

Diciembre 2011

TÍTULO

Protección contra el rayo: Pararrayos con dispositivo de cebado

Protection against lightning: Surge arresters using early streamer emission air terminals.

Protection contre la foudre: Parafoudres à dispositif d'amorçage.

CORRESPONDENCIA

OBSERVACIONES

Esta norma anulará y sustituirá a las Normas UNE 21186:1996 y UNE 21186:1996/1M:2009 el 2014-12-22.

ANTECEDENTES

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

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 48418:2011

© AENOR 2011
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

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

82 Páginas

Grupo 41

ÍNDICE

	Página
0	INTRODUCCIÓN..... 4
1	GENERALIDADES 4
1.1	Objeto y campo de aplicación..... 4
2	NORMAS PARA CONSULTA..... 4
3	DEFINICIONES..... 5
4	GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO MEDIANTE PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO..... 10
4.1	Necesidad de protección contra el rayo 10
4.2	Composición de un sistema de protección contra el rayo. 10
5	SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO MEDIANTE PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO (S-PDC)..... 12
5.1	Diseño 12
5.2	Pararrayos con dispositivo de cebado..... 12
5.3	Conductores de bajada 16
5.4	Equipotencialidad de las masas metálicas..... 20
5.5	Conexiones equipotenciales para el rayo..... 20
5.6	Distancia de separación..... 23
6	TOMAS DE TIERRA 24
6.1	Generalidades 24
6.2	Diferentes tipos de tomas de tierra 25
6.3	Disposiciones complementarias..... 27
6.4	Equipotencialidad de las tierras..... 27
6.5	Condiciones de proximidad 28
6.6	Materiales y dimensiones..... 28
7	DISPOSICIONES PARTICULARES 28
7.1	Antenas..... 28
7.2	Áreas de almacenamiento de productos inflamables o explosivos 28
7.3	Edificios religiosos 28
8	PARTE DE INSTALACIÓN, VERIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO 29
8.1	Parte de instalación 29
8.2	Orden de las verificaciones 30
8.3	Informe de verificación 30
8.4	Verificación inicial..... 30
8.5	Verificación visual 31
8.6	Verificación completa..... 31
8.7	Mantenimiento..... 32
	ANEXO A (Normativo) ANÁLISIS DEL RIESGO 33
	ANEXO B (Disponible) 64
	ANEXO C (Normativo) REQUISITOS Y ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE UN PDC 65
	ANEXO D (Normativo) PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS CONTRA CHOQUES ELÉCTRICOS PRODUCIDOS POR EL RAYO..... 77
	ANEXO E (Informativo) EJEMPLO DE VALORES DEL COEFICIENTE k_c 79
	ANEXO F (Informativo) BIBLIOGRAFÍA..... 82

0 INTRODUCCIÓN

Hasta la fecha no existe ninguna norma internacional o europea específica de pararrayos con dispositivo de cebado.

Este documento indica las exigencias para realizar, dentro del estado actual de los conocimientos y de la técnica, una protección contra el rayo satisfactoria de las estructuras (edificios, instalaciones fijas, etc.) y de las zonas abiertas (zonas de almacenamiento, zonas de ocio o deportivas, etc.) mediante pararrayos con dispositivo de cebado y da las directrices sobre los medios para realizar esta protección.

Una instalación de protección contra el rayo diseñada y realizada conforme a esta norma no puede, como todo proceso en el que intervienen fenómenos naturales, asegurar la protección absoluta de las estructuras, de las personas o de los objetos; no obstante, la aplicación de esta norma reduce de forma significativa el riesgo de daño debido a impactos de rayos en las estructuras protegidas.

Las disposiciones indicadas en el presente documento constituyen las condiciones mínimas que permiten asegurar una protección estadísticamente eficaz.

Esta nueva edición constituye una reelaboración total de la norma como consecuencia de la publicación de la serie de Normas EN 62305 y más particularmente de la Norma EN 62305-3 en la que se establecen las exigencias para la protección de la estructuras contra el rayo.

En todo caso, ya que la serie de Normas EN 62305 no aborda la tecnología de los pararrayos con dispositivo de cebado, se ha considerado esencial la revisión de la Norma UNE 21186 a fin de actualizar las exigencias del sistema de protección contra el rayo con pararrayos con dispositivo de cebado.

En cumplimiento de la resolución BT D136/013 de CENELEC, el presente documento no hace ninguna referencia a las normativas de la serie de Normas EN62305 pero sí toma de ellas las disposiciones que necesita para el diseño y la instalación del sistema de protección contra el rayo.

1 GENERALIDADES

1.1 Objeto y campo de aplicación

Esta norma es aplicable a los sistemas de protección contra el rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado (S-PDC) instalados para proteger las estructuras y zonas abiertas contra el impacto directo del rayo. Los S-PDC deben ser ensayados, seleccionados e instalados según esta norma.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Los documentos que se citan a continuación son indispensables para la aplicación de esta norma. Únicamente es aplicable la edición de aquellos documentos que aparecen con fecha de publicación. Por el contrario, se aplicará la última edición (incluyendo cualquier modificación que existiera) de aquellos documentos que se encuentran referenciados sin fecha.

