

Diciembre 2011

TÍTULO

Protección contra el rayo

Parte 3: Daño físico a estructuras y riesgo humano

Protection against lightning. Part 3: Physical damages to structures and life hazard.

Protection contre la foudre. Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 62305-3:2011, que a su vez adopta la Norma Internacional IEC 62305-3:2010, modificada.

OBSERVACIONES

Esta norma anulará y sustituirá a las Normas UNE-EN 62305-3:2008, UNE-EN 62305-3:2008 CORR:2009 y UNE-EN 62305-3:2008/A11:2009 antes de 2014-01-02.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 207 *Transporte y distribución de energía eléctrica* cuya Secretaría desempeña UNESA.

Versión en español

Protección contra el rayo
Parte 3: Daño físico a estructuras y riesgo humano
(IEC 62305-3:2010, modificada)

Protection against lightning.
Part 3: Physical damages to structures and life hazard.
(IEC 62305-3:2010, modified)

Protection contre la foudre.
Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains.
(CEI 62305-3:2010, modifiée)

Blitzschutz.
Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen.
(IEC 62305-3:2010, modifiziert)

Esta norma europea ha sido aprobada por CENELEC el 2011-01-02. Los miembros de CENELEC están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CENELEC, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CENELEC en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CENELEC son los comités electrotécnicos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

CENELEC
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN ELECTROTÉCNICA
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
SECRETARÍA CENTRAL: Avenue Marnix, 17-1000 Bruxelles

PRÓLOGO

El texto de la Norma Internacional IEC 62305-3:2010, preparado por el Comité Técnico TC 81, *Protección contra el rayo*, de IEC, junto con las modificaciones comunes preparadas por el Comité Técnico TC 81X, *Protección contra el rayo*, de CENELEC, fue sometido a voto formal y fue aprobado por CENELEC como Norma Europea EN 62305-3 el 2011-01-02.

Esta norma sustituye a la Norma Europea EN 62305-3:2006 + corr. nov. 2006 + corr. sep. 2008 + A11:2009.

Esta Norma EN 62305-3:2011 incluye los siguientes cambios técnicos significativos con respecto a la Norma EN 62305-3:2006 + corr. nov. 2006 + corr. sep. 2008 + A11:2009:

- 1) El espesor mínimo de las láminas metálicas o de las tuberías metálicas dada en la tabla 3 para sistemas de captación no se considera apto para prevenir los problemas de los puntos calientes.
- 2) Se introduce el acero con depósitos electrolíticos de cobre como material adecuado para SPCR.
- 3) Se han modificado ligeramente algunas secciones de los conductores del SPCR.
- 4) Para conexiones, los explosores aislantes se utilizan para instalaciones metálicas y los DPS para los sistemas internos.
- 5) Se dan dos métodos - simplificado y detallado - para la evaluación de la distancia de separación.
- 6) Las medidas de protección contra daños en los seres vivos producidos por choques eléctricos se consideran también dentro de la estructura.
- 7) En el anexo D (normativo) se da información mejorada para la SPCR en el caso de estructuras con riesgo de explosión.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento estén sujetos a derechos de patente. CEN y CENELEC no son responsables de la identificación de dichos derechos de patente.

Se fijaron las siguientes fechas:

- Fecha límite en la que la norma europea debe adoptarse a nivel nacional por publicación de una norma nacional idéntica o por ratificación (dop) 2012-01-02
- Fecha límite en la que deben retirarse las normas nacionales divergentes con esta norma (dow) 2014-01-02

DECLARACIÓN

El texto de la Norma Internacional IEC 62305-3:2010 fue aprobado por CENELEC como norma europea con modificaciones comunes que se han incluido en el texto de esta norma indicándose con una línea vertical en el margen izquierdo del texto.

En la versión oficial, para la bibliografía, debe añadirse la siguiente nota para la norma indicada*:

[2] IEC 60400-24 NOTA Armonizada como Norma EN 61400-24.

* Introducida en la norma indicándose con una línea vertical en el margen izquierdo del texto.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	10
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	11
2 NORMAS PARA CONSULTA.....	11
3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES	12
4 SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (SPCR)	15
4.1 Clases de SPCR	15
4.2 Diseño del SPCR.....	16
4.3 Continuidad de la armadura metálica en estructuras de hormigón armado.....	16
5 SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNA CONTRA EL RAYO.....	17
5.1 Generalidades	17
5.1.1 Aplicación de un SPCR externo.....	17
5.1.2 Elección de un SPCR externo.....	17
5.1.3 Empleo de componentes naturales.....	17
5.2 Sistemas de captadores	17
5.2.1 Generalidades	17
5.2.2 Colocación.....	18
5.2.3 Dispositivos de captación contra descargas laterales en estructuras elevadas.....	19
5.2.4 Construcción.....	20
5.2.5 Componentes naturales	20
5.3 Sistema de conductores de bajada	21
5.3.1 Generalidades	21
5.3.2 Colocación de un SPCR aislado	22
5.3.3 Colocación de un SPCR no aislado	22
5.3.4 Construcción.....	22
5.3.5 Componentes naturales	23
5.3.6 Junta de unión	24
5.4 Sistemas de puesta a tierra	24
5.4.1 Generalidades	24
5.4.2 Disposiciones de puestas a tierra en condiciones generales	24
5.4.3 Instalación de los electrodos de tierra	26
5.4.4 Electrodo de tierra naturales.....	26
5.5 Componentes	27
5.5.1 Generalidades	27
5.5.2 Fijaciones	28
5.5.3 Conexiones	28
5.6 Materiales y dimensiones.....	29
5.6.1 Materiales	29
5.6.2 Dimensiones	29

6	SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNA CONTRA EL RAYO	30
6.1	Generalidades	30
6.2	Conexiones equipotenciales del rayo	31
6.2.1	Generalidades	31
6.2.2	Conexiones equipotenciales en instalaciones metálicas.....	31
6.2.4	Conexiones equipotenciales para los sistemas internos.....	33
6.2.5	Conexiones equipotenciales para las líneas conectadas a la estructura a proteger	33
6.3	Aislamiento eléctrico del SPCR externo.....	34
6.3.1	Generalidades	34
6.3.2	Aproximación simplificada.....	35
6.3.3	Aproximación detallada.....	35
7	MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE UN SPCR	36
7.1	Generalidades	36
7.2	Aplicación de las inspecciones	36
7.3	Orden de las inspecciones	36
7.4	Mantenimiento	36
8	MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LOS DAÑOS A SERES VIVOS DEBIDOS A LAS TENSIONES DE CONTACTO Y DE PASO	37
8.1	Medidas de protección contra las tensiones de contacto.....	37
8.2	Medidas de protección contra las tensiones de paso	37
ANEXO A (Normativo)	COLOCACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN	38
ANEXO B (Normativo)	SECCIÓN MÍNIMA DE LAS PANTALLAS DE LOS CABLES QUE ENTRAN EN LA ESTRUCTURA, CON EL FIN DE EVITAR CHISPAS PELIGROSAS	44
ANEXO C (Informativo)	EVALUACIÓN DE LA DISTANCIA DE SEPARACIÓN S	45
ANEXO D (Normativo)	INFORMACIÓN ADICIONAL PARA LOS SPCR EN EL CASO DE ESTRUCTURAS CON RIESGO DE EXPLOSIÓN	51
ANEXO E (Informativo)	GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE LOS SPCR	58
BIBLIOGRAFÍA		155
Figura 1	Ángulos de protección correspondientes a las clases de los SPCR	19
Figura 2	Bucle en un conductor de bajada	23
Figura 3	Longitud mínima l_1 de cada electrodo de tierra en función de la clase del SPCR	25
Figura A.1	Volumen protegido por una punta vertical	38
Figura A.2	Volumen protegido por una punta vertical	39
Figura A.3	Volumen protegido por un cable horizontal	39
Figura A.4	Volumen protegido por cables aislados formando una malla según el método del ángulo de protección y el de la esfera rodante	40
Figura A.5	Volumen protegido por cables no aislados formando una malla según el método de la malla y del ángulo de protección	41

Figura A.6	Diseño de un sistema de captación de acuerdo con el método de la esfera rodante.....	42
Figura C.1	Valores del coeficiente k_c en el caso de un sistema de captación tipo cable	45
Figura C.2	Valores del coeficiente k_c en el caso de un sistema de múltiples conductores de bajada	46
Figura C.3	Valores del coeficiente k_c en el caso de tejados inclinados con captadores en el caballete	48
Figura C.4	Ejemplos de cálculo de distancias de separación en el caso de múltiples conductores de bajada con un anillo de interconexión en cada nivel.....	49
Figura C.5	Valores de los coeficientes k_c en el caso de sistemas de captación tipo malla, con sistemas de múltiples conductores de bajada	50
Figura E.1	Diagrama de diseño de un SPCR.....	59
Figura E.2	Diseño de un SPCR para una estructura con voladizo.....	65
Figura E.3	Medida de la resistencia eléctrica total.....	66
Figura E.4	Equipotencialidad en una estructura con armadura de acero.....	68
Figura E.5	Métodos típicos de unir las barras en el hormigón (cuando se permita)	69
Figura E.6	Ejemplo de uniones mediante abrazadera entre las barras de la armadura y los conductores.....	70
Figura E.7	Ejemplos de puntos de conexión a las barras de la armadura en una pared de hormigón armado	71
Figura E.8	Empleo de la cubierta metálica de la fachada como conductor natural y conexión de los soportes de la fachada.....	75
Figura E.9	Conexión de las tiras de la ventana a la cubierta metálica de la fachada	76
Figura E.10	Conductores de bajada internos en estructuras industriales	79
Figura E.11	Instalación de conductores de equipotencialidad en estructuras de hormigón armado y uniones flexibles entre dos partes de hormigón armado	81
Figura E.12	Diseño de un SPCR según el método del ángulo para diferentes alturas según la tabla 2	84
Figura E.13	SPCR externo aislado diseñado según el método del ángulo de protección mediante dos mástiles de captación aislados	86
Figura E.14	SPCR externo aislado con dos mástiles de captación aislados interconectados con un conductor horizontal	87
Figura E.15	Ejemplo de diseño de un SPCR no aislado mediante puntas de captación.....	88
Figura E.16	Ejemplo de diseño de un SPCR no aislado mediante un cable horizontal de captación de acuerdo con el método del ángulo de protección	89
Figura E.17	Volumen de protección de una punta captadora en una superficie inclinada empleando el método del ángulo de protección.....	90
Figura E.18	Diseño de una red de dispositivos de captación de un SPCR en una red con forma compleja	91
Figura E.19	Diseño de un sistema de captación de un SPCR de acuerdo con el método de la esfera rodante, con el método del ángulo de protección, con el método de la malla y disposición general de los dispositivos de captación.....	92
Figura E.20	Espacio protegido por un sistema de captación formado por dos cables horizontales paralelos o por dos puntas ($r > h_t$)	93
Figura E.21	Tres ejemplos del diseño de sistemas captadores aislados de acuerdo con el método de la malla	96

Figura E.22	Cuatro ejemplos de los detalles de un SPCR en una estructura con tejado de tejas inclinado.....	98
Figura E.23	Sistema de captación con cables ocultos en edificios de menos de 20 m de altura y con tejados inclinados	99
Figura E.24	Construcción de un SPCR empleando componentes naturales del tejado de la estructura	101
Figura E.25	Colocación de un SPCR externo en una estructura hecha de materiales aislantes, por ejemplo, madera o ladrillos, con una altura máxima de 60 m, con tejado plano y fijaciones en el tejado.....	102
Figura E.26	Construcción de una red de captación en un tejado con recubrimiento metálico en el que no es aceptable una perforación de la cubierta.....	103
Figura E.27	Construcción de un SPCR externo en una estructura de hormigón armado utilizando los refuerzos de las paredes exteriores como componentes naturales	104
Figura E.28	Ejemplo de un captador tipo botón empleado en los tejados de los aparcamientos.....	105
Figura E.29	Punta de captación empleada para la protección de un elemento metálico del tejado con instalaciones eléctricas de potencia sin conexión equipotencial al sistema de captación	106
Figura E.30	Método para conseguir la continuidad eléctrica en el revestimiento metálico del parapeto.....	107
Figura E.31	Fijación metálica del tejado protegida contra los impactos directos, conectada al dispositivo de captación.....	110
Figura E.32	Ejemplos de protección de una casa con antena de TV	113
Figura E.33	Instalación de la protección contra las descargas directas del rayo de un equipo metálico situado en el tejado.....	114
Figura E.34	Conexión de una punta de captación natural a los conductores del sistema de captación.....	116
Figura E.35	Construcción de un puentado entre segmentos de las placas metálicas de la fachada.....	117
Figura E.36	Instalación de un SPCR externo en una estructura de materiales aislantes y distintos niveles de tejados	120
Figura E.37	Cinco ejemplos de geometrías de conductores de un SPCR.....	121
Figura E.38	Construcción de un SPCR empleando solamente dos conductores de bajada y los electrodos de la cimentación.....	122
Figura E.39	Cuatro ejemplos de conexiones de los terminales de puesta a tierra de a los SPCR de estructuras empleando conductores naturales de bajada (vigas) y detalle de las juntas de unión.....	126
Figura E.40	Construcción de un electrodo de cimentación en anillo en estructuras con diferentes tipos de cimentaciones	130
Figura E.41	Ejemplo de dos picas de tierra verticales en una disposición de tierra tipo A.....	132
Figura E.42	Sistema mallado de puesta a tierra en una planta	135
Figura E.43	Ejemplo de una conexión equipotencial.....	142
Figura E.44	Ejemplo de una disposición equipotencial en una estructura con múltiples puntos de entrada de elementos conductores externos, mediante el empleo de un electrodo en anillo que interconecta las barras equipotenciales.....	144

Figura E.45	Ejemplo de conexión equipotencial en el caso de múltiples puntos de entrada de elementos conductores externos y una línea de potencia eléctrica o de comunicación, mediante el empleo de un anillo interno de interconexión de las barras equipotenciales	145
Figura E.46	Ejemplo de una disposición equipotencial en una estructura con múltiples puntos de entrada de elementos conductores externos que entran por encima del nivel del suelo	146
Figura E.47	Direcciones para los cálculos de la distancia s desde el punto de referencia, según el apartado 6.3, en el peor caso en el que el punto de intercepción está a una distancia l,.....	148
Tabla 1	Relación entre los niveles de protección contra el rayo (NPR) y las clases de los SPCR (véase la Norma EN 62305-1).....	15
Tabla 2	Valores máximos del radio de la esfera rodante, del tamaño de la malla y del ángulo de protección, para cada clase de SPCR	18
Tabla 3	Espesores mínimos de las chapas metálicas o de las tuberías metálicas en los sistemas de captación.....	21
Tabla 4	Valores típicos preferentes de distancias entre los conductores de bajada en función de la clase del SPCR.....	22
Tabla 5	Materiales de los SPCR y condiciones de empleo ^a	28
Tabla 6	Materiales, configuraciones y dimensiones mínimas de las secciones de los conductores y de las puntas de los sistemas de captación, así como las de los conductores de bajada^a	29
Tabla 7	Materiales, configuraciones y dimensiones mínimas de los electrodos de puesta a tierra^{a, c}	30
Tabla 8	Dimensiones mínimas de los conductores que conectan las diferentes barras equipotenciales o que conectan las barras equipotenciales con el sistema de puesta a tierra	32
Tabla 9	Dimensiones mínimas de los conductores que conectan las instalaciones metálicas internas a las barras equipotenciales	32
Tabla 10	Aislamiento del sistema externo del SPCR – Valores del coeficiente k_i.....	34
Tabla 11	Aislamiento del sistema externo del SPCR – Valores del coeficiente k_m.....	35
Tabla 12	Aislamiento externo de un SPCR – Valores aproximados del coeficiente k_c.....	35
Tabla B.1	Longitud del cable a considerar según las condiciones de la pantalla	44
Tabla E.1	Puntos de fijación sugeridos	97
Tabla E.2	Períodos máximos entre inspecciones de un SPCR	150

INTRODUCCIÓN

Esta parte de la Norma EN 62305 trata, en el interior y en los alrededores de una estructura, de la protección de los seres vivos contra los daños físicos y contra los riesgos debidos a las tensiones de paso y de contacto.

Se considera que el sistema de protección contra el rayo (SPCR), formado, normalmente, por un sistema externo y otro interno es la principal y más efectiva medida de protección de las estructuras contra los daños físicos.

Un SPCR externo tiene como fin:

- a) interceptar las descargas de los rayos en la estructura (mediante un sistema de captadores);
- b) conducir, con seguridad, la corriente del rayo a tierra (mediante un sistema de conductores de bajada);
- c) dispersar la corriente del rayo en tierra (mediante un sistema de puesta a tierra).

Un SPCR interno previene de los riesgos, en el interior de la estructura, debidos a chispas peligrosas, mediante conexiones equipotenciales o mediante distancias de separación (y por tanto, mediante un aislamiento eléctrico) entre los componentes externos del SPCR (tal como se define en 3.2) y otros elementos conductores que se encuentran en el interior de la estructura.

Las principales medidas de protección contra los daños a los seres vivos por tensiones de contacto y de paso están destinadas a:

- 1) reducir la corriente peligrosa que circula a través de los cuerpos, bien aislando las partes conductoras expuestas y/o aumentando la resistividad de la superficie del suelo;
- 2) reducir la posibilidad de que se produzcan tensiones de contacto y de paso peligrosas mediante el empleo de restricciones de acceso y/o de carteles de advertencia.

En el diseño inicial de una nueva estructura debería seleccionarse cuidadosamente el tipo y la situación del SPCR, al objeto de conseguir sacar el mayor provecho a las partes conductoras de la estructura. De esta forma, se facilita el diseño y construcción de una instalación integrada, se puede mejorar su aspecto estético en general y se puede aumentar la eficacia del SPCR con un esfuerzo y coste mínimos.

Una vez que en un lugar determinado han comenzado los trabajos de construcción, puede ser imposible el acceso al terreno y a la armadura metálica de la cimentación para formar una instalación de puesta a tierra efectiva. Por esta razón, en la primera etapa del proyecto en la que sea posible debería tenerse en cuenta la resistividad y la naturaleza del terreno. Esta información es fundamental para el diseño del sistema de puesta a tierra y puede influir en el diseño de la cimentación de la estructura.

Para obtener el mejor resultado al mínimo coste, son fundamentales las consultas, realizadas de manera regular, entre los proyectistas y los instaladores del SPCR, los arquitectos y los constructores.

Si a una estructura ya existente se va a añadir una protección contra rayos, deberían hacerse esfuerzos para asegurar que es conforme con los principios de esta norma. El diseño del tipo y el emplazamiento de un SPCR deberían tener en cuenta las características de la estructura existente.

Protección contra el rayo

Parte 3: Daño físico a estructuras y riesgo humano

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la Norma EN 62305 proporciona los requisitos para la protección de una estructura contra los daños físicos mediante un sistema de protección contra rayos (SPCR), así como para la protección por lesiones a los seres vivos debidas a las tensiones de contacto y de paso en las proximidades de un SPCR (véase la Norma EN 62305-1).

Esta norma es aplicable a:

- a) el diseño, instalación, inspección y mantenimiento de un SPCR para estructuras sin limitación de altura;
- b) la implantación de medidas de protección contra daños a los seres vivos por tensiones de contacto y de paso.

NOTA 1 Están en estudio los requisitos específicos de un SPCR para estructuras peligrosas para su entorno por riesgo de explosión. Mientras tanto, en el anexo D se da información adicional sobre el tema.

NOTA 2 Esta parte de la Norma EN 62305 no está destinada a proporcionar protección contra los fallos de los sistemas eléctricos y electrónicos producidos por sobretensiones. Los requisitos específicos para tales casos se encuentran en la Norma EN 62305-4.

NOTA 3 En la Norma IEC 61400-24 se indican los requisitos específicos para la protección contra el rayo de aerogeneradores^[2].

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

EN 50164-1 *Componentes de protección contra el rayo (CPCR). Parte 1: Requisitos para los componentes de conexión.*

EN 50164-2 *Componentes de protección contra el rayo (CPCR). Parte 2: Requisitos para los conductores y electrodos de tierra.*

EN 50164-3 *Componentes de protección contra el rayo (CPCR). Parte 3: Requisitos para los descargadores de aislamiento.*

EN 50164-4 *Componentes de protección contra el rayo (CPCR). Parte 4: Requisitos para las fijaciones del conductor.*

EN 50164-5 *Componentes de protección contra el rayo (CPCR). Parte 5: Requisitos para las arquetas de inspección de los electrodos de tierra y para el sellado de los electrodos de tierra.*

EN 50164-6 *Componentes de protección contra el rayo (CPCR). Parte 6: Requisitos para los contadores de impactos de rayos.*

EN 50164-7 *Componentes de protección contra el rayo (CPCR). Parte 7: Requisitos para los compuestos que mejoran las puestas a tierra.*

NOTA Las Normas de la serie EN 50164 se sustituirán por la serie de Normas EN 62561. Las normas de la serie EN 50164 serán válidas durante 72 meses a partir de la fecha de publicación de cada parte de la serie EN 50164.

EN 60079-10-1:2009 *Atmósferas explosivas. Parte 10-1: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas gaseosas (IEC 60079-10-1:2008).*

EN 60079-10-2:2009 *Atmósferas explosivas. Parte 10-2: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas de polvo (IEC 60079-10-2:2009).*

EN 60079-14:2008 *Atmósferas explosivas. Parte 14: Diseño, elección y realización de las instalaciones eléctricas (IEC 60079-14:2007).*

EN 61557-4 *Seguridad eléctrica en redes de distribución de baja tensión hasta 1 000 V c.a. y 1 500 V c.c. Equipos para ensayo, medida o vigilancia de las medidas de protección. Parte 4: Resistencia de los conductores de puesta a tierra y conexiones de equipotencialidad (IEC 61557-4).*

EN 61643-11 *Pararrayos de baja tensión. Parte 11: Pararrayos conectados a sistemas eléctricos de baja tensión. Requisitos y ensayos (IEC 61643-11).*

EN 61643-21 *Pararrayos de baja tensión. Parte 21: Pararrayos conectados a redes de telecomunicaciones y de transmisión de señales. Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo (IEC 61643-21).*

EN 62305-1:2011 *Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales (IEC 62305-1:2010, modificada).*

EN 62305-2:2011 *Protección contra el rayo. Parte 2: Evaluación del riesgo (IEC 62305-2:2010, modificada).*

EN 62305-4:2011 *Protección contra el rayo. Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras (IEC 62305-4:2010, modificada).*

EN 62561 serie ¹⁾ *Requisitos para los componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR) (IEC 62561 series).*

EN 62561-1 ²⁾ *Requisitos para los componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 1: Requisitos de los componentes de conexión (IEC 62561).*

EN 62561-3 ²⁾ *Requisitos para los componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 3: Requisitos para explosores aislantes (IEC 62561-3).*

ISO 3864-1 *Símbolos gráficos. Colores y señales de seguridad. Parte 1: Principios de diseño para señales de seguridad en zonas de trabajo y en zonas públicas.*

3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los fines de este documento se aplican los siguientes términos y definiciones, aunque algunos se han citado ya en la Parte 1, se repiten aquí para mayor facilidad de referencia, así como los que se encuentran en las otras partes de la Norma EN 62305.

3.1 sistema de protección contra el rayo, SPCR:

Instalación completa destinada a reducir los peligros de daños físicos debidos a los impactos directos de los rayos en una estructura.

NOTA Está formado por un sistema externo y por un sistema interno de protección contra el rayo.

3.2 sistema externo de protección contra el rayo:

Parte del SPCR formado por un sistema de captadores, un sistema de conductores de bajada y un sistema de toma de tierra.

3.3 SPCR externo aislado de la estructura a proteger:

SPCR con un sistema de captadores y un sistema de conductores de bajada posicionados de tal manera que el trayecto de la corriente del rayo no tiene contacto con la estructura a proteger.

NOTA En un SPCR aislado se impiden las chispas peligrosas entre el SPCR y la estructura.

1) En preparación.

2) En fase de proyecto.

3.4 SPCR externo no aislado de la estructura a proteger:

SPCR con un sistema de captadores y un sistema de conductores de bajada posicionados de tal manera que el trayecto de la corriente del rayo puede tener contacto con la estructura a proteger.

3.5 sistema interno de protección contra el rayo:

Parte del SPCR formado por conexiones equipotenciales y/o por aislamiento eléctrico del SPCR externo.

3.6 sistema de captadores:

Parte de un SPCR externo formado por elementos metálicos tales como puntas, mallas o hilos de catenaria destinados a interceptar las descargas del rayo.

3.7 sistema de conductores de bajada:

Parte de un SPCR externo cuya misión es conducir la corriente del rayo desde el dispositivo de captación al sistema de puesta a tierra.

3.8 anillo conductor:

Conductor que forma un bucle alrededor de la estructura interconectando los conductores de bajada para distribuir entre ellos la corriente del rayo.

3.9 sistema de puesta a tierra:

Parte de un SPCR externo destinado a conducir y dispersar la corriente del rayo en el terreno.

3.10 electrodo de puesta a tierra:

Elemento o conjunto de elementos del sistema de puesta a tierra que proporcionan un contacto eléctrico directo con el terreno, dispersando la corriente del rayo en él.

3.11 electrodo de puesta a tierra en anillo:

Electrodo de puesta a tierra que forma un bucle cerrado alrededor de la estructura y está situado por debajo o en la superficie del terreno.

3.12 electrodo de puesta a tierra de la cimentación:

Parte conductora enterrada en el terreno debajo de una cimentación del edificio o, preferible, embebida en el hormigón de una cimentación formando, generalmente, un bucle cerrado.

[IEC 60050-826:2004, 826-13-08]^[3]

3.13 impedancia convencional de tierra:

Relación entre el valor cresta de la tensión y el valor cresta de la corriente en la conexión a tierra que, por lo general, no aparecen simultáneamente.

3.14 potencial de la toma de tierra:

Diferencia de potencial entre el sistema de puesta a tierra y una tierra remota.

3.15 componentes naturales de un SPCR:

Componentes conductores no instalados específicamente para la protección contra el rayo, pero que pueden utilizarse como complemento del SPCR o que, en algunos casos, podrían cumplir las funciones de una o más partes del SPCR.

NOTA Ejemplos de estos componentes son:

- sistemas de captación naturales;
- conductores de bajada naturales;
- electrodos de puesta a tierra naturales.

3.16 componente de conexión:

Parte de un SPCR externo que se emplea para conectar los conductores entre sí o a las instalaciones metálicas, como se define en la serie de Normas EN 50164.

NOTA Están también comprendidos los elementos de puenteo y las piezas de expansión.

3.17 componente de fijación:

Parte de un SPCR externo que se emplea para fijar los elementos del SPCR a la estructura a proteger, como se define en la serie de Normas EN 50164.

3.18 instalaciones metálicas:

Elementos metálicos que se encuentran extendidos a lo largo de la estructura a proteger y por los que puede circular la corriente del rayo, tales como tuberías, escaleras, guías de ascensores, conductos de ventilación, calefacción y aire acondicionado, la armadura metálica interconectada y partes metálicas estructurales.

3.19 partes conductoras externas:

Elementos metálicos extendidos a lo largo de la estructura a proteger y que entran y salen de ella, tales como tuberías, elementos de cables metálicos, conductos metálicos, etc. que pueden conducir una parte de la corriente del rayo.

3.20 sistema eléctrico:

Sistema eléctrico que incorpora componentes de alimentación en baja tensión.

3.21 sistema electrónico:

Sistema formado por componentes electrónicos sensibles, tales como equipos de telecomunicación, ordenadores, sistemas de control e instrumentación, de radio e instalaciones de electrónica de potencia.

3.22 sistemas internos:

Sistemas eléctricos y electrónicos que se encuentran dentro de una estructura.

3.23 conexión equipotencial contra el rayo, EB:

Conexión al SPCR de partes conductoras separadas, bien por conexión directa o bien vía dispositivos de protección contra sobretensiones, para reducir las diferencias de potencial producidas por el rayo.

3.24 barra equipotencial:

Barra metálica en la que se pueden conectar, a un SPCR, las instalaciones metálicas, las partes conductoras externas, las líneas de potencia y de telecomunicación, y otros cables.

3.25 conductor equipotencial:

Conductor que conecta partes conductoras separadas de un SPCR.

3.26 armadura de acero interconectada:

Armadura de acero en el interior de una estructura de hormigón que se considera eléctricamente continua.

3.27 chispa peligrosa:

Descarga eléctrica producida por el rayo que causa daños físicos en la estructura a proteger.

3.28 distancia de separación:

Distancia entre dos partes conductoras a la que no puede producirse una chispa peligrosa.

3.29 dispositivo de protección contra ondas transitorias, DPS:

Dispositivo destinado a limitar las ondas transitorias y evacuar las ondas transitorias de corriente. Contiene, al menos, un componente no lineal.

3.30 junta de unión:

Junta diseñada para facilitar los ensayos y las medidas eléctricas de los componentes de un SPCR.

3.31 clase de un SPCR:

Número que designa la clasificación de un SPCR según el nivel de protección contra el rayo para el que se ha diseñado.

3.32 proyectista de protección contra el rayo:

Especialista competente y experto en el diseño de SPCR.

3.33 instalador de protección contra el rayo:

Persona competente y experta en la instalación de SPCR.

3.34 estructuras con riesgo de explosión:

Estructuras que contienen materiales explosivos sólidos o zonas peligrosas determinadas según las Normas IEC 60079-10-1 e IEC 60079-10-2.

3.35 explosores:

Componentes con distancia de descarga aislada de las secciones de las instalaciones conductoras.

NOTA En el caso de que un rayo impacte, las secciones de las instalaciones están conectadas temporalmente como consecuencia de la respuesta a la descarga.

3.36 interfases aislantes:

Dispositivos capaces de reducir las sobretensiones transitorias conducidas en las líneas que entran en ZPR.

NOTA 1 Estos incluyen transformadores de aislamiento con pantalla entre arrollamientos puesta a tierra, cables de fibra óptica no metálicas, aisladores ópticos.

NOTA 2 Las características del aislamiento soportado por estos aparatos son apropiados para su aplicación directa o vía DPS.

4 SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (SPCR)**4.1 Clases de SPCR**

Las características de un SPCR se determinan por las de la estructura a proteger y teniendo en cuenta el nivel de protección contra el rayo.

En esta norma se definen cuatro clases de SPCR (I a IV) que se corresponden con los niveles de protección definidos en la Norma EN 62305-1 (véase la tabla 1).

Tabla 1 – Relación entre los niveles de protección contra el rayo (NPR) y las clases de los SPCR (véase la Norma EN 62305-1)

NPR	Clase del SPCR
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Cada clase del SPCR se caracteriza por lo siguiente:

a) Datos que dependen de la clase del SPCR:

- parámetros del rayo (véanse las tablas 3 y 4 de la Norma EN 62305-1:2010);
- radio de la esfera rodante, tamaño de la malla y ángulo de protección (véase 5.2.2);
- distancias preferentes típicas entre los conductores de bajada y entre los anillos conductores (véase 5.3.3);
- distancia de separación para evitar la formación de chispas peligrosas (véase 6.3);
- longitud mínima de los electrodos de tierra (véase 5.4.2).

b) Factores que no dependen de la clase del SPCR:

- conexiones equipotenciales (véase 6.2);
- espesores mínimos de las chapas o de las tuberías metálicas en los sistemas de captación (véase 5.2.5);
- materiales y condiciones de empleo en los SPCR (véase 5.5.1);
- materiales, configuraciones y dimensiones mínimas de los captadores, conductores de bajada y tomas de tierra (véase 5.6);
- dimensiones mínimas de los conductores de conexión (véase 6.2.2).

| Las características de cada clase de SPCR están indicadas en el anexo B de la Norma EN 62305-2:2010.

| La clase del SPCR requerido debe seleccionarse en base a la evaluación del riesgo (véase la Norma EN 62305-2).

4.2 Diseño del SPCR

Es posible un diseño optimizado, técnica y económicamente, de un SPCR, especialmente si las etapas de diseño y construcción del SPCR están coordinadas con las etapas de diseño y construcción de la estructura a proteger. En particular, el diseño de la propia estructura debería emplear las partes metálicas de la estructura como partes del SPCR.

En estructuras existentes, el diseño de la clase y la localización del SPCR deben tener en cuenta las limitaciones correspondientes a la situación existente.

La documentación de diseño del SPCR debe contener toda la información necesaria para asegurar una instalación completa y correcta. Véase el anexo E para información más detallada.

El SPCR debería diseñarse e instalarse por diseñadores e instaladores expertos (véase E.4.2).

4.3 Continuidad de la armadura metálica en estructuras de hormigón armado

La armadura metálica en el interior de las estructuras de hormigón armado se considera eléctricamente continua siempre que la mayor parte de las barras de interconexión, tanto verticales como horizontales, estén soldadas o unidas de manera segura. Las conexiones de las barras verticales deben estar soldadas, grapadas o superpuestas al menos 20 veces su diámetro y atadas o unidas de una manera segura (véase la figura E.5). En estructuras nuevas, las conexiones entre los elementos de refuerzo deben especificarse por el proyectista o instalador, en cooperación con el constructor y el ingeniero.

En estructuras en las que se empleen hormigón armado (incluyendo armaduras de hormigón armado prefabricado y pretensado), debe medirse la continuidad eléctrica de las barras de refuerzo entre la parte superior y el nivel de tierra. La resistencia eléctrica total, medida mediante un equipo apropiado, no debería ser superior a $0,2 \Omega$. Si no se consigue este valor o no es práctico realizar el ensayo, no debe emplearse la armadura del hormigón como conductor de bajada natural como se expone en el apartado 5.3.5. En este caso se recomienda instalar un sistema externo de conductores de bajada. En el caso de estructuras prefabricadas de hormigón armado, la continuidad eléctrica del acero de refuerzo debe establecerse entre las unidades individuales adyacentes de hormigón prefabricado.

NOTA 1 Para más información sobre la continuidad de las armaduras en estructuras de hormigón armado, véase el anexo E.

NOTA 2 Cuando la continuidad de la armadura metálica en el hormigón se intenta hacer mediante grapas, deberían emplearse grapas especialmente diseñadas que cumplan y se ensayen de acuerdo con la Norma EN 50164-1.

NOTA 3 Las grapas para establecer la continuidad de las barras de acero en el hormigón armado deberían cumplir con la futura Norma EN 50164-1.

5 SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNA CONTRA EL RAYO

5.1 Generalidades

5.1.1 Aplicación de un SPCR externo

La parte externa de un SPCR tiene como objeto interceptar las descargas directas de rayos a la estructura, incluyendo las descargas laterales, y conducir la corriente del rayo desde el punto de impacto a tierra. La parte externa también tiene como objeto dispersar la corriente en tierra sin que se produzcan daños térmicos o mecánicos, ni chispas peligrosas que puedan dar lugar a incendios o explosiones.

5.1.2 Elección de un SPCR externo

En la mayoría de los casos el SPCR externo puede fijarse a la estructura a proteger.

Debería considerarse un SPCR externo aislado cuando los efectos térmicos y explosivos en el punto de impacto, o en los conductores que llevan la corriente, pueden producir daños en la estructura o en su contenido (véase el anexo E). Ejemplos típicos incluyen estructuras con cubiertas inflamables, estructuras con paredes combustibles y zonas con riesgo de explosión e incendio.

NOTA El empleo de un SPCR externo aislado puede ser conveniente cuando se prevean cambios en la estructura, en su contenido o en su uso que requerirían modificaciones en el SPCR.

También puede considerarse un SPCR externo aislado cuando la susceptibilidad de los contenidos garantiza una reducción del campo electromagnético radiado por el impulso de corriente del rayo al pasar por el conductor de bajada.

5.1.3 Empleo de componentes naturales

Pueden emplearse como partes de un SPCR los componentes naturales fabricados con materiales conductores, que permanecerán siempre en la estructura y que no se modificarán (por ejemplo, armaduras de acero interconectadas, estructuras metálicas, etc.).

Otros componentes naturales pueden considerarse como adicionales al SPCR.

NOTA Para más información véase el anexo E.

5.2 Sistemas de captadores

5.2.1 Generalidades

La probabilidad de que una corriente del rayo penetre en una estructura disminuye de manera notoria con la presencia de un sistema de captadores debidamente diseñado.

Los sistemas de captadores pueden estar formados por cualquier combinación de los elementos siguientes:

- a) puntas (incluidos mástiles separados);
- b) cables de catenaria;
- c) conductores mallados.

Para estar conformes con esta norma, todos los sistemas de captación deben colocarse de acuerdo con los apartados 5.2.2, 5.2.3 y el anexo A. Todos los tipos de captadores deben cumplir completamente con esta norma.

Para determinar el volumen a proteger, en cualquier tipo de captador solo debe usarse la dimensión real de su parte metálica.

Los captadores individuales tipos punta deberían conectarse entre sí a nivel del techo para asegurar la división de la corriente.

Los terminales radioactivos no están permitidos.

5.2.2 Colocación

Los captadores instalados en una estructura deben colocarse en las esquinas, en los puntos salientes y en los ángulos (especialmente en la parte superior de las fachadas) de acuerdo con uno o varios de los siguientes métodos.

Los métodos aceptados para determinar la posición de los captadores incluyen:

- el método del ángulo de protección;
- el método de la esfera rodante;
- el método de la malla.

El método de la esfera rodante es apropiado en todos los casos.

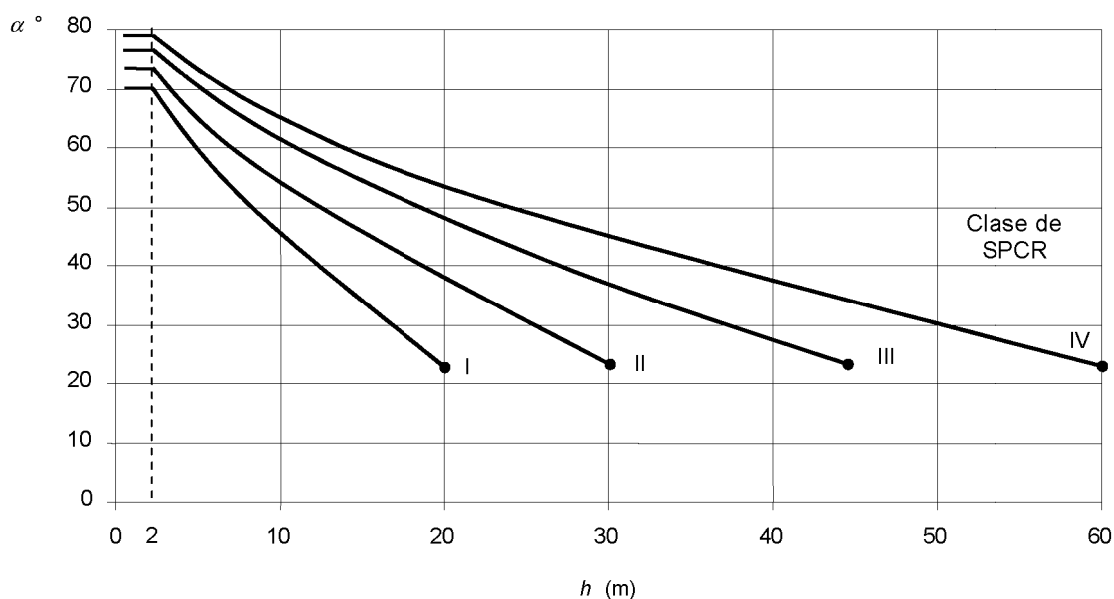
El método del ángulo de protección es adecuado para edificios con formas simples, pero está sometido a limitaciones por la altura del sistema de captación indicadas en la tabla 2).

El método de la malla es de aplicación cuando se van a proteger superficies planas.

Los valores del ángulo de protección, del radio de la esfera rodante y del tamaño de la malla para cada clase de SPCR están indicados en la tabla 2 y en la figura 1. En el anexo A se da información detallada relativa al posicionamiento del sistema de captación.

Tabla 2 – Valores máximos del radio de la esfera rodante, del tamaño de la malla y del ángulo de protección, para cada clase de SPCR

Clase de SPCR	Método de protección		
	Radio de la esfera rodante r m	Tamaño de la malla w_m m	Ángulo de protección α°
I	20	5 × 5	Véase la figura 1 a continuación
II	30	10 × 10	
III	45	15 × 15	
IV	60	20 × 20	



NOTA 1 No es aplicable para valores superiores a los marcados con •. En estos casos sólo se aplican los métodos de la esfera rodante y el de la malla.

NOTA 2 h es la altura del captador por encima del plano de referencia de la zona a proteger.

NOTA 3 El ángulo de protección no cambia para valores de h inferiores a 2 m.

Figura 1 – Ángulos de protección correspondientes a las clases de los SPCR

5.2.3 Dispositivos de captación contra descargas laterales en estructuras elevadas

5.2.3.1 Estructuras con altura inferior a 60 m

Las investigaciones indican que la probabilidad de que un impacto de baja amplitud se produzca en el lado vertical de una estructura de menos de 60 m de altura es lo suficientemente baja para no tomarla en consideración. Los tejados y los salientes horizontales deben protegerse de acuerdo con la clase del SPCR, determinada mediante el análisis de riesgos de la Norma EN 62305-2.

5.2.3.2 Estructuras con altura igual o superior a 60 m

En estructuras de altura superior a los 60 m pueden producirse descargas laterales, especialmente en puntas, esquinas y rebordes de las superficies.

NOTA 1 En general, el riesgo debido a estas descargas es bajo ya que son un tanto por ciento muy pequeño del total de las descargas en estructuras elevadas y, además, sus parámetros son mucho más pequeños que los de las descargas en el extremo de la estructura. Sin embargo, los equipos eléctricos y electrónicos situados en las paredes exteriores pueden ser destruidos incluso con descargas laterales con corrientes de cresta pequeñas.

Debe instalarse un sistema de captadores para proteger la parte superior de las estructuras elevadas (es decir, normalmente el 20% superior de la estructura en tanto que esta parte supera los 60 m de altura) y los equipos instalados en ella (véase el anexo A).

Las normas para colocar los sistemas de captación en estas partes superiores de la estructura, al menos debe cumplir con los requisitos del NPR IV, haciendo énfasis en colocar los sistemas de captación en las esquinas, bordes, salientes importantes (tales como balcones, plataformas, etc.).

Los requisitos de los captadores para el costado de la estructura pueden satisfacerse con la presencia de materiales metálicos externos, tales como revestimientos metálicos, o cortinas metálicas que cumplan con el tamaño mínimo indicado en la tabla 3. Los requisitos de sistemas captadores también pueden incluir el uso de conductores de bajada colocados en los bordes verticales de la estructura cuando no hay conductores metálicos externos naturales.

Los captadores instalados o naturales que cumplen con estos requisitos pueden utilizar conductores de bajada instalados o conectarse con conductores de bajada naturales, tales como la armadura de acero de la estructura o la armadura eléctricamente continua del hormigón, de acuerdo con los requisitos del apartado 5.3.5.

NOTA Se recomienda que se emplee un captador apropiado y bajantes naturales.

5.2.4 Construcción

Los dispositivos de captación de un SPCR no aislado de la estructura a proteger pueden instalarse de la siguiente forma:

- si el tejado es de material no combustible, los conductores de captación se pueden colocar en la superficie del tejado;
- si el tejado es de material combustible, debe prestarse atención a la distancia entre los conductores del sistema de captación y el material. En tejados de paja sin barras de acero para sujetar los atados, es adecuada una distancia no inferior a 0,15 m. Para otros materiales combustibles se considera adecuada una distancia no inferior a 0,10 m;
- las partes de la estructura fácilmente combustibles no deben estar en contacto directo con los componentes de un SPCR externo, ni deben estar directamente debajo de una placa metálica que pueda ser perforada por una descarga de rayo (véase 5.2.5).

También deben tenerse en cuenta placas menos combustibles, tales como las de madera.

NOTA Si existe la posibilidad de que en un tejado plano se acumule agua, el sistema de captación debería instalarse por encima del máximo nivel probable de agua.

5.2.5 Componentes naturales

De acuerdo con el apartado 5.1.3, deberían considerarse y usarse como componentes naturales de un sistema de captación y parte de un SPCR las siguientes partes de una estructura:

a) Las chapas metálicas que cubren la estructura a proteger siempre y cuando:

- la continuidad eléctrica entre las diferentes partes esté realizada de manera duradera (por ejemplo, mediante soldaduras de cobre o de latón, soldadura, prensado, cosido, atornillado, o bulonado);
- si no es importante prevenir la perforación de la chapa metálica o la inflamabilidad de los productos que se encuentran por debajo, el espesor de la chapa metálica no debe ser inferior al valor t' , según la tabla 3;
- si es necesario tomar precauciones contra las perforaciones o considerar puntos calientes, el espesor de la chapa metálica no sea inferior al valor t , según la tabla 3;

NOTA 1 Donde no haya problemas derivados de puntos calientes o de ignición, debería verificarse que el calentamiento de la superficie interna en el punto de impacto no constituye un peligro. Los problemas de los puntos calientes o los de ignición pueden no tenerse en cuenta cuando las hojas metálicas se encuentren en un ZPRO_B o superior.

- no están recubiertas de material aislante.

Tabla 3 – Espesores mínimos de las chapas metálicas o de las tuberías metálicas en los sistemas de captación

Clase de SPCR	Material	Espesor ^a t mm	Espesor ^b t' mm
I a IV	Plomo	–	2,0
	Acero (inoxidable, galvanizado)	4	0,5
	Titanio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Aluminio	7	0,65
	Cinc	–	0,7
^a t previene de las perforaciones, puntos calientes o inflamaciones. ^b t' sólo para chapas metálicas si no es importante prevenir perforaciones, problemas de puntos calientes o de inflamaciones.			

- b) Componentes metálicos de la construcción del tejado (armaduras, correas de acero, etc.), situados por debajo de los tejados no metálicos, siempre que sea aceptable el daño a esta parte no metálica del tejado.
- c) Partes metálicas tales como ornamentaciones, rejas, tuberías, cubiertas o parapetos, etc., con secciones no inferiores a las que se especifican en las normas para los sistemas de captación.
- d) Tuberías metálicas y depósitos situados en el tejado, siempre y cuando estén contruidos con materiales de secciones y espesores según la tabla 6.
- e) Tuberías metálicas y depósitos que contengan mezclas combustibles o explosivas, siempre y cuando estén contruidos con materiales de espesores no inferiores a los valores apropiados de t de la tabla 3 y que el calentamiento de la superficie interior en el punto de impacto no constituya un peligro (para información más detallada véase el anexo D).

Si no se cumplen las condiciones de los espesores, las tuberías y los depósitos deben integrarse en la estructura a proteger.

Las tuberías que transportan mezclas combustibles o explosivas no deben considerarse como componentes naturales de un sistema de captación si, en las bridas, las juntas no son metálicas o si las bridas no están conectadas equipotencialmente de manera apropiada.

NOTA 2 Una capa fina de pintura protectora o espesores de aproximadamente 1 mm de asfalto o 0,5 mm de PVC no se consideran como un aislante. En los apartados E.5.3.4.1 y E.5.3.4.2 se da información más detallada.

5.3 Sistema de conductores de bajada

5.3.1 Generalidades

Con el fin de reducir la probabilidad de daños debidos a las corrientes del rayo que circulan por el SPCR, los conductores de bajada deben disponerse de tal manera que desde el punto de impacto a tierra:

- a) existan varios caminos en paralelo para la corriente;
- b) se reduzca al mínimo la longitud de los caminos de corriente;
- c) se realicen, conforme a los requisitos del apartado 6.2, conexiones equipotenciales a las partes conductoras de la estructura.

NOTA 1 Se considera como una buena práctica, las conexiones laterales de los conductores de bajada.

La geometría de los conductores de bajada y la de los anillos de unión afecta a la distancia de separación (véase 6.3).

NOTA 2 La instalación de tantos conductores de bajada como sea posible, espaciados de forma equidistante alrededor del perímetro y conectados mediante anillos equipotenciales, reducen la probabilidad de que se produzcan chispas peligrosas y facilita la protección de las instalaciones internas (véase la Norma EN 62305-4). Esta condición se cumple en estructuras metálicas y en estructuras de hormigón armado en las que el acero interconectado es eléctricamente continuo.

En la tabla 4 figuran valores típicos de las distancias entre los conductores de bajada.

En el anexo C se da más información sobre el reparto de la corriente del rayo entre los conductores de bajada.

5.3.2 Colocación de un SPCR aislado

La colocación debe ser conforma a:

- a) Si el sistema de captación está formado por puntas en mástiles separados (o en un solo mástil) no metálicos ni interconectados a través del acero de refuerzo se necesita, al menos, un conductor de bajada por cada mástil. Si los mástiles son metálicos o interconectados con el acero del refuerzo, no se requieren conductores de bajada adicionales.

NOTA En algunos países no se permite el empleo de la armadura del hormigón como parte de un SPCR.

- b) Si el sistema de captación consiste en hilos de catenaria (o un hilo) se necesita, al menos, un conductor de bajada por cada estructura de soporte.
- c) Si el sistema de captación forma una red de conductores se necesita, al menos, un conductor de bajada por cada estructura de soporte.

5.3.3 Colocación de un SPCR no aislado

Para cada SPCR no aislado el número de conductores de bajada no debe ser inferior a dos y deberían distribuirse alrededor del perímetro de la estructura a proteger, en función de las restricciones arquitectónicas y prácticas.

Se prefiere una distribución de los conductores de bajada equidistantes entre sí alrededor del perímetro. En la tabla 4 se dan valores típicos de las distancias entre los conductores de bajada.

NOTA Las distancias entre los conductores de bajada están correlacionadas con las distancias de separación dadas en el apartado 6.3.

Tabla 4 – Valores típicos preferentes de distancias entre los conductores de bajada en función de la clase del SPCR

Clase del SPCR	Distancias típicas m
I	10
II	10
III	15
IV	20

Siempre que sea posible, debería instalarse un conductor de bajada en cada esquina expuesta de la estructura.

5.3.4 Construcción

Los conductores de bajada deben instalarse, siempre que sea posible, de manera que sean una continuación directa de los conductores del sistema de captación.

Los conductores de bajada deben instalarse de manera rectilínea y vertical, siguiendo el camino más corto y directo a tierra. Debe evitarse la formación de bucles, pero si no fuese posible, la distancia s , medida entre dos puntos del conductor y la longitud l del conductor entre esos puntos (véase la figura 2) deben estar de acuerdo con el apartado 6.3.

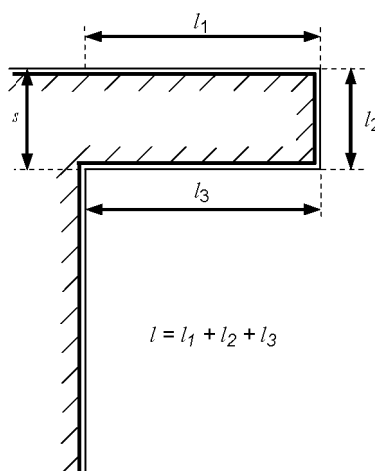


Figura 2 – Bucle en un conductor de bajada

Los conductores de bajada, incluso si se encuentran cubiertos con material aislante, no deben instalarse en canalones o en tuberías de drenaje

NOTA Los efectos de la humedad en los canalones dan lugar a una fuerte corrosión del conductor de bajada.

Se recomienda que los conductores de bajada se coloquen de manera que las distancias entre ellos y a cualquier puerta o ventana estén de acuerdo con el apartado 6.3.

Los conductores de bajada de un SPCR no aislado de la estructura a proteger pueden instalarse de la siguiente manera:

- si la pared es de material no combustible, los conductores de bajada pueden situarse en la superficie o en el interior de la pared;
- si la pared es de material fácilmente combustible, los conductores de bajada pueden colocarse en la superficie de la pared, siempre que el calentamiento, producida por el paso de la corriente del rayo, no sea peligrosa para el material de la pared;
- si la pared es de material fácilmente combustible y el calentamiento de los conductores de bajada es peligrosa, los conductores deben instalarse de manera que la distancia entre ellos y la pared sea siempre superior a 0,1 m. Las abrazaderas de montaje pueden estar en contacto con la pared.

Cuando no se puede asegurar la distancia desde los conductores de bajada a un material combustible, la sección de los conductores no debe ser inferior a 100 mm².

5.3.5 Componentes naturales

Las siguientes partes de la estructura pueden emplearse como conductores naturales de bajada.

- a) Las instalaciones metálicas, siempre que
 - la continuidad eléctrica entre diferentes partes se realicen de acuerdo con el apartado 5.5.3, de manera duradera;
 - sus dimensiones sean iguales al menos a las indicadas en la tabla 6 para los conductores de bajada normalizados.

Las tuberías que transportan mezclas combustibles o explosivas no deben considerarse como un conductor natural de bajada si las juntas de las bridas no son metálicas o si los lados de las bridas no están conectados entre sí de manera apropiada.

NOTA 1 Las instalaciones metálicas pueden estar recubiertas con material aislante.

b) Las armaduras metálicas del hormigón que presentan continuidad eléctrica;

NOTA 2 En hormigones armados prefabricados es importante establecer puntos de interconexión entre los elementos de refuerzo. También es importante que el hormigón armado contenga conexiones conductoras entre los puntos de interconexión. Las partes individuales deberían unirse *in situ* durante el montaje (véase el anexo E).

NOTA 3 En el caso de hormigones pretensados, debería prestarse atención al riesgo de que no produzcan, bien por el paso de la corriente del rayo o como consecuencia de la conexión del SPCR, consecuencias mecánicas inaceptables.

c) La armadura metálica interconectada de la estructura;

NOTA 4 Los anillos conductores no son necesarios si el armazón de las estructuras metálicas o la interconexión del acero de refuerzo se emplean como conductores de bajada.

d) Los elementos de la fachada, perfiles y soportes metálicos de las fachadas, siempre que

- sus dimensiones estén de acuerdo con los requisitos de los conductores de bajada (véase 5.6.2) y que los espesores de las chapas metálicas o los de las paredes de las tuberías no sean inferiores a 0,5 mm;
- la continuidad eléctrica en dirección vertical esté de acuerdo con los requisitos del apartado 5.5.3.

NOTA 5 Para más información, véase el anexo E.

5.3.6 Junta de unión

Cada conductor de bajada debe tener en el punto de conexión con la puesta a tierra, una junta de unión, excepto en el caso de los conductores naturales de bajada en combinación con electrodos de cimentación.

A efectos de medida, estas juntas de unión deben poder abrirse con la ayuda de una herramienta. En funcionamiento normal deben permanecer cerradas.

5.4 Sistemas de puesta a tierra

5.4.1 Generalidades

A fin de minimizar cualquier sobretensión peligrosa cuando se dispersa en el terreno la corriente del rayo (comportamiento a alta frecuencia), la forma y las dimensiones de los electrodos de puesta a tierra son puntos importantes. En general, se recomienda una resistencia de tierra de valor bajo (si es posible, inferior a 10 Ω cuando se mide a baja frecuencia).

Desde el punto de vista de la protección contra el rayo es preferible y adecuada en todos los casos (es decir, protección contra el rayo, sistemas de potencia y de telecomunicación), una sola puesta a tierra integrada en la estructura.

Los sistemas de puesta a tierra deben conectarse equipotencialmente de acuerdo con los requisitos del apartado 6.2.

NOTA 1 Las condiciones de separación y de conexión equipotencial con otros sistemas de puesta a tierra vienen determinadas, normalmente, por las autoridades nacionales competentes.

NOTA 2 Pueden producirse problemas graves de corrosión cuando se conectan entre sí sistemas de puesta a tierra de diferentes materiales.

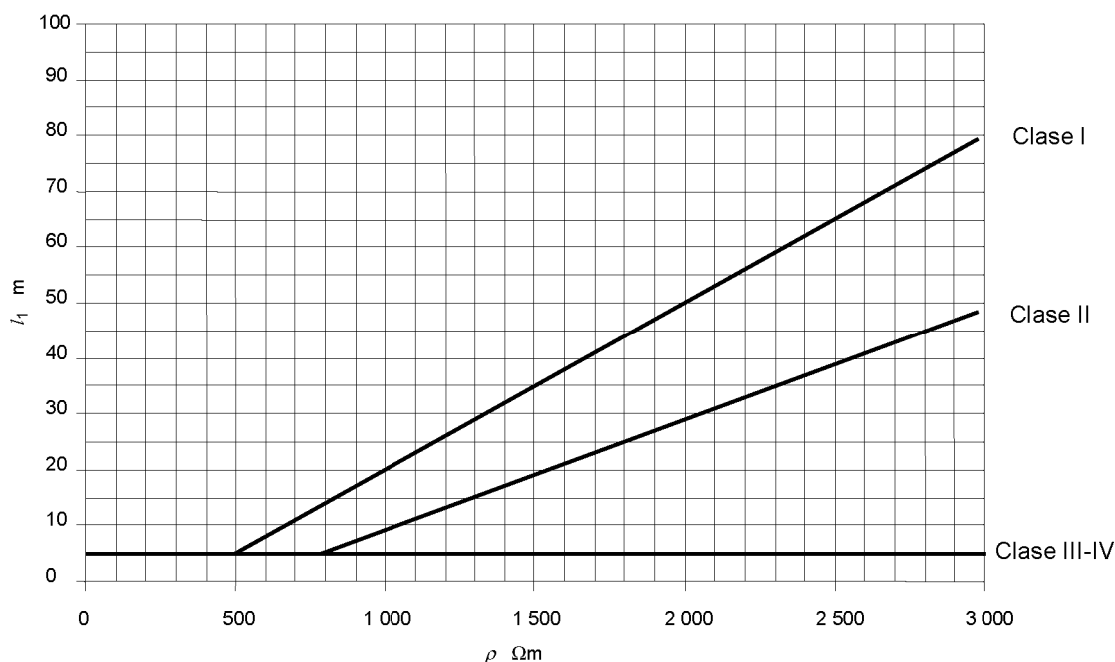
5.4.2 Disposiciones de puestas a tierra en condiciones generales

Se consideran, básicamente, dos sistemas de puesta a tierra para sistemas de puesta a tierra.

5.4.2.1 Disposición tipo A

Este tipo de puesta a tierra está formado por electrodos horizontales o verticales instalados en el exterior de la estructura a proteger y conectados con cada conductor de bajada o electrodo de cimentación sin formar un bucle cerrado.

En esta disposición A, el número de conductores no debe ser inferior a dos.



NOTA Las clases III y IV son independientes de la resistividad del terreno.

Figura 3 – Longitud mínima l_1 de cada electrodo de tierra en función de la clase del SPCR

La longitud mínima de cada electrodo de tierra en la base de cada conductor de bajada es

- l_1 para los electrodos horizontales; o
- $0,5 l_1$ para los electrodos verticales (o inclinados),

donde l_1 la longitud mínima de los electrodos horizontales indicada en la figura 3.

Para combinaciones de electrodos (horizontales o verticales), debe considerarse la longitud total.

Las longitudes mínimas de los electrodos indicadas en la figura 3, pueden despreciarse si la resistencia de puesta a tierra del sistema es inferior a 10Ω (medida a una frecuencia diferente de la frecuencia industrial y de sus múltiplos, con el fin de evitar interferencias).

NOTA 1 Cuando los requisitos anteriores no pueden alcanzarse, debe usarse una disposición de tierra tipo B.

NOTA 2 La reducción de la resistencia de puesta a tierra por una extensión de los electrodos es práctica conveniente hasta los 60 m. En terrenos con resistividad superior a $3000 \Omega\text{m}$, se recomienda el empleo de electrodos tipo B o el empleo de electrodos compuestos.

NOTA 3 Para más información, véase el anexo E.

5.4.2.2 Disposición tipo B

Esta disposición comprende o bien un anillo conductor exterior a la estructura a proteger, en contacto con el terreno al menos en el 80% de su longitud, o un electrodo de cimentación formando un anillo cerrado. Estos electrodos de tierra también pueden ser mallados.

NOTA Aunque el 20% puede no estar en contacto con el terreno, el anillo conductor debe siempre estar completamente conectado en toda su longitud.

Para el electrodo en anillo (o el de cimentación), el radio medio r_e de la superficie cerrada por el electrodo en anillo (o el de cimentación) no debe ser inferior a l_1 .

$$r_e \geq l_1 \quad (1)$$

donde el valor de l_1 está indicado en la figura 3, en función de las clases I, II, III, IV, de los SPCR.

Cuando se requiere un valor de l_1 superior al valor correspondiente a r_e , deben añadirse electrodos horizontales o verticales (o inclinados) con longitudes individuales l_T (horizontales) y l_V (verticales) dadas por las siguientes expresiones:

$$l_T = l_1 - r_e \quad (2)$$

y

$$l_V = (l_1 - r_e) / 2 \quad (3)$$

Se recomienda que el número de electrodos no sea inferior al de conductores de bajada, con un número mínimo de dos.

Al electrodo en anillo deberían conectarse los electrodos adicionales en los puntos en los que se conectan los conductores de bajada, y a ser posible equidistantes.

5.4.3 Instalación de los electrodos de tierra

El electrodo en anillo (disposición tipo B) debería enterrarse preferentemente a una profundidad de al menos 0,5 m y a una distancia aproximada de 1 m de las paredes externas.

Los electrodos de tierra (disposición tipo A) deben instalarse su extremo superior a una profundidad de al menos 0,5 m, y deben estar distribuidos tan uniformemente como sea posible para minimizar los acoplamientos eléctricos en el terreno.

NOTA 1 Si el electrodo tipo A se instala en el interior de un alojamiento de inspección, que a su vez, está situado sobre un pavimento de alta resistencia o colindante con hormigón, el valor de 0,5 m puede despreciarse.

Los electrodos de tierra deben instalarse de tal manera que permitan su inspección durante la construcción.

La profundidad de colocación y el tipo de electrodo debe ser tal que se minimicen los efectos de la corrosión, de la sequedad y de la congelación del terreno para de esta manera conseguir estabilizar la resistencia convencional a tierra. Se recomienda que la parte superior de un electrodo vertical, de longitud igual al espesor de la capa del terreno congelado, no se considere efectiva para el cálculo.

NOTA 2 Por tanto, en cada electrodo vertical, deberían añadirse 0,5 m a la longitud l_1 , calculada según los apartados 5.4.2.1 y 5.4.2.2.

En terrenos de roca viva, se recomiendan disposiciones tipo B.

En estructuras con sistemas electrónicos o con alto riesgo de incendio, es preferible la disposición tipo B.

5.4.4 Electrodos de tierra naturales

Deberían utilizarse, preferentemente, como tomas de tierra natural las armaduras de acero interconectados del hormigón de acuerdo al apartado 5.6, u otras estructuras metálicas subterráneas. Si la armadura metálica del hormigón se emplea como electrodo de tierra, debe ponerse especial cuidado en las interconexiones para evitar fisuras en el hormigón.

NOTA 1 En el caso de hormigón pretensado, deberían tomarse en consideración las consecuencias del paso de la corriente del rayo que puedan producir esfuerzos mecánicos inaceptables.

NOTA 2 Si se emplea el electrodo de puesta a tierra de cimentación, es posible a la larga un incremento de la resistencia.

NOTA 3 En el anexo E se da más información sobre este tema.

5.5 Componentes

5.5.1 Generalidades

Los componentes de un SPCR deben soportar, sin sufrir daño, los efectos electromagnéticos de la corriente del rayo y los esfuerzos accidentales previsibles. Esto se consigue eligiendo componentes que hayan sido ensayados positivamente de acuerdo con la futura serie de Normas EN 50164.

Todos los componentes deben cumplir con la serie de Normas EN 50164.

Los componentes de un SPCR deben fabricarse con los materiales enumerados en la tabla 5 o con otros materiales que presenten características mecánicas, eléctricas y químicas (corrosión) equivalentes.

NOTA Para las fijaciones pueden emplearse componentes de materiales no metálicos.

Tabla 5 – Materiales de los SPCR y condiciones de empleo ^a

Material	Utilización			Corrosión		
	Al aire libre	En tierra	En hormigón	Resistencia	Aumentada por	Puede ser destruida por acoplamiento galvánico con
Cobre	Sólido Trenzado	Sólido Trenzado Como revestimiento	Sólido Trenzado Como revestimiento	Bueno en muchos ambientes	Compuestos sulfurosos Materiales orgánicos	–
Acero galvanizado en caliente ^{c, d, e}	Sólido Trenzado ^b	Sólido	Sólido Trenzado ^b	Aceptable en aire, hormigón y en suelo normal	Alto contenido en cloruros	Cobre
Acero con cobre depositado electrolíticamente	Sólido	Sólido	Sólido	Bueno en muchos ambientes	Compuestos de sulfuros	
Acero inoxidable	Sólido Trenzado	Sólido Trenzado	Sólido Trenzado	Bueno en muchos ambientes	Alto contenido en cloruros	–
Aluminio	Sólido Trenzado	No adecuado	No adecuado	Bueno en atmósferas con baja concentración en azufre y cloro	Soluciones alcalinas	Cobre
Plomo ^f	Sólido Como revestimiento	Sólido Como revestimiento	No adecuado	Bueno en atmósferas con alta concentración en sulfatos	Suelos ácidos	Cobre Acero inoxidable

^a Esta tabla da solamente indicaciones generales. En circunstancias especiales se requieren más consideraciones sobre la inmunidad a la corrosión (véase el anexo E).

^b Los conductores trenzados son más vulnerables a la corrosión que los sólidos. También son más vulnerables si entran o salen del terreno/hormigón. Por esta razón no se recomiendan, en el terreno, los conductores trenzados de acero galvanizado.

^c El acero galvanizado puede corroerse en suelos de arcilla o en suelos húmedos.

^d El acero galvanizado en hormigón no debería extenderse en el terreno debido a la posible corrosión del acero fuera del hormigón.

^e El acero galvanizado en contacto con la armadura de acero del hormigón no debería emplearse en las zonas costeras donde puede haber agua salada.

^f El empleo del plomo en la tierra está frecuentemente prohibido o restringido por cuestiones medioambientales.

5.5.2 Fijaciones

Los dispositivos de captación y los conductores de bajada deben fijarse firmemente para que las fuerzas mecánicas electrodinámicas o accidentales (por ejemplo vibraciones, deslizamiento de placas de hielo, dilataciones térmicas, etc.) no produzcan rotura o aflojamiento de los conductores (véase el anexo D de la Norma EN 62305-1:2010).

NOTA La distancia recomendada entre fijaciones se da en la tabla E.1.

5.5.3 Conexiones

El número de conexiones a lo largo de los conductores debe reducirse al mínimo. Las conexiones deben ser seguras mediante soldaduras de cobre o de latón, prensado, sujeción con abrazadoras, cosido, atornillado o bulonado.

Para conseguir esto, las conexiones de las armaduras metálicas en el interior del hormigón deben estar de acuerdo con el apartado 4.3 y cumplir con los requisitos y ensayos de la Norma EN 50164-1.

5.6 Materiales y dimensiones

5.6.1 Materiales

Los materiales y sus dimensiones deben seleccionarse teniendo en cuenta las posibilidades de corrosión tanto de la estructura a proteger como del SPCR.

5.6.2 Dimensiones

Los materiales, configuraciones y las dimensiones mínimas de las secciones de los conductores y de las puntas captadoras de los sistemas de captación, así como las de los conductores de bajada se dan en la tabla 6 y deben cumplir con los requisitos y ensayos de las series de Normas EN 50164.

Los materiales de la tabla 7, configuraciones y las dimensiones mínimas de los electrodos de puesta a tierra que deben cumplir con los requisitos y ensayos de la serie de Normas EN 50164-1.

Tabla 6 – Materiales, configuraciones y dimensiones mínimas de las secciones de los conductores y de las puntas de los sistemas de captación, así como las de los conductores de bajada^a

Material	Configuración	Sección mínima mm ²
Cobre Placa fina de cobre	Pletina	50
	Redondo ^b	50
	Cable trenzado ^b	50
	Redondo ^c	176
Aluminio	Pletina	70
	Redondo	50
	Cable trenzado	50
Aleación de aluminio	Pletina	50
	Redondo	50
	Cable trenzado	50
	Redondo ^c	176
Cobre con capa de aleación de aluminio	Pletina	50
Acero galvanizado en caliente	Pletina	50
	Redondo	50
	Cable trenzado	50
	Redondo ^c	176
Cobre con capa de acero	Redondo	50
	Pletina	50
Acero inoxidable	Pletina ^d	50
	Redondo ^d	50
	Cable trenzado	70
	Redondo ^c	176

^a Las características eléctricas y mecánicas así como la resistencia a la corrosión deben cumplir los requisitos de la futura serie de Normas EN 50164.

^b En aquellas aplicaciones en las que el esfuerzo mecánico no es un requisito esencial los 50 mm² (8 mm de diámetro) puede reducirse hasta 25 mm². En este caso debería tenerse en cuenta la reducción de distancia entre fijaciones.

^c Aplicable a las puntas captadoras y a los electrodos de punta. En los captadores de punta en los lugares donde los esfuerzos mecánicos tales como los debidos a la carga del viento no son crítica, pueden emplearse una punta de 1 m de largo y 9,5 mm de diámetro.

^d Si los aspectos térmicos y mecánicos son importantes, estas dimensiones deberían aumentarse hasta 75 mm².

Tabla 7 – Materiales, configuraciones y dimensiones mínimas de los electrodos de puesta a tierra^{a, e}

Material	Configuración	Dimensiones		
		Pica Ø mm	Conductor de tierra mm ²	Placa de tierra mm
Cobre Placa fina de cobre	Cable trenzado		50	
	Redondo	15	50	
	Pletina		50	
	Tubo	20		
	Pletina			500 × 500
	Placa mallada ^c			600 × 600
Acero galvanizado en caliente	Redondo	14	78	
	Tubo	25		
	Pletina		90	
	Pletina			500 × 500
	Placa mallada ^c			600 × 600
	Perfil	d		
Acero desnudo ^b	Cable trenzado		70	
	Redondo		78	
	Pletina		75	
Cobre recubierto con acero	Redondo	14	50	
	Pletina		90	
Acero inoxidable	Redondo	15	78	
	Pletina		100	

^a Las características eléctricas y mecánicas así como la resistencia a la corrosión deben cumplir los requisitos de la futura series de Normas EN 50164.

^b Debe embeberse en hormigón una profundidad mínima de 50 mm.

^c La placa mallada debe construirse con una longitud total mínima de conductor de 4,8 m.

^d Se permiten diferentes perfiles con una sección de 290 mm² y un espesor mínimo de 3 mm, por ejemplo, sección en cruz.

^e En el caso de una puesta a tierra tipo B, el electrodo debe conectarse correctamente, al menos cada 5 m con el acero de la cimentación.

6 SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNA CONTRA EL RAYO

6.1 Generalidades

El sistema interno de un SPCR debe impedir que se produzcan, por las corrientes del rayo que puedan circular por el sistema externo del SPCR o por cualquier otra parte conductora de la estructura, chispas peligrosas en la estructura a proteger.

Las chispas peligrosas puede producirse entre la parte externa del SPCR y otros componentes tales como:

- instalaciones metálicas;
- sistemas internos;
- partes conductoras externas y líneas conectadas a la estructura.

NOTA 1 Las chispas que se producen en el interior de las estructuras con riesgo de explosión son siempre peligrosas. En este caso se requieren medidas adicionales de protección que se encuentran en estudio (véase el anexo D).

NOTA 2 Para la protección contra las sobretensiones en los sistemas internos, véase la Norma EN 62305-4.

Las chispas peligrosas entre las diferentes partes pueden impedirse mediante:

- conexiones equipotenciales de acuerdo con el apartado 6.2; o
- aislamiento eléctrico entre las partes, de acuerdo con el apartado 6.3.

6.2 Conexiones equipotenciales del rayo

6.2.1 Generalidades

Las equipotencialización se obtiene conectando el SPCR con:

- instalaciones metálicas;
- sistemas internos;
- partes conductoras externas y las líneas conectadas a la estructura.

Una vez establecidas las conexiones equipotenciales en los sistemas internos, parte de la corriente del rayo puede circular por estos sistemas, debiéndose tener en cuenta sus efectos.

Los medios de interconexión pueden ser:

- conductores equipotenciales, cuando la continuidad eléctrica no la proporciona una conexión equipotencial natural;
- dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), cuando no es posible realizar conexiones directas con los conductores.
- explosores, cuando no se permiten conexiones directas con los conductores equipotenciales.

La manera como se consigue la equipotencialidad es importante y debe concertarse con los operadores de la red de telecomunicación, de la red de potencia, del suministro de gas y con otros operadores y autoridades competentes, en el caso de que pueda haber requisitos conflictivos.

Los DPS deben instalarse de tal manera que puedan inspeccionarse.

NOTA 1 Cuando se instala un SPCR, las partes metálicas externas a la estructura pueden resultar afectadas. Esto debería tenerse en cuenta cuando se proyecten estos sistemas. También pueden ser necesarias conexiones equipotenciales para las partes metálicas exteriores.

NOTA 2 Las conexiones equipotenciales del rayo deberían coordinarse con otras conexiones equipotenciales de la estructura.

6.2.2 Conexiones equipotenciales en instalaciones metálicas

En el caso de un SPCR externo aislado, las conexiones equipotenciales deben realizarse solamente a nivel del terreno.

En un SPCR externo no aislado, las conexiones equipotenciales deben realizarse en los siguientes emplazamientos:

- a) en la base o aproximadamente a nivel del terreno. Los conductores equipotenciales deben conectarse a una barra equipotencial, construida e instalada de manera tal que permita un fácil acceso para su inspección. La barra equipotencial debe estar conectada al sistema de puesta a tierra. En estructuras grandes (típicamente da más de 20 m de longitud) puede instalarse una barra equipotencial en anillo o más de una barra equipotencial, siempre y cuando estén interconectadas;
- b) donde no se cumplen los requisitos de aislamiento (véase 6.3).

Las conexiones equipotenciales deben hacerse tan directas y rectas como sea posible.

NOTA Cuando la conexión equipotencial se establece con partes conductoras de la estructura, parte de la corriente del rayo puede entrar en la estructura, y este efecto debería tenerse en cuenta.

En la tabla 8 se indican las secciones mínimas de los conductores equipotenciales que conectan las barras equipotenciales y las de los conductores que conectan las barras equipotenciales con los sistemas de puesta a tierra.

En la tabla 9 se indican las secciones mínimas de los conductores equipotenciales que conectan las instalaciones metálicas internas a las barras equipotenciales.

Tabla 8 – Dimensiones mínimas de los conductores que conectan las diferentes barras equipotenciales o que conectan las barras equipotenciales con el sistema de puesta a tierra

Clase del SPCR	Material	Sección mm ²
I a IV	Cobre	16
	Aluminio	25
	Acero	50

Tabla 9 – Dimensiones mínimas de los conductores que conectan las instalaciones metálicas internas a las barras equipotenciales

Clase del SPCR	Material	Sección mm ²
I a IV	Cobre	6
	Aluminio	10
	Acero	16

Si, en el interior de la estructura a proteger, se insertan piezas aislantes en las líneas de gas o en las tuberías de agua, estas piezas deben puentearse, de acuerdo con el suministrador del gas o del agua, mediante DPS diseñados a estos efectos.

Los DPS deben ensayarse de acuerdo con la futura Norma EN 50164-3 y deben tener las siguientes características.

- $I_{\text{imp}} \geq k_c I$, siendo $k_c I$ la corriente del rayo que circula por la parte correspondiente al SPCR externo (véase el anexo C);
- la tensión asignada de impulso del cebado U_{RIMP} debe ser inferior al nivel de aislamiento de la tensión soportada a impulso entre las partes;

6.2.3 Conexiones equipotenciales para las partes conductoras externas

En las partes conductoras externas, las conexiones equipotenciales deben establecerse tan cerca como sea posible del punto de entrada a la estructura a proteger.

Los conductores equipotenciales deben ser capaces de soportar la parte I_F de la corriente del rayo que circula por ellos, evaluada de acuerdo al anexo E de la Norma EN 62305-1:2010.

Si la conexión equipotencial directa no es aceptable, deben emplearse DPS de las siguientes características:

Los DPS deben ensayarse según la futura Norma EN 62561-3 y deben tener las siguientes características:

- $I_{\text{imp}} \geq I_F$, siendo I_F la corriente del rayo que circula por la correspondiente parte externa (véase el anexo E de la Norma EN 62305-1:2010);
- la tensión asignada de impulso de cebado U_{RIMP} debe ser inferior al nivel de aislamiento de la tensión soportada a impulso entre las partes.

NOTA Cuando se requieran conexiones equipotenciales, pero no un SPCR, puede emplearse para este fin la puesta a tierra de las instalaciones de baja tensión. La Norma EN 62305-2 proporciona información sobre las condiciones en las que no se requiere un SPCR.

6.2.4 Conexiones equipotenciales para los sistemas internos

Es imperativo que las conexiones equipotenciales se realicen de acuerdo con los puntos a) y b) del apartado 6.2.2.

Si los conductores de los sistemas internos son apantallados o se encuentran en conductos metálicos, puede ser suficiente conectar equipotencialmente sólo las pantallas y los conductos (véase el anexo B).

NOTA Las conexiones de las pantallas y de los conductos no impiden que se produzcan fallos por sobretensiones en los equipos conectados a los conductores. Para la protección de estos equipos véase la Norma EN 62305-4.

Si los conductores de los sistemas internos no están apantallados ni situados en conductos metálicos, pueden conectarse equipotencialmente a través de DPS. En los sistemas TN, los conductores PE y PEN deben conectarse al SPCR bien directamente o a través de un DPS.

Los conductores equipotenciales y los DPS deben tener las mismas características, tal como se indica en el apartado 6.2.2.

Los DPS deben cumplir con las Normas IEC 61643-1 y la IEC 61643-21 y deben tener las siguientes características:

- debe ensayarse con $I_{\text{imp}} \geq k_c I$, siendo $k_c I$ la corriente del rayo que circula por la parte correspondiente al SPCR externo (véase el anexo C);
- el nivel de protección U_p debe ser inferior al nivel del impulso soportado entre las partes.

Si se requiere protección contra sobretensiones de los sistemas internos, debe realizarse una "coordinación de protección mediante DPS", de acuerdo con los requisitos del capítulo 7 de la Norma EN 62305-4:2010.

6.2.5 Conexiones equipotenciales para las líneas conectadas a la estructura a proteger

Las conexiones equipotenciales para las líneas eléctricas y de telecomunicación deben instalarse de acuerdo con el apartado 6.2.3.

Todos los conductores de cada línea deberían conectarse equipotencialmente, bien directamente o bien a través de un DPS. Los conductores activos sólo deben conectarse a la barra equipotencial mediante DPS. En los sistemas TN, el conductor PE o PNE debe conectarse a la barra equipotencial, bien directamente o bien a través de un DPS.

Si las líneas están apantalladas o se encuentran en conductos metálicos, las pantallas y los conductos deben conectarse equipotencialmente. Las conexiones equipotenciales no son necesarias para los conductores si la sección de las pantallas o de los conductos metálicos S_C no es inferior a la sección mínima S_{CMIN} , evaluada de acuerdo al anexo B.

Las conexiones equipotenciales de las pantallas de los cables o de los conductos deben realizarse cerca del punto de entrada a la estructura.

Los conductores equipotenciales deben tener la misma resistencia a la corriente que la indicada en el apartado 6.2.3 para la DPS.

Los DPS deben cumplir con las Normas IEC 61643-1 y la IEC 61643-21 y deben tener las siguientes características:

- deben ensayarse con $I_{\text{imp}} \geq I_F$, siendo I_F la corriente del rayo que circula a lo largo de las líneas (véase el anexo E de la Norma EN 62305-1:2010);
- el nivel de protección U_p debe ser inferior al nivel de aislamiento del impulso soportado entre las partes.

Si se requiere protección contra sobretensiones de los sistemas internos conectados a las líneas entrantes a la estructura, debe realizarse una "coordinación de protección mediante DPS", de acuerdo con los requisitos del capítulo 7 de la Norma EN 62305-4:2010.

NOTA Cuando se requieran conexiones equipotenciales, pero no un SPCR, puede emplearse la puesta a tierra de las instalaciones de baja tensión para este fin. La Norma EN 62305-2 da información sobre las condiciones en las que no se requiere un SPCR.

6.3 Aislamiento eléctrico del SPCR externo

6.3.1 Generalidades

El aislamiento eléctrico entre los captadores o los conductores de bajada y las partes metálicas de la estructura, las instalaciones metálicas y los sistemas internos puede conseguirse mediante una distancia d entre las distintas partes, superior a la distancia de separación s :

$$s = \frac{k_i}{k_m} \times k_c \times l \quad (\text{m}) \quad (4)$$

donde

k_i depende de la clase del SPCR elegido (véase la tabla 10);

k_m depende del aislamiento eléctrico de los materiales (véase la tabla 11);

k_c depende de la corriente (parcial) que circula por el captador y por los conductores de bajada (véase la tabla 12 del anexo C);

l es la longitud, en metros, a lo largo del sistema captador o del conductor de bajada, desde el punto en que se considera la distancia de separación al punto en el donde se encuentra el punto equipotencial más próximo (véase E.6.3 del anexo E).

NOTA La longitud a lo largo del captador puede despreciarse en estructuras con tejados metálicos continuos que actúan como captadores naturales.

Tabla 10 – Aislamiento del sistema externo del SPCR – Valores del coeficiente k_i

Clase del SPCR	k_i
I	0,08
II	0,06
III y IV	0,04

Tabla 11 – Aislamiento del sistema externo del SPCR – Valores del coeficiente k_m

Material	k_m
Aire	1
Hormigón, ladrillos, madera	0,5
NOTA 1 Cuando se encuentran varios materiales aislantes en serie, es buena práctica tomar el valor más bajo de k_m .	
NOTA 2 Cuando se empleen otros materiales aislantes, la guía de construcción y el valor de k_m deberían suministrarlo el fabricante.	

En el caso de líneas o partes conductoras externas que entran en la estructura, siempre es necesario asegurar en el punto de entrada a la estructura una conexión equipotencial (bien directamente o mediante DPS).

En estructuras metálicas con continuidad eléctrica conectadas a la armadura metálica del hormigón no se requiere distancia de separación.

El coeficiente k_c de distribución de la corriente del rayo entre el captador y el sistema de bajada depende de la clase del SPCR, del número total n de los conductores de bajada, de su posición, de la interconexión de los anillos conductores y del sistema de puesta a tierra. La distancia de separación necesaria depende de la caída de tensión del camino más corto desde donde se considera la distancia al electrodo de puesta a tierra o al punto de conexión equipotencial más próximo.

6.3.2 Aproximación simplificada

En estructuras típicas, para la aplicación de la ecuación (4), deben considerarse las siguientes condiciones:

k_c depende de la corriente (parcial) que circula por los conductores de bajada (véase la tabla 12 y el anexo C);

l es la longitud vertical, en metros, a lo largo del conductor de bajada, desde el punto en el que se considera la distancia de separación, al punto equipotencial más próximo.

Tabla 12 – Aislamiento externo de un SPCR – Valores aproximados del coeficiente k_c

Número de conductores de bajada n	k_c
1 (solamente en el caso de un SPCR aislado)	1
2	0,66
3 y más	0,44
NOTA Los valores de la tabla 12 son válidos para todas las instalaciones de puesta a tierra tipo A y B siempre que la resistencia a tierra de los electrodos cercanos no difiera en más de un factor 2. Si la resistencia de los electrodos simples difieren en más de un factor 2, se considera $k_c = 1$	

En el anexo C se da más información relativa al reparto de la corriente del rayo entre los conductores de bajada.

NOTA La aproximación simplificada proporciona, normalmente, resultados propicios para la seguridad.

6.3.3 Aproximación detallada

En un SPCR con un sistema de captación mallado o interconectado con anillos conductores, los captadores o los conductores de bajada tienen diferentes valores de corriente circulando a lo largo de ellos debido a la división de la corriente. En estos casos debe realizarse una evaluación más precisa de las distancias de separación, de acuerdo a la siguiente relación.

$$s = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c1} \times l_1 + k_{c2} \times l_2 + \dots + k_{cn} \times l_n) \quad (5)$$

Cuando el captador o los conductores de bajada tienen, debido a la interconexión con los anillos conductores, diferentes valores de corriente circulando por ellos, se aplican las figuras C.4 y C.5.

NOTA 1 Se recomienda esta aproximación para la evaluación de la distancia de separación en grandes estructuras o en estructuras con forma compleja.

NOTA 2 Pueden emplearse programas numéricos para el cálculo de los coeficientes k_c en los conductores individuales.

7 MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE UN SPCR

7.1 Generalidades

La efectividad de cualquier SPCR depende de, su instalación, mantenimiento y de los métodos de ensayo empleados.

Las inspecciones, ensayos y mantenimiento no deben realizarse mientras haya amenaza de tormentas.

NOTA En el capítulo E.7 se da información más detallada sobre la inspección y el mantenimiento.

7.2 Aplicación de las inspecciones

El objeto de las inspecciones es comprobar que:

- a) el diseño del SPCR está basado en esta norma;
- b) todos los componentes del SPCR están en buenas condiciones, son capaces de llevar a cabo su cometido y no existe corrosión;
- c) está incorporado al SPCR cualquier servicio añadido recientemente o en construcción.

7.3 Orden de las inspecciones

Las inspecciones deberían llevarse a cabo de acuerdo con el apartado 7.2 de la siguiente forma:

- durante la construcción de la estructura, para comprobar los electrodos embebidos;
- después de la instalación del SPCR;
- periódicamente a intervalos determinados en función de la naturaleza de la estructura a proteger, por ejemplo, problemas de corrosión y clase del SPCR;

NOTA Para información más detallada véase el capítulo E.7.

- después de alteraciones o de reparaciones, o cuando se sepa que la estructura ha sido alcanzada por un rayo.

Durante las inspecciones periódicas es particularmente importante comprobar lo siguiente:

- el deterioro y la corrosión de los elementos captadores, conductores y conexiones;
- la corrosión de los electrodos de puesta a tierra;
- el valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra para el sistema de puesta a tierra;
- el estado de las conexiones, el de las conexiones equipotenciales y el de las fijaciones.

7.4 Mantenimiento

Las inspecciones periódicas constituyen la parte fundamental para un mantenimiento fiable de un SPCR. La propiedad debe estar informada de todas las faltas observadas y éstas deben repararse sin dilación.

8 MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LOS DAÑOS A SERES VIVOS DEBIDOS A LAS TENSIONES DE CONTACTO Y DE PASO

8.1 Medidas de protección contra las tensiones de contacto

En ciertas condiciones, en el exterior de la estructura, la proximidad de los conductores de bajada de un SPCR, puede ser peligrosa para la vida incluso si el SPCR se ha diseñado y construido de acuerdo con los requisitos citados anteriormente.

El riesgo se reduce a un nivel tolerable si se cumple una de las condiciones siguientes:

- a) en condiciones normales de funcionamiento no hay personas dentro de la distancia de 3 m desde los conductores de bajada;
- b) si se emplean al menos, 10 conductores de bajada, de acuerdo con el apartado 5.3.5;
- c) la resistencia de contacto de la capa superficial del suelo, hasta 3 m de distancia del conductor de bajada, no es inferior a 100 k Ω .

NOTA Una capa de material aislante, por ejemplo asfalto, de 5 cm de espesor (o una capa de grava de 15 cm de espesor), generalmente reducen el riesgo a un valor tolerable.

Si ninguna de estas condiciones se cumple, deben adoptarse medidas de protección contra daños a los seres vivos por tensiones de contacto, como sigue:

- aislamiento de los conductores de bajada expuestos con capacidad de soportar una onda tipo impulso 1,2/50 μ s de 100 kV, por ejemplo, con un espesor mínimo de 3 mm de polietileno reticulado;
- restricciones físicas de acceso y/o empleo de advertencias para minimizar la probabilidad de que se toquen los conductores de bajada.

Las medidas de protección deben estar conformes con las normas apropiadas (véase la Norma ISO 3864-1).

8.2 Medidas de protección contra las tensiones de paso

En ciertas condiciones, en el exterior de la estructura, la proximidad de los conductores de bajada de un SPCR puede ser peligrosa para la vida incluso si el SPCR se ha diseñado y construido de acuerdo con las reglas citadas anteriormente.

El riesgo se reduce a un nivel tolerable si se cumple una de las condiciones siguientes:

- a) en condiciones normales de funcionamiento no hay personas dentro de la distancia de 3 m desde los conductores de bajada;
- b) si se emplean al menos, 10 conductores de bajada, de acuerdo con el apartado 5.3.5;
- c) la resistencia de contacto de la capa superficial del suelo, hasta 3 m de distancia del conductor de bajada, no es inferior a 100 k Ω .

NOTA Una capa de material aislante, por ejemplo asfalto, de 5 cm de espesor (o una capa de grava de 15 cm de espesor), generalmente reducen el riesgo a un valor tolerable.

Si no se cumple ninguna de estas condiciones, deben adoptarse medidas de protección contra daños a los seres vivos por tensiones de paso, como sigue:

- equipotencialidad mediante el empleo de mallado de los sistemas de puesta a tierra;
- restricciones físicas de acceso y/o empleo de advertencias para conseguir minimizar la probabilidad de acceso a la zona peligrosa, hasta 3 m de distancia de los conductores de bajada.

Las medidas de protección deben estar conformes con las normas apropiadas (véase la Norma ISO 3864-1).

ANEXO A (Normativo)

COLOCACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN

A.1 Colocación del sistema de captación mediante el método del ángulo de protección

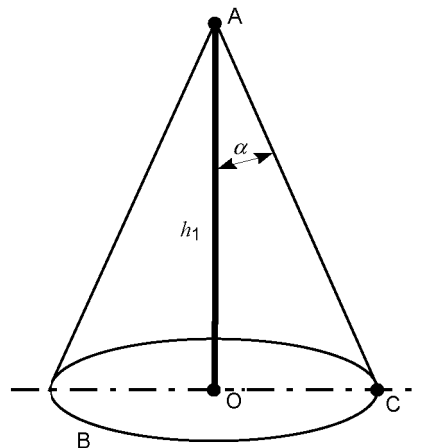
A.1.1 Generalidades

La colocación del sistema de captación se considera adecuada si la estructura a proteger se encuentra situada totalmente en el volumen de protección proporcionado por el sistema de captación.

Para determinar el volumen de protección, sólo deben considerarse las dimensiones físicas reales de los dispositivos de captación metálicos.

A.1.2 Volumen protegido por una punta vertical

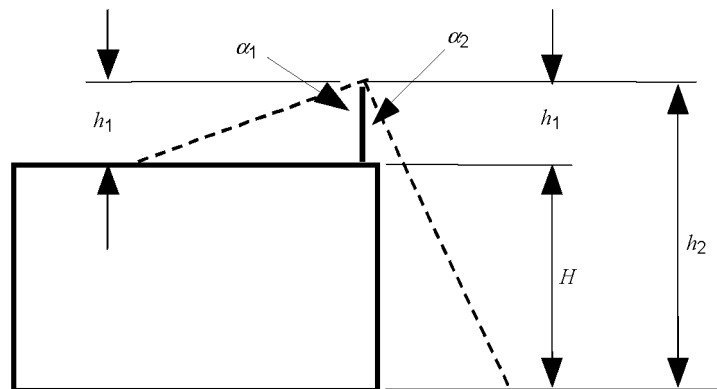
Se considera que el volumen protegido por una punta vertical tiene la forma de un cono recto circular, con el vértice colocado en el eje de la punta, semiángulo α , en función de la clase del SPCR y de la altura de la punta de captación según la tabla 2. En las figuras A.1 y A.2 se dan ejemplos de volúmenes protegidos.



Leyenda

- A Punta de la punta captadora
- B Plano de referencia
- OC Radio de la zona protegida
- h_1 Altura de la punta captadora sobre el plano de referencia de la zona protegida
- α Ángulo de protección según la tabla 2

Figura A.1 – Volumen protegido por una punta vertical



Leyenda

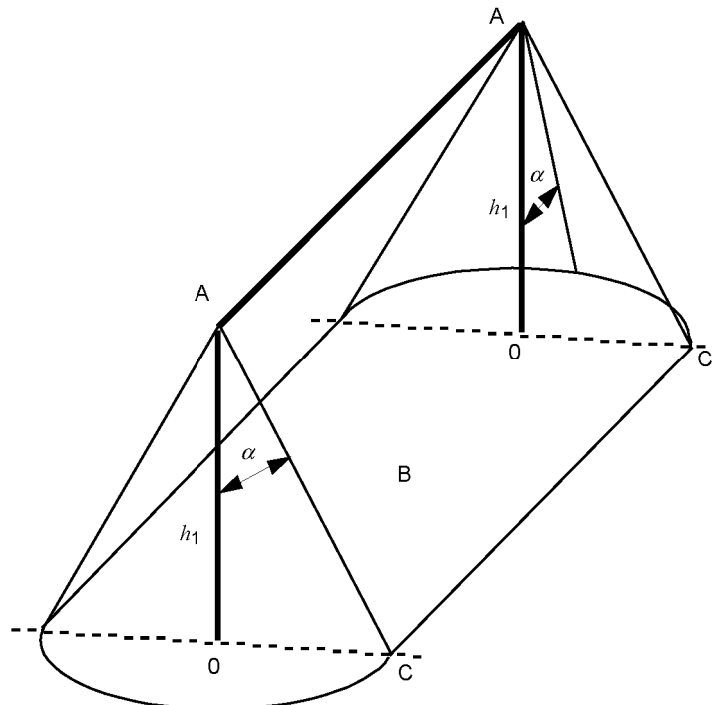
h_1 Altura física de la punta

NOTA El ángulo de protección α_1 corresponde a la altura de la punta captadora h_1 tomada desde la superficie del tejado a proteger; el ángulo de protección α_2 corresponde a la altura $h_2 = h_1 + H$, siendo el terreno el plano de referencia; α_1 está relacionado con la altura h_1 y α_2 con la altura h_2 .

Figura A.2 – Volumen protegido por una punta vertical

A.1.3 Volumen protegido por un cable horizontal

El volumen protegido por un cable se define por la composición de los volúmenes protegidos por puntas verticales ficticias que tengan sus vértices en el cable. En la figura A.3 se indican ejemplos de volúmenes protegidos.



NOTA Leyenda: véase la figura A.1.

Figura A.3 – Volumen protegido por un cable horizontal

A.1.4 Volumen protegido por cables dispuestos en malla

El volumen protegido por cables dispuestos en malla se define por la composición de los volúmenes protegidos por cada uno de los cables individuales que forman la malla.

En las figuras A.4 y A.5 se indican ejemplos de volúmenes protegidos por cables dispuestos en malla.

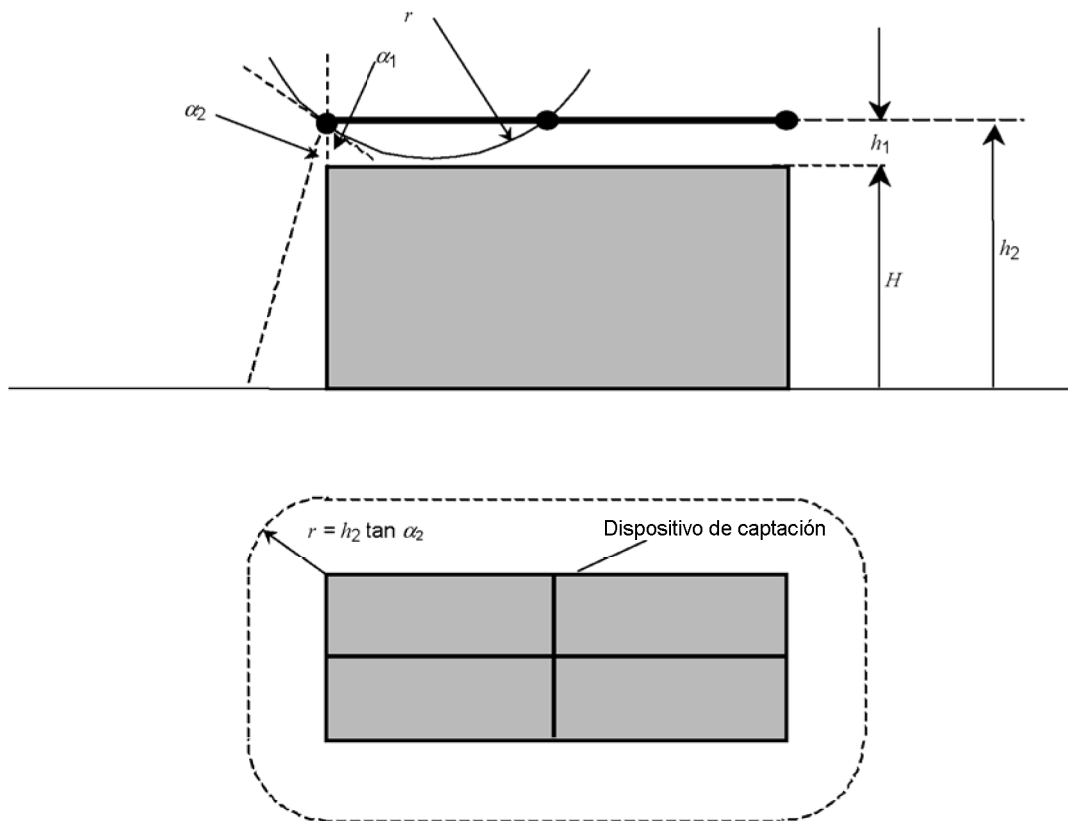


Figura A.4 – Volumen protegido por cables aislados formando una malla según el método del ángulo de protección y el de la esfera rodante

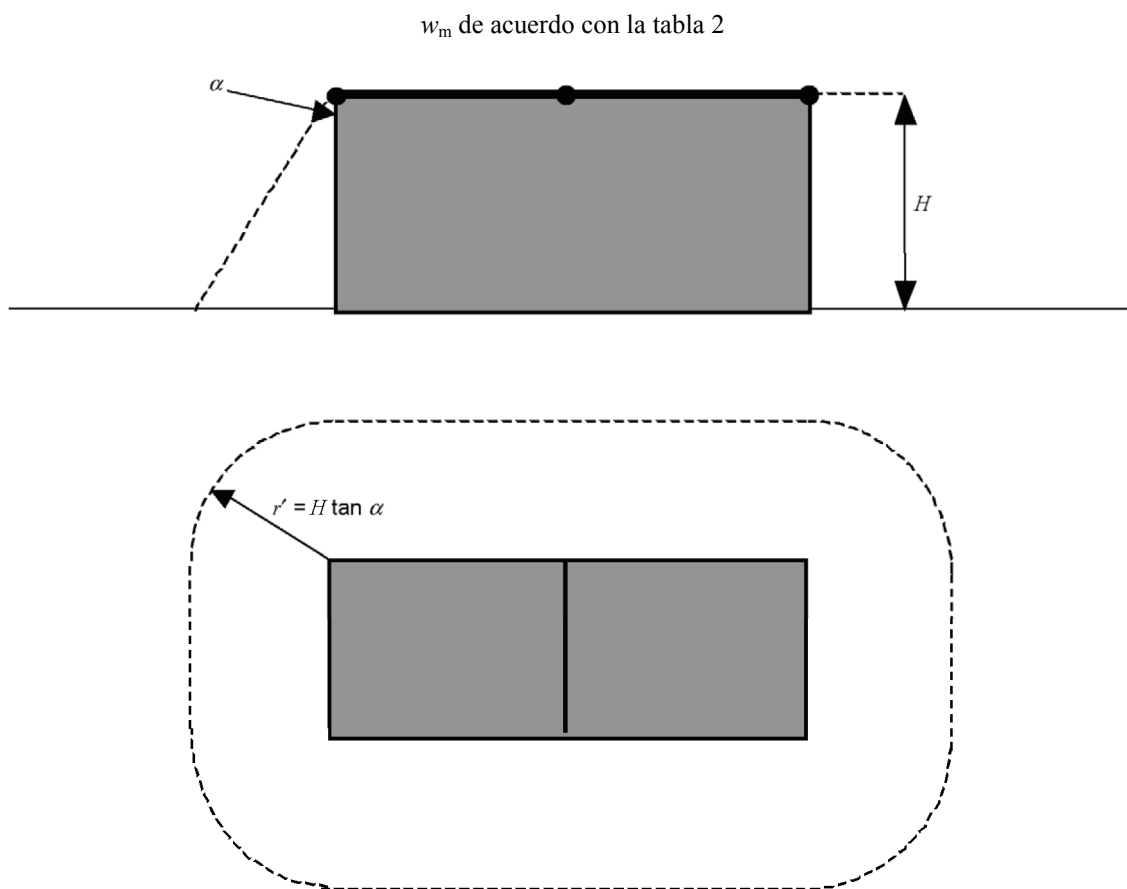


Figura A.5 – Volumen protegido por cables no aislados formando una malla según el método de la malla y del ángulo de protección

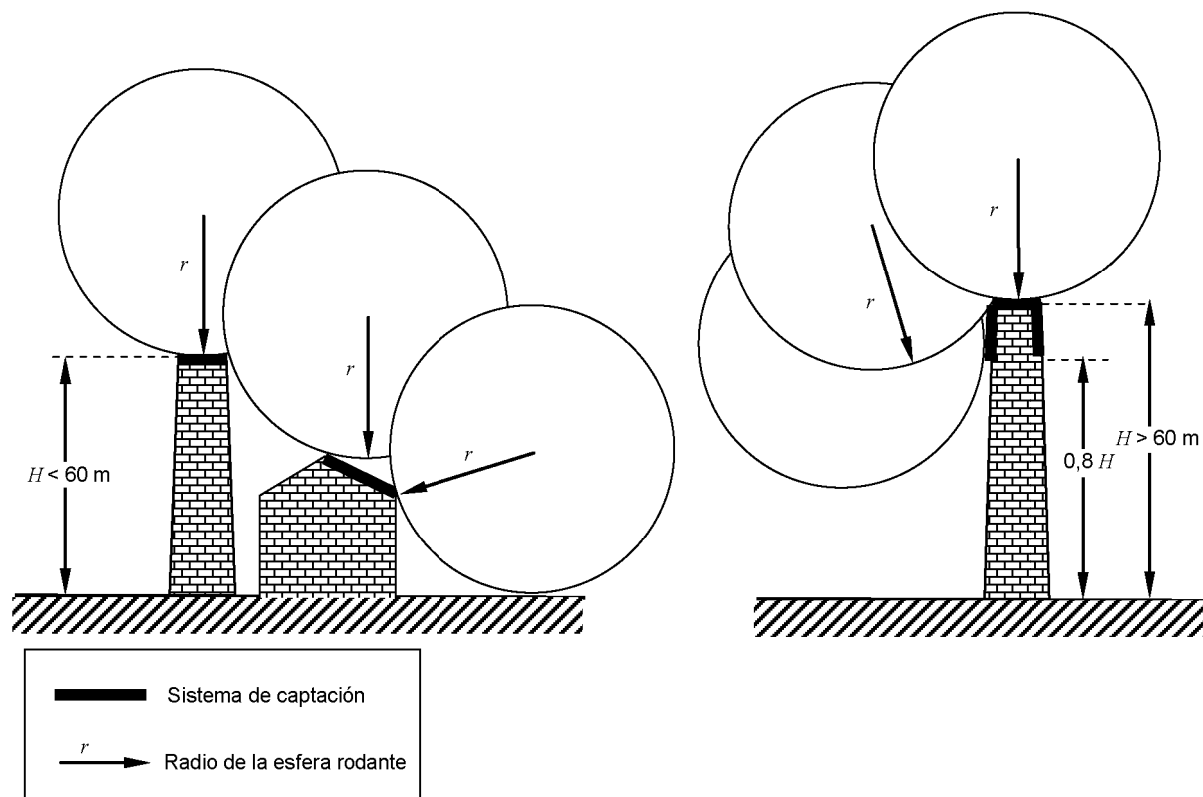
A.2 Colocación del sistema de captación mediante el método de la esfera rodante

Aplicando este método, el emplazamiento del sistema de captación es adecuado si, en función de la clase del SPCR, ningún punto de la estructura protegida está en contacto con una esfera de radio r , (véase la tabla 2), que rueda alrededor y en la parte superior de la estructura en todas las direcciones posibles. De esta manera, la esfera solamente toca el sistema de captación (véase la figura A.6).

En todas las estructuras cuya altura sea superior al radio de la esfera rodante r , pueden producirse descargas laterales. Cada punto lateral de la estructura tocado por la esfera rodante es un posible punto de impacto. Sin embargo, las probabilidades de descargas laterales son generalmente despreciables en estructuras con alturas inferiores a 60 m.

En estructuras más altas, la mayor parte de las descargas alcanzarán la parte superior, los bordes horizontales y las esquinas de la estructura. Solamente un tanto por ciento pequeños de las descargas se produce lateralmente.

Además, datos de observación muestran que la probabilidad de descargas laterales decrece rápidamente con la altura medida desde el suelo. Por tanto, debería considerarse el instalar sistemas de captación laterales en la parte superior de las estructuras (normalmente en el 20% superior de la altura de la estructura). En este caso el método de la esfera rodante se empleará sólo para posicionar el sistema de captación en la parte superior de la estructura.



NOTA El radio de la esfera rodante r , debería estar de acuerdo con la clase del SPCR elegida (véase la tabla 2).

Figura A.6 – Diseño de un sistema de captación de acuerdo con el método de la esfera rodante

A.3 Colocación del sistema de captación mediante el método de la malla

Con el fin de proteger las superficies planas, se considera que una malla protege la superficie total, en función, fundamentalmente, de cómo se cumplan las siguientes condiciones:

a) Los conductores de captación están colocados:

- en las aristas del tejado,
- en los salientes del tejado,
- en el filo del tejado, si la inclinación del tejado es superior a 1/10.

NOTA 1 El método de la malla es apropiado para tejados horizontales o inclinados sin curvatura.

NOTA 2 El método de la malla es apropiado para proteger contra las descargas laterales superficies planas laterales.

NOTA 3 Si la pendiente del tejado es superior a 1/10 pueden emplearse conductores paralelos en vez de mallas, siempre que las distancias entre los cables no sea superior al ancho de la malla.

b) Las dimensiones de las mallas de la red captadora no son superiores a los valores dados en la tabla 2.

- c) La red del sistema de captación se construye de tal manera que la corriente del rayo encuentre siempre, al menos, dos caminos metálicos diferentes hacia los terminales de puesta a tierra.
- d) Ninguna instalación metálica sobresale hacia fuera del volumen protegido por el sistema de captación.

NOTA 4 En el anexo E se da más información.

- e) Los conductores del sistema de captación siguen, en lo posible, el camino más corto y directo.

ANEXO B (Normativo)

SECCIÓN MÍNIMA DE LAS PANTALLAS DE LOS CABLES QUE ENTRAN EN LA ESTRUCTURA, CON EL FIN DE EVITAR CHISPAS PELIGROSAS

Las sobretensiones entre los conductores activos y la pantalla de los cables pueden dar lugar a chispas peligrosas cuando la corriente del rayo circula por la pantalla. Las sobretensiones dependen de los materiales, de las dimensiones de la pantalla, y de la longitud y colocación del cable.

La sección mínima S_{CMIN} (en mm^2) de la pantalla para que no se produzcan chispas peligrosas viene dada por:

$$S_{\text{CMIN}} = \frac{I_{\text{F}} \times \rho_{\text{C}} \times L_{\text{C}} \times 10^6}{U_{\text{W}}} \quad (\text{mm}^2) \quad (\text{B.1})$$

donde

I_{F} es la corriente que circula por la pantalla, en kA;

ρ_{C} es la resistividad de la pantalla, en Ωm ;

L_{C} es la longitud del cable, en m (véase la tabla B.1);

U_{W} es la tensión soportada al impulso de los sistemas eléctricos/electrónicos alimentados por el cable, en kV.

Tabla B.1 – Longitud del cable a considerar según las condiciones de la pantalla

Condición de la pantalla	L_{C}
En contacto con un suelo de resistividad ρ (Ωm)	$L_{\text{C}} \leq 8 \times \sqrt{\rho}$
Aislada del suelo o en el aire	L_{C} distancia entre la estructura y el punto más próximo de la pantalla puesto a tierra

NOTA Debería comprobarse que, cuando circula la corriente del rayo por la pantalla de los cables o por los conductores, no puede producirse un calentamiento inaceptable en el aislamiento de la línea. Para más información véase la Norma EN 62305-4.

Los límites de la corriente vienen dados por:

- cables apantallados, $I_{\text{F}} = 8 \times S_{\text{C}}$; y
- cables sin apantallar, $I_{\text{F}} = 8 \times n' \times S'_{\text{C}}$

donde

I_{F} es la corriente que circula por la pantalla, en kA;

n' es el número de conductores;

S_{C} es la sección de la pantalla, en mm^2 ;

S'_{C} es la sección de cada conductor, en mm^2 .

ANEXO C (Informativo)

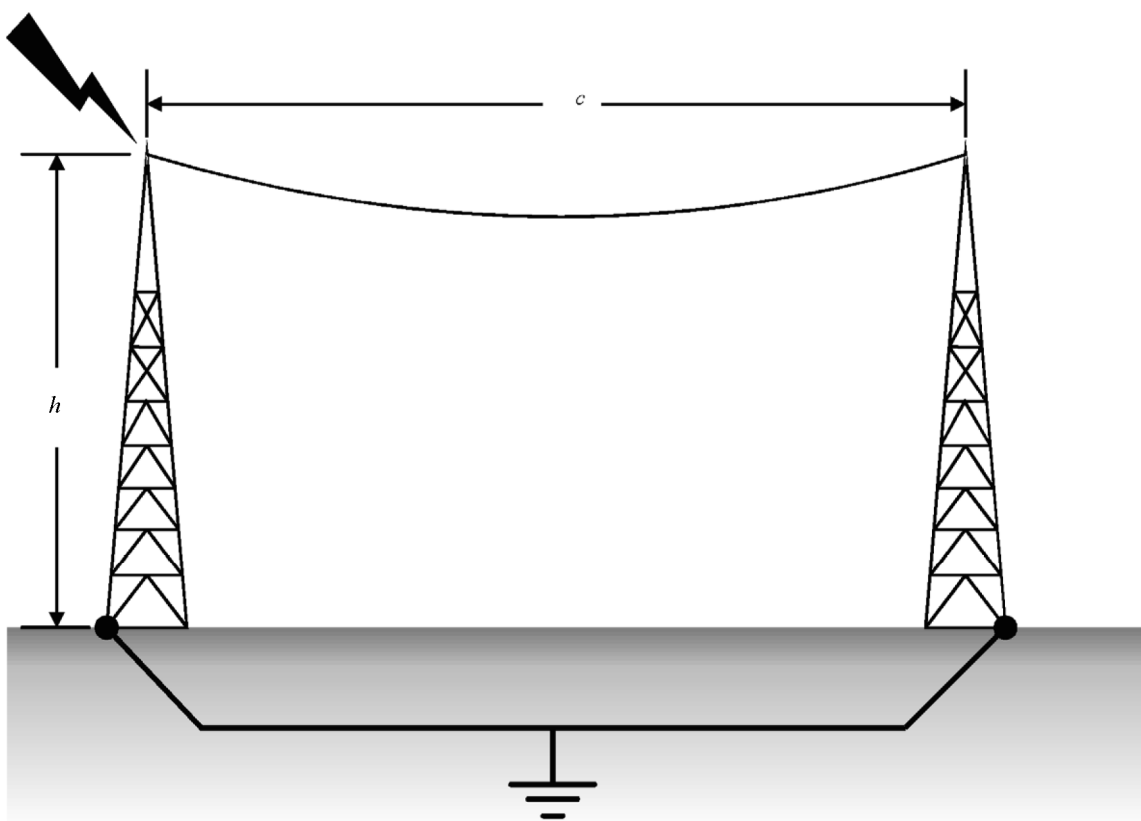
EVALUACIÓN DE LA DISTANCIA DE SEPARACIÓN S

El coeficiente k_c de reparto de la corriente del rayo entre los captadores/conductores de bajada depende del tipo del sistema de captación, del número total de conductores de bajada n , de su posición, de los conductores en anillo equipotencializados, y del tipo de sistema de puesta a tierra.

NOTA 1 La distancia de separación depende de la caída de tensión en el recorrido más corto entre el punto en el que se considera la separación y el punto equipotencial más próximo.

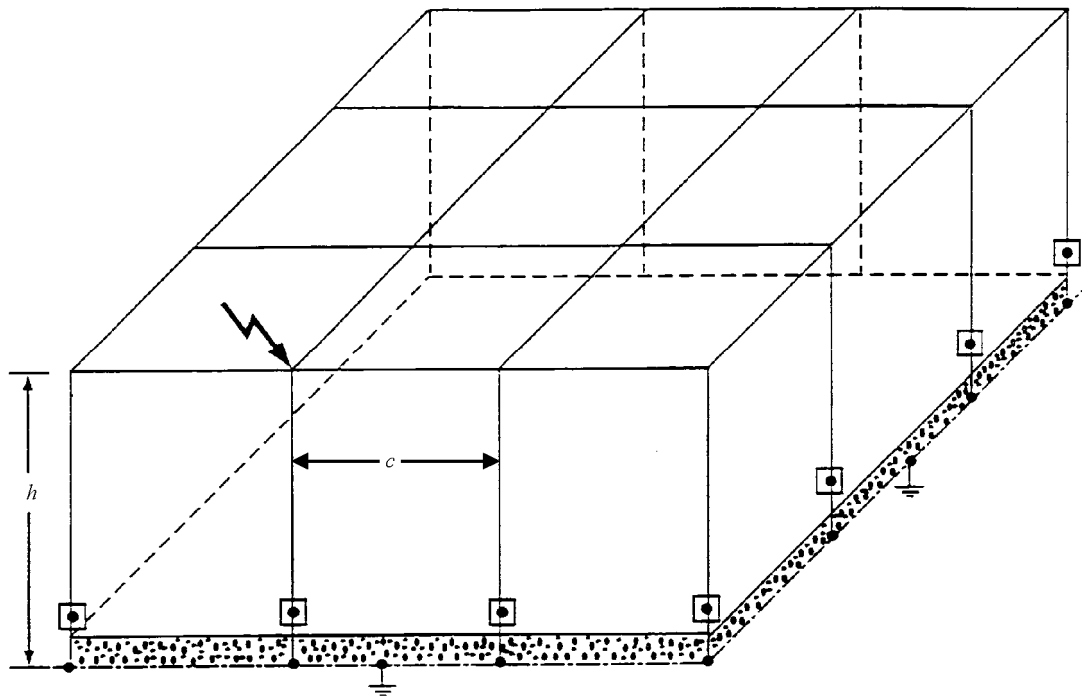
NOTA 2 La información dada en este anexo es válida para cualquier sistema de puesta a tierra, tipo A o tipo B, siempre que la resistencia de los electrodos próximos no difiera en más de un factor 2. Si la resistencia de los electrodos simples difiere en más de un factor 2, debe considerarse $k_c = 1$.

Cuando los captadores o los conductores de bajada presentan un valor constante de la corriente que circula, se aplican las figuras C.1, C.2 y C.3 (véase 6.3.2, aproximación simplificada).



$$k_c = \frac{h+c}{2h+c}$$

Figura C.1 – Valores del coeficiente k_c en el caso de un sistema de captación tipo cable



$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

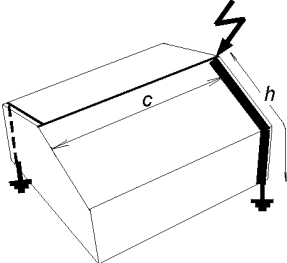
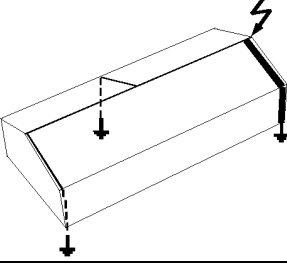
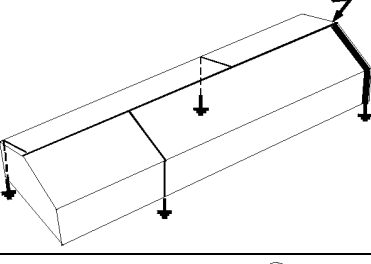
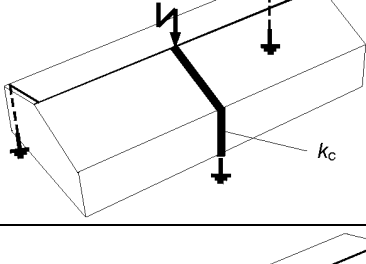
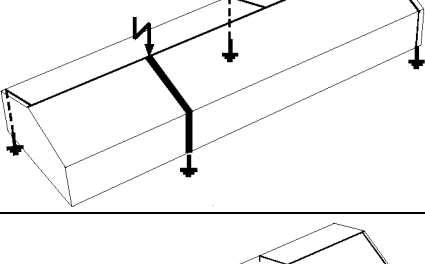
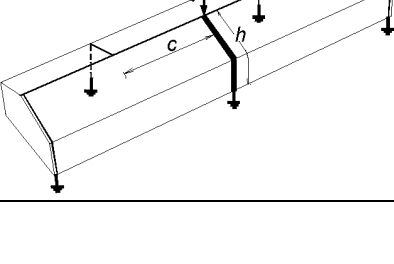

Leyenda

- n Número total de conductores de bajada;
- c Distancia entre un conductor de bajada y el siguiente más próximo;
- h Separación (o altura) entre los conductores en anillo.

NOTA 1 La ecuación de k_c es una aproximación para estructuras cúbicas y para $n \geq 4$. Los valores de h y de c se considera que están en el rango de 3 m a 20 m.

NOTA 2 Si existen conductores de bajada internos, deberían tenerse en cuenta al calcular n .

Figura C.2 – Valores del coeficiente k_c en el caso de un sistema de múltiples conductores de bajada

	$\frac{c}{h}$	0,33	0,50	1,00	2,00	
	k_c	0,57	0,60	0,66	0,75	<p><i>c</i> Distancia, a lo largo del caballete, al conductor de bajada más próximo.</p> <p><i>h</i> Longitud del conductor de bajada desde el caballete hasta el punto equipotencial más próximo o al sistema de toma de tierra.</p> <p>El valor de k_c indicado en la tabla, se refiere a los conductores representados por una línea fina y un punto de impacto.</p> <p>La situación del conductor de bajada (considerado por k_c) debe compararse con el conductor de bajada representativo en la figura.</p> <p>Debe calcularse la relación real c/h. Si el valor de esta relación se encuentra entre los de dos columnas, el valor de k_c puede obtenerse por interpolación.</p> <p>NOTA 1 Conductores de bajada adicionales, con más distancias que las indicadas en las figuras, tienen poca influencia.</p> <p>NOTA 2 En el caso de anillos conductores, situados por debajo del caballete, véase la figura C.4.</p> <p>NOTA 3 Se ha determinado los valores por cálculos simples de impedancias en paralelo, de acuerdo con la fórmula de la figura C.1.</p>
	k_c	0,47	0,52	0,62	0,73	
	k_c	0,44	0,50	0,62	0,73	
	k_c	0,40	0,43	0,50	0,60	
	k_c	0,35	0,39	0,47	0,59	
	k_c	0,31	0,35	0,45	0,58	
	k_c	0,31	0,35	0,45	0,58	

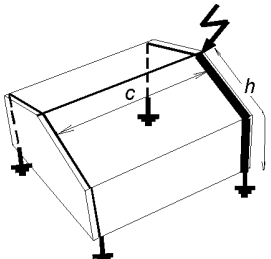
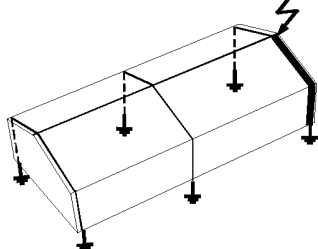
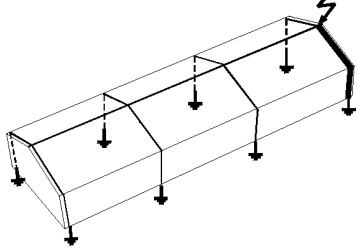
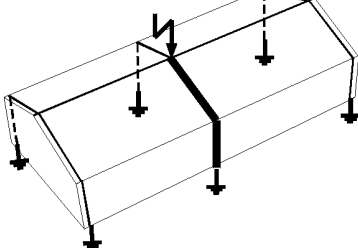
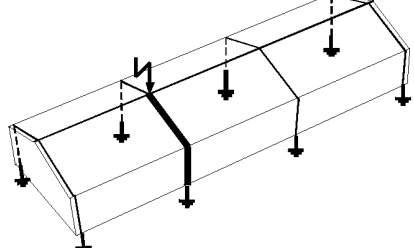
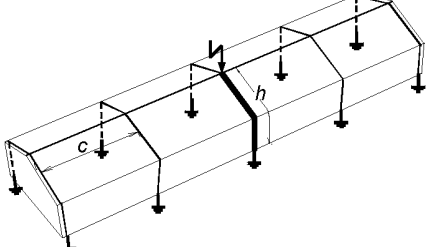
	$\frac{c}{h}$	0,33	0,50	1,00	2,00	
	k_c	0,31	0,33	0,37	0,41	
	k_c	0,28	0,33	0,37	0,41	
	k_c	0,27	0,33	0,37	0,41	
	k_c	0,23	0,25	0,30	0,35	
	k_c	0,21	0,24	0,29	0,35	
	k_c	0,20	0,23	0,29	0,35	

Figura C.3 – Valores del coeficiente k_c en el caso de tejados inclinados con captadores en el caballete

$$d_a \geq s_a = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c1} \times l_a$$

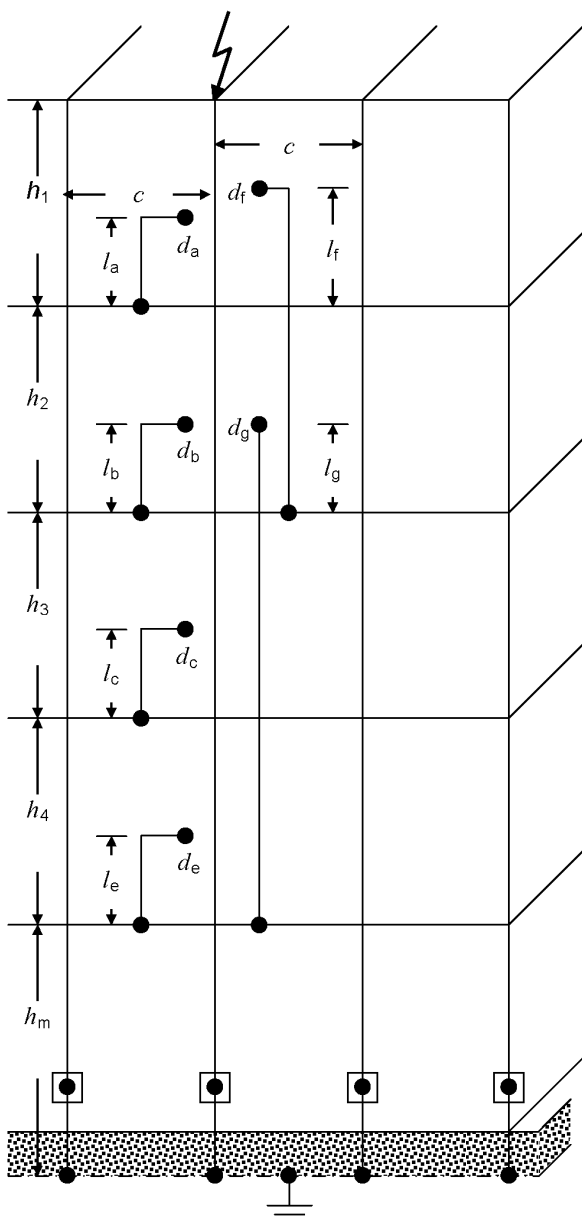
$$d_b \geq s_b = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c2} \times l_b$$

$$d_c \geq s_c = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c3} \times l_c$$

$$d_e \geq s_e = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c4} \times l_e$$

$$d_f \geq s_f = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c1} \times l_f + k_{c2} \times h_2)$$

$$d_g \geq s_g = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c2} \times l_g + k_{c3} \times h_3 + k_{c4} \times h_4)$$



$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times 3 \sqrt{\frac{c}{h_1}}$$

$$k_{c2} = \frac{1}{n} + 0,1$$

$$k_{c3} = \frac{1}{n} + 0,01$$

$$k_{c4} = \frac{1}{n}$$

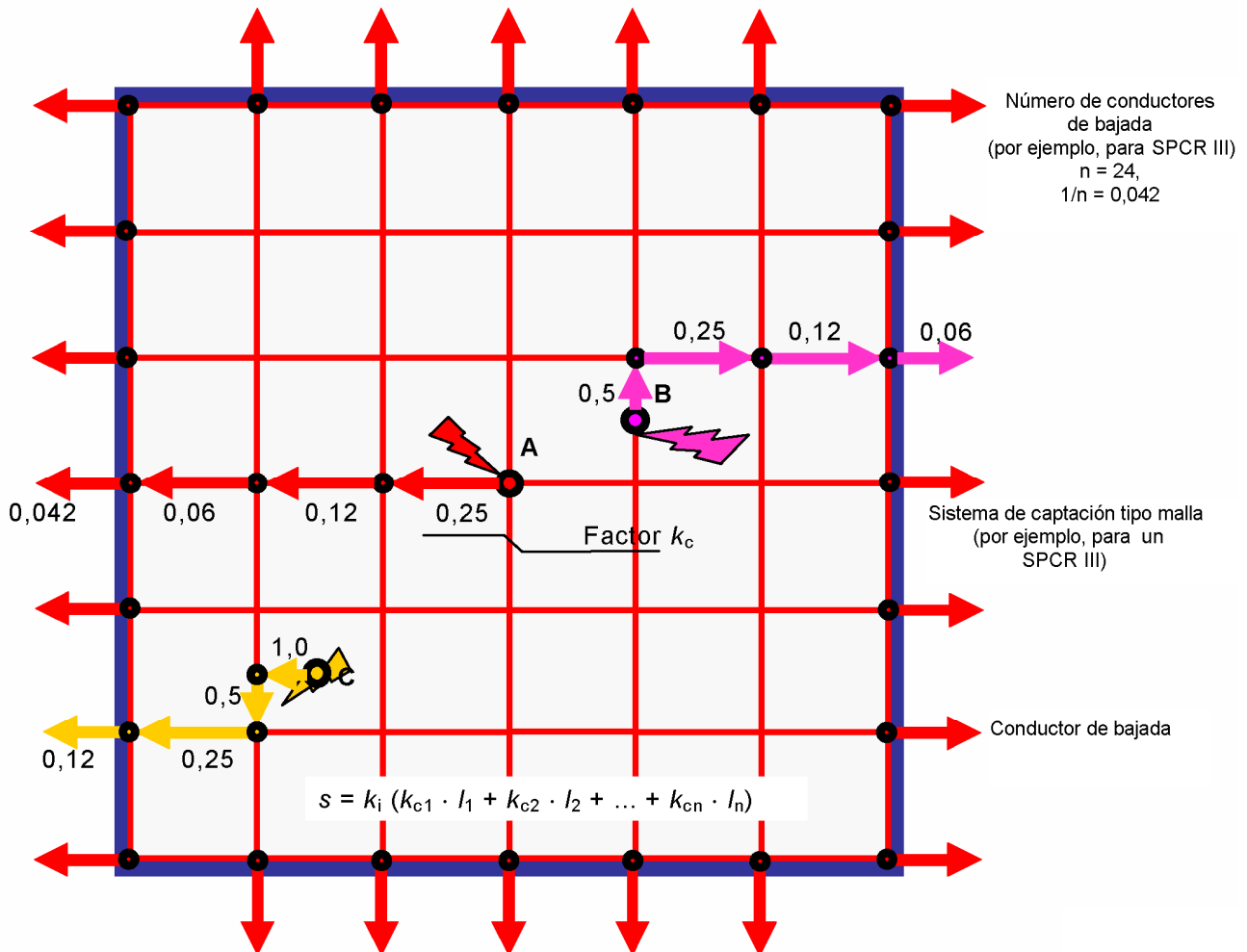
$$k_{cm} = k_{c4} = \frac{1}{n}$$

Leyenda

- n* Número total de conductores de bajada
- c* Distancia entre dos conductores de bajada próximos
- h* Separación (o altura) entre los conductores tipo anillo
- m* Número total de niveles
- d* Distancia al conductor de bajada más próximo
- l* Altura por encima del punto de equipotencialidad

NOTA Si existen conductores de bajada internos, deberían tenerse en cuenta en el número *n*.

Figura C.4 – Ejemplos de cálculo de distancias de separación en el caso de múltiples conductores de bajada con un anillo de interconexión en cada nivel



Leyenda

A, B, C puntos de inyección

NOTA 1 Normas para dividir la corriente:

- a) Punto de inyección
La corriente se divide entre el número posibles de caminos que haya en el punto de inyección del sistema de captación
- b) Uniones (juntas)
La corriente se reduce un 50% en cualquier unión de la malla de captación
- c) Conductor de bajada
La corriente se reduce, de nuevo, un 50%, pero el valor de k_c no debe ser inferior a $1/n$
(n número total de conductores de bajada)

NOTA 2 Deben considerarse los valores de k_c desde el punto de impacto al caballete del tejado. El camino a lo largo del caballete al conductor de bajada no necesita tenerse en consideración. Los valores de k_c a lo largo de los conductores de bajada dependen de los valores de k_c del sistema de captación situado en el caballete del tejado.

NOTA 3 Como se muestra más arriba, si hay pocas mallas desde el punto de impacto al caballete del tejado, solamente deben usarse los valores de k_c , comenzando por el punto en el que se considera la distancia.

NOTA 4 Si existen conductores de bajada internos, deberían tenerse en cuenta en el número n .

Figura C.5 – Valores de los coeficientes k_c en el caso de sistemas de captación tipo malla, con sistemas de múltiples conductores de bajada

ANEXO D (Normativo)**INFORMACIÓN ADICIONAL PARA LOS SPCR EN EL CASO
DE ESTRUCTURAS CON RIESGO DE EXPLOSIÓN****D.1 Generalidades**

Este anexo proporciona información adicional para el diseño, construcción, ampliación y modificación de los SPCR en estructuras con riesgo de explosión.

NOTA 1 La información dada en este anexo está basada en configuraciones de SPCR probadas en la práctica en instalaciones donde existe riesgo de explosión. La autoridad competente puede indicar otros requisitos.

D.2 Términos y definiciones adicionales

Como complemento de los términos y definiciones del capítulo 3 de esta norma, los términos y definiciones de la Norma IEC 60079-14:2007, se aplican a este anexo los términos y definiciones indicados a continuación.

D.2.1 material explosivo sólido:

Compuesto químico sólido, mezcla o dispositivo cuyo fin principal o más común.

D.2.2 zona 0:

Lugar en el que una atmósfera explosiva formada por una mezcla de aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla, está presente continuamente, durante largos períodos de tiempo o frecuentemente.

[IEC 60050-426:2008, 426-03-03 modificada]^[4]

D.2.3 zona 1:

Lugar en el que es probable que se forme en funcionamiento normal, ocasionalmente, una atmósfera explosiva formada por una mezcla de aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.

[IEC 60050-426:2008, 426-03-04 modificada]^[4]

D.2.4 zona 2:

Lugar en el que, en funcionamiento normal, no es probable que se forme, pero si ocurre persistirá solamente durante un periodo corto de tiempo, una atmósfera explosiva formada por una mezcla de aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.

NOTA 1 En esta definición, la palabra "persiste" significa que el tiempo total en el que la atmósfera inflamable existirá. Este comprende el tiempo total de escape, más el tiempo que necesita la atmósfera para dispersarse después que se haya producido el escape.

NOTA 2 Las indicaciones sobre la frecuencia de los sucesos y su duración pueden tomarse de los reglamentos de las industrias o aplicaciones específicas.

[IEC 60050-426:2008, 426-03-05 modificada]^[4]

D.2.5 zona 20:

Lugar en el que está presente de forma continua, por largos períodos o frecuentemente, una atmósfera explosiva en forma de una nube de polvo inflamable en el aire.

[IEC 60079-10-2:2009, 6.2, modificada]

D.2.6 zona 21:

Lugar en el que es probable que se forme ocasionalmente, en funcionamiento normal, una atmósfera explosiva en forma de una nube de polvo inflamable.

[IEC 60079-10-2:2009, 6.2, modificada]

D.2.7 zona 22:

Lugar en el que no es probable que se forme, en funcionamiento normal, una atmósfera explosiva en forma de una nube de polvo inflamable, y si ocurre persistirá solamente durante un corto período de tiempo.

[IEC 60079-10-2:2009, 6.2, modificada]

D.3 Requisitos básicos**D.3.1 Generalidades**

Los SPCR debe diseñarse e instalarse de tal manera que, en el caso de una descarga directa, no se produzcan efectos de fusión o de proyección, excepto en el punto de impacto.

NOTA 1 También pueden aparecer chispas o daños en el punto de impacto. Esto debería tenerse en consideración al determinar la localización de los sistemas de captación. Los conductores de bajada deberían instalarse de tal manera que la temperatura de auto inflamación producida por la fuente peligrosa no se sobrepase en aquellas instalaciones en las que no es posible instalar conductores de bajada fuera de la zona peligrosa.

NOTA 2 Debido a un impacto directo, no siempre es posible impedir un impacto en un equipo eléctrico.

D.3.2 Información requerida

El instalador/diseñador del SPCR debe disponer de los esquemas de la planta a proteger, con las zonas de las plantas en las que los materiales explosivos se manejarán o almacenarán, así como las zonas peligrosas de acuerdo con las Normas IEC 60079-10-1 e IEC 60079-10-2, adecuadamente señalados.

D.3.3 Puesta a tierra

Para estructuras con riesgo de explosión se prefiere una disposición de puesta a tierra tipo B, de acuerdo con el apartado 5.4.2.2.

NOTA La construcción de una estructura puede proporcionar el efecto equivalente del anillo conductor de la disposición de puesta a tierra tipo B (por ejemplo depósitos metálicos de almacenaje).

El valor de la resistencia a tierra de la puesta a tierra en estructuras que contienen materiales sólidos explosivos y mezclas explosivas debe ser tan baja como sea posible, pero no ser superior a 10 Ω .

D.3.4 Equipotencialidad

Deben colocarse conexiones equipotenciales para los componentes del SPCR, de acuerdo con el apartado 6.2, y para las instalaciones con riesgo de explosión, de acuerdo con las Normas IEC 60079-10-1 e IEC 60079-10-2.

D.4 Estructuras que contienen materiales explosivos sólidos

El diseño de la protección contra el rayo en estructuras que contienen materiales explosivos sólidos debe tener en cuenta la sensibilidad de los materiales en sus condiciones de uso y de almacenaje. Por ejemplo, algunos materiales explosivos a granel, no sensibles, no requieren otras consideraciones que las que se indican en este anexo. Sin embargo, hay algunas configuraciones de materiales explosivos sensibles que pueden variar cuando cambian rápidamente los campos eléctricos y/o radiados producidos por el campo electromagnético de impulso del rayo. En tales aplicaciones puede ser necesario establecer conexiones equipotenciales o apantallamientos adicionales.

En estructuras con materiales explosivos sólidos, se recomienda un SPCR externo aislado (como se indica en 5.1.2). Las estructuras contenidas totalmente en una armadura metálica con una pared de espesor mínimo de 5 mm en acero o equivalente (7 mm para las de aluminio) pueden considerarse protegidas por un sistema de captación natural, tal como se define en el apartado 5.2.5. Los requisitos del apartado 5.4, en relación a las puestas a tierra, son aplicables a estas estructuras.

NOTA Cuando no hay puntos calientes ni con problema de ignición, debería verificarse que el calentamiento en la superficie interior del punto de impacto no constituye un problema.

Los DPS deben formar parte del SPCR en todos los sitios donde se encuentren materiales explosivos. Siempre que sea posible, los DPS deben instalarse fuera del lugar en el que se encuentran los materiales sólidos explosivos. Los DPS instalados en los lugares donde se encuentran los materiales o polvos de materiales explosivos, deben ser a prueba de explosiones.

D.5 Estructuras que incluyan zonas peligrosas

D.5.1 Generalidades

Todas las partes de un SPCR externo (sistema de captación, conductores de bajada) deben estar situados donde sea posible a 1 m de distancia, al menos, de la zona peligrosa. Donde esto no sea posible, los conductores que pasen a través de una zona peligrosa deberían ser continuos, o las conexiones deben realizarse de acuerdo con el apartado 5.5.3.

Debe prevenirse la pérdida accidental de conexión en una zona peligrosa.

Si una zona peligrosa se encuentra justo debajo de una chapa metálica que puede ser perforada por el rayo (véase 5.2.5) el sistema de captación debe preverse de acuerdo con los requisitos del apartado 5.2.

D.5.1.1 Supresión de impulsos transitorios

Los DPS, siempre que sea posible, deben colocarse fuera de la zona peligrosa. Los DPS instalados en las zonas peligrosas deben ser aprobados para estas zonas.

D.5.1.2 Equipotencialidad

Además de las conexiones conformes con las tablas 7 y 8, también puede emplearse como conexiones las tuberías, siempre que su conductividad eléctrica esté de acuerdo con el apartado 5.3.5.

Las tuberías instaladas sobre la superficie del terreno deben ponerse a tierra como mínimo cada 30 m. Las conexiones a las tuberías deben realizarse de tal manera que en el caso de que circule una corriente del rayo no se produzca ninguna chispa. Las conexiones apropiadas son soldaduras, pernos o tornillos en las bridas que no permitan el uso de destornilladores. Las conexiones mediante grapas solamente están permitidas si, en el caso de corrientes del rayo, la protección contra la ignición se ha probado mediante ensayos y se han empleado procedimientos que aseguren la fiabilidad de la conexión. Deben preverse uniones para conectar la toma de tierra a los contenedores, partes metálicas de la construcción, bidones y tanques.

Las conexiones equipotenciales entre el sistema de protección contra el rayo y otras instalaciones/estructuras/equipos se realizarán con el acuerdo del operador del sistema. Las conexiones equipotenciales que empleen descargadores no pueden realizarse sin el acuerdo del operador del sistema. Estos equipos deben ser apropiados para el medio ambiente en el que se instalan.

D.5.2 Estructuras con zonas 2 y 22

Las estructuras donde existen zonas definidas como 2 y 22 puede que no requieran medidas de protección suplementarias.

Para las instalaciones metálicas situadas en el exterior (por ejemplo, columnas metálicas, reactores, recipientes con zonas 2 y 22) cuyo espesor y materiales están de acuerdo con los requisitos de la tabla 3, se aplica lo siguiente:

- no se requieren sistemas captadores ni conductores de bajada;
- las instalaciones deben ponerse a tierra de acuerdo con el capítulo 5.

D.5.3 Estructuras con zonas 1 y 21

En las estructuras donde existen zonas definidas como 1 y 21 se aplican los requisitos de las zonas 2 y 22, con las siguientes adiciones:

- si hay piezas aislantes en las tuberías, el operador debe determinar las medidas de protección. Por ejemplo, una descarga disruptiva puede evitarse mediante el uso de protección contra explosiones y mediante explosores de aislamiento;
- los explosores de aislamiento y las piezas aislantes deberían colocarse fuera de la zona con peligro de explosión.

D.5.4 Estructuras con zonas 0 y 20

En las estructuras donde existen zonas definidas como 0 y 20 se aplican los requisitos del apartado D.5.3 suplementados con las recomendaciones de este apartado.

En las instalaciones exteriores donde existen zonas definidas como 0 y 20 se aplican los requisitos del apartado de las zonas 1, 2, 21 y 22, con las siguientes adiciones:

- los equipos eléctricos en el interior de tanques que contienen líquidos inflamables deben ser apropiados para este uso. Las medidas de protección contra el rayo deben tomarse de acuerdo al tipo de construcción;
- los recipientes metálicos cerrados con zonas interiores definidas como 0 y 20 deben tener, en los posibles puntos de impacto de rayos, un espesor mínimo de la pared de acuerdo con la tabla 3, siempre que el calentamiento de la superficie interior en el punto de impacto no constituya un peligro. En el caso de que el espesor de la pared sea menor, deben instalarse dispositivos de captación.

D.5.5 Aplicaciones específicas

D.5.5.1 Estaciones de carburantes

En las estaciones de carburante para coches, barcos, etc. con zonas peligrosas definidas, las tuberías metálicas deben ponerse a tierra de acuerdo con el capítulo 5. Las tuberías deben conectarse con las construcciones de acero y los raíles, donde los haya (si es necesario vía explosores aislantes aprobados para la zona peligrosa en la que se van a instalar), para tener en cuenta las corrientes de los ferrocarriles, las corrientes parásitas, los fusibles de los trenes eléctricos, los sistemas de protección de corrosión catódica y similares.

D.5.5.2 Tanques de almacenamiento

Ciertos tipos de estructuras empleadas para almacenar líquidos que pueden producir vapores inflamables o para almacenar gases inflamables están esencialmente autoprotegidas (contenidas en recipientes totalmente metálicos con un espesor no inferior a 5 mm en el caso de acero y de 7 mm en el caso de aluminio, sin explosores) y no requieren protección adicional si el calentamiento de la superficie interior del punto de impacto no constituye un peligro.

De manera similar, los tanques y las tuberías enterradas no necesitan dispositivos de captación. La instrumentación o los elementos eléctricos empleados en el interior de estos equipos deben estar aprobados para este servicio. Las medidas de protección contra el rayo deben tomarse de acuerdo con el tipo de construcción.

Para los tanques instalados en parques (por ejemplo, refinerías y tanques almacenes), es suficiente la conexión a tierra en un punto de cada tanque. Los tanques deben estar conectados unos a otros. Además de las conexiones de acuerdo con las tablas 8 y 9, pueden emplearse como conexiones las tuberías eléctricamente conectadas, de acuerdo con el apartado 5.3.5.

NOTA En algunos países pueden existir requisitos adicionales.

Los tanques y los recipientes aislados, en función de su mayor dimensión horizontal (diámetro o longitud), deben ponerse a tierra de acuerdo con el capítulo 5:

- hasta 20 m: una vez;
- superior a 20 m: dos veces.

En el caso de tanques con techo flotante, este techo debe estar conectado a la envolvente principal del tanque. Es necesario estudiar cuidadosamente el diseño de los cierres y puentes, así como su ubicación para que el riesgo de inflamación producida por una chispa, en una posible mezcla explosiva, se reduzca al nivel más bajo posible. Cuando se fije una escalera, debe colocarse un conductor equipotencial flexible de 35 mm de anchura y espesor mínimo de 3 mm en las bisagras de la escalera, entre la escalera y la parte superior del tanque y entre la escalera y el techo flotante. Cuando no se fije una escalera al techo flotante, uno o más (en función del tamaño del tanque) conductores equipotenciales de 35 mm de anchura, con un espesor mínimo de 3 mm, o equivalente, deben colocarse entre la envolvente del tanque y el techo flotante. Los conductores equipotenciales deben colocarse de manera que no formen bucles. En estos tanques deben preverse múltiples conexiones puente entre el techo flotante y la envolvente del tanque, a intervalos de unos 1,5 m a lo largo de la periferia del techo. La selección de los materiales se hace en función de las características del producto y/o de los requisitos ambientales. Se permiten medios alternativos para obtener una adecuada conexión conductora entre el techo flotante y la envolvente del tanque contra los impulsos de corriente asociados a las corrientes del rayo solamente si se han comprobado mediante ensayos y si los procedimientos empleados aseguran la fiabilidad de la conexión.

D.5.5.3 Red de tuberías

Las tuberías metálicas al aire situadas en el interior de las instalaciones pero fuera del proceso de producción, deberían conectarse al sistema de puesta a tierra cada 30 m, o ponerse a tierra mediante electrodos tipo punta o de superficie. No se considera el soporte aislante de las tuberías.

D.6 Mantenimiento e inspección

D.6.1 Generalidades

Todos los SPCR instalados para proteger las estructuras con riesgo de explosión deben mantenerse e inspeccionarse adecuadamente. Para este objeto se necesitan requisitos adicionales a los indicados en el capítulo 7.

D.6.2 Requisitos generales

Debe desarrollarse un plan de mantenimiento e inspección para los sistemas de protección instalados. La guía de mantenimiento del SPCR debe suministrarse o añadirse al programa existente cuando se finalice la instalación del SPCR.

D.6.3 Cualificaciones

En el mantenimiento, inspección y ensayo de los SPCR en las instalaciones con explosivos, solo debe permitirse personal cualificado con suficiente entrenamiento y experiencia.

La inspección requiere personal que

- a) tenga conocimientos técnicos y comprenda los requisitos teóricos y prácticos de la instalación en zonas peligrosas así como las instalaciones del equipamiento de los SPCR;
- b) comprenda los requisitos de la inspección visual completa y su relación con los equipos e instalaciones de los SPCR.

NOTA Las competencias y entrenamiento pueden estar incluidos en marcos de entrenamiento y asesoramientos nacionales.

D.6.4 Requisitos de las inspecciones

Para asegurar que las instalaciones están mantenidas para su uso continuo, de una manera satisfactoria, pueden seguirse unas de estas dos vías:

- a) inspecciones periódicas; y/o
- b) supervisión continua por personal cualificado;

así como cuando sea necesario.

Después de cualquier ajuste, mantenimiento, reparación, reclamación, modificación o sustitución, deben inspeccionarse el equipamiento o las partes relevantes afectadas.

D.6.4.1 Inspecciones periódicas

El personal que lleve a cabo las inspecciones regulares periódicas necesitará ser suficientemente independiente de las actividades de mantenimiento, por ejemplo, no interfiriendo en su capacidad para llevar a cabo los informes con lo encontrado en la inspección.

NOTA Este requisito no es necesario cuando este personal pertenece a una organización independiente.

D.6.4.2 Concepto de supervisión continua por personal experto

El objeto de la supervisión continua es posibilitar la detección temprana de faltas para su subsiguiente reparación. Se emplea el personal cualificado existente que está atendiendo a las instalaciones en el transcurso de su trabajo normal (por ejemplo, trabajos de montaje, cambios, inspecciones, trabajos de mantenimiento, chequeo de faltas, trabajo de limpieza, operaciones de control, realización de conexiones y desconexiones, ensayos funcionales, medidas) o que emplean su experiencia para detectar faltas y cambios en una etapa temprana.

Cuando el personal cualificado se visita una instalación de manera regular durante el proceso normal del trabajo, además de cumplir con los requisitos a) y b) del apartado D.6.3 necesita:

- a) ser consciente del proceso y de las implicaciones medioambientales cuando se deterioran equipos o instalaciones específicas; y
- b) llevar a cabo inspecciones visuales y/ó completas, como parte programada de su trabajo, así como inspecciones detalladas.

pudiendo ser posible no realizar las inspecciones periódicas a cambio de la presencia frecuente de la persona cualificada, de manera que se asegure la integridad del equipamiento.

El uso de la supervisión continua por personal cualificado no evita los requisitos de una inspección inicial y de muestras.

D.6.5 Requisitos de los ensayos eléctricos

El sistema de protección interna debe ensayarse eléctricamente:

- a) cada 12 (+2) meses; o
- b) es una tarea compleja predecir de manera precisa un intervalo periódico de inspección. El grado de la inspección así como los intervalos entre las inspecciones periódicas debe determinarse teniendo en cuenta el tipo de equipamiento, las guías de los fabricantes, si las hay, los factores que regulan el deterioro y los resultados de inspecciones anteriores.

Donde se hayan establecido grados e intervalos de inspección en equipos similares, plantas y medioambientes, deben emplearse estas experiencias para establecer las estrategias de inspección.

Los intervalos entre inspecciones periódicas que superen los tres años deberían basarse en una valoración que incluya información relevante.

El mantenimiento e inspección de un SPCR debería llevarse a cabo junto con el mantenimiento e inspección de todas las instalaciones eléctricas en zonas peligrosas y debe incorporarse en el programa de mantenimiento.

Los instrumentos empleados en los ensayos deben cumplir con la Norma IEC 61557-4.

La resistencia (c.c) de cualquier objeto conectado con el sistema de protección contra rayos no debe exceder de $0,2 \Omega$.

Los ensayos deben llevarse a cabo de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo de ensayo.

D.6.6 Métodos de ensayos de la resistencia de puesta a tierra

Solamente debe permitirse para estos ensayos, equipos específicamente diseñados con este fin.

Los instrumentos de ensayo deben mantenerse apropiadamente y calibrarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Para instalaciones con riesgo de explosivo debe utilizarse el método de tres puntos a tierra, siempre que sea posible.

D.6.7 Protección contra ondas transitorias

Los dispositivos de protección contra las ondas transitorias (y su medio aislante, en su caso) debe inspeccionarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante y en intervalos que no excedan de 12 meses y siempre que se realicen ensayos eléctricos en el SPCR. Los DPS también deben inspeccionarse después de una sospecha de que haya habido un impacto en la estructura.

D.6.8 Reparaciones

El personal de mantenimiento debe asegurar que las reparaciones de todas las discrepancias encontradas durante las inspecciones se han realizado en un tiempo aceptable.

D.6.9 Registros y documentación

Debe documentarse y registrarse, inmediatamente, cualquier indicación o daño producido por el impacto de un rayo en la estructura o en su SPCR.

Los registros históricos, tanto del mantenimiento como de las inspecciones deben guardarse con el fin de poder hacer análisis.

ANEXO E (Informativo)

GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE LOS SPCR

E.1 Generalidades

Este anexo es una guía para el diseño, construcción, mantenimiento e inspección de un SPCR de acuerdo con esta norma.

Este anexo debería emplearse y es válido solamente junto con otras partes de esta norma.

Se presentan ejemplos sobre técnicas de protección que tienen la aprobación de expertos internacionales.

NOTA Los ejemplos que se presentan en este anexo ilustran sobre un posible método de realizar la protección. Otros métodos pueden ser igualmente válidos.

E.2 Estructura de este anexo

En este anexo los números del capítulo principal son un reflejo de los números de los capítulos del documento principal, lo que proporciona una fácil referencia entre las dos partes. No todos los capítulos están reflejados.

Para conseguir este fin, no se emplea en este anexo el capítulo E.3.

E.3 Disponible

E.4 Diseño de un sistema de protección contra el rayo (SPCR)

E.4.1 Notas generales

La construcción de un SPCR en una estructura existente debería contrastarse siempre con otras medidas de protección contra el rayo conformes con esta norma que proporcionen el mismo nivel de protección, al objeto de reducir costes. Para la selección de las medidas de protección más adecuadas se aplica la Norma EN 62305-2.

El SPCR debería diseñarse e instalarse por proyectistas e instaladores de SPCR.

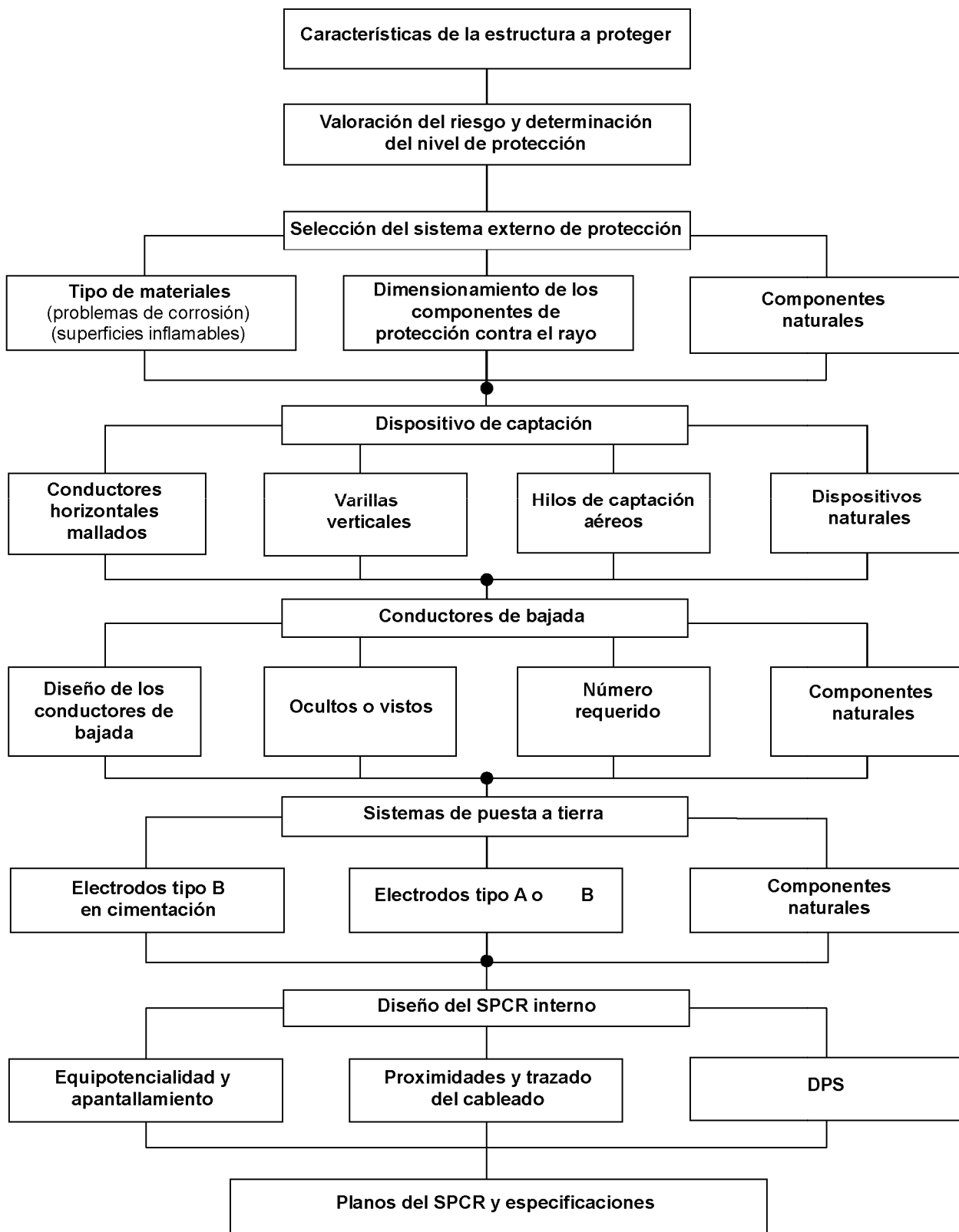
El diseñador y el instalador de un SPCR debería ser capaz de valorar los efectos eléctricos y mecánicos de la descarga del rayo y estar familiarizado con los principios generales de la compatibilidad electromagnética (CEM).

Además, el diseñador del SPCR debería ser capaz de valorar los efectos de la corrosión y decidir cuándo es necesario buscar la ayuda de un experto.

El instalador del SPCR debería estar entrenado en la instalación correcta de los componentes del SPCR de acuerdo con los requisitos de esta norma y de las normas nacionales que regulen los trabajos de construcción de las estructuras de los edificios.

Las funciones de un diseñador y de un instalador de un sistema de SPCR pueden recaer en una misma persona. Para llegar a ser un diseñador o instalador especializado se requiere un conocimiento profundo de las normas y varios años de experiencia.

La planificación, la implementación y los ensayos de un SPCR engloban un número de campos técnicos y exigen una coordinación de todas las partes relacionadas con la estructura para asegurar la obtención del nivel de protección seleccionado, a un coste mínimo y con el menor esfuerzo posible. La puesta en marcha del SPCR debería ser eficiente si se siguen los pasos descritos en la figura E.1. Las medidas de aseguramiento de la calidad son de gran importancia, en particular en aquellas estructuras que incluyen grandes instalaciones eléctricas y electrónicas.



NOTA Las interfaces • requieren la colaboración total del arquitecto, del ingeniero y del diseñador del SPCR.

Figura E.1 – Diagrama de diseño de un SPCR

Las medidas para asegurar la calidad comienzan en la etapa de planificación, en la que deberían aprobarse todos los planos, prosigue con la etapa de construcción del SPCR, en la que deben verificarse todas las partes esenciales del SPCR pero inaccesibles para inspeccionarse después de la construcción. El aseguramiento de la calidad continúa con la etapa de aceptación, en la que deberían llevarse a cabo las medidas finales en el SPCR, con la documentación de los ensayos finales y, finalmente, a lo largo de toda la vida del SPCR, mediante inspecciones periódicas de acuerdo con el programa de mantenimiento.

Cuando se realicen modificaciones en la estructura o en sus instalaciones, debería hacerse una verificación para determinar si la protección contra el rayo existente está conforme con esta norma. Si se encuentra que la protección es inadecuada, deberían implementarse las mejoras sin dilación.

Se recomienda que los materiales, las ampliaciones y las dimensiones del sistema de captación, los conductores de bajada, los terminales de puesta a tierra, el sistema equipotencial, los componentes, etc. estén de acuerdo con esta norma.

E.4.2 Diseño del SPCR

E.4.2.1 Procedimiento de planificación

Antes de que se comience cualquier trabajo sobre el diseño del SPCR, el proyectista de la protección contra el rayo debería obtener información básica referente a la función, diseño general, construcción y situación de la estructura.

Si el SPCR no ha sido aún especificado por la autoridad competente, la aseguradora o el comprador, el proyectista de la protección contra el rayo debería determinar si la estructura debe protegerse o no con un SPCR siguiendo el procedimiento de la Norma EN 62305-2.

E.4.2.2 Consulta

E.4.2.2.1 Información general

En las etapas de diseño y construcción de una nueva estructura, el diseñador, el instalador del SPCR, y todas las personas con responsabilidad en las instalaciones de la estructura o que por ley tienen relación con el uso de la estructura (por ejemplo, comprador, arquitecto, constructor...) deberían consultarse regularmente.

El diagrama de flujo de la figura E.1 facilitará el diseño racional de un SPCR.

En las fases de diseño y construcción de un SPCR para una estructura existente, deberían hacerse consultas, en tanto en cuanto sea razonable, a las personas responsables de la estructura, sobre su uso, el de las instalaciones y los servicios.

Las consultas pueden tener lugar entre el propietario, el constructor del edificio o de la estructura o sus representantes. En estructuras ya existentes, el diseñador del SPCR debería proporcionar planos que podrían modificarse, caso de ser necesario, por el instalador.

Las consultas regulares entre las partes implicadas deberían dar como resultado un SPCR efectivo y al menor coste posible. Por ejemplo, la coordinación de los trabajos de diseño del SPCR con los trabajos de construcción permitirá a menudo no necesitar algunas conexiones equipotenciales y reducir las longitudes de las que son necesarias. Los costes de construcción se reducen frecuentemente previendo trazados comunes para varias instalaciones de la estructura.

Las consultas son importantes en todas las etapas de la construcción de una estructura así como cuando sea necesario modificar el SPCR por cambios en el diseño de la estructura. Las consultas también son necesarias para acordar planes que faciliten la inspección de las partes de un SPCR inaccesibles a una inspección visual después de que se ha terminado la estructura. En estas consultas, debería definirse la situación de todas las conexiones entre los componentes naturales y el SPCR. Los arquitectos son, por lo general, las personas indicadas para organizar y coordinar los encuentros consultivos en los nuevos proyectos de edificación.

E.4.2.2.2 Partes principales de las consultas

El proyectista del SPCR debería coordinar las consultas técnicas con todas las partes relacionadas con el diseño y construcción de la estructura, incluido el dueño de la estructura.

El proyectista del SPCR junto con el arquitecto, con el contratista eléctrico, con el contratista de la obra civil, con el instalador (suministrador) del SPCR y cuando sea necesario, con un consejero histórico, con el dueño o su representante, deberían definir las zonas de responsabilidad especial en la instalación del SPCR.

Es de gran importancia el reparto de responsabilidades entre las diferentes partes que participan en el diseño y construcción del SPCR. Un ejemplo podría ser cuando la estanquidad de la estructura se perfora por los componentes del SPCR montados en el tejado o por la conexión de los conductores a los electrodos por debajo de la cimentación.

E.4.2.2.2.1 Arquitecto

Con el arquitecto debería llegarse a un acuerdo en los siguientes puntos:

- a) trazado de todos los conductores del SPCR;
- b) materiales de los componentes del SPCR;
- c) detalles de las tuberías metálicas, desagües, raíles y similares;
- d) detalles de cualquier equipo, aparato, instalación, etc. que se va a instalar en la estructura o cerca de ella que pueda requerir movimientos de las instalaciones o conexiones equipotenciales con el SPCR debido a la distancia de separación. Ejemplos de instalaciones son los sistemas de alarma, los sistemas de seguridad, los sistemas de telecomunicación internos, los sistemas de proceso de señal y de datos, los circuitos de radio y TV;
- e) la extensión de cualquier servicio enterrado que podría afectar a la red de puesta a tierra y que requiere situarlo a una distancia de seguridad del SPCR;
- f) la zona disponible para la instalación de puesta a tierra;
- g) la extensión de los trabajos y el reparto de responsabilidades en las primeras fijaciones del SPCR a la estructura. Por ejemplo, aquellos que afectan a la impermeabilidad de los materiales (principalmente en el tejado), etc.;
- h) los materiales conductores que se van a emplear en la estructura, en especial cualquier metal continuo que puede conectarse equipotencialmente al SPCR, por ejemplo, los montantes, las armaduras de acero y los servicios metálicos que entran, salen o están en la estructura;
- i) el impacto visual del SPCR;
- j) el impacto del SPCR en el conjunto de la estructura;
- k) la colocación de los puntos de conexión a las armaduras de acero, especialmente donde penetran elementos conductores externos (tuberías, pantallas de cable, etc.);
- l) la conexión del SPCR con el SPCR de los edificios adyacentes.

E.4.2.2.2.2 Servicios públicos

La conexión equipotencial de los servicios entrantes al SPCR, bien directamente, o si esto no es posible, por medio de descargadores o DPS debería discutirse con el operador o con las autoridades competentes, ya que pueden haber requisitos conflictivos.

E.4.2.2.2.3 Bomberos y servicios de seguridad

Debería llegarse a un acuerdo, en los siguientes puntos, con los bomberos y con los servicios de seguridad:

- colocación de las alarmas y de los componentes de extinción de incendios;
- itinerarios, materiales de construcción y estanquidad de los conductos;
- método de protección que debe usarse en el caso de una estructura con un tejado inflamable.

E.4.2.2.2.4 Instaladores de sistemas electrónicos y antenas exteriores

Debería llegarse a un acuerdo, en los siguientes puntos, con los instaladores de los sistemas electrónicos y de las antenas exteriores:

- aislamiento o conexión equipotencial al SPCR de los soportes aéreos y de las pantallas conductoras de los cables;
- trazado de los cables aéreos y de la red interna;
- instalación de los DPS.

E.4.2.2.2.5 Constructor e instalador

Debería llegarse a un acuerdo, en los siguientes puntos, entre el constructor, el instalador y los responsables de la construcción de la estructura y su equipo técnico:

- a) forma, posición y número de fijaciones primarias del SPCR a suministrar por el constructor;
- b) cualquier fijación indicada por el proyectista del SPCR (o fabricante o suministrador del SPCR) a instalar en el edificio;
- c) posición de los cables del SPCR que van a colocarse por debajo de la estructura;
- d) si, durante la fase de la construcción, se va a utilizar algún componente del SPCR, por ejemplo la red final de puesta a tierra podría usarse como puesta a tierra de las grúas, montacargas, u otros elementos metálicos empleados en los trabajos de construcción *in situ*;
- e) en las estructuras de acero, el número y posicionamiento de los montantes y la forma de fijar y hacer la conexiones de los terminales de tierra y otros componentes del SPCR;
- f) en caso de emplearse cubiertas metálicas, si son válidas como componentes del SPCR;
- g) el método para asegurar la continuidad eléctrica de las partes individuales de las cubiertas y el método de conectarlas al resto del SPCR cuando la cubierta metálica es válida como componente del SPCR;
- h) la naturaleza y la colocación de los servicios que entran en la estructura, aéreos o subterráneos, incluyendo los sistemas transportadores, las antenas de televisión y radio aéreas con sus soportes metálicos, las chimeneas metálicas y el equipo de limpieza de ventanas;
- i) coordinación del sistema de puesta a tierra del SPCR con la conexión equipotencial de los servicios de potencia y comunicación;
- j) la posición y el número de mástiles para banderas, habitaciones en la planta a nivel del tejado, por ejemplo cuartos del ascensor, ventilación, calefacción y aire acondicionado, depósitos de agua u otros elementos salientes;
- k) la construcción de los tejados y paredes para poder determinar los métodos apropiados de fijación de los conductores del SPCR, especialmente en relación a mantener la estanquidad de la estructura;

- l) la previsión de orificios en la estructura para pasar los conductores de bajada del SPCR;
- m) la previsión de conexiones equipotenciales a la estructura de acero, armaduras y otras partes conductoras de la estructura;
- n) la frecuencia de inspección de los componentes del SPCR que serán inaccesibles, por ejemplo las barras de acero en hormigón armado;
- o) la elección de los metales más apropiados para los conductores teniendo en cuenta la corrosión, especialmente en los puntos de contacto entre dos metales diferentes;
- p) la accesibilidad de las juntas de unión, suministro de protecciones no metálicas contra daños mecánicos o robo, bajada de los mástiles para banderas ú otros objetos movibles, medios para inspecciones periódicas, especialmente en las chimeneas;
- q) la preparación de planos que incorporen todos los detalles anteriores mostrando la posición de todos los conductores y de los componentes principales;
- r) la situación de los puntos de conexión a la armadura de acero.

E.4.2.3 Requisitos eléctricos y mecánicos

E.4.2.3.1 Diseño eléctrico

El proyectista del SPCR debería seleccionar el SPCR apropiado con el fin de conseguir la construcción más eficiente. Esto significa considerar el diseño arquitectónico de la estructura para determinar si debería ponerse un SPCR aislado o no aislado, o una combinación de ambos.

Los ensayos de la resistividad del terreno deberían hacerse antes de finalizar el diseño de un SPCR y deberían tenerse en cuenta las variaciones estacionales de dicha resistividad.

Mientras se finaliza el diseño eléctrico básico del SPCR, debería considerarse el uso de las partes conductoras de la estructura adecuadas como componentes naturales del SPCR para que respalden o actúen como componentes esenciales del SPCR.

Es responsabilidad del proyectista del SPCR valorar las propiedades eléctricas y físicas de los componentes naturales del SPCR y asegurar que están de acuerdo con los requisitos mínimos de esta norma.

El empleo de la armadura metálica, como en el caso del hormigón armado, como conductores de protección contra el rayo, requiere una consideración particular y un conocimiento de las normas nacionales de construcción aplicables a la estructura a proteger. La armadura de acero del hormigón armado puede emplearse como conductor de un SPCR o como una pantalla conductora para reducir los campos electromagnéticos producidos por el rayo en la estructura cuando las corrientes del rayo circulan a través de un SPCR aislado. Este diseño del SPCR hace más fácil la protección, especialmente en estructuras que contienen amplias instalaciones eléctricas y electrónicas.

Se requiere una especificación rigurosa sobre la construcción de los conductores de bajada con el fin de cumplir con los requisitos mínimos de los componentes naturales dados en el apartado 5.3.5.

E.4.2.3.2 Diseño mecánico

El proyectista de la protección contra el rayo debería consultar con las personas responsables del diseño mecánico de la estructura para completar el diseño eléctrico.

Son importantes las consideraciones estéticas, así como la correcta selección de los materiales para limitar el riesgo de corrosión.

Las dimensiones mínimas de los componentes de la protección contra el rayo para las distintas partes del SPCR se dan en las tablas 3, 6, 7, 8 y 9.

Los materiales empleados para los componentes del SPCR están enumerados en la tabla 5.

NOTA Para seleccionar otros componentes, tales como puntas y abrazaderas, debería hacerse referencia a la serie de Normas EN 50164. De esta manera se asegurará que se tienen en cuenta el calentamiento y la resistencia mecánica de estos componentes.

Cuando se produzcan desviaciones en las dimensiones y en los materiales indicados en las tablas 5, 6 y 7, empleando los parámetros de las descargas eléctricas especificados para seleccionar la clase del SPCR según la tabla 1, el proyectista del SPCR o el instalador debería predecir, de acuerdo con las dimensiones de los conductores y las condiciones de la descarga, el calentamiento de los conductores del sistema.

Cuando un calentamiento excesivo afecta a la superficie a la que están unidos los componentes (bien porque es inflamable o bien porque tiene un punto de fusión bajo), deberían especificarse conductores de mayor sección o tener en cuenta otras precauciones de seguridad, como pueden ser el uso de fijaciones, o la inserción de capas resistentes al fuego.

El proyectista del SPCR debería identificar todas las zonas con problemas de corrosión y especificar las medidas apropiadas.

Los efectos de la corrosión en el SPCR pueden reducirse bien aumentando el tamaño de los materiales, bien empleando componentes resistentes a la corrosión, o bien tomando otras medidas de protección contra la corrosión.

El proyectista y el instalador del SPCR deberían especificar las fijaciones de los conductores capaces de soportar los esfuerzos electrodinámicos debidos a la corriente del rayo y permitir la dilatación y contracción de los conductores cuando se produzcan variaciones de temperatura.

Esto debería conseguirse empleando componentes ensayados de acuerdo con la serie de Normas EN 50164.

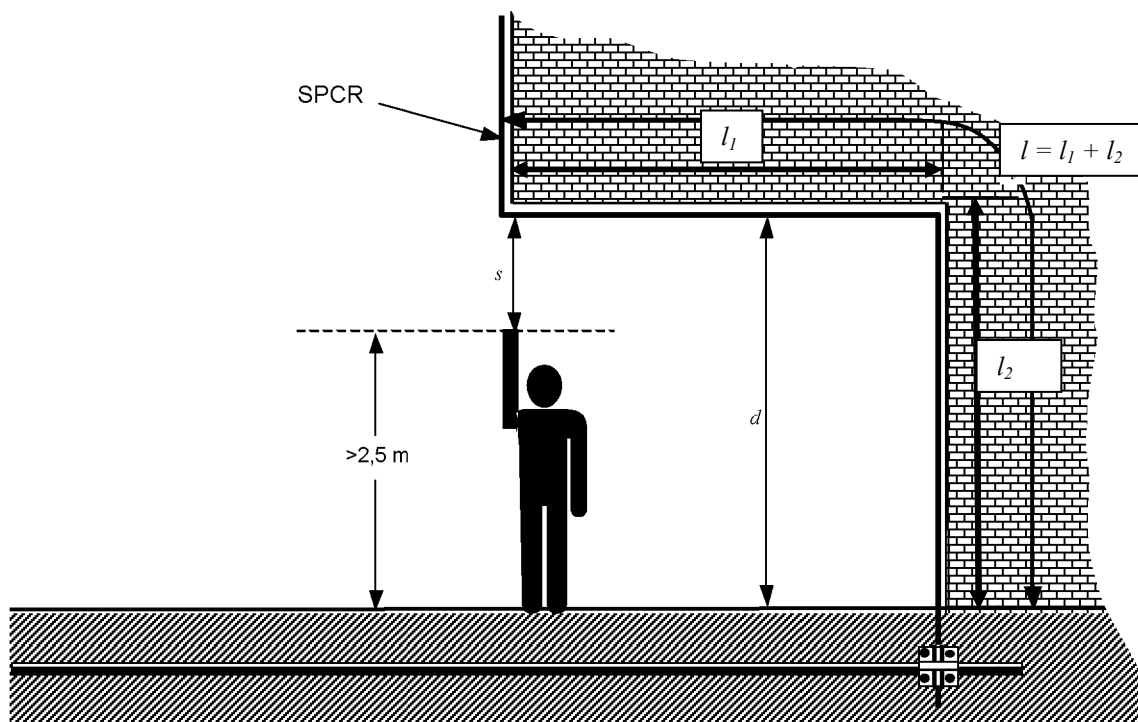
E.4.2.3.3 Estructuras con una parte en voladizo

Para reducir la probabilidad de que una persona de pie bajo una construcción en voladizo sea un paso alternativo para la corriente del rayo que circula por el conductor de bajada situado en la pared del voladizo, la distancia d debería cumplir la siguiente condición:

$$d > 2,5 + s \quad (\text{E.1})$$

donde s es la distancia de separación en metros calculada según el apartado 6.3.

El valor 2,5 es representativo de la altura de la punta de los dedos de la mano de un hombre cuando estira su brazo verticalmente (véase la figura E.2).



Leyenda

d Distancia real $> s$

s Distancia de separación según el apartado 6.3

l Longitud para evaluar la distancia de separación s

NOTA La altura de la persona con la mano levantada se toma igual a 2,5 m.

Figura E.2 – Diseño de un SPCR para una estructura con voladizo

En un conductor en bucle, como se indica en la figura E.2, se pueden producir altas caídas de tensión inductivas, que pueden dar lugar a que las descargas de rayo pasen por la pared de una estructura y por tanto causar daños.

Si no se cumplen las condiciones del apartado 6.3, deberían tomarse medidas para el trazado directo a través de la estructura en los puntos de reentrada del conductor con bucle según las condiciones de la figura E.2.

E.4.3 Estructuras de hormigón armado

E.4.3.1 Generalidades

Con frecuencia, las estructuras industriales tienen partes de hormigón armado que se produce *in situ*. En muchos otros casos, partes de la estructura consisten en hormigón prefabricado o partes de acero.

El acero de las estructuras de hormigón armado, de acuerdo con el apartado 4.3, puede emplearse como componente natural del SPCR.

Estos componentes naturales deben cumplir los requisitos de:

- conductores de bajada, según el apartado 5.3;
- redes de puesta a tierra, según el apartado 5.4.

El requisito de una resistencia total máxima de $0,2 \Omega$ puede comprobarse midiendo la resistencia entre el sistema de captación y una placa a nivel de tierra, empleando un equipo apropiado capaz de medir con una configuración de cuatro tomas (dos tomas de medida y dos tomas de carga), tal como se indica en la figura E.3. La corriente inyectada debería ser del orden de 10 A.

NOTA 1 Cuando el acceso a las zonas de ensayo o la colocación de los cables es difícil, con el fin de poder realizar los ensayos en cada punto, puede emplearse una barra dedicada de arriba abajo. Puede calcularse la resistencia de las juntas más la del conductor de bajada.

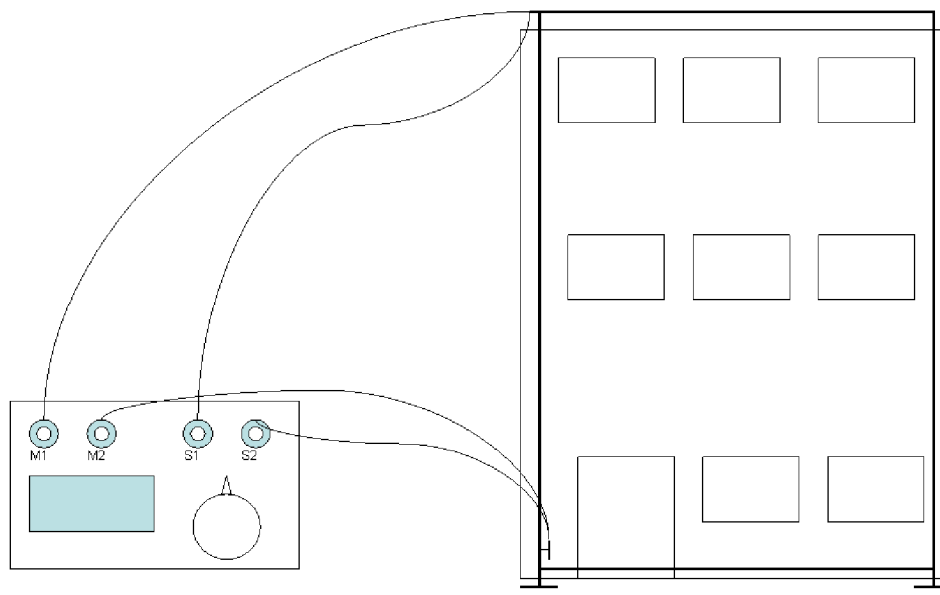


Figura E.3 – Medida de la resistencia eléctrica total

Además, de acuerdo con el apartado 6.2, la armadura del hormigón, cuando se emplee adecuadamente, debería formar la jaula equipotencial del SPCR interno.

También, y de acuerdo con la Norma EN 62305-4, la armadura de acero de la estructura puede servir como una pantalla electromagnética que protege los equipos eléctricos y electrónicos de las interferencias producidas por los campos electromagnéticos del rayo.

Si el acero de la estructura de hormigón y cualquier otro acero de la construcción de una estructura se conectan externa e internamente para tener continuidad eléctrica, según el apartado 4.3, puede obtenerse una protección efectiva contra los daños físicos.

La corriente inyectada en las armaduras se considera que circula por un gran número de caminos en paralelo. La impedancia de la malla resultante es, así, baja y, por tanto, también lo es la caída de tensión producida por la corriente del rayo. El campo magnético creado por la corriente en la malla de la armadura metálica es pequeño debido a la pequeña densidad de corriente y a los caminos en paralelo, lo que da lugar a campos electromagnéticos en oposición. Las interferencias con los conductores eléctricos internos vecinos son, por tanto, reducidas.

NOTA 2 Para la protección contra las interferencias electromagnéticas, véanse las Normas EN 62305-4 e IEC 61000-5-2^[5].

Cuando una habitación está rodeada totalmente por paredes de hormigón armado y su continuidad eléctrica es conforme con el apartado 4.3, el campo magnético producido por la corriente del rayo al circular por la armadura en las proximidades de la pared es menor que el que hay en una habitación de una estructura protegida con conductores convencionales de bajada. Debido a las bajas tensiones inducidas en los bucles de los conductores instalados en la habitación, la protección contra los fallos de los sistemas internos puede mejorarse fácilmente.

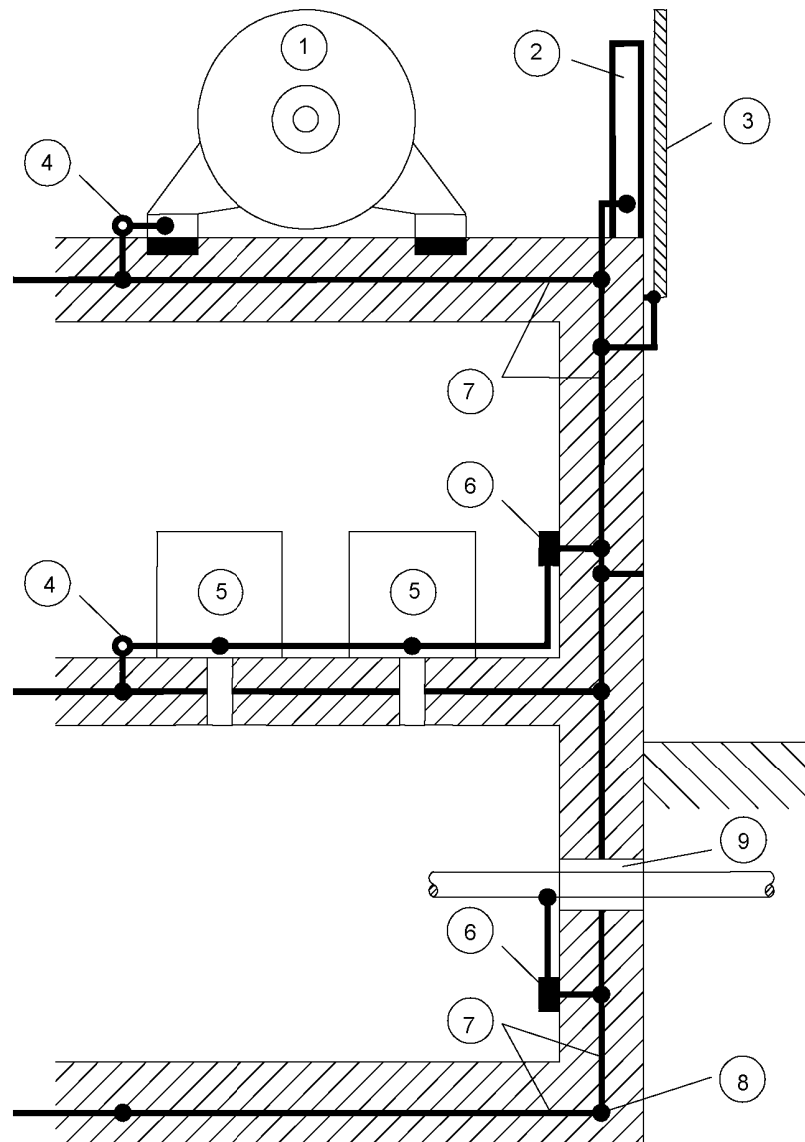
Después de la fase de construcción es casi imposible determinar la distribución y la construcción de la armadura de acero. Por tanto, la distribución de la armadura de acero a los efectos de la protección contra el rayo debería estar muy bien documentada. Esto puede llevarse a cabo mediante planos, descripciones y fotografías tomadas durante la construcción.

E.4.3.2 Utilización de la armadura del hormigón

Deberían preverse conductores equipotenciales o placas de tierra que permitan conexiones eléctricas fiables a la armadura de acero.

Las armaduras conductoras que, por ejemplo, están unidas a la estructura, pueden emplearse como conductores naturales del SPCR y como puntos de conexión para la equipotencialidad interna.

Un ejemplo práctico para obtener la equipotencialidad, es el uso de los anclajes o los raíles de la cimentación de las máquinas, aparatos o envolventes. La figura E.4 ilustra, en una estructura industrial, la disposición de la armadura del hormigón y las barras equipotenciales.



Leyenda

- | | | | |
|---|-----------------------------------|---|--|
| 1 | Equipo eléctrico de potencia | 6 | Barra de equipotencialidad |
| 2 | Viga de acero | 7 | Armadura de acero en el hormigón (con conductores mallados superpuestos) |
| 3 | Cubierta metálica de la fachada | 8 | Electrodo de puesta a tierra |
| 4 | Conector de equipotencialidad | 9 | Entrada común de diferentes servicios |
| 5 | Equipos eléctricos y electrónicos | | |

Figura E.4 – Equipotencialidad en una estructura con armadura de acero

La situación de los bornes de equipotencialización debería especificarse en la primera etapa del diseño del SPCR, y debería hacérselo saber al constructor de la obra civil.

Se debería consultar al constructor del edificio sobre si está permitida la soldadura a las barras de la armadura, si son posibles las abrazaderas o si se deberían instalar conductores adicionales. Todos los trabajos necesarios deberían realizarse e inspeccionarse antes de verter el hormigón (es decir, la planificación del SPCR debería hacerse en paralelo al diseño de la estructura).

E.4.3.3 Soldadura o unión de las barras de la armadura con abrazaderas

La continuidad de la armadura debería llevarse a cabo mediante soldaduras o abrazaderas.

| NOTA Debería utilizarse la serie de Normas EN 50164 para las abrazaderas.

La soldadura a las barras de la armadura está permitido solamente si lo aprueba el proyectista de la obra civil. La longitud de la soldadura en las barras de la armadura no debería ser inferior a 50 mm (véase la figura E.5).

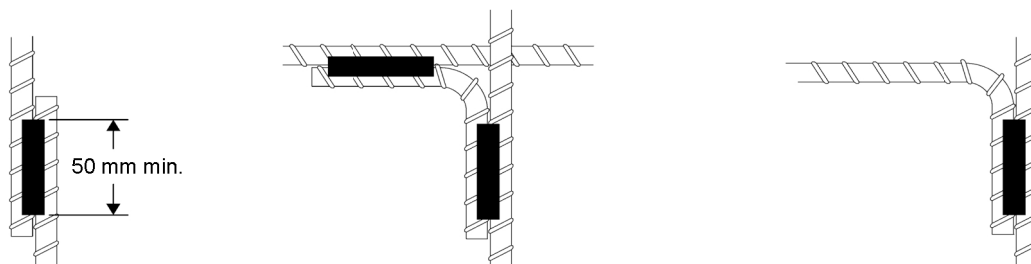


Figura E.5a – Uniones soldadas (válidas para los efectos de la corriente de rayo y EMC)

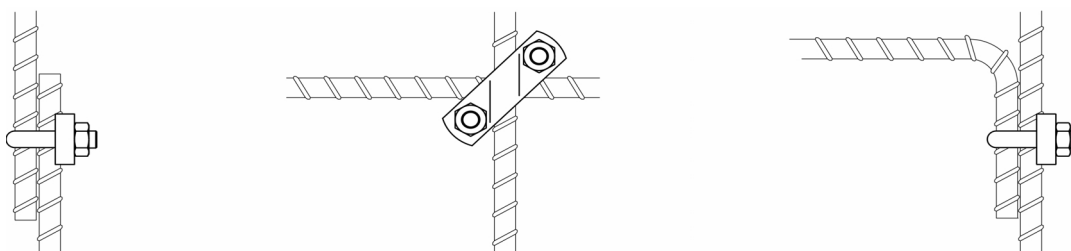


Figura E.5b – Uniones con abrazaderas, futura Norma EN 50164 (válidas a los efectos de la corriente del rayo y EMC)

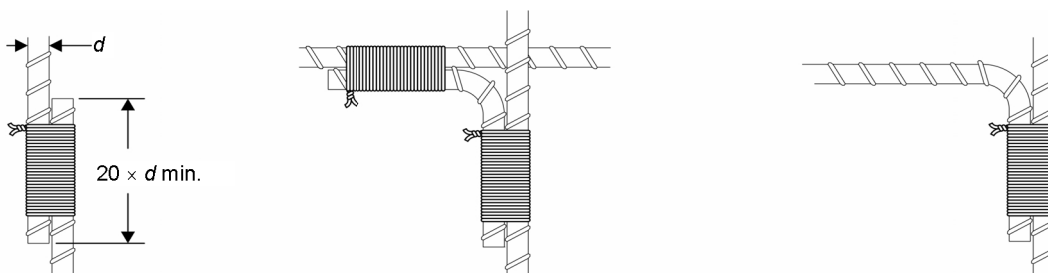


Figura E.5c – Uniones atadas (válidas a los efectos de la corriente del rayo y EMC)

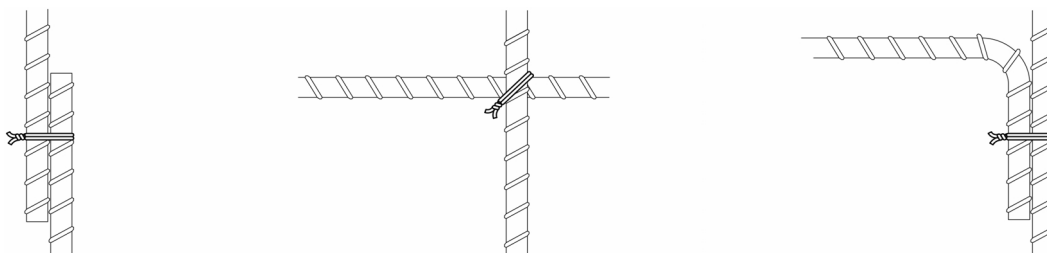


Figura E.5d – Uniones enlazadas (válidas a los efectos EMC)

Figura E.5 – Métodos típicos de unir las barras en el hormigón (cuando se permita)

La conexión a los componentes exteriores del SPCR debería realizarse en un emplazamiento previsto, por medio de una barra de la armadura sacada a través del hormigón, o mediante una barra o placa de conexión que atraviese el hormigón y que esté soldada o fijada a las barras de la armadura.

Por razones de seguridad, en los puntos en que se realiza la unión de las barras de la armadura con los conductores equipotenciales por medio de abrazaderas, deberían emplearse siempre dos conductores equipotenciales (o uno con dos abrazaderas a diferentes barras de la armadura), ya que los puntos de unión no pueden inspeccionarse después de que se ha vertido el hormigón. Si el conductor equipotencial y la barra de la armadura son de metales diferentes, la zona de unión debería sellarse completamente con una mezcla inhibidora de la humedad.

La figura E.6 muestra las fijaciones empleadas en barras de la armadura y en pletinas. La figura E.7 muestra los detalles de la conexión de un sistema externo de la protección a las barras de la armadura.

Los conductores equipotenciales deberían dimensionarse para la proporción de corriente del rayo que circula en el punto de conexión (véanse las tablas 8 y 9).

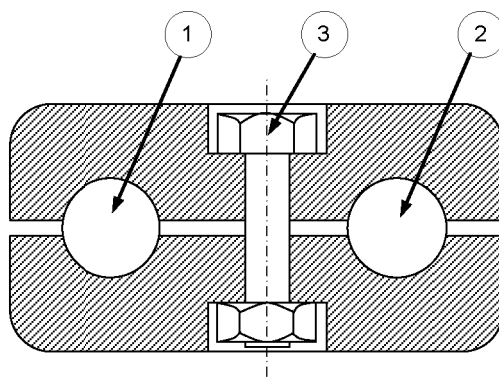


Figura E.6a – Conductor circular a una barra de la armadura

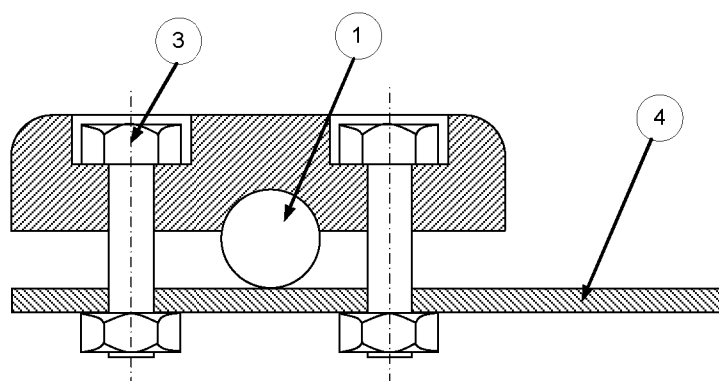


Figura E.6b – Pletina a una barra de la armadura

Leyenda

- 1 Barra de la armadura
- 2 Conductor circular
- 3 Tornillo
- 4 Pletina

Figura E.6 – Ejemplo de uniones mediante abrazadera entre las barras de la armadura y los conductores

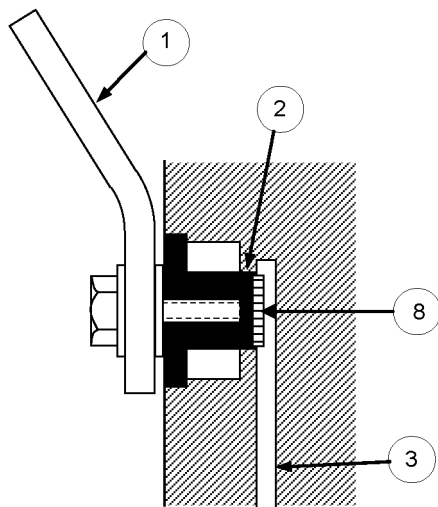


Figura E.7a

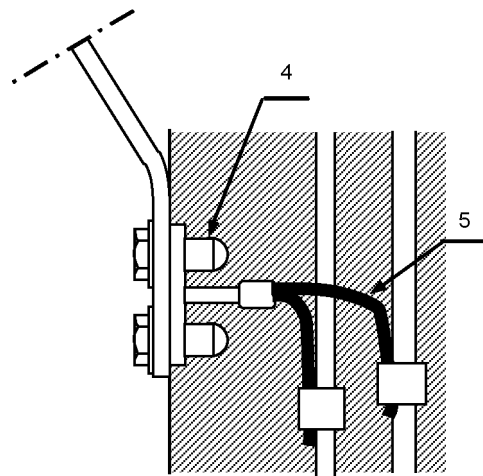


Figura E.7b

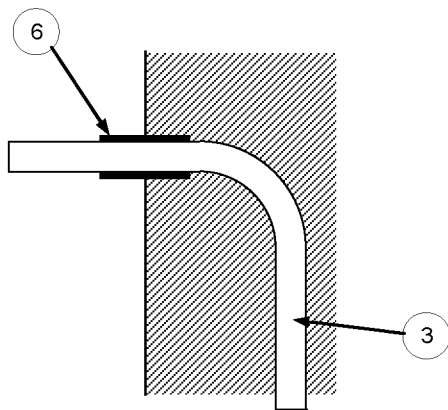


Figura E.7c

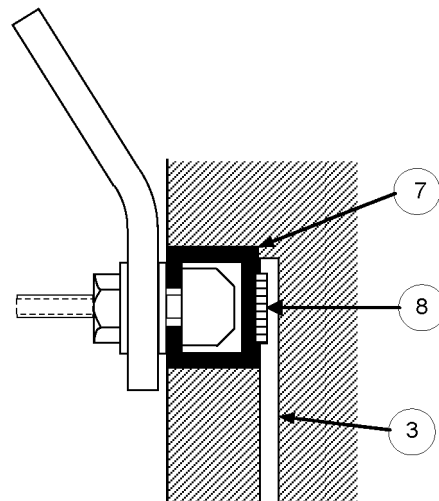


Figura E.7d

Leyenda

- 1 Conductor equipotencial
- 2 Tuerca soldada al conector equipotencial de acero
- 3 Conector equipotencial de acero *
- 4 Pieza no férrea en el punto de conexión
- 5 Cable de conexión equipotencial de cobre trenzado
- 6 Medida de protección contra la corrosión
- 7 Acero-C (barra en forma de C)
- 8 Soldadura
- * El conector equipotencial de acero está conectado en muchos puntos de la armadura metálica mediante soldadura o abrazadera.

NOTA La construcción indicada en la figura E.7c generalmente no es una solución aceptada como buena práctica de ingeniería.

Figura E.7 – Ejemplos de puntos de conexión a las barras de la armadura en una pared de hormigón armado

E.4.3.4 Materiales

Los siguientes materiales, a los efectos de la protección contra el rayo, pueden emplearse como conductores adicionales en el hormigón: acero, acero dulce, acero galvanizado, acero inoxidable, cobre y acero recubierto de cobre.

El comportamiento del acero galvanizado en el hormigón es muy complicado, particularmente en hormigones con cloruros, ya que el cinc se corroerá rápidamente en contacto con la armadura, pudiendo causar daños en el hormigón. Por tanto, el acero galvanizado no debería emplearse en zonas costeras y en donde pueda haber sal en el agua. Como el acero galvanizado en el hormigón requiere la evaluación de muchos factores externos, solamente debería emplearse después de minuciosos análisis. De acuerdo con lo anterior, el uso de otros materiales es preferible al del acero galvanizado.

Con el fin de evitar confusiones entre los diferentes tipos de barras de acero en el hormigón, se recomienda que se empleen como conductores adicionales, redondos con superficie lisa de acero con 8 mm de diámetro mínimo para, así, diferenciarlos de los normales de la armadura con la superficie rugosa.

E.4.3.5 Corrosión

Cuando los conductores equipotenciales de acero atraviesen una pared de hormigón debería prestarse atención a la protección contra la corrosión química.

La medida más simple de protección contra la corrosión es poner una cinta de silicona o betún, que finalice en las proximidades del punto de salida en la pared, por ejemplo, a 50 mm o más en la pared y 50 mm o más fuera de la pared (véase la figura E.7c). Sin embargo, en ingeniería esto no se considera como una buena solución. Una solución mejor es emplear conectores especialmente desarrollados para estos fines, tal como se indica en la figura E.7.

Cuando conductores equipotenciales de cobre o de acero con una capa de cobre, atraviesan una pared de hormigón, no hay riesgo de corrosión si se emplea punta aislada o cable con aislamiento de PVC (véase la figura E.7b). Para los conductores equipotenciales de acero inoxidable, conformes con las tablas 6 y 7, no se necesita adoptar medidas de prevención.

En el caso de una atmósfera extremadamente agresiva, se recomienda que el conductor equipotencial que sale de la pared sea de acero inoxidable.

NOTA El acero galvanizado exterior al hormigón, en contacto con el acero de la armadura puede, bajo determinadas condiciones, producir daños en el hormigón.

Cuando se empleen tuercas de fundición o piezas de acero dulce, deberían protegerse contra la corrosión en el exterior de la pared. Deberían emplearse arandelas para obtener un mejor contacto eléctrico a través de la capa de acabado de la tuerca (véase la figura E.7a).

Para más información sobre la corrosión, véase el apartado E.5.6.2.2.2.

E.4.3.6 Conexiones

Las investigaciones han demostrado que la unión con lazos no es apropiada para las conexiones por las que circula la corriente del rayo. Existe un riesgo de que explote la atadura y dañe al hormigón. Sin embargo, en base a las primeras investigaciones, puede considerarse que al menos un tercio del enlace proporciona conductividad eléctrica, por lo que prácticamente todas las barras de la armadura están interconectadas eléctricamente. Esta conclusión está avalada por medidas realizadas en hormigones armados.

Por tanto, las soldaduras y las abrazaderas son los métodos preferidos para las conexiones. La conexión mediante lazos es apropiada para los conductores adicionales a los efectos de equipotencialidad y de CEM.

Las conexiones de los circuitos externos a la armadura deberían realizarse mediante abrazaderas o soldaduras.

Las soldaduras en el hormigón (véase la figura E.5) deberían tener, al menos, 50 mm de longitud. Las barras de cruce deberían curvarse y ponerse en paralelo al menos 70 mm antes de soldar.

NOTA Cuando se permite la soldadura, son aceptables tanto la soldadura convencional como la exotérmica.

Cuando las barras soldadas necesitan estar encastradas en el hormigón, no es suficiente soldar los puntos de cruce con cordones de unos pocos milímetros. Esas uniones normalmente se rompen cuando se vierte el hormigón.

La figura E.5 muestra la soldadura correcta de los conductores equipotenciales a las barras de la armadura del hormigón.

En los lugares donde no se permite la soldadura en la armadura, deberían emplearse abrazaderas o conductores adicionales. Estos conductores adicionales pueden ser de acero, de acero dulce, de acero galvanizado o de cobre. Los conductores adicionales deberían conectarse a un buen número de barras de la armadura mediante ataduras y abrazaderas para mejorar el efecto pantalla de la armadura de acero.

E.4.3.7 Conductores de bajada

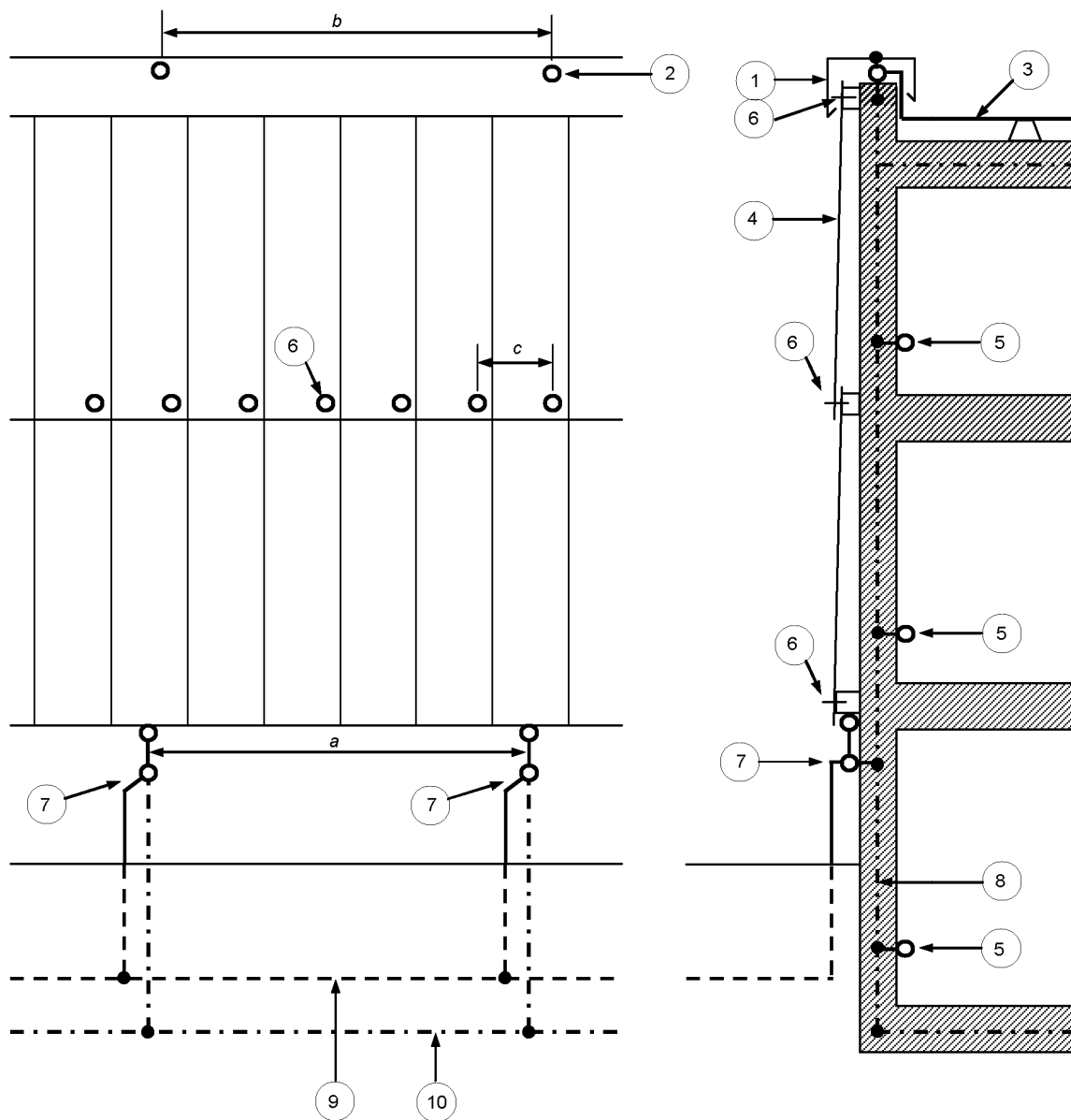
La armadura de acero de las paredes o de las columnas de hormigón así como las estructuras metálicas puede emplearse como conductores de bajada naturales. Deberían preverse bornes de conexión, tanto en el tejado, para facilitar la conexión del sistema de captación, como en el terreno, para facilitar la conexión con el sistema de puesta a tierra, a menos que la cimentación de hormigón armado se emplee como único sistema de puesta a tierra.

Cuando se emplee como conductor de bajada una barra concreta de la armadura, debería ponerse cuidado en su trazado hacia tierra para asegurar que la barra esté situada en la misma posición y tener así una continuidad eléctrica directa.

Cuando la continuidad vertical de los conductores naturales entre el tejado y tierra no puede garantizarse, deberían emplearse conductores dedicados adicionales. Estos conductores adicionales deberían estar enlazados o grapados al acero de la armadura.

Si existe duda sobre cuál es el camino más directo para los conductores de bajada (es decir, para edificios existentes) debería instalarse un conductor de bajada externo.

Las figuras E.4 y E.8 muestran detalles de la construcción de los conductores de bajada en un SPCR para estructuras en hormigón armado. Véase también el apartado E.5.4.3.2 para el uso de las barras de la armadura del hormigón como electrodos de puesta a tierra.



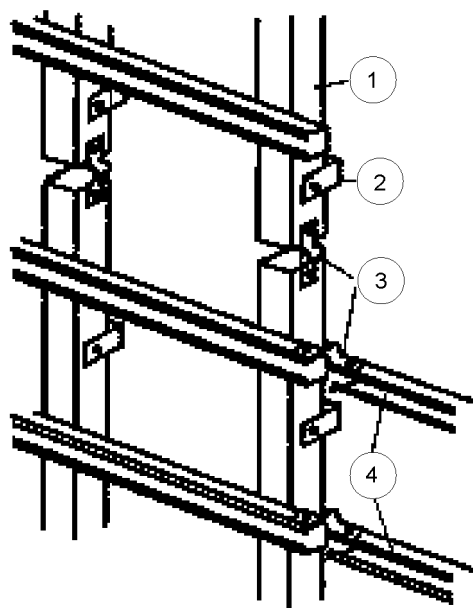
Leyenda

- 1 Cubierta metálica en el parapeto del tejado
- 2 Unión entre las placas de la fachada y el sistema de captación
- 3 Conductor horizontal de captación
- 4 Panel metálico de la fachada
- 5 Barra equipotencial del sistema interno del SPCR
- 6 Uniones entre placas de la fachada
- 7 Junta de unión
- 8 Armadura del hormigón
- 9 Electrodo de puesta a tierra tipo B
- 10 Electrodo de cimentación

En un ejemplo práctico pueden utilizarse las siguientes dimensiones $a = 5$ m, $b = 5$ m, $c = 1$ m.

NOTA Para las uniones entre las placas, véase la figura E.35.

Figura E.8a – Empleo de la cubierta metálica de la fachada como conductor natural de bajada en una estructura de hormigón armado



Leyenda

- 1 Armazón vertical
- 2 Fijación de pared
- 3 Conectores
- 4 Armazón horizontal

Figura E.8b – Conexión de los soportes de la fachada

Figura E.8 – Empleo de la cubierta metálica de la fachada como conductor natural y conexión de los soportes de la fachada

Los conductores de bajada en el interior de las columnas individuales y en las paredes deberían estar interconectados por medio de las barras de su armadura y cumplir con las condiciones de continuidad eléctrica del apartado 4.3.

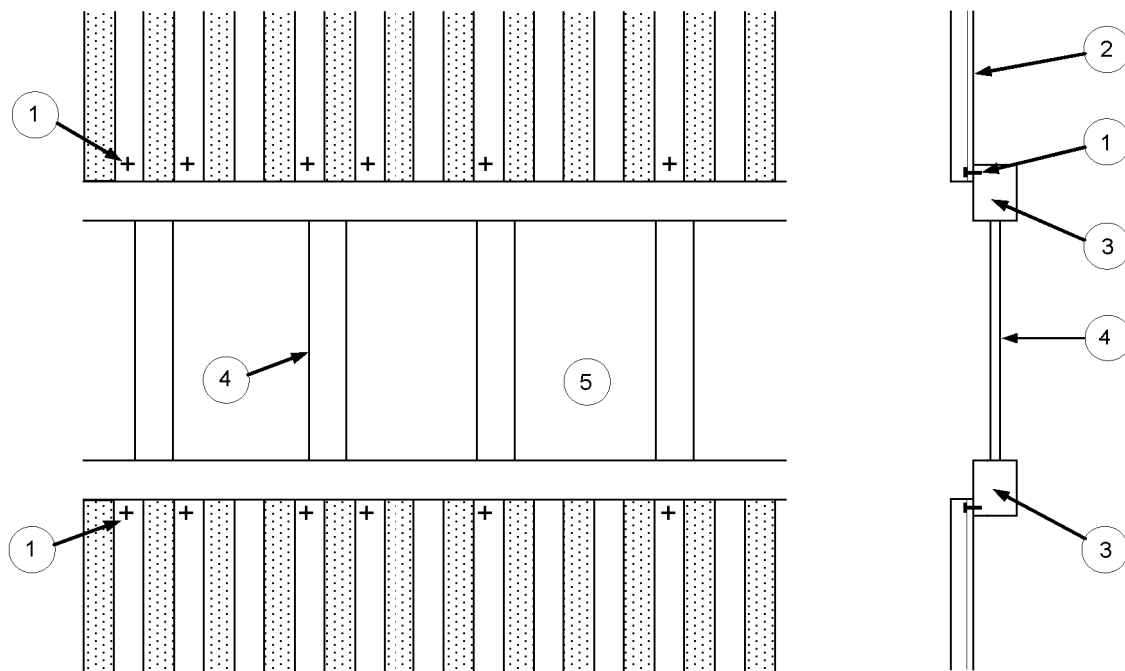
Las barras de la armadura de un elemento prefabricado en hormigón armado y las barras de la armadura de las columnas y de las paredes de hormigón deberían estar conectadas con las barras de la armadura del suelo y del tejado antes de que sean cubiertos.

Existen numerosas partes conductoras en la armadura de todos los elementos constructivos, que son cubiertos con hormigón *in situ*, por ejemplo, paredes, columnas, escaleras, guías de ascensores. Si el suelo se construye *in situ* por vertido de hormigón, los conductores de bajada en las columnas individuales y en las paredes deberían interconectarse mediante barras de su armadura para asegurar una distribución uniforme de la corriente del rayo. Si los suelos son de hormigón prefabricado, estas conexiones, generalmente, no son posibles. Sin embargo, con un pequeño coste adicional es posible preparar, insertando barras de conexión adicionales, uniones y terminaciones para conectar las barras de las armaduras de los elementos prefabricados a las barras de las columnas y de las paredes antes de cubrir el suelo.

Los elementos prefabricados en hormigón empleados como fachadas suspendidas no son efectivos para la protección contra el rayo si no se prevén conexiones equipotenciales. Si se desea una protección elevada para los equipos instalados en una estructura, tal como un edificio de oficinas con equipo de procesamiento de datos y redes de ordenadores, es necesario que las barras de la armadura de los elementos de la fachada estén interconectadas entre sí y conectados a las barras de la armadura de los elementos de carga de la estructura, de tal manera que la corriente del rayo pueda circular a través de la superficie exterior de la estructura (véase la figura E.4).

Si se han instalado tiras metálicas en las ventanas en la parte exterior de la pared de una estructura, es esencial que se tome una decisión sobre si la conexión de las tiras a la armadura del hormigón prefabricado se realiza por medio de las columnas ya existentes, o si deberían conectarse a intervalos más pequeños, correspondientes al hueco de la ventana.

La integración de las partes conductoras de la pared exterior mejora el apantallamiento electromagnético del interior de la estructura. La figura E.9 muestra la conexión de una ventana con tiras metálicas a la cubierta metálica de la fachada.



Leyenda

- 1 Unión entre el panel de la fachada y las tiras metálicas de la ventana
- 2 Placa metálica de la fachada
- 3 Tira metálica horizontal
- 4 Tira metálica vertical
- 5 Ventana

Figura E.9 – Conexión de las tiras de la ventana a la cubierta metálica de la fachada

Si se emplea como conductor de bajada el acero de las estructuras, cada columna de acero debería conectarse al acero de la armadura de la cimentación de hormigón, de acuerdo con la figura E.7, en los puntos de conexión expresamente diseñados de acuerdo con la serie de Normas EN 50164.

NOTA Para más información sobre el uso del acero de las estructuras de las paredes con fines de apantallamiento electromagnético, véase la Norma EN 62305-4.

En el caso de edificios grandes y bajos, como salones, el techo está soportado no sólo por el perímetro del edificio sino también por las columnas interiores. Es conveniente que las partes conductoras de las columnas se unan al dispositivo de captación en la parte superior y que el sistema equipotencial se una en la parte inferior, creando conductores de bajada internos, lo que impide la formación de chispas dentro del edificio. El aumento de las interferencias electromagnéticas se produce en las proximidades de estos conductores de bajada internos.

En los tejados, las estructuras de acero emplean normalmente vigas unidas por tornillos. Siempre y cuando los tornillos estén apretados con la fuerza necesaria para soportar los esfuerzos mecánicos, se considera que todas las partes están eléctricamente interconectadas. La pequeña capa de pintura es perforada por el rayo en la primera descarga formándose un puente conductor.

Las conexiones eléctricas pueden mejorarse bloqueando la base de la cabeza de los tornillos con tuercas y arandelas. Una mejora complementaria se consigue mediante un cordón de soldadura de unos 50 mm después del montaje de la estructura.

En estructuras existentes con numerosas partes conductoras en o sobre las paredes exteriores, se debería establecer la continuidad de las partes conductoras para ser utilizadas como conductores de bajada. Se recomienda esta técnica cuando, además de la protección contra los impulsos electromagnéticos, hay exigencias de tipo cultural o arquitectónico.

Deberían preverse barras equipotenciales interconectadas. Cada barra equipotencial debería conectarse a la parte conductora de la pared exterior y al suelo. Esto puede realizarse con las barras horizontales de la armadura tanto a nivel del suelo como al de cada piso.

Si fuese posible, debería preverse, en el suelo o en la pared, un punto de conexión con las barras de la armadura. Esta conexión debería realizarse con, al menos, tres barras de la armadura.

E.4.3.8 Equipotencialidad

Cuando en diferentes pisos se requiere un número grande de conexiones equipotenciales a la armadura, y se tiene un gran interés en conseguir caminos de baja inductancia, así como un apantallamiento del espacio interior de la estructura por medio de las barras de la armadura de las paredes de hormigón, debería instalarse, en cada piso, un anillo conductor interior o exterior a la pared de hormigón. Estos anillos conductores deberían estar interconectados por medio de barras verticales a intervalos de al menos 10 m.

Esta disposición debería ser preferente por su gran fiabilidad, especialmente en el caso en que no se conozca el valor de la corriente perturbadora.

También se recomienda una red conductora mallada. En el caso de una falta en el sistema las conexiones deberían ser capaces de soportar grandes corrientes.

En grandes estructuras, las barras equipotencializadoras actúan como un conductor en anillo. En tales casos, los puntos de conexión a las barras de acero deberían hacerse cada 10 m. No son necesarias, para la conexión del acero de la estructura al SPCR, medidas diferentes a las que se indican en el punto a) del apartado 6.2.2.

E.4.3.9 La cimentación como electrodo de puesta a tierra

En estructuras grandes y en plantas industriales la cimentación, normalmente, está armada. Las barras de la cimentación, los bloques de cimentación y las paredes exteriores, en las zonas que se encuentran por debajo del nivel del terreno, forman un excelente electrodo de puesta a tierra, siempre y cuando cumplan con los requisitos del apartado 5.4.

Las barras de la armadura de la cimentación y la parte enterrada de las paredes pueden emplearse como electrodo de cimentación.

Este método proporciona una buena puesta a tierra a un coste mínimo. Además, la estructura metálica proporciona, por lo general, una buena referencia de potencial para el sistema eléctrico de potencia, y para las instalaciones de telecomunicación y electrónicas que se encuentran en la estructura.

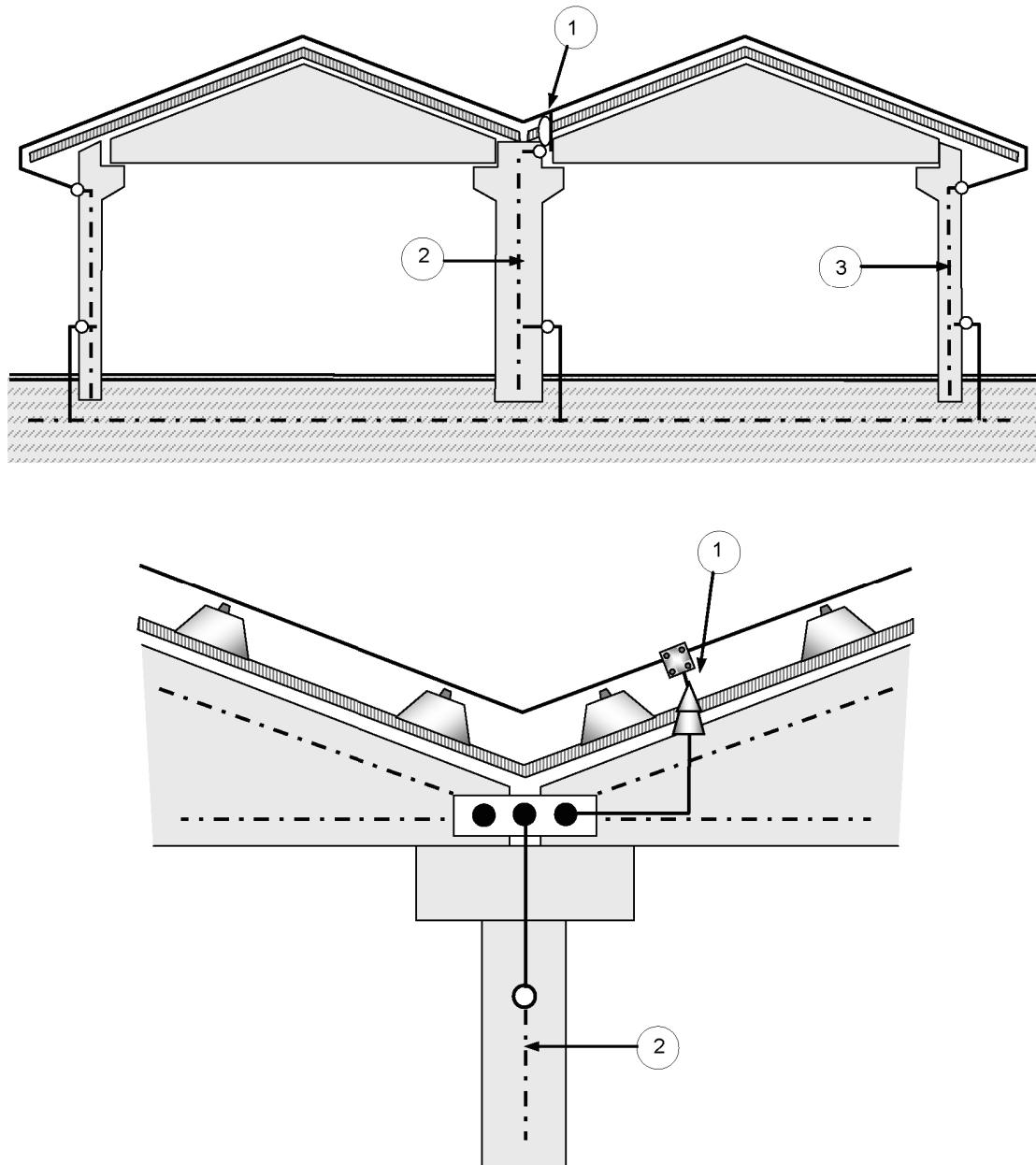
Además de la interconexión de las barras de la cimentación con ataduras metálicas, se recomienda, para conseguir buenas uniones, la instalación de una malla metálica. Esta malla debería unirse con ataduras metálicas a las barras de la cimentación. En determinados puntos deben sacarse, a través del hormigón, puntos de conexión de esta puesta a tierra para unirla con los conductores de bajada de la estructura.

En general, la armadura de la cimentación es eléctricamente conductora, excepto en los casos en los que se prevén separaciones entre las diferentes partes de las estructuras para permitir diferentes disposiciones.

Las separaciones entre las partes conductoras de la estructura deberían puentearse con conductores equipotenciales, de acuerdo con la tabla 6, empleando grapas y tomas de acuerdo con el apartado 5.5.

Las barras de la armadura de las columnas y de las paredes de hormigón que se apoyan en la cimentación deberían conectarse a la armadura de la cimentación y a las partes conductoras del tejado.

La figura E.10 muestra el diseño de un SPCR en una estructura de hormigón armado con columnas, paredes y tejado con partes conductoras.



Leyenda

- 1 Conductor del SPCR atravesando un pasamuros de estanquidad
- 2 Armadura de acero de una columna de hormigón
- 3 Armadura de acero de una pared de hormigón

NOTA La armadura de acero de una columna interior puede ser un conductor de bajada natural cuando la armadura de la columna se conecte al sistema captador y al sistema de puesta a tierra del SPCR. Debería considerarse el ambiente electromagnético cerca de la columna cuando en sus inmediaciones se encuentren instalados equipos electrónicos sensibles.

Figura E.10 – Conductores de bajada internos en estructuras industriales

Cuando no es posible la soldadura de la armadura, deberían instalarse conductores adicionales en los pilares, o implementarse conexiones por medio de tomas de control. Estos conductores adicionales deberían estar atados o grapados metálicamente a la armadura de acero.

Después de finalizada la construcción y de conectar todos los servicios al edificio por medio de conexiones equipotenciales, en la práctica es a menudo imposible medir la resistencia de puesta a tierra como parte del programa de mantenimiento.

Si, bajo ciertas condiciones no es posible medir la resistencia de puesta a tierra del electrodo de cimentación, por lo que la instalación de uno o más electrodos de referencia próximos a la estructura permite monitorizar los cambios en el entorno del sistema de puesta a tierra a lo largo de los años mediante el circuito formado por los electrodos y el electrodo de cimentación. Sin embargo, una buena equipotencialidad es lo mejor para el electrodo de cimentación, por lo que el valor de la resistencia tiende a ser menos importante.

E.4.3.10 Procedimientos de instalación

Todos los conductores y abrazaderas deberían instalarse por el instalador del SPCR.

Debería alcanzarse un acuerdo con el constructor de la obra civil, con tiempo suficiente, para asegurar que el tiempo programado para la construcción no se exceda por retrasos en la instalación del SPCR antes del vertido del hormigón.

Durante la construcción deberían tomarse regularmente medidas, y un instalador de SPCR debería supervisar la construcción (véase 4.3).

E.4.3.11 Paneles prefabricados de hormigón armado

Si se emplean como sistema de protección paneles prefabricados de hormigón armado, por ejemplo, como conductores de bajada, como apantallamiento, o como conductores equipotenciales, los puntos de conexión, de acuerdo con la figura E.7, deberían conectarse entre sí para facilitar la interconexión de la armadura del prefabricado con la armadura de la estructura de una manera sencilla.

La forma y la situación de los puntos de conexión deberían definirse en la etapa de diseño de los prefabricados.

Los puntos de conexión deberían situarse en los prefabricados de tal manera que una barra continua de la armadura pueda conectar una parte con la próxima.

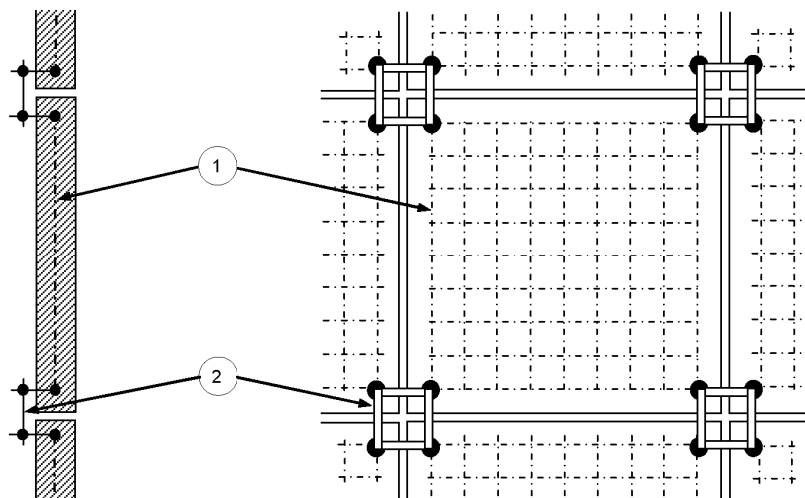
Cuando no es posible la disposición de una barra continua equipotencial con las barras normales de la armadura, debería instalarse un cable adicional y atarlo a la armadura existente.

Por lo general, se requiere un punto de conexión y un conductor equipotencial en cada esquina de la placa de hormigón armado prefabricado, como se ilustra en la figura E.11.

E.4.3.12 Juntas de expansión

Cuando la estructura contiene secciones con juntas de expansión, que permiten posicionar las secciones, y en el edificio se van a instalar un gran número de aparatos electrónicos, deberían preverse conductores equipotenciales entre las armaduras de las diferentes secciones a través de las juntas de expansión, a intervalos que no superen, según la tabla 4, la mitad de la distancia entre los conductores de bajada.

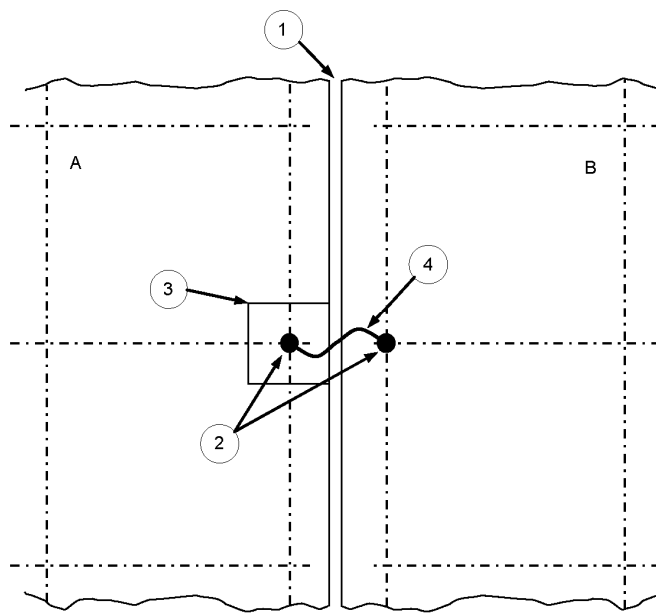
A fin de asegurar una equipotencialidad de baja impedancia y un apantallamiento efectivo del interior de la estructura, las juntas de expansión deberían puentearse a pequeños intervalos (entre 1 m y la mitad de la distancia entre los conductores de bajada) con conductores flexibles o deslizantes en función del factor de apantallamiento requerido, como se indica en la figura E.11.



Leyenda

- 1 Armadura del prefabricado de hormigón
- 2 Conductores equipotenciales

Figura E.11a – Instalación de conductores equipotenciales en paneles de hormigón prefabricado por medio de uniones atornilladas o soldadas



Leyenda

- 1 Junta de expansión
- 2 Unión soldada
- 3 Empotramiento
- 4 Conductor flexible equipotencial
- A Armadura del hormigón – parte 1
- B Armadura del hormigón – parte 2

Figura E.11b – Construcción de uniones flexibles entre dos partes de hormigón prefabricado puenteando una junta de expansión en una estructura

Figura E.11 – Instalación de conductores de equipotencialidad en estructuras de hormigón armado y uniones flexibles entre dos partes de hormigón armado

E.5 Sistema de protección externo contra el rayo

E.5.1 Generalidades

El posicionamiento de los conductores externos del SPCR es fundamental para el diseño del SPCR y depende de la forma de la estructura a proteger, del nivel de protección requerido y del método geométrico empleado en el diseño. El diseño del sistema de captación dicta, por lo general, el del sistema de los conductores de bajada, el del sistema de puesta a tierra y del SPCR interno.

Si los edificios adyacentes tienen SPCR, estos SPCR, si es posible, deberían conectarse al SPCR en consideración.

E.5.1.1 SPCR no aislado

En la mayoría de los casos, el sistema externo de un SPCR puede unirse a la estructura a proteger.

Cuando los efectos térmicos en el punto de impacto o la corriente que pueden circular por los conductores pueden producir daños en la estructura o en su contenido, la distancia entre los conductores del SPCR y los materiales combustibles debería ser como mínimo 0,1 m.

NOTA Casos típicos son:

- estructuras con cubiertas inflamables;
- estructuras con paredes inflamables.

E.5.1.2 SPCR aislado

Debería emplearse un SPCR aislado cuando la circulación de la corriente por las conexiones equipotenciales internas puede producir daños en la estructura o en su contenido.

NOTA 1 La utilización de una instalación aislada puede ser conveniente si se prevé que los cambios en la estructuras pueden requerir modificaciones en el SPCR.

Un SPCR que se conecta a los elementos conductores de la estructura y a las conexiones equipotenciales sólo a nivel de suelo, según el apartado 3.3, se define como aislado.

Un SPCR aislado se realiza bien instalando puntas captadoras o mástiles adyacentes a la estructura a proteger, o cables aéreos entre los mástiles con distancias de separación de acuerdo con el apartado 6.3.

Los SPCR aislados también se instalan en estructuras de material aislante, tales como ladrillos o madera, donde la distancia de separación, tal como se define en el apartado 6.3, se mantiene, no habiendo conexión con las partes conductoras de la estructura ni con los equipos instalados en su interior, con la excepción de las conexiones al nivel del terreno con el sistema de puesta a tierra.

No deberían instalarse en el interior de la estructura equipos y conductores eléctricos a una distancia inferior a la distancia de seguridad, definida en el apartado 6.3, de los conductores del sistema de captación y de los conductores de bajada. Todas las instalaciones futuras deberían cumplir con los requisitos de un SPCR aislado. Estos requisitos deberían ser conocidos por el propietario de la estructura y el constructor responsable del diseño y construcción del SPCR.

El propietario debería informar a los futuros constructores del edificio de estos requisitos. El constructor responsable de estos trabajos debe informar al propietario de la estructura si no puede cumplir estos requisitos.

Todos los elementos de los equipos instalados en una estructura con un SPCR aislado deberían colocarse en el espacio protegido por el SPCR y cumplir con las distancias de separación. Los conductores del sistema del SPCR deberían montarse en fijaciones aislantes si el conductor fijado a la pared de la estructura está muy próximo a las partes conductoras, por lo que las distancias entre el SPCR y las partes conductoras internas deben ser superiores a las distancias de seguridad definidas en el apartado 6.3.

NOTA 2 Las fijaciones aislantes, teniendo en cuenta las condiciones medioambientales, deberían ser iguales o más largas que la distancia de separación.

Las fijaciones de los desagües del tejado que no están conectadas al sistema equipotencial, pero cuya distancia al sistema de captación es inferior a la distancia de separación y su distancia al sistema equipotencial sobrepasa esa distancia, deberían conectarse al sistema de captación del SPCR aislado. Por esta razón estas estructuras no deberían tratarse como aisladas y sí como estructuras con desagües conductores montados en el tejado sobre elementos que no están conectados a la conexión de equipotencialización.

El diseño de un SPCR y las instrucciones de seguridad para los trabajos a realizar en las proximidades de los elementos del tejado deberían tener en cuenta que esos elementos adquieren el mismo potencial, cuando impacta un rayo, que el sistema captador.

Un SPCR aislado debería instalarse en estructuras con numerosas interconexiones conductoras si se quiere impedir que la corriente del rayo circule por las paredes y los equipos instalados en su interior.

En estructuras constituidas por interconexiones conductoras continuas, tales como las construcciones metálicas o las de hormigón armado, el SPCR debería mantener la distancia de separación a las partes conductoras de la estructura. Para conseguir esta separación adecuada, los conductores del SPCR tienen que estar fijados a la estructura con elementos aislantes.

Conviene observar que las columnas y los techos de hormigón armado se emplean frecuentemente en estructuras de ladrillo.

E.5.1.3 Chispas peligrosas

Puede impedirse la formación de chispas peligrosas entre el SPCR, las partes metálicas y las instalaciones eléctricas y de telecomunicación:

- en un SPCR aislado, mediante aislamiento o distancias de separación, según el apartado 6.3;
- en un SPCR no aislado, mediante conexiones equipotenciales, según el apartado 6.2, o mediante aislamiento o distancias de separación, según el apartado 6.3.

E.5.2 Sistemas de captación

E.5.2.1 Generalidades

Esta norma no da ningún criterio para la elección del sistema de captación, porque considera como equivalentes las puntas, los cables horizontales y los conductores mallados.

La disposición de un sistema de captación debería estar de acuerdo con los requisitos de la tabla 2.

E.5.2.2 Posicionamiento

Para el diseño de un SPCR deberían usarse los siguientes métodos, independientes o combinados, siempre y cuando las zonas de protección suministradas por cada una de las partes del SPCR se superpongan y asegure que la estructura está totalmente protegida según el apartado 5.2:

- método del ángulo de protección;
- método de la esfera rodante;
- método de la malla.

Los tres métodos pueden emplearse para diseñar un SPCR. La elección del método depende de una evaluación práctica de la adecuación y de la vulnerabilidad de la estructura a proteger.

El método para posicionar los captadores puede seleccionarlo el proyectista del SPCR. Sin embargo, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- el método del ángulo es apropiado para estructuras simples o para partes pequeñas de estructuras grandes. Este método no es apropiado para estructuras cuya altura sea superior al radio de la esfera rodante correspondiente al nivel de protección seleccionado;
- el método de la esfera rodante es apropiado para estructuras de formas complejas;
- el método de las mallas es de uso en general y particularmente apropiado para la protección de superficies planas.

En la documentación debería indicarse, de manera explícita, el método adoptado para diseñar el SPCR de la estructura y los métodos empleados en las diferentes partes de la estructura.

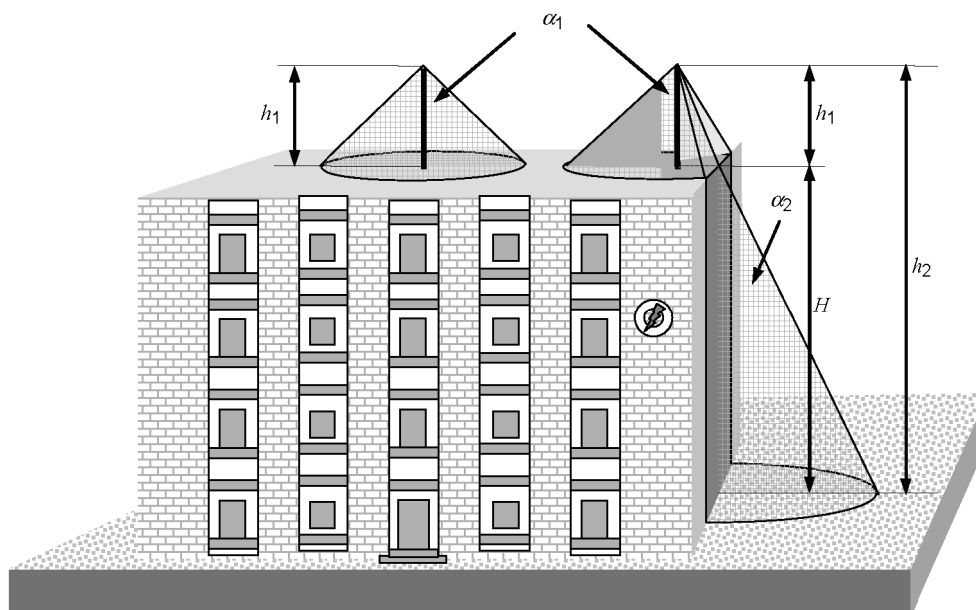
E.5.2.2.1 Método del ángulo de protección

Los conductores del dispositivo de captación, puntas, mástiles y cables deberían posicionarse de tal manera que, sobre el plano de referencia, toda la estructura a proteger esté dentro de la superficie generada por la proyección de todos los puntos de los conductores del sistema de captación a un ángulo α con relación a la vertical en todas las direcciones.

El ángulo de protección α debería estar según la tabla 2, siendo h la altura del sistema captador sobre la superficie a proteger.

Un punto genera un cono. Las figuras A.1 y A.2 muestran como se genera el espacio protegido por los diferentes captadores de un SPCR.

Según la tabla 2, el ángulo de protección α es diferente para diferentes alturas del sistema de captación sobre la superficie a proteger (véanse las figuras A.3 y E.12).



Leyenda

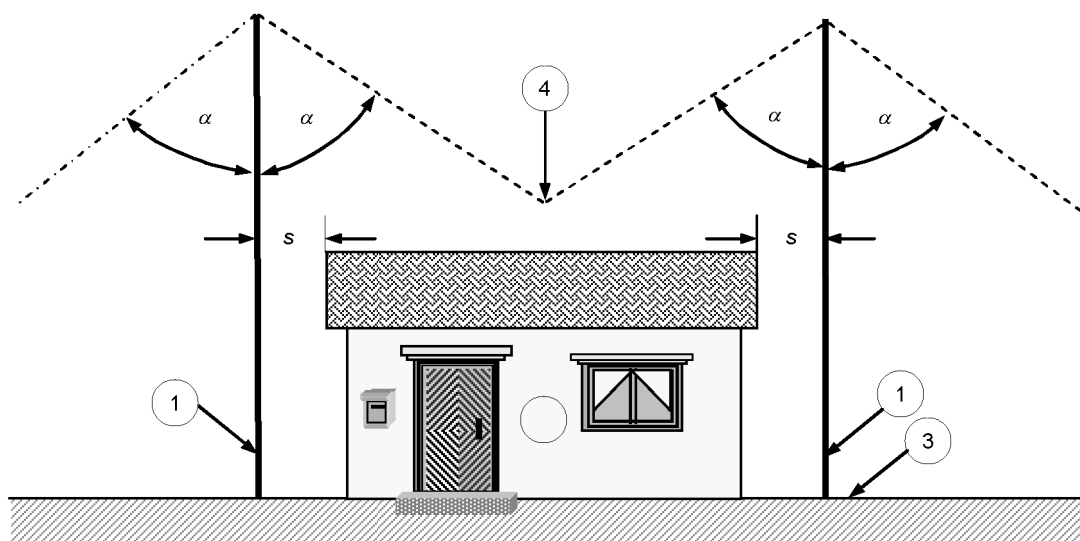
- H Altura de edificio sobre el plano de referencia de tierra
 h_1 Altura física de una punta captadora
 h_2 h_1+H altura de la punta captadora sobre el plano de tierra
 α_1 Ángulo de protección correspondiente a la altura del sistema captador $h = h_1$, medido sobre el plano del techo (plano de referencia)
 α_2 Ángulo de protección correspondiente a la altura h_2

Figura E.12 – Diseño de un SPCR según el método del ángulo para diferentes alturas según la tabla 2

El método del ángulo de protección tiene límites geométricos y no puede aplicarse si h es mayor que el radio de la esfera rodante r indicado en la tabla 2.

Si las estructuras del tejado tienen que protegerse con terminales y el volumen de protección de los terminales sobrepasa el borde del edificio, los terminales deben colocarse entre la estructura y el borde. Si lo anterior no es posible debería aplicarse el método de la esfera rodante.

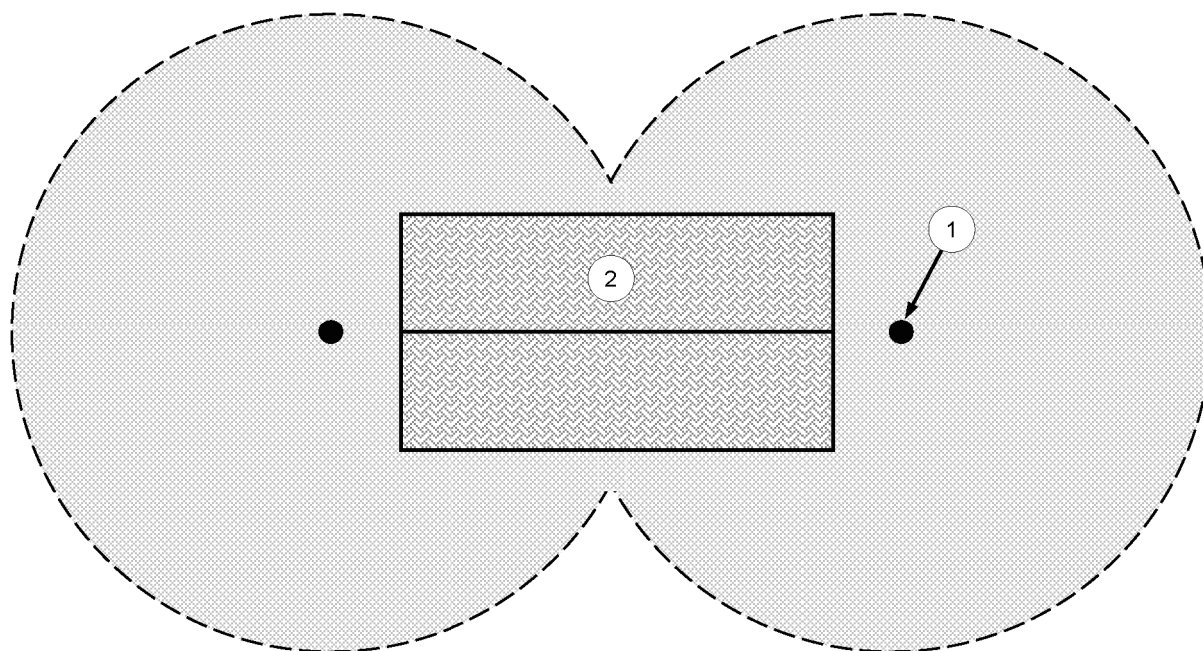
El diseño del sistema captador mediante el método del ángulo también se muestra en la figuras E.13 y E.14 para un SPCR aislado y en las figuras E.15 y E.16 para un SPCR no aislado.



Leyenda

- 1 Mástil de captación
- 2 Estructura protegida
- 3 Plano de referencia de tierra
- 4 Intersección entre los conos de protección
- s Distancia de separación según el apartado 6.3
- α Ángulo de protección según la tabla 2

Figura E.13a – Proyección en un plano vertical



NOTA Los dos círculos representan las zonas protegidas sobre el suelo como plano de referencia.

Figura E.13b – Proyección en el plano horizontal de referencia

Figura E.13 – SPCR externo aislado diseñado según el método del ángulo de protección mediante dos mástiles de captación aislados

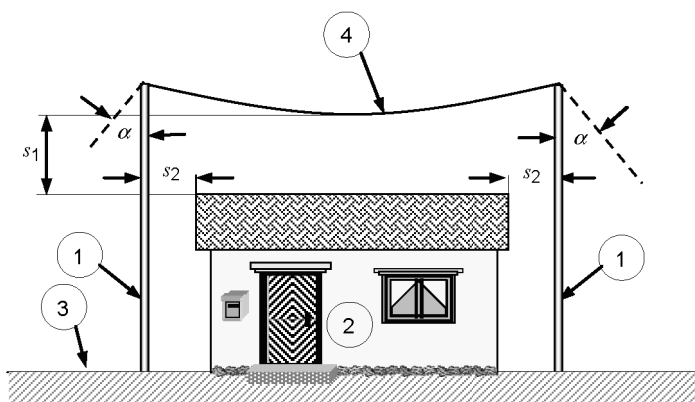


Figura E.14a – Proyección en un plano vertical conteniendo los dos mástiles

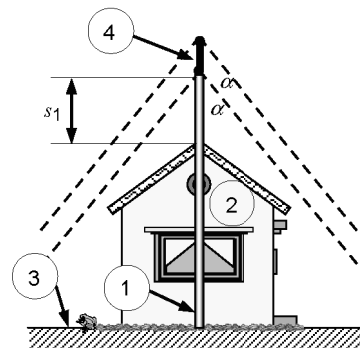


Figura E.14b – Proyección en un plano vertical perpendicular al plano que contiene los dos mástiles

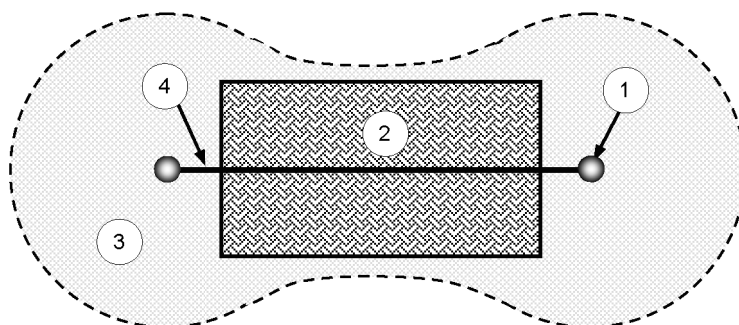


Figura E.14c – Proyección en el plano horizontal de referencia

Leyenda

- 1 Mástil de captación
- 2 Estructura protegida
- 3 Zona protegida en el plano de referencia
- 4 Sistema de captación con cables horizontales
- s_1, s_2 Distancias de separación según el apartado 6.3
- α Ángulo de protección según la tabla 2

NOTA El sistema de captación está diseñado según el método del ángulo de protección. Toda la estructura debería estar en el interior del volumen de protección.

Figura E.14 – SPCR externo aislado con dos mástiles de captación aislados interconectados con un conductor horizontal

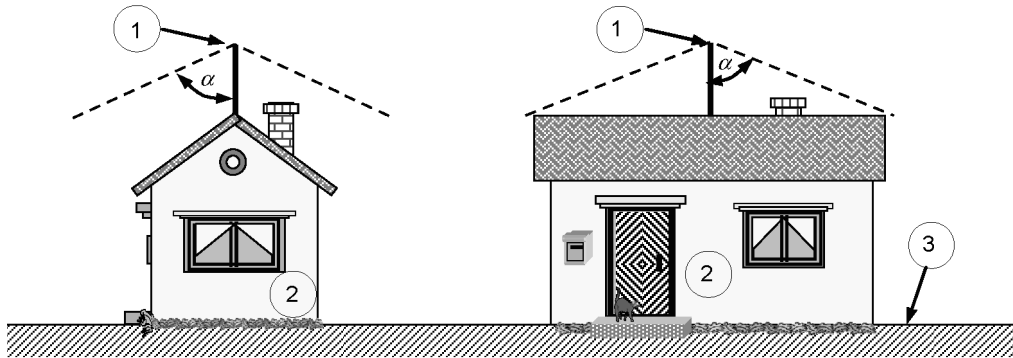
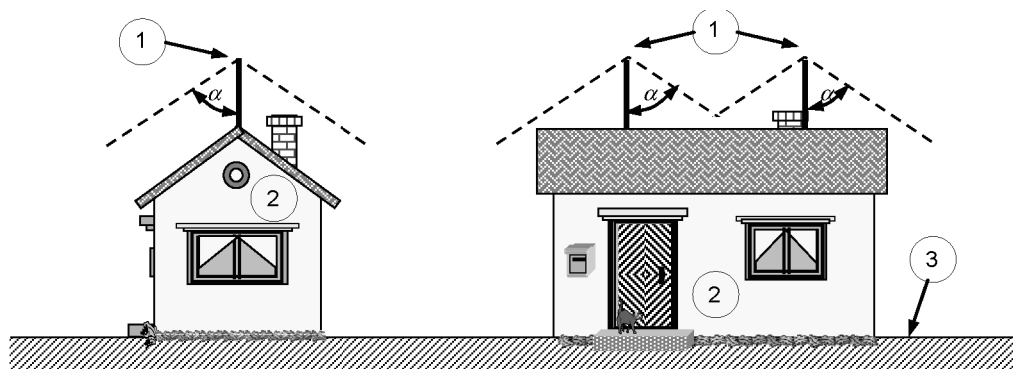


Figura E.15a – Ejemplo con una punta de captación



Leyenda

- 1 Punta de captación
- 2 Estructura protegida
- 3 Plano de referencia
- α Ángulo de protección según la tabla 2

Figura E.15b – Ejemplo con dos puntas de captación

NOTA Toda la estructura debería estar en el interior del volumen protegido por las dos puntas de captación.

Figura E.15 – Ejemplo de diseño de un SPCR no aislado mediante puntas de captación

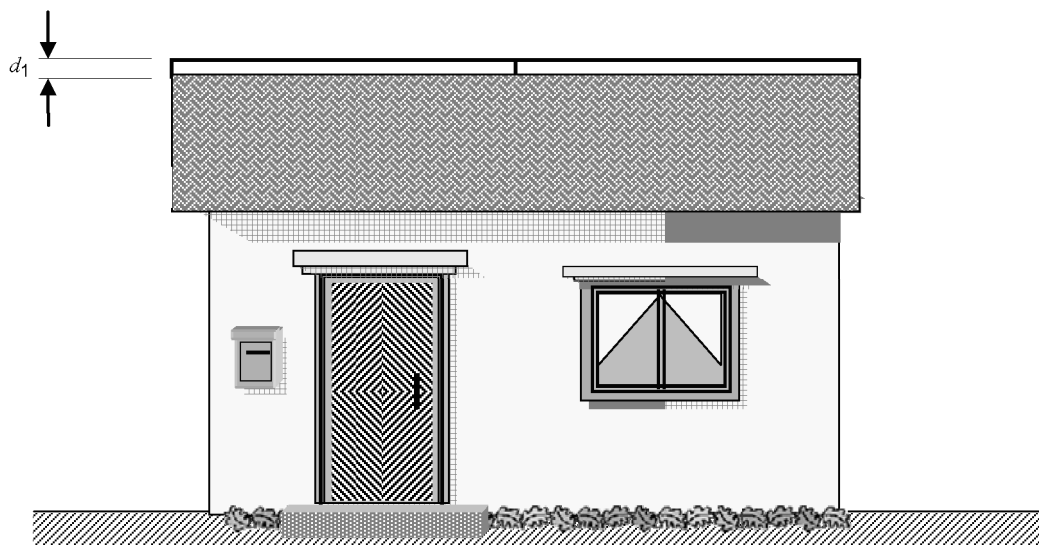


Figura E.16a – Proyección sobre un plano vertical que contiene el cable

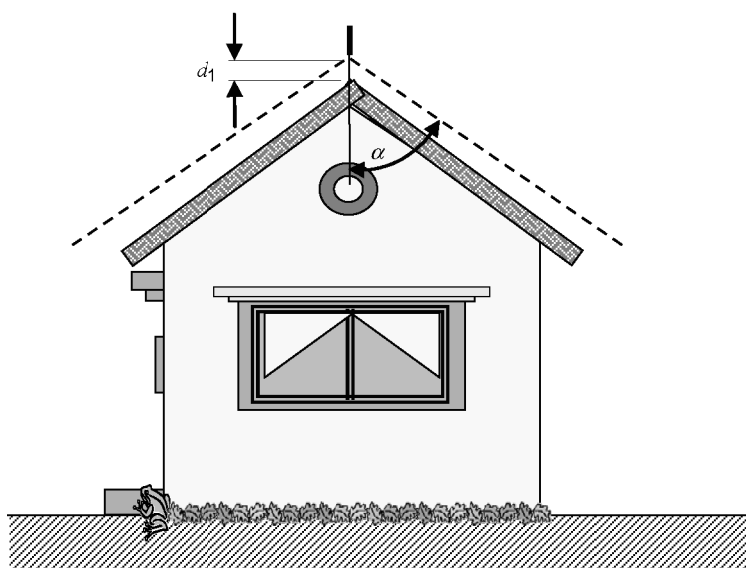


Figura E.16b – Proyección sobre el plano vertical perpendicular al que contiene el cable

Leyenda

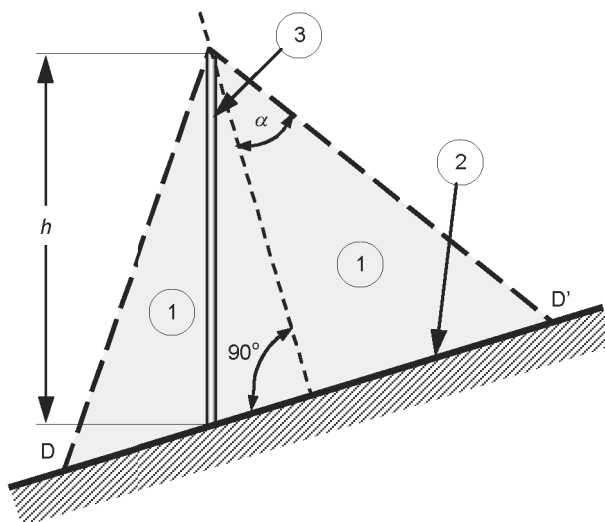
α Ángulo de protección según la tabla 2

d_1 Distancia desde el cable horizontal al tejado

NOTA Toda la estructura debería estar en el interior del volumen protegido.

Figura E.16 – Ejemplo de diseño de un SPCR no aislado mediante un cable horizontal de captación de acuerdo con el método del ángulo de protección

Si la superficie en la que está situado el sistema de captación es inclinada, el eje del cono que forma la zona protegida no es, necesariamente, la punta de captación, sino la línea perpendicular a la superficie en la que se encuentra situada la punta, coincidiendo el vértice del cono con la parte superior de la punta (véase la figura E.17).



Leyenda

- 1 Volumen de protección
- 2 Plano de referencia
- 3 Punta de captación
- h Alturas apropiadas de los terminales de captación según la tabla 2
- α Ángulo de protección
- D, D' Límite de la zona protegida

Figura E.17 – Volumen de protección de una punta captadora en una superficie inclinada empleando el método del ángulo de protección

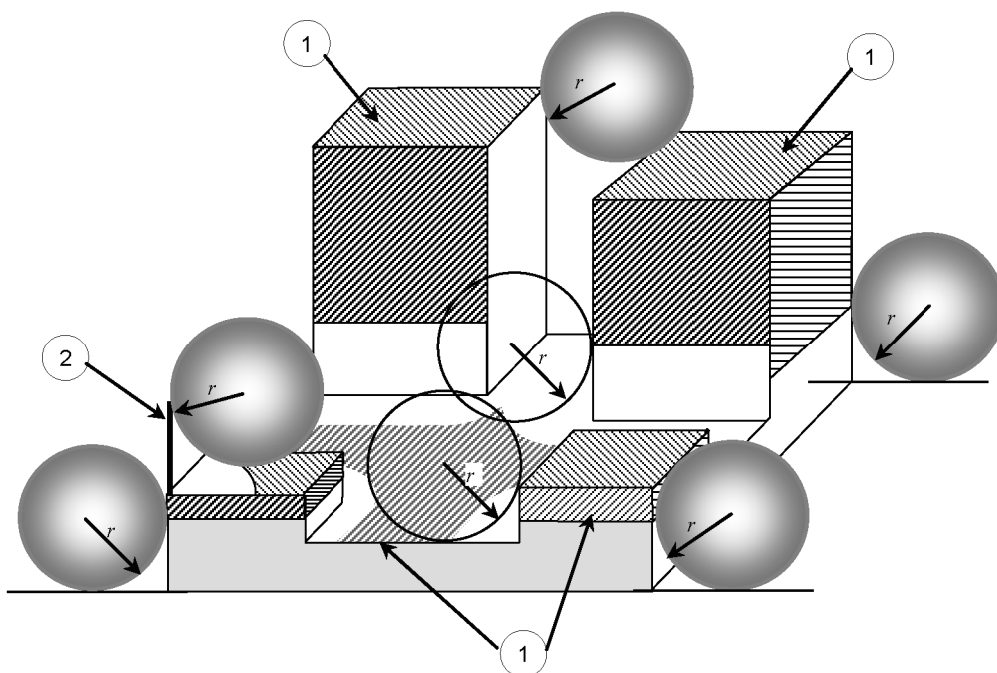
E.5.2.2.2 Método de la esfera rodante

El método de la esfera rodante debería emplearse para identificar el espacio protegido o partes y zonas de una estructura cuando la tabla 2 excluye el empleo del método del ángulo de protección.

Aplicando este método, el posicionamiento de un sistema de captación es adecuado si ningún punto del volumen a proteger está en contacto con una esfera de radio r , rodando sobre el suelo, alrededor y en la parte superior de la estructura en todas las direcciones posibles. Por lo tanto, la esfera sólo debería tocar la tierra y/o el sistema de captación.

El radio r de la esfera rodante depende de la clase del SPCR (véase la tabla 2). El radio de la esfera rodante está correlacionado con el valor pico de la corriente del rayo que impacta en la estructura: $r = 10I^{0,65}$, donde I se define en kA.

La figura E.18 muestra la aplicación del método de la esfera rodante en diferentes estructuras. La esfera de radio r rueda alrededor y sobre la estructura hasta que encuentra el plano de tierra o un objeto en contacto con el plano de tierra, que es capaz de actuar como conductor del rayo. Podría producirse un de impacto podría donde la esfera toque a la estructura, requiriéndose en estos puntos sistemas de captación.



Leyenda

- 1 Las zonas sombreadas están expuestas a los impactos del rayo y necesitan protección según la tabla 2
- 2 Mástil en la estructura
- r Radio de la esfera rodante según la tabla 2

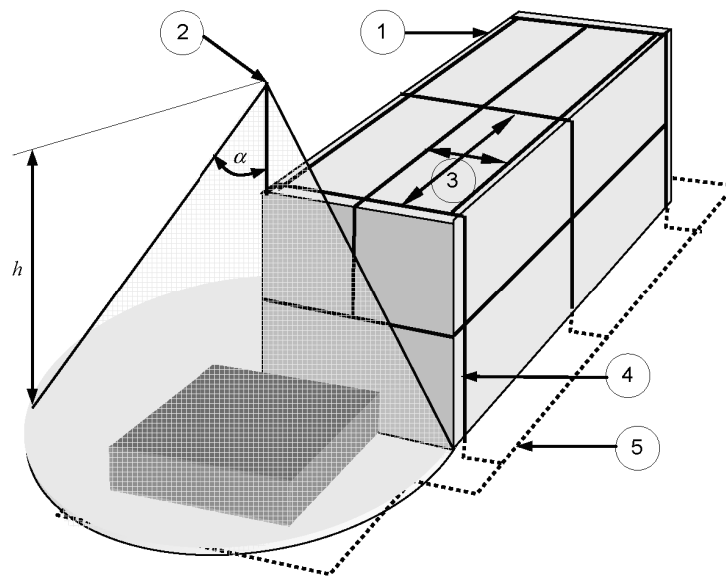
NOTA Se requiere protección contra las descargas laterales de acuerdo con el apartado 5.2.3 y el capítulo A.2.

Figura E.18 – Diseño de una red de dispositivos de captación de un SPCR en una red con forma compleja

Cuando se aplica el método de la esfera rodante sobre los planos de la estructura, deberían considerarse todas las direcciones para asegurar que en una zona no protegida no hay ningún saliente, un punto que se podría pasar por alto si sólo se consideran las vistas frontales o laterales de los planos.

La zona protegida por un captador de un SPCR es el volumen no penetrado por la esfera rodante cuando está en contacto con el captador y aplicada a la estructura.

La figura E.19 muestra la protección suministrada por un dispositivo de captación de un SPCR según el método de la malla, el método de la esfera rodante y el método del ángulo con una disposición general de los elementos de captación.



Leyenda

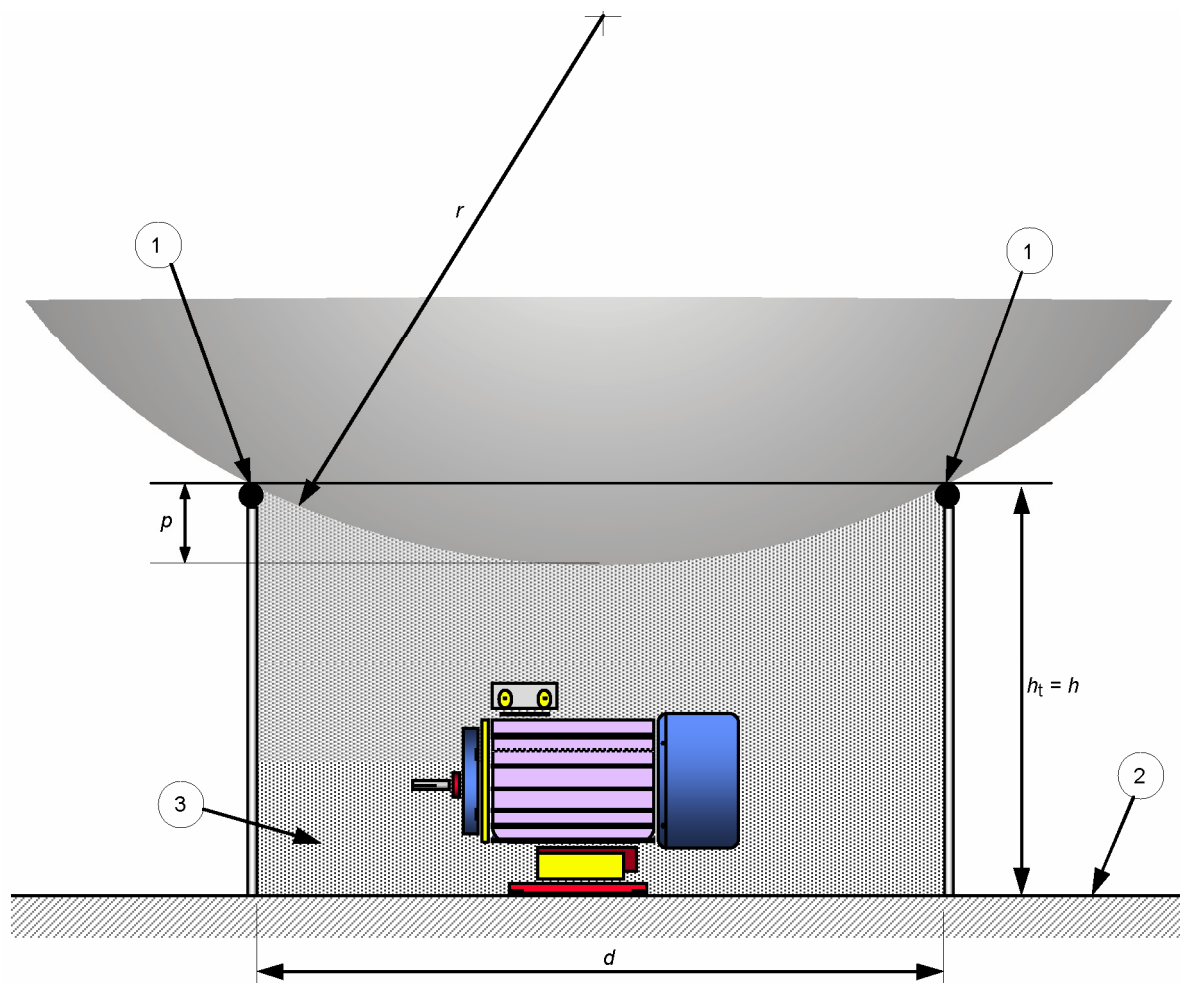
- 1 Conductor de captación
- 2 Punta de captación
- 3 Tamaño de la malla
- 4 Conductor de bajada
- 5 Sistema de puesta a tierra con anillo conductor
- h Altura del terminal de captación sobre el plano de referencia
- α Ángulo de protección

Figura E.19 – Diseño de un sistema de captación de un SPCR de acuerdo con el método de la esfera rodante, con el método del ángulo de protección, con el método de la malla y disposición general de los dispositivos de captación

En el caso de un sistema de captación formado por dos conductores horizontales colocados por encima del plano horizontal de referencia, como se indica en la figura E.20, la distancia de penetración p de la esfera rodante, en el espacio entre los conductores y por debajo del nivel de los conductores, puede calcularse como sigue:

$$p = r - [r^2 - (d/2)^2]^{1/2} \quad (\text{E.4})$$

La distancia de penetración p debería ser menor que la menor de las altura h_t de los objetos a proteger (el motor en la figura E.20).



Leyenda

- 1 Cables horizontales
- 2 Plano de referencia
- 3 Espacio protegido por un sistema de captación formado por dos cables horizontales paralelos o por dos puntas
- h_t Altura física de las puntas de captación sobre el plano de referencia
- p Distancia de penetración de la esfera rodante
- h Altura del sistema de captación según la tabla 2
- r Radio de la esfera rodante
- d Distancia de separación entre los dos cables horizontales o las dos puntas de captación

NOTA La distancia de penetración p de la esfera rodante debería ser menor que la menor de las altura h_t de los objetos a proteger, con el fin de proteger los objetos en el espacio entre las terminaciones.

Figura E.20 – Espacio protegido por un sistema de captación formado por dos cables horizontales paralelos o por dos puntas ($r > h_t$)

El ejemplo de la figura E.20 también es válido para tres o cuatro puntas captadoras; por ejemplo, cuatro puntas de la misma altura h colocadas en las esquinas de un cuadrado. En este caso d , en la figura E.20, corresponde a la diagonal del cuadrado formado por las cuatro puntas.

Los puntos en los que impacta el rayo pueden determinarse mediante el método de la esfera rodante. El método de la esfera rodante puede también identificar la probabilidad de que se produzca un impacto en cada punto del edificio.

Método de la malla

Con el fin de proteger superficies planas, se considera que una malla protege toda la superficie, si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) Como se indicó en el anexo A, los conductores de captación están colocados en
 - las aristas del tejado,
 - los salientes del tejado,
 - los filos del tejado, si la pendiente del tejado es superior a 1/10,
 - las superficies laterales de las estructuras de altura superior a 60 m a niveles superiores al 80% de la altura de la estructura,
- b) las dimensiones de la malla de la red de captación no son superiores a los valores de la tabla 2;
- c) la red del sistema de captación está realizada de manera tal que la corriente del rayo encontrará siempre, al menos, dos caminos metálicos distintos a tierra y ninguna instalación metálica que sobresalga del volumen protegido por el sistema de captación;

NOTA Un número mayor de conductores de bajada dan lugar a una reducción de la distancia de separación y reduce el campo electromagnético en el edificio (véase 5.3).

- d) los conductores del sistema de captación siguen, en tanto que sea posible, caminos rectos y cortos.

Ejemplos de SPCR no aislados empleando el método de las mallas se muestran en las figuras E.21a para una estructura de tejado plano y en la E.21b para una estructura con el tejado inclinado. La figura E.21c muestra un ejemplo de un SPCR en un edificio industrial.

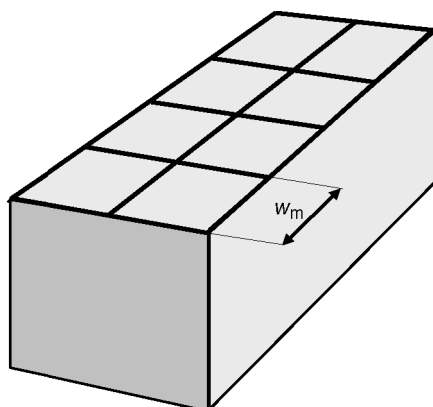
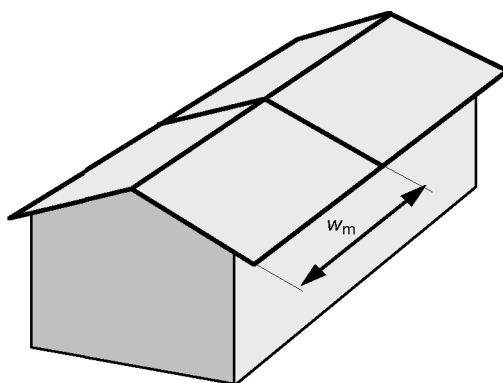


Figura E.21a – Sistema de captación en una estructura con tejado plano

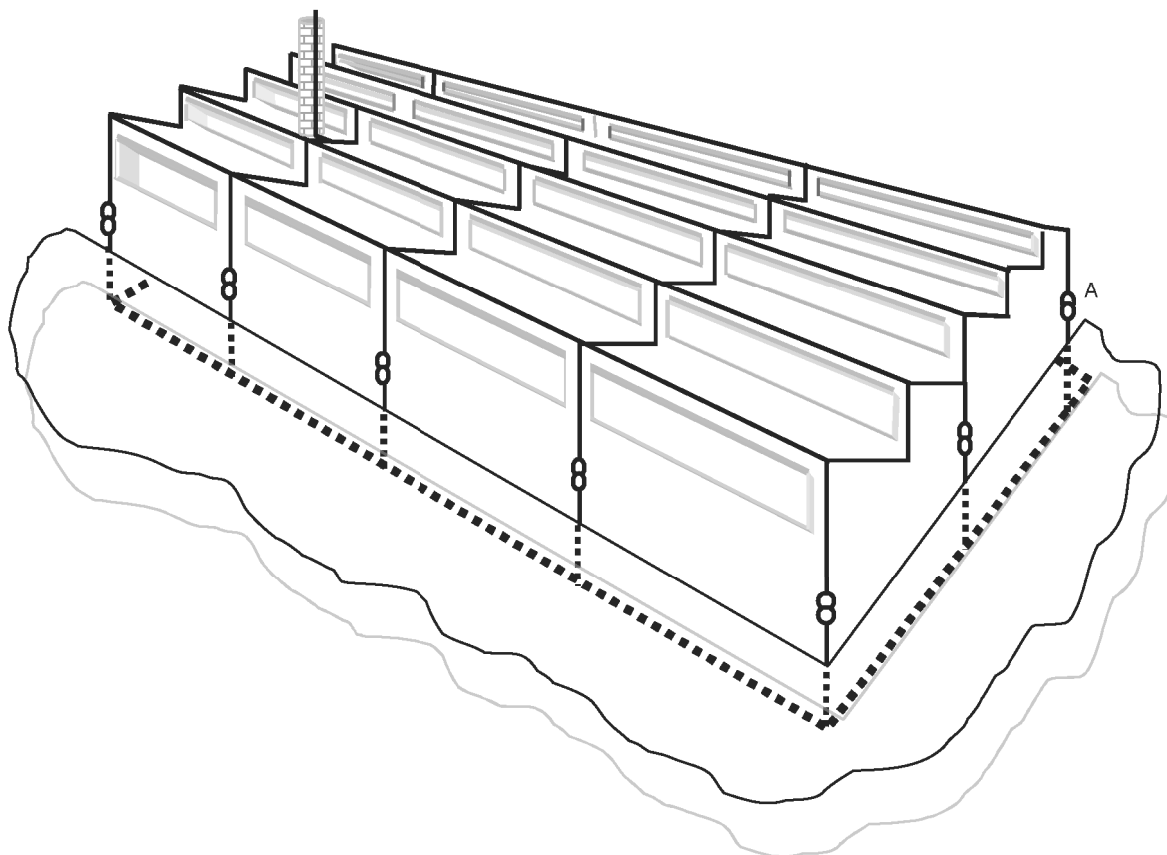


Leyenda

w_m Tamaño de la malla

NOTA El tamaño de la malla debería ser según la tabla 2.

Figura E.21b – Sistema de captación en una estructura con tejado inclinado



Leyenda

A Junta de unión

NOTA Todas las dimensiones deberían estar de acuerdo con los niveles de protección seleccionados según las tablas 1 y 2.

Figura E.21c – SPCR en una estructura tejariana

Figura E.21 – Tres ejemplos del diseño de sistemas captadores aislados de acuerdo con el método de la malla

E.5.2.3 Sistema de captación contra impactos laterales en estructuras altas

Las estructuras con alturas superiores a 60 m, el 20% de la parte superior de las superficies laterales deberían equiparse con sistemas de captación. Puede omitirse la protección en las superficies que están por debajo de los 60 m.

NOTA 1 Las estructuras con estructuras entre los 60 m y los 75 m, la zona de protección no necesita extenderse por debajo de los 60 m.

NOTA 2 Si exteriormente, en la parte superior de la pared, se encuentran equipos sensibles (por ejemplo, equipos electrónicos), deberían protegerse con sistemas de captación especiales, tales como hilos horizontales, conductores en malla o equivalentes.

E.5.2.4 Construcción

E.5.2.4.1 Información general

La máxima temperatura permisible en un conductor no se sobrepasará si la sección cumple con la tabla 6 y la serie de Normas EN 50164.

Un tejado o pared de material combustible debería protegerse de los efectos peligrosos de la corriente del rayo por calentamiento de los conductores del SPCR, mediante las medidas siguientes:

- reduciendo la temperatura de los conductores por aumento de su sección;
- aumentando la distancia entre los conductores y la cubierta del tejado (véase también 5.2.4);
- insertando una capa protectora del calor entre los conductores y los materiales inflamables.

NOTA Las investigaciones han mostrado que es ventajoso que los terminales de captación tipo punta tengan la punta redondeada.

E.5.2.4.2 Dispositivo de captación no aislado

Los conductores del dispositivo de captación y los conductores de bajada, a nivel del tejado, deberían interconectarse por medio de conductores y así proporcionar una distribución de corriente suficiente en los conductores de bajada.

Los conductores en el tejado y las conexiones de las puntas del dispositivo de captación pueden fijarse al tejado por medio de espaciadores y elementos de fijación tanto conductores como no conductores. Los conductores también pueden colocarse en la superficie de una pared si la pared es de material no combustible.

| NOTA Para más detalles véase la serie de Normas EN 50164.

Los puntos de fijación recomendados para estos conductores están indicados en la tabla E.1.

Tabla E.1 – Puntos de fijación sugeridos

Disposición	Puntos de fijación para cables o pletinas conductoras y conductos flexibles mm	Puntos de fijación para conductores rígidos mm
Conductores horizontales en superficies horizontales	1000	1 000
Conductores horizontales en superficies verticales	500	1 000
Conductores verticales hasta 20 m del suelo	1 000	1 000
Conductores verticales por encima de los 20 m	500	1 000
NOTA 1 Esta tabla no se aplica a las fijaciones prefabricadas, que pueden requerir consideraciones especiales.		
NOTA 2 La evaluación de las condiciones ambientales (es decir, la fuerza del viento esperada) debería tenerse en cuenta, pudiendo ser necesarios puntos de fijación diferentes a los recomendados.		

En casas pequeñas o estructuras similares con un caballete en el tejado, debería instalarse un conductor sobre el caballete. Si la estructura está toda ella en la zona de protección proporcionada por el cable situado en el caballete, deberían instalarse, al menos, dos conductores de bajada en los filos del tejado, en esquinas opuestas de la estructura.

Los canalones en los bordes del tejado pueden emplearse como conductores naturales si están conformes con el apartado 5.2.5.

Las figuras E.22a, E.22b y E.22c son un ejemplo de la disposición de los conductores y de los conductores de bajada en una estructura con el tejado inclinado.

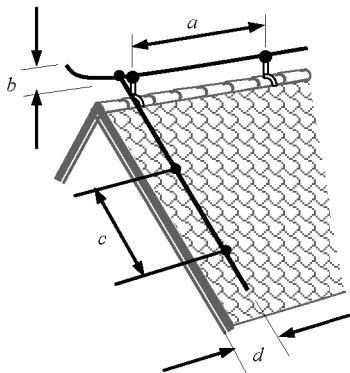


Figura E.22a – Instalación del conductor de captación en el caballete de un tejado inclinado y de un conductor de bajada

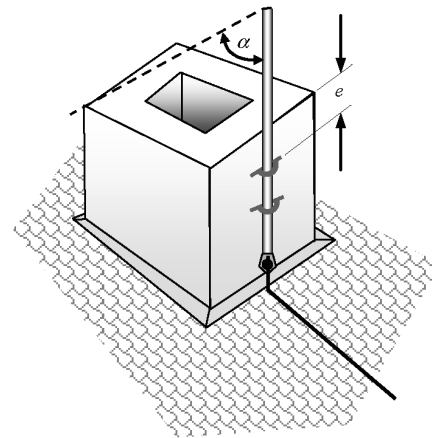


Figura E.22b – Instalación de una punta de captación para la protección de la chimenea, según el método del ángulo de protección

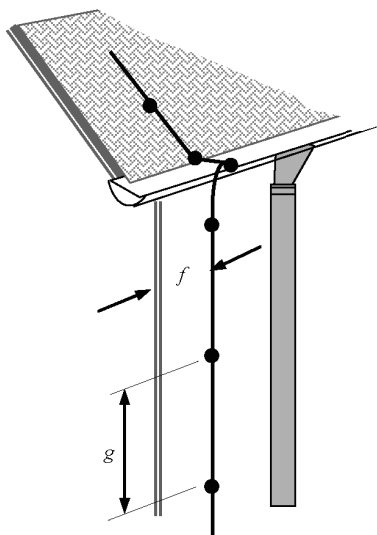


Figura E.22c – Instalación de un conductor de bajada con conexión al canalón

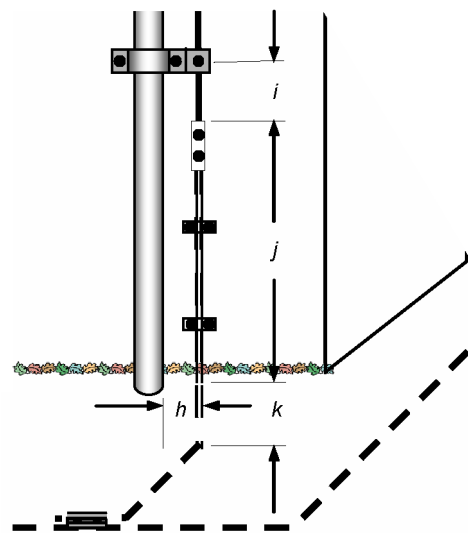


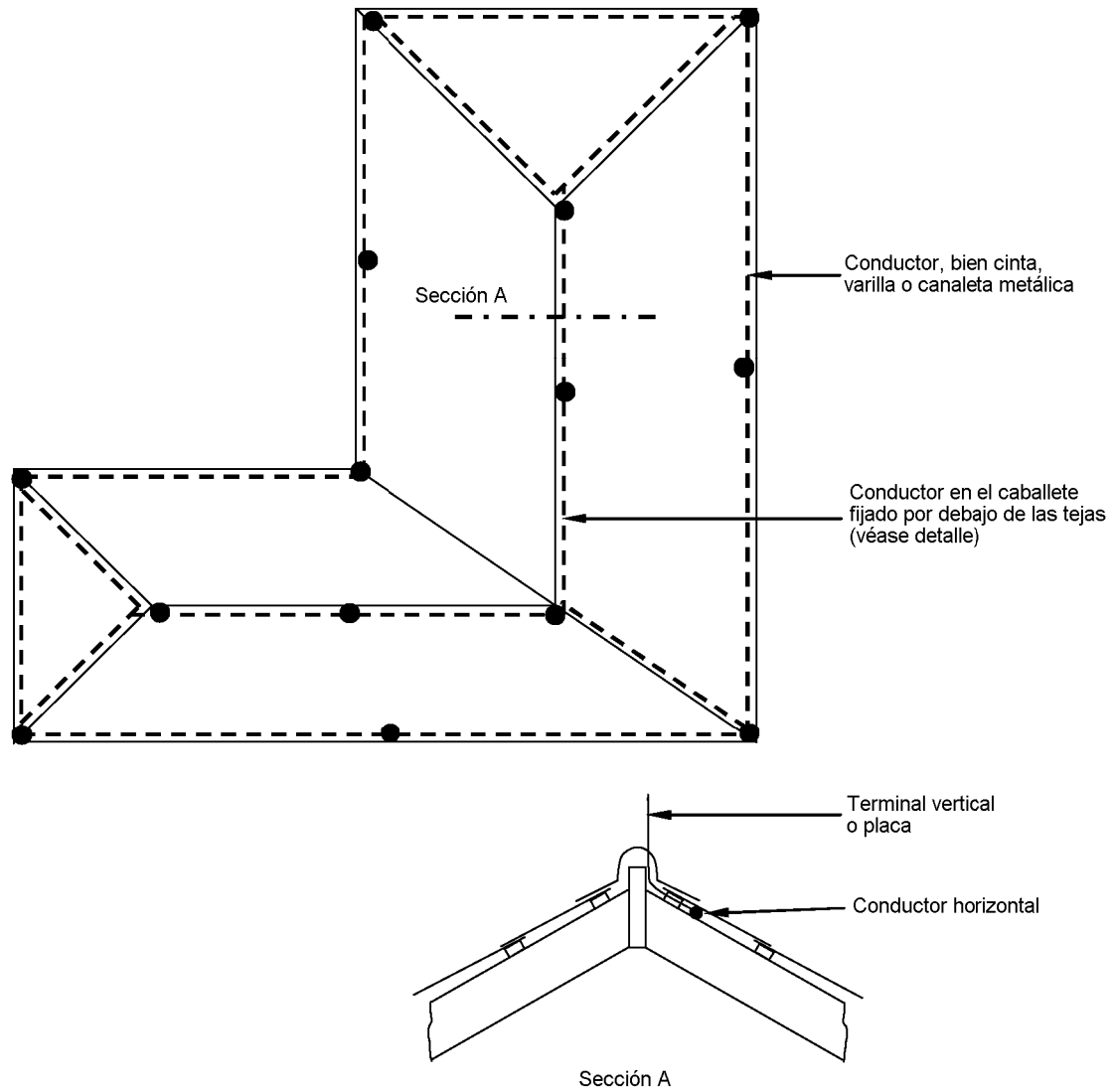
Figura E.22d – Instalación de una junta de unión en el conductor de bajada y conexión equipotencial con una tubería de drenaje

Ejemplos de dimensiones convenientes

<i>a</i>	1 m	<i>g</i>	1 m
<i>b</i>	0,15 m (no obligatoria)	<i>h</i>	0,05 m
<i>c</i>	1 m	<i>i</i>	0,3 m
<i>d</i>	tan próxima como sea posible al borde	<i>j</i>	1,5 m
<i>e</i>	0,2 m	<i>k</i>	0,5 m
<i>f</i>	0,3 m	α	ángulo de protección según la tabla 2

Figura E.22 – Cuatro ejemplos de los detalles de un SPCR en una estructura con tejado de tejas inclinado

La figura E.23 muestra un ejemplo de un SPCR con conductores ocultos.



Leyenda

— — Conductor oculto.

● Sistema de captación vertical (varillas verticales de 0,3 m de altura) colocado a pequeños intervalos (< 10 m) o placas a intervalos < 5 m.

Figura E.23 – Sistema de captación con cables ocultos en edificios de menos de 20 m de altura y con tejados inclinados

En el caso de estructuras largas, deberían conectarse conductores adicionales a los conductores del dispositivo de captación colocados en el caballete del tejado, según indica la tabla 4.

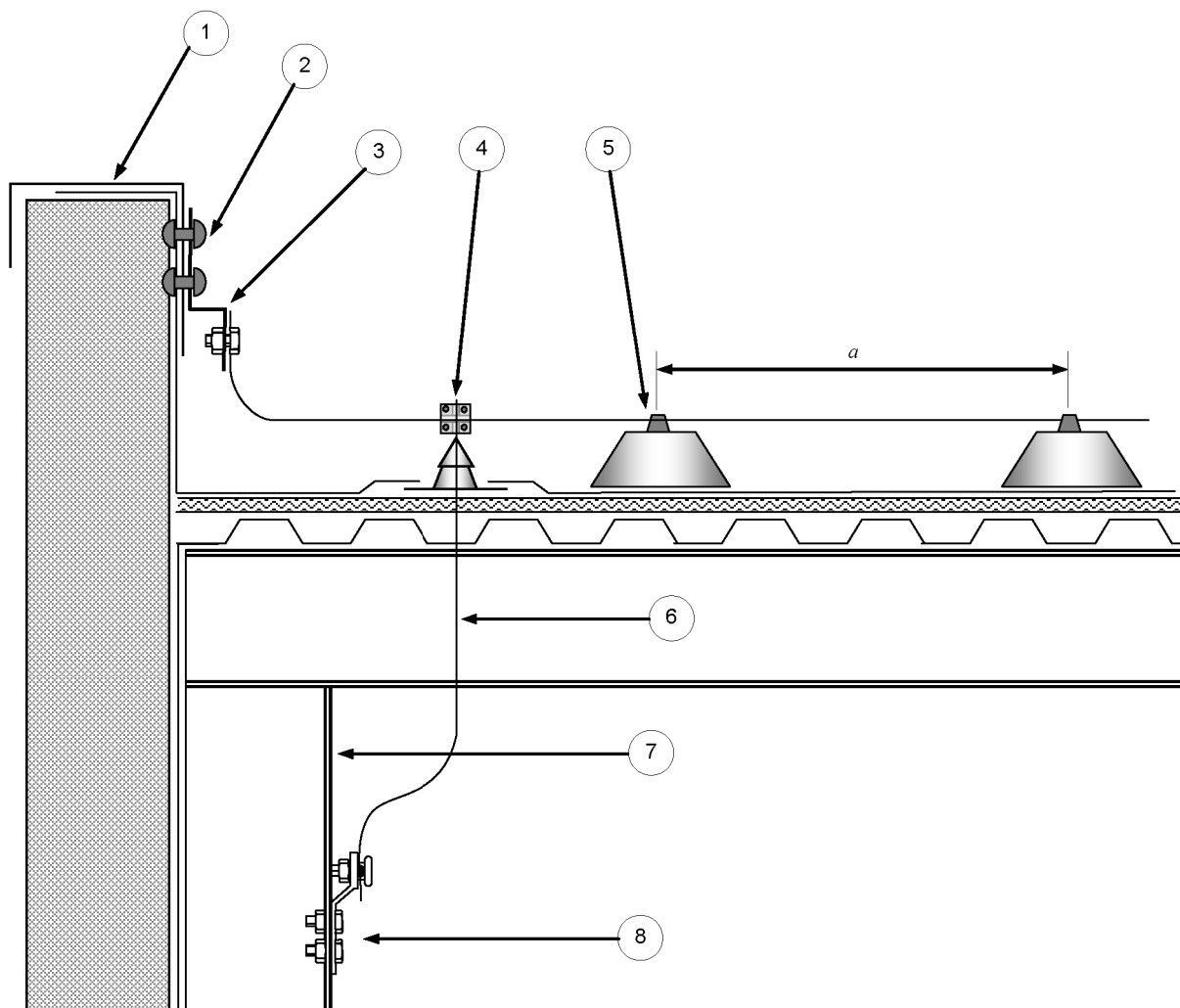
En edificios con grandes tejados salientes, el conductor del caballete debería prolongarse hasta el final del borde. En la arista del tejado debería conectarse un conductor desde el caballete hasta el conductor de bajada.

Los conductores del dispositivo de captación, los conductores de conexión y los conductores de bajada deberían instalarse, en la medida de lo posible, en línea recta. En los tejados no conductores, el conductor puede colocarse bajo las tejas pero es preferible colocarlo encima de ellas. Aunque la colocación bajo las tejas tiene la ventaja de la simplicidad y menos riesgo de corrosión, es mejor instalarlo por encima (es decir, exteriormente), por medio de fijaciones adecuadas, lo que reduciría el riesgo de daños en las tejas en el caso de que el conductor recibiese un impacto directo. Esta instalación también facilita la inspección. Los conductores instalados por debajo de las tejas deberían ir provistos de pequeños cables verticales que sobresalgan del tejado y espaciados a no más de 10 m. También pueden utilizarse placas metálicas (véase la figura E.23) siempre que se encuentren espaciadas a una distancia no superior a 5 m.

En estructuras con tejados planos, los conductores del perímetro deberían instalarse tan cerca como sea posible de los bordes exteriores del tejado.

Cuando la superficie del tejado es superior al tamaño de la malla estipulado en la tabla 2, deberían instalarse conductores de captación adicionales.

Las figuras E.22a, E.22b y E.22c muestran ejemplos de los detalles de las fijaciones de los conductores de captación en una estructura con tejados en pendiente. La figura E.24 muestra un ejemplo de los detalles de fijación en un tejado plano.



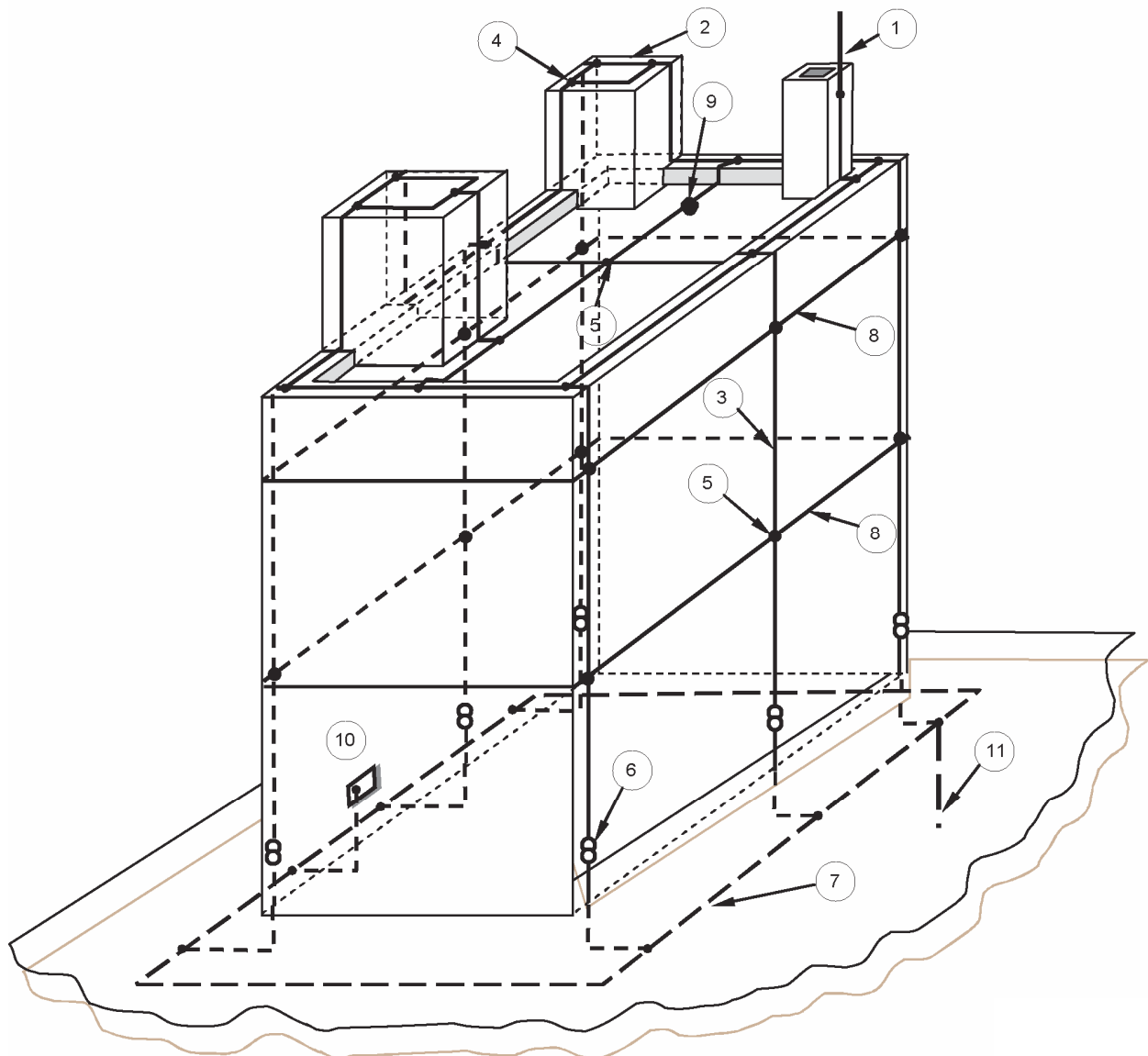
Leyenda

- a 500 mm a 1 000 mm. Véase la tabla E.1
- 1 Parapeto del tejado
 - 2 Conector
 - 3 Conductor flexible
 - 4 Conector en T
 - 5 Fijación del conductor de captación
 - 6 SPCR pasando un pasamuros de estanquidad
 - 7 Viga de acero
 - 8 Conector

NOTA La cubierta metálica del parapeto del tejado se emplea como conductor del sistema de captación si está conectada a la viga de acero utilizada como conductor de bajada natural del SPCR.

Figura E.24 – Construcción de un SPCR empleando componentes naturales del tejado de la estructura

La figura E.25 muestra la colocación de un SPCR exterior en una estructura con un tejado plano hecho de materiales aislantes, tales como madera o ladrillos. Las fijaciones del tejado se encuentran en el espacio a proteger. En estructuras altas se instala, en la fachada, un anillo que conecta todos los conductores de bajada. La distancia entre estos anillos conductores debería cumplir con el apartado 5.3.1. Por debajo del nivel del radio de la esfera rodante se necesitan anillos conductores como conductores equipotenciales.



Leyenda

- 1 Punta de captación
- 2 Conductor horizontal de captación
- 3 Conductor de bajada
- 4 Conector en T
- 5 Conector en cruz
- 6 Junta de unión
- 7 Puesta a tierra tipo B, electrodo tipo anillo
- 8 Anillo equipotencial
- 9 Tejado plano con fijaciones
- 10 Borne para conectar la barra equipotencial del SPCR interno
- 11 Pica de tierra vertical

NOTA Se instala un anillo equipotencial. La distancia entre los conductores de bajada debe cumplir con los requisitos de la tabla 4.

Figura E.25 – Colocación de un SPCR externo en una estructura hecha de materiales aislantes, por ejemplo, madera o ladrillos, con una altura máxima de 60 m, con tejado plano y fijaciones en el tejado

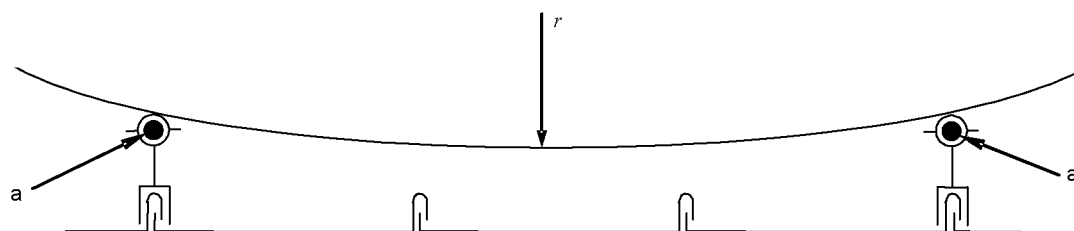
Los conductores y puntas de un SPCR deberían asegurarse mecánicamente para que sean capaces de soportar los esfuerzos del viento o del clima así como los trabajos que se realicen en el tejado.

El revestimiento metálico, empleado como protección mecánica de las paredes exteriores, puede usarse como componente natural del sistema de captación, de acuerdo con el apartado 5.2.5, si no hay riesgo de incendio por fusión del metal. La inflamabilidad depende del tipo de material que se encuentra debajo del revestimiento metálico. La inflamabilidad del material empleado debería confirmarse por el constructor.

El sellado de los tejados metálicos, así como el de otros tipos de tejados, puede perforarse por una descarga de rayo. En ese caso, el agua puede penetrar y gotear a través del tejado en algún punto distante del punto de impacto. Si esta posibilidad tiene que evitarse, debería instalarse un sistema de captación.

Las claraboyas, las salidas de humos y de calor, normalmente están cerradas. El diseño de la protección de estas cubiertas debería discutirse con el comprador/propietario del edificio y decidir qué protección debería aplicarse a estas cubiertas en los casos en que estén abiertas, cerradas o en posiciones intermedias.

Los tejados con recubrimientos conductores que no cumplen con el apartado 5.2.5 pueden emplearse como conductores de captación en aquellos puntos en los que la fusión del metal por el impacto del rayo puede aceptarse. En caso contrario, debería protegerse el recubrimiento metálico con un sistema de captación de suficiente altura (véanse las figuras E.20 y E.26).



Leyenda

- r Radio de la esfera rodante, véase la tabla 2
- a Conductores del sistema de captación

NOTA La esfera rodante no debería tocar ninguna parte del tejado metálico, incluyendo las uniones verticales.

Figura E.26 – Construcción de una red de captación en un tejado con recubrimiento metálico en el que no es aceptable una perforación de la cubierta

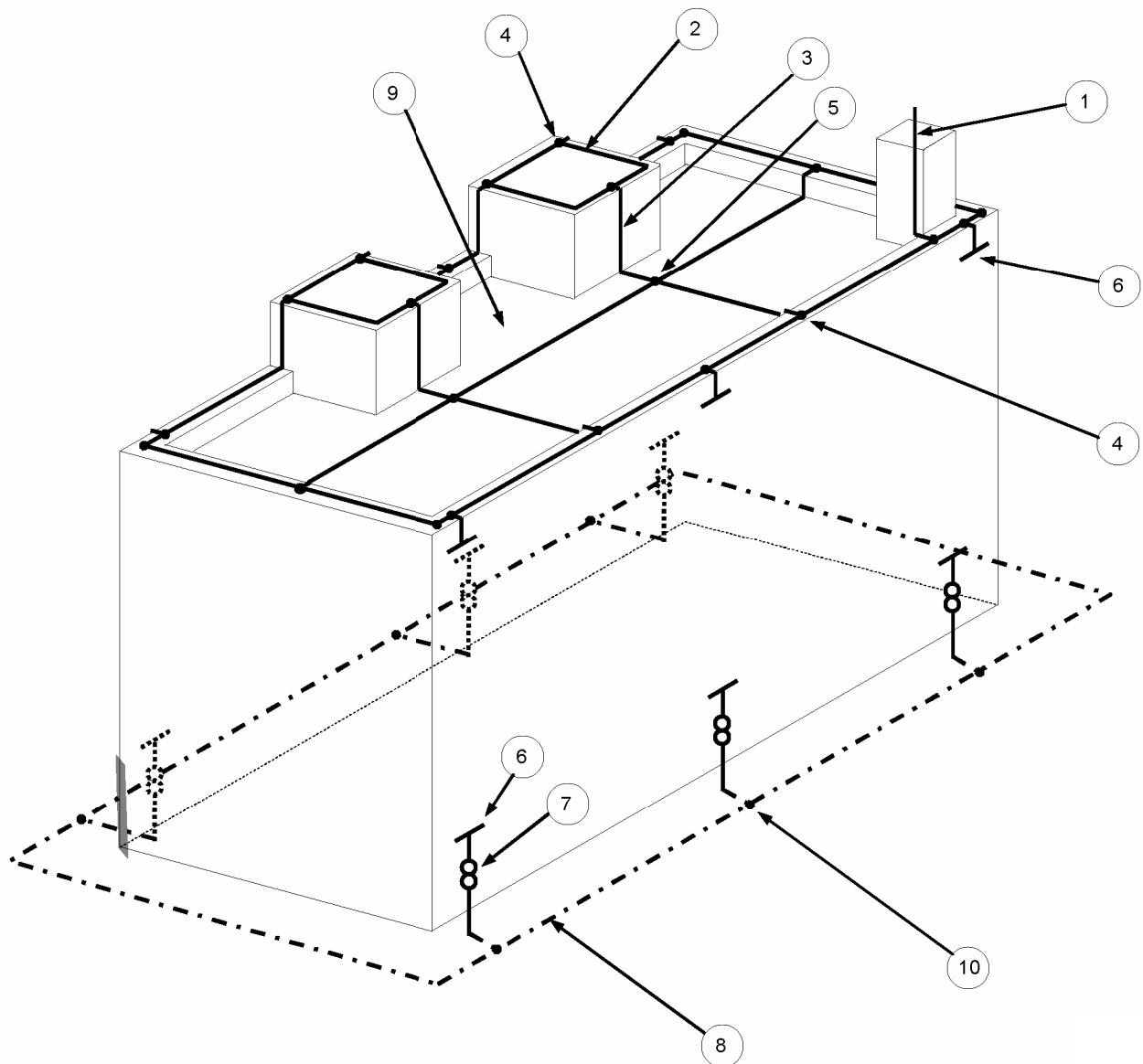
Se permiten soportes tanto conductores como no.

Cuando se empleen soportes conductores, las conexiones con el tejado deberían soportar parte de la corriente del rayo (véase la figura E.26).

La figura E.24 muestra un ejemplo de un dispositivo de captación natural mediante el empleo como conductor de captación de un parapeto del tejado en el borde del tejado.

Las partes en voladizo y las partes sobresalientes del tejado deberían protegerse por medio de puntas de captación. Como variante, las partes metálicas exteriores deberían conectarse equipotencialmente al SPCR a no ser que esté de acuerdo con el apartado 5.2.5.

La figura E.27 muestra un ejemplo de conexión de un dispositivo de captación a los conductores de bajada naturales en hormigón.



Leyenda

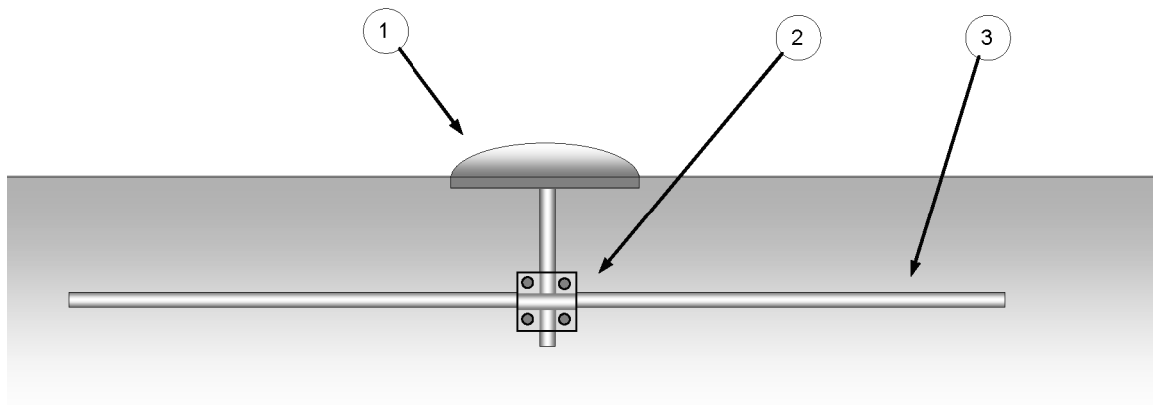
- 1 Punta de captación
- 2 Conductor horizontal de captación
- 3 Conductor de bajada
- 4 Conector en T
- 5 Conector en cruz
- 6 Conexión a la armadura de acero (véanse E.4.3.3 y E.4.3.6)
- 7 Junta de unión
- 8 Puesta a tierra tipo B, electrodo tipo anillo
- 9 Tejado plano con fijaciones
- 10 Conector tipo T resistente a la corrosión

NOTA La armadura de acero de la estructura debería cumplir con el apartado 4.3. Todas las dimensiones del SPCR deberían cumplir con el nivel de protección seleccionado.

Figura E.27 – Construcción de un SPCR externo en una estructura de hormigón armado utilizando los refuerzos de las paredes exteriores como componentes naturales

E.5.2.4.2.1 Protección contra el rayo de los tejados de aparcamientos de coches de varios pisos

Para la protección de este tipo de estructuras, pueden emplearse captadores tipo botón. En un tejado de hormigón estos captadores pueden conectarse al acero de la armadura (véase la figura E.28). En el caso de tejados en los que no pueda realizarse esta conexión, los conductores del tejado pueden colocarse en las juntas de las losas y los captadores pueden colocarse en las uniones de las mallas. La anchura de la malla no debe exceder al valor correspondiente a la clase de protección dado en la tabla 2. En este caso, las personas y los vehículos en el aparcamiento no están protegidos contra el rayo.

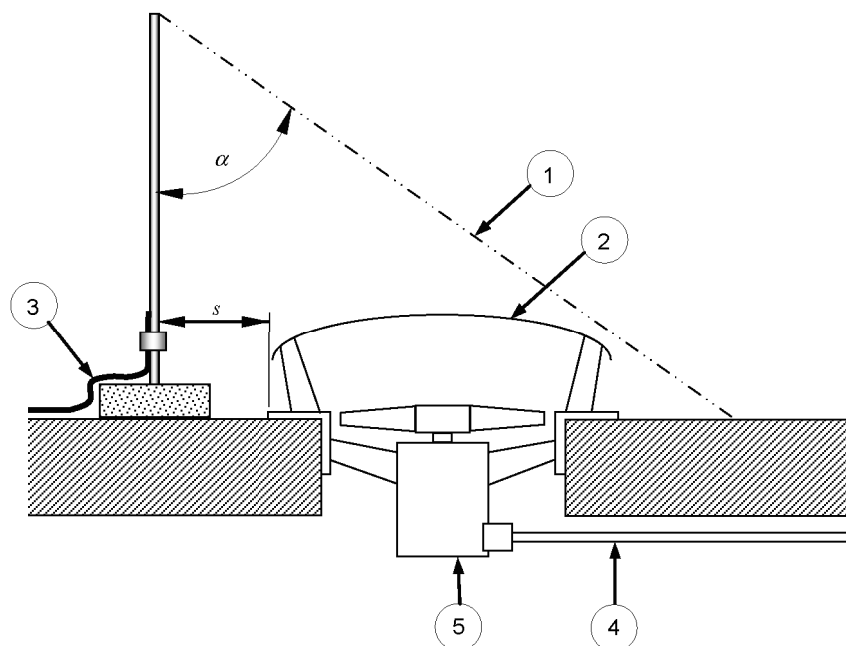


Leyenda

- 1 Captador tipo botón
- 2 Conductor de acero conectado a numerosas barras del acero de la armadura
- 3 Armadura de acero del hormigón

Figura E.28 – Ejemplo de un captador tipo botón empleado en los tejados de los aparcamientos

Si debe protegerse la parte superior del aparcamiento contra los impactos directos del rayo, deberían emplearse, como terminales de captación, puntas y cables aéreos.



Leyenda

- 1 Cono de protección
- 2 Elemento metálico en el tejado
- 3 Conductor horizontal del sistema de captación
- 4 Línea eléctrica de potencia, preferiblemente en el interior de una pantalla conductora
- 5 Equipo eléctrico
- s Distancia de separación según el apartado 6.3
- α Ángulo de protección, véase la tabla 2

NOTA La altura de la punta de captación debería cumplir con la tabla 2.

Figura E.29 – Punta de captación empleada para la protección de un elemento metálico del tejado con instalaciones eléctricas de potencia sin conexión equipotencial al sistema de captación

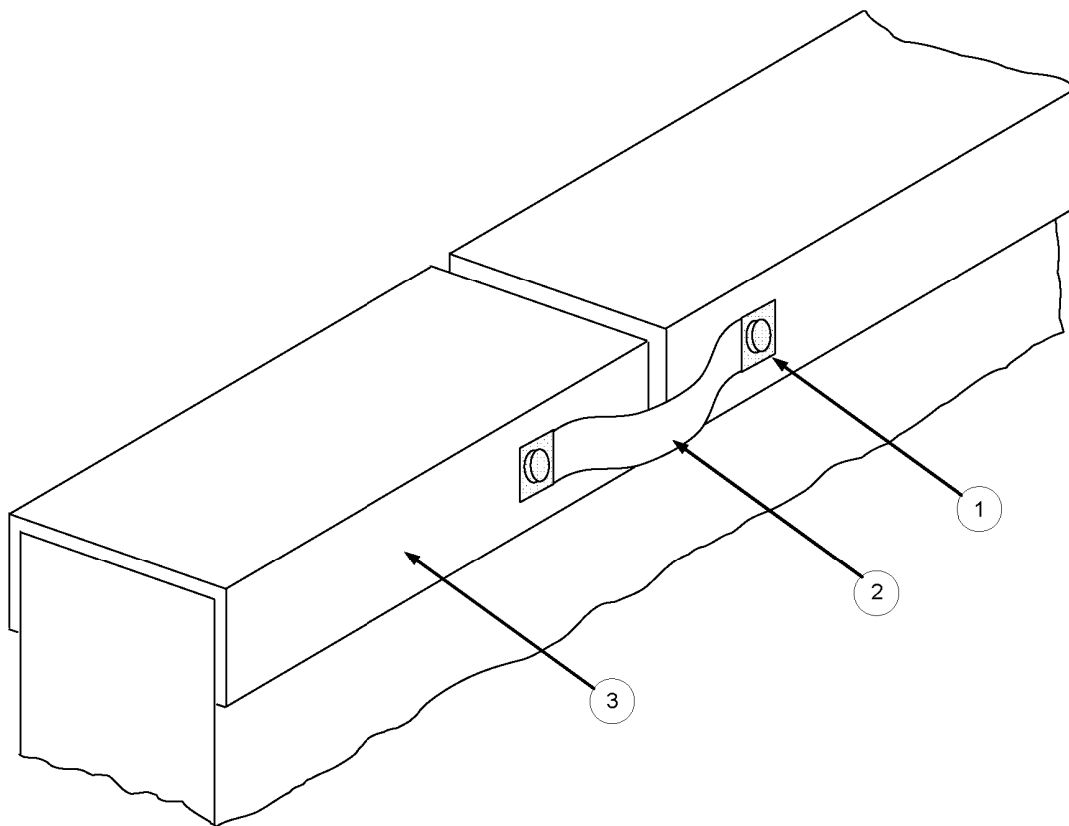
En el caso de conductores verticales, debería tenerse en cuenta la zona que es posible alcanzar con la mano. La distancia de seguridad necesaria puede obtenerse bien mediante barreras o mediante cables de protección.

En las entradas deberían instalarse señales para llamar la atención sobre el peligro de los impactos de los rayos durante las tormentas.

Las tensiones de contacto y de paso pueden despreciarse si el tejado está cubierto con una capa de asfalto de al menos 50 mm de espesor. Puede despreciarse, adicionalmente, la tensión de paso si el tejado está construido con hormigón armado con el acero de la armadura interconectado con continuidad según el apartado 4.3.

E.5.2.4.2.2 Tejadros planos de hormigón armado no accesibles al público

En un tejado plano no accesible al público que incorpora un sistema de captación externo, los conductores del sistema de captación deberían instalarse como se indica en la figura E.27. El revestimiento metálico del parapeto puede emplearse como anillo equipotencial del tejado, tal como se muestra en las figuras E.24 y E.30.



Leyenda

- 1 Conector resistente a la corrosión
- 2 Conductor flexible
- 3 Revestimiento metálico del parapeto

NOTA Debería prestarse una atención especial a la correcta selección de los materiales y al buen diseño de los conectores y a los conductores de los puentes contra la corrosión.

Figura E.30 – Método para conseguir la continuidad eléctrica en el revestimiento metálico del parapeto

La figura E.27 muestra el método para instalar en un tejado los conductores mallados.

Cuando se acepta temporalmente un daño mecánico en la capa impermeable del tejado de una estructura, la malla captadora que cubre la superficie plana del tejado puede sustituirse por conductores captadores naturales de la armadura del hormigón, según el apartado 5.2.4. Una alternativa aceptable es que los conductores del sistema de captación del SPCR pueden fijarse directamente en el hormigón del tejado.

Por lo general, una descarga de rayo en la armadura de un tejado de hormigón dañará la capa impermeable. El agua de lluvia puede producir corrosión en las barras de la armadura con los daños correspondientes. Si no se permite una reducción de la resistencia mecánica del hormigón por la corrosión, para prevenir los impactos directos de las descargas de los rayos en la armadura del hormigón debería instalarse un sistema de captación conectado equipotencialmente al acero de la armadura.

Si no hay riesgo de incendio por fusión del metal, la cubierta metálica prevista para la protección mecánica del exterior de las paredes puede emplearse como componente natural del sistema de captación, de acuerdo con el apartado 5.2.5.

Los tejados cubiertos con chapas metálicas no conformes con la tabla 3 pueden emplearse como conductores de los dispositivos de captación si la fusión en los puntos de impacto de las descargas de los rayos es tolerable. En caso contrario, las chapas metálicas deberían protegerse mediante un dispositivo de captación con la altura suficiente (véanse las figuras E.20 y E.26). En este caso, debería aplicarse el método de la esfera rodante. Por coherencia, el tamaño de la malla debe ser más pequeño y los soportes más altos que el de un sistema de captación por malla normal.

Cuando se empleen soportes conductores, la conexión a las chapas mecánicas debería soportar una parte de la corriente del rayo.

La figura E.24 muestra un ejemplo de un dispositivo de captación natural empleando como conductor del dispositivo de captación un parapeto del tejado en el borde del tejado.

Cuando se acepta que se produzcan daños temporales en la fachada y que trozos de hormigón de hasta 100 mm caigan de la estructura, el apartado 5.2 permite que el anillo conductor del tejado sea sustituido por un anillo conductor natural formado por el acero de la armadura del hormigón.

Las partes metálicas que no cumplen las condiciones estipuladas en el apartado 5.2.5 para los dispositivos de captación pueden emplearse, sin embargo, para interconectar las diferentes partes del tejado que transportan corriente del rayo.

E.5.2.4.2.3 Realización de una estructura apantallada apropiada

Las paredes exteriores y el tejado de una estructura pueden emplearse como pantalla electromagnética con el fin de proteger los equipos eléctricos e informáticos en la estructura (véase el anexo B de la Norma EN 62305-2:2010 y la Norma EN 62305-4).

La figura E.27 muestra un ejemplo de una estructura de hormigón armado empleando la armadura de acero como conductor de bajada y como apantallamiento electromagnético del espacio situado en su interior. Para más detalles, véase la Norma EN 62305-4.

En el dominio de un sistema de captación en el tejado todas las partes conductoras con, al menos, una dimensión superior a 1 m deberían interconectarse para formar una malla. Las pantallas malladas deberían conectarse al dispositivo de captación en el borde del tejado y en otros puntos del tejado de acuerdo con el apartado 6.2.

Las figuras E.24 y E.30 muestran la construcción de dispositivos de captación en estructuras con armazón metálico empleando como dispositivo de captación natural un parapeto del tejado y como conductor de bajada natural el acero de la estructura.

En la figura E.30 se muestra un ejemplo de cómo proporcionar continuidad eléctrica a los componentes naturales de un SPCR.

Como resultado de la reducción del tamaño de las mallas, en relación a los valores de la tabla 2, la corriente del rayo se reparte entre numerosos conductores en paralelo resultando una impedancia electromagnética baja, y de acuerdo con el apartado 6.3, se reducen las distancias de separación siendo mucho más fáciles de obtener las distancias necesarias entre las instalaciones y el SPCR.

En la mayor parte de las estructuras el tejado es la última parte apantallada de la estructura. Por lo tanto, debería prestarse una atención especial para mejorar la eficacia del apantallamiento en los tejados de las construcciones.

Cuando al tejado se incorporan elementos no conductores, puede mejorarse el apantallamiento reduciendo la distancia entre los conductores del tejado.

E.5.2.4.2.4 Protección de las fijaciones de tejados salientes o flotantes sin instalaciones conductoras

La altura de las puntas de captación empleadas para la protección del metal, las fijaciones de los tejados salientes o flotantes, deberían ser tales que las fijaciones a proteger estén completamente en el espacio de protección de la esfera rodante o en el cono de protección de la punta de captación de acuerdo con los valores de la tabla 2. La distancia de separación entre las puntas de captación y las fijaciones del tejado deberían ser tales que se cumplan las condiciones indicadas en el apartado 6.3.

La figura E.29 muestra un ejemplo de protección de las fijaciones por medio de puntas de captación, empleando el método del ángulo de protección. El valor del ángulo de protección debe estar de acuerdo con el nivel de protección del SPCR según se indica en la tabla 2.

Las fijaciones metálicas del tejado no protegidas por puntas de captación no requieren protección adicional, si sus dimensiones no son superiores a:

- altura sobre el nivel del tejado 0,3 m;
- superficie total de la superestructura 1,0 m²;
- longitud de la fijación 2,0 m.

Los metales flotantes, instalados sobre fijaciones del tejado que no cumplan con estos requisitos ni con los de la distancia separación, indicados en apartado 6.3 deberían conectarse al sistema de captación con, al menos, un conductor equipotencial.

Las fijaciones no conductoras que no se encuentran en el volumen protegido por las puntas de captación y que no sobresalen más de 0,5 m sobre la superficie formada por el sistema de captación no necesitan protección adicional de conductores de captación.

Las instalaciones conductoras, tales como conductores eléctricos o tuberías metálicas, que van desde las fijaciones del tejado flotante al interior del edificio pueden llevar una parte importante de la corriente del rayo al interior del edificio. Cuando existen estas conexiones conductoras, las fijaciones de la superficie del tejado que sobresalen deberían protegerse mediante un sistema de captación. Si esta protección no es posible o su coste es alto, pueden instalarse en las instalaciones conductoras (por ejemplo tuberías de aire comprimido) partes aisladas de longitudes, al menos, el doble de la distancia de separación especificada.

Las chimeneas de material no conductor deberían protegerse mediante puntas o anillos de captación cuando no se encuentran en el volumen de protección de un sistema de captación. En una chimenea, la punta de captación debería tener una altura tal que toda la chimenea se encuentre en su volumen de protección.

En una chimenea de material no conductor es posible una descarga de rayo cuando la chimenea no se encuentra en el volumen de protección de un sistema de captación, debido a que la superficie interior de la chimenea está cubierta por un depósito de hollín cuya conductividad es tal que, incluso sin lluvia, es capaz de conducir la corriente de unos filamentos de descarga de gran longitud.

En la figura E.22b se muestra la construcción de una punta de captación en una chimenea fabricada con ladrillos aislantes.

E.5.2.4.2.5 Protección de las fijaciones en tejados que contienen equipos eléctricos o informáticos

Todas las fijaciones de tejados, tanto conductores como no conductores, que contengan equipos eléctricos o informáticos, deberían estar en el espacio protegido por el sistema de captación.

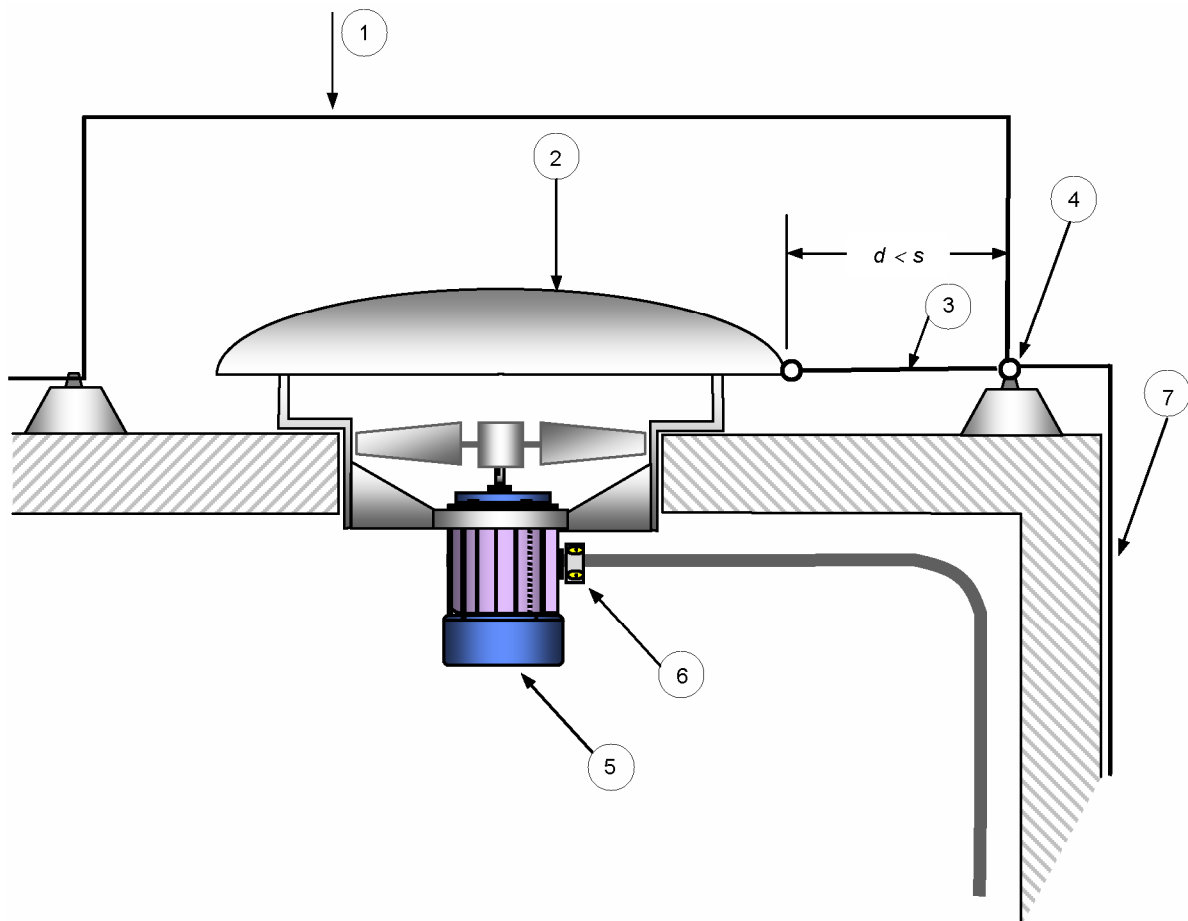
Es improbable que se produzca una descarga de rayo directa en el equipo instalado en el interior del espacio protegido por el sistema de captación.

Una descarga directa en las fijaciones del tejado daría lugar no solamente a su destrucción sino que produciría daños a los equipos eléctricos y electrónicos conectados a las fijaciones y a los que se encuentran en el interior del edificio.

Las fijaciones de los tejados en estructuras de acero también deberían encontrarse en el volumen de protección del sistema de captación. En este caso los conductores del sistema de captación deberían conectarse equipotencialmente no solamente al sistema de captación, sino también, si es posible, directamente a la estructura metálica. En los puntos en que existan conexiones equipotenciales no es necesario respetar las distancias de separación.

Los requisitos para las fijaciones de los tejados deberían aplicarse también a las fijaciones instaladas en las superficies verticales en las que puede impactar un rayo, es decir, donde puede tocar la esfera rodante.

Las figuras E.29 y E.31 muestran ejemplos de construcción de sistemas de captación que protegen las fijaciones en el tejado de las cubiertas conductoras o aislantes de las instalaciones eléctricas. La figura E.31 solamente es apropiada si la distancia de separación s no puede mantenerse.



Leyenda

- 1 Conductor de captación
- 2 Cubierta metálica
- 3 Conductor equipotencial
- 4 Conductor horizontal de captación
- 5 Equipo eléctrico
- 6 Caja de conexión de la potencia eléctrica con DPS
- 7 Conductor de bajada

NOTA Los equipos eléctricos con envoltura están conectados equipotencialmente con el dispositivo de captación y con los elementos conductores de la estructura, de acuerdo con el apartado E.5.2.4.2.6, mediante un cable apantallado que soporta una parte importante de la corriente del rayo.

Figura E.31 – Fijación metálica del tejado protegida contra los impactos directos, conectada al dispositivo de captación

NOTA Si las fijaciones necesitan protección extra, pueden colocarse dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), a nivel del tejado en los cables activos.

Las distancias de separación requeridas deberían mantenerse no solamente en el aire sino también en los materiales sólidos ($k_m = 0,5$).

E.5.2.4.2.6 Instalaciones eléctricas que sobresalen del espacio protegido

Las antenas situadas en el tejado de una estructura deberían protegerse contra los impactos directos de las descargas del rayo instalando la antena en un volumen protegido.

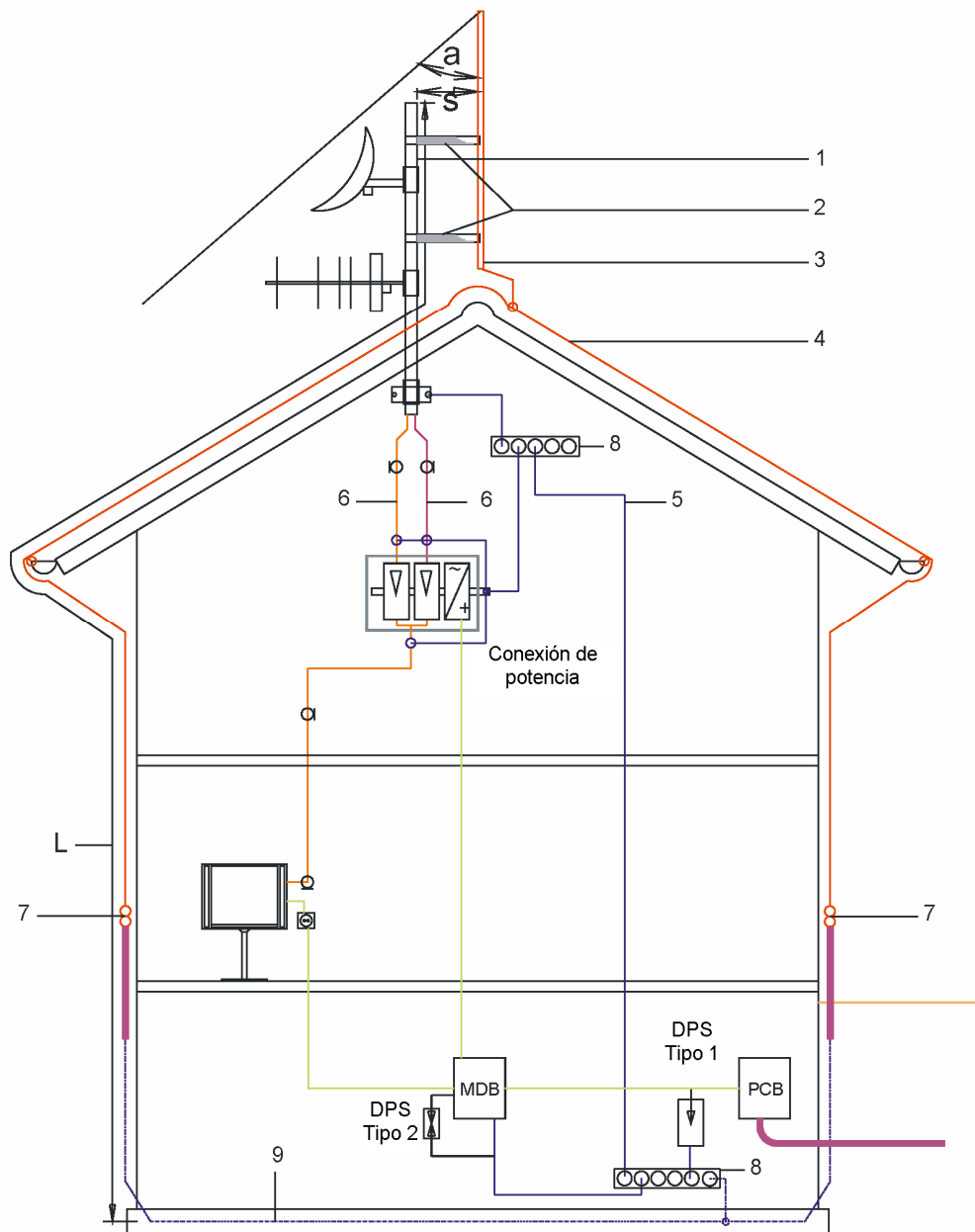
El sistema de la antena debería integrarse en el SPCR (véase también la Norma IEC 60728-11^[6]).

Puede emplearse un SPCR externo tanto aislado (véase la figura E.32a), como no aislado (véase la figura E.32b).

En este último caso, la antena debería conectarse equipotencialmente al dispositivo de captación. Las corrientes parciales del rayo tratarán de entrar en el interior de la estructura a proteger. El cable de la antena debería entrar en la estructura, preferentemente, por la entrada común de todos los servicios o cerca de la barra de equipotencialidad del SPCR. La cubierta conductora del cable de la antena debería conectarse equipotencialmente al dispositivo de captación a nivel del tejado y a la barra de equipotencialidad.

Las fijaciones del tejado en el que se encuentran equipos eléctricos para los que no puede obtenerse la distancia de separación, deberían conectarse equipotencialmente, según la tabla 9, al sistema de captación, a los elementos conductores de las fijaciones y a la pantalla conductora de sus equipos eléctricos.

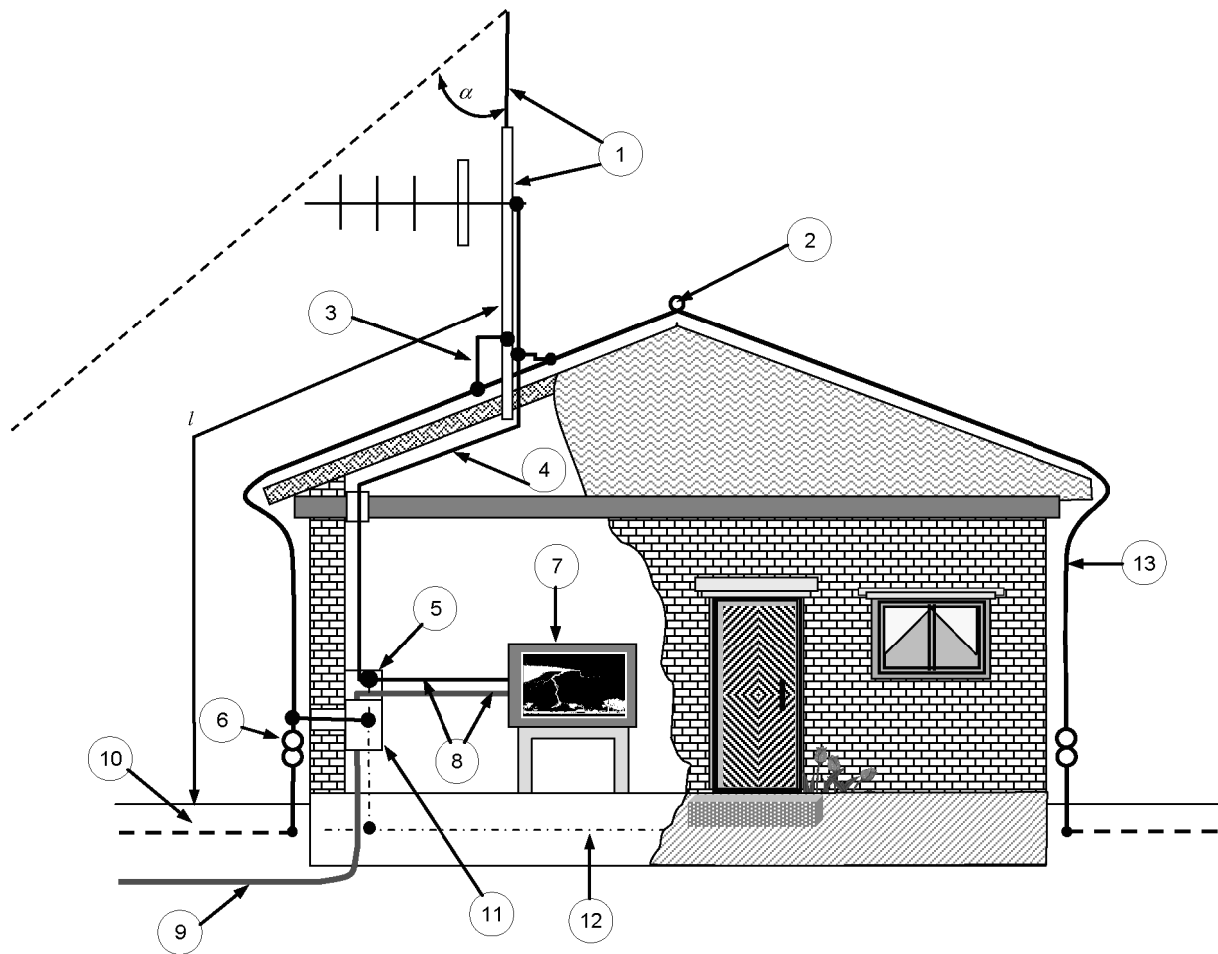
La figura E.31 es un ejemplo de cómo realizar la conexión equipotencial de las fijaciones del tejado con las partes conductoras de una instalación eléctrica y el dispositivo de captación de una estructura.



Leyenda

- | | |
|----------------------------|--|
| 1 Mástil metálico | α Ángulo de protección |
| 2 Aislador | S Distancia de separación |
| 3 Varilla captadora | l Longitud a considerar para calcular la distancia de separación |
| 4 Conductor captador | MDB Caja principal de distribución |
| 5 Conductor equipotencial | PCB Caja de conexión de potencia |
| 6 Cable de antena | |
| 7 Junta de unión | |
| 8 Barra equipotencial | |
| 9 Electrodo de cimentación | |

Figura E.32a – Mástil de antena y antenas protegidas con sistemas de captación aislados, de acuerdo con el método del ángulo de protección



Leyenda

- 1 Mástil metálico
- 2 Conductor horizontal de captación en el caballete del tejado
- 3 Conexión entre el conductor de bajada del tejado y el mástil metálico de la antena
- 4 Cable de la antena
- 5 Pletina principal de equipotencialidad, la pantalla metálica del cable de la antena se conecta a la pletina
- 6 Junta de unión
- 7 TV
- 8 Caminos paralelos de los cables de la antena y de los de potencia
- 9 Cable de potencia
- 10 Sistema de puesta a tierra
- 11 Cuadro de distribución con DPS
- 12 Electrodo en la cimentación
- 13 Conductor del SPCR
- α Ángulo de protección
- l Longitud de la distancia de separación

NOTA En estructuras pequeñas pueden ser suficientes, según el apartado 5.3.3, sólo dos conductores de bajada.

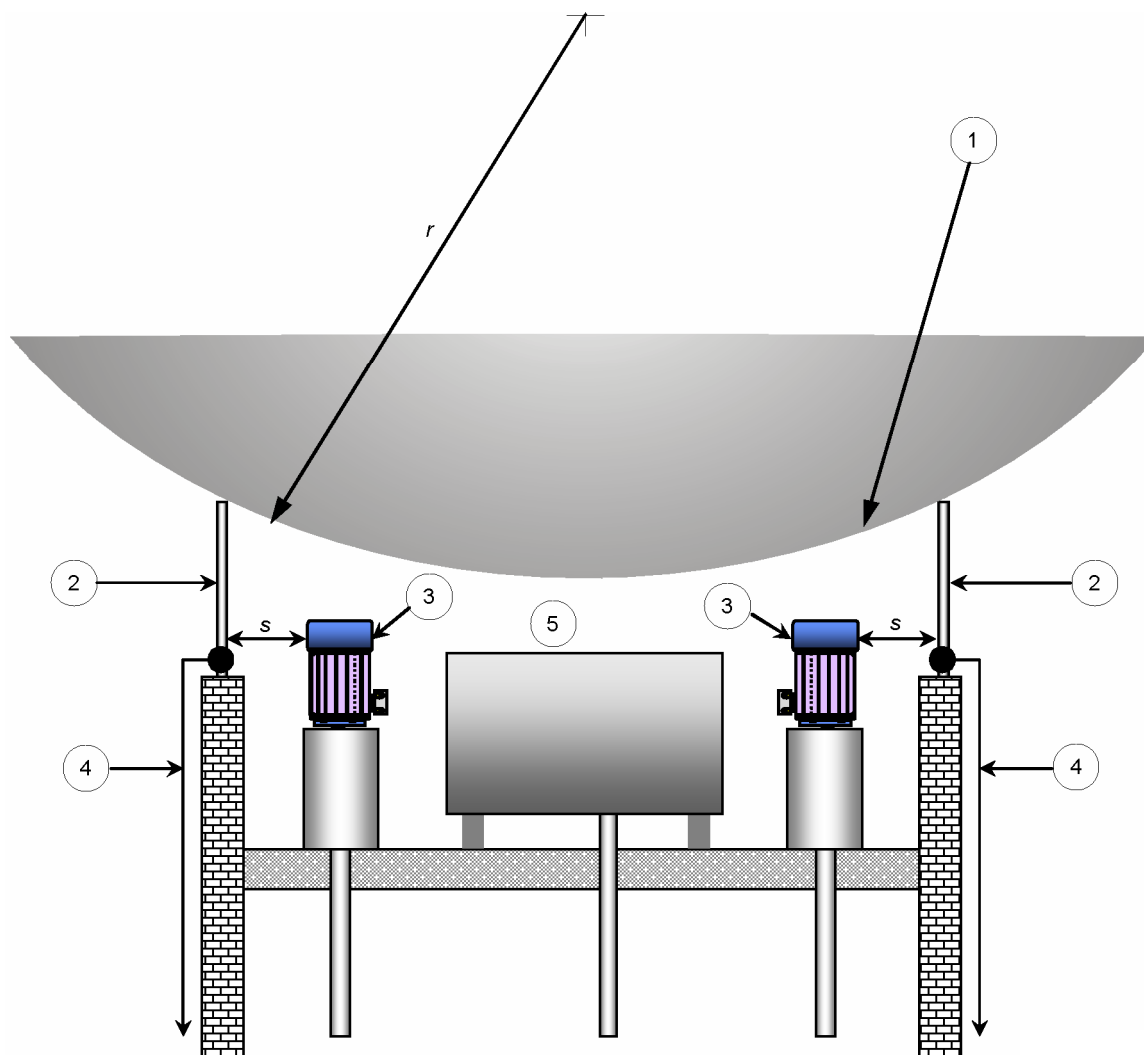
Figura E.32b – Antena de TV empleando el mástil como dispositivo de captación

Figura E.32 – Ejemplos de protección de una casa con antena de TV

E.5.2.4.2.7 Protección de las partes conductoras del tejado

Deberían protegerse con dispositivos de captación los elementos conductores tales como aquellos con insuficiente espesor de sus paredes, los que no pueden soportar los impactos de los rayos y están instalados en el tejado, y también las cubiertas metálicas de los tejados u otras partes de la estructura que no cumplen con los requisitos de un sistema natural de captación, según el apartado 5.2.5 y la tabla 3, y en el que no puede tolerarse una descarga de rayo.

Para el diseño de la protección contra el rayo en las partes conductoras del tejado, debería aplicarse el método de la esfera rodante (véase la figura E.33).



Leyenda

- 1 Esfera rodante
- 2 Punta de captación
- 3 Equipo eléctrico
- 4 Conductor de bajada
- 5 Depósito metálico
- r Radio de la esfera rodante, véase la tabla 2
- s Distancia de separación según el apartado 6.3

Figura E.33 – Instalación de la protección contra las descargas directas del rayo de un equipo metálico situado en el tejado

La figura E.31 es un ejemplo del diseño de un sistema de captación protegiendo un tejado conductor contra una descarga directa del rayo cuando no se puede mantener la distancia de separación s .

E.5.2.4.2.8 Protección de estructuras cubiertas por tierra

En estructuras que tienen una capa de tierra en el tejado y en las que no hay normalmente personas, puede emplearse un SPCR normal. El sistema de captación debería ser un sistema tipo malla en la parte superior de la tierra, o puntas captadoras interconectadas por una malla enterrada, de acuerdo con el método de la esfera rodante o el del ángulo de protección. Si esto no es posible, un sistema de captación enterrado tipo malla y sin puntas ofrecerá una eficacia de intercepción más reducida.

Las estructuras con una capa de tierra en el tejado de hasta 0,50 m y en las que las personas se encuentran presentes de manera regular, necesitará un sistema de captación tipo malla con mallas de 5 m \times 5 m para prevenir tensiones peligrosas de paso. Para proteger a las personas de las descargas directas, pueden ser necesarios sistemas de captación con puntas de acuerdo con el método de la esfera rodante. Estas puntas pueden sustituirse por componentes naturales de captación, tales como vallas, postes de la luz, etc. La altura del sistema de captación debe tener en cuenta una altura permitida a las personas de 2,5 m con las necesarias distancias de separación (véase la figura E.3).

Si nada de lo anterior es posible, las personas deberían ser conscientes de que durante una tormenta pueden estar expuestas a una descarga directa de rayo.

Para estructuras subterráneas con una capa de tierra de 0,5 m por encima, las medidas están en estudio. En tanto en cuanto no haya resultados de las investigaciones, se recomienda emplear las mismas medidas que para las capas de tierra de hasta 0,5 m.

Para estructuras subterráneas que contengan materiales explosivos, debe requerirse un SPCR adicional. Este SPCR adicional puede ser un SPCR aislado sobre la estructura. Los sistemas de puesta a tierra de ambas medidas de protección deberían interconectarse.

E.5.2.5 Componentes naturales

En estructuras con tejados planos, la cubierta metálica del parapeto de un tejado representa un caso típico de un componente natural de un sistema de captación del SPCR. Estos revestimientos comprenden partes en aluminio perfilado o curvado, acero galvanizado o cobre en forma de U que cubre la parte superior del parapeto contra las inclemencias del tiempo. Deben aplicarse los espesores mínimos dados en la tabla 3.

Los conductores del dispositivo de captación, los conductores en la superficie del tejado y los conductores de bajada deberían conectarse a la cubierta del parapeto.

Deberían preverse puentes conductores para conectar las secciones de las chapas de la cubierta del parapeto, salvo si existe una buena continuidad entre ellas.

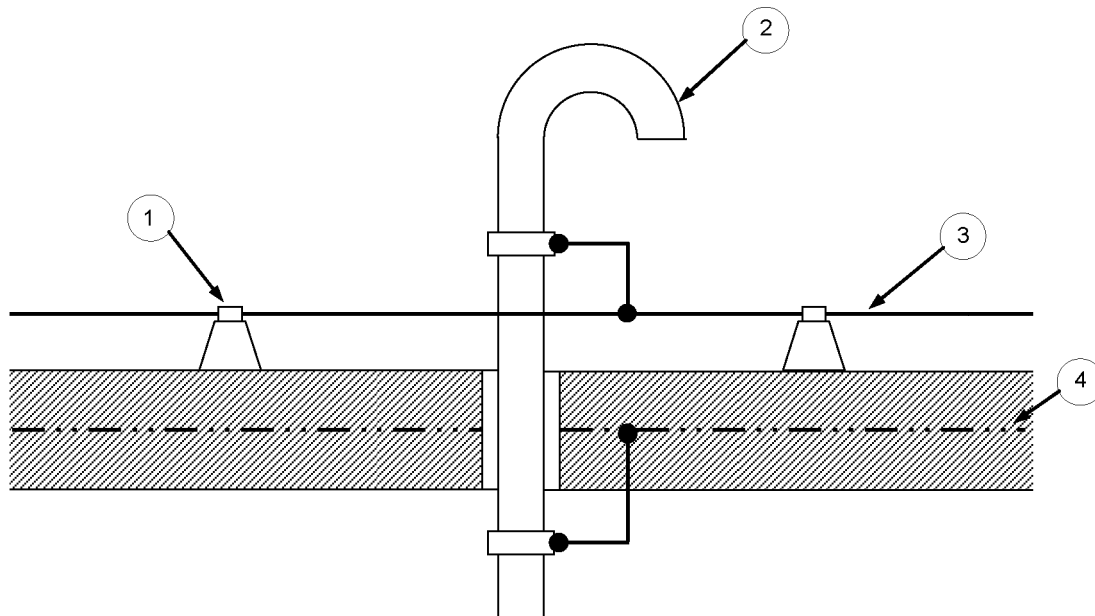
La figura E.24 es un ejemplo de la construcción de un dispositivo de captación empleando la cubierta metálica de los parapetos como conductor natural de un dispositivo de captación del SPCR.

Las partes conductoras, tales como los tanques metálicos, las tuberías metálicas y los raíles montados sobre la superficie del tejado deberían tratarse como componentes naturales del sistema de captación, siempre que el espesor de las paredes esté de acuerdo a la tabla 3.

Los depósitos y las tuberías que contengan gases o líquidos a presión o inflamables, no deberían emplearse como componentes naturales. Cuando esto no sea posible, debería tenerse en cuenta en el diseño de las tuberías los efectos del calentamiento por la corriente del rayo.

Las partes conductoras situadas por encima de la superficie del tejado, tales como tanques metálicos, están frecuentemente conectados de forma natural a los equipos instalados en el interior de la estructura. Con el fin de impedir el paso de la corriente total del rayo a través de la estructura, es necesario prever una buena conexión entre los componentes naturales del SPCR y la malla de captación.

La figura E.34 es un ejemplo en el que se muestran los detalles de la conexión equipotencial de las fijaciones en el tejado a los conductores del dispositivo de captación.



Leyenda

- 1 Fijaciones de los conductores de captación
- 2 Tubería metálica
- 3 Conductor de captación horizontal
- 4 Armadura de acero del hormigón

NOTA 1 La tubería metálica debería estar de acuerdo con el apartado 5.2.5 y la tabla 6, la conexión equipotencial con la tabla 6 y la armadura metálica con el apartado 4.3. Las conexiones equipotenciales del tejado deberían ser estancas.

NOTA 2 En este caso particular se han previsto conexiones equipotenciales con la armadura del hormigón de la estructura.

Figura E.34 – Conexión de una punta de captación natural a los conductores del sistema de captación

Las partes conductoras situadas por encima de la superficie del tejado, tales como tanques metálicos y la armadura del hormigón, deberían conectarse a la red del dispositivo de captación.

Si un impacto directo del rayo no es aceptable sobre una parte conductora situada en el tejado, esta parte debe instalarse dentro del espacio protegido por el sistema de captación.

Las cubiertas conductoras de las fachadas y las partes equivalentes de la estructura en las que el riesgo de incendio es despreciable deberían tratarse de acuerdo con el apartado 5.2.5.

La figura E.35 muestra un ejemplo de un puentado conductor entre las placas metálicas de la fachada en aquellas aplicaciones en las que las placas se emplean como conductores naturales de bajada. Se presentan dos métodos: puentado mediante cinta metálica flexible o mediante de tornillos de rosca.

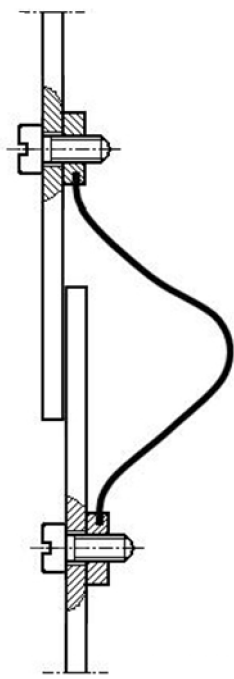


Figura E.35a – Puentado con cinta metálica flexible

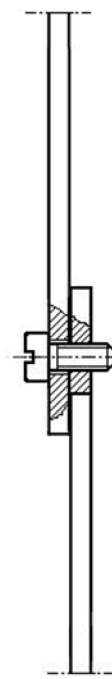


Figura E.35b – Puentado con tornillo de rosca

NOTA Los puentes mejoran la conductividad eléctrica, en particular, la protección contra el impulso electromagnético. Más información respecto a la protección contra el impulso electromagnético se puede encontrar en la Norma EN 62305-4.

Figura E.35 – Construcción de un puentado entre segmentos de las placas metálicas de la fachada

E.5.2.6 Dispositivo de captación aislado

Cuando se instala un SPCR aislado, los mástiles de captación, adyacentes a las estructuras o equipos a proteger, están destinados a minimizar la posibilidad de que los rayos impacten en las estructuras situadas en el volumen de protección.

Cuando se instala más de un mástil, pueden interconectarse por medio de conductores aéreos y se recomienda que la proximidad de la instalación a los SPCR esté de acuerdo con el apartado 6.3.

Las conexiones aéreas de los mástiles amplían el volumen de protección y también distribuyen la corriente del rayo entre numerosos conductores de bajada. La caída de tensión a lo largo del SPCR y la interferencia electromagnética en el espacio protegido son más bajas que cuando no están los cables aéreos.

La acción del campo electromagnético en la estructura se reduce debido a la mayor distancia entre las instalaciones situadas en el interior de la estructura y el SPCR. Un SPCR aislado puede aplicarse también a una estructura de hormigón armado, que mejorará aún más el apantallamiento electromagnético. Sin embargo, en estructuras altas, no es práctica la construcción de un SPCR aislado.

Los sistemas de captación aislados, realizados con cables extendidos sobre soportes aislantes, podrían ser apropiados cuando sobresalen de la superficie del tejado un gran número de fijaciones y necesitan protección. El aislamiento de los soportes debería ser el apropiado para la tensión calculada a partir de la distancia de separación, de acuerdo con el apartado 6.3.

NOTA Las condiciones medioambientales (contaminación) pueden bajar la tensión de perforación del aire, lo que debería tenerse en cuenta cuando se determine la distancia necesaria entre el sistema de captación aislado y la estructura.

E.5.3 Conductores de bajada

E.5.3.1 Generalidades

En la elección del número y de la posición de los conductores de bajada debería tenerse en cuenta que, si la corriente del rayo se reparte entre varios conductores de bajada se reduce el riesgo de descargas laterales y el de perturbaciones electromagnéticas en el interior de la estructura. De lo anterior se deduce que, en tanto que sea posible, los conductores de bajada deberían colocarse uniformemente a lo largo del perímetro de la estructura y con una configuración simétrica.

El reparto de la corriente se mejora no solamente incrementando el número de los conductores de bajada sino también mediante anillos equipotenciales.

Los conductores de bajada deberían colocarse tan alejados como sea posible de los circuitos internos y de las partes metálicas, para evitar las interconexiones equipotenciales con el SPCR.

Debería recordarse que:

- el conductor de bajada debería ser lo más corto posible (para que la inductancia sea la menor posible);
- las distancias normales entre los conductores de bajada se indican en la tabla 4;
- la geometría de los conductores de bajada y los anillos equipotenciales influye en el valor de la distancia de separación (véase 6.3);
- en estructuras en voladizo, la distancia de separación debería evaluarse también en relación con el riesgo sobre las personas por las descargas laterales (véase E.4.2.4.2).

Si no es posible colocar los conductores de bajada en un lado, o en parte de un lado del edificio por razones prácticas o arquitectónicas, los conductores de bajada que debieran estar en ese lado deberían colocarse en los otros lados como conductores de bajada compensadores. La distancia entre estos conductores de bajada no debería ser menor de un tercio de las distancias indicadas en la tabla 4.

Es admisible una variación del $\pm 20\%$ en el espaciado entre los conductores de bajada, si el valor medio de la separación está de acuerdo con la tabla 4.

Los conductores de bajada deben instalarse en patios cerrados con más de 30 m de perímetro. En la tabla 4 se indican los valores típicos de separación entre los conductores de bajada.

E.5.3.2 Número de conductores de bajada en un SPCR aislado

No hay información complementaria.

E.5.3.3 Número de conductores de bajada en un SPCR no aislado

Como se indicó en el apartado 5.3.3 debería colocarse, si es posible, un conductor de bajada en cada esquina de la estructura. Sin embargo, una esquina no necesita un conductor de bajada si la distancia entre la esquina y los conductores de bajada más cercanos cumple con las siguientes condiciones:

- la distancia a los dos conductores de bajada adyacentes es la mitad de la distancia indicada en la tabla 4;
- la distancia a un conductor de bajada adyacente es un cuarto o menor de la distancia indicada en la tabla 4.

En el interior de las esquinas puede despreciarse.

E.5.3.4 Construcción

E.5.3.4.1 Información general

Los conductores de bajada externos deberían instalarse entre el sistema de captación y el sistema de puesta a tierra. Donde haya conductores naturales pueden utilizarse como conductores de bajada.

Si la distancia de separación entre los conductores de bajada y los de las instalaciones interiores es muy grande, calculada en base a la distancia entre conductores de bajada de la tabla 4, debería aumentarse el número de conductores de bajada para cumplir con los requisitos de la distancia de separación.

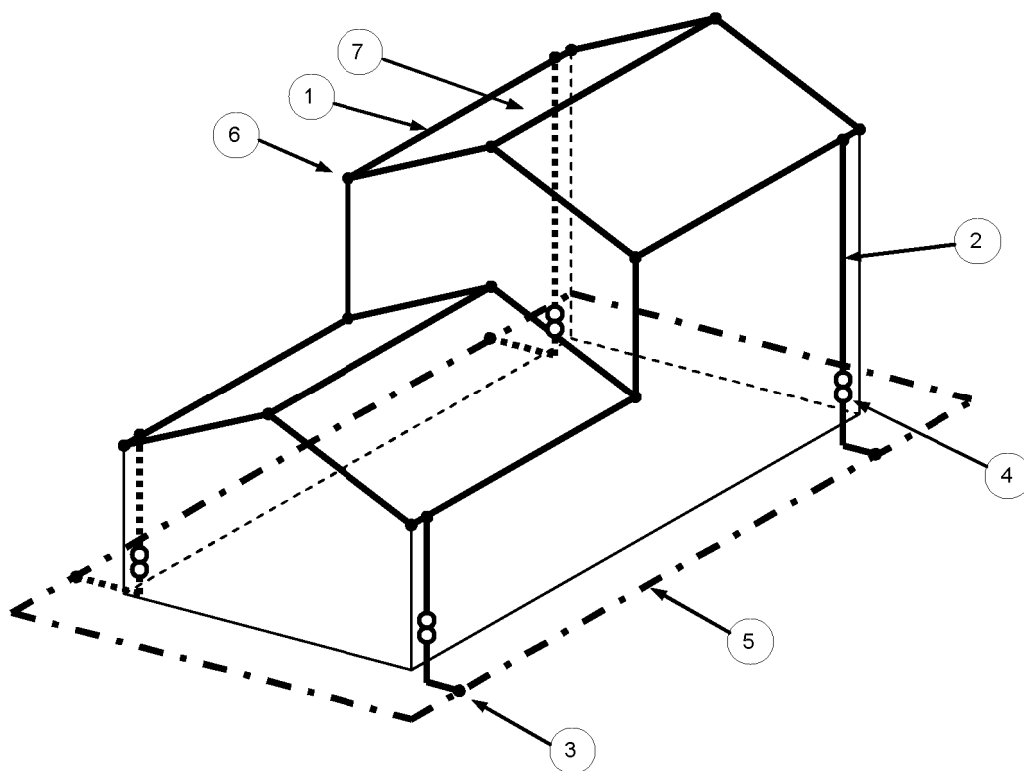
Deberían armonizarse el sistema de captación, el sistema de los conductores de bajada y el sistema de puesta a tierra para obtener el camino más corto posible por la corriente del rayo.

Los conductores de bajada deberían conectarse, preferentemente, a los conectores del sistema de captación y trazarse verticalmente hasta los conectores del sistema de puesta a tierra.

Si no es posible realizar una conexión en línea recta debido a que haya grandes voladizos, etc. la conexión del sistema de captación y los conductores de bajada debería hacerse mediante una conexión específica y no a través de componentes naturales como los canalones de desagüe, etc.

Cuando es necesario tener en cuenta cuestiones estéticas, se permite cubrir con una fina capa de pintura o de PVC, los conductores de bajada externos.

La figura E.36 es un ejemplo de un SPCR externo en una estructura con diferentes niveles de tejados, y la figura E.25 el de un SPCR externo en una estructura de 60 m de altura con un tejado plano y fijaciones en el tejado.



Leyenda

- 1 Conductor horizontal de captación
- 2 Conductor de bajada
- 3 Conexión tipo T – resistente a la corrosión
- 4 Conexión de ensayo
- 5 Disposición de tierra tipo B, electrodo en anillo
- 6 Conexión tipo T en la arista del tejado
- 7 Tamaño de la malla

NOTA La distancia entre los conductores de bajada debería cumplir con los apartados 5.2, 5.3 y la tabla 4.

Figura E.36 – Instalación de un SPCR externo en una estructura de materiales aislantes y distintos niveles de tejados

En estructuras sin grandes partes conductoras continuas, la corriente del rayo sólo circula por los conductores de bajada del SPCR. Por esta razón la geometría de los conductores de bajada determina los campos electromagnéticos en el interior de la estructura (véase la figura E.37).

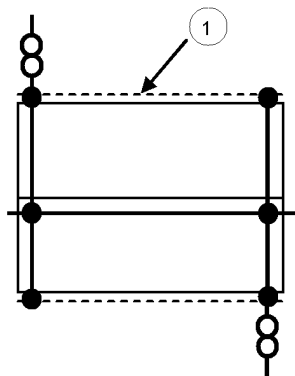


Figura E.37a

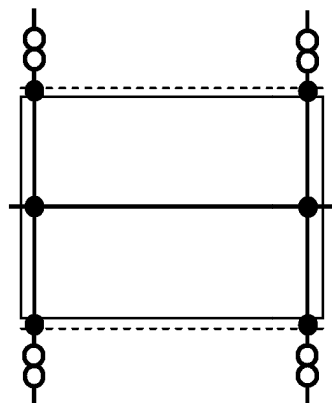


Figura E.37b

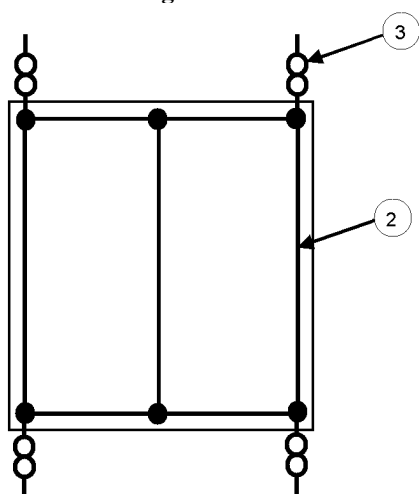


Figura E.37c

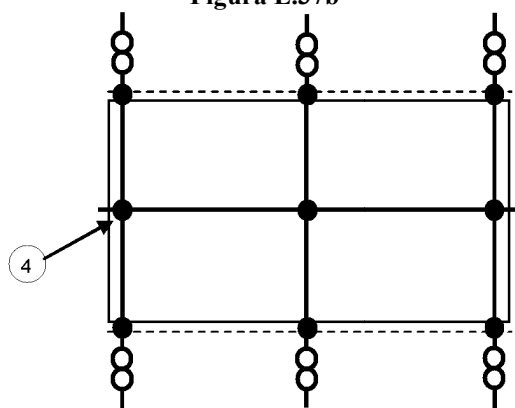


Figura E.37d

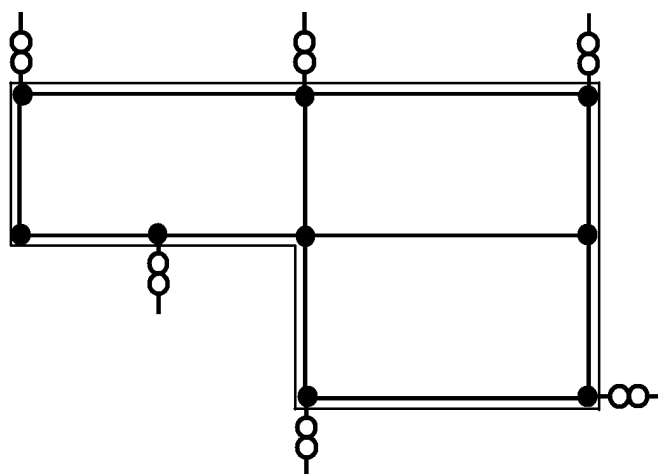


Figura E.37e

Leyenda

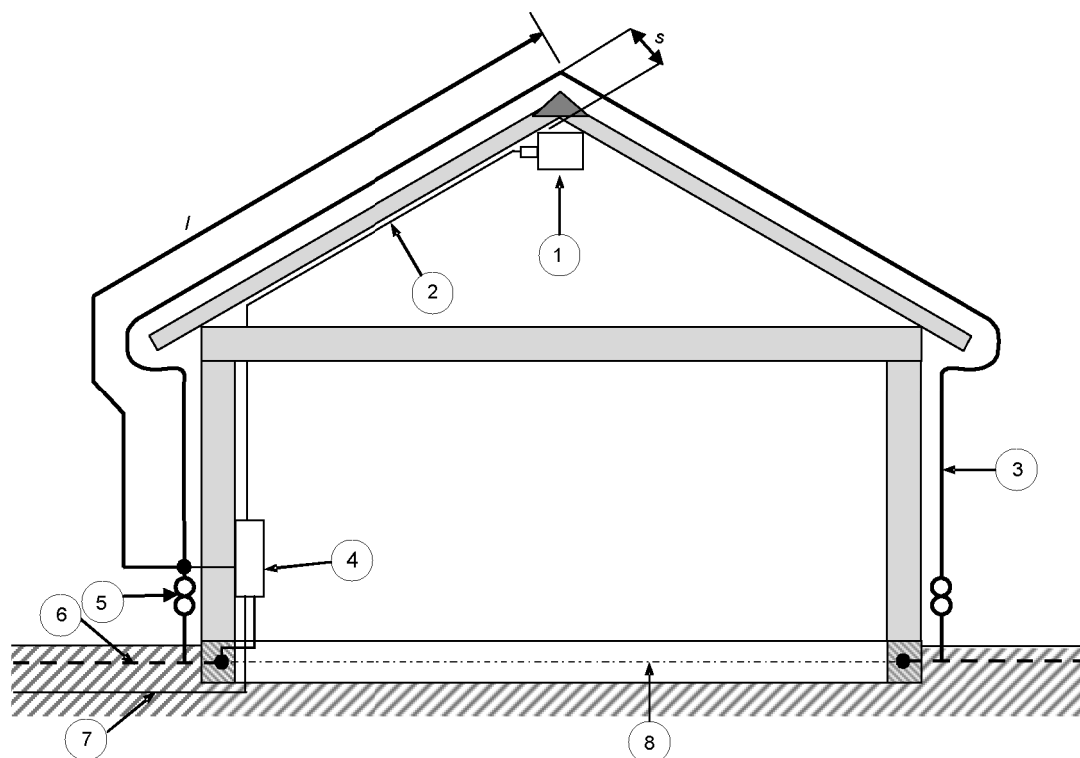
- 1 Componentes naturales del SPCR, por ejemplo, canalones
- 2 Conductores del SPCR
- 3 Conexión de ensayo
- 4 Unión

NOTA La distancia entre los conductores de bajada y el tamaño de la malla deberían estar, según las tablas 2 y 4, de acuerdo con el nivel de protección.

Figura E.37 – Cinco ejemplos de geometrías de conductores de un SPCR

Cuando se aumenta el número de los conductores de bajada, la distancia de separación puede reducirse de acuerdo con el coeficiente k_c (véase 6.3).

De acuerdo con el apartado 5.3.3, deberían usarse, al menos, dos conductores de bajada en una estructura.



Leyenda

- 1 Equipo eléctrico
- 2 Conductores eléctricos
- 3 Conductores del SPCR
- 4 Cuadro de distribución eléctrica con DPS
- 5 Conexión de ensayo
- 6 Sistema de puesta a tierra
- 7 Cable de potencia eléctrica
- 8 Electrodo en la cimentación
- s Distancia de separación según el apartado 6.3
- l Longitud para la evaluación de la distancia de separación

NOTA Este ejemplo ilustra los problemas introducidos por la instalación de potencia eléctrica y otras instalaciones conductoras en el tejado de un edificio.

Figura E.38 – Construcción de un SPCR empleando solamente dos conductores de bajada y los electrodos de la cimentación

Las estructuras grandes, tales como edificios de viviendas de gran altura y, en particular, las estructuras industriales y administrativas, que están diseñadas frecuentemente como estructuras de acero o de hormigón armado, los componentes de la estructura conductora pueden usarse como conductores de bajada.

En estas estructuras la impedancia total es bastante baja y proporcionan una protección muy eficaz contra el rayo para las instalaciones interiores. Es muy ventajoso emplear como conductores de bajada las superficies conductoras de las paredes. Estas superficies conductoras pueden ser de hormigón armado, de placas metálicas y de elementos prefabricados de hormigón, siempre que se interconecten de acuerdo con el apartado 5.3.5.

La figura E.4 muestra una descripción detallada de una construcción apropiada de un SPCR empleando componentes naturales del SPCR, tales como la interconexión de la armadura de la estructura.

El empleo de la estructura de acero como componentes naturales, reduce la caída de tensión entre el sistema de captación y el de puesta a tierra y, en el interior de la estructura, las interferencias electromagnéticas producidas por la corriente del rayo.

Si el sistema de captación está conectado a los elementos conductores de las columnas y a la conexión equipotencial a nivel del suelo, parte de la corriente del rayo circula a través de estos conductores de bajada internos. El campo magnético de esta corriente parcial influye sobre los equipos situados en las proximidades y debe considerarse en el diseño del sistema interno del SPCR y en el de las instalaciones eléctricas y electrónicas. La magnitud de estas corrientes parciales, considerando que la forma de onda es la de la corriente del rayo, depende de las dimensiones de la estructura y del número de columnas.

Si el sistema de captación está aislado respecto a las columnas, no circula corriente por los elementos conductores de las columnas siempre y cuando el aislamiento no se perfora. Si el aislamiento falla en un punto, puede circular una gran corriente por una columna determinada o por un grupo de columnas. La pendiente de la corriente puede aumentar debido a la reducción del frente de onda producida por cebado y por si los equipos situados en las proximidades están afectados en una mayor extensión de lo que estarían en el caso de que hubiese equipotencialidad entre las columnas y el SPCR de la estructura.

La figura E.10 muestra un ejemplo de la construcción de conductores de bajada internos en una gran estructura de hormigón armado con fines industriales. Cuando se planifique el SPCR interno debe considerarse el ambiente electromagnético cerca de las columnas internas.

E.5.3.4.2 Conductores de bajada no aislados

En estructuras con grandes partes conductoras en las paredes exteriores, deberían conectarse en diferentes puntos a las partes conductoras de la estructura los conductores del dispositivo de captación y el sistema de puesta a tierra. Esto reducirá la distancia de separación de acuerdo con el apartado 6.3.

Como resultado de estas conexiones las partes conductoras de la estructura se emplean como conductores de bajada y también como barras equipotenciales.

En grandes estructuras planas (estructuras típicamente industriales, salas de exposición, etc.) cuyas dimensiones sobrepasan cuatro veces la distancia entre los conductores de bajada, deberían preverse, siempre que sea posible, conductores internos extras de bajada cada 40 m, aproximadamente.

Todas las columnas y las paredes internas con partes conductoras, tales como barras de acero, que no cumplen con las condiciones de las distancias de separación, deberían conectarse, en puntos apropiados, con el sistema de captación y con el de puesta a tierra.

La figura E.10 muestra un ejemplo de SPCR para una gran estructura con columnas internas de hormigón armado. Para evitar chispas peligrosas entre diferentes partes conductoras de la estructura, la armadura metálica de las columnas se conecta al sistema de captación y al de puesta a tierra. De esto resulta que una parte de la corriente del rayo circulará por estos conductores de bajada internos. Sin embargo, la corriente se divide entre numerosos conductores de bajada y tiene aproximadamente la misma forma de onda que la corriente del rayo. No obstante, la pendiente se reduce. Si no se realizan estas conexiones y se produce la descarga eléctrica, sólo algunos de estos conductores de bajada pueden llevar la corriente.

La forma de onda de la corriente de cebado será mucho más pendiente que la corriente del rayo, por lo que la tensión inducida en los bucles de los circuitos próximos será considerablemente mayor.

Es particularmente importante, en estas estructuras, que antes de comenzar el proyecto de la estructura, el proyectista de la estructura y el del SPCR se armonicen de manera que puedan utilizarse las partes metálicas de la estructura para la protección contra el rayo. Mediante una buena coordinación en el diseño se obtiene un alto rendimiento del SPCR a un coste mínimo.

La protección del espacio y de las personas que se encuentran debajo de un piso que sobresale, como en el caso de un techo en voladizo, debería diseñarse de acuerdo con el apartado 4.2.4.2 y la figura E.3.

No se recomienda la instalación directa de los conductores de bajada en el enlucido externo ya que el enlucido puede dañarse por expansión térmica. Además, el enlucido puede decolorarse por reacción química. Es muy probable el daño en el enlucido como consecuencia del calentamiento y de las fuerzas mecánicas producidas por las corrientes del rayo; los conductores con cubiertas de PVC previenen las manchas.

E.5.3.5 Componentes naturales

Se recomienda la utilización de los conductores naturales de bajada para maximizar el número de conductores en paralelo y así disminuir la caída de tensión en el sistema de los conductores de bajada y reducir las interferencias electromagnéticas en el interior de la estructura. Sin embargo, debería asegurarse la continuidad eléctrica a lo largo de todo el recorrido entre el sistema de captación y el de puesta a tierra.

Las armaduras de acero en las paredes de hormigón deberían utilizarse como componentes naturales del SPCR tal como se ilustra en la figura E.27.

La armadura de acero de las estructuras nuevas en construcción, deberían especificarse de acuerdo con el apartado E.4.3. Si no es posible garantizar la continuidad eléctrica de los conductores naturales, deberían instalarse conductores de bajada convencionales.

En estructuras en las que las necesidades de protección son bajas, pueden emplearse como conductores de bajada las tuberías metálicas de lluvia que satisfagan los requisitos del apartado 5.3.5.

Las figuras E.22a, E.22b y E.22c muestran ejemplos de fijaciones de los conductores en el tejado y de los conductores de bajada incluyendo las dimensiones geométricas apropiadas, y las figuras E.22c y E.22d muestran la conexión del conductor de bajada a la tubería metálica de lluvia, a los canalones metálicos y a la puesta a tierra.

Las armaduras de las paredes o de las columnas de hormigón y el armazón de las estructuras de acero pueden utilizarse como conductores naturales de bajada.

Una fachada metálica o un recubrimiento metálico de fachada pueden utilizarse como conductor natural de bajada, de acuerdo con el apartado 5.3.5.

La figura E.8 muestra la construcción de un sistema conductor natural de bajada empleando los elementos metálicos de la fachada y la armadura de las paredes de hormigón como plano equipotencial de referencia, al que se conectan las barras de equipotencialización del sistema interno del SPCR.

Si es posible, las conexiones para el sistema de captación deberían preverse en la parte superior del revestimiento de la pared y en la parte inferior para el sistema de puesta a tierra y la armadura del hormigón armado.

La distribución de la corriente en tales fachadas metálicas es más consistente que en la armadura de las paredes de hormigón. Las fachadas de placas metálicas comprenden generalmente paneles individuales de sección trapezoidal con una anchura entre 0,6 m y 1,0 m y una longitud que corresponde con la altura de la estructura. En el caso de estructuras elevadas, la longitud del panel no corresponde con la altura de la estructura por problemas de transporte. La fachada está formada por un conjunto de secciones montadas unas sobre otras.

Para una fachada metálica, la máxima dilatación térmica debería calcularse como el incremento de longitud producido por la diferencia entre una temperatura máxima de aproximadamente +80 °C, cuando está expuesta al sol y una temperatura mínima de -20 °C.

La diferencia de temperatura de 100 °C corresponde a una dilatación térmica del 0,24% para el aluminio y del 0,11% para el acero.

La dilatación térmica de los paneles da lugar a movimientos de los paneles respecto a los paneles adyacentes o respecto a las fijaciones.

Las conexiones metálicas, tales como las que se describen en la figura E.35, dan lugar a una distribución uniforme de la corriente en las fachadas y reducen la influencia del campo electromagnético en el interior de la estructura.

Una fachada metálica produce un apantallamiento electromagnético máximo cuando se interconecta eléctricamente en toda su extensión.

Se obtiene una eficacia alta en el apantallamiento electromagnético cuando las conexiones equipotenciales permanentes de las fachadas metálicas adyacentes se realizan a intervalos pequeños.

La simetría en la distribución de la corriente está directamente relacionada con el número de conexiones.

Si existen requisitos restrictivos en relación con la atenuación por pantalla, y la fachada tiene huecos de ventanas, los huecos de las ventanas deberían puentearse a pequeños intervalos mediante conductores. Esto puede hacerse en ventanas con bastidores metálicos. La fachada metálica debería conectarse, a pequeños intervalos, a los bastidores metálicos. Por lo general, cada arista se conecta a la barra horizontal del bastidor de la ventana a intervalos que no superen la dimensión vertical de la ventana. Deberían evitarse los ángulos y las vueltas (véase la figura E.9).

Las fachadas metálicas formadas por elementos relativamente pequeños que no están interconectados, no pueden considerarse como parte del sistema de los conductores de bajada o del apantallamiento electromagnético.

Para más información sobre protección de las instalaciones eléctricas y electrónicas en las estructuras, véase la Norma EN 62305-4.

E.5.3.6 Junta de unión

Las conexiones facilitan la medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra del SPCR.

De acuerdo con el apartado 5.3.6, las juntas de unión deberían instalarse en la unión de los conductores de bajada con el sistema de puesta a tierra. Estas juntas facilitan, mediante medidas, si existe un adecuado número de conexiones al sistema de puesta a tierra. De esta manera es posible validar la existencia de conexiones continuas entre las juntas de unión y el dispositivo de captación o la barra equipotencial más próxima. En estructuras elevadas los anillos conductores, conectados a los conductores de bajada, pueden instalarse en las paredes y no ser visibles; por lo que su existencia solamente puede confirmarse mediante medidas eléctricas.

Las figuras E.39a, hasta la E.39d muestran ejemplos de diseños de juntas de unión, que pueden instalarse en el interior o en el exterior de la pared de una estructura o, fuera de la estructura, en el terreno, en una arqueta, (véase la figura E.39b). Para hacer posible la continuidad de las medidas, algunos conductores pueden, en secciones críticas, tener pantallas aislantes.

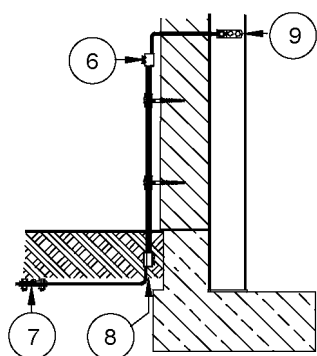


Figura E.39a

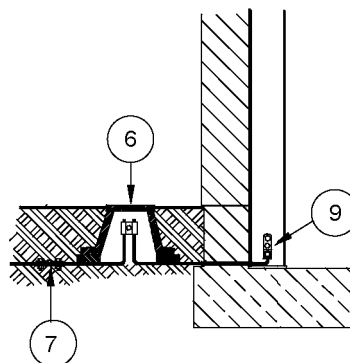


Figura E.39b

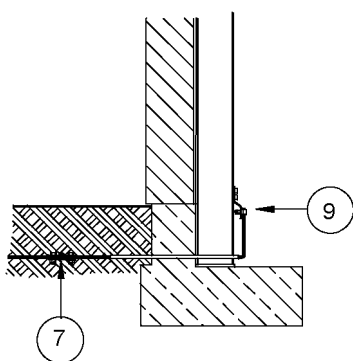


Figura E.39c

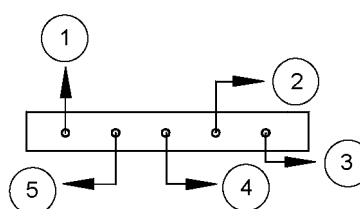


Figura E.39d

Alternativa 1 – Junta de unión en la pared

- 1 Conductor de bajada
- 2 Electrodo de tierra tipo B, si es aplicable
- 3 Electrodo de tierra tipo A, si es aplicable
- 4 Electrodo de tierra de la cimentación
- 5 Equipotencialización del SPCR interno
- 6 Junta de unión en la pared
- 7 Conexión en T, en el terreno, resistente a la corrosión
- 8 Conexión, en el terreno, resistente a la corrosión
- 9 Conexión entre el conductor del rayo y la viga de acero

Alternativa 2 – Junta de unión en el suelo

- 1 Conductor de bajada
- 2 Electrodo de tierra tipo A, si es aplicable
- 3 Equipotencialización del SPCR interno
- 4 Electrodo de tierra tipo B
- 5 Electrodo de tierra tipo B
- 6 Junta de unión en el terreno
- 7 Conexión en T, en el terreno, resistente a la corrosión
- 8 Conexión, en el terreno, resistente a la corrosión
- 9 Conexión entre el conductor del rayo y la viga de acero

NOTA 1 La junta de unión, detallada en la figura E.39d, debería instalarse en la parte interna o externa de una pared de la estructura o en una caja enterrada en el exterior de la estructura.

NOTA 2 Para que sea posible realizar la medida de la resistencia del bucle, algunos conductores deberían tener pantallas a lo largo de las secciones críticas.

Figura E.39 – Cuatro ejemplos de conexiones de los terminales de puesta a tierra de a los SPCR de estructuras empleando conductores naturales de bajada (vigas) y detalle de las juntas de unión

Conviene que (por ejemplo, en el caso de las conexiones del sistema de tierra a las columnas de acero por medio de conductores), las conexiones de los conductores naturales de bajada a los electrodos del sistema de puesta a tierra estén previstos con conductores aislados y juntas de unión. Deberían instalarse electrodos especiales de referencia para facilitar la unión del sistema de puesta a tierra del SPCR.

E.5.4 Sistemas de puesta a tierra

E.5.4.1 Generalidades

El proyectista y el instalador del SPCR deberían seleccionar los tipos de electrodos de puesta a tierra apropiados y deberían situarlos a distancias seguras de las entradas y salidas de una estructura y de los elementos conductores enterrados. El proyectista y el instalador del SPCR, caso de que estén instalado en zonas accesibles al público (véase el capítulo 8), deberían tomar medidas especiales contra las tensiones de paso peligrosas en las proximidades del sistema de puesta a tierra.

El valor recomendado de 10Ω es un valor conservador en el caso de estructuras en las que se aplique las conexiones equipotenciales directas. En todo caso, el valor de la resistencia debe ser lo más bajo posible, y especialmente en estructuras con materiales explosivos. De todas formas, la medida más importante es la conexión equipotencial.

La profundidad de colocación y el tipo de electrodo debería ser tal que se minimicen los efectos de la corrosión, la sequedad y la congelación del suelo, y de esta manera estabilizar la resistencia de tierra equivalente.

Se recomienda que el primer medio metro de un electrodo vertical no se considere como efectivo bajo condiciones de helada.

Los electrodos profundos pueden ser efectivos en casos especiales en los que la resistividad decrece con la profundidad y en los que las capas de baja resistividad aparecen a profundidades mayores que a las que se colocan normalmente las picas.

Cuando se emplea como electrodo de tierra la armadura del hormigón, debería ponerse un cuidado especial en las interconexiones para prevenir la ruptura del hormigón.

Si también se emplea la armadura del hormigón como tierra del sistema de protección, deberían tomarse medidas más severas en relación con el espesor de las barras y de las conexiones. En este caso, podrían considerarse tamaños mayores en las barras de la armadura. En cualquier caso debería tenerse en cuenta la necesidad del uso de conexiones cortas y rectas para el sistema de puesta a tierra de la protección contra el rayo.

NOTA En el caso del hormigón pretensado, deberían tenerse en consideración las consecuencias de que pasen las corrientes de las descargas de los rayos, ya que pueden producir esfuerzos mecánicos inaceptables.

E.5.4.2 Tipos de disposiciones de los electrodos de puesta a tierra

E.5.4.2.1 Disposición tipo A

Este tipo A es apropiado para estructuras bajas (por ejemplo, viviendas familiares), estructuras existentes, SPCR con sistema de captación de puntas, cables, o para SPCR aislados.

Esta disposición está formada por electrodos horizontales o verticales conectados a cada conductor de bajada.

Donde exista un anillo conductor que, a nivel del terreno, interconecte los conductores de bajada, la disposición del electrodo de tierra se considera tipo A si el anillo conductor está en contacto con el suelo al menos en el 80% de su longitud.

En la disposición tipo A el número mínimo de electrodos debería ser uno por cada conductor de bajada y al menos dos para todo el SPCR.

E.5.4.2.2 Disposición tipo B

La disposición tipo B es la preferida en los sistemas de captación tipo malla y en los SPCR con muchos conductores de bajada.

Esta disposición comprende tanto un electrodo en anillo externo a la estructura, en contacto con el terreno en al menos el 80% de su longitud, o un electrodo de cimentación.

En suelo de roca viva sólo se recomienda la disposición tipo B.

E.5.4.3 Construcción

E.5.4.3.1 Generalidades

Los sistemas de puesta a tierra deberían cumplir las siguientes funciones:

- conducir la corriente del rayo a tierra;
- realizar la conexión equipotencial entre los conductores de bajada;
- controlar la tensión en las proximidades de las paredes conductoras de los edificios.

Los electrodos de cimentación y los electrodos en anillo tipo B cumplen con todos estos requisitos. Los electrodos radiales tipo A y los profundos no cumplen estos requisitos en cuanto a la conexión equipotencial y al control de la tensión.

Las estructuras de las cimentaciones de hormigón armado interconectadas deberían emplearse como electrodos de cimentación. Tienen una resistencia de puesta a tierra muy pequeña y actúan como una excelente referencia equipotencial. Cuando esto no es posible, debería instalarse alrededor de la estructura un sistema de puesta a tierra, preferentemente del tipo B.

E.5.4.3.2 Electrodo de cimentación

Un electrodo de cimentación, de acuerdo con el apartado 5.4.4, comprende los conductores que están instalados bajo tierra en la cimentación de la estructura. La longitud de electrodos adicionales debería determinarse empleando el diagrama de la figura 3.

Los electrodos de cimentación están instalados en el hormigón. Tienen la ventaja de que si el hormigón es de fabricación adecuada y cubre al menos 50 mm al electrodo de cimentación, se obtiene una protección adecuada contra la corrosión. También debería recordarse que las barras de acero de la armadura en el hormigón producen el mismo potencial galvánico que los conductores de cobre en el terreno. Esto ofrece una buena solución de ingeniería para el diseño de los sistemas de puesta a tierra en estructuras de hormigón armado (véase E.4.3).

Los metales empleados como electrodos de puesta a tierra deberían ser conformes con los materiales enumerados en la tabla 7, y debería tenerse siempre en cuenta el comportamiento del metal frente a la corrosión en el terreno. En el apartado 5.6 se dan algunas indicaciones. Cuando no son posibles indicaciones para terrenos particulares, debería tenerse en cuenta la experiencia en sistemas de puesta a tierra en plantas próximas, en las que el terreno presenta similares propiedades químicas y consistencia. Cuando se rellenan las zanjas de los electrodos, debería ponerse especial atención en que ni cenizas, ni trozos de carbón, ni escombros de edificios queden en contacto con los electrodos.

Otro problema es la corrosión electroquímica por corrientes galvánicas. El acero en el hormigón tiene en el terreno el mismo potencial galvánico en la serie electroquímica que el cobre. Por lo tanto, cuando el acero en el hormigón se conecta al acero en el terreno, un potencial galvánico de aproximadamente 1 V produce una corriente de corrosión que circula a través del suelo y del hormigón húmedo disolviendo el acero en el terreno.

Los electrodos de las puestas a tierras, cuando se conectan al acero del hormigón, deberían ser de cobre o de acero inoxidable.

A lo largo del perímetro de la estructura, debería instalarse un conductor metálico de acuerdo con la tabla 7, o una cinta de acero galvanizado, con salidas hacia fuera hasta los puntos de conexión designados de las juntas de unión de los conductores de bajada.

El trazado vertical de los conductores que se conectan con los de bajada puede realizarse en paredes de ladrillo, en el interior del yeso o de la pared. Las conexiones de acero instaladas en la pared pueden atravesar el papel saturado de asfalto, empleado normalmente en la cimentación y en las paredes de ladrillo. Por lo general, no presenta problemas la ruptura en estos puntos de la barrera contra la humedad.

La capa de impermeabilización insertada normalmente debajo de la estructura de los cimientos para reducir la humedad proporciona un aislamiento eléctrico consistente. El electrodo de tierra debería estar instalado debajo de la cimentación. Se debería alcanzar un acuerdo con el constructor para el diseño del sistema de tierra.

Cuando el nivel de agua del suelo es alto, los cimientos de la estructura deberían aislarse del agua subterránea. Debería aplicarse en la superficie exterior de la cimentación una capa impermeable que, además, proporciona aislamiento eléctrico. La práctica habitual al establecer estos cimientos impermeables es verter una capa de cemento de 10 cm a 15 cm aproximadamente de profundidad en el fondo de la excavación de la cimentación, sobre la que se dispone el aislamiento y el cimentado.

Un electrodo de cimentación consistente en una red de tamaño de malla no superior a 10 m se debe instalar en el cemento limpio del fondo de la excavación.

Un conductor de acuerdo con la tabla 7 debe conectar el electrodo de malla con la armadura de cimentación, los electrodos de anillo de tierra y los conductores de bajada externos a la barrera de humedad. Donde se permita, pueden utilizarse, para penetrar el aislamiento, pasamuros estancos.

Donde no se permita la penetración del conductor a través de la capa de aislamiento, las conexiones al sistema de tierra se deberían realizar fuera de la estructura.

La figura E.40 muestra tres ejemplos diferentes de cómo instalar los electrodos de cimentación en una estructura con cimientos impermeables.

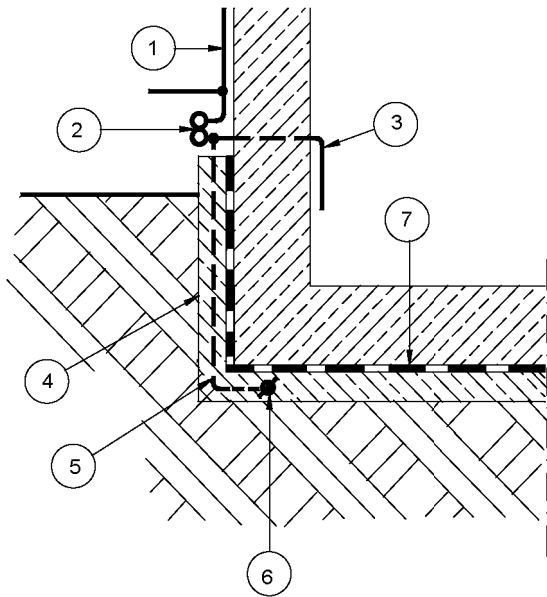


Figura E.40a – Cimentación aislada con electrodo de cimentación en la capa no armada del hormigón y por debajo de la capa aislante

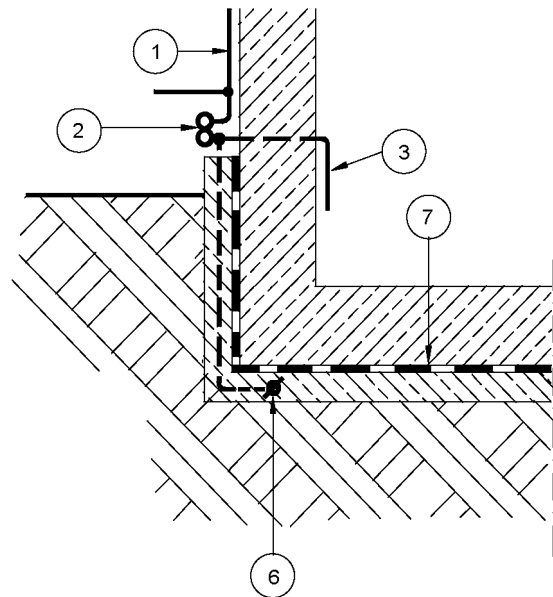


Figura E.40b – Cimentación aislada con electrodo de cimentación pasando parcialmente por el terreno

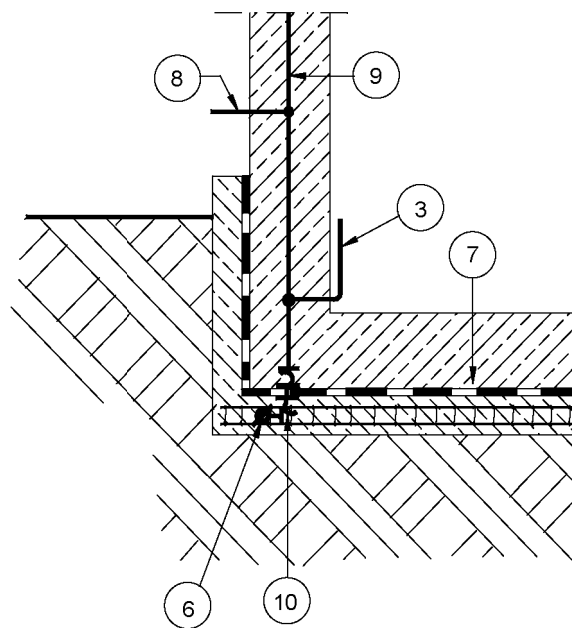


Figura E.40c – Conductor de conexión del electrodo de cimentación con la barra equipotencial pasando por la capa aislante bituminosa

Leyenda

- | | |
|--|--|
| 1 Conductor de bajada | 6 Electrodo de cimentación |
| 2 Conexión de ensayo | 7 Aislante bituminoso, capa aislante estanca |
| 3 Conductor equipotencial del SPCR interno | 8 Conductor de conexión entre la armadura de acero y la junta de unión |
| 4 Capa de hormigón no armada | 9 Armadura del hormigón |
| 5 Conductor de conexión del SPCR | 10 Perforación de la capa bituminosa estanca |

NOTA Es necesaria la autorización del constructor de la estructura.

Figura E.40 – Construcción de un electrodo de cimentación en anillo en estructuras con diferentes tipos de cimentaciones

También se encuentran ilustraciones de numerosas soluciones para una conexión adecuada de la puesta a tierra en estructuras con cimentaciones aisladas.

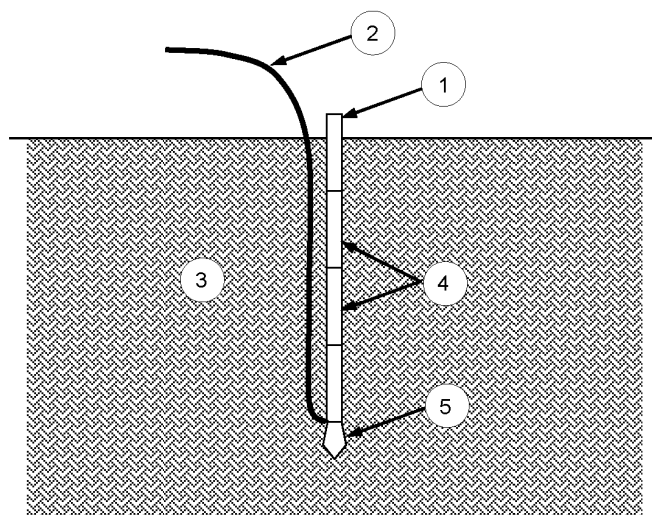
Las figuras E.40a y E.40b muestran las conexiones externas al aislamiento, de manera que el aislamiento no se dañe; la figura E.40c muestra un paso a través del aislamiento.

E.5.4.3.3 Tipo A – Electrodo radiales y verticales

Los electrodos radiales deberían conectarse al extremo inferior de los conductores de bajada mediante conectores. Los electrodos radiales, si fuese necesario, pueden terminar en electrodos verticales.

Cada conductor de bajada debería estar provisto con un electrodo de puesta a tierra.

La figura E.41 muestra un electrodo tipo A en el que un conductor, de acuerdo con la tabla 7, es introducido en el terreno mediante unas picas especiales. Esta técnica de puesta a tierra tiene muchas ventajas desde el punto de vista práctico y evita el uso de grapas y conexiones en el terreno. Los electrodos verticales o inclinados se colocan, generalmente, con martillos.



Leyenda

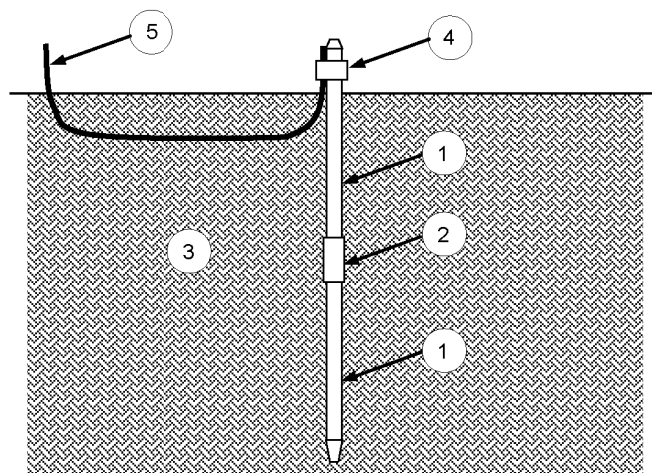
- 1 Guía superior corta
- 2 Conductor de tierra
- 3 Terreno
- 4 Picas guía cortas
- 5 Punta de acero

NOTA 1 Se introduce en el terreno un conductor continuo mediante guías cortas. La continuidad eléctrica del conductor de puesta a tierra es muy ventajosa; empleando esta técnica no se introducen uniones en el conductor de tierra. Las guías de corta longitud son también fáciles de manejar.

NOTA 2 La pica guía corta superior se puede quitar.

NOTA 3 La parte superior del cable de tierra puede tener una camisa aislante.

Figura E.41a – Ejemplo de una disposición de tierra tipo A, con un electrodo vertical



Leyenda

- 1 Pica extensible
- 2 Acoplamiento de la pica
- 3 Terreno
- 4 Grapa de unión del conductor con la pica
- 5 Conductor de tierra

Figura E.41b – Ejemplo de una disposición de tierra tipo A, con un electrodo vertical

Figura E.41 – Ejemplo de dos picas de tierra verticales en una disposición de tierra tipo A

Hay también otros tipos de electrodos verticales. Es esencial asegurar, a lo largo de todo el electrodo y durante toda la vida de servicio del SPCR, una conexión conductora permanente con el terreno.

Durante la instalación es recomendable medir regularmente la resistencia de puesta a tierra. La colocación puede pararse tan pronto como la resistencia de la puesta a tierra deja de descender. Pueden instalarse, en lugares más apropiados, electrodos adicionales.

Los electrodos de tierra deberían tener separación suficientemente respecto a los cables y a las tuberías metálicas existentes en el terreno, y durante la operación de colocación deberían tomarse medidas para que se cumpla esta recomendación. La distancia de separación depende del impulso eléctrico, de la resistividad del terreno y de la corriente en el electrodo.

En las disposiciones tipo A, los electrodos verticales tienen un coste-efectividad mayor y dan, en la mayoría de los terrenos, valores de resistencias más estables que los electrodos horizontales.

En algunos casos, puede ser necesario instalar los electrodos en el interior de las estructuras, por ejemplo en la base o en el sótano.

NOTA Se debería tener especial cuidado con el control de las tensiones de paso mediante medidas de equipotencialización, de acuerdo con el capítulo 8.

Si hay peligro de un aumento de la resistencia cerca de la superficie (por ejemplo, por sequedad), a veces es necesario emplear electrodos profundos de longitudes mayores.

Los electrodos radiales deberían colocarse como mínimo a 0,5 m de profundidad. Una profundidad mayor asegura, en países en los que la temperatura es baja durante el invierno, que el electrodo no se encuentre en la zona helada (lo que daría lugar a una conductividad extremadamente baja). Otra ventaja es que la profundidad de colocación de los electrodos produce una diferencia de potencial en relación con la superficie del terreno, reduciendo las tensiones de paso y el peligro para los seres vivos que se encuentren en la superficie. Los electrodos verticales son preferibles para conseguir, con las estaciones del año, una variación estable de la resistencia.

Cuando se adopta un dispositivo tipo A, la equipotencialización entre todos los electrodos se consigue mediante cables y barras equipotenciales situadas, preferentemente, fuera de las estructuras.

E.5.4.3.4 Tipo B – Electrodos en anillo

En estructuras que emplean materiales aislantes tales como ladrillos, madera con cimentaciones sin armaduras metálicas, debería instalarse un electrodo tipo B de acuerdo con el apartado 5.4.2.2. Como alternativa puede emplearse un electrodo tipo A con conexiones equipotenciales. Con el fin de reducir la resistencia de tierra equivalente, en caso de ser necesario, la disposición tipo B puede mejorarse añadiéndole electrodos verticales o radiales según el apartado 5.4.2.2. La figura 3 fija los requisitos en base a la longitud mínima de los electrodos.

La distancia y la profundidad para un electrodo tipo B, como se indica en el apartado 5.4.3, son óptimas, en terrenos normales, para la protección de las personas en las proximidades de la estructura. En países con bajas temperaturas en invierno, debería considerarse cuál es la profundidad apropiada.

Los electrodos de tierra tipo B también realizan funciones, a nivel del terreno, de equipotencialización entre los conductores de bajada ya que entre los diferentes conductores de bajada se producen diferencias de potencial por el desigual reparto de las corrientes del rayo debido a las variaciones de la resistencia de puesta a tierra y a las diferentes longitudes de los conductores de bajada. Las diferencias de potencial dan lugar a una corriente que circula por el anillo, por lo que se reduce la máxima elevación del potencial y, prácticamente, las conexiones equipotenciales en el interior de la estructura conectadas al anillo adquieren el mismo potencial.

Cuando las estructuras pertenecen a diferentes propietarios y están construidas unas al lado de las otras, a veces no es posible instalar un electrodo en anillo que rodee a la estructura. En este caso se reduce la eficacia del sistema de puesta a tierra, ya que el conductor en anillo actúa parcialmente como electrodo tipo B, parcialmente como electrodo en la cimentación y parcialmente como conductor equipotencial.

Cuando muchas personas se reúnen frecuentemente en zonas adyacentes a la estructura a proteger, debe preverse, en esas zonas, un mayor control de la tensión. Deberían instalarse más electrodos en anillo a distancias de aproximadamente 3 m del primer anillo y de los subsiguientes anillos. Además los electrodos deberían instalarse a más profundidad conforme aumenta la distancia a la estructura, por ejemplo, los que están a 4 m de la estructura a 1 m de profundidad, los que están a 7 m de la estructura a 1,5 m de profundidad y los que están a 10 m de la estructura a 2 m de profundidad. Estos electrodos en anillo deberían conectarse al primer anillo mediante conductores radiales.

Se obtiene una protección suficiente para las personas que se encuentran en la zona, cuando la zona adyacente a la estructura está cubierta con una losa o con asfalto de baja de baja conductividad de 50 mm de espesor.

E.5.4.3.5 Electrodos de puesta a tierra en suelo rocoso

Durante la construcción, en la cimentación debería construirse un electrodo de cimentación. Incluso cuando este electrodo tiene un efecto pequeño en el suelo rocoso, actúa como un conductor equipotencial.

En las conexiones de ensayo, deberían conectarse electrodos adicionales conectados a los conductores de bajada y a los electrodos de la cimentación.

Cuando no hay un electrodo de cimentación, debería emplearse un electrodo tipo B (un electrodo en anillo). Si el electrodo no puede instalarse en el terreno y tiene que montarse en la superficie, debería protegerse contra los daños mecánicos.

Los electrodos radiales que estén en la superficie o próximos a la superficie, a los efectos de protección mecánica, deberían cubrirse con piedras o embeberlos en hormigón.

Cuando la estructura está cerca de una carretera, si es posible, debería instalarse un electrodo en anillo por debajo de la carretera. Sin embargo, si esto no es posible, en toda la longitud del tramo de la carretera que se encuentra expuesta debería preverse un control equipotencial (normalmente un dispositivo A) al menos en la proximidad de los conductores de bajada.

Para el control del potencial, en algunos casos especiales, debería tomarse la decisión de instalar un anillo complementario en la proximidad de la entrada a la estructura, o aumentar artificialmente la resistividad de la capa parcial superior del terreno.

E.5.4.3.6 Sistemas de puesta a tierra en grandes superficies

Una planta industrial está formada, normalmente, por un cierto número de estructuras asociadas, entre las que hay instalados un gran número de cables de potencia y de señal.

Los sistemas de puesta a tierra de estas estructuras son muy importantes para la protección del sistema eléctrico. Un sistema de baja impedancia reduce la diferencia de potencial entre las estructuras y así las interferencias introducidas por las conexiones eléctricas.

Puede conseguirse una impedancia de puesta a tierra baja previendo las estructuras con electrodos de cimentación y disposiciones adicionales de electrodos tipo B y tipo A de acuerdo con el apartado 5.4.

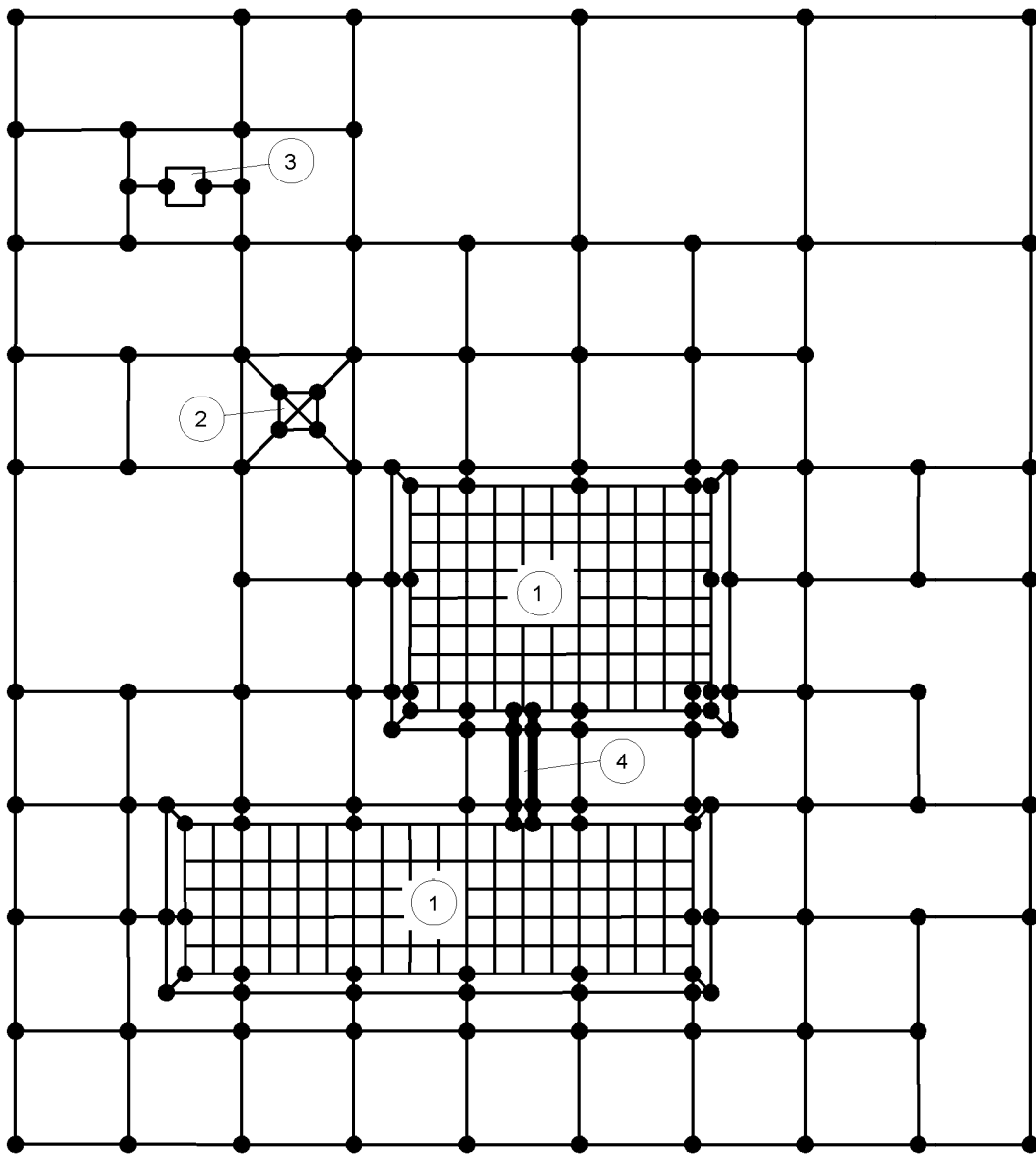
Las interconexiones entre los electrodos de puesta a tierra, los electrodos de las cimentaciones y los conductores de bajada deberían hacerse en las conexiones de ensayo. Algunas de estas conexiones deberían conectarse también a las barras equipotenciales del SPCR interno.

Los conductores de bajada internos, o las partes internas de las estructuras empleadas como conductores de bajada deberían conectarse al electrodo de puesta a tierra y a la armadura de acero del piso para evitar tensiones de paso y de contacto. Si los conductores externos de bajada están próximos a las conexiones de ensayo en el hormigón, estas juntas deberían puentearse tan cerca como sea posible a los conductores de bajada.

La parte accesible inferior de un conductor de bajada debería aislarse mediante un tubo de PVC, de al menos 3 mm de espesor o con un asilamiento equivalente.

Con el fin de reducir la probabilidad de descargas directas del rayo en los cables situados en el terreno, debería instalarse por encima de los cables un conductor de tierra, y en el caso de trazados de cables más amplios, varios conductores de tierra por encima del trazado de los cables.

Mediante la interconexión de las tierras de un número de estructuras, se obtiene un sistema mallado como se muestra en la figura E.42.



Leyenda

- 1 Edificio con armadura mallada
- 2 Torre en el interior de la planta
- 3 Equipo aislado
- 4 Zanja de cables

NOTA Este sistema proporciona una impedancia baja entre los edificios y tiene importantes ventajas respecto a la CEM. El tamaño de las mallas próximas a los edificios u a otros objetos puede ser del orden de $20\text{ m} \times 20\text{ m}$. A partir de los 30 m el tamaño de la malla puede aumentarse del orden de $40\text{ m} \times 40\text{ m}$.

Figura E.42 – Sistema mallado de puesta a tierra en una planta

La figura E.42 muestra, entre las estructuras asociadas a los edificios protegidos contra el rayo, el diseño de una red de puesta a tierra mallada, incluyendo las zanjas de los cables. Esto da lugar a una impedancia de tierra pequeña entre edificios y a una protección importante contra los impulsos electromagnéticos.

E.5.5 Componentes

Los componentes del SPCR deberían soportar, sin sufrir daños, los efectos electromagnéticos de la corriente del rayo y los esfuerzos accidentales predecibles. Esto puede conseguirse eligiendo componentes ensayados satisfactoriamente de acuerdo con la serie de Normas EN 50164.

Todos los componentes deben cumplir con la serie de Normas EN 50164.

NOTA En la tabla E.1 se indica la distancia entre las fijaciones.

E.5.6 Materiales y dimensiones

E.5.6.1 Diseño mecánico

El proyectista del sistema de protección debe consultar, con las personas responsables de la estructura, sobre las materias de diseño mecánico al igual que del diseño eléctrico.

Las consideraciones estéticas, así como la correcta selección de los materiales, son particularmente importantes para limitar el riesgo de corrosión.

El tamaño mínimo de los componentes para las distintas partes del SPCR está enumerado en las tablas 3, 6, 7, 8 y 9.

Los materiales empleados para los componentes del SPCR están listados en la tabla 5.

NOTA Los componentes tales como las grapas y las puntas, seleccionados de acuerdo con la serie de Normas EN 50164, pueden considerarse adecuados.

El proyectista y el instalador del SPCR deberían verificar los materiales y su aplicación. Esto puede llevarse a cabo, por ejemplo, pidiendo certificados de ensayos e informes al fabricante que demuestren que los materiales han pasado de manera satisfactoria los ensayos de calidad.

El proyectista y el instalador del SPCR deberían especificar los amarres y las fijaciones que deben soportar las fuerzas electrodinámicas de la corriente del rayo en los conductores y que también deben permitir la dilatación y la contracción de los conductores por las variaciones de la temperatura, de acuerdo con la serie de Normas EN 50164.

Las conexiones entre los paneles de chapa metálica deberían ser compatibles con los materiales de los paneles, presentar una superficie de contacto mínima de 50 mm² y ser capaces de soportar las fuerzas electrodinámicas de la corriente del rayo y las amenazas de corrosión por el ambiente.

Cuando para una superficie, a la que los componentes van a estar fijados, las altas temperaturas son importantes por ser materiales inflamables o tener un punto bajo de fusión, deberían especificarse secciones de conductores mayores u otras precauciones de seguridad, como emplear fijaciones e inserciones de capas resistentes al fuego.

El diseñador del SPCR debería identificar todas las zonas con problemas de corrosión y especificar las medidas que deben tomarse.

Los efectos de la corrosión en el SPCR pueden reducirse bien aumentando el tamaño de los materiales, empleando componentes resistentes a la corrosión, o mediante otras medidas de protección.

E.5.6.2 Selección de los materiales

E.5.6.2.1 Materiales

Los materiales del SPCR y las condiciones de uso están indicados en la tabla 5 y la serie de Normas EN 50164.

Las dimensiones de los conductores del SPCR, incluidos los del dispositivo de captación, los conductores de bajada y los del sistema de puesta a tierra, para diferentes materiales tales como cobre, aluminio y acero están indicados en las tablas 6 y 7. Los valores de 50 mm², recomendados para el cobre y el aluminio macizo, están basados en los requisitos mecánicos (por ejemplo, mantener el esfuerzo de los cables entre los soportes, para que no se comben hacia el tejado). Si los esfuerzos mecánicos no son importantes, los valores del pie de nota b) o de la tabla 6 (cobre 28 mm²) pueden emplearse como valores mínimos.

Los espesores mínimos de las chapas metálicas, de las tuberías metálicas y de los recipientes empleados como componentes naturales del dispositivo de captación están indicados en la tabla 3, y las dimensiones mínimas de los conductores equipotenciales en las tablas 8 y 9.

E.5.6.2.2 Protección contra la corrosión

El SPCR debería construirse con materiales resistentes a la corrosión tales como el cobre, el aluminio, el acero inoxidable y el acero galvanizado. Los materiales de las puntas y de los cables de los dispositivos de captación deberían ser compatibles electroquímicamente con los de los componentes de los elementos de conexión y montaje, y deberían tener una buena resistencia a la corrosión en una atmósfera corrosiva o húmeda.

Deberían evitarse las conexiones entre diferentes materiales, pues de otra forma tienen que protegerse.

Los elementos de cobre nunca deberían instalarse por encima de elementos galvanizados o de aluminio a menos que todos los elementos estén provistos de protección contra la corrosión.

De los elementos de cobre se desprenden partículas muy finas, lo que da lugar a un peligro alto de corrosión sobre los elementos galvanizados, incluso cuando los elementos de cobre y los galvanizados no estén en contacto directo.

Los conductores de aluminio no deberían fijarse directamente a las superficies calcáreas de los edificios, tales como hormigón calizo o yesos, y no deberían emplearse nunca en el terreno.

E.5.6.2.2.1 Metales en el suelo y en el aire

La velocidad de la corrosión de un metal dependerá del tipo de metal y de la naturaleza de su ambiente. Los factores ambientales tales como humedad, sales disueltas (formando así un electrolito), grado de aireación, temperatura y movimiento del electrolito dan lugar a condiciones muy complejas.

Además, las condiciones locales, con diferentes contaminantes bien naturales o industriales, pueden producir variaciones importantes en diferentes partes del mundo. Para resolver problemas particulares de corrosión, se recomienda de manera especial consultar con un especialista.

El efecto del contacto entre dos metales distintos, en asociación con el fenómeno de electrolisis o electrolisis parcial del ambiente, provocan un aumento de la corrosión en el metal más anódico y una disminución en el metal más catódico.

La corrosión del metal más catódico no será, necesariamente, completamente impedida. El electrolito para esta reacción puede ser el agua del terreno, terreno húmedo o incluso agua condensada en estructuras altas cuando queda almacenada en grietas.

Los grandes sistemas de redes de puesta a tierra pueden estar sometidos a diferentes condiciones del terreno en diferentes partes. Esto puede dar lugar a un aumento de los problemas de corrosión por lo que requiere una atención especial.

Con el fin de disminuir la corrosión en un SPCR, es necesario:

- evitar el empleo de materiales no apropiados en un ambiente agresivo;
- evitar el contacto entre materiales diferentes con importante diferencia en su actividad electroquímica o galvánica;
- emplear una adecuada sección en los conductores, barras equipotenciales, terminales conductores y grapas, y así asegurar, en las condiciones de funcionamiento, una resistencia suficiente a la corrosión;

- proporcionar, en las conexiones de los conductores que no están soldadas, rellenos apropiados o materiales aislantes para excluir así la humedad;
- proporcionar, en el emplazamiento de la instalación, fundas, o revestimientos aislantes apropiados en los metales sensibles a los gases o fluidos corrosivos;
- considerar los efectos galvánicos de otros elementos metálicos a los que está conectado el electrodo de tierra;
- evitar diseños en los que los productos de una corrosión natural a partir de un metal catódico (por ejemplo, cobre) podrían influir en un recubrimiento, como el cobre sobre un metal anódico (por ejemplo, acero o aluminio).

Para cumplir con lo anterior se citan, como ejemplos específicos, las siguientes precauciones:

- el espesor mínimo o diámetro de un elemento conductor debería ser de 1,7 mm para el acero, el aluminio, el cobre, las aleaciones de cobre o las de níquel/cromo/acero;
- se recomienda un separador aislante cuando la distancia entre diferentes materiales es muy pequeña (o se tocan) pudiéndose producir corrosión, no siendo el contacto necesariamente eléctrico;
- los conductores de acero no protegidos por otros medios deberían galvanizarse en caliente de acuerdo con los requisitos de las tablas 6 y 7;
- los conductores de aluminio no deberían enterrarse directamente en el terreno, ni fijarlos directamente en el hormigón, a menos que estén colocados en una funda ajustada aislante y duradera;
- las conexiones aluminio/cobre deberían evitarse siempre que sea posible. En los casos en que no puedan evitarse, las conexiones deberían soldarse o hacerlas mediante una capa intermedia de cobre/aluminio;
- las fijaciones o las fundas de los conductores de aluminio deberían ser de un metal similar y de una adecuada sección para evitar fallos por condiciones climáticas adversas;
- el cobre es apropiado para su uso en la mayor parte de las instalaciones de puesta a tierra, salvo en ambientes ácidos, amoniacales oxigenados o sulfurosos. Sin embargo, debería recordarse que producirán daño galvánico en los materiales férricos a los que esté conectado. Esto puede requerir una atención especial, en particular cuando se emplea una protección catódica;
- debería prestarse una atención especial a la corrosión en los conductores situados en los tejados y a los conductores de bajada expuestos a fugas de gases agresivos, por ejemplo, mediante aceros de alta aleación (>16,5% Cr, >2% Mo, 0,2% Ti, 0,12% a 0,22% N);
- el acero inoxidable u otras aleaciones de níquel pueden emplearse para los mismos requisitos de resistencia a la corrosión. Sin embargo en condiciones anaeróbicas, como la arcilla, se corroerán casi tan rápido como el acero dulce;
- las uniones al aire entre el acero y el cobre o aleaciones de cobre, si no están soldadas, deberían estar cubiertas con una capa de estaño o completamente cubiertas con una envoltura duradera y resistente a la humedad;
- el cobre y sus aleaciones están sometidas a las acciones de la corrosión en ambientes de humos amoniacales, por lo que estos materiales no deberían emplearse para fijaciones en estos ambientes;
- en ambiente marítimo/zonas costeras, todas las conexiones de los conductores deberían soldarse o sellarse completamente.

Los sistemas de puesta a tierra de cobre o de acero inoxidable pueden conectarse directamente a la armadura de acero del hormigón.

Los electrodos de acero galvanizado en el terreno deberían conectarse a la armadura de acero del hormigón mediante un explosor capaz de conducir una parte sustancial de la corriente del rayo (véanse las tablas 8 y 9 para las dimensiones de los conductores de conexión). Una conexión directa en el terreno aumentaría de manera importante el riesgo de corrosión. Los descargadores deberían emplearse de acuerdo con el apartado 6.2.

NOTA Los descargadores tipo explosores con un nivel de protección U_p de 2,5 kV y una corriente mínima I_{imp} de 50 kA (10/350 μ s) es conveniente que cumpla con la Norma EN 50164-3.

El acero galvanizado debería emplearse como electrodos de puesta a tierra solamente si los elementos de acero incorporados al hormigón, no están conectados directamente al terreno.

Si las tuberías metálicas están colocadas en el terreno y conectadas al sistema equipotencial y al sistema de captación, los materiales de las tuberías, si no están aislados, y los del sistema de puesta a tierra deberían ser idénticos. Las tuberías con una capa protectora de pintura o de asfalto se consideran como si no fuesen aisladas. Cuando no es posible utilizar el mismo material, las tuberías deberían aislarse de las secciones de la planta conectadas al sistema equipotencial por medio de secciones aislantes. Estas secciones aislantes deberían puentearse por medio de explosores. El puenteo mediante estos explosores también debería llevarse a cabo cuando las piezas aislantes se instalan aisladas para la protección catódica de las tuberías.

Los conductores con fundas de plomo no deberían instalarse directamente en hormigón. Estos conductores deberían protegerse contra la corrosión bien por medio de una cubierta anti-corrosión o bien mediante una funda adherente. Los conductores pueden protegerse con cubiertas de PVC.

Los conductores de acero de los sistemas de puesta a tierra, que salen del hormigón o del terreno, deberían protegerse contra la corrosión, en el punto de contacto con el aire, bien mediante una envoltura anti-corrosión o bien mediante una funda adherente de longitud mínima de 0,3 m. Para los conductores de cobre o de acero inoxidable esto no es necesario.

Los materiales empleados en las conexiones entre los conductores en el terreno deberían tener el mismo comportamiento ante la corrosión que los conductores del sistema de puesta a tierra. Las conexiones mediante grapas no están permitidas normalmente excepto en aquellos casos en los que estas conexiones se prevén con una protección efectiva después de hacer la unión. Se ha adquirido buena experiencia con las uniones engarzadas.

Las conexiones soldadas deben protegerse contra la corrosión.

La experiencia indica que:

- el aluminio nunca debería emplearse como electrodo de puesta a tierra;
- los conductores de acero con funda de plomo no son apropiados como electrodos de tierra;
- los conductores de cobre con funda de plomo no deberían emplearse en hormigón ni en terrenos con alto contenido en calcio.

E.5.6.2.2.2 Metales en hormigón

El embebido del acero o del acero galvanizado en el hormigón produce una estabilización natural del potencial del metal, debido al ambiente alcalino uniforme. Además, si el hormigón es uniforme tiene una resistividad relativamente alta – del orden de 200 Ω m o superior.

De esta manera, las barras de la armadura del hormigón son bastante más resistentes a la corrosión que cuando están expuestas al aire, incluso si están conectadas externamente a materiales más catódicos.

El empleo de las armaduras como conductores de bajada no implica ningún problema significativo de corrosión siempre que los puntos de acceso a los sistemas de captación estén bien encapsulados, por ejemplo, mediante resinas epoxy con espesor adecuado.

Las bandas de acero galvanizado empleadas como electrodos de cimentación pueden instalarse en el hormigón y conectarse directamente a las barras de la armadura. El cobre y el acero inoxidable también son aceptables en hormigón y pueden conectarse directamente a la armadura.

Debido al potencial natural del acero en el hormigón, deberían instalarse electrodos adicionales de cobre o de acero inoxidable exteriores al hormigón.

En el caso de hormigones reforzados con fibras de acero, si no es posible asegurar la fusión circular de un espesor de, al menos, 50 mm de hormigón respecto a los electrodos de tierra, el empleo del acero como electrodo de tierra no se permite, ya que durante la construcción del edificio, el electrodo de acero puede ser prensado hacia abajo, por ejemplo, por las máquinas que se emplean, y tocar el suelo. En este caso, el acero está expuesto a riesgos serios de corrosión. El cobre y el acero inoxidable son materiales apropiados para electrodos de tierra en este tipo de hormigón.

E.6 Sistema de protección interno contra el rayo

E.6.1 Generalidades

Los requisitos para el diseño del SPCR interno están indicados en el capítulo 6.

El SPCR externo y su relación con las partes conductoras situadas en el interior de la estructura determinarán, por lo general, la necesidad de un sistema interno de protección contra el rayo.

Son esenciales las consultas con todas las autoridades y partes implicadas con las conexiones equipotenciales.

El proyectista y el instalador del SPCR deberían prestar atención a que las medidas indicadas en el capítulo E.6 son muy importantes para conseguir una adecuada protección contra el rayo, así como que el comprador debería estar informado.

La protección interna contra el rayo es la misma para todos los niveles de protección excepto en lo referente a las distancias de separación.

Las medidas necesarias para la protección interna contra el rayo exceden en muchos casos las medidas de equipotencialización para los sistemas eléctricos de potencia en sistemas de c.a., debidos a la alta tasa de la corriente y de la pendiente de la corriente que se presentan cuando impacta un rayo.

| NOTA Si se considera la protección contra el impulso electromagnético del rayo (IEMR), debería considerarse la Norma EN 62305-4.

E.6.2 Conexiones equipotenciales

E.6.2.1 Generalidades

En el caso de un SPCR externo aislado, las conexiones equipotenciales se hacen solamente a nivel del suelo.

En el caso de estructuras industriales, las partes conductoras estrictamente continuas de la estructura y las del tejado pueden emplearse como componentes naturales de un SPCR y como conexiones equipotenciales.

No solamente deberían conectarse a las conexiones equipotenciales las partes conductoras de la estructura y los equipos instalados en ella, sino también los sistemas de potencia y los equipos de telecomunicación. Debería tenerse especial cuidado con el control de las tensiones de paso en el interior de las estructuras debidas a los electrodos de puesta a tierra. Las medidas apropiadas incluyen la conexión local de la armadura del hormigón a los electrodos de puesta a tierra o la existencia de una malla equipotencial en la base.

Para edificios con más de 30 m de altura, se recomienda repetir las conexiones equipotenciales a un nivel de 20 m y cada 20 m hacia arriba. Generalmente, se cumplirán los requisitos de seguridad.

Esto significa que, al menos, a esos niveles deberían conectarse equipotencialmente los conductores de bajada externos, los internos y los elementos metálicos. Los conductores activos deberían conectarse vía SPD.

E.6.2.1.1 Conductores equipotenciales

Los conductores equipotenciales deberían ser capaces de soportar la corriente del rayo que pasa por ellos.

Por lo general, los conductores equipotenciales que conectan los elementos metálicos de las estructuras, no portan una parte significativa de la corriente del rayo. Sus dimensiones mínimas se indican en la tabla 9.

Los conductores equipotenciales que conectan los elementos conductores externos del SPCR portan normalmente una parte sustancial de la corriente del rayo. Sus dimensiones mínimas se indican en la tabla 8.

E.6.2.1.2 Dispositivos de protección contra sobretensiones

Los DPS deberían soportar, sin dañarse, la posible corriente del rayo que pase a través de ellos. Un DPS también debería tener la capacidad de extinguir la corriente subsiguiente del sistema de potencia si está conectado a los conductores de este sistema.

La selección de los DPS debe hacerse de acuerdo con el apartado 6.2. Cuando se requiera protección contra el impulso electromagnético del rayo (IEMR), los DPS deberían, también, estar de acuerdo con la Norma EN 62305-4.

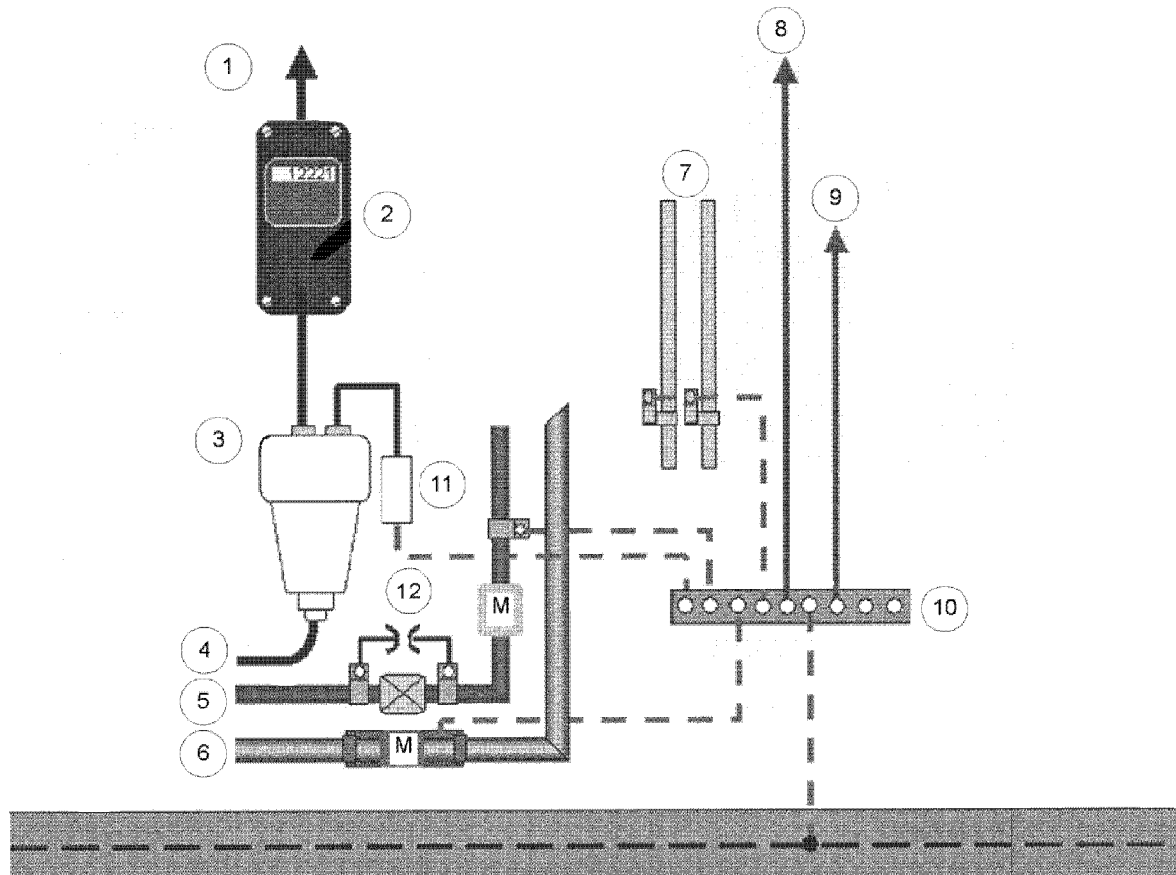
E.6.2.2 Conexiones equipotenciales de los elementos conductores internos

Las conexiones equipotenciales deberían preverse e instalarse de tal manera que los elementos conductores internos, los externos, los sistemas eléctricos de potencia y los de telecomunicación (por ejemplo ordenadores y sistemas de seguridad) puedan conectarse equipotencialmente mediante conexiones cortas. Las partes conductoras externas e internas sin función eléctrica deberían conectarse directamente. Todas las conexiones eléctricas (potencia y señal) deberían conectarse mediante DPS.

Las instalaciones metálicas, es decir, tuberías de agua, gas, calefacción, de aire, guías de ascensores, soportes de grúas, etc. se deben interconectar y unir al SPCR a nivel del terreno.

En las partes metálicas que no pertenecen a la estructura pueden aparecer chispas si estas partes están próximas a los conductores de bajada del SPCR. Cuando esto se considere peligroso, deberían emplearse, de acuerdo con el apartado 6.2, medidas apropiadas de equipotencialidad.

En la figura E.43 se muestra la disposición de una conexión equipotencial.



Leyenda

- 1 Potencia eléctrica para el usuario
- 2 Contador de energía eléctrica
- 3 Caja de conexión
- 4 Potencia eléctrica de la red
- 5 Gas
- 6 Agua
- 7 Calefacción central
- 8 Aparatos electrónicos
- 9 Pantalla del cable de la antena
- 10 Barra equipotencial
- 11 DPS
- 12 ISG
- M Medidor

Figura E.43 – Ejemplo de una conexión equipotencial

Las barras equipotenciales deberían colocarse de tal manera que se puedan conectar al sistema de puesta a tierra o a los anillos conductores horizontales con conductores cortos.

Es preferible instalar la barra equipotencial en la parte interior de una pared exterior, cerca del terreno y de la caja de distribución en baja tensión, y rígidamente conectada al sistema de puesta a tierra formado por el anillo de puesta a tierra, el electrodo de cimentación y el electrodo natural, tal como la armadura de acero interconectadas.

En edificios de gran extensión, pueden emplearse numerosas barras equipotenciales siempre que estén interconectadas. Las interconexiones de gran longitud pueden formar grandes bucles en los que se inducen grandes tensiones y corrientes. Para minimizar estos efectos, debería considerarse una interconexión mallada de todas las conexiones, la estructura y el sistema de puesta a tierra, de acuerdo con la Norma EN 62305-4.

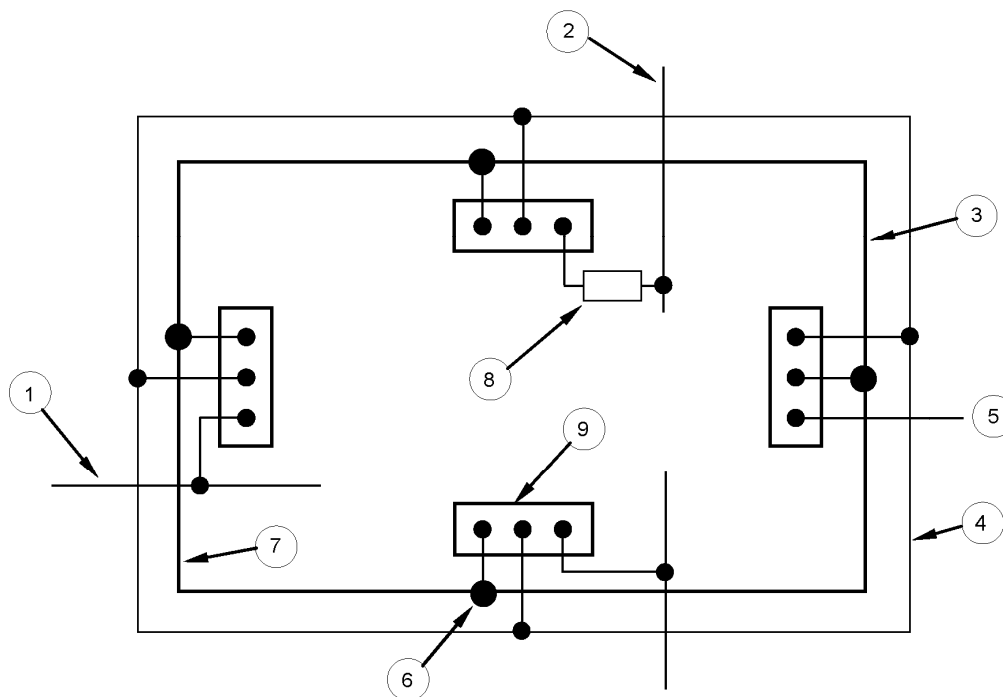
En estructuras de hormigón armado, de acuerdo con el apartado 4.3, las armaduras pueden emplearse como conexiones equipotenciales. En estos casos, debería instalarse en las paredes una red de terminales de conexión, bien soldados o bien atornillados, tal como se describe en el apartado E.4.3, a los que deberían conectarse las barras equipotenciales.

NOTA En este caso no es necesario mantener una distancia de seguridad.

Las secciones mínimas para los conductores o los conectores equipotenciales están indicadas en las tablas 8 y 9. Todos los elementos internos conductores con tamaño importante tales como, raíles de ascensores, grúas, suelos metálicos, tuberías y servicios eléctricos, deberían conectarse equipotencialmente, a nivel del suelo y a otros niveles, a la barra equipotencial más próxima, mediante conductores de pequeña longitud si la distancia de separación, según 6.3, no se puede mantener. Las barras equipotenciales y otros elementos equipotenciales deberían ser capaces de soportar las correspondientes corrientes del rayo.

En estructuras con paredes reforzadas se espera que solamente una pequeña fracción de la corriente total del rayo circule por los elementos equipotenciales.

Las figuras E.44, E.45 y E.46 ilustran sobre disposiciones equipotenciales en estructuras con múltiples puntos de entrada de servicios externos.

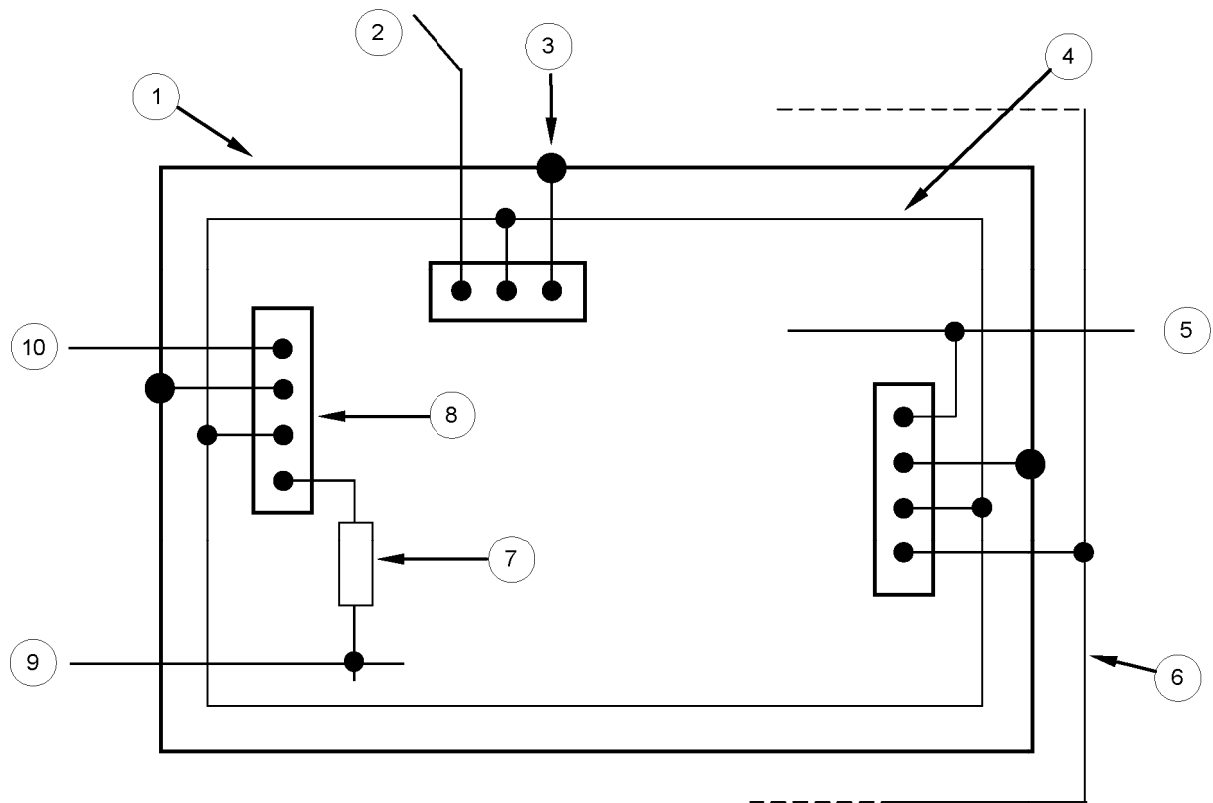


Leyenda

- 1 Elemento conductor externo, por ejemplo tubería metálica de agua
- 2 Línea eléctrica o de comunicación
- 3 Armadura de acero de la pared de hormigón exterior y de la cimentación
- 4 Electrodo en anillo de puesta a tierra
- 5 Hacia un electrodo de puesta a tierra adicional
- 6 Conexión equipotencial especial
- 7 Armadura de acero de la pared de hormigón, véase el punto 3 de la leyenda
- 8 DPS
- 9 Barra equipotencial

NOTA La armadura de acero de la cimentación se emplea como electrodo natural de puesta a tierra.

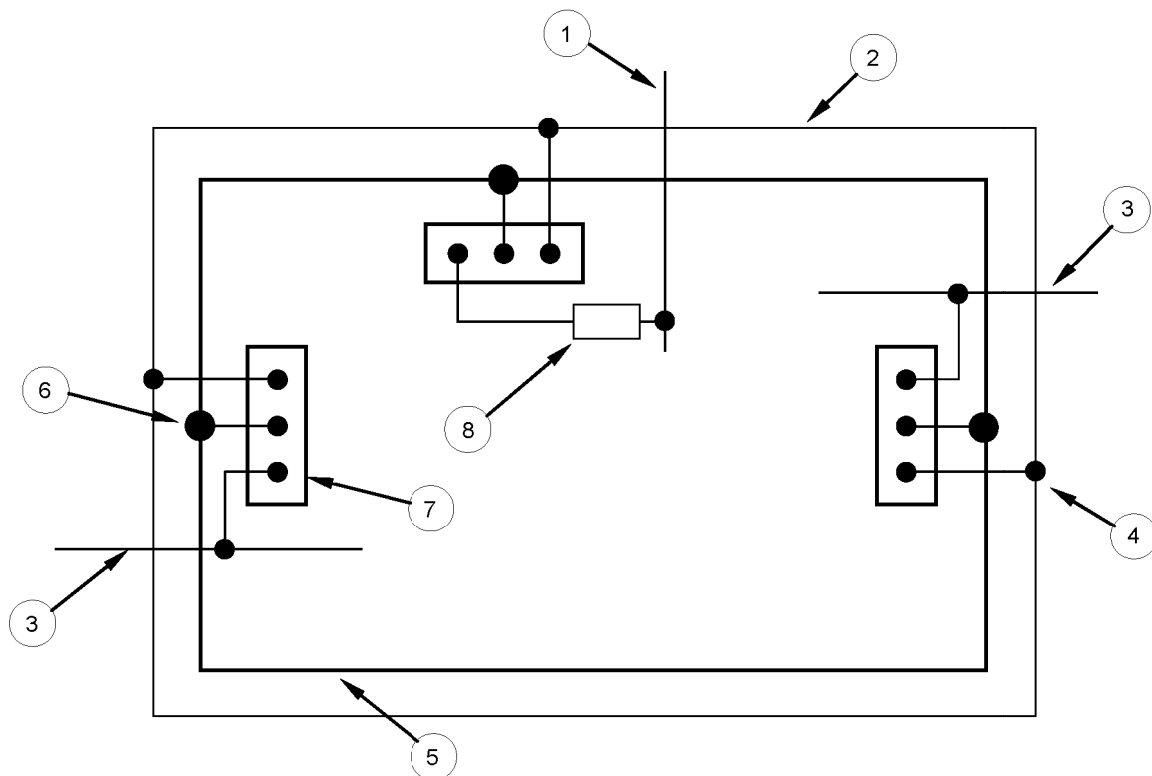
Figura E.44 – Ejemplo de una disposición equipotencial en una estructura con múltiples puntos de entrada de elementos conductores externos, mediante el empleo de un electrodo en anillo que interconecta las barras equipotenciales



Leyenda

- 1 Armadura de acero de la pared de hormigón exterior y de la cimentación
- 2 Otro electrodo de puesta a tierra
- 3 Conexión equipotencial
- 4 Anillo conductor interno
- 5 Hacia un elemento conductor externo, por ejemplo tubería de agua
- 6 Electrodo de puesta tierra en anillo, disposición tipo B
- 7 DPS
- 8 Barra equipotencial
- 9 Línea de potencia eléctrica o de comunicación
- 10 Hacia un electrodo adicional de puesta a tierra, disposición tipo A

Figura E.45 – Ejemplo de conexión equipotencial en el caso de múltiples puntos de entrada de elementos conductores externos y una línea de potencia eléctrica o de comunicación, mediante el empleo de un anillo interno de interconexión de las barras equipotenciales



Leyenda

- 1 Línea de potencia eléctrica o de comunicación
- 2 Conductor horizontal externo y en anillo (por encima de tierra)
- 3 Elemento conductor externo
- 4 Conexión de conductor de bajada
- 5 Armadura de acero en la pared
- 6 Conexión equipotencial con el acero de la construcción
- 7 Barra equipotencial
- 8 DPS

Figura E.46 – Ejemplo de una disposición equipotencial en una estructura con múltiples puntos de entrada de elementos conductores externos que entran por encima del nivel del suelo

E.6.2.3 Conexión equipotencial del rayo para elementos conductores externos

No se dispone de información adicional.

E.6.2.4 Conexión equipotencial del rayo para sistemas eléctricos y electrónicos en el interior de la estructura a proteger

Los detalles sobre las conexiones equipotenciales del rayo para los sistemas internos están indicados en la Norma EN 62305-4.

E.6.2.5 Conexión equipotencial de los servicios externos

Si es posible, los elementos conductores externos y las líneas eléctricas de potencia y de comunicación deberían entrar cerca del nivel de tierra y por un punto común.

Las conexiones equipotenciales deberían realizarse tan cerca como sea posible del punto de entrada en el edificio. En el caso de la alimentación eléctrica en baja tensión, se realiza inmediatamente aguas abajo de la caja de registro de entrada (sujeto a la aprobación por la compañía eléctrica local).

La barra equipotencial en este punto de entrada común debería conectarse al sistema de puesta a tierra con conductores cortos.

Si los servicios que entran en el edificio son líneas apantalladas, las pantallas deben conectarse a la barra equipotencial. Las sobretensiones que alcanzan los conductores activos dependen del valor de la corriente parcial del rayo que circula por las pantallas (es decir, de acuerdo con el anexo B) y de la sección de la pantalla. El anexo E de la Norma EN 62305-1:2010 proporciona un método para estimar esta corriente. Los DPS son necesarios si se esperan sobretensiones que sobrepasen las especificaciones de la línea y de los objetos conectados.

Si los servicios que entran en el edificio no están apantallados, la corriente parcial del rayo circulará por los conductores activos. En este caso deberían colocarse en el punto de entrada DPS con capacidad suficiente. Los cables PE y PEN pueden conectarse directamente a la barra equipotencial.

Cuando los elementos conductores externos, las líneas de potencia eléctrica y de comunicación, tienen que entrar en la estructura por diferentes puntos, necesitándose instalar, por tanto, diferentes barras equipotenciales, estas barras deberían conectarse, si es posible, lo más cerca posible al sistema de puesta a tierra, es decir, al electrodo en anillo, a la armadura de la estructura y al electrodo de la cimentación de la estructura.

Cuando como parte de un SPCR se emplea un sistema de puesta a tierra tipo A, las barras equipotenciales deberían conectarse a los electrodos individuales y, además, deberían interconectarse mediante un conductor interno en forma de anillo o de anillo parcial.

Para los servicios externos que entran por encima de la superficie del terreno, las barras equipotenciales deberían conectarse a un anillo conductor horizontal, bien interior o exterior a la pared exterior, anillo que, cuando sea aplicable, conecta equipotencialmente los conductores de bajada del SPCR y la armadura de acero del hormigón.

El anillo conductor debería conectarse a la armadura de acero y a otros elementos metálicos de la estructura a separaciones regulares de la distancia entre los conductores de bajada indicada en la tabla 4, valores típicos entre 5 m y 10 m.

En los edificios diseñados principalmente para centro de ordenadores, de comunicaciones, así como en otras estructuras en las que se requieran un nivel bajo de tensiones inducidas por efecto del IEMR, el anillo conductor debería conectarse a la armadura, de manera general, cada 5 m.

Para la conexión equipotencial de los servicios externos en los edificios de hormigón armado que contengan grandes instalaciones de comunicaciones o de ordenadores, y en las estructuras en las que las exigencias de CEM son altas, debería emplearse un plano de tierra con múltiples conexiones a la armadura metálica u otros elementos metálicos.

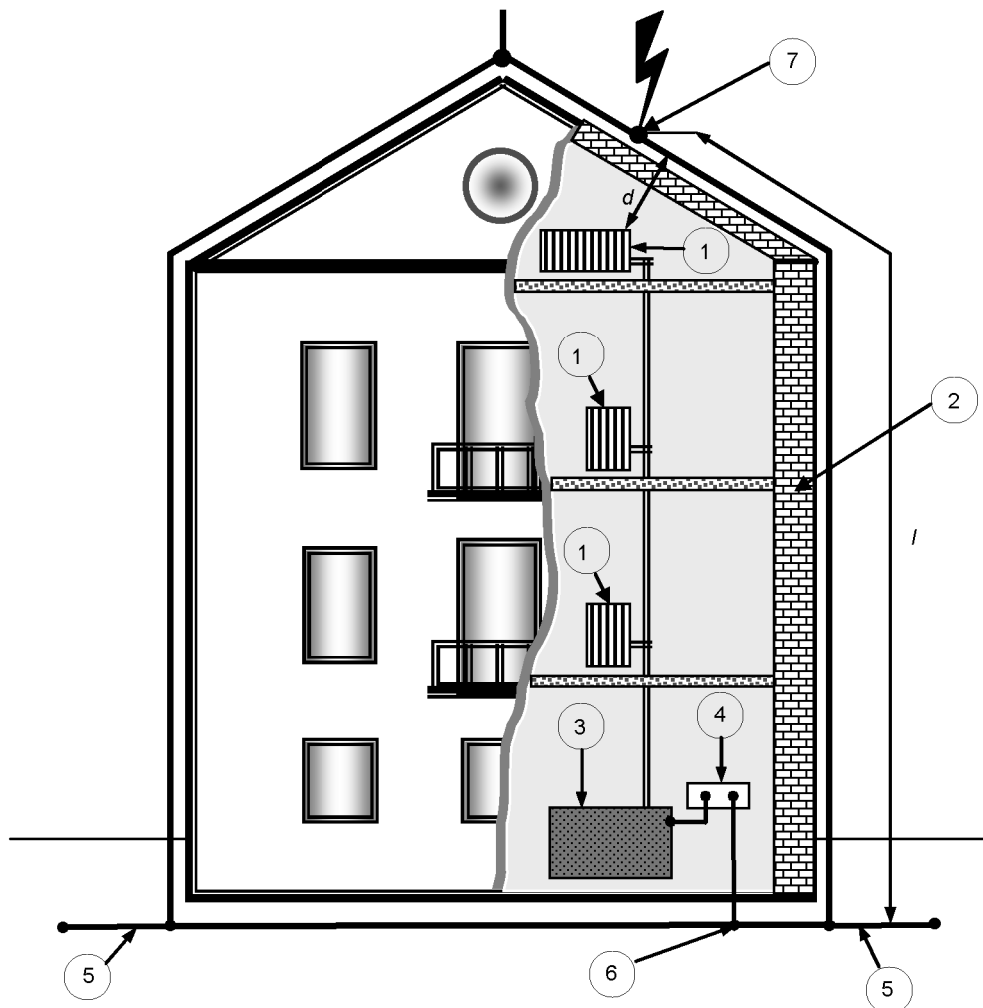
E.6.3 Aislamiento eléctrico de un SPCR externo

Debería mantenerse, de acuerdo con el apartado 6.3, una separación adecuada entre el SPCR externo y todos los elementos conductores conectados equipotencialmente en la estructura.

La distancia de separación puede evaluarse mediante la ecuación (4) del apartado 6.3.

La longitud l , para el cálculo de la distancia de separación s (véase 6.3), debería ser la distancia entre el punto de la conexión equipotencial a la red de puesta a tierra más próximo y el punto más cercano del conductor de bajada. El trazado, tanto en el tejado como el de los conductores de bajada, debería ser lo más recto posible, con el fin de conseguir la distancia de separación más baja.

La longitud y el paso del conductor por el edificio, desde la barra de equipotencialización al punto más cercano, normalmente tiene poca influencia en la distancia de separación, pero cuando este conductor está cerca de un conductor por el que pasa la corriente del rayo, la distancia de separación será más baja. La figura E.47 ilustra sobre cómo se mide la longitud crítica l que se emplea para valorar la distancia de separación s , según el apartado 6.3.



Leyenda

- 1 Radiador/calentador metálico
- 2 Pared de ladrillo o de madera
- 3 Calentador
- 4 Barra equipotencial
- 5 Sistema de puesta a tierra
- 6 Conexión del conductor de bajada al sistema de puesta a tierra
- 7 Caso peor
- d Distancia real
- l Longitud para valorar la distancia de separación s

NOTA La estructura consiste en ladrillos aislantes.

Figura E.47 – Direcciones para los cálculos de la distancia s desde el punto de referencia, según el apartado 6.3, en el peor caso en el que el punto de interceptación está una distancia l

En las estructuras en las que se emplean los componentes del edificio como conductores de bajada naturales, por ejemplo la armadura de acero del hormigón, el punto de referencia debería ser el punto de conexión con el conductor de bajada natural.

En las estructuras con superficies exteriores sin elementos conductores externos, tales como paredes de ladrillo o de madera, para el cálculo de la distancia s , según el apartado 6.3, debería emplearse la distancia más corta posible l , a lo largo de los conductores de protección, desde el punto de impacto más desfavorable hasta el punto de puesta a tierra más próximo, o al punto en el que sistema equipotencial de la instalación interna se conecta al conductor de bajada o al sistema de puesta a tierra.

Cuando no es posible mantener, en toda la longitud de la instalación que se considere, la distancia superior a la distancia de separación s , desde el punto de referencia, la conexión de equipotencialización del SPCR, debería realizarse en más puntos (véase la figura E.47). Por lo tanto, los conductores eléctricos deberían colocarse o bien de acuerdo con la distancia de separación s , (véase 6.3) o bien en el interior de una pantalla metálica conectada al SPCR en diferentes puntos.

Cuando en edificios de altura inferior a los 30 m la conexión equipotencial se hace en el punto de referencia y en otros puntos, la distancia de separación se cumple a lo largo de toda la instalación.

Los puntos que se indican a continuación son con frecuencia críticos y requieren una especial consideración:

- En el caso de grandes estructuras, la distancia de separación entre los conductores del SPCR y las instalaciones metálicas, a veces es tan grande que no puede implementarse. Esto da lugar a conexiones equipotenciales adicionales entre el SPCR y las conducciones metálicas. En consecuencia, una parte de la corriente del rayo circula, hasta la instalación de puesta a tierra de la estructura, por estas instalaciones metálicas.
- Cuando se planifique la estructura de las instalaciones y el diseño de las zonas de protección electromagnéticas en el interior de la estructura, de acuerdo con la Norma EN 62305-4, debería tenerse en cuenta las interferencias electromagnéticas que se producen por estas corrientes parciales.

Sin embargo, la interferencia será muy inferior a la producida en este punto por una chipa.

En los tejados, la distancia entre el SPCR y la instalación eléctrica es, normalmente, inferior a la distancia de separación s del apartado 6.3. En este caso debería intentarse colocar el conductor del SPCR en un lugar diferente.

Cuando no se cumple con la distancia de separación de los conductores en la estructura, debería alcanzarse un acuerdo con la persona responsable de la instalación eléctrica para poder realizar un nuevo trazado.

Cuando no es posible un nuevo trazado deberían llevarse a cabo, de acuerdo con el apartado 6.3, conexiones equipotenciales al sistema externo del SPCR.

En algunos edificios no es posible mantener la distancia de separación requerida. Las instalaciones internas pueden llevar al proyectista o al instalador a valorar situaciones y a hacer conexiones a ciertas partes metálicas y conductores eléctricos. Esto debería comunicarse al dueño del edificio.

E.6.3.2 Solución simplificada

Es posible la solución aproximada del apartado 6.3.2, si la mayor elongación horizontal de la estructura (largo o ancho) no supera en cuatro veces a la altura.

E.6.4 Protección contra los efectos de las corrientes inducidas en los sistemas internos

Las corrientes en los conductores de un SPCR externo pueden inducir, por acoplamiento magnético, grandes sobretensiones en los bucles conductores de las instalaciones internas, que a su vez pueden producir fallos en los sistemas internos.

Ya que prácticamente todos los edificios contienen equipos electrónicos, debería tenerse en cuenta en la planificación del sistema de protección, el efecto del campo electromagnético de los conductores de bajada, tanto externos como internos.

Las medidas de protección contra las sobretensiones están indicadas en la Norma EN 62305-4.

E.7 Mantenimiento e inspección de un SPCR

E.7.1 Objeto de las inspecciones

La inspección de un SPCR debería llevarse a cabo por un especialista en protección contra el rayo, de acuerdo con las recomendaciones del capítulo E.7.

El inspector debería disponer del proyecto del SPCR en el que figure toda la documentación necesaria del SPCR tal como, criterios de diseño, descripción del diseño y planos. El inspector también debería disponer de los informes de los mantenimientos e inspecciones anteriores.

Todos los SPCR deberían inspeccionarse en las siguientes ocasiones:

- durante el montaje del SPCR, especialmente durante la instalación de los componentes que quedan ocultos en la estructura y que después serán inaccesibles;
- después de finalizar la instalación del SPCR;
- a intervalos regulares de acuerdo con la tabla E.2.

Tabla E.2 – Períodos máximos entre inspecciones de un SPCR

Nivel de protección	Inspección visual anual	Inspección completa anual	Inspección completa de los sistemas críticos ^{a b} anual
I y II	1	2	1
III y IV	2	4	1

^a Los SPCR empleados en estructuras con riesgo de explosión deberían inspeccionarse visualmente cada 6 meses. Los ensayos eléctricos de la instalación deberían realizarse una vez al año. Una excepción aceptable al ensayo programado anual, sería realizar los ensayos con un ciclo de 14 a 15 meses, si se considera ventajoso ensayar la resistencia de puesta a tierra en distintas épocas del año para tener una indicación de su variación con las estaciones del año.

^b Las situaciones críticas podrían incluir estructuras con sistemas internos sensibles, bloques de oficinas, edificios comerciales o lugares en los que hay un gran número de personas

Las frecuencias de las inspecciones indicadas en la tabla E.2 deberían aplicarse cuando las autoridades competentes no fijan requisitos específicos.

NOTA Si las autoridades o instituciones nacionales requieren de una estructura ensayos regulares del sistema eléctrico, se recomienda ensayar a la vez el sistema de protección contra el rayo en relación con el funcionamiento de las medidas de protección internas contra el rayo incluyendo la conexión equipotencial con el sistema eléctrico. Las instalaciones más antiguas deberían relacionarse con una de las clases de protección contra el rayo y los intervalos entre ensayos deberían tomarse de las especificaciones locales o de otras, tales como guías de construcción de líneas, regulaciones técnicas, instrucciones, leyes sobre seguridad y protección laboral.

El SPCR debería inspeccionarse visualmente cada año. En algunas zonas en las que se producen cambios fuertes en las condiciones climáticas y en las que estas condiciones son extremas, se recomienda inspeccionar visualmente el SPCR con mayor frecuencia que la indicada en la tabla E.2. Si el SPCR forma parte del plan de mantenimiento del cliente, o es un requisito del asegurador del edificio, puede requerirse que el SPCR sea ensayado totalmente cada año.

Los intervalos entre las inspecciones del SPCR deberían determinarse por los factores siguientes:

- clasificación de la estructura protegida, especialmente en relación con los efectos de los daños;
- clase del SPCR;

- ambiente local, por ejemplo un ambiente de una atmósfera corrosiva debería tener intervalos más cortos entre inspecciones;
- los materiales de los componentes individuales del SPCR;
- el tipo de superficie a la que está fijado el SPCR;
- la condición del terreno y su tasa de corrosión asociada.

Además de lo anterior, un SPCR debería inspeccionarse cada vez que se realice una alteración o una reparación importante en la estructura, y cuando se sepa que se ha producido la descarga de un rayo en el SPCR.

Cada dos años deberían llevarse a cabo una inspección total y el total de los ensayos. Deberían tener una inspección anual los sistemas en condiciones ambientales críticas, por ejemplo elementos del SPCR expuestos a grandes esfuerzos mecánicos como las conexiones equipotenciales flexibles en zonas de fuertes vientos, los DPS en las tuberías, los cables equipotenciales exteriores, etc.

En la mayor parte de las zonas geográficas, pero en especial en aquéllas con cambios estacionales extremos en temperatura y en lluvias, debería tenerse en cuenta la variación de la resistencia de puesta a tierra mediante el perfil de la variación de la resistividad con la profundidad en diferentes condiciones climáticas.

Debería considerarse una mejora en el sistema de puesta a tierra cuando los valores medidos de la resistencia muestran grandes variaciones en relación con el valor considerado en el proyecto; especialmente cuando la resistencia aumenta de manera constante entre inspecciones.

E.7.2 Orden de las inspecciones

E.7.2.1 Procedimiento de la inspección

El objeto de la inspección es asegurar que el SPCR está conforme con esta norma en todos los aspectos.

La inspección incluye verificar la documentación técnica, las inspecciones visuales y el informe de la inspección con los ensayos.

E.7.2.2 Verificación de la documentación técnica

La documentación técnica debería comprobarse en su totalidad para comprobar su conformidad con esta norma y con la ejecución de la obra.

E.7.2.3 Inspecciones visuales

Las inspecciones visuales deberían hacerse para asegurar que:

- el proyecto está de acuerdo con esta norma;
- el SPCR está en buenas condiciones;
- no hay pérdida de conexión ni roturas accidentales en los conductores del SPCR y en sus conexiones;
- ninguna parte del sistema se ha debilitado por corrosión, en especial a nivel del terreno;
- todas las conexiones visibles de tierra están intactas (función operacional);
- todos los conductores visibles y los componentes del sistema están fijados a las superficies y que los componentes que proporcionan protección mecánica están intactos (función operacional) y en su sitio;

- no ha habido adiciones o alteraciones en la estructura a proteger que requerirían protección adicional;
- no hay indicación de daño en el SPCR, en los DPS o fallo en los fusibles que protegen a los DPS;
- se han establecido conexiones equipotenciales correctas para cualesquiera servicios nuevos o adicionales que se hayan realizado en el interior de la estructura desde la última inspección, y que se han realizado los ensayos de continuidad en estas nuevas adiciones;
- los conductores equipotenciales y las conexiones dentro de la estructura están en su sitio e intactas (función operacional);
- se mantienen las distancias de separación;
- se han comprobado y ensayado los conductores equipotenciales, las conexiones, los elementos apantallados, el trazado de los cables y los SPD.

E.7.2.4 Ensayos

La inspección y el ensayo del SPCR incluye las inspecciones visuales y debería completarse con las acciones siguientes:

- ensayos de continuidad, especialmente en aquellas partes del SPCR que no están visibles durante la instalación inicial y, por tanto, no están visibles para la inspección;
- ensayos de la resistencia de los sistemas de puesta a tierra. Deberían hacerse las siguientes medidas de puestas a tierra, tanto aisladas como combinadas, y los resultados recogerse en el informe de inspección del SPCR.

NOTA 1 Las medidas a alta frecuencia o a impulsos son posibles y útiles para determinar el comportamiento del sistema de puesta a tierra tanto altas frecuencias como a los impulsos. Estas medidas pueden realizarse en la etapa de montaje así como periódicamente durante el mantenimiento, y para comprobar la coherencia entre el sistema de puesta a tierra diseñado y el que obtenido.

- a) La resistencia de puesta a tierra de cada electrodo local y, donde sea posible, la resistencia del sistema de puesta a tierra completo.

La tierra de cada electrodo local debería medirse desconectando el electrodo del conductor de bajada (medida aislada).

NOTA 2 En las redes de puesta a tierra que incorporan tanto picas verticales como electrodos en anillo totales o parciales, la desconexión y el ensayo debería realizarse en la arqueta prevista para la inspección. Si esta inspección es difícil de llevar a cabo el ensayo de rutina debería completarse con los ensayos de altas frecuencias o de impulsos.

Si la resistencia del sistema de puesta a tierra total excede de 10Ω , debería hacerse una comprobación para asegurar que el electrodo está de acuerdo con la figura 3.

Si hay un aumento o disminución significativa del valor de la resistencia de puesta a tierra, deberían llevarse a cabo investigaciones adicionales para determinar la razón del cambio.

Para los electrodos en suelo rocoso, deberían seguirse los requisitos del apartado E.5.4.3.5. En este caso no se aplica el requisito de los 10Ω .

- b) Los resultados de una comprobación visual de todos los conductores, equipotencialidades y conexiones, o la medida de su continuidad eléctrica.

Si el sistema de puesta a tierra no está de acuerdo con estos requisitos, o la comprobación de estos requisitos no es posible por falta de información, el sistema de puesta a tierra debería mejorarse bien instalando electrodos adicionales o bien instalando un nuevo sistema de puesta a tierra.

Los DPS sin indicador visual necesitan ensayarse empleando, preferentemente las guías o el equipo suministrado por el fabricante.

E.7.2.5 Documentación de la inspección

Para facilitar las inspecciones deberían prepararse guías de inspección de los SPCR. Estas guías que deberían contener información suficiente para guiar al inspector a lo largo del proceso de inspección, de manera que todas las zonas de importancia estén documentadas, tales como el método de instalación del SPCR, el tipo y condiciones de los componentes del SPCR, los métodos de ensayo y la recogida de los datos de ensayo.

El inspector debería hacer un informe de la inspección del SPCR que debería quedar junto con el informe del diseño del SPCR y con los informes de las inspecciones y mantenimientos anteriores.

El informe de la inspección del SPCR debería contener la información siguiente:

- estado general de los conductores y de otros componentes del sistema de captación;
- nivel de corrosión general y estado de las protecciones contra la corrosión;
- seguridad de las fijaciones de los conductores y de los componentes del SPCR;
- medidas de la resistencia del sistema de puesta a tierra;
- cualquier desviación de los requisitos de esta norma;
- documentación de todos los cambios y ampliaciones del SPCR y de cualquier cambio en la estructura. Además, deberían revisarse los planos de construcción y de diseño del SPCR;
- los resultados de los ensayos realizados.

E.7.3 Mantenimiento

El SPCR debería mantenerse de manera regular para asegurar que no se encuentra deteriorado y que continua cumpliendo con los requisitos para el que fue proyectado. El proyecto de un SPCR debería indicar los ciclos de mantenimiento e inspección de acuerdo con la tabla E.2.

El programa de mantenimiento del SPCR debería asegurar una actualización continuada del SPCR a las ediciones de esta norma.

E.7.3.1 Notas generales

Los componentes del SPCR tienden a perder su efectividad con los años por la corrosión, por los daños debidos al clima, por los esfuerzos mecánicos y por los impactos del rayo.

Los programas de inspección y de mantenimiento deberían estar especificados por una autoridad, el proyectista o el instalador del SPCR, junto con el dueño de la estructura o un representante autorizado.

Para llevar a cabo los trabajos de mantenimiento y de inspección de un SPCR, deberían coordinarse los dos programas.

El mantenimiento de un SPCR es importante incluso cuando el proyectista del SPCR ha tomado medidas especiales de protección contra la corrosión y ha dimensionado los componentes del SPCR por encima de los requisitos de esta norma, en función de su exposición a los rayos y a los elementos climáticos.

Las características mecánicas y eléctricas del SPCR deberían mantenerse completamente a lo largo de la vida del SPCR, si están de acuerdo con los requisitos de diseño de esta norma.

Puede ser necesario modificar el SPCR si se han producido modificaciones en el edificio o en sus componentes o si se ha cambiado el destino para el que se utilizaba el edificio.

Si una inspección indica que son necesarias reparaciones, éstas deberían hacerse a la mayor brevedad posible y no posponerlas hasta el siguiente ciclo de mantenimiento.

E.7.3.2 Procedimiento del mantenimiento

Deberían establecerse programas de mantenimiento periódicos para todos los SPCR.

La frecuencia de los mantenimientos depende de lo siguiente:

- de la degradación relacionada con el clima y con el medio ambiente;
- de la exposición a los daños del rayo;
- del nivel de protección asignado a la estructura.

Los procedimientos del mantenimiento deberían establecerse para cada SPCR y deberían formar parte del programa del mantenimiento total de la estructura.

Un programa de mantenimiento debería contener una lista de elementos que sirva como lista de comprobación, de tal manera que el seguimiento de procedimiento haga posible comparar los resultados recientes con los anteriores.

Un programa de mantenimiento debería contener previsiones sobre lo siguiente:

- verificación de todos los conductores del SPCR y componentes;
- verificación de la continuidad eléctrica de la instalación del SPCR;
- medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra;
- verificación de los DPS;
- fijación de los componentes y conductores;
- verificación para asegurar que la efectividad del SPCR no ha disminuido después de la adición o cambios en la estructura y en sus instalaciones.

E.7.3.3 Documentación del mantenimiento

Deberían guardarse los informes completos con todos los procedimientos, así como las acciones correctivas tomadas o requeridas.

Los registros del procedimiento del mantenimiento deberían ser un medio para evaluar los componentes de la instalación del SPCR.

Los registros del mantenimiento del SPCR deberían servir de base para revisar los procedimientos y actualizar los programas de mantenimiento. Los registros de mantenimiento del SPCR deberían unidos a los informes sobre el proyecto y a las inspecciones del SPCR.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] NFPA(National Fire Protection Standards), 780:2008, *Standard for the Installation of Lightning Protection Systems*.
- [2] IEC 61400-24, *Wind turbines. Part 24: Lightning protection*.
- | NOTA Armonizada como Norma EN 61400-24.
- [3] IEC 60050-826:2004, *International Electrotechnical Vocabulary. Part 826: Electrical installations*.
- [4] IEC 60050-426:2008, *International Electrotechnical Vocabulary. Part 426: Equipment for explosive atmospheres*.
- [5] IEC/TR 61000-5-2, *Electromagnetic compatibility (EMC). Part 5: Installation and mitigation guidelines. Section 2: Earthing and cabling*.
- [6] IEC 60728-11, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services. Part 11: Safety*.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032