural, las vacas lecheras entran una vez por la mañana y una vez por la tarde - siempre a la misma hora - en la planta, para proceder al ordeño de las mismas.

Las cantidades de leche obtenidas son registradas inmediatamente por un sistema electrónico, se archivan y se transmiten *online* a una red informática existente, para su administración y gestión.

Cada uno de los animales tiene un collar con un chip registrador (**Figura 9.6.6**) para su identificación.

Además de la cantidad de leche se registran, entre otros datos, el nombre, la fecha de nacimiento del animal, la ascendencia, las enfermedades padecidas, cantidad de pienso utilizado y tiempo de preñado.

Gracias a estos modernos sistemas, el ganadero puede intervenir inmediatamente si observa, por ejemplo, que existe una variación en la cantidad de leche obtenida. Así, podrá modificar adecuadamente las cantidades de pienso a consumir por el animal o adoptar cualquier otra medida que estime oportuna.

El fallo de tan solo uno de los componentes de la instalación a causa de sobretensiones, puede tener graves consecuencias previsibles para la explotación, como por ejemplo:

- ⇒ Daños en la salud de los animales.
- ⇒ Tiempos de parada de la instalación.
- ⇒ Pérdidas en la producción.
- ⇒ Incremento de gastos debido al tratamiento de los animales con medicinas.



Fig. 9.6.6: Vaca con collar y chip de registro.

- ⇒ Grandes costes para la recuperación de datos.
- ⇒ Costes para la adquisición e instalación de nuevos equipos.

Como ejemplo de todo ello reproducimos las siguientes noticias publicadas en la prensa:

(Donaukurier Online) 29.06.2001

Un rayo mató a una vaca en el pajar

Corte del suministro eléctrico: cerdos muertos por asfixia.

Munich. La noche del jueves, en el distrito de Roth, se produjo la descarga de un rayo que ocasionó un incendio en un pajar. En un pajar en Höttingen (distrito de Weissenburg-Gunzenhausen) una vaca murió a causa de la descarga de un rayo. El chaparrón más fuerte tuvo lugar en Kempten, donde cayeron más de 21 litros de lluvia por metro cuadrado en una hora. En Weissenburg cayeron 20 litros.

Aproximadamente 450 cerdos murieron ahogados en un establo en Kitzingen, en parte, por ataques de pánico. Un corte de suministro eléctrico, causado probablemente por la tormenta, puso fuera de servicio durante la noche del jueves la ventilación de un establo, según informa la policía. El granjero, si bien pudo abrir las ventanas del establo, no pudo impedir que fallecieran los animales.

(Oberpfalznet) 16.06.2003.

60 vacas se queman en un establo.

La descarga de un rayo originó un incendio en un recinto agrícola en Kainsricht. 500.000 euros de daños materiales.

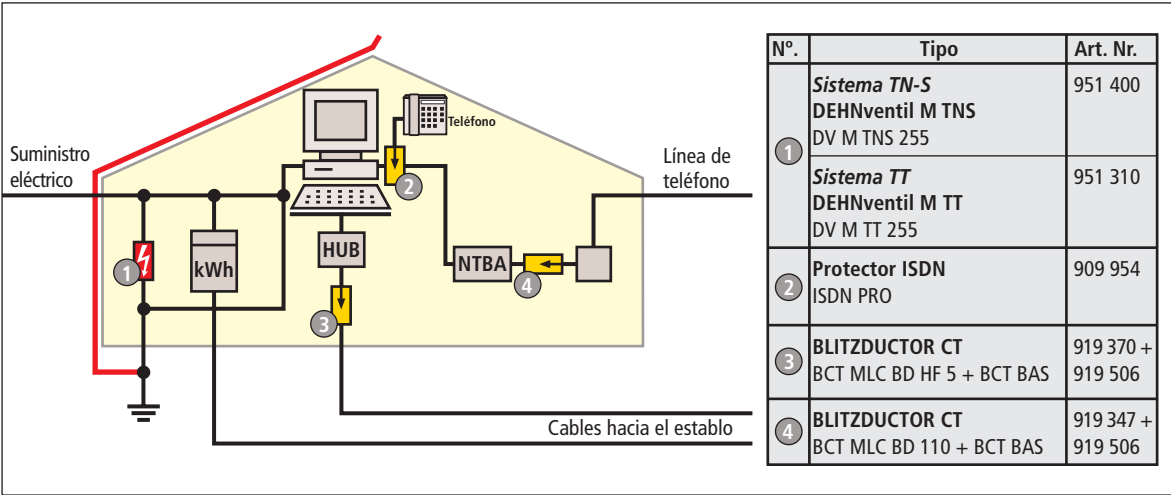


Fig. 9.6.7: Protección contra rayos y sobretensiones para explotaciones ganaderas. Vivienda y oficina.

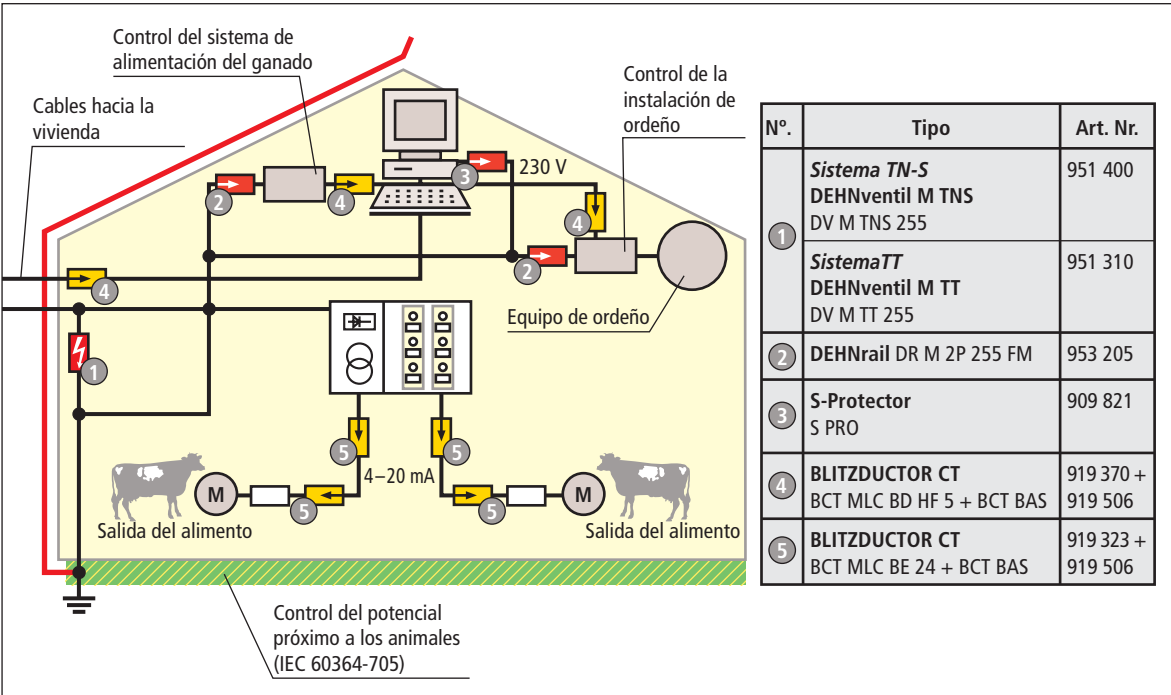


Fig. 9.6.8: Protección contra rayos y sobretensiones para instalaciones agrícolas. Establo.

Kainsricht. A primera hora de la tarde del sábado se produjo una descarga de rayo en un recinto agrícola, lo que ocasionó el incendio de un establo y de dos locales vecinos. 60 vacas murieron a causa de las lla-

mas. El propietario de la finca, un agricultor de 70 años sufrió un shock. Los daños ocasionados se elevan a 500.000 euros como mínimo.

(Stuttgarter Nachrichten Online).

Muchos incendios y sótanos anegados

Los bomberos de Freiburg tuvieron que realizar más de 60 actuaciones. En apenas dos horas, se recibieron más de 150 llamadas de emergencia en la policía local de Breigaustadt.

Un rayo causó un incendio en una finca agrícola en Oberwolfach (Distrito de Ortenau) y ocasionó daños superiores a 150.000 euros. El edificio, de más de 100 años, se incendió hasta los muros exteriores. No hubo que lamentar heridos.

De todos estos ejemplos se desprende claramente la importancia que tiene la protección contra rayos y sobretensiones en este tipo de instalaciones.

Una protección completa e integral implica la disposición de DPS tanto en las líneas de suministro de energía de baja tensión como en las redes de transmisión de datos (medida, control y regulación).

Las **figuras 9.6.7 y 9.6.8** muestran la aplicación de una protección contra rayos y sobretensiones en instalaciones agrícolas y ganaderas. En estos casos, se realiza la aplicación de la protección contra rayos y sobretensiones en el lado de red de una forma descentralizada mediante descargadores combinados.

9.7 Protección contra rayos y sobretensiones en instalaciones de vigilancia

Cada vez con mayor frecuencia, tanto en la industria como en el sector privado, se incluyen dispositivos para la vigilancia de la propiedad y de los accesos a los edificios de todo tipo.

En este tipo de instalaciones es prioritario asegurar la disponibilidad de servicio. Es decir, debe asegurarse su funcionamiento ininterrumpido. Una de las causas que puede provocar la interrupción del mismo son las sobretensiones. A continuación se describen medidas de protección contra sobretensiones que cumplen los requerimientos de disponibilidad que se plantean a las instalaciones de vigilancia de video.

Una instalación de vigilancia con cámaras de video se compone, como mínimo, de una o varias cámaras, un monitor y una línea de transmisión de la señal de video. Las cámaras, controlables a distancia, están equipadas, por lo regular, con soportes inclinables y giratorios, de modo que su posición y ángulo de visión puede ser adaptado por el usuario.

Como se expone en la **figura 9.7.1**, la transmisión de imagen y el suministro de corriente a la cámara se efectúa a través de un cable situado entre la caja de conexiones y la cámara.

El cable de transmisión de señal que discurre entre la caja de conexiones y el monitor puede ser, o bien un

cable coaxial, o bien un conductor simétrico de dos hilos. La transmisión de las señales de video a través de cables coaxiales es el sistema más empleado en la técnica de video. Se trata aquí de una transmisión asimétrica, es decir, que la señal se transmite por el interior del cable coaxial. El blindaje (masa) es el punto de referencia para la transmisión de señal. La transmisión de dos hilos, es otra posibilidad también muy utilizada. Si en la zona que se pretende vigilar existe ya una infraestructura de telecomunicaciones, se recurre con frecuencia a un par de hilos no ocupado de los cables de telecomunicación para la transmisión de la señal de video.

Las instalaciones de vigilancia de video, reciben el suministro de energía normalmente desde los cuadros eléctricos de baja tensión, pero también lo hacen a través de UPS.

Elección de los equipos de protección contra sobretensiones

Edificios con protección externa contra rayos

En la **figura 9.7.1** la cámara de vigilancia está dispuesta sobre un mástil. Una descarga directa de rayo sobre la cámara puede evitarse instalando una punta captadora en el extremo del mismo. Hay que prestar atención especial, tanto a la cámara como también a

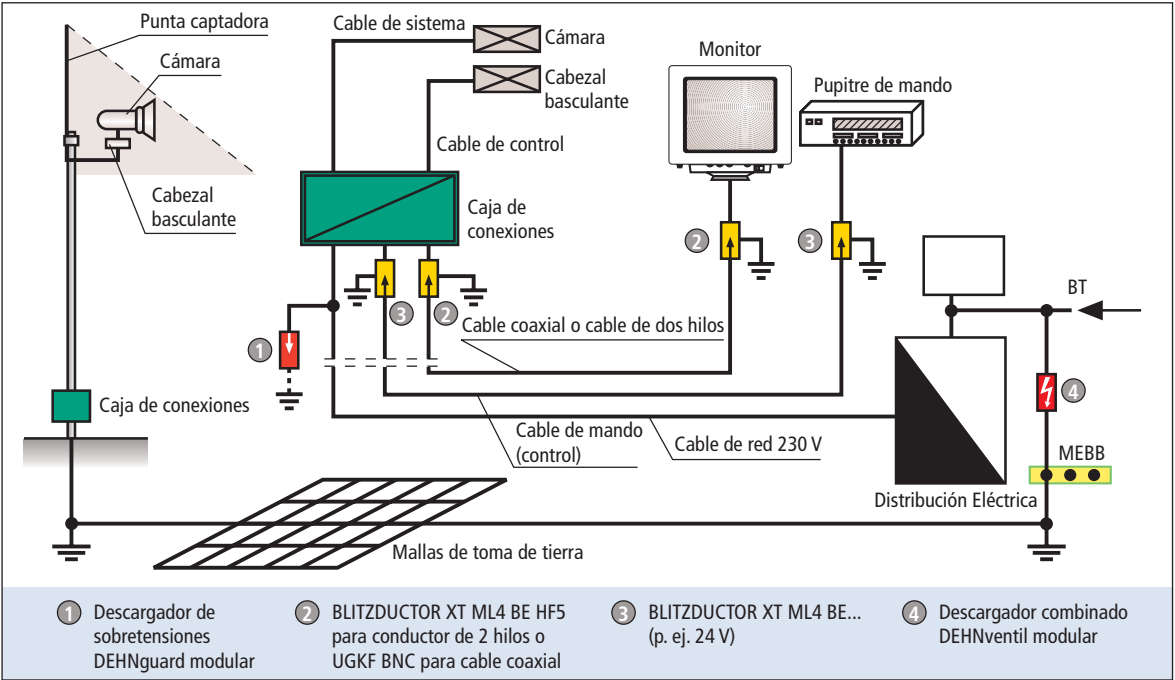


Fig. 9.7.1: Instalación de vigilancia de video. Protección contra rayos y sobretensiones.

los cables, para asegurar una distancia de separación suficiente de estos elementos respecto de la protección externa contra rayos (UNE E 62305-3. IEC 62305-3).

Normalmente los cables de unión entre la caja de conexiones y la cámara se instalan en el interior de postes metálicos.

Si esto no fuera posible, el cable de la cámara debe llevarse a través de un tubo metálico y conectarse eléctricamente con el mástil. En caso de longitudes de cable de pocos metros puede prescindirse de un circuito de protección en la caja de conexiones.

Para el cable coaxial o para el cable de dos hilos, así como para el cable de control (cable de mando) que llega desde la caja de conexiones en el mástil hasta un edificio equipado con protección externa contra rayos, debe realizarse la correspondiente equipotencialidad para la protección contra rayos (Tabla 9.7.1).

Debemos conseguir un sistema equipotencial. Esto supone conectar el sistema de protección externa contra rayos con las tuberías, las instalaciones metá-

licas existentes dentro del edificio y la instalación de puesta a tierra. Adicionalmente deben incluirse en la compensación de potencial de protección contra rayos todas las partes puestas a tierra de las instala-



Fig. 9.7.2: Cámara de vigilancia en la zona de protección de una punta captadora.

Nr. en la figura 9.7.1 y 9.7.3	Protección para ...	Equipos de protección	Art. Nr.
2	Cable de 2 hilos (transmisión de vídeo)	BLITZDUCTOR XT, BXT ML4 BE HF 5 + BXT BAS	920 370 920 300
2	Cable coaxial (transmisión de vídeo)	UGKF BNC	929 010
3	Cable de mando (p. ej. 24 V DC)	BLITZDUCTOR XT, BXT ML4 BD 24 + BXT BAS	920 324 920 300

Tabla 9.7.1: Protección contra rayos y sobretensiones para cables de señal.

Nr. en la figura 9.7.1	Descargadores combinados (Descargadores de corriente de rayo y de sobretensiones)		
	Protección para ...	Equipos de protección	Art. Nr.
4	Sistema TN-C de líneas de energía	DEHNventil DV M TNC 255	951 300
	Sistema TN-S de líneas de energía	DEHNventil DV M TNS 255	951 400
	Sistema TT de líneas de energía	DEHNventil DV M TT 255	951 310
	Sistema TN de líneas de energía	DEHNventil DV M TN 255	951 200
	Sistema TT de líneas de energía	DEHNventil DV M TT 2P 255	951 110
Nr. en la figura 9.7.1 y 9.7.3	Descargador de sobretensiones		
	Protección para ...	Equipos de protección	Art. Nr.
1	Sistema TN-C de líneas de energía	DEHNGuard DG M TNC 275	952 300
	Sistema TN-S de líneas de energía	DEHNGuard DG M TNS 275	952 400
	Sistema TT de líneas de energía	DEHNGuard DG M TT 275	952 310
	Sistema TN de líneas de energía	DEHNGuard DG M TN 275	952 200
	Sistema TT de líneas de energía	DEHNGuard DG M TT 2P 275	952 110

Tabla 9.7.2: Protección contra rayos y sobretensiones para líneas de energía.

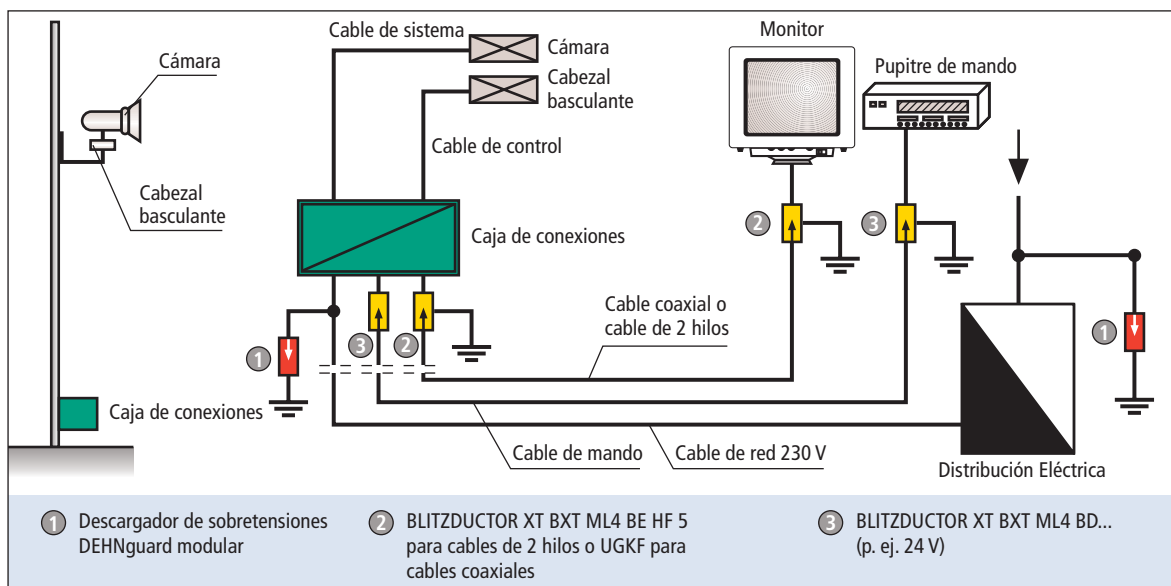


Fig. 9.7.3: Instalación de vigilancia de video. Protección contra sobretensiones.

ciones de energía y comunicaciones. Todos los cables, tanto eléctricos como de comunicaciones, que entren o salgan de la instalación, se conectarán a la compensación de potencial de protección contra rayos indirectamente a través de descargadores de corriente de rayo (tipo 1). Si no hay instalados descargadores de corriente de rayo (tipo 1) en el cuadro general de baja tensión, hay que informar al usuario que deben instalarse.

Las **tablas 9.7.1** y **9.7.2** muestran los equipos de protección contra sobretensiones que deben instalarse en los cables de señal y de energía, según se indica en la **figura 9.7.1**.

En la **figura 9.7.1** (Nr. 4) se muestra la aplicación de un descargador combinado DEHNventil modular. (**Tabla 9.7.2**) Este descargador combinado reúne en un solo equipo un descargador de corriente de rayo y uno de sobretensiones (Tipo 1+2). Se utiliza sin inductancia de desacople y está disponible para su suministro como unidad completa, totalmente cableada, para cualquier sistema de baja tensión (TN-C, TN-S, TT).

Si entre el DEHNventil y el equipo final a proteger existe una distancia eléctrica inferior a aprox. 5 metros, no hay necesidad de instalar de equipos de protección suplementarios.

En caso de mayores longitudes de cable podría ser necesario incluir protección específica para equipos

finales mediante descargadores de Tipo 3. Por ej. el DEHNrail modular.

Al instalar una cámara en una fachada exterior de un edificio, hay que asegurarse de que quede situada por debajo del borde exterior del tejado, en zona protegida. Si esto no fuera así hay que generar una zona protegida contra descargas mediante las correspondientes medidas de protección externa contra rayos. Así, como se muestra en la **figura 9.7.2**, puede instalarse una punta captadora para lograr la protección de la cámara frente al riesgo de un impacto directo de rayo en la misma.

Edificios sin protección externa contra rayos

En edificios sin protección externa contra rayos, se presupone que el riesgo de daños causados por descarga directa o muy próxima de un rayo es muy reducido y, por tanto, puede ser asumido.

Si este riesgo se asume, también en caso de montaje posterior de una instalación de transmisión de vídeo, se logrará protección suficiente mediante instalación de descargadores de sobretensiones.

Los dispositivos de protección contra sobretensiones que deben utilizarse para el cable de energía según **figura 9.7.3** pueden consultarse en la **tabla 9.7.2**.

Los descargadores de sobretensiones utilizados para protección de los cables de señal en la **figura 9.7.3** están indicados en la **tabla 9.7.1**.

En una línea o grupo pueden funcionar conjuntamente altavoces de diferente potencia. La potencia mínima del amplificador se corresponde con el valor de la suma de las potencias individuales de todos los altavoces de la instalación. En el conjunto no es determinante la suma de las potencias nominales de los altavoces sino los niveles de potencia elegidos en las conexiones de los transmisores.



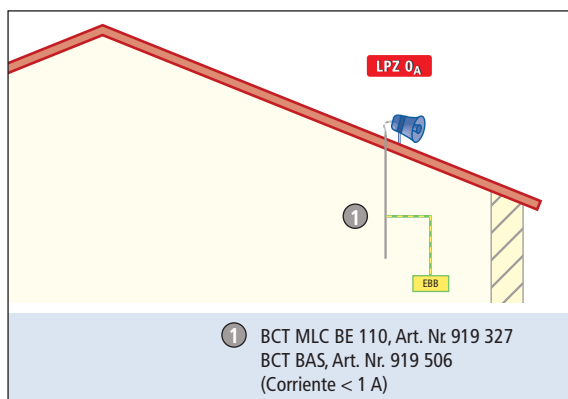


Fig. 9.8.2: Edificio sin protección externa contra rayos y altavoces instalados en la zona LPZ 0A, protegidos mediante descargadores combinados.

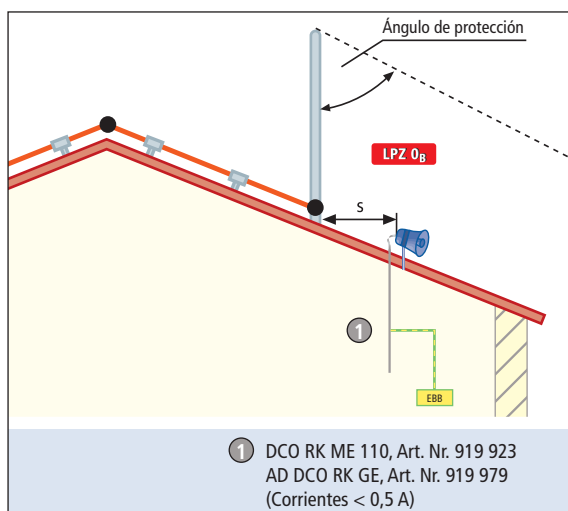


Fig. 9.8.3: Edificio con protección externa contra rayos y altavoces instalados en la zona LPZ 0B, protegidos mediante descargadores de sobretensión.

La instalación de la red de cables de un sistema PA está sujeta a las especificaciones de la norma EN 50174-2.

En capítulo 6.11.3 de la citada norma EN se aborda el tema de la protección contra sobretensiones. Además de la protección de los conductores citados en dicha norma, se hace hincapié en la tarea principal que es la

protección de los equipos instalados en el sistema de megafonía.

En esta exposición no se hace referencia a otras disposiciones existentes que deberían tenerse en cuenta, (por ejemplo sistemas de regulación de edificios, centralitas de incendios, etc.).

Los sistemas de megafonía (PAs) de grandes dimensiones tienen un sistema modular de 19" (Figura 9.8.1) y están situados próximos a un puesto de trabajo permanentemente ocupado.

Por tanto, la longitud de la línea de interconexión existente al PC o al emplazamiento del intercomunicador es determinante para el uso o empleo de los descargadores de sobretensiones marcados bajo ④ y ⑤. Si la longitud de cables es > 5 m suele ser necesario instalar un descargador de sobretensiones en la línea.

Para poder dimensionar los descargadores de sobretensiones marcados bajo ② y ⑦ es necesario calcular la corriente máxima I en la ramal de cable afectado. Esto se efectúa a través de la relación $U = P/U$, con U como tensión portadora y P como potencia del amplificador para la elección del descargador de sobretensiones ② y de la potencia del altavoz para el descargador de sobretensiones ⑦. Si se trata de varios altavoces situados juntos en un mismo lugar, P será la suma de las potencias individuales de los altavoces.

Es recomendable conectar todos los terminales de tierra de los descargadores de sobretensiones ① hasta ⑥, a un mismo punto equipotencial próximo (Mini Barra EB).

En el caso de edificios que no dispongan de protección externa contra rayos y dispongan de altavoces situados en la zona LPZ 0A (Zona expuesta a descargas directas de rayo) deberán instalarse, en la línea de entrada o acometida al edificio, descargadores combinados (Figura 9.8.2) Si únicamente se instala un descargador de corrientes de rayo los altavoces conectados a esta línea podrían resultar dañados.

En edificios que dispongan de altavoces situados en la zona LPZ 0B (Zonas no expuestas al riesgo de descargas) e incorporen protección externa contra rayos, deberán instalarse únicamente descargadores de sobretensiones en la línea de entrada o acometida al edificio (Figura 9.8.3).

9.9 Protección contra sobretensiones para instalaciones de alarma

Las instalaciones de alarma (instalaciones de protección contra incendios o contra robo) deben activarse en situaciones de peligro y deben permanecer inactivas en situaciones carentes de riesgo. Los fallos en el funcionamiento de estos sistemas (falta de aviso en caso de peligro o aviso de alarma en situaciones carentes de riesgo) son indeseados y sumamente costosos.

Los costes unidos a falsos avisos de alarma en instalaciones de prevención de riesgos, se elevan a varios cientos de millones anuales de euros en los países industrializados.

Otro aspecto de los fallos de funcionamiento es el posible peligro directo o indirecto para las personas.

En este contexto queremos recordar el fallo de funcionamiento de la instalación de aviso de incendios en la torre del aeropuerto Rhein-Main en Frankfurt, en el año 1992, donde, tras la descarga de un rayo se produjo una activación de la instalación de extinción de incendios. En unos pocos minutos el personal del recinto tuvo que abandonar las instalaciones de la zona de control. En esta crítica situación, los aviones que estaban llegando al aeropuerto tuvieron que ser desviados a otros, lo que ocasionó considerables retrasos en el tráfico aéreo.

Los fallos de alarmas son asimismo gravemente perturbadores, vistos desde otros aspectos:

- ⇒ El usuario no puede fiarse de la instalación en caso de numerosas alarmas falsas, y ello supone el cuestionamiento de una instalación de este tipo (inversión).
- ⇒ El personal de guardia empieza a no prestar atención a los avisos de alarma.
- ⇒ Se causan molestias a los vecinos por las alarmas acústicas.
- ⇒ Se requieren innecesariamente los servicios de terceros (p. ej. bomberos)
- ⇒ La activación de instalaciones de apagado de incendios da lugar a interrupciones en la actividad de las empresas.
- ⇒ Se producen daños a causa de la falta de aviso de riesgos existentes.

Todos estos factores ocasionan costes innecesarios que pueden evitarse si, ya en la fase de planificación, se detectan las posibles causas de falsas alarmas y se procede a subsanarlas mediante la adopción de las medidas preventivas adecuadas.

Para ello el "Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV)" (Asociación general de

aseguradoras) publicó las directrices VdS 2833. Una de las medidas de protección exigidas en la citada directriz se refiere a la protección contra rayos y sobretensiones.

La protección coordinada contra rayos y sobretensiones previene contra una falsa alarma a causa de descargas atmosféricas e incrementa la disponibilidad de las instalaciones.

En la instalación de dispositivos de alarma, en los que por razones de costes se prescinde de un reconocimiento de la Asociación general de aseguradoras (p. ej. edificio de viviendas), pueden aplicarse las directrices enunciadas, tanto para el proyecto como para la construcción, así como fijar medidas individuales de protección entre el constructor y el usuario.

Las instalaciones de prevención de incendios instaladas en la actualidad presentan una resistencia más elevada frente a sobretensiones transitorias, según IEC 61000-4-5 en los cables primarios y secundarios, así como en las entradas de tensión de red.

Pero la protección completa contra daños causados por descargas de rayos y sobretensiones solamente se logra mediante medidas de protección interna y externa contra rayos (**Figuras 9.9.1 hasta 9.9.4**).

Principios de vigilancia

Para las instalaciones de prevención y alarma de riesgos se aplican diversos principios de vigilancia.

⇒ Técnica de línea de impulsos

La información del dispositivo que da lugar a la alarma se transmite en forma digital. Esto permite la detección del dispositivo de alarma y la localización exacta del foco de peligro (**Figura 9.9.1**).

⇒ Técnica de línea de corriente continua

Según el principio de corriente de reposo, se vigilan permanentemente cada una de las líneas de alarma. Si se activa un detector en una línea, ésta se interrumpe y se emite una alarma a la central. Con ello se puede detectar la línea activada, pero no se identifican los detectores individuales. (**Figuras 9.9.3 y 9.9.4**).

Independientemente del principio de vigilancia utilizado, los cables y conductores de la instalación de alarma tienen que incluirse en la protección contra rayos y sobretensiones del sistema general.

Recomendaciones de protección

Para el circuito de protección de las líneas de aviso con técnica de línea de corriente continua es apropiado el

BLITZDUCTOR XT, tipo BXT ML4 BE ... La elección se efectúa en función de la tensión de la línea de aviso que, por lo regular, es de 12 ó 24 V. Para no modificar demasiado la resistencia de bucle de las líneas de aviso, se recomienda utilizar el BLITZDUCTOR XT, tipo BXT ML4 BE.

Las salidas de la central de aviso, como por ejemplo la señalización acústica y óptica, deben estar provistas del BLITZDUCTOR XT, independientemente de la técnica de línea. Hay que prestar mucha atención a que no se sobrepase la corriente nominal de los aparatos de protección. En caso de corrientes nominales > 0,5 A, deberá utilizarse alternativamente el aparato de protección DEHNrail, tipo DR M 2P 30.

La conexión de la central de aviso a un cable oficial de un usuario de la red fija se realiza, por lo regular, con un teléfono selector. Para este caso de aplicación el dispositivo de protección contra sobretensiones apropiado es el BLITZDUCTOR XT, BXT ML4 BD 180 (Ver al respecto el capítulo 9.14 "Protección contra sobretensiones en sistemas de telecomunicaciones").

También es importante la protección del lado de red. Aquí se recomienda utilizar dispositivos de protección contra sobretensiones DEHNgard modular (Ver tabla 9.9.2).

Los esquemas adjuntos muestran, a título de ejemplo, la propuesta para el circuito de protección contra sobretensiones de centrales de protección contra incendios y aviso

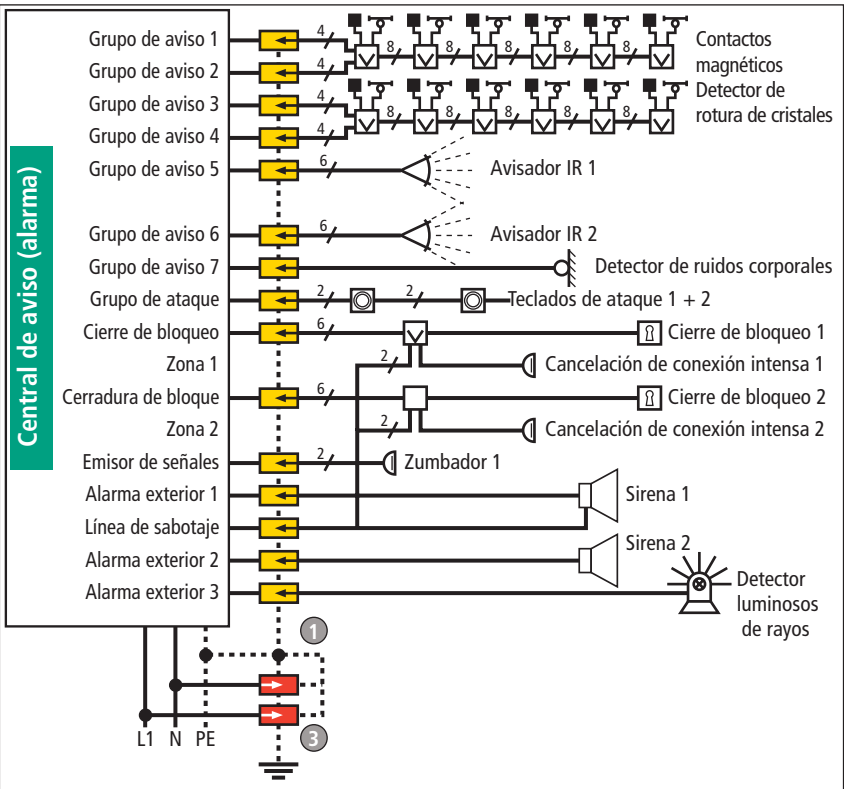


Fig. 9.9.1: Protección contra rayos y sobretensiones de una central de aviso de atracos (EMZ) en técnica de línea de impulsos.

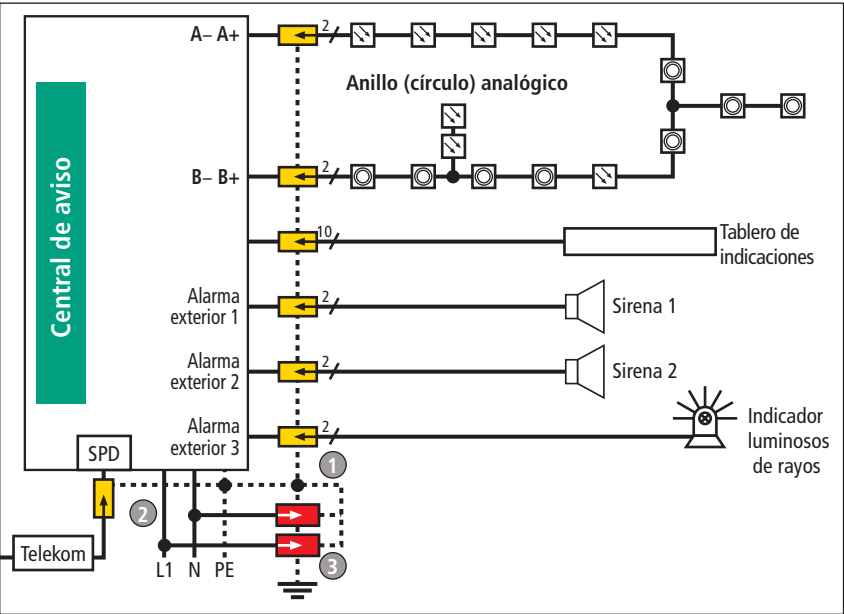


Fig. 9.9.2: Protección contra rayos y sobretensiones en una central de aviso de incendios (BMZ) - anillo analógico.

Nr.	Dispositivo de protección BLITZDUCTOR XT ...	Descripción	Art. Nr.
1	BXT ML4 BE 12 ó BXT ML4 BE 24 + BXT BAS	Descargador combinado de rayos y sobretensiones para instalar en las intersecciones $0_A - 1$, o respectivamente $0_A - 2$, según el concepto de zonas de protección contra rayos orientado a la compatibilidad electromagnética	920 322 ó 920 324 + 920 300
2	BXT ML4 BD 180 + BXT BAS	Descargador combinado de rayos y sobretensiones para instalar en las intersecciones 0_A hacia 1, o respectivamente 0_A hacia 2, según el concepto de zonas de protección contra rayos orientado a la compatibilidad electromagnética	920 347 + 920 300

Tabla 9.9.1: Breve descripción de los descargadores.

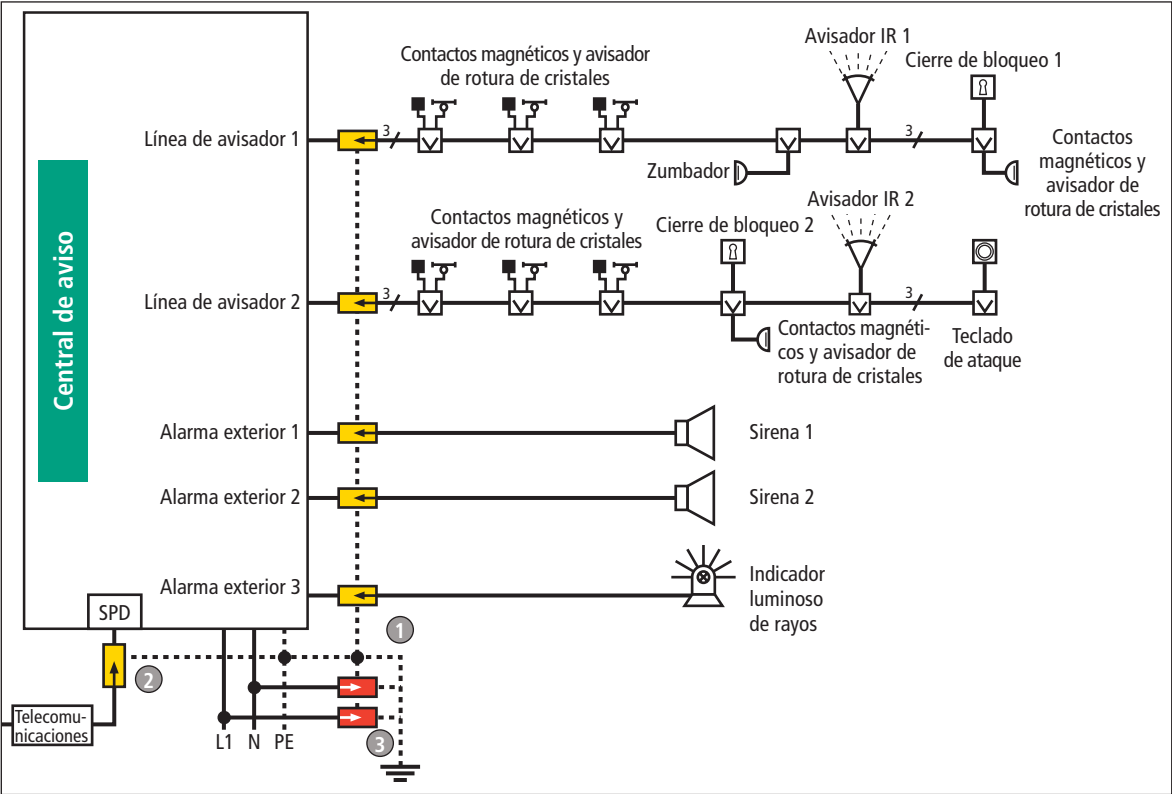


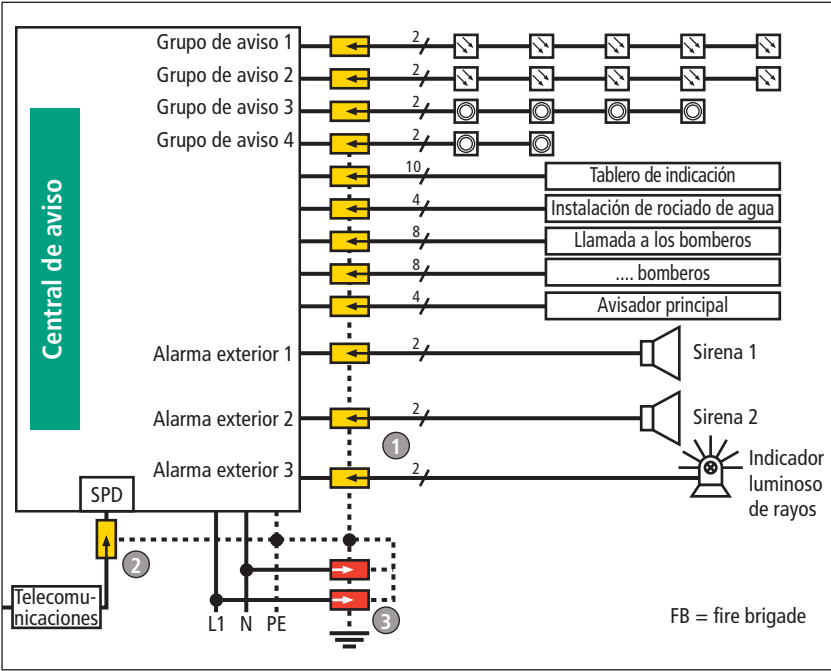
Fig. 9.9.3: Protección contra rayos y sobretensiones en una central de aviso de atracos (BMZ) en técnica de línea de corriente continua.

de alarma, que trabajan según el principio de las líneas de corriente de continua o de la técnica de impulsos. Si hubiera que integrar la central de alarma de incendios y de atracos en un sistema de protección contra rayos, todos los conductores que penetren en el edificio tienen que estar provistos de descargadores de corriente de rayo o descargadores combinados. Ver a este respecto las **tablas 9.9.1** y **9.9.2**.

Con una adecuada protección contra rayos y sobretensiones en instalaciones de alarma se puede conseguir un incremento notable de la fiabilidad y continuidad de servicio de estos sistemas. Por una parte, trata de impedir falsas alarmas en caso de riesgos inexistentes y con ello evitar los gastos que por ello se originan. Por otra parte, mediante una señalización efectiva de potencias auxiliares, se logra una eficaz limitación de posibles daños. De este modo, se actúa evitando la

Nr.	Descargador modular combinado , tipo 1 (LPZ 0 _A – 2)		
	Protección para ...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
3	Sistema TN	DEHNventil DV M TN 255	951 200
	Sistema TT	DEHNventil DV M TT 2P 255	951 110
	Descargador de sobretensiones modular multipolo, tipo 2 (LPZ 0 _B – 1 o superior)		
	Protección para ...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
	Sistema trifásico TN-C	DEHNguard DG M TNC 275	952 300
	Sistema trifásico TN-S	DEHNguard DG M TNS 275	952 400
	Sistema trifásico TT	DEHNguard DG M TT 275	952 310
	Sistema corriente alterna TN-S	DEHNguard DG M TN 275	952 200
	Sistema de corriente alterna TN-C	DEHNguard DG S 275	952 070
	Sistema de corriente alterna TT	DEHNguard DG M TT 2P 275	952 110

Tabla 9.9.2: Elección de los dispositivos de protección.



9.10 Protección contra rayos y sobretensiones para sistemas KNX



Fig. 9.10.1: Aplicación de un BUSector.

En los modernos edificios de oficinas y en algunas instalaciones públicas, para los procesos de automatización, se utiliza el sistema de bus de domótica KNX. Este sistema ofrece la posibilidad de transformar procesos complejos en un sistema único, compatible aguas arriba. La inversión que supone la instalación de dicho sistema, puede, sin embargo, ver reducido su rendimiento de forma notable como consecuencia de los efectos derivados de la descarga de un rayo. Esta circunstancia puede provocar que el sistema quede fuera de servicio y, por tanto, que se generen importantes costes resultantes de reparaciones y configuraciones del mismo. Por ello, en la planificación e instalación de estos complejos sistemas, se deberían adoptar las medidas correspondientes de protección contra rayos y sobretensiones. (Figura 9.10.1).

¿Protección contra rayos o contra sobretensiones?

Para determinar la correcta elección de descargadores de sobretensiones, es necesario tener en cuenta diferentes parámetros. No sólo es necesario considerar los datos eléctricos específicos del sistema, como son tensión nominal, corriente nominal, frecuencia, etc... sino también los parámetros de riesgo de la instalación. Hay una gran diferencia en el hecho de considerar la posibilidad de que se produzcan descargas directas de rayo en la instalación o bien que se considere únicamente la necesidad de adoptar medidas de protección sólo contra sobretensiones.

Si se pretenden evitar y controlar descargas directas de rayo, y por tanto el elevado riesgo que ello conlleva, deberá planificarse la infraestructura del sistema KNX de acuerdo con el concepto de zonas de protección contra rayos.

El concepto de zonas de protección contra rayos está regulado en la norma UNE EN 62305-4 (IEC 62305-4)) y describe las medidas de protección a adoptar contra el impulso electromagnético del rayo. De acuerdo con dicho concepto, la instalación, edificio o estructura a proteger se divide en diferentes zonas de protección contra rayos. Cuanto mayor sea el número asignado a la zona de protección, menores deben ser los parámetros electromagnéticos de riesgo. Los sistemas eléctricos y electrónicos así como el sistema KNX, deben clasificarse, en función a su resistencia a las perturbaciones en un entorno electromagnético en el caso de una descarga directa de rayo, de modo que el sistema puede seguir funcionando sin resultar alterada o incluso totalmente destruida.

Si está instalada una protección externa contra rayos, según UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3), deberá también instalarse, una protección eficaz contra rayos y sobretensiones para el KNX. En los sistemas KNX se determinan medidas de protección primarias y secundarias.

Si el objetivo final de las medidas de protección es únicamente la protección contra sobretensiones (protección secundaria) no se tendrá en cuenta el riesgo de una eventual descarga directa de rayo. En caso de una descarga directa o muy próxima en un edificio con KNX instalado pueden producirse graves daños. Sin la oportuna protección contra descargas directas de rayo, únicamente se evitarán las averías ocasionadas por acoplamientos capacitivos o inductivos, producidos como consecuencias de descargas lejanas de rayos, o bien por sobretensiones que tengan su origen en maniobras o en procesos de conmutación.

Las descargas de rayo generan campos electromagnéticos cuyos efectos son perceptibles en dos kilómetros y pueden generar sobretensiones peligrosas en los bucles metálicos de las instalaciones que se encuentren en su área de influencia.

Cableado entre edificios

En un complejo de edificios extenso equipado con un sistema de protección contra rayos, se pretende incluir una instalación KNX y protegerla contra sobretensiones transitorias. La puerta de entrada se encuentra a unos 50 metros del edificio principal. Los dos edificios están provistos de un sistema de protección contra

rayos. Como la entrada principal está conectada a través de un Bus con la instalación KNX del edificio principal, deben adoptarse medidas de protección interna contra rayos, tanto en el cable de energía 230/400 V como en el cable bus.

Condición general 1:

Conectar los dos edificios con cable de tierra enterrado (Cable de cobre).

Solución 1: **Figura 9.10.2, Tabla 9.10.1.**

Condición general 2:

La conexión de cables de los dos edificios cuyo apantallamiento esté incluido en la compensación de potencial en ambos extremos. Esta condición se cumple tam-

bién utilizando una pletina de tierra de 50 mm², tendida junto al cable de tierra, y conectada a la compensación de potencial en ambos extremos.

Solución: **Figura 9.10.3, Tabla 9.10.1.**

Condición general 3:

La conexión KNX entre ambos edificios se realiza a través fibra óptica (FO). Si el conductor óptico, en el interior del conductor, lleva una malla metálica (protección contra roedores), esta malla deberá conectarse con la compensación de potencial en el punto de entrada al edificio.

Solución 3: **Figura 9.10.4, Tabla 9.10.1.**

En el proyecto y ejecución de un sistema KNX es

Nr.	Protección para ...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
①	Trifásico. Sistema TN-C	DEHNventil DV M TNC 255	951 300
	Trifásico. Sistema TN-S	DEHNventil DV M TNS 255	951 400
	Trifásico. Sistema TT	DEHNventil DV M TT 255	951 310
②		BLITZDUCTOR XT, Typ BXT ML4 BD 180 + BXT BAS	920 347 920 300
③	Trifásico. Sistema TN-C	DEHNguard DG M TNC 275	952 300
	Trifásico. Sistema TN-S	DEHNguard DG M TNS 275	952 400
	Trifásico. Sistema TT	DEHNguard DG M TT 275	952 310
④		BUSsector BT 24	925 001

Tabla 9.10.1: Breve descripción de los descargadores.

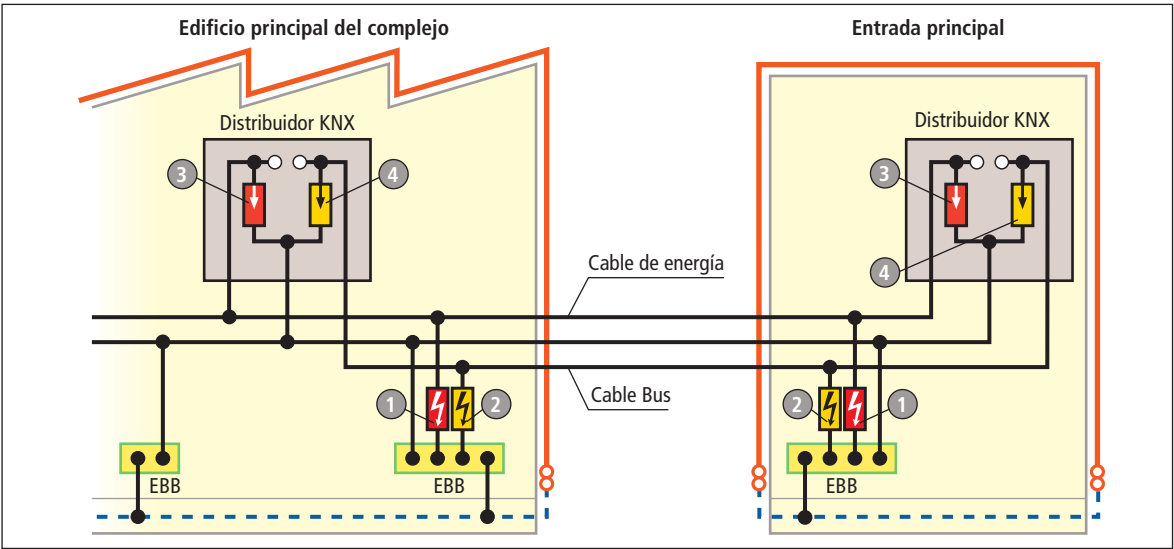


Fig. 9.10.2: Protección contra rayos y sobretensiones de cableados entre edificios sin conexión a la toma de tierra de cimientos.

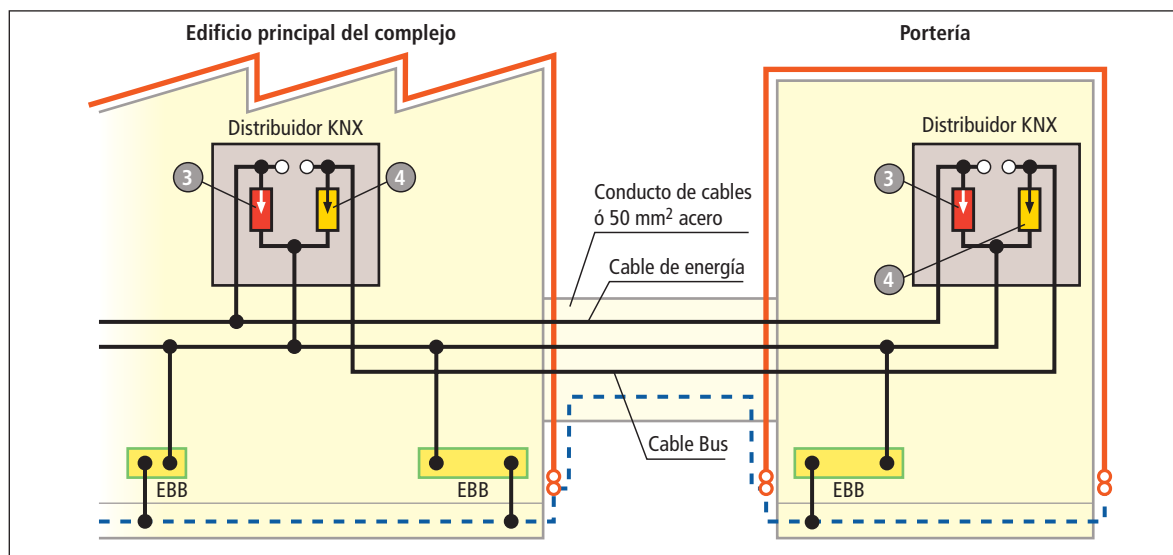


Fig. 9.10.3: Protección contra rayos y sobretensiones de cableados entre edificios con conexión a la toma de tierra de cimientos.

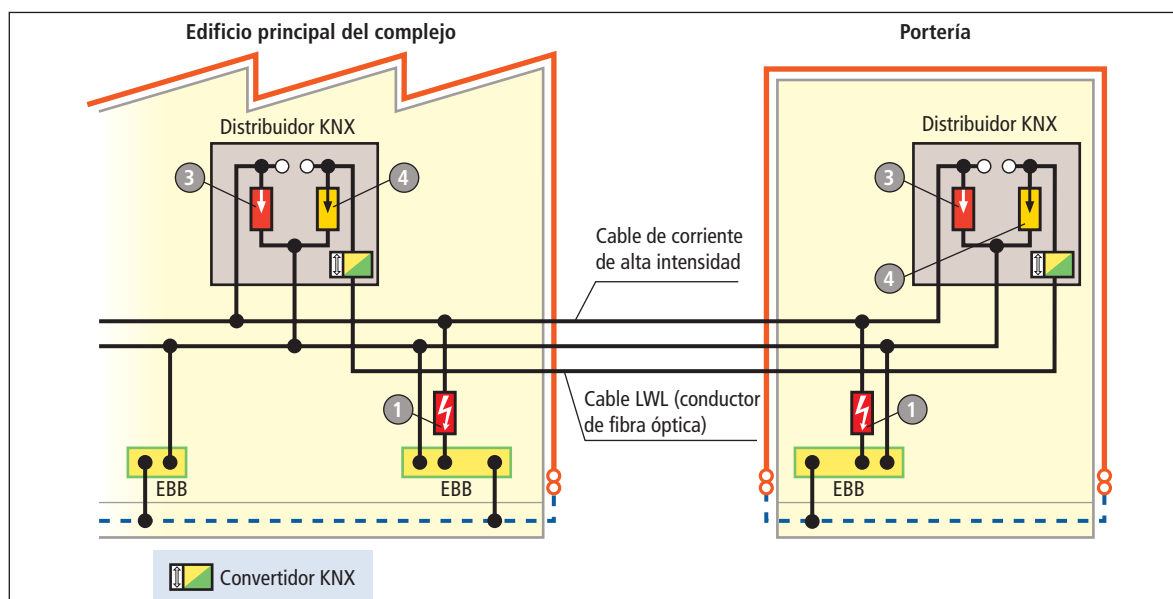


Fig. 9.10.4: Protección contra rayos y sobretensiones de cableados entre edificios sin conexión de toma de tierra de cimientos, con fibra óptica en KNX.

imprescindible que, ingeniería y constructora, adopten las medidas apropiadas para el correcto funcionamiento de un sistema de este tipo.

Es preciso prestar atención al entorno en el que está integrado el sistema KNX. Las acometidas o intersecciones de otras infraestructuras, como redes de baja tensión, telecomunicaciones y datos deben, asimismo,

protegerse contra perturbaciones al igual que el Bus KNX.

Para prevenir las consecuencias de las sobretensiones, es preciso disponer de las correspondientes medidas y equipos de protección. Estos equipos, mediante una adecuada planificación e instalación, aportarán protección futura al sistema KNX con muy bajos costes.

9.11 Protección contra sobretensiones para redes de Ethernet y Fast-Ethernet

Las sobretensiones causan perturbaciones en las señales y deterioro e incluso la destrucción de los equipos, y con ello el fallo de las instalaciones de proceso de datos, lo que ocasiona problemas graves en el desarrollo del servicio. Una consecuencia muy negativa de ello son los largos tiempos de parada que se producen. Por eso, para garantizar la seguridad y fiabilidad de instalaciones de proceso de datos, se precisan asimismo medidas eficaces de protección contra sobretensiones tanto en el lado de suministro de energía como en el lado de transmisión de datos.

Causas de daños

Los fallos de las instalaciones de proceso de datos se deben, típicamente, a las siguientes circunstancias:

⇒ Descargas lejanas de rayo que generan sobretensiones inducidas en cables de suministro de energía, cables de datos o cables de telecomunicaciones.

⇒ Descargas cercanas de rayo, que generan campos electromagnéticos, a través de los cuales se acoplan sobretensiones transitorias en cables de suministro de energía, cables de datos o cables de telecomunicaciones.

⇒ Descargas directas de rayo, que generan en diferencias de potencial inadmisibles así como corrientes parciales de rayo.

Elección de los dispositivos de protección contra sobretensiones

Para una protección eficaz contra sobretensiones, es necesario coordinar las medidas de protección para los distintos sistemas por parte del personal técnico electrónico, del personal del proceso de datos y de telecomunicaciones, así como con el fabricante de los dispositivos de protección.

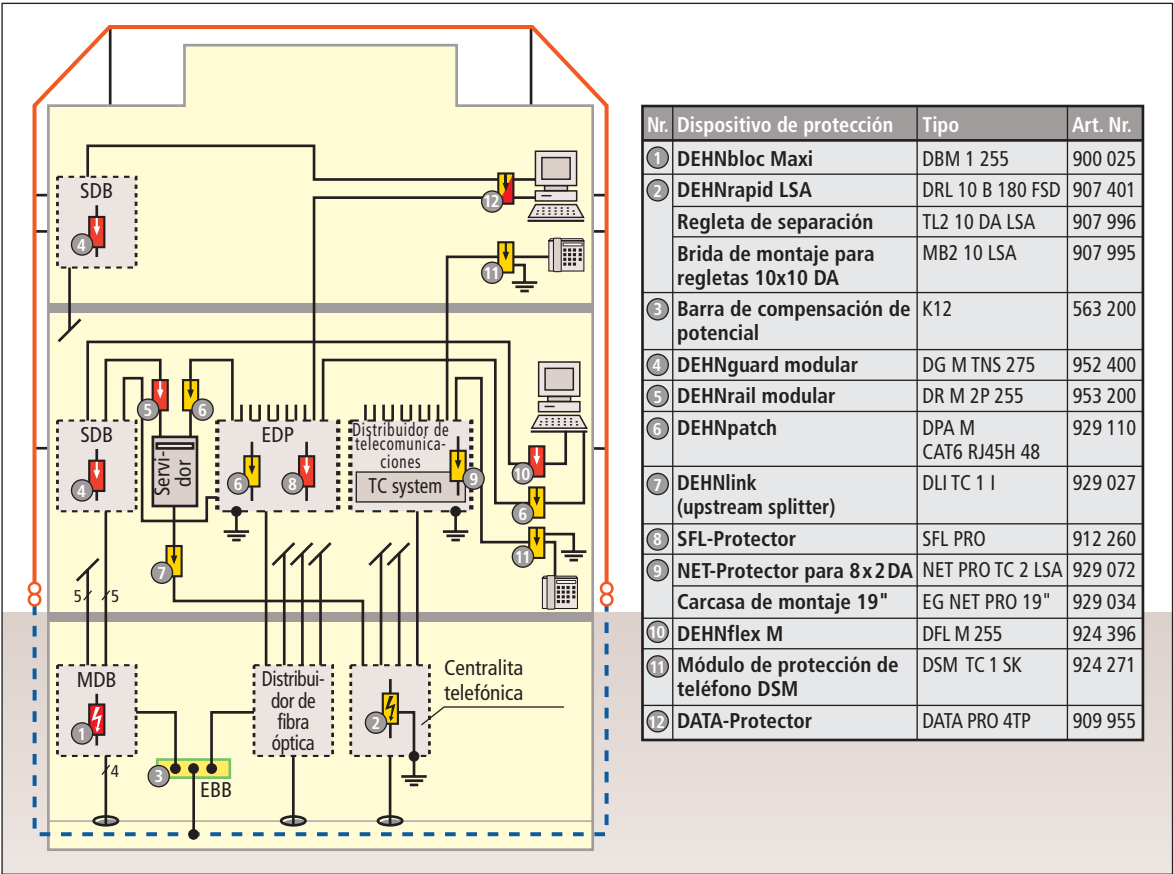


Fig. 9.11.1: Edificio de administración. Instalaciones de elevadad disponibilidad.

En el caso de proyectos de gran envergadura es necesario además recurrir a un experto (p. ej. una oficina de ingeniería).

Protección de la instalación de baja tensión

La **figura 9.11.1** muestra, a título de ejemplo, un edificio de oficinas. En el lado del suministro de energía se pueden instalar descargadores de corriente de rayo tipo 1 (p. ej. DEHNbloc Maxi) y descargadores de sobretensiones tipo 2 (p. ej. DEHNguard modular). Para protección de los equipos finales pueden utilizarse descargadores de tipo 3, p. ej. DEHNrail, SFL.Protector o DEHNflex M.

Protección de las líneas de datos y de telecomunicaciones

Para garantizar un servicio fiable y seguro es preciso también instalar protecciones en las líneas de transmisión de datos.

Aún en el caso de que en las distribuciones de los edificios y de los pisos se utilicen de forma estándar cables de fibra óptica, normalmente desde la distribución de la planta hasta el equipo final, se utilizan conductores de cobre. Por eso es necesaria la protección en ese punto.

9.12 Protección contra sobretensiones para Bus M

El Bus M se utiliza para la transmisión de las lecturas de consumo de los contadores. Los aparatos conectados a un sistema de Bus M pueden leerse desde un punto de control central, directamente *in situ* o mediante transmisión de datos desde una oficina externa. Esto mejora la calidad de vida de los usuarios y permite un control del consumo de energía del edificio en cualquier momento.

A continuación se describen las medidas de protección contra sobretensiones que cumplen con las exigencias de disponibilidad de estos sistemas.

El Bus M

El Bus M (Bus Meter del inglés Meter = aparato de medida, contador) es un bus de campo optimizado en costes para la transmisión de datos de consumo de energía. Como se expone en la **figura 9.12.1**, un maestro central (en su versión más sencilla un PC con convertidores de nivel postconectados) se comunica mediante un bus de dos hilos con las unidades conec-

tadas al sistema. Mediante la utilización de repetidores del Bus M, la instalación puede dividirse en segmentos de Bus. Por cada segmento se pueden conectar hasta 250 esclavos, como contadores de calor, contadores de agua, contadores eléctricos, contadores de gas, y también sensores y actuadores de cualquier tipo. Cada vez más fabricantes implementan el *interface* eléctrico Bus M, junto con el nivel de protocolo, en sus contadores de consumo.

El Bus M es un estándar europeo y se describe en la norma EN 1434.

Hasta ahora, los datos de energía de cada uno de los edificios se transmitían a través de conexiones por cable desde la red hasta la estación central. Con frecuencia, en el caso de complejos de edificios muy extensos, se recurre a la transmisión de datos a través de una conexión por módem.

El sistema Bus M se utiliza para el cálculo de los costes de consumo y para la monitorización remota de:

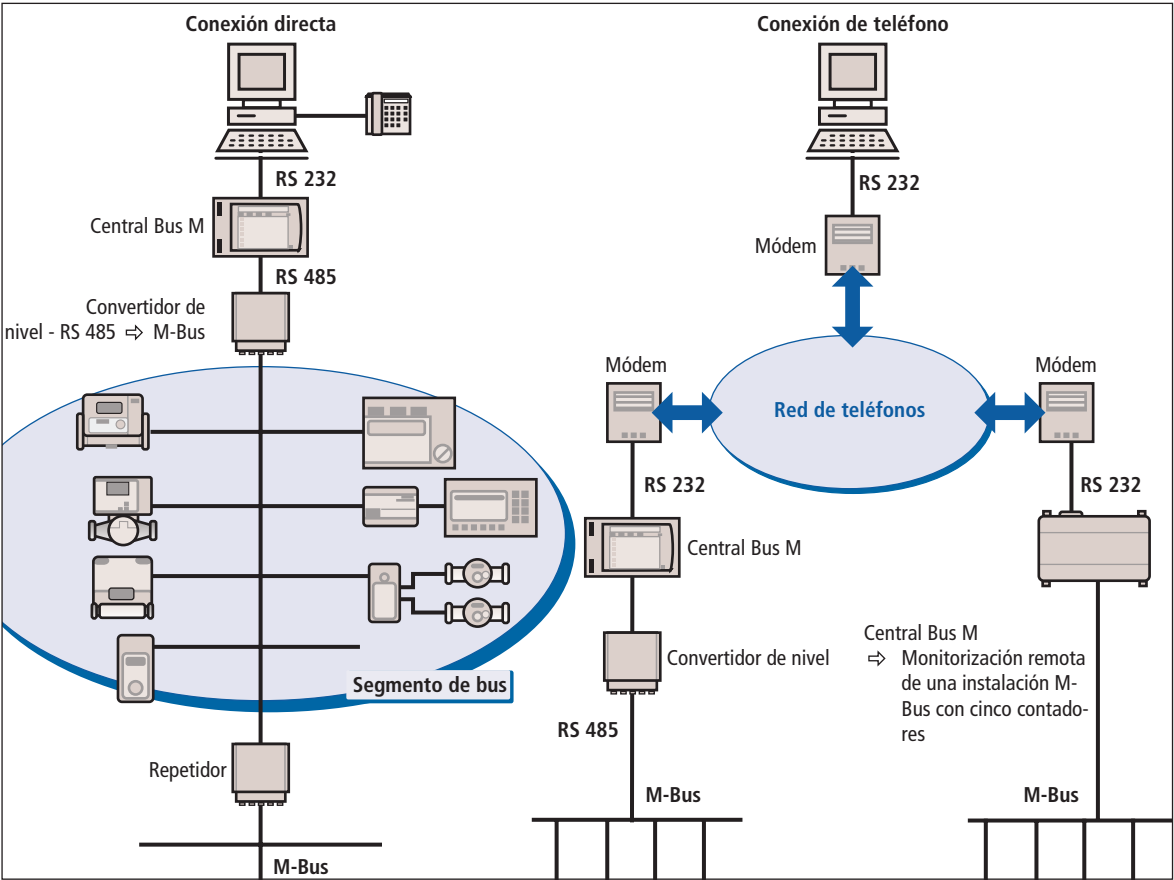


Fig. 9.12.1: Ejemplo de sistema Bus M.

Capacidad total del segmento Bus M	Velocidad máxima de transmisión de datos
hasta 382 nF	9600 Baudios
hasta 1528 nF	2400 Baudios
hasta 12222 nF	300 Baudios

Tabla 9.12.1: Velocidad máxima de transmisión de datos.

- ⇒ Sistemas de calefacción próximos y lejanos.
- ⇒ Edificios de viviendas multifamiliares.

La lectura de los contadores de energía puede realizarse mediante sistemas centralizados o descentralizados. Si los contadores de energía se encuentran situados próximos unos a otros, se elegirá entonces la arquitectura de sistema central, que es la más sencilla y económica. Aquí se realiza un cableado en forma de estrella desde cada uno de los contadores individuales hasta el centro de control. En caso de un sistema descentralizado, se recogen primero los datos de los contadores instalados localmente en subestaciones y después se transmiten a través de cables de bus hasta el centro de control.

El Bus M es un sistema bus de dos hilos, que se alimenta mediante una fuente aislada desde el bus maestro. Para todas las demás unidades que comparten el Bus M, no debe haber ninguna referencia a tierra durante el funcionamiento. La máxima tensión del bus es de 42 V.

La extensión de la red, así como la velocidad máxima de transmisión, depende del número de aparatos M-Bus, de los circuitos de protección, del guiado de los cables y de los tipos de cable utilizados.

La suma total de todos los cables, así como de los aparatos Bus M conectados y de los circuitos de protección genera una capacitancia en el segmento del Bus M. Esta capacitancia limita la velocidad de transmisión de datos.

La velocidad máxima de transmisión de datos por cada segmento del Bus M puede determinarse con ayuda de la **tabla 9.12.1**.

Si se instalan dispositivos de protección contra sobretensiones, hay que tener en cuenta las capacidades e impedancias longitudinales de los dispositivos de protección. En las tablas siguientes se exponen las capacidades y las impedancias longitudinales de los dispositivos de protección contra sobretensiones (**Tabla 9.12.2**).

Elección de los dispositivos de protección contra sobretensiones para sistemas Bus M

En los sistemas Bus M, las líneas de bus se instalan también fuera de los edificios. Por eso los aparatos están expuestos al riesgo de sobretensiones transitorias procedentes de descargas de rayo y deben ser protegidos de forma adecuada. A continuación, en base a 2 ejemplos de aplicación, se describe con detalle el circuito de protección contra sobretensiones para sistemas Bus M.

Ejemplo de aplicación: Edificio con protección externa contra rayos

Si un edificio dispone de protección externa contra rayos, deberá realizarse la correspondiente compensación de potencial. Esto incluye la conexión del sistema de protección contra rayos con tuberías, con instalaciones metálicas dentro del edificio y con el sistema de puesta a tierra.

Además, hay que incluir en la compensación de potencial para protección contra rayos, todas las partes de los sistemas de alimentación y proceso de datos puestas a tierra. Todas las líneas activas del sistema de alimentación y líneas de transmisión de datos que entren o salgan del edificio se conectarán indirectamente a la compensación de potencial para protección contra rayos a través de descargadores de corriente de rayo.

Si en la entrada del edificio no hay descargadores de

Dispositivos de protección	Art. Nr.	Capacidad:hilo/hilo	Impedancia longitudinal por hilo
BLITZDUCTOR CT BCT MLC BD 48	919 345	≤ 0.6 nF	2.2 Ω
BLITZDUCTOR CT BCT MLC BE 24	919 323	≤ 0.7 nF	2.2 Ω
BLITZDUCTOR CT BCT MLC BE 5	919 320	≤ 3 nF	1.4 Ω
DEHNconnect DCO RK MD 48	919 942	≤ 0.6 nF	0.4 Ω
DEHNconnect DCO RK ME 24	919 921	≤ 0.5 nF	1.8 Ω
DEHNconnect DCO RK MD HF 5	919 970	≤ 19 pF	1 Ω

Tabla 9.12.2: Capacidades e impedancias longitudinales de dispositivos de protección contra sobretensiones.

corriente de rayo (p. ej. en la instalación de baja tensión del consumidor de la distribución principal de baja tensión), hay que advertir al usuario que deben ser instalados.

Otras medidas más amplias para protección de instalaciones y sistemas eléctricos incluyen la instalación de medidas para protección contra sobretensiones. Estos sistemas, como medidas complementarias a la compensación de potencial para protección contra rayos de instalaciones y sistemas eléctricos, permiten también la protección incluso en caso de descarga directa de rayo.

Si se realizan correctamente las medidas de compensación de potencial para protección contra rayos y las medidas de protección contra sobretensiones, así como el sistema de protección externo contra el rayo, se contribuye de forma decisiva a aportar seguridad y fiabilidad en el funcionamiento de los sistemas eléctricos.

Utilización escalonada de descargadores de corriente de rayo y sobretensiones

La coordinación energética es un principio fundamental en la aplicación escalonada de descargadores de corriente de rayo y sobretensiones. La coordinación energética se alcanza, normalmente, por la impedancia que aportan los cables siempre que la distancia eléctrica entre los descargadores de corrientes de rayo y los de sobretensiones sea de, al menos, quince metros. Si esto no fuera posible, pueden utilizarse descargadores coordinados de corriente de rayo de la familia DEHNbloc Maxi y descargadores de sobretensiones de la familia DEHNguard.

Otra posibilidad es la utilización del descargador combinado DEHNventil. Este descargador combinado reúne en un solo dispositivo el descargador de corriente de rayo y el descargador de sobretensiones. Trabaja sin bobina de desacoplo y puede suministrarse como unidad completamente cableada, para todos los sistemas de baja tensión (sistemas TN-C, TN-S, TT) (Tabla 9.12.3).

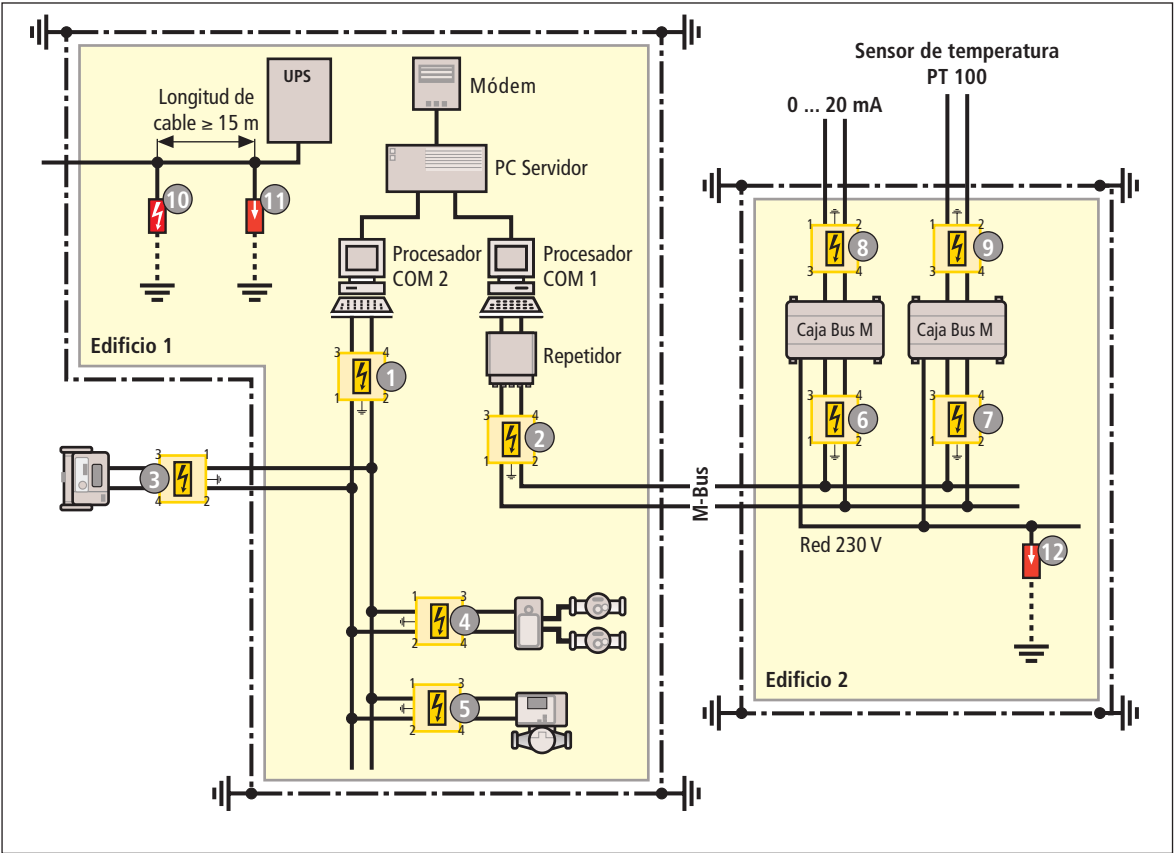


Fig. 9.12.2: Concepto de protección para un sistema Bus M en edificios con protección externa contra rayos.



Nr. en Fig. 9.12.2	Protección para ...	Dispositivo de protección	Art. Nr.
10	Sistema TN-C trifásico	DEHNventil DV M TNC 255	951 300
	Sistema TN-S trifásico	DEHNventil DV M TNS 255	951 400
	Sistema TT trifásico	DEHNventil DV M TT 255	951 310
	Sistema TN monofásico	DEHNventil DV M TN 255	951 200
	Sistema TT monofásico	DEHNventil DV M TT 2P 255	951 110

Tabla 9.12.3: Elección de un descargador combinado según el sistema de red.

Nr. en Fig. 9.12.2	Protección para ...	Dispositivo de protección tipo	Art. Nr.
1 a 7	M-Bus	BCT MLC BD 48 + base BCT BAS	919 345 + 919 506
8	0 – 20 mA, 4 – 20 mA	BCT MLC BE 24 + base BCT BAS	919 323 + 919 506
9	Medición de temperatura PT 100, PT 1000	BCT MLC BE 5 + base BCT BAS	919 320 + 919 560

Tabla 9.12.4: Protección contra sobretensiones para interfaces de señal.

Nr. en Fig. 9.12.2	Protección para ...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
10	Sistema TN-C trifásico	DEHNBloc DB 3 255 H – Fase L1/L2/L3 – PEN	900 120
	Sistema TN-S trifásico	DEHNBloc DB 3 255 H – Fase L1/L2/L3 – PE + DEHNBloc DB 1 255 H – N – PE	900 120 900 222
	Sistema TT trifásico	DEHNBloc DB 3 255 H – Fase L1/L2/L3 to N + DEHNgap DGP BN 255 – N – PE	900 120 900 132
	Sistema TN monofásico	2 x DEHNBloc DB 1 255 H – Fase L + N – PE	900 222
	Sistema TT monofásico	DEHNBloc DB 1 255 H – Fase L – N + DEHNgap DGP BN 255 – N – PE	900 222 900 132
11 12	Sistema TN-C trifásico TN-C	DEHNGuard DG M TNC 275	952 300
	Sistema TN-S trifásico	DEHNGuard DG M TNS 275	952 400
	Sistema TT trifásico	DEHNGuard DG M TT 275	952 310
	Sistema TN monofásico	DEHNGuard DG M TN 275	952 200
	Sistema TT monofásico	DEHNGuard DG M TT 2P 275	952 110

Tabla 9.12.5: Protección contra sobretensiones para el suministro eléctrico 230 V.

En el caso de que la longitud de cable entre el punto de instalación del DEHNventil y el equipo final que se pretende proteger sea ≤ 5 m. no es necesario utilizar ningún otro tipo de protección adicional. En caso de mayores longitudes de cable, es recomendable instalar, lo más cerca posible del equipo a proteger, un DPS adicional del tipo 3 como, p. ej. DEHNrail.

Las **tablas 9.12.3, 9.12.4 y 9.12.5** muestran los dispositivos de protección contra sobretensiones a utilizar según la **figura 9.12.2**.

Ejemplo de aplicación:

Edificio sin protección externa contra rayos

La **figura 9.12.3** muestra un ejemplo de cómo debe cablearse un sistema de red Bus M para lograr una protección eficaz contra sobretensiones.

En las **tablas 9.12.6 y 9.12.7** se recogen los dispositivos de protección contra sobretensiones que se deben utilizar.

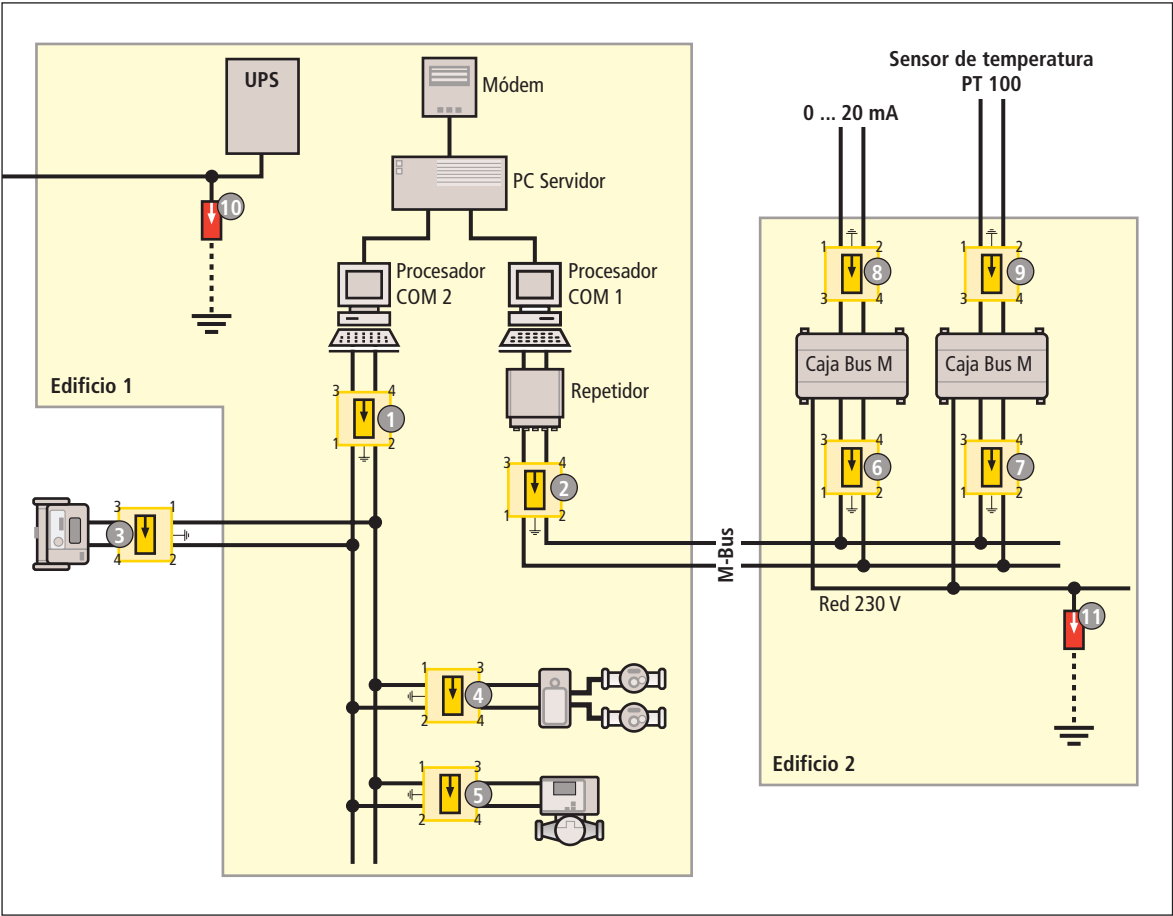


Fig. 9.12.3: Concepto de protección para sistemas Bus M en edificios sin protección externa contra rayos,

Nr. en Fig. 9.12.3	Protección para ...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
1 a 7	Bus M	DEHNconnect DCO RK MD 48	919 942
8	0 – 20 mA, 4 – 20 mA	DEHNconnect DCO RK ME 24	919 921
9	Medición de temperatura PT 100, PT 1000	DEHNconnect DCO RK MD HF 5	919 970

Tabla 9.12.6: Protección contra sobretensiones para interfaces de señal.

Nr. en Fig. 9.12.3	Protección para ...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
10 11	Sistema TN-C trifásico	DEHNGuard DG M TNC 275	952 300
	Sistema TN-S trifásico	DEHNGuard DG M TNS 275	952 400
	Sistema TT trifásico	DEHNGuard DG M TT 275	952 310
	Sistema TN monofásico	DEHNGuard DG M TN 275	952 200
	Sistema TT monofásico	DEHNGuard DG M TT 2P 275	952 110

Tabla 9.12.7: Protección contra sobretensiones para el suministro eléctrico.

9.13 Protección contra sobretensiones para PROFIBUS FMS, PROFIBUS DP y PROFIBUS PA

La utilización de PROFIBUS como sistema de comunicaciones en campos relacionados con los procesos de producción, así como su uso como medio de control de unidades de datos y objetos, se traduce en altos requerimientos en términos de disponibilidad. Esta exigencia de disponibilidad y su lugar de emplazamiento se traduce a su vez en un alto riesgo de sufrir daños por sobretensiones.

PROFIBUS

Es el nombre de SIEMENS para los productos de comunicación (hardware/software) del PROFIBUS estándar, (Process Field Bus) normalizado en el estándar alemán DIN 19245 y EN 50170. Los nombres alternativos de Siemens para el PROFIBUS FMS y el PROFIBUS DP son SINEC L2 y SINEC L2-DP. Mientras que el PROFIBUS FMS está diseñado únicamente para velocidades de transmisión de hasta 500 kBit/s, el PROFIBUS DP es capaz de transferir datos a una velocidad de hasta 12 Mbit/s. La principal aplicación del PROFIBUS FMS (SINEC L2) es la de manejar grandes cantidades de datos en la administración de procesos y control de niveles. El PROFIBUS DP más rápido está diseñado para aplicaciones en el campo de la descentralización periférica de sistemas de control programables.

El avance más reciente en el segmento de PROFIBUS es el intrínsecamente seguro PROFIBUS PA que, en ingeniería de procesos, puede ser usado también en áreas con riesgo de explosión.

Normalmente un bus de dos hilos sirve como medio de transmisión. Las características físicas del sistema bus se corresponden en lo esencial con el estándar RS 485.

Las unidades de bus se pueden conectar de diversas formas:

- ⇒ Conexión vía conector 9-pin D.
- ⇒ Conexión mediante bornas atornilladas.
- ⇒ Conexión mediante terminales bus.

Selección de equipos de protección

Edificios con protección externa

Si un edificio dispone de protección externa contra el rayo, ha de implementarse un sistema equipotencial. Esto incluye conectar el sistema de protección externa con las tuberías, las estructuras metálicas del edificio y la red de tierras. Además, todos los elementos puestos a tierra de la alimentación eléctrica y las redes de datos deben integrarse también en el sistema equipotencial. Todos los cables de alimentación eléctrica y de proceso de datos, así como los entrantes y salientes del edificio, igualmente han de estar conectados a la barra equipotencial, en este caso, mediante descargadores de corriente de rayo. Si no hubiera descargadores de corriente de rayo instalados para la protección de la línea de baja tensión, habría que informar al propietario de la necesidad de hacerlo.

Como medida adicional a la equipotencialidad del sistema, los descargadores también protegen la instalación eléctrica, incluso en caso de impacto directo de rayo.

Si la instalación de las barras equipotenciales y de los descargadores se realiza con el mismo cuidado que el sistema de protección externa, se reducen los posibles fallos incluso ante impactos directos de rayo.

Nr. en Fig. 9.13.1	Dispositivos de protección	DEHN-Type	Art. Nr.
①	En la acometida	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 B 180 + Base para BXT BAS	920 310 920 300
②	En la central de bus	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE HF 5 + Base para BXT BAS	920 370 920 300

Tabla 9.13.1: Protección para líneas de bus PROFIBUS DP/PROFIBUS FMS.

Nr. en Fig. 9.13.2	Dispositivos de protección	DEHN-Type	Art. Nr.
⑤	En la central de bus	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BD EX 24 + Base para BXT BAS EX ó DEHNpipe DPI MD EX 24 M 2	920 381 920 301 929 960

Tabla 9.13.2: Protección para líneas de bus PROFIBUS PA.

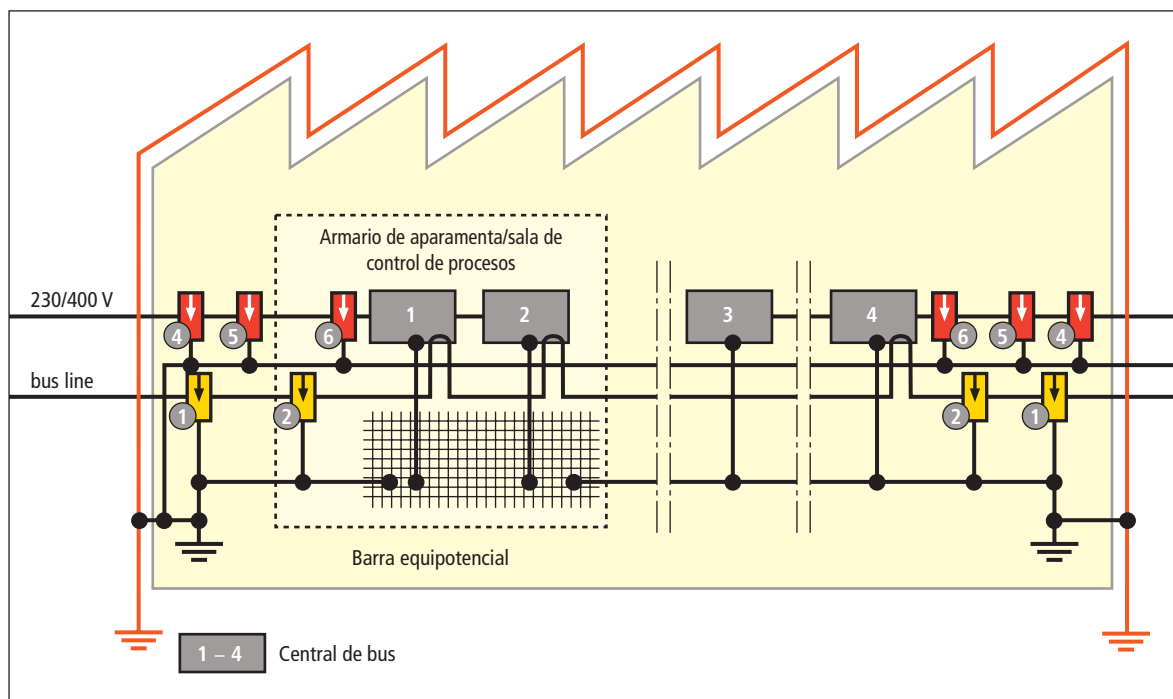


Fig. 9.13.1: Descargadores de corriente de rayo de y de sobretensiones para red SIMATIC PROFIBUS FMS y DP.

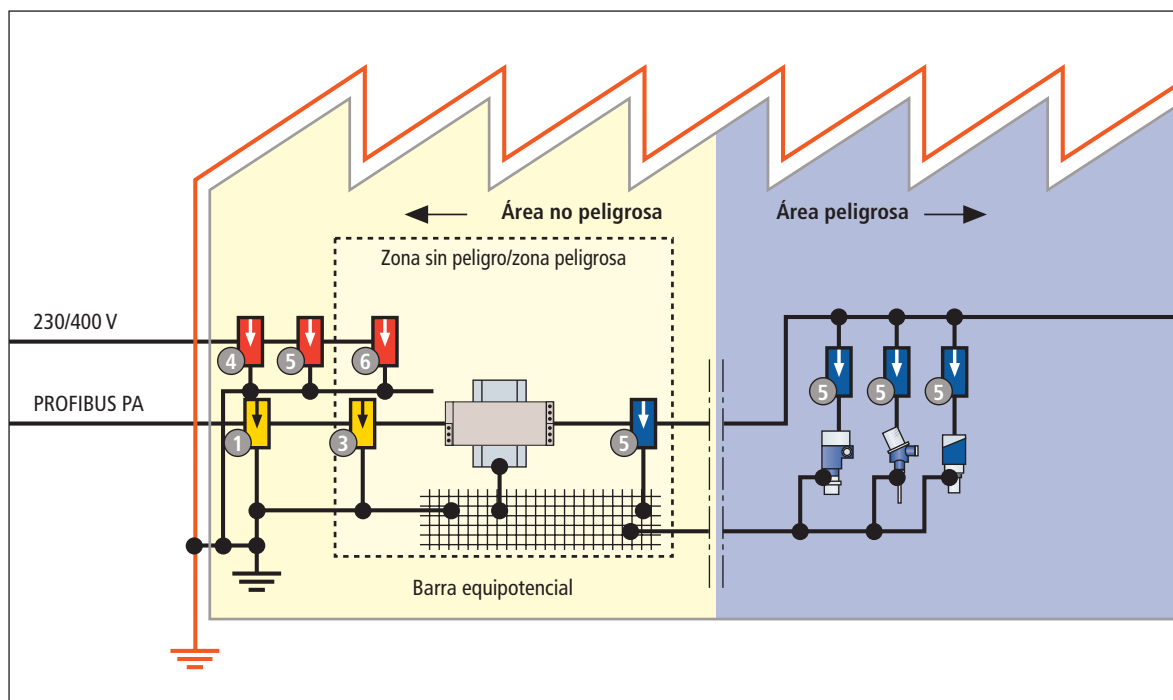


Fig. 9.13.2: Uso de descargadores en una red PROFIBUS PA con seguridad intrínseca.

Nr. en Fig. 9.13.1 y 9.13.2	Protección para ...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
Descargadores combinados-tipo 1			
4	Sistema TN-C trifásico	DEHNventil DV M TNC 255	951 300
		DEHNventil DV M TNC 255 FM	951 305
	Sistema TN-S trifásico	DEHNventil DV M TNS 255	951 400
		DEHNventil DV M TNS 255 FM	951 405
	Sistema TT trifásico	DEHNventil DV M TT 255	951 310
		DEHNventil DV M TT 255 FM	951 315
	Sistema TN monofásico	DEHNventil DV M TN 255	951 200
		DEHNventil DV M TN 255 FM	951 205
	Sistema TT monofásico	DEHNventil DV M TT 2P 255	951 110
		DEHNventil DV M TT 2P 255 FM	951 115
Descargadores de sobretensiones-tipo 2			
5	Sistema TN-C trifásico	DEHNguard DG M TNC 275	952 300
		DEHNguard DG M TNC 275 FM	952 305
	Sistema TN-S trifásico	DEHNguard DG M TNS 275	952 400
		DEHNguard DG M TNS 275 FM	952 405
	Sistema TT trifásico	DEHNguard DG M TT 275	952 310
		DEHNguard DG M TT 275 FM	952 315
	Sistema TN monofásico	DEHNguard DG M TN 275	952 200
		DEHNguard DG M TN 275 FM	952 205
	Sistema TT monofásico	DEHNguard DG M TT 2P 275	952 110
		DEHNguard DG M TT 2P 275 FM	952 115
Descargadores de sobretensiones-tipo 3			
6	para 230 V	DEHNrail DR M 2P 255	953 200
		DEHNrail DR M 2P 255 FM	953 205
	para 24 V d.c.	DEHNrail DR M 2P 30	953 201
		DEHNrail DR M 2P 30 FM	953 206

Tabla 9.13.3: Protección de la línea de alimentación eléctrica.

La línea de alimentación de 230/400 V a.c. que viene del exterior al cuadro principal de alimentación debe protegerse con un DEHNventil modular, un descargador tipo 1. Este descargador, totalmente precableado, está disponible para todos los tipos de red de baja tensión (TN-C, TN-S, TT) (Tabla 9.13.3). Además del indicador visual del estado operativo del descargador, dispone de un contacto de señalización a distancia.

Si la distancia eléctrica entre el lugar de instalación del DEHNventil y los equipos finales es inferior a cinco

metros, no son necesarias medidas adicionales de protección.

Por el contrario si la longitud del cable es superior será necesario instalar descargadores adicionales lo más cerca posible de los equipos a proteger, como por ejemplo el DEHNrail.

Las tablas 9.13.1 y 9.13.2 muestran los descargadores para líneas de bus, y la tabla 9.13.3 muestra un listado de los descargadores para la línea de alimentación.

Edificios sin protección externa

Si el edificio no cuenta con protección externa, deben instalarse descargadores de sobretensiones en las unidades de bus. En este caso, no es necesaria la instalación de descargadores de corriente de rayo en las líneas

de alimentación o de datos. De las **tablas 9.13.1, 9.13.2 y 9.13.3** no se utilizarán los combinados tipo 1 marcados con el número 4 en la alimentación eléctrica, ni los tipo 1 marcados con el número 1 en las líneas de bus.

9.14 Protección contra sobretensiones para sistemas de telecomunicaciones

Los cables de telecomunicaciones, junto con los conductores de alimentación de energía son las conexiones de cables más importantes hacia "afuera" del edificio.

Los sistemas altamente tecnificados presentes en instalaciones industriales y en oficinas, requieren un *interface* que funcione permanentemente hacia el "mundo exterior" de manera fiable. Un fallo en la disponibilidad del mismo supone hoy día graves problemas para los usuarios. La pérdida de imagen a causa de perturbaciones en las instalaciones causadas por sobretensiones en el punto terminal de la red de telecomunicaciones NT (NTBA, NTPM o dispositivo terminal de la red DNAE) es tan sólo uno de los aspectos de estos eventos. Para el usuario se originan, a corto plazo, elevados costes a causa del fallo, ya que, por ejemplo, no pueden gestionarse pedidos de los clientes, o los datos de las empresas no están disponibles,... En definitiva se producen fallos que ralentizan los procesos de producción y servicio lo que pueden suponer altos costes en términos económicos y de imagen.

No se trata solo de la protección del Hardware, sino de, como siempre, asegurar la permanente disponibilidad de importantes prestaciones por parte del usuario de la red fija.

Las sobretensiones, según las estadísticas de las compañías aseguradoras de daños en aparatos electrónicos, son la causa más frecuente de averías y fallos en equipos con componentes electrónicos. Las sobretensiones se producen a causa de descargas directas o lejanas de rayos. Las sobretensiones causadas por descargas directas de rayo ocasionan los daños más graves pero, es cierto también, que son los casos más improbables.

Los cables de telecomunicaciones, como red, cubren superficies de varios kilómetros cuadrados donde es fácil que se induzcan sobretensiones como consecuencia de descargas de rayo tanto directas como lejanas.

La forma más segura de proteger a una instalación contra las consecuencias de descargas de rayo, es aplicar un sistema de protección integral que contemple, por un lado, medidas de protección externa contra rayos y medidas de protección interna por otro.

Los riesgos

Los cables de unión con el punto local de distribución así como el cableado interno de servicio están hechos

con cables de cobre cuyos efectos de blindaje son muy reducidos. A causa del tendido de los cables de entrada pueden producirse altas diferencias de potencial entre la instalación del edificio y los cables entrantes. Por tanto, puede producirse una elevación de potencial de los hilos a causa de acoplamientos galvánicos e inductivos. En caso de tendido paralelo de cables de energía y de cables de comunicaciones, eventuales sobretensiones de conmutación en la línea de alimentación pueden generar interferencias en las líneas de comunicación.

Es muy recomendable instalar un circuito de protección contra sobretensiones en el lado de la entrada, a fin de impedir la penetración de sobretensiones peligrosas en la red NT, tanto en el lado de energía (red de baja tensión) como en el lado de señal. Lo mismo es aplicable para instalaciones telefónicas, donde, adicionalmente, deben protegerse las salidas de los puntos secundarios.

Protección contra sobretensiones para ADSL con conexión analógica o con conexión RDSI.

Condiciones previas para una conexión ADSL

Complementariamente a la conexión telefónica convencional, una conexión ADSL, dependiendo de la variante de acceso, precisa una tarjeta de red o ATM en el PC y un módem ADSL especial, más un *splitter* para separación del tráfico telefónico y del tráfico de datos. La conexión telefónica puede efectuarse, bien analógicamente o bien como conexión RDSI.

El *splitter* separa la señal analógica de palabra de la señal digital RDSI de los datos ADSL, tomando en consideración todos los parámetros importantes del sistema, como son impedancias, atenuación, nivel etc. De este modo cumple la función de un separador de frecuencia. El *splitter* está conectado en el lado de entrada con la caja de teléfonos TAE. En el lado de salida, por una parte, proporciona al módem ADSL las señales de mayor frecuencia de la banda de frecuencias ADSL y por otra parte regula la comunicación en el sector de frecuencias más bajo con el NTBA o con el equipo final analógico.

Como el *splitter* debe ser compacto y muy económico, generalmente se ejecuta en forma pasiva, es decir, sin suministro propio de corriente.

Los módems ADSL se fabrican en diversas variantes. Los aparatos externos suelen utilizar frecuentemente un *splitter* separado. El módem ADSL se conecta al PC a través de un *interface* de Ethernet (10 Mbit/s), de

un *interface* ATM25 o de un *interface* USB. El módem requiere adicionalmente una tensión de alimentación de 230 V. (Figuras 9.14.1 y 9.14.2).

Con RDSI se ofertan distintos servicios en una red pública común. Gracias a la transmisión digital pue-

den transmitirse tanto palabras como datos. Un aparato de cierre de red (NT) es el punto de entrega a los usuarios. El conductor de alimentación del punto local de transmisión tiene cuatro hilos. El NT recibe también alimentación en baja tensión.

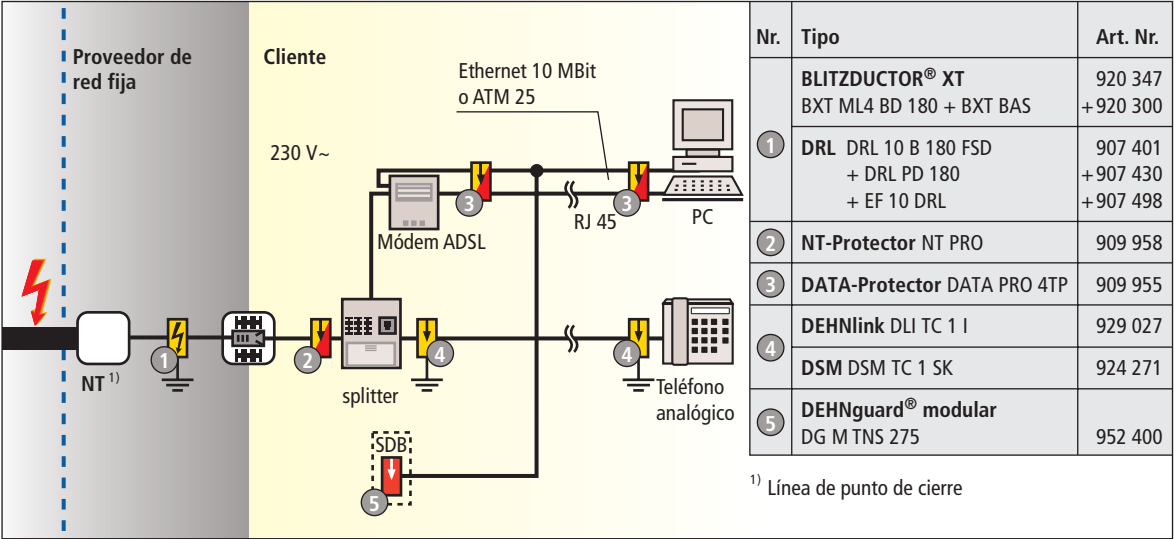


Fig. 9.14.1: Protección contra rayos y sobretensiones para ADSL con conexión analógica.

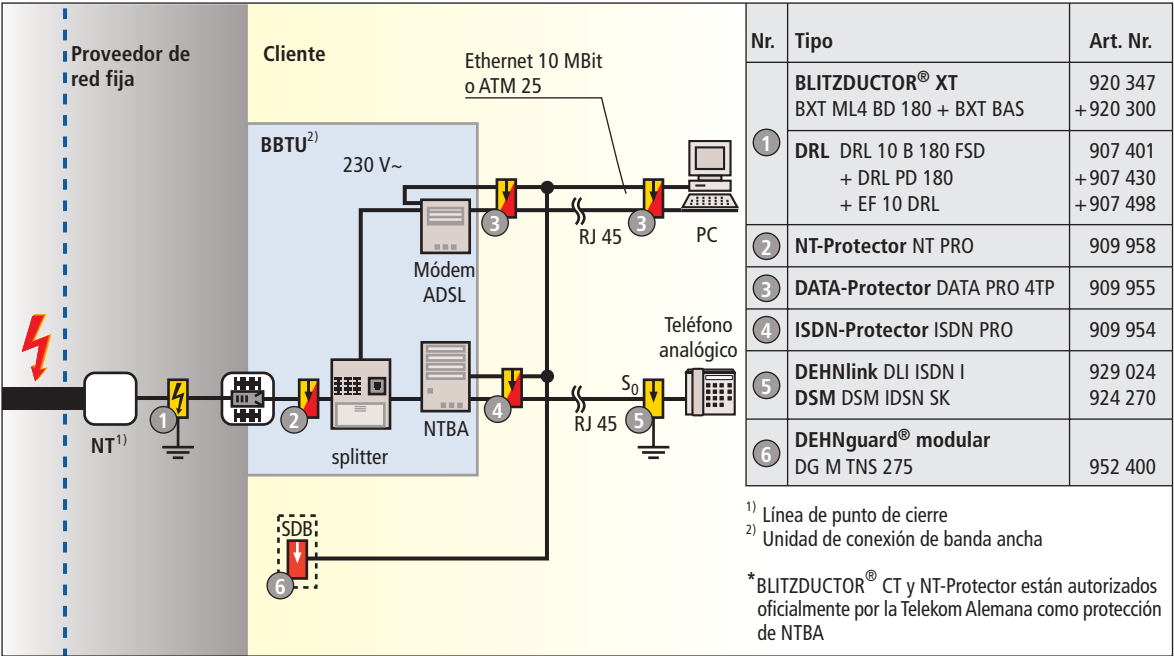


Fig. 9.14.2: Protección contra rayos y sobretensiones para conexión RDSI y ADSL.

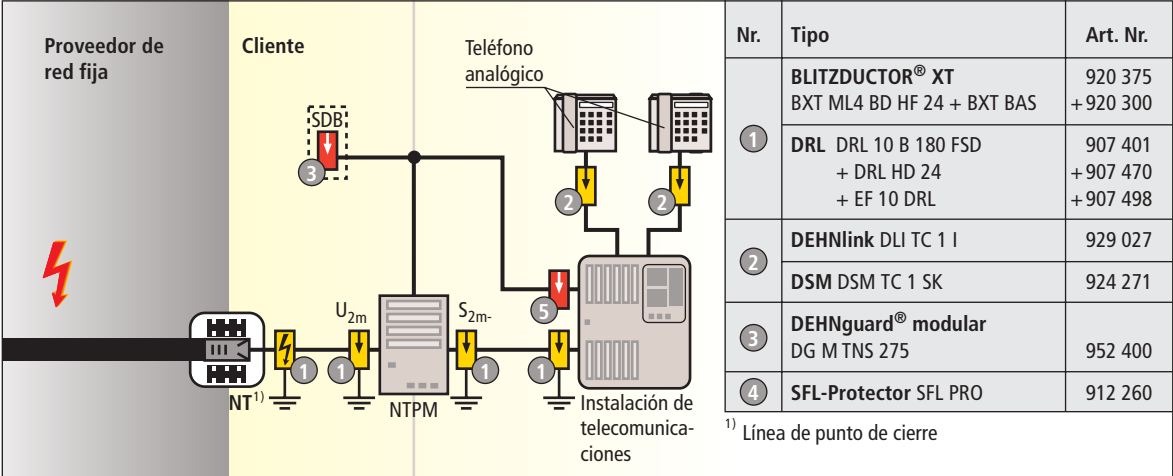


Fig. 9.14.3: Protección contra rayos y sobretensiones para instalaciones de telecomunicaciones "Conexión RDSI primaria multiplex".

La **figura 9.14.2** muestra la protección de una conexión RDSI con los correspondientes dispositivos de protección contra sobretensiones.

La conexión primaria multiplex.

La conexión primaria multiplex (NTPM) tiene 30 canales B, cada uno con 64 kBits/s y un canal D con 64 kBits/s. A través de la conexión primaria multiplex pueden efectuarse transmisiones de datos de hasta 2 MBits/s.

El NT es alimentado con el *interface* U2m - el *interfa-*ce de los usuarios tiene la denominación S2m.

A este *interface* se conectan grandes instalaciones secundarias o conexiones de datos con un elevado volumen de datos.

La protección contra sobretensiones de una conexión de este tipo se expone en la **figura 9.14.3**.

9.15 Protección contra rayos y sobretensiones para circuitos de medida autoseguros

En las instalaciones industriales químicas y petroquímicas se originan con frecuencia zonas expuestas al riesgo de explosiones, durante la fabricación, preparación, almacenaje y transporte de sustancias combustibles (como son p. ej. gasolina, alcohol, gas líquido, polvo inflamable). En estas zonas hay que evitar cualquier fuente de inflamación, para que no se produzcan explosiones.

En la normativa de protección correspondiente se advierte sobre los riesgos a que están expuestos este tipo de instalaciones por descargas atmosféricas.

Para asegurar la disponibilidad de servicio de estas instalaciones, así como para garantizar la seguridad exigida en las mismas, es necesario aplicar un sistema de protección integral contra rayos y sobretensiones.

Concepto de zonas de protección contra rayos

En zonas expuestas al riesgo de explosiones suelen utilizarse frecuentemente circuitos de medida. La **figura 9.15.1** muestra la división de una instalación de este tipo en zonas de protección contra rayos.

Por exigencias de seguridad y de disponibilidad del sistema, los sectores siguientes se han dividido en zona de protección contra rayos 1 (LPZ 1) y zona de protección contra rayos 2 (LPZ 2):

- ⇒ Electrónica de evaluación en el recinto de medida (LPZ 2).
- ⇒ Convertidor de medida de temperatura en el depósito (LPZ 1).
- ⇒ Espacio interior del depósito (LPZ 1).

De acuerdo con el concepto de zonas de protección contra rayos según UNE EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) todos los conductores tienen que protegerse, en los límites de las zonas de protección contra rayos, aplicando las correspondientes medidas de protección contra sobretensiones, que se describen a continuación.

Protección exterior contra rayos

La protección exterior contra rayos es el conjunto de todos los dispositivos existentes o tendidos fuera o junto al edificio que se pretende proteger para captar y derivar las corrientes de rayo a la instalación de toma de tierra.

Un sistema de protección contra rayos para zonas expuestas al riesgo de explosiones se corresponde, en caso de exigencias normales, con el nivel de protección II.

En casos muy justificados, en circunstancias especiales (normativas legales) o bien debido a los resultados de

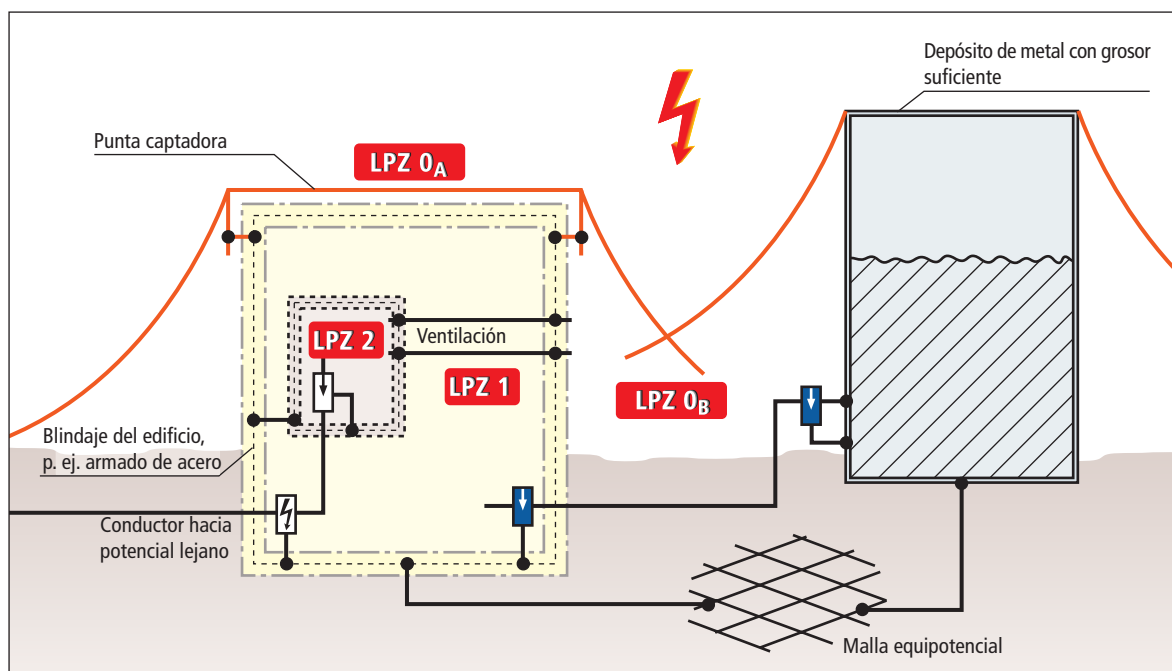


Fig. 9.15.1: División de una instalación Ex en zonas de protección contra rayos (LPZ).

un análisis de riesgos según UNE EN 62305-2 puede disperse de dichas normas.

Para evitar descargas directas de rayo en depósitos, éstos se equipan con puntas captadoras o, en caso de grandes distancias, se procede a la instalación adicional de cables captadores (**Figura 9.15.2**)

Las medidas que se exponen a continuación se basan en el nivel de protección II. Lo mismo que en todas las instalaciones de protección contra rayos, también aquí la distancia de separación debe ser tenida muy en cuenta.

Compensación de potencial para protección contra rayos fuera de la zona Ex.

La instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones en la instalación de consumidores de baja tensión y en la instalación TK fuera de la zona Ex, no presenta ninguna peculiaridad en comparación con otras aplicaciones. En este contexto queremos advertir que los dispositivos de protección contra sobretensiones para cables desde la zona LPZ 0_A hasta la zona LPZ 1 (**Figuras 9.15.3 y 9.15.4**) tienen que disponer de una capacidad de derivación de corrientes de rayo, que se expresa en la forma de onda de prueba 10/350. Los dispositivos de protección contra sobretensiones de las distintas clases y exigencias tienen que estar coordinados entre sí.

Compensación de potencial

En todas las zonas expuestas al riesgo de explosiones hay que realizar la correspondiente compensación de potencial. También las infraestructuras del edificio, elementos metálicos de la construcción, tuberías, depósitos etc... tienen que incluirse asimismo en la compensación de potencial.

La conexión de los cables de compensación de potencial tiene que estar protegida y asegurada contra desatornillamiento. La compensación de potencial tiene que realizarse y verificarse con la máxima atención según las partes 410, 540 y 610 de la norma DIN VDE 0100. En el caso de utilización de aparatos de protección contra sobretensiones de la serie de productos BLITZDUCTOR hay que dimensionar la sección del cable de tierra hacia la compensación de potencial con 4 mm² Cu como mínimo.

Protección contra sobretensiones en circuitos de medida autoseguros

Ya en la planificación y proyecto se deben coordinar las zonas de protección contra rayos y las zonas Ex.

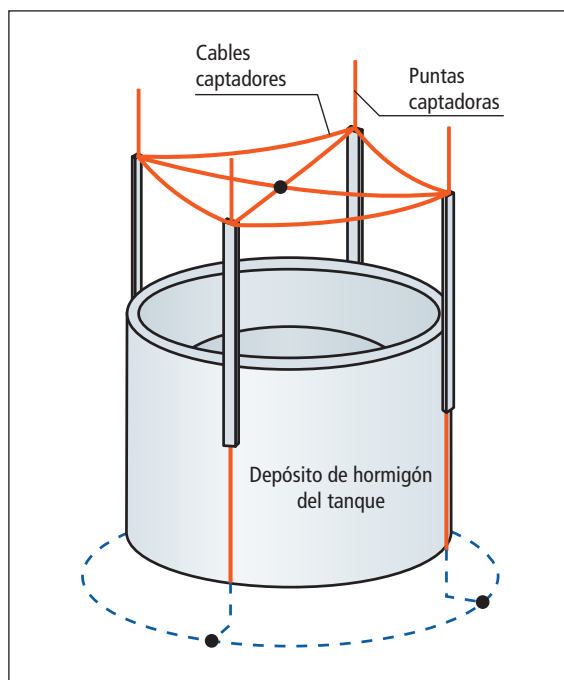


Fig. 9.15.2: Dispositivos captadores para un tanque con puntas y cables captadores.

Esto significa que, tienen que cumplirse, en la misma medida, las exigencias referidas a la instalación de aparatos de protección contra sobretensiones en la zona Ex y las exigencias planteadas a los aparatos instalados en los límites de protección contra rayos. Con ello se define exactamente el lugar de emplazamiento de los aparatos de protección contra sobretensiones. Este punto se encuentra en la transición de la zona LPZ 0_B hacia la zona LPZ 1.

De este modo, se evita la penetración de sobretensiones peligrosas en la zona de protección Ex 0 ó 20, ya que el impulso perturbador es derivado con anterioridad. También se incrementa notablemente la disponibilidad del transmisor de temperatura, elemento de gran importancia para el proceso.

Además tienen que cumplirse las exigencias según EN 60079-14 (DIN VDE 0165-1) (**Figura 9.15.5**).

⇒ Instalación de aparatos de protección contra sobretensiones con una capacidad mínima de derivación de 10 impulsos, en cada caso con 10 kA (8/20 micros), sin defecto o deterioro de la función de protección contra sobretensiones. (**Tabla 9.15.1**).

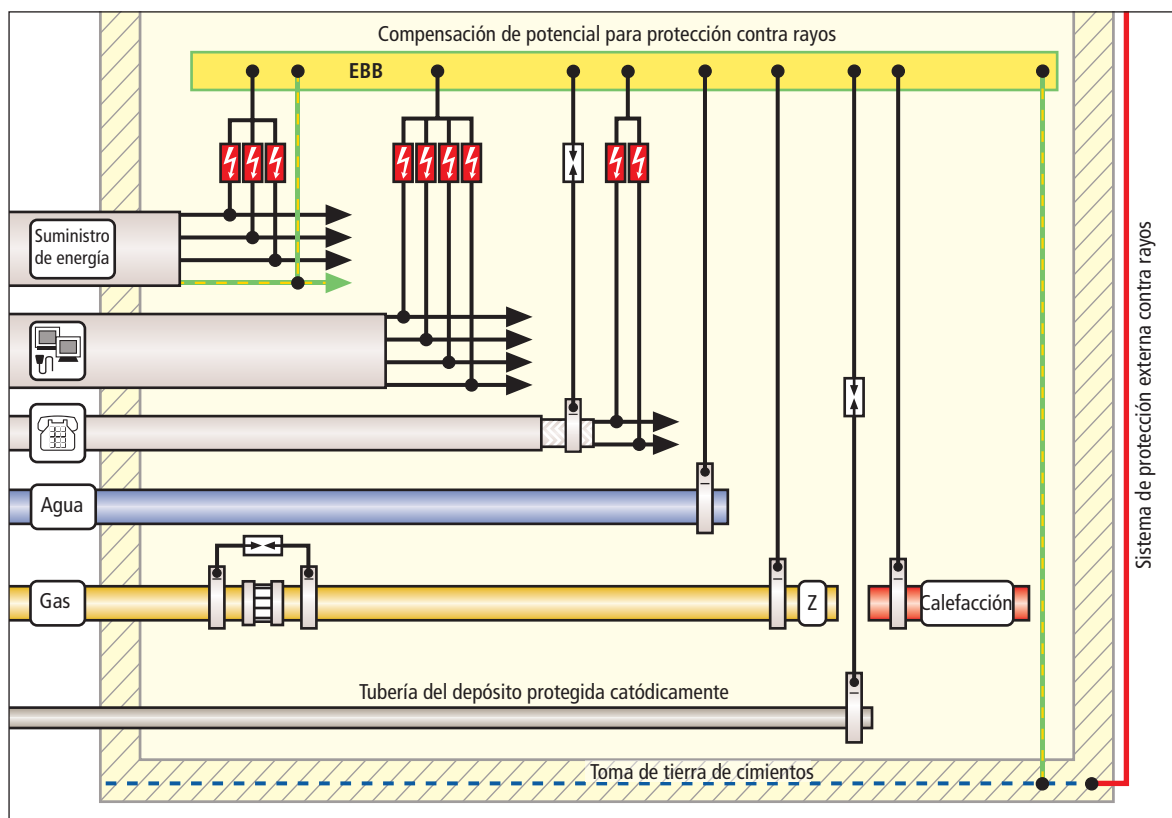


Fig. 9.15.3: Realización de la compensación de potencial para protección contra rayos según UNE EN 62305-3 sobre la base de la compensación principal de potencial según DIN VDE 0100-410-540.

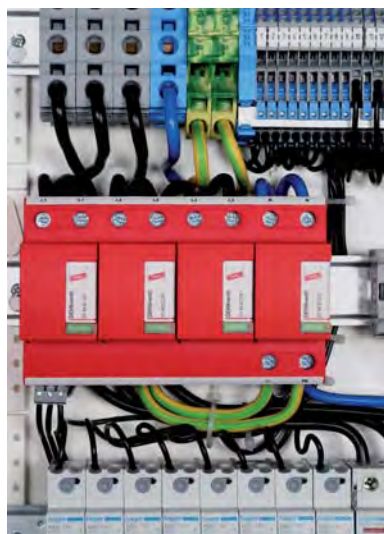


Fig. 9.15.4: DEHNventil DV M TT 255 en el cuadro de mandos para protección de la técnica de energía.

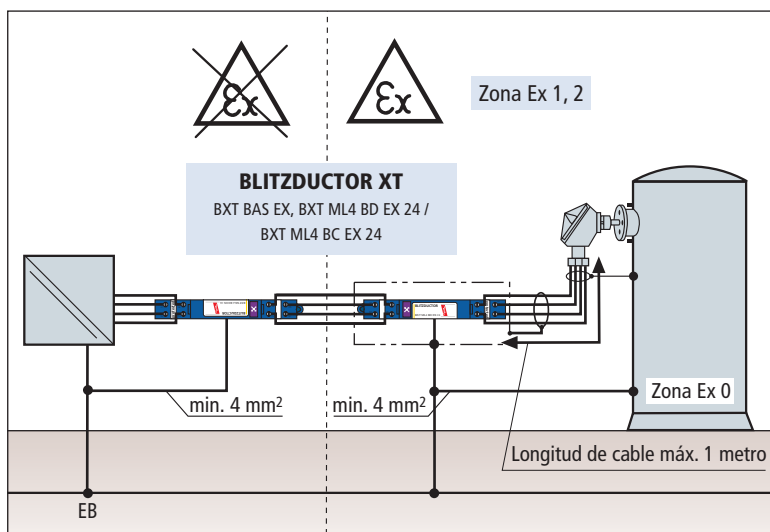


Fig. 9.15.5: Aparatos de protección contra sobretensiones en un circuito de medida autoseguro.

Datos técnicos	Convertidor de medida TH02	Dispositivo de protección contra sobretensiones BCT MOD MD EX 30
Lugar de montaje	Zona 1	Zona 1
Clase de protección contra inflamaciones	ib	ia
Tensión	U_i máx. = 29.4 V d.c.	U_c = 34.8 V d.c.
Corriente	I_i máx. = 130 mA	I_N = 500 mA
Frecuencia	f_{Hart} = 2200 Hz modulado en frecuencia	f_G = 6 MHz
Resistencia a perturbaciones	según NE 21, p. ej. 0.5 kV hilo/hilo	Capacidad de derivación 10 kA (8/20 μ s) Y/L SPD TYPE 2 Pt
Verificado según	ATEX, CE	ATEX, CE, IEC 61643-21
Libre de tierra 500V	Si	Si
Capacidad interna C_i	C_i = 15 nF	despreciablemente pequeña
Inductividad interna L_i	L_i = 220 μ H	despreciablemente pequeña

Table 9.15.1: Ejemplo de un convertidor de medida de temperatura.

- ⇒ Montaje del dispositivo de protección en una carcasa metálica blindada y toma de tierra con 4 mm² Cu de sección como mínimo.
- ⇒ Instalación de los conductores entre el descargador y los aparatos de servicio con tuberías metálicas puestas a tierra en ambos extremos, o bien utilización de conductores blindados con una longitud máxima de 1 metro.

De acuerdo con la definición en el concepto de protección el SPS está definido como LPZ 2. El conductor autoseguro que sale del transmisor de temperatura, en la transición de la zona LPZ 0_B hacia LPZ 1 se protege igualmente con un dispositivo de protección contra sobretensiones BLITZDUCTOR CT, BCT MOD MD Ex 24.

Este dispositivo de protección instalado en el otro extremo del conductor de campo que sobrepasa el edificio tiene que tener la misma capacidad de derivación que el instalado en el depósito.

Por detrás del dispositivo de protección contra sobretensiones, el cable autoseguro se lleva a través de un amplificador de separación. (Figuras 9.15.5 y 9.15.6). Desde allí todo el cable blindado hacia SPS se tiende en LPZ 2. Gracias a la colocación bilateral del blindaje del cable en la transición de LPZ 1 hacia LP 2 no se precisa otro dispositivo de protección, ya que la perturbación residual electromagnética que cabe esperar es fuertemente atenuada por el blindaje del cable puesto a tierra en ambos lados.

Criterios de elección para aparatos de protección contra sobretensiones en circuitos de medida autoseguros.

Con el ejemplo de un convertidor de medida de temperatura (Tabla 9.15.1) se indican los puntos que tie-



Fig. 9.15.6: BCT MOD MD EX 24 para circuitos de medida autoseguros.



Fig. 9.15.7: Descargador de sobretensiones para aparatos de campo - DEHNpipe DPI MD EX 24 M2.

nen que tenrse en cuenta a la hora de elegir dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS).

Resistencia al aislamiento de los aparatos de servicio

Para que no se produzca falseamiento de los valores de medida a causa de corrientes parásitas, con frecuencia suelen separarse galvánicamente las señales del sensor en el depósito. El convertidor de medida tiene una resistencia al aislamiento de 500 V AC entre el bucle de corriente autoseguro de 4...20 mA y el sensor de temperatura puesto a tierra. El aparato de servicio se considera entonces como “sin tierra”. (libre de tierra). Al utilizar dispositivos de protección contra sobretensiones no puede interferirse sobre esta situación libre de tierra.

Si el convertidor de medida tiene una resistencia al aislamiento de <500 V AC, el circuito de medida auto-

seguro se considera como puesto a tierra. En este caso tienen que utilizarse dispositivos cuyo nivel de protección, con una corriente nominal de choque de derivación de 10 kA (forma de impulso 8/20 micros) se encuentre por debajo de la resistencia de aislamiento del convertidor de medida “puesto a tierra” (p. ej. Up (Hilo/PG) </- 35 V).

¿Categoría de autoseguridad de la clase de protección contra inflamaciones ia ó ib?

El convertidor de medida y el aparato de protección contra sobretensiones están instalados en la zona de protección Ex 1, de modo que es suficiente con la clase de protección contra inflamaciones ib para el bucle de corriente de 4...20 mA.

La protección contra sobretensiones instalada cumple, según certificaciones de ia, las máxima exigencias y , por lo tanto, es apropiada también para aplicaciones ib

Valores máximos admisibles para L₀ y C₀

Antes de poner en servicio un circuito de medida autoseguro hay que aportar la demostración de la autoseguridad del circuito de medida. Tienen que cumplirse las condiciones de la conexión conjunta del aparato de alimentación, el convertidor de medida, los cables utilizados y los dispositivos de protección contra sobretensiones. Eventualmente habrá que incluir en las consideraciones las inductividades y capacidades de los dispositivos de protección.

En los dispositivos de protección contra sobretensiones de DEHN + SÖHNE del tipo BCT MOD MD EX 24

(Figura 9.15.6) y en conformidad con la certificación del modelo de construcción EG (PTB 99 ATEX 2092) las capacidades e inductividades internas son despreciablemente pequeñas por lo que no es preciso tomarlas en consideración al analizar las condiciones de conexión conjunta.

Valores máximos para tensión U_i y corriente I_i

El convertidor de medida autoseguro que se pretende proteger tiene, según sus

Interfaces autoseguros	Tipo de aparato de protección con homologación FISCO ¹⁾	Art. Nr.
0 – 20 mA, 4 – 20 mA (también con HART)	BCT MOD MD EX 24 + BCT BAS EX	919 580 + 919 507
Entradas/salidas digitales	BCT MOD MD EX 30 + BCT BAS EX	919 581 + 919 507
Señales NAMUR	DCO RK MD EX 24	919 960
PROFIBUS-PA	DPI MD EX 24 M 2	929 960
Foundation Fieldbus		
PROFIBUS-DP	BCT MOD MD HFD EX 6 + BCT BAS EX	919 583 + 919 507

¹⁾ FISCO = Fieldbus Intrinsically Safe Concept

Tabla 9.15.2: Dispositivos de protección contra sobretensiones para instalación en circuitos de medida autoseguros y sistemas de Bus.

datos técnicos para aplicaciones Ex, una tensión máxima de alimentación U_i y una corriente máxima de cortocircuito I_i (Tabla 9.15.1).

La tensión nominal U_c del dispositivo de protección tiene que ser, como mínimo, igual a la tensión máxima de marcha en vacío del equipo a proteger.

También la corriente nominal del aparato de protección tiene que ser, como mínimo, igual que la corriente de cortocircuito I_i del convertidor de medida que cabe esperar en caso de fallo. Si estas condiciones no se cumplen, los descargadores, puede sobrecargarse y, por lo tanto fallar, o bien puede desaparecer la autoseguridad del circuito de medida debido a una elevación inadmisibles de la temperatura en el dispositivo de protección.

Coordinación de los aparatos de protección contra sobretensiones con los equipos finales

La recomendación NAMUR NE 21 fija las condiciones de seguridad contra perturbaciones para el uso general de los aparatos de servicio (p.ej. convertidores de medida). Las entradas de señal de este tipo de equipos tienen que poder soportar cargas de tensión de 0,5 kV entre los hilos del conductor (tensiones transversales) y de 1,0 kV en los hilos de conductores contra tierra (Tensiones longitudinales). La estructura de medida y la forma de onda se describen en la norma UNE EN 61000-4-5.

Dependiendo de la amplitud del impulso de prueba se adjudica la correspondiente resistencia a perturba-

ciones al equipo final. Esta resistencia a perturbaciones se documenta mediante el grado de intensidad de prueba (valores de 1 a 4), siendo "1" la mínima resistencia a perturbaciones y "4" la máxima. En el caso de peligro debido a los efectos de rayos y sobretensiones, los impulsos de perturbación (tensión, corriente y energía) tienen que limitarse a un valor que esté dentro de la resistencia a perturbaciones del equipo a proteger. La identificación de coordinación  en los dispositivos de protección indica el grado de intensidad de prueba del equipo final. P1 describe el grado de intensidad de prueba exigido, y Type 2 indica un poder de derivación del dispositivo de protección de 10 kA (forma de impulso 8/20 micros).

Los peligros para instalaciones químicas y petroquímicas a causa de descargas de rayo y de las interferencias electromagnéticas resultantes, están recogidos en las directrices correspondientes.

Al poner en práctica el concepto de zonas de protección contra rayos en la planificación y ejecución de instalaciones de este tipo, los riesgos de formación de chispas a causa de descargas directas de rayo, o debidos a energías de perturbación derivados de los conductores, pueden minimizarse en una medida razonable y a un coste asumible.

Los descargadores de sobretensiones utilizados tienen que cumplir las exigencias, tanto de la protección contra explosiones, como la coordinación con el equipo final y las exigencias de los parámetros de servicio de los circuitos MSR. (Tabla 9.15.2).

9.16 Protección contra rayos y sobretensiones para aerogeneradores

El empleo de energías renovables, como la eólica, fotovoltaica, biomasa o geotérmica crece de manera imparable. Existe un enorme potencial de mercado, no sólo para el sector de la energía, sino también para proveedores y para la electromecánica en todo el mundo.

Aproximadamente 20.000 aerogeneradores con una potencia total superior a 18.000 MW se encuentran actualmente conectados a la red y cubren así aproximadamente el 11% de toda la demanda española de suministro de energía.

Los pronósticos para el futuro son muy positivos. El Instituto Alemán de Energía Eólica (DEW) calcula que para el año 2030 habrá unos 4000 aerogeneradores en alta mar, con lo que se podría generar una potencia nominal de aproximadamente 20.000 Megawattios a través de parques eólicos "Offshore".

Ello pone claramente de manifiesto la importancia de los parques eólicos. Si se analizan las tasas de crecimiento de este mercado de energía, un aspecto importante a tener en cuenta también es el de asegurar la disponibilidad de la energía generada.

Riesgos a causa de los efectos de descargas de rayo

La gestión de estos parques no puede permitirse pérdidas por tiempo de parada. Muy al contrario, la elevada inversión que representa un aerogenerador debe tratar de amortizarse en pocos años. Los aerogeneradores son grandes instalaciones eléctricas y electrónicas, concentradas en un espacio muy reducido. En ellos puede encontrarse todo lo que puede ofrecer la electricidad y la electrónica: instalaciones de conmutación, motores y accionamientos, convertidores de frecuencia, sistemas de Bus con actuadores y sensores.

No es difícil comprender que las sobretensiones pueden ocasionar graves daños. Debido a su emplazamiento y a su elevada altura, los aerogeneradores están directamente expuestos a los efectos de las descargas de rayo: este riesgo crece, de forma cuadrática, con la altura de la instalación. Los aerogeneradores de alta potencia, llegan a alcanzar, incluidas las palas, una altura total de hasta 150 metros, y por lo tanto están especialmente expuestos. En consecuencia, es necesario implementar una protección integral contra rayos y sobretensiones.

Frecuencia de descargas de rayo

La frecuencia anual de descargas de rayo nube-tierra para un determinada región se obtiene en base al conocido nivel "isocerámico". En las zonas de costa y

media montaña de Europa hay una cantidad media de tres rayos nube-tierra por kilómetro cuadrado y año.

Para definir las medidas de protección contra rayos hay que tener muy en cuenta que, en objetos con una altura > 60 m y en situación expuesta a la descarga directa, además de los rayos nube-tierra es necesario considerar los rayos tierra-nube, los denominados "rayos ascendentes". Esto hace que, con frecuencia, se obtengan valores bastante más elevados que los indicados en la fórmula antes expuesta.

Además, los rayos tierra-nube procedentes de objetos expuestos de gran altura, tienen elevada carga, por lo que es importante a considerar este dato a la hora de definir las medidas de protección que hay que adoptar en las palas del rotor, así como para el dimensionado de los descargadores de corriente de rayo.

Normativa

Las directrices de Germanischer Lloyd son la base para el diseño del sistema de protección.

La Asociación de compañías de seguros alemanas, en el folleto VdS 2010 "Protección contra rayos y sobretensiones orientada al riesgo" recomienda considerar, al menos, el nivel de protección II para cumplir las exigencias mínimas de protección para este tipo de instalaciones.

Medidas de protección

En este folleto especializado se expone, como punto central, la realización de medidas de protección contra rayos y sobretensiones para los aparatos/sistemas eléc-



Fig. 9.16.1: Laboratorio de corriente de impulsos DEHN + SÖHNE. Corriente máxima de impulso tipo rayo 200 kA onda 10/350 µs.

tricos y electrónicos de una planta de energía eólica (WEA).

Los complejos problemas para la protección de palas, elementos giratorios y cojinetes, requieren de un análisis detallado, siendo las soluciones aportadas, específicas y propias de cada fabricante.

DEHN + SÖHNE ofrece los siguientes servicios de ingeniería y pruebas en el laboratorio de corriente de impulsos de la compañía, con el fin de proporcionar las mejores soluciones específicas a cada cliente de manera individualizada (**Figura 9.16.1**)

Test de las unidades de conexión para la protección de la instalación eléctrica.

Ensayos específicos de cliente, unidades de conexión precableadas para la protección de la instalación eléctrica

Ensayos de capacidad de carga de los rodamientos para soportar corrientes de rayo.

Ensayos de corriente de rayo en derivadores y en receptores de palas.

Estos ensayos de laboratorio confirman la efectividad de las medidas de protección elegidas y contribuyen a

la optimización del “paquete de medidas de protección”.

Concepto de zonas de protección contra el rayo

El concepto de zonas de protección contra el rayo es una medida estructural para crear, dentro de una instalación, un entorno de compatibilidad electromagnética. (**Figura 9.16.2**). Este entorno se define en función a la resistencia a perturbaciones de los equipos o sistemas utilizados.

El concepto de zonas de protección contra rayos incluye, por tanto, como medida de protección, la reducción de las magnitudes de perturbación transmitidas por los conductores a valores asumibles. Para ello el objeto a proteger se divide en zonas de protección. Las zonas de protección dependen del aerogenerador y ha de tenerse en cuenta su estructura (**Figura 9.16.2**). Es determinante, que los parámetros rayo que desde el exterior influyen directamente sobre la zona de protección contra rayos LPZ 0_A, sean reducidos por las medidas de apantallamiento y las instalación de equipos de protección de modo que los sistemas y dispositivos eléctricos y electrónicos ubicados dentro del aerogenerador puedan operar sin problemas ni interferencias.

Medidas de blindaje

La góndola o *nacelle* debe construirse como un blindaje metálico cerrado. Con ello se consigue un volumen con un campo electromagnético considerablemente más débil frente al exterior. Los armarios y cuadros de mando y control de la góndola, y si los hay también dentro del edificio de servicios, deben ser igualmente metálicos. Los cables de unión tienen que estar provistos de un apantallamiento exterior capaz de conducir la corriente. Estos cables apantallados sólo son efectivos, contra los acoplamientos electromagnéticos si están unidos a la compensación de potencial en sus extremos.

La conexión del apantallamiento tiene que efectuarse mediante bornas que contacten en todas direcciones. No deben instalarse tramos largos no aptos para la compatibilidad electromagnética.

Instalación de toma de tierra

El sistema de puesta a tierra de un aerogenerador exige, en cualquier caso, que el armado o estructura de la torre sea incluido en el mismo. La instalación de una toma de tierra de cimientos en la base de la torre, y si lo hay, también en los cimientos del edificio de servi-

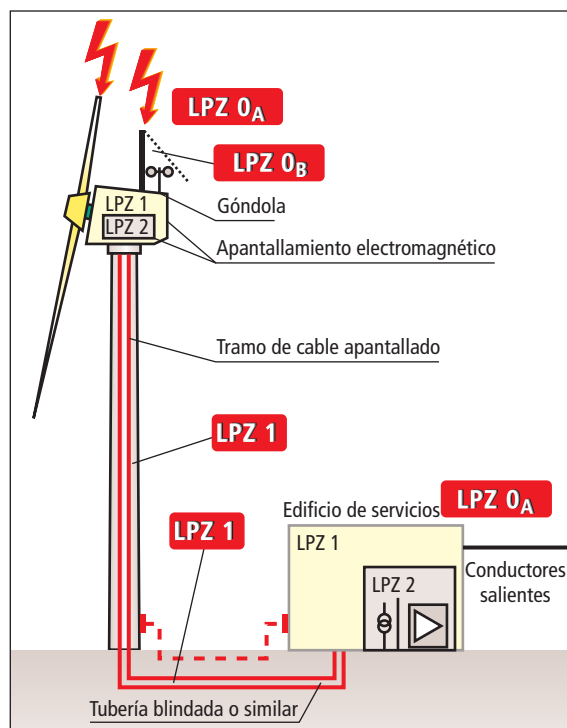


Fig. 9.16.2: Concepto de zonas de protección contra rayos en un aerogenerador.

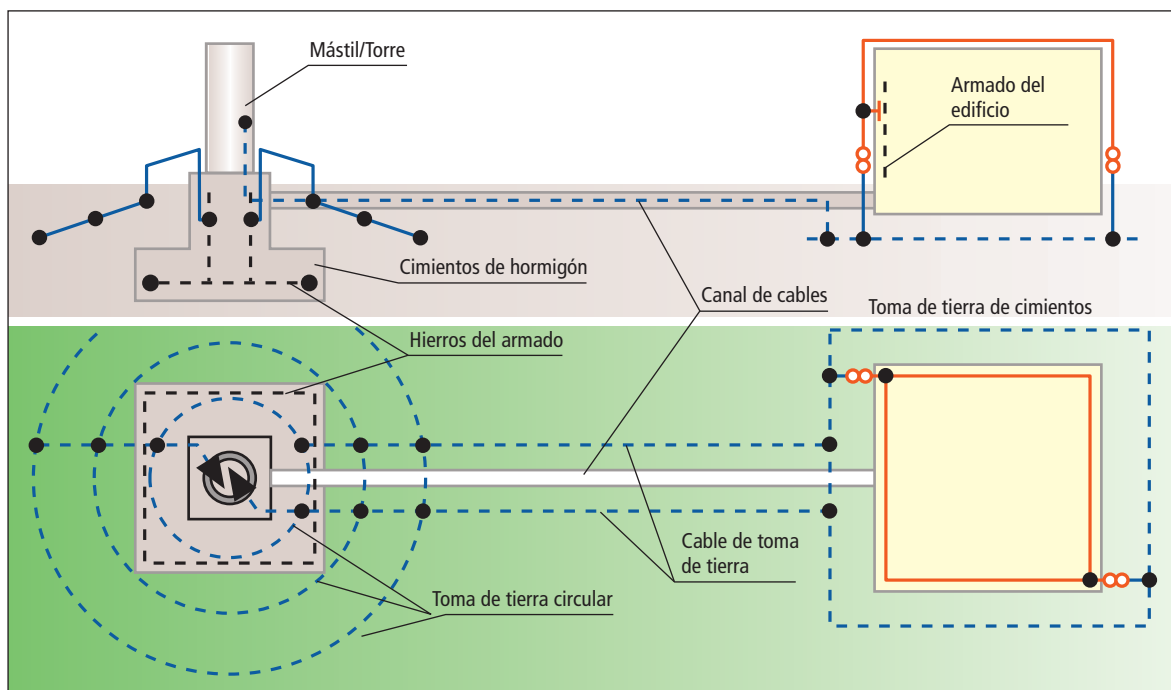


Fig. 9.16.3: Red de tierra de un aerogenerador.

cio, es sin duda la mejor opción, desde el punto de vista del riesgo de corrosión de los cables de toma de tierra.

La toma de tierra de la base de torre y del edificio de servicio (**Figura 9.12.3**) deben unirse mediante una red de toma de tierra, a fin de conseguir una instalación de puesta a tierra lo más extensa posible.

En la medida de lo posible deberían tenderse adicionalmente en la base de la torre tomas de tierra circulares para el control de potencial a efectos de protección de las personas en caso de tensiones de paso y contacto.

Equipos de protección contra sobretensiones para los conductores en la transición de la zona de protección contra rayos LPZ 0_A a LPZ 1 y superiores.

Para un funcionamiento seguro de los aparatos eléctricos y electrónicos, además del apantallamiento contra acoplamientos electromagnéticos exteriores, es necesario realizar la protección contra perturbaciones en las intersecciones de las zonas de protección contra rayos (LPZ).

En la transición de la zona LPZ 0_A hacia LPZ 1 (denominado clásicamente como equipotencialidad de protección contra el rayo) es preciso incluir equipos de pro-

tección capaces de derivar, sin destruirse, altas corrientes parciales de rayo. Estos equipos se denominan descargadores de corriente de rayo tipo 1 y se verifican con corrientes de impulso con forma de onda 10/350 μ s.

En la transición de LPZ 0_B hacia LPZ 1-LPZ 2 y superiores únicamente hay evitar impulsos de corriente de choque de baja energía que se producen como consecuencia de tensiones inducidas desde el exterior, o a causa de sobretensiones generadas en el propio sistema. Los equipos de protección utilizados aquí se deno-



Fig. 9.16.4 Aplicación del descargador de corriente de rayo coordinado modelo DEHNbloc Maxi para sistemas 400/690 V TN-C.



Fig. 9.16.5: Descargador de sobretensiones modelo DEHNguard DG MOD 750 + DG M WE 600.

minan descargadores de sobretensiones tipo 2 y están verificados con corrientes de choque con $8/20 \mu s$.

Los equipos protección se seleccionan de acuerdo con las características de los sistemas eléctrico y electrónico a proteger.

Estos equipos de protección, tienen que ser capaces de apagar, con seguridad, las corrientes consecutivas de red que fluyen tras la actuación del descargador. Esta capacidad de apagado, junto con la capacidad de soportar corrientes de impulso, representan las magnitudes de dimensionado más importantes que deben tenerse en cuenta en el caso de un descargador de corrientes de rayo.

La **figura 9.16.4** muestra el descargador de corrientes de rayo DEHNbloc Maxi con vía de chispas encapsulada.

Este descargador de corrientes de rayo puede instalarse sin necesidad de mantener distancias mínimas hacia partes conductoras desnudas de la instalación que se encuentren bajo tensión. El descargador de corrientes de rayos DEHNbloc se dispone, por ejemplo, en los cables de baja tensión que salen del aerogenerador.

Los descargadores de sobretensiones (**Figura 9.16.5**) están dimensionados para cargas y esfuerzos originados en caso de acoplamientos inductivos y procesos de conmutación. En el marco de la coordinación energética estos equipos deben conectarse por detrás de los descargadores de corriente de rayo. Están basados en un varistor de óxido metálico vigilado térmica y diná-

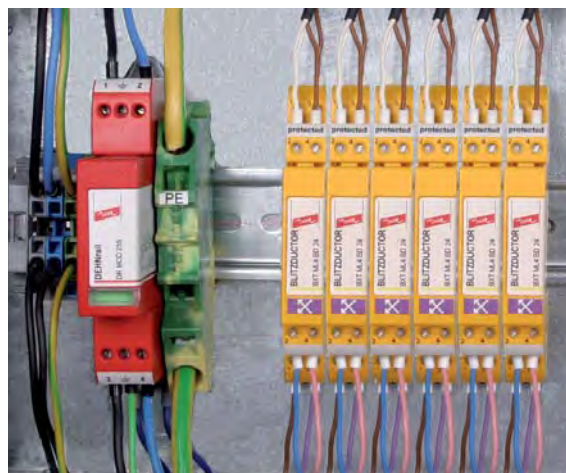


Fig. 9.16.6: Aplicación del descargador combinado de rayos y sobretensiones modelo BLITZDUCTOR XT.

micamente, en el que se produce una corriente consecutiva de red sumamente baja.

Contrariamente a los descargadores de energía en los equipos de protección para líneas de telecomunicaciones, hay que prestar especial atención a su compatibilidad con el sistema y a los datos técnicos de servicio de las señales MCR.

Estos descargadores se instalan en serie con las líneas a proteger. Tienen que ser capaces de reducir el nivel de perturbación a valores situados por debajo de la resistencia a perturbaciones electromagnéticas de los sistemas a proteger. Teniendo en cuenta una sola línea telefónica para el concepto de zonas de protección contra rayos, la corriente parcial del rayo transmitida por este conductor sería del 5%. Para un sistema de protección contra rayos III / IV esto equivaldría a una corriente parcial de rayo de 5 kA, con forma de onda $10/350 \mu s$.

En la **figura 9.16.6** se muestra el descargador combinado modelo Blitzductor XT, como descargador de corriente de rayo y sobretensiones. Puede emplearse para la protección de equipos en la zona de protección contra rayos 1 y superiores.

El BLITZDUCTOR XT está diseñado para la protección de cuatro hilos limitando tanto sobretensiones transversales como longitudinales. Puede instalarse directamente en carril de fijación. Su diseño aporta un gran ahorro de espacio.

9.17 Protección contra sobretensiones para sistemas de emisión y recepción de radio

De acuerdo con las disposiciones de la norma DIN VDE 0855-300, los sistemas de recepción y emisión de radio se construyen de tal manera que eventuales corrientes de rayo acopladas sean derivadas con seguridad hasta la toma de tierra a través del cable correspondiente. De esto se deduce que también tienen que protegerse los equipos emisores y receptores (RBS) contra las sobretensiones generadas por corrientes de rayo. La protección de estos equipos incluye la protección del suministro de corriente (PSU - power supply unit), la técnica de radio-transmisión y, opcionalmente, la transmisión para conexión a la red fija.



Fig. 9.17.1: Estación de telefonía móvil.

9.17.1 Suministro de energía 230/400 V AC

El suministro de energía de los equipos emisores y receptores debe realizarse a través de un conductor de alimentación separado, independiente del suministro de energía del edificio. Hay que evitar efectuar el suministro de energía a través del subdistribuidor/distribuidor eléctrico de plantas instalado en el edificio. El contador de energía se encuentra en la zona de la conexión del edificio. Por delante o directamente en los dispositivos emisores y receptores tiene lugar la distribución del circuito de corriente (En Alemania se instalan casi exclusivamente subdistribuidores eléctricos directamente y próximos a los equipos emisores y receptores).

Para la protección del suministro de corriente (PSU) de un equipo emisor y receptor se utilizan descargadores combinados de corriente de rayo y de sobretensiones sobre la base de vías de chispas, del tipo DEHNventil DV M TT 255. Este dispositivo de protec-

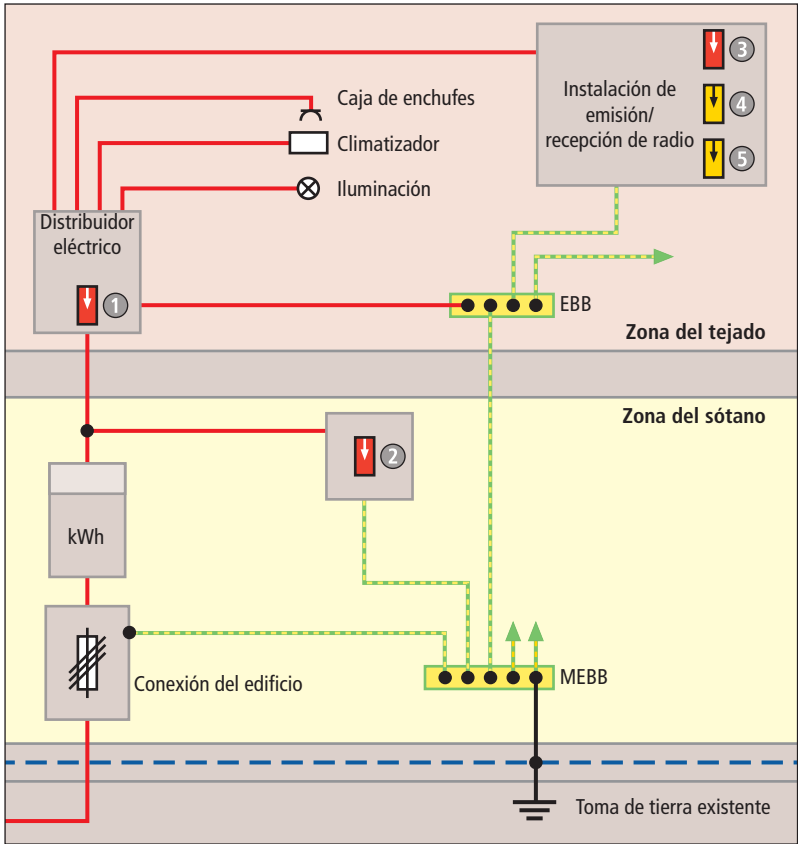


Fig. 9.17.2: Esquema del circuito eléctrico.

ción contra sobretensiones es un descargador tipo 1, dimensionado para las cubrir las necesidades de protección en el lado de baja tensión en sistemas de emisión y recepción de radio.

El DEHNventil DV M TT 255 puede instalarse bien directamente en la subdistribución aguas arriba de la estación base (RBS) o en la acometida a la misma.

La **figura 9.17.2** muestra el esquema eléctrico con los lugares de instalación de los dispositivos de protección contra sobretensiones. En la **figura 9.17.3** se muestra el esquema de principio de un dispositivo emisor y receptor sobre el tejado, así como la instalación del DEHNventil DV M TT 255.

En ocasiones los fabricantes de equipos emisores y receptores definen una aplicación estandarizada de los descargadores de sobretensiones del tipo 2 de acuerdo con la **tabla 9.17.2**. La **figura 9.17.3** muestra como instalar el descargador de sobretensiones tipo 2 modelo DEHNgard modular DG M TT 275.

Dependiendo de l tipo de red de baja tensión (Sistema TT, sistema TN-C ó sistema TN-S) los dispositivos de protección contra corrientes de rayo y contra sobretensiones se instalarán de diferente forma.

La norma DIN V VDE 0100-534 describe la aplicación

de descargadores de corriente de rayo y de sobretensiones en sistemas de consumidores de baja tensión, en conformidad con la "Protección en caso de contacto indirecto".

Complementariamente a esta exigencia de la protección de personas, al utilizar dispositivos de protección contra sobretensiones hay que prestar especial atención a que quede garantizada la coordinación energética con los equipos finales a proteger.

Numerosos tests de prueba realizados por diferentes fabricantes avalan la coordinación del DEHNventil DV M TT 255 con los equipos finales. Esta garantía de coordinación energética permite que este dispositivo de protección pueda ser instalado directamente junto al equipo de emisión- recepción sin necesidad de instalar ningún elemento adicional de desacople ni ningún otro tipo de protección complementaria.

El DEHNventil DV M TT 255 puede utilizarse en todos los tipos de redes. Es una solución universal para sistemas TN-C, TN-S y TT.

Una característica de calidad a la que hay que prestar atención especial en la utilización de dispositivos combinados de protección contra corrientes de rayo y sobretensiones, o también llamados descargadores combinados, es su capacidad de apagado y de limita-

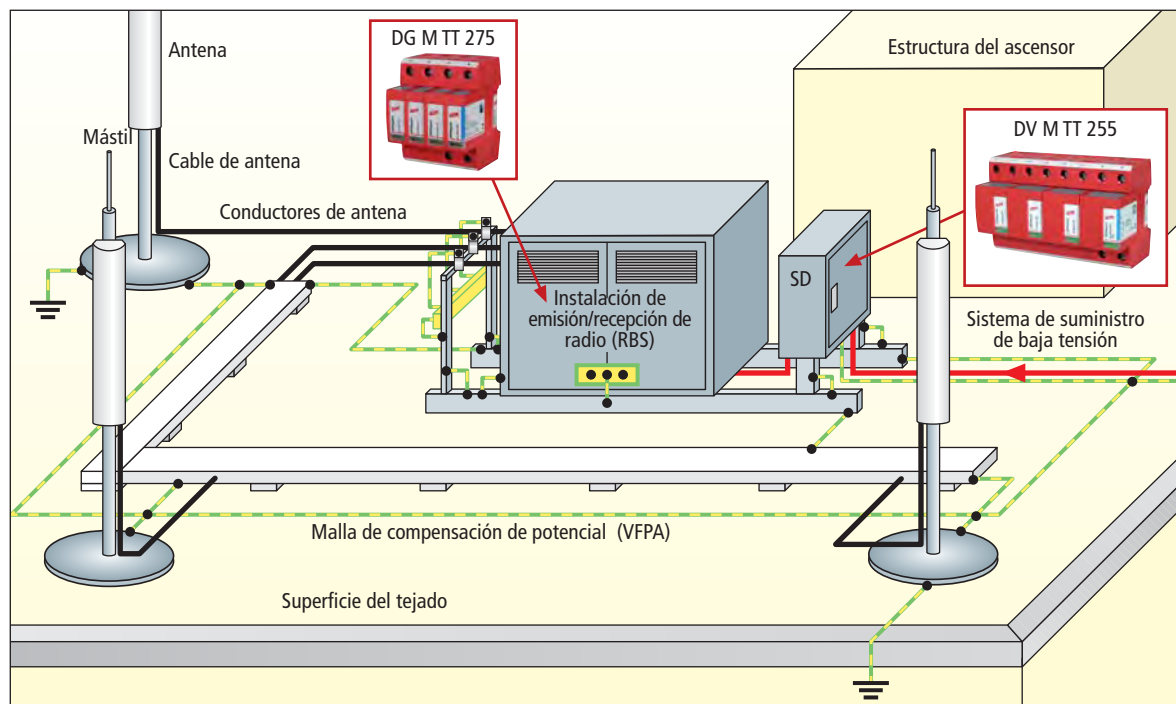


Fig. 9.17.3: Esquema de una instalación de emisión y recepción de radio con utilización de DV M TT 255 y DG M TT 275.

ción de corrientes consecutivas. Es una característica esencial en este tipo de protecciones pues, entre otras cosas, se evita un disparo indebido de los fusibles de las instalaciones y con ello la desconexión del suministro de energía.

Esta característica de calidad, denominada también como “Selectividad de desconexión” de los dispositivos combinados de protección contra corrientes de rayo y sobretensiones tiene que estar plenamente garantizada.

Para aplicaciones en el marco de instalaciones de emisión/recepción de radio hay que exigir la selectividad de desconexión según se indica en la **tabla 9.17.1**.

9.17.2 Conexión a la red fija (si existe)

Para la conexión de las instalaciones de emisión/recepción de radio a la técnica superior de intermediación (BSC, MSC) se eligen, dependiendo del usuario de la red, conexiones a la red fija (cable de cobre) o conexiones por radio (RiFu). En las conexiones a la red fija, en caso de una descarga directa de rayo en la instalación de antena, fluyen corrientes parciales de rayo también a través de los cables de telecomunicaciones. En este caso, se consigue una protección suficiente utilizando también descargadores combinados. Los dispositivos de protección contra sobretensiones se instalarán de acuerdo con los datos de la **tabla 9.17.3**.

9.17.3 Técnica de transmisión de radio

En la protección de la técnica de radio-transmisión hay que efectuar la elección adecuada de los dispositivos de protección contra sobretensiones, principalmente de acuerdo con la banda de transmisión (frecuencia) y con la técnica de conexionado utilizada.

No. en Fig. 9.17.2	Sin disparo de un fusible ...	...con una corriente de derivación a tierra/corriente de cortocircuito hasta	Denominación de producto – Art. Nr.
① ②	20 A gL/gG	50 kA _{eff}	DEHNventil DV M TT 255 951 310

Tabla 9.17.1: Selectividad de desconexión de un descargador de sobretensiones tipo 1.

Nr. en Fig. 9.17.2	Finalidad de uso	Denominación de producto	Art. Nr.
③	Protección básica contra sobretensiones	DEHNgard modular DG M TT 275	952 310

Tabla 9.17.2: Descargador estandarizado de sobretensiones tipo 2.

Nr. en Fig. 9.17.2	Técnica de conexión	Denominación de producto	Art. Nr.
④	LSA-Plus, serie de construcción 2	DEHNrapid DRL 10 B 180 FSD	907 401
	Borna roscada (recomendación D+S)	BLITZDUCTOR XT BXT BD 180 BLITZDUCTOR XT elemento de base BXT BAS	920 347 920 300

Tabla 9.17.3: Protección contra sobretensiones para la conexión a la red fija.

Nr. en Fig. 9.17.2	Banda/Frecuencia	Denominación de producto	Art. Nr.
⑤	GSM/876 ... 960 + GSM/1710 ... 1880 UMTS	DEHNgate DGA L4 7 16 B or DEHNgate DGA L4 N B	929 048 929 049
	Microwave link/2400	DEHNgate DGA G N	929 044
	WLAN/2400	DEHNgate DGA G BNC	929 042
	TETRA/380 ... 512	DEHNgate DGA L4 7 16 S	929 047

Tabla 9.17.4: 4 Protección contra sobretensiones para la técnica de transmisión de datos.

Por tanto, hay que tener en cuenta la capacidad de derivación, el suministro de corriente a distancia en los sistemas de radio (punto a punto) y, dependiendo de la aplicación, la baja intermodulación pasiva (PIM). En la **tabla 9.17.4** se muestra una selección de los productos de protección de la firma DEHN + SÖHNE.

9.17.4 Protección contra rayos, toma de tierra, compensación de potencial

En la planificación y en la construcción de instalaciones de emisión/recepción de radio tienen que tenerse muy en cuenta, en lo que se refiere a la toma de tierra, a la compensación de potencial y a la protección contra rayos y sobretensiones, lo establecido en la norma UNE EN 62305-3.

Hay que distinguir si una instalación de emisión/recepción de radio se va ubicar sobre una construcción de obra ya existente para la cual ya se tiene, o se proyecta construir un sistema de protección contra rayos, o si el edificio a considerar no dispone de ningún sistema de protección contra rayos.

Según los casos deberán adoptarse las medidas para toma de tierra y compensación de potencial según UNE EN 62305-3.

En el capítulo 5.2.4.2 se describen posibles medidas de protección contra rayos para instalaciones de radio móvil.

9.18 Protección contra rayos y sobretensiones para instalaciones fotovoltaicas y plantas solares

9.18.1: Protección contra rayos y sobretensiones para instalaciones fotovoltaicas.

La necesidad de ofrecer garantías a los promotores y gestores de instalaciones fotovoltaicas, los expuestos emplazamientos de las plantas así como la sensible electrónica de los inversores justifican la necesidad de disponer de una protección efectiva contra rayos y sobretensiones.

No sólo los propietarios de viviendas particulares optan por una instalación fotovoltaica sobre el tejado de sus casas. Cada vez más, sociedades privadas de negocio invierten en instalaciones comunitarias que se construyen sobre las extensas cubiertas de edificios o sobre superficies libres no utilizadas.

Debido a las grandes superficies que necesita un sistema de generación fotovoltaico, este tipo de instalaciones están especialmente amenazadas por las descargas de rayo durante las tormentas. Causas de las sobretensiones en los sistemas fotovoltaicos son tensiones inductivas y capacitivas como consecuencia de las descargas de rayo, así como sobretensiones por caída de rayo y operaciones de conmutación en la parte de alterna de la instalación. Las sobretensiones por caída de rayo pueden dañar los módulos fotovoltaicos y los inversores, lo cual puede tener serias consecuencias para el funcionamiento del sistema. En primer lugar, altos costes de reparación (por ejemplo, del inversor, equipo de alto coste en la instalación) y en segundo lugar, el fallo del sistema pueden disminuir considerablemente el rendimiento de la instalación y, en consecuencia, el beneficio del titular de la inversión.

Necesidad de protección contra rayos

Al construir instalaciones fotovoltaicas hay que diferenciar si la instalación se realiza sobre un edificio con o sin protección externa contra rayos. En Alemania, las normativas para edificios exigen sistemas de protección contra rayos por razones de seguridad. Tal es el caso de edificios públicos como son locales de convenciones, escuelas, hospitales, etc. A este respecto, se distinguen edificios o estructuras, en las que, por su situación, construcción o utilización, un impacto de rayo pudiera ocasionar graves daños. Estos edificios o estructuras con grandes exigencias de protección deben equiparse con sistemas de protección contra rayos.

En el caso de edificios privados suele prescindirse con frecuencia de las medidas de protección contra rayos. Esto sucede, por un lado, por razones de costes, pero por otra parte, por falta de sensibilización frente a este tema.

Si se elige como lugar de emplazamiento para una instalación fotovoltaica la cubierta de un edificio sin protección externa contra rayos, se deriva lógicamente la cuestión de si habría que adoptar medidas de protección contra rayos para todo el edificio.

Según el estado actual de la técnica, la instalación de módulos fotovoltaicos sobre edificios no incrementa el riesgo de una descarga de rayo, de manera que la exigencia de medidas de protección contra rayos no puede derivarse directamente de la existencia de una instalación fotovoltaica.

Sin embargo, sí que hay un incremento de los peligros para la instalación eléctrica del edificio en caso de una descarga de rayo. Esto se debe a la circunstancia de que, por el cableado de las líneas del sistema fotovoltaico que discurre por el interior del edificio por canalizaciones de cables existentes, se pueden producir elevadas perturbaciones electromagnéticas a causa de corrientes de rayo. Por eso es necesario calcular el riesgo de daños por descargas de rayos según la norma UNE-EN 62305-2, incluyendo los resultados obtenidos de estos cálculos en los proyectos.

DEHN + SÖHNE ofrece el software "DEHNsupport". El análisis de riesgos que aquí se presenta, garantiza la realización de un concepto de protección contra rayos que cumple con todos los requisitos, para proponer una instalación que garantice la protección necesaria con el menor gasto posible.

En la norma UNE-EN 62305-3, hoja complementaria 3, se indica que un sistema de protección contra rayos, dimensionado para la clase de protección III, cumple las exigencias de protección para instalaciones fotovoltaicas y térmicas: "Las instalaciones fotovoltaicas y térmicas sobre edificios no pueden interferir o dificultar las medidas de protección contra rayos existentes. Las instalaciones fotovoltaicas y térmicas se protegerán contra descargas directas de rayo mediante dispositivos captadores aislados según apartados 5.2 y 6.3 de la norma UNE-EN 62305-3. Si no se puede evitar una conexión directa, entonces deberán tomarse en consideración las consecuencias de las corrientes parciales de rayo acopladas en el interior del edificio".

Protección contra sobretensiones para inversores fotovoltaicos, incluso en caso de descarga directa de rayo.

Si se construye una instalación fotovoltaica sobre un edificio con protección externa contra rayos, uno de los requisitos básicos es que los módulos fotovoltaicos se encuentren dentro del área de protección de una instalación captadora aislada. Además, hay que respe-

tar la distancia de separación entre la estructura que soporta los módulos y la protección externa contra rayos, para evitar saltos de chispa incontrolados. En caso contrario, corrientes parciales de rayo considerables pueden penetrar en el interior del edificio.

Con mucha frecuencia el usuario pretende que el tejado completo esté recubierto de módulos fotovoltaicos, con el objetivo de lograr un rendimiento económico lo más alto posible. En estos casos, muchas veces no puede garantizarse la distancia de separación y entonces la estructura que soporta los módulos debe ser incluida en la protección externa contra rayos. Según UNE-EN 62305-3, hoja complementaria 2, en esta circunstancia tienen que tomarse en consideración las consecuencias de las corrientes acopladas en el interior del edificio, debiendo garantizarse asimismo la compensación de potencial de protección contra rayos. Esto significa que, para los cables DC que están afectados por la corriente de rayo tiene que realizarse asimismo la compensación de potencial de protección contra rayos. Según UNE-EN 62305-3 los conductores DC tienen que equiparse con un dispositivo de protección contra sobretensiones (SPD - en inglés "Surge protective device") del tipo 1. Hasta ahora no había ningún dispositivo de protección contra sobretensiones tipo 1 basado en tecnología de vías de chispas, para instalar en el lado de tensión continua de instalaciones fotovoltaicas. El problema radicaba en el hecho de que al cebarse la vía de chispas, ésta no podía apagarse debido a la corriente continua que por ella fluía y de este modo se mantenía el arco voltaico.

Con el descargador combinado contra rayos y sobretensiones DEHNlimit PV 1000 (Figura 9.18.1.1) la firma DEHN + SÖHNE ha conseguido desarrollar un descargador basado en vías de chispas, capaz de apagar corriente continua. De este modo, el DEHNlimit PV 1000 es el descargador ideal para instalar en plantas fotovoltaicas. La tecnología de las vías de chispas deslizantes encapsuladas permite una protección segura del generador fotovoltaico y del inversor, incluso en caso de corrientes de rayo directas. Este descargador combinado puede utilizarse para instalaciones fotovoltaicas de hasta 1000 V $U_{OC\ SC}$. El descargador DEHNlimit PV 1000

tiene una elevada capacidad de derivación de corrientes de rayo, de 50 kA 10/350 μs .

Descargador fotovoltaico multipolar tipo 2 con dispositivo de desconexión en DC en tres fases para instalaciones fotovoltaicas

La estructura interna del descargador de sobretensiones tipo 2, DEHNguard M YPV ...SCI (Figura 9.18.1.2) plantea nuevos avances en el aspecto de la seguridad. En este descargador se han combinado la disposición del circuito de protección en Y, resistente a fallos de aislamiento, con los dispositivos de separación y cortocircuito, integrados en un único equipo de protección.

Esta sinergia reduce la probabilidad de un fallo del descargador en los estados de funcionamiento y fallo que tienen que ser tenidos en cuenta en las instalaciones fotovoltaicas. De este modo se asegura que el descargador esté protegido en caso de sobrecarga, sin que ello de lugar a un riesgo de incendio para la instalación. Incluso en el caso de tensiones hasta 1000 V DC, un arco voltaico que puede producirse cuando se activa un dispositivo de desconexión convencional en un descargador de protección contra sobretensiones, es apagado de inmediato y sin riesgo.

La protección contra incendios es la prioridad nº 1 del DEHNguard M YPV ...SCI (FM).

Se ha integrado en la vía de cortocircuito un fusible, expresamente diseñado para instalaciones fotovoltaicas, que garantiza un aislamiento eléctrico seguro, permitiendo la sustitución del módulo de protección sin formación de arco voltaico, en caso de que un módulo de protección de sobretensiones esté dañado.



Fig. 9.18.1.1: Descargador combinado tipo 1, DEHNlimit PV, para protección de inversores fotovoltaicos contra sobretensiones, incluso en caso de impacto directo de rayo.



Fig. 9.18.1.2: Descargador fotovoltaico en conexión Y tipo 2, DEHNguard M YPV SCI 1000, con dispositivo de desconexión en 3 fases.

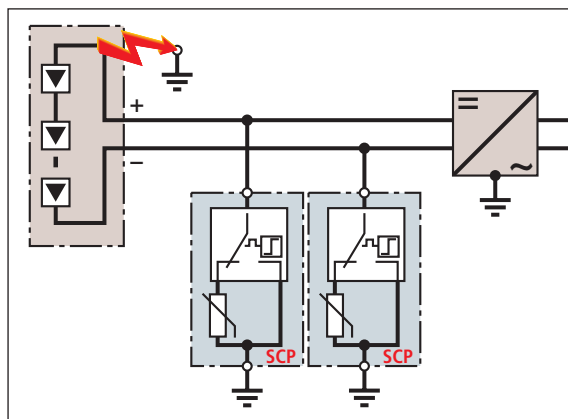


Fig. 9.18.1.3: Activación del dispositivo de separación.

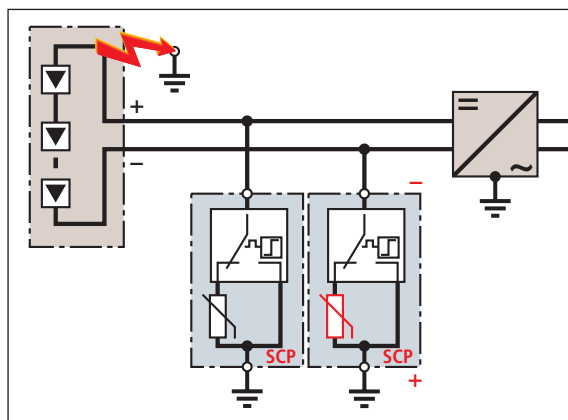


Fig. 9.18.1.4: Extinción del arco voltaico.

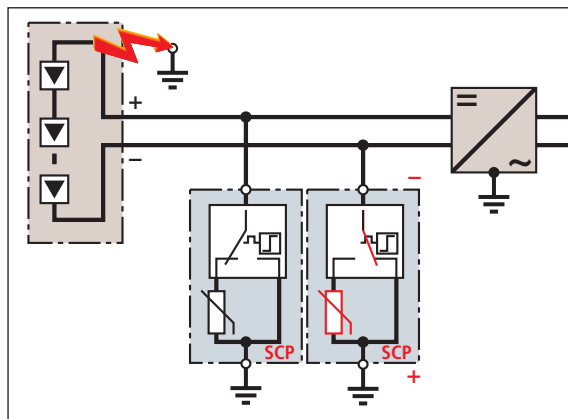


Fig. 9.18.1.5: Aislamiento eléctrico seguro.

Este modelo único combina la protección contra sobretensiones, protección contra incendio y la protección de personas.

Gracias a la elevada capacidad de fusión de los fusibles integrados, el DEHNguard M YPV...SCI (FM) puede utilizarse en todo tipo de instalaciones fotovoltaicas, de baja, media o gran potencia.

En los ejemplos siguientes se explica con más detalle la eficacia de funcionamiento del dispositivo de desconexión en DC en tres fases:

1. **Figura 9.18.1.3:** El varistor ha finalizado su vida útil o se ha sobrecargado, activándose por tanto el dispositivo termo-dinámico de vigilancia y separación.
2. **Figura 9.18.1.4:** Se activa el dispositivo combinado de separación y cortocircuito, produciéndose entonces la extinción del arco voltaico.
3. **Figura 9.18.1.5:** Con la circulación de la corriente de cortocircuito de la instalación, se dispara el fusible integrado, quedando el varistor desconectado de la línea. De este modo se consigue una situación segura de servicio en el circuito de generador de la planta fotovoltaica, evitando que se produzca un riesgo de incendio para la instalación.

Ejemplos de aplicación

Edificios sin protección externa contra rayos

En la **figura 9.18.1.6** se muestra el concepto de protección contra sobretensiones para una instalación fotovoltaica sobre un edificio sin protección externa contra rayos. En este caso, las posibles ubicaciones de los dispositivos de protección contra sobretensiones pueden ser:

- ⇒ Entrada DC del inversor.
- ⇒ Salida AC del inversor.
- ⇒ Acometida de baja tensión.

En la acometida de baja tensión del edificio se instala un dispositivo de protección contra sobretensiones DPS del tipo 2, modelo DEHNguard M.

Este descargador de sobretensiones puede suministrarse, como unidad completa totalmente cableada, para cualquier sistema de baja tensión (TN-C, TN-S, TT). (**Tabla 9.18.1.1**).

Si el inversor de la planta fotovoltaica no se encuentra a más de 5 metros de distancia del lugar de emplazamiento de este descargador (acometida de baja tensión) entonces la salida AC del inversor estará suficientemente protegida. Si las longitudes de cable son mayores, entonces será necesario instalar otros dispo-

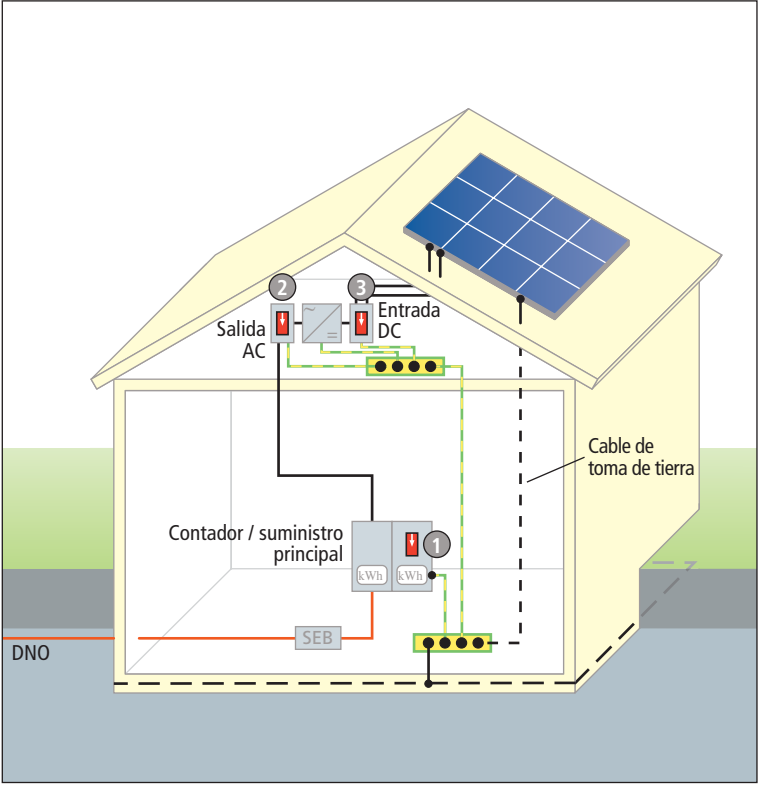


Fig. 9.18.1.6: Concepto de protección contra sobretensiones para una instalación fotovoltaica sobre un edificio sin protección externa contra rayos.

sitivos adicionales de protección contra sobretensiones DPS tipo 2 por delante de la entrada AC del inversor. (Tabla 9.18.1.1).

En la entrada DC del inversor, todos los cables de *string* deben protegerse mediante un dispositivo de protección contra sobretensiones tipo DEHNguard M YPV SCI conectado entre positivo y negativo con respecto a tierra. Esta instalación proporciona una protección segura contra sobretensiones para las instalaciones fotovoltaicas con tensiones del generador hasta 1000 V DC.

La tensión de servicio de los dispositivos de protección contra sobretensiones debe elegirse de manera que sea aproximadamente un 10% superior a la tensión a circuito abierto del generador en un día frío de invierno con la máxima radiación.

Figura 9.18.1.6	Protección para...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
Suministro en baja tensión			
1	Sistema TN-C	DEHNguard M, DG M TNC 275 DEHNguard M, DG M TNC 275 FM	952 300 952 305
	Sistema TN-S	DEHNguard M, DG M TNS 275 DEHNguard M, DG M TNS 275 FM	952 400 952 405
	Sistema TT	DEHNguard M, DG M TT 275 DEHNguard M, DG M TT 275 FM	952 310 952 315
Salida AC del inversor, inversor instalado bajo cubierta			
2	Sistema TN	DEHNguard M, DG M TN 275 DEHNguard M, DG M TN 275 FM	952 200 952 205
	Sistema TT	DEHNguard M, DG M TT 2P 275 DEHNguard M, DG M TT 2P 275 FM	952 110 952 115
Entrada DC del inversor			
3	Entre positivo y negativo con respecto a tierra	DEHNguard, DG PV 500 SCP DEHNguard, DG PV 500 SCP FM	950 500 950 505

Tabla 9.18.1.1: Elección de los dispositivos de protección contra sobretensiones para instalaciones fotovoltaicas sobre edificios sin protección externa contra rayos.

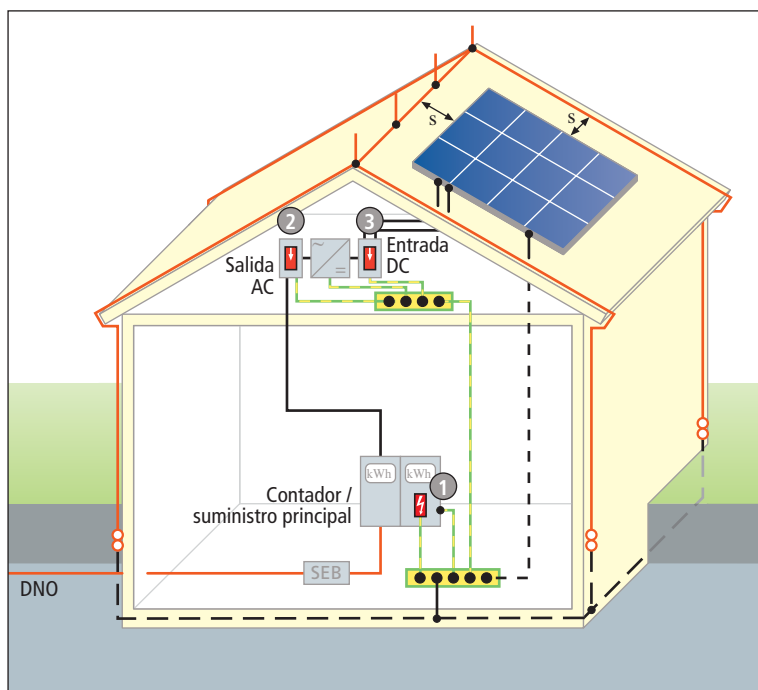


Fig. 9.18.1.7: Concepto de protección contra sobretensiones para una instalación fotovoltaica sobre un edificio con protección externa contra rayos y manteniendo la distancia de seguridad requerida.

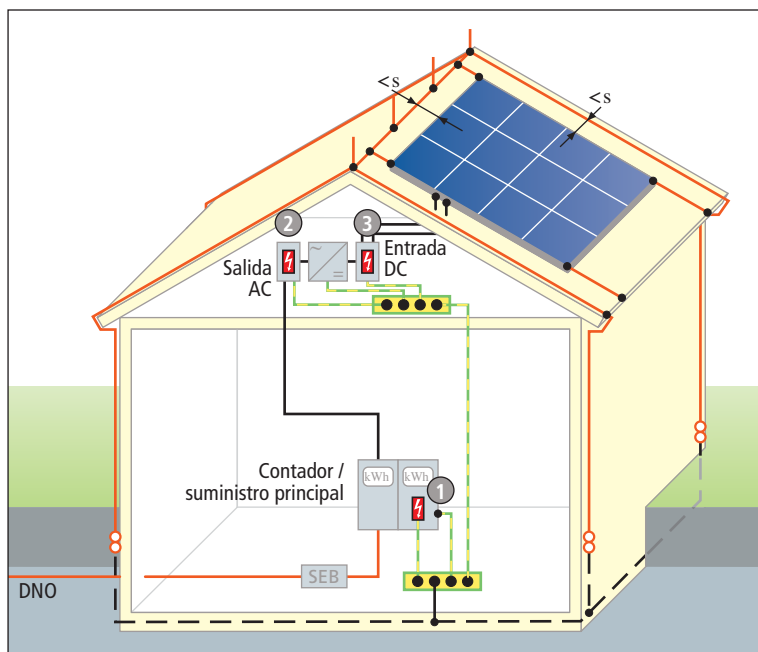


Fig. 9.18.1.8 Concepto de protección contra sobretensiones para una instalación fotovoltaica sobre un edificio con protección externa contra rayos, sin mantenerse la distancia de separación "s".

Edificios con protección externa contra rayos, respetando la distancia de separación.

El correcto estado del sistema de protección contra rayos debe documentarse mediante los correspondientes protocolos de inspección o mediante inspecciones de mantenimiento. Si durante las inspecciones se detectan deficiencias en la protección externa contra rayos (p.ej. corrosión intensa, conexiones de bornas sueltas o flojas...), el usuario de la instalación fotovoltaica tiene la obligación de informar por escrito al propietario del edificio de esta deficiencia.

La construcción de la instalación fotovoltaica sobre la superficie del tejado tiene que realizarse teniendo muy en cuenta el sistema existente de protección externa contra rayos. Por este motivo, el sistema fotovoltaico tiene que instalarse dentro del área de protección del sistema de protección externa contra el rayo, para asegurar su protección contra un impacto directo de rayo. Mediante la instalación de dispositivos captadores apropiados, como son por ejemplo puntas captadoras, pueden evitarse impactos directos de rayo en los módulos fotovoltaicos. Las puntas captadoras que eventualmente hubiera que montar de forma adicional, se instalarán de modo que con su disposición eviten un impacto directo de rayo en el módulo fotovoltaico, y por otra parte, no provoquen zonas de sombra sobre los módulos.

Se debe tener muy en cuenta que entre los componentes fotovoltaicos y piezas metálicas, como son las instalaciones captadoras de rayos, canalones de tejado, tragaluces, colectores solares o instalaciones de antena, tiene que mantenerse una distancia de separación "s" según UNE EN 62305-3. Esta distancia de separación se calculará según el procedimiento establecido en dicha norma. La instalación fotovoltaica representada en la

figura 9.18.1.7 se encuentra dentro del área de protección del sistema de protección externa contra rayos.

En la **figura 9.18.1.7** se muestra el concepto de protección contra sobretensiones para una instalación fotovoltaica situada sobre un edificio con protección externa contra rayos y con suficiente distancia de separación entre los módulos fotovoltaicos y la protección externa contra rayos.

Un factor esencial de un sistema de protección contra rayos es la compensación de potencial para todos los conductores que entran en el edificio desde el exterior. La exigencia de la compensación de potencial se cumple mediante la conexión directa de todos los sistemas metálicos y la conexión indirecta de todos los sistemas que estén bajo tensión de servicio, mediante descarga-

dores de corriente de rayo. La compensación de potencial debe realizarse lo más cerca posible de entrada de los sistemas y conductores en el edificio, para evitar la entrada de corrientes parciales de rayo en el mismo. El suministro de baja tensión se protege mediante un descargador combinado multipolar de corrientes de rayo y sobretensiones DEHNventil ZP con tecnología de vías de chispas. Este descargador está dimensionado para su montaje en carriles DIN de 40 mm en el cuadro de contadores.

La elección del dispositivo de protección se realiza de acuerdo con el sistema de red existente (**Tabla 9.18.1.2**).

Este descargador combinado reúne, en un solo dispositivo, descargador de corriente de rayos y descarga-

Figura 9.18.1.7	Protección para...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
Suministro en baja tensión			
①	Sistemas TN-C	DEHNventil ZP, DV ZP TNC 255	900 390
	Sistema TN-S y Sistema TT	DEHNventil ZP, DV ZP TT 255	900 391
Salida AC del inversor, inversor instalado bajo cubierta			
②	Sistema TN	DEHNguard M, DG M TN 275 DEHNguard M, DG M TN 275 FM	952 200 952 205
	Sistema TT	DEHNguard M, DG M TT 2P 275 DEHNguard M, DG M TT 2P 275 FM	952 110 952 115
Entrada DC del inversor			
③	Entre positivo y negativo con respecto a tierra	DEHNguard, DG PV 500 SCP DEHNguard, DG PV 500 SCP FM	950 500 950 505

Tabla 9.18.1.2: Elección de los dispositivos de protección contra sobretensiones para instalaciones fotovoltaicas sobre edificios con protección externa contra rayos y cumpliendo la distancia de separación "s".

Figura 9.18.1.8	Protección para...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
Suministro en baja tensión			
①	Sistema TN-C	DEHNventil ZP, DV ZP TNC 255	900 390
	Sistema TN-S y Sistema TT	DEHNventil ZP, DV ZP TT 255	900 391
Salida AC del inversor, inversor instalado bajo cubierta			
②	Sistema TN-C	DEHNventil M, DV M TN 255 DEHNventil M, DV M TN 255 FM	951 200 951 205
	Sistema TT-S y Sistema TT	DEHNventil M, DV M TT 255 DEHNventil M, DV M TT 255 FM	951 110 951 115
Entrada DC del inversor			
③	por cada cable trenzado	DEHNlimit, DLM PV 1000	900 330

Tabla 9.18.1.3: Elección de los dispositivos de protección contra sobretensiones para instalaciones fotovoltaicas sobre edificios con protección externa contra rayos sin mantenerse la distancia de separación "s".

dor de sobretensiones. No precisa bobina de desacople y está disponible, como unidad completamente precableada, para cualquier sistema de red en baja tensión (TN.C, TN-S, TT). Hasta una longitud de cable inferior a 5 metros entre el DEHNventil y el equipo final hay protección suficiente sin necesidad de dispositivos de protección adicionales. En caso de longitudes superiores, es recomendable instalar adicionalmente dispositivos de protección contra sobretensiones tipo 2 o tipo 3. Del mismo modo, si la salida AC del inversor no se encuentra a una distancia superior de 5 metros del lugar de instalación del DEHNventil ZP, entonces no se precisa en el lado AC de otros dispositivos de protección adicionales.

Cada uno de los cables de *string* que entran en el inversor deben protegerse mediante un dispositivo de protección contra sobretensiones DEHNguard, tipo DG M YPV SCI.

Edificios con protección externa contra rayos sin mantenerse la distancia de separación

Con mucha frecuencia, los módulos fotovoltaicos cubren el tejado por completo con el fin de obtener el

mayor rendimiento posible. Desde el punto de vista técnico de montaje, muchas veces en estos supuestos no se puede mantener la distancia de separación. En estos casos hay que realizar una conexión directa entre la protección externa contra rayos y los componentes metálicos de la instalación fotovoltaica. Según la norma UNE EN 62305-3, hoja complementaria 2, hay que tener en cuenta los efectos de las corrientes que entran en el edificio a través de los conductores. Esto significa que, también para los conductores DC que están afectados por corriente de rayo, hay que realizar la compensación de potencial (**Figura 9.18.1.8**). Según la norma UNE EN 62305-3 en los conductores DC deben instalarse dispositivos de protección contra sobretensiones tipo 1. En estos casos se instala el descargador combinado DEHNlimit PV 1000, que se conecta en paralelo al conductor de *string*. El descargador combinado DEHNlimit PV 1000 ha sido desarrollado especialmente para su aplicación en plantas fotovoltaicas. La tecnología de vías de chispas encapsuladas permite una protección segura del generador fotovoltaico y del inversor, incluso en caso de corrientes directas de rayo.

En el suministro en baja tensión deber realizarse también la compensación de potencial. Allí se instala el DEHNventil ZP, un dispositivo de protección contra sobretensiones con tecnología de vías de chispas (**Tabla 9.18.1.3**). Si el inversor fotovoltaico se encuentra una distancia no superior a 5 metros, la salida AC del inversor también puede considerarse protegida. Las medidas de protección contra sobretensiones son siempre efectivas sólo localmente, lo que es aplicable también para la protección del inversor fotovoltaico. Si el inversor fotovoltaico está situado bajo cubierta, entonces hay que asegurar la protección contra sobretensiones de la salida AC del inversor con otros dispositivos de protección contra sobretensiones. En este caso, la protección se consigue también con dispositivos de protección contra sobretensiones tipo 1, DEHNventil. El motivo para la instalación de estos dispositivos de protección es que a través del conductor de protección y del conductor AC fluyen igualmente corrientes parciales de rayo, que tienen que ser controladas.

Observación

La protección contra sobretensiones para aplicaciones con módulos de capa fina requiere una consideración diferente.

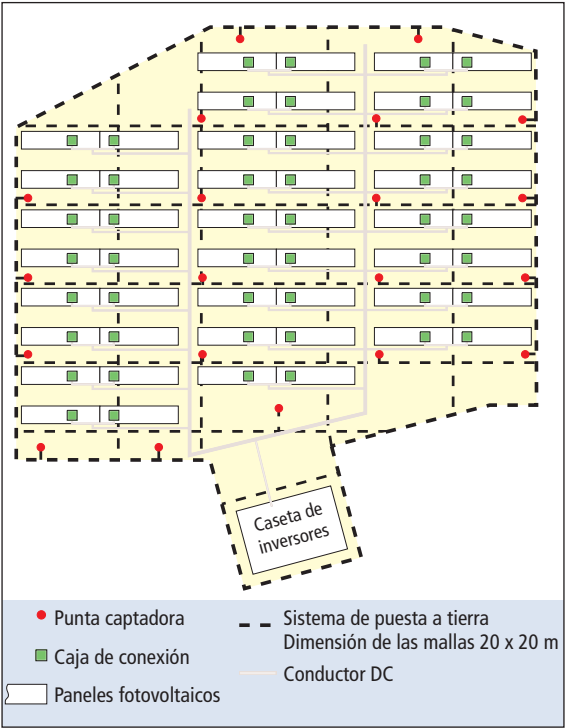


Fig. 9.18.2.1: Vista general de una planta fotovoltaica en campo abierto.

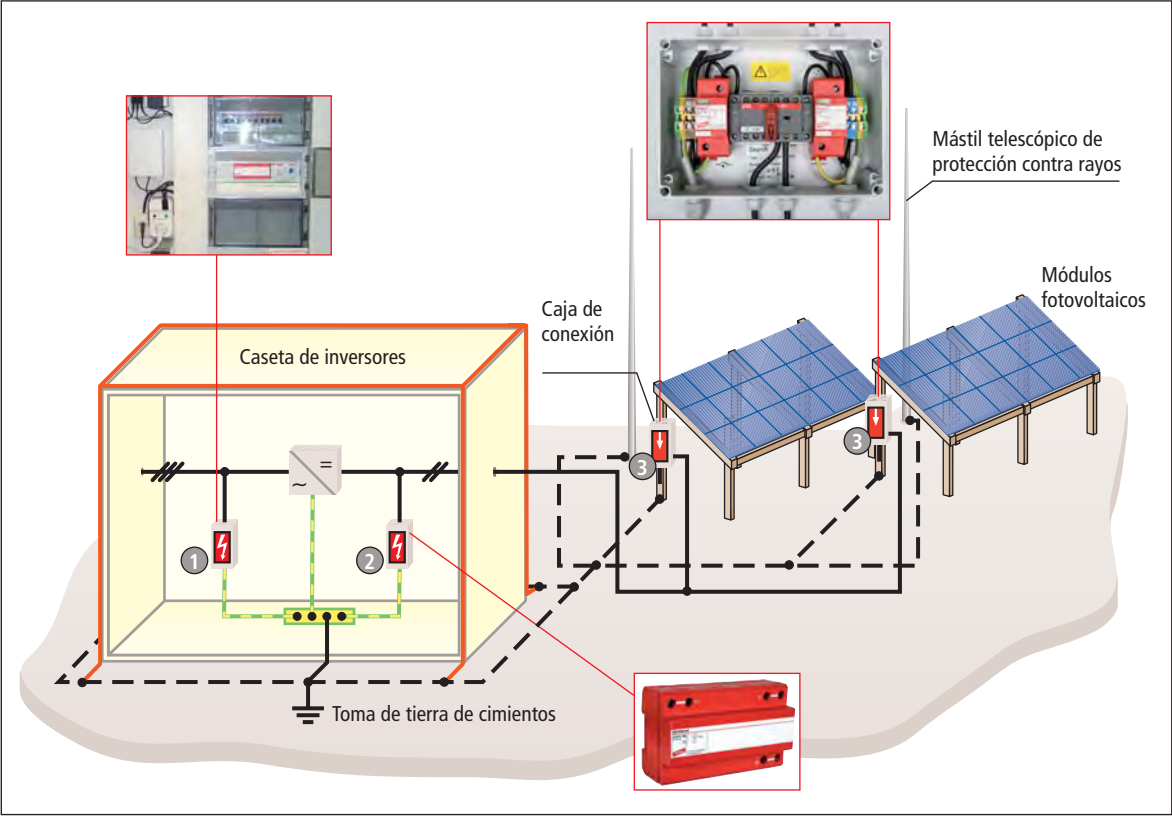


Fig. 9.18.2.2: Esquema básico de protección contra sobretensiones en una planta solar.

Nº. en fig. 9.18.2.2	Protección para...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
①	Sistema TN-C Sistema TN-S Sistema TT	DEHNventil, DV M TNC 255 DEHNventil, DV M TNS 255 DEHNventil, DV M TT 255	951 300 951 400 951 310
②	Entrada DC al inversor	DEHNlimit, DLM PV 1000	900 330
③	Caja de conexión	DEHNguard DG PV 500 SCP DEHNguard DG PV 500 SCP FM	950 500 950 505

Tabla 9.18.2.1 Elección de dispositivos de protección contra sobretensiones para plantas solares.

9.18.2 Protección contra rayos y sobretensiones para plantas solares

En un tipo de instalación tan compleja como una planta solar, es necesario calcular el riesgo de daños debido a impactos de rayo de acuerdo con la norma UNE EN 62305-2. Los resultados de dicho análisis deben tenerse en cuenta en el diseño de la planta. El objetivo es doble: por un lado, proteger tanto las casetas que alojan los inversores como las series de módulos,

contra daños por fuego (en caso de impacto directo de rayo), y por otro lado, proteger los sistemas eléctricos y electrónicos (inversores, línea principal del generador, sistemas de monitorización) contra los efectos de los impulsos electromagnéticos del rayo (LEMP).

Sistemas de captación y derivación

Para proteger el campo de módulos de la planta fotovoltaica contra impactos directos de rayo es necesario

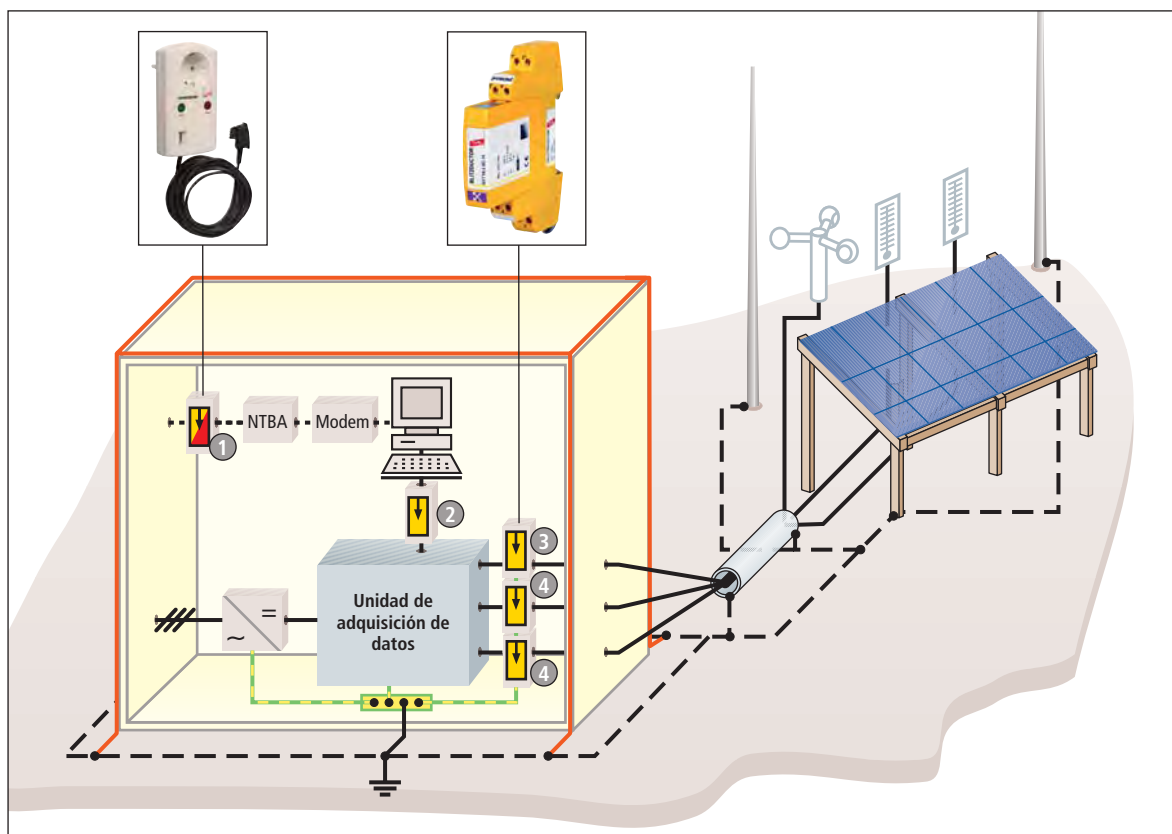


Fig. 9.18.2.3: Concepto de protección para adquisición y evaluación de datos.

Nr. en fig. 9.18.2.3	Protección para...	Dispositivos de protección	Art. Nr.
①	Red y entrada de datos de una NTBA	NT PRO	909 958
②	Sistemas y dispositivos de control y medida con transmisión de datos a cuatro hilos, p.ej. sistema bus RS 485	BLITZDUCTOR VT, BVT RS 485 5	918 401
③	Indicadores de dirección del viento, p. ej. transmisión analógica del valor medido 4 - 20 mA	BLITZDUCTOR XT, BXT ML4 BE 24 + pieza base BXT BAS	920 324 920 300
④	Sensor de temperatura ambiente y de temperatura del módulo	BLITZDUCTOR XT, BXT ML4 BE 5 + elemento de base BXT BAS	920 320 920 300

Tabla 9.18.2.2: Dispositivos de protección contra sobretensiones para adquisición y evaluación de datos.

situar los módulos solares dentro de la zona de protección de un sistema de captación aislado. Su diseño está basado en el sistema de protección contra rayos Clase III para sistemas fotovoltaicos superiores a 10 kW según la directriz VdS 2010. Según la clase de protección se determinará, mediante el método de la esfera rodante, el número y la altura de las puntas captado-

ras que se han de instalar. Además, debe asegurarse que se mantiene la distancia de separación "s" según UNE EN 62305-3 entre los bastidores de los módulos y las puntas captadoras. Asimismo se instalará en la caseta de inversores una protección externa contra rayos Clase III. Los conductores de bajada están conectados con el sistema de puesta a tierra mediante la uti-

lización de barras de penetración. Debido al riesgo de corrosión en el punto donde las barras entran en el terreno u hormigón, éstas deben estar fabricadas con material resistente a la corrosión (acero inoxidable V4A, N° de material 1.4571) o, en caso de utilizar acero galvanizado, deben protegerse de forma adecuada (por ejemplo, aplicando cinta corrosiva).

Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra de una planta fotovoltaica consiste en un electrodo en forma de malla con un reticulado de 20 m x 20 m (**Figura 9.18.2.1**) Las estructuras metálicas que soportan los paneles fotovoltaicos se conectarán al sistema de puesta a tierra cada 10 m aproximadamente. El sistema de puesta a tierra de la caseta del inversor está diseñado como una puesta a tierra de cimentación según norma DIN 18014.

Los sistemas de puesta a tierra de la instalación fotovoltaica y de la caseta del inversor deben estar conectados entre sí al menos mediante un conductor (pletina de acero de 30 x 3,5 mm V4A, N° material 1.4571 o de acero galvanizado). La interconexión de los sistemas de puesta a tierra individuales reduce considerablemente la resistencia total de tierra. La unión de estos sistemas de puesta a tierra crea una “superficie equipotencial” que reduce considerablemente la carga de tensión de los efectos del rayo en los cableados eléctricos que unen las series de módulos con la caseta del inversor. El electrodo de puesta a tierra debe disponerse al menos a 0.5 m de profundidad en el terreno y las mallas interconectadas mediante bornas de cruz. Todas las uniones realizadas bajo el terreno deben estar protegidas con cinta anticorrosiva. Esto también es aplicable para pletinas de acero V4A bajo el terreno.

Compensación de potencial de protección contra rayos

Todos los conductores activos que entren en la caseta del inversor procedentes del exterior tienen que ser incluidos en el sistema equipotencial. Los requisitos de un sistema equipotencial se cumplen mediante la unión directa de todos los sistemas metálicos y la unión indirecta de todos los conductores activos mediante descargadores de corriente de rayo Tipo 1. La equipotencialidad debe realizarse preferentemente cerca de la acometida para prevenir que corrientes parciales de rayo puedan entrar en la caseta. En este ejemplo concreto (**Figura 9.18.2.2**) la línea de baja tensión que acomete la caseta del inversor está protegida mediante un descargador multipolar combinado con-

tra rayos y sobretensiones Tipo 1, modelo DEHNventil (**Tabla 9.18.2.1**).

Asimismo, los conductores de continua que entran en la caseta para ser conectados al inversor, tienen que ser protegidos mediante un descargador de corriente de rayo basado en vías de chispas, como el descargador combinado contra rayos y sobretensiones DEHNlimit PV 1000.

Medidas de protección contra sobretensiones en el campo de paneles

Con objeto de reducir la carga en los módulos fotovoltaicos ante el impacto directo de rayo en el sistema de puntas captadoras aisladas, se instalan dispositivos de protección contra sobretensiones en las cajas de conexión, lo más cerca posible de los paneles fotovoltaicos. Para tensiones del generador hasta 1000 V DC, se instala un descargador de sobretensiones tipo DEHNGuard M YPV SCI entre los polos positivo y negativo con respecto a tierra. En este ejemplo concreto es suficiente utilizar descargadores de sobretensiones Tipo 2, porque los módulos fotovoltaicos se encuentran situados bajo el área de protección del sistema de protección externa contra el rayo.

En la práctica, es habitual utilizar descargadores de protección con contactos libres de potencial para la señalización a distancia del estado de la protección. De esta forma se reduce notablemente el número de inspecciones a los dispositivos de protección, minimizando por tanto los costes de mantenimiento.

Los dispositivos de protección contra sobretensiones en las cajas de conexión del generador asumen localmente la protección de los módulos fotovoltaicos y aseguran que no se produzcan saltos de chispa en los mismos.

Observación

La protección contra sobretensiones para aplicaciones con módulos de capa fina requiere una consideración diferente.

Medidas de protección contra sobretensiones para sistemas de adquisición de datos

En la caseta de inversores se encuentra un sistema de control a distancia. Esto permite al usuario detectar de forma rápida fallos o alteraciones en la planta fotovoltaica y subsanarlas. Mediante el sistema de tele-vigilancia es posible disponer permanentemente de los datos de rendimiento de la planta solar, lo que permite optimizar el funcionamiento de la misma.

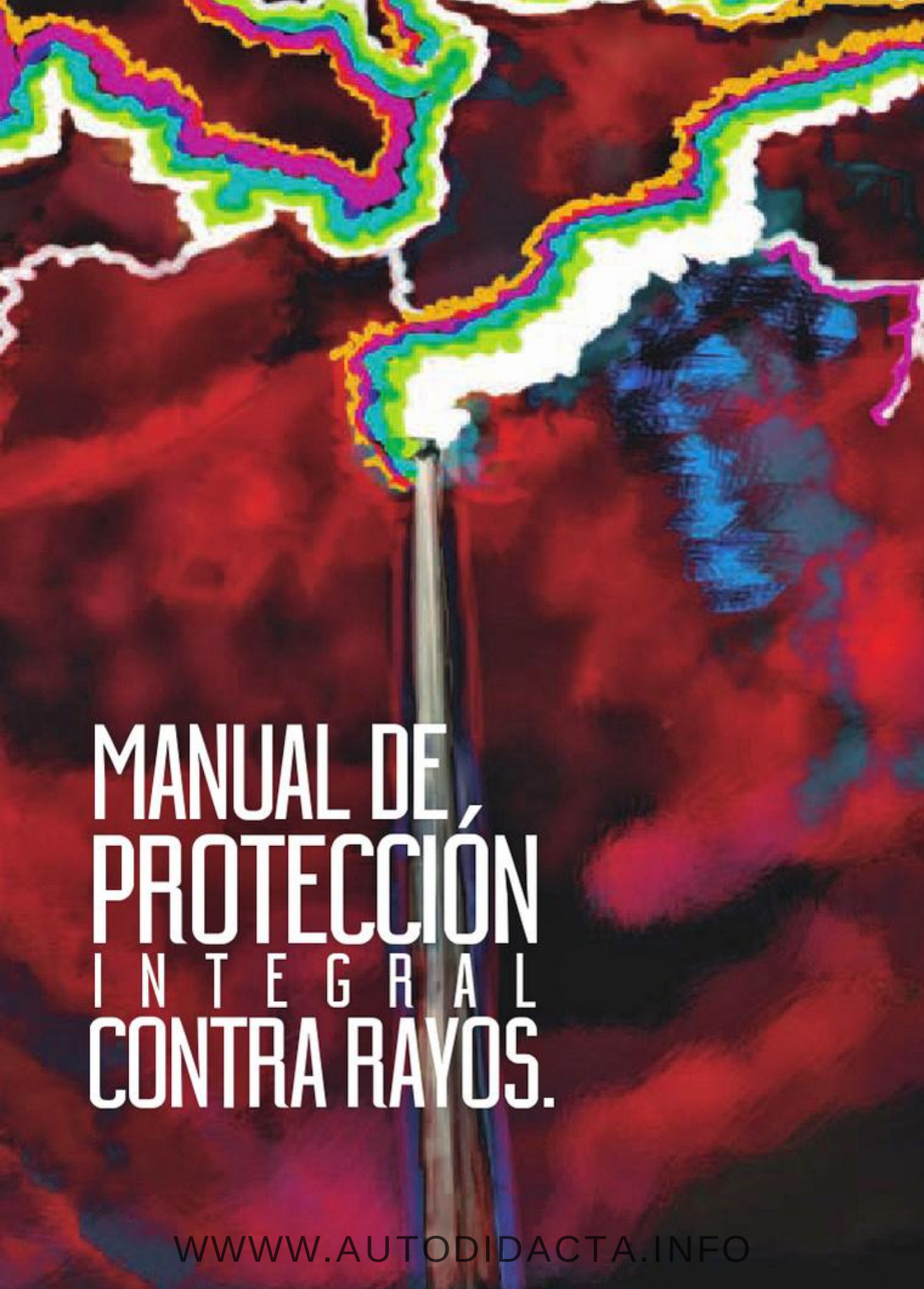
Como se indica en la **figura 9.18.2.3**, a través de sensores externos se realizan mediciones de la velocidad del viento, de la temperatura de los módulos y de la temperatura exterior. Estos valores pueden leerse directamente en la unidad de adquisición de datos.

La unidad de adquisición de datos dispone de interfaces, como RS 232 o RS 485, que se conectan a un PC o a un módem para control y mantenimiento a distancia. Con ello, el personal de servicio puede determinar la causa del fallo o perturbación y subsanarlo correctamente. El módem de la **figura 9.18.2.3** está conectado al equipo final de la red (NTBA) de una conexión básica RDSI.

Los sensores de medida para velocidad del viento y temperatura del módulo están situados, al igual que los módulos fotovoltaicos, en la zona de protección contra impactos directos de rayo. De este modo no se producen corrientes de rayo en los cables de medida, pero sí pueden aparecer sobretensiones transitorias conducidas que se originan a causa de efectos inducti-

vos en el caso de impactos directos de rayo en el sistema de puntas captadoras aisladas.

Para garantizar en todo momento una transmisión constante y libre de perturbaciones de los datos técnicos de medida a la unidad de control, es necesario llevar los cables de los sensores que entran en el edificio a través de dispositivos de protección contra sobretensiones (**Tabla 9.18.2.2**). Al elegir los dispositivos de protección hay que asegurarse de que no se produzca ninguna interferencia o fallo en los valores de medida. Igualmente tiene que asegurarse la posterior transmisión de los datos técnicos de medida por módem RDSI a través de la red de telecomunicaciones para poder realizar un control permanente y una optimización de las prestaciones de la instalación. Para ello se protege el *interface* U_{KO} por delante del NTBA al que está conectado el módem RDSI mediante el correspondiente dispositivo de protección contra sobretensiones. Con este protector se garantiza también el suministro de 230 V del NTBA.



MANUAL DE, PROTECCIÓN I N T E G R A L CONTRA RAYOS.

WWW.AUTODIDACTA.INFO