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

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

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

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

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

UNE-EN 60068-2-52 *Ensayos ambientales. Parte 2: Ensayos. Ensayo kb: Niebla salina, ensayo cíclico (solución de cloruro sódico).*

UNE-EN 60079-10 *Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 10: Clasificación de emplazamientos peligrosos.*

UNE-EN 61000-6-2 *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 6-2: Normas genéricas. Inmunidad en entornos industriales.*

UNE-EN 61000-6-3 *Compatibilidad Electromagnética (CEM). Parte 6-3: Normas genéricas. Norma de emisión en entornos residenciales, comerciales y de industria ligera.*

UNE-EN 61180-1 *Técnicas de ensayo en alta tensión para equipos de baja tensión. Parte 1: Definiciones, requisitos y modalidades de ensayo.*

UNE-EN 61241-10 *Material eléctrico para uso en presencia de polvo combustible. Parte 10: Clasificación de emplazamientos en donde están o pueden estar presentes polvos combustibles.*

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

CLC/TS 61643-12 *Pararrayos de baja tensión. Parte 12: Pararrayos conectados a sistemas eléctricos de baja tensión. Requisitos y ensayos. Selección y principios de aplicación.*

UNE-EN ISO 6988 *Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Ensayo al dióxido de azufre con condensación general de la humedad.*

3 DEFINICIONES

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones siguientes:

3.1 descarga eléctrica atmosférica a tierra:

Descarga eléctrica de origen atmosférico entre una nube y la tierra, que puede comprender más de un arco.

3.2 punto de impacto:

Lugar en el que el rayo incide sobre el terreno, una estructura o una instalación de protección contra el rayo.

3.3 objeto a proteger:

Estructura o servicio a proteger de los efectos del rayo.

NOTA Una estructura a proteger puede formar parte de una estructura de mayores dimensiones.

3.4 área protegida:

Zona protegida por un sistema de protección contra el rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado.

3.5 pararrayos con dispositivo de cebado, PDC:

Pararrayos que genera un trazador antes que una punta simple cuando se comparan en las mismas condiciones.

NOTA El pararrayos con dispositivo de cebado está formado por una punta captadora, un dispositivo de cebado, un elemento de fijación y una conexión a los conductores de bajada.

3.6 punta simple de referencia, PR:

Varilla metálica con una forma geométrica definida en este documento que se utiliza como referencia.

3.7 eficacia de un PDC (ΔT):

Diferencia expresada en microsegundos entre el tiempo de emisión de un PDC y el de una punta simple medida en laboratorio bajo las condiciones descritas en esta norma.

3.8 sistema de protección mediante pararrayos con dispositivo de cebado, S-PDC:

Sistema completo basado en uno o más PDCs y todos los elementos para conducir de forma segura el rayo hasta la toma de tierra para proteger una estructura o zona abierta contra el impacto directo del rayo.

NOTA Comprende tanto las instalaciones exteriores como las interiores de protección contra el rayo.

3.9 S-PDC aislado:

Sistema de protección contra el rayo con un sistema de captura y un sistema de conductores de bajada posicionados de tal manera que el trayecto de la corriente del rayo no está en contacto con la estructura a proteger.

NOTA En un S-PDC aislado se evitan las chispas peligrosas entre el S-PDC y la estructura.

3.10 S-PDC externo no aislado de la estructura a proteger:

S-PDC con un sistema de captura y un sistema de conductores de bajada posicionados de tal manera que el trayecto de la corriente del rayo puede estar en contacto con la estructura a proteger.

3.11 conductor de bajada:

Parte de un S-PDC externo cuya misión es conducir la corriente del rayo desde el pararrayos hasta la instalación de puesta a tierra.

3.12 conductor de bajada específico:

Conductor de bajada conforme a la Norma UNE-EN 50164-2 que no es un componente natural de la estructura.

3.13 toma de tierra:

Parte del S-PDC cuyo cometido es conducir y dispersar la corriente del rayo en la tierra.

3.14 junta de control:

Dispositivo de desconexión de la toma de tierra del resto de la instalación del S-PDC.

3.15 vía de chispas de aislamiento, ISG:

Componente con una distancia de descarga para aislar eléctricamente secciones conductoras de la instalación.

NOTA En caso de impacto de rayo las secciones de la instalación se conectan temporalmente como resultado de la respuesta a la descarga.

3.16 distancia de separación:

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

3.17 chispa peligrosa:

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

3.18 conexión equipotencial:

Conexión al S-PDC de partes conductoras separadas de una instalación (véase el capítulo 5), bien por conexión directa o bien a través de dispositivos de protección contra sobretensiones, para reducir las diferencias de potencial producidas por el rayo.

3.19 barra equipotencial:

Elemento o dispositivo que permite conectar al sistema de protección contra el rayo los componentes naturales, las masas y las tomas de tierra, así como los blindajes y conductores de protección de las líneas eléctricas de telecomunicaciones y de otros cables.

3.20 armadura de acero interconectada:

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

3.21 componente natural:

Elemento conductor situado en la parte exterior de la estructura, embebido en las paredes o situado dentro de una estructura y que puede utilizarse para complementar el sistema de conductores de bajada de un S-PDC.

NOTA Para la protección con PDCs, los componentes naturales pueden complementar el sistema pero nunca ser el único conductor de bajada excepto en los casos de estructuras completamente metálicas.

3.22 sobretensión transitoria de origen atmosférico:

Sobretensión de corta duración –que no sobrepasa los milisegundos- oscilatoria o no, generalmente con una gran amortiguación.

3.23 dispositivo de protección contra sobretensiones, SPD:

Dispositivo destinado a limitar las sobretensiones transitorias y derivar los impulsos de corriente. Contiene al menos un elemento no lineal.

3.24 protección coordinada con SPD:

Conjunto de SPDs seleccionados, coordinados e instalados adecuadamente para reducir los fallos de los sistemas eléctricos y electrónicos.

3.25 impulso electromagnético del rayo, LEMP:

Efectos electromagnéticos de la corriente del rayo.

NOTA Incluyen tanto los impulsos de onda conducidos como los efectos inducidos del campo magnético.

3.26 sistema de medidas de protección contra el LEMP, LPMS:

Conjunto completo de medidas de protección contra el LEMP para los sistemas internos.

3.27 zona de protección contra el rayo, LPZ:

Zona en la que está definido el ambiente electromagnético.

NOTA Los límites entre las LPZ no son necesariamente los límites físicos (por ejemplo, paredes, techos y suelos).

3.28 sistemas internos:

Sistemas eléctricos y electrónicos situados en el interior de la estructura.

3.29 sistema eléctrico:

Conjunto de los componentes y conducciones de suministro eléctrico.

3.30 sistema electrónico:

Sistema que contiene componentes electrónicos sensibles tales como equipos de comunicación, ordenadores, sistemas de control e instrumentación, sistemas de radio o instalaciones electrónicas de potencia.

3.31 líneas de comunicación:

Medios de transmisión destinados a la comunicación entre equipos que pueden estar en estructuras separadas, tales como líneas telefónicas y líneas de datos.

3.32 tuberías:

Conductos que transportan fluidos al interior o exterior de una estructura, tales como tuberías de gas, de agua o de aceite.

3.33 zona de una estructura:

Parte de una estructura con características homogéneas en la que se emplea solo un conjunto de parámetros para evaluar una componente del riesgo.

3.34 densidad de impactos a tierra, N_g :

Es el número de rayos por km^2 y año. Este valor está disponible a través de las redes de localización de rayos a tierra.

3.35 riesgo, R :

Valor de las pérdidas anuales probables (personas y bienes) debidas al rayo, respecto al valor total (personas y bienes) del objeto a proteger.

3.36 riesgo tolerable, R_T :

Valor máximo del riesgo que puede admitirse para el objeto a proteger.

3.37 nivel de protección contra el rayo, LPL:

Cifra relacionada con un conjunto de parámetros de la corriente del rayo y relativa a la probabilidad de que los valores máximos y mínimos previstos no se sobrepasarán cuando aparezcan tormentas naturales.

NOTA Se emplea un nivel de protección contra el rayo para diseñar medidas de protección de acuerdo al conjunto de los parámetros de la corriente del rayo.

3.38 descarga directa en un objeto:

Descarga que impacta directamente en el objeto a proteger.

3.39 descarga próxima a un objeto:

Impacto de la descarga suficientemente próximo al objeto a proteger que puede producir sobretensiones peligrosas.

3.40 daños en los seres vivos:

Daños, incluida la muerte, de las personas o de los animales debidas a las tensiones de paso y de contacto producidas por el rayo.

3.41 daño físico:

Daño en la estructura (o en su contenido) o en el servicio debido a los efectos mecánicos, térmicos, químicos o explosivos del rayo.

3.42 superficie de captura equivalente de una estructura, A_d :

Superficie de suelo plano sometido al mismo número de impactos que la estructura considerada.

3.43 fallo de los sistemas eléctricos y electrónicos:

Daño permanente de los sistemas eléctricos y electrónicos debidos a los efectos electromagnéticos del rayo.

3.44 estructuras con riesgo de explosión:

Estructuras que contienen explosivos sólidos o zonas de riesgo tal como se determina en las Normas UNE-EN 60079-10 y UNE-EN 61241-10.

NOTA Al objeto de este documento, solo se tienen en cuenta estructuras que se consideran zonas peligrosas tipo 0 o que contienen materiales explosivos sólidos.

3.45 estructuras peligrosas para el medioambiente:

Estructuras que, como consecuencia del rayo, pueden producir emisiones biológicas, químicas o radiactivas (plantas químicas, petroquímicas, nucleares, etc.).

3.46 número de sucesos peligrosos por descargas en una estructura, N_D :

Valor medio anual de posibles sucesos peligrosos por descargas atmosféricas en una estructura.

3.47 número de sucesos peligrosos por descargas en un servicio, N_L :

Valor medio anual de posibles sucesos peligrosos por descargas atmosféricas en un servicio.

3.48 número de sucesos peligrosos por descargas próximas a una estructura, N_M :

Valor medio anual de posibles sucesos peligrosos por descargas atmosféricas próximas a una estructura.

3.49 número de sucesos peligrosos por descargas próximas a un servicio, N_I :

Valor medio anual de posibles sucesos peligrosos por descargas atmosféricas próximas a un servicio.

3.50 probabilidad de daño, P_X :

Probabilidad de que un suceso peligroso produzca daños en un objeto a proteger.

3.51 pérdidas, L_X :

Cantidad media de pérdidas (personas y bienes) correspondientes a un tipo específico de daño por un suceso peligroso, respecto al valor (personas y bienes) del objeto a proteger.

3.52 componente del riesgo, R_X :

Riesgo parcial que depende de la fuente y del tipo del daño.

3.53 suceso peligroso:

Descarga atmosférica en el objeto a proteger o en sus proximidades.

3.54 medidas de protección:

Medidas a tomar en el objeto a proteger con el fin de reducir el riesgo.

3.55 ambiente urbano:

Zona con gran densidad de edificios o densamente poblada con edificios de gran altura.

NOTA El centro de una ciudad es un ejemplo de un ambiente urbano.

3.56 ambiente suburbano:

Zona con una densidad media de edificios.

NOTA Las zonas residenciales periféricas son un ejemplo de un ambiente suburbano.

3.57 ambiente rural:

Zona con una densidad baja de edificios.

3.58 nodo:

Punto de una línea de servicio en el que la propagación de una onda tipo impulso se considera despreciable.

NOTA Ejemplos de nodos son el punto de conexión de una línea de potencia con un transformador AT/BT, un multiplexor de una línea de telecomunicación o un dispositivo de protección contra sobretensiones instalado a lo largo de la línea.

3.59 tensión asignada soportada al impulso, U_w :

Tensión soportada al impulso dada por el fabricante al equipo o a una parte del equipo, que caracteriza la capacidad de su aislamiento para soportar sobretensiones.

NOTA En esta norma solo se considera la tensión asignada entre las partes conductoras y tierra.

3.60 corriente impulsional, I_{imp} :

Se define por tres parámetros: la corriente de pico (I_{peak}), una carga Q y una energía específica W/R .

3.61 impulso:

Onda transitoria que aparece como una sobretensión y/o una sobreintensidad producida por el LEMP.

NOTA Las ondas tipo impulso debidas al LEMP pueden provenir de las corrientes (parciales) del rayo, de los efectos inductivos en los bucles de la instalación y de la tensión residual, aguas abajo, de los dispositivos de protección contra sobretensiones.

3.62 corriente de fallo, I_a :

Valor mínimo de la corriente de pico del rayo que causa daños.

4 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO MEDIANTE PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO**4.1 Necesidad de protección contra el rayo**

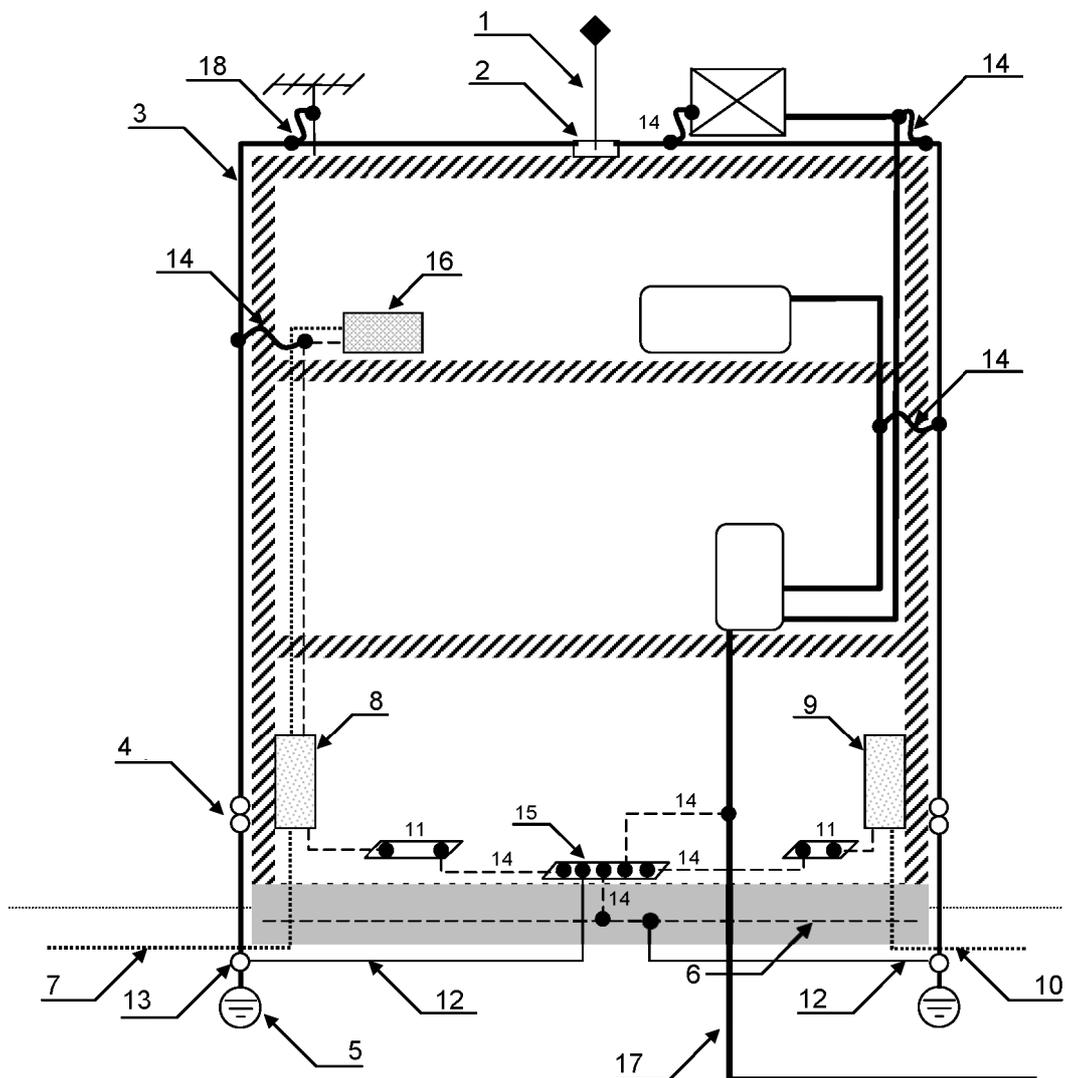
La necesidad de protección viene determinada por la densidad de caída de rayos en el entorno considerado. En el anexo A se propone un método de análisis del riesgo. La densidad de rayos se obtiene del anexo A o bien por datos locales incluyendo por ejemplo redes de detección, mapas y estadísticas.

NOTA 1 Otros factores pueden llevar a la decisión de adoptar medidas de protección por motivos diferentes a los estadísticos. Por ejemplo, regulaciones obligatorias o consideraciones personales, ya que algunos factores no pueden ser evaluados: el deseo de evitar riesgos para la vida o de proveer a los ocupantes del un edificio de seguridad puede requerir el uso de protección aunque el cálculo de riesgo esté por debajo del nivel tolerable.

NOTA 2 En distintos documentos normativos pueden encontrarse métodos de análisis de riesgos que se pueden utilizar.

4.2 Composición de un sistema de protección contra el rayo.

La instalación puede componerse de los siguientes elementos:



- 1 Uno o más PDCs
- 2 Componentes de conexión
- 3 Uno o más conductores de bajada específico
- 4 Una junta de control para cada conductor de bajada específico
- 5 Una toma de tierra para cada conductor de bajada específico
- 6 Toma de tierra de cimentación (tierra de la estructura)
- 7 Cable de suministro eléctrico
- 8 Caja de distribución eléctrica principal con SPD
- 9 Caja de distribución principal de telecomunicaciones con SPD
- 10 Cable de telecomunicaciones con SPD
- 11 Una o más barras de equipotencialidad
- 12 Una o más uniones equipotenciales entre tomas de tierra
- 13 Dispositivo de desconexión
- 14 Una o más uniones equipotenciales (directamente o mediante vía de chispas)
- 15 Barra principal de tierra
- 16 Equipo eléctrico
- 17 Tubería metálica
- 18 Una o más uniones equipotenciales a través de la vía de chispas para mástil de antena

Figura 1 – Componentes del sistema de protección contra el rayo

5 SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO MEDIANTE PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO (S-PDC)

5.1 Diseño

Basado en el nivel de protección necesario, se realizará un diseño para determinar el emplazamiento del/de los PDCs, el trazado de la/s bajante(s) y la ubicación y el tipo de la/s toma(s) de tierra.

El diseño debe basarse en los datos disponibles, incluyendo:

- la forma e inclinación de los tejados;
- el material del tejado, los muros y la estructura interna;
- las partes metálicas del tejado y los elementos metálicos exteriores importantes, como conducciones de gas, aire acondicionado, escaleras, antenas, depósitos de agua...;
- las cañerías, canalones y bajantes pluviales;
- las partes salientes del edificio y naturaleza de los materiales que las constituyen (conductores o no conductores);
- los puntos más vulnerables del edificio: los puntos estructurales considerados como vulnerables son las partes prominentes, especialmente las torres, veletas, objetos puntiagudos, chimeneas, canalones, aristas y cumbreras, las masas metálicas (extractores de aire, dispositivos de limpieza de fachada, barandilla,...) casetones de escalera, recintos técnicos sobre el techo, en terraza, etc.;
- el emplazamiento de los conductos metálicos (agua, electricidad, gas...) de la estructura;
- los obstáculos cercanos que puedan influir en el trayecto de la descarga, por ejemplo líneas eléctricas aéreas, vallas metálicas, árboles, etc.;
- la naturaleza del ambiente, que puede ser particularmente corrosivo (ambiente salino, fábrica petroquímica, cementeras, etc.);
- la presencia de material inflamable o de equipos sensibles como ordenadores o equipos electrónicos, bienes de alto valor o irremplazables, etc.

5.2 Pararrayos con dispositivo de cebado

5.2.1 Principios generales

Un pararrayos con dispositivo de cebado (PDC) está compuesto por una punta captadora, un dispositivo de cebado, un elemento de fijación y una conexión al conductor de bajada.

La zona protegida por un PDC se determina según su eficacia definida en el apartado 5.2.2.

El PDC se instalará preferentemente en la parte más elevada de la estructura que lo soporta. Será en todo momento el punto más elevado de la zona que protege.

5.2.2 Eficacia de un PDC

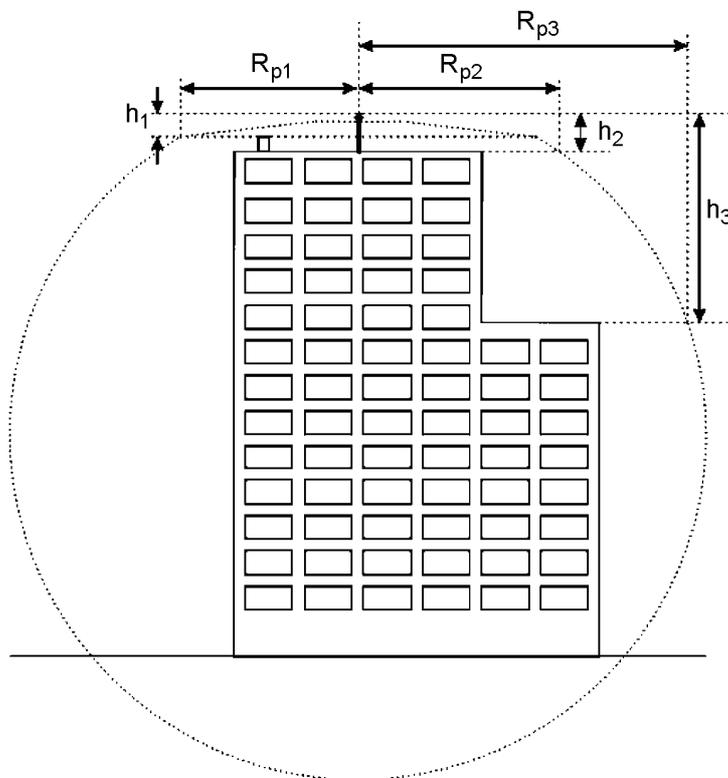
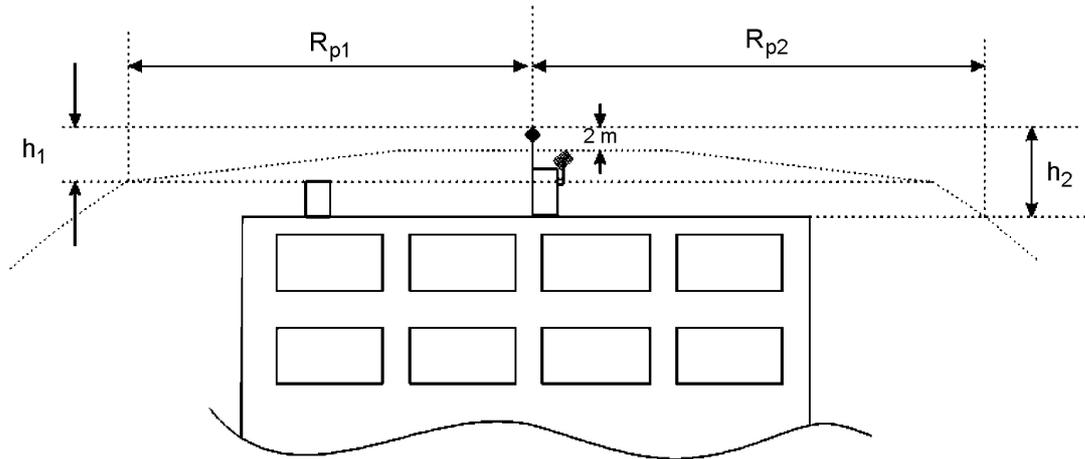
Un PDC se caracteriza por su eficacia ΔT que se obtiene en los ensayos de evaluación (véase el anexo C).

El valor máximo admisible de ΔT es 60 μs aunque en los ensayos se hayan obtenido resultados superiores.

5.2.3 Posicionamiento del pararrayos con dispositivo de cebado

5.2.3.1 Zona protegida

La zona protegida está delimitada por una superficie de revolución que está definida por los radios de protección correspondientes a las diferentes alturas h consideradas y cuyo eje es el mismo que el del PDC (véase la figura 2).



Leyenda

- h_n es la altura de la punta del PDC sobre el plano horizontal del punto a proteger más lejano
- R_{pn} es el radio de protección del PDC a la altura considerada h_n

Figura 2 – Radio de protección (con la hipótesis $h_1 = 5$ m)

5.2.3.2 Radio de protección

El radio de protección de un PDC depende de su altura (h) respecto a la superficie a proteger, de su tiempo de avance y del nivel de protección seleccionado (véase el anexo A).

$$R_p = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta(2r + \Delta)} \quad \text{para } h \geq 5 \text{ m}$$

$$R_p = h * R_p(h=5)/5 \quad \text{para } 2 \text{ m} \leq h \leq 5 \text{ m}$$

donde

$R_p(h)$ (m) Es el radio de protección a una altura dada h;

h (m) Es la altura de la punta del PDC sobre el plano horizontal del punto a proteger más lejano;

r (m) 20 m para nivel de protección I,
30 m para nivel de protección II,
45 m para nivel de protección III,
60 m para nivel de protección IV;

Δ (m) $\Delta = \Delta T \times 10^6$

La experiencia de campo ha demostrado que Δ (en metros) es igual a la eficacia obtenida durante los ensayos de evaluación de los PDCs (ΔT en microsegundos).

Para edificios mayores de 60 m deben aplicarse las disposiciones descritas en el apartado 5.2.3.4.

5.2.3.3 Elección y posicionamiento del PDC

Para cada instalación de un sistema de protección contra el rayo, debe realizarse un estudio previo para determinar el nivel de protección requerido.

El emplazamiento del pararrayos se elegirá conforme a 5.2.1 y 5.2.5.

Los diferentes radios de protección R_p necesarios para la cobertura de la estructura se determinan en función de las características de la estructura.

La altura del PDC y su eficacia se determinan según los puntos anteriores y usando las fórmulas anteriores para el PDC seleccionado.

5.2.3.4 Protección de edificios de gran altura (mayor de 60 m)

Se debe instalar protección adicional contra impactos directos de rayo en el 20% superior de la fachada de las estructuras de más de 60 m de altura, o en cualquier punto por encima de los 120 m, utilizando PDCs o cualquier otro medio según normativas aplicables. Además debe instalarse un mínimo de 4 conductores de bajada, interconectados por un anillo conductor cuando sea necesario, distribuidos a lo largo del perímetro y si es posible en las cuatro esquinas del edificio.

NOTA En general el riesgo debido a impactos laterales es bajo porque solo un pequeño porcentaje impactan en los lados de las estructuras altas y sus parámetros son significativamente más bajos que los que impactan en la parte superior.

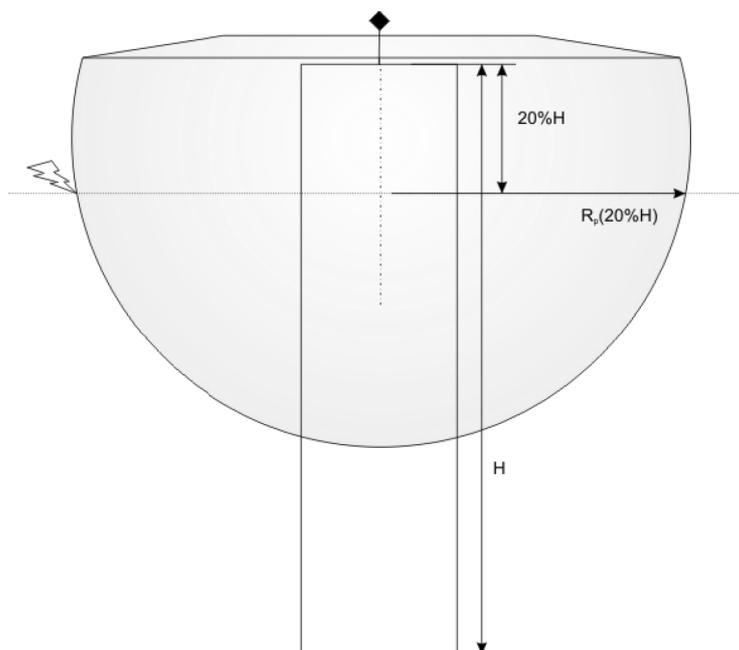


Figura 3 – Protección adicional contra el rayo contra impactos directos para el 20% superior de la estructura para edificios mayores de 60 m

5.2.3.5 Protección de estructuras con niveles de protección I+ y I++

Nivel de protección I+: el S-PDC con nivel de protección I se conecta adicionalmente a la estructura metálica o con la armadura del hormigón de los edificios que sirven de bajantes naturales complementarias a las específicas del S-PDC según el apartado 5.3. Esta conexión debe realizarse a nivel de la cubierta y del suelo. En el caso de que las bajantes no estén interconectadas a nivel de cubierta, un anillado en la cubierta del edificio puede reemplazar esta función. Las bajantes naturales deben estar interconectadas entre ellas a nivel del suelo bien por un conductor de la cimentación o bien un conductor a tal efecto.

En caso de no existir bajantes naturales o no poder cumplirse alguna de las anteriores condiciones, el Nivel I+ no puede obtenerse.

Nivel de protección I++: tejado protegido con Nivel I+ con un PDC cuyo radio de protección se reduce en un 40% en relación a los valores dados en el apartado 5.2.3.2 para obtener una protección más exigente de los equipos sobre el tejado contra impactos directos del rayo.

5.2.4 Materiales y dimensiones

Todos los materiales deben cumplir con la Norma UNE-EN 50164-2.

5.2.5 Instalación

La punta del un PDC debe estar situada al menos 2 m por encima de la zona que protege, incluyendo antenas, torres de enfriamiento, techos, depósitos, etc.

En el momento del diseño de un sistema de protección contra el rayo, se debe tener en cuenta aquellos puntos de la arquitectura propicios para la ubicación del PDC. Estos lugares son los puntos altos de la estructura, como:

- casetas situadas en terrazas;
- cubrerías;

- chimeneas metálicas o de albañilería.

Aquellos PDCs que protejan zonas abiertas (campos de deporte, golf, piscinas, campings...) serán instalados sobre soportes específicos tales como postes de iluminación, pilares o cualquier otra estructura cercana que permita al PDC cubrir la zona a proteger.

Los PDCs pueden estar ubicados ocasionalmente sobre mástiles autónomos. En caso de sujeción mediante vientos conductores, éstos deben estar unidos, en sus puntos de anclaje a nivel del suelo, a los conductores de bajada mediante conductores según la Norma UNE-EN 50164-2.

5.3 Conductores de bajada

5.3.1 Principios generales

La función de los conductores de bajada es conducir la corriente del rayo desde el pararrayos hasta la toma de tierra. Deben situarse en el exterior de la estructura excepto en casos específicos.

El conductor de bajada se fijará al PDC por medio de un sistema de conexión que se encuentre en el mástil. Éste estará constituido por un elemento mecánico de adaptación que asegure un contacto eléctrico permanente.

Si los conductores de bajada están instalados sobre paredes de materiales combustibles se debe respetar al menos uno de los siguientes requisitos, a fin de evitar un aumento peligroso de la temperatura:

- una separación mínima de 0,10 m;
- sección del conductor de al menos 100 mm².

Dos bajantes se consideran independientes si no discurren en paralelo, entendiéndose paralelo como una distancia en línea recta de menos de 2 m entre los conductores. A fin de tener en cuenta posibles problemas prácticos, se admite que puedan compartir trayectoria en un 5% de la longitud total de la bajante más corta.

5.3.2 Número de bajantes

Para S-PDC no aislados, cada PDC debe estar conectado al menos a dos conductores de bajada. Para una mejor distribución de la corriente los dos caminos a tierra deben estar, si es posible, en dos fachadas diferentes salvo imposibilidad técnica.

Al menos una de ellas será específica del S-PDC y conforme a la Norma UNE-EN 50164-2, ya que los componentes naturales se pueden modificar o suprimir sin tener en cuenta el hecho de que pertenecen al sistema de protección contra el rayo.

Cuando varios PDCs están instalados en el mismo edificio pueden compartir las bajantes. De esta forma, si hay n PDCs sobre el tejado no es necesario que existan $2n$ conductores de bajada sino un mínimo de n conductores de bajada específicos. Utilizar menos de $2n$ conductores de bajada solo es posible si las distancias de separación para el sistema completo lo permiten.

El número de bajantes específicas debe ser al menos igual al número de PDCs en el edificio. El cumplimiento de las distancias de separación permite determinar el número de bajantes necesarias así como la posibilidad de compartir bajantes. El aumento del número de conductores de bajada específicos permite reducir las distancias de separación.

El anexo E expone ejemplos de cálculo de la distancia de separación según el número de conductores de bajada.

En caso de un S-PDC aislado se precisa al menos un conductor de bajada por cada PDC.

En caso de postes, mástiles, chimeneas y otras estructuras metálicas:

- Si la estructura metálica cumple los requisitos de los componentes naturales puede ser utilizada como primera bajante.
- Si la estructura está aislada, puede utilizarse como la bajante única requerida. No se precisa otro conductor de bajada específico adicional.
- Si la estructura no está aislada, puede utilizarse como las 2 bajantes requeridas si su sección es mayor o igual a 100 mm². Si la sección está entre 50 mm² y 100 mm² se precisará un conductor adicional que cumpla la Norma UNE-EN 50164-2. Una estructura que no cumpla los requisitos de los componentes naturales no puede utilizarse como bajante, por lo que se precisarán una o dos bajantes específicas.

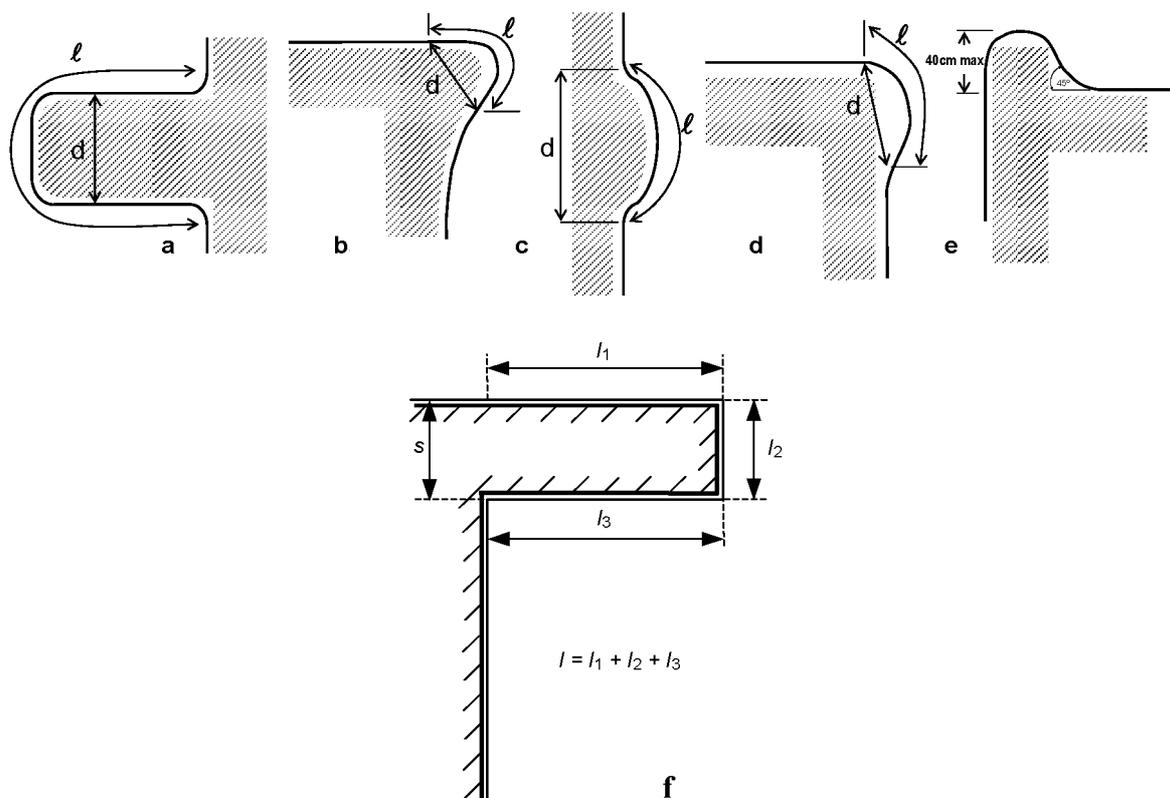
NOTA Las componentes naturales deben tener una impedancia baja y constante. Podría ser necesario añadir un conductor de bajada específico para obtener esa baja impedancia.

5.3.3 Trayectoria

El conductor de bajada debe instalarse de tal forma que su recorrido sea lo más directo posible. Su trazado debe tener en cuenta el emplazamiento de la toma de tierra y deberá ser lo más rectilíneo posible, siguiendo el camino más corto, evitando cualquier acodamiento brusco o remonte. Los radios de curvatura no deben ser inferiores a 20 cm (véase la figura 4). Para la desviación de los cables de bajada, se utilizarán preferentemente los codos formados por las esquinas.

El trazado de los conductores de bajada debe ser elegido de forma que evite la proximidad de conducciones eléctricas y su cruce. En todo caso, cuando no se pueda evitar un cruce, la conducción debe ubicarse en el interior de un blindaje metálico que se prolongue 1m a cada parte del cruce. El blindaje debe unirse a la bajante.

Se ha de evitar el contorno de cornisas o elevaciones. Se deben prever lugares de paso lo más directos posible para los conductores. En cualquier caso, se admite una remontada de un máximo de 40 cm para franquear una elevación con una pendiente menor o igual a 45 grados (véase la figura 4, caso e).



l : longitud del bucle en metros

d : anchura del bucle en metros

El riesgo de rotura de cualquier dieléctrico se evita si se respeta la condición $d > l/20$.

En el caso d. la condición $d > l/20$ siempre se cumple ya que $d > l/\sqrt{2}$ para cualquier longitud l .

NOTA Por otra parte, el cálculo de la distancia de separación de acuerdo al apartado 5.6, con $l = l_1 + l_2 + l_3$ como en el caso f permite determinar el radio de curvatura mínimo.

Figura 4 – Curvatura de los conductores de bajada

Las fijaciones de los conductores de bajada deben realizarse tomando como referencia 3 fijaciones por metro. Estas fijaciones deben ser apropiadas para los soportes y realizadas de forma que no afecten a la impermeabilidad del tejado. Deben permitir una posible dilatación de los conductores. Se debe evitar, la perforación de los cables.

La unión de diferentes conductores entre sí se realiza a presión con la ayuda de piezas de unión de la misma naturaleza, mediante remaches, empalme o soldadura.

Los conductores de bajada deben estar protegidos contra eventuales choques mecánicos mediante un tubo de protección hasta una altura superior a 2 m a partir del suelo.

NOTA La protección de las personas contra los riesgos de la tensión de contacto se explica en anexo D.

5.3.4 Trayectoria por interiores

Cuando no es posible realizar una bajante exterior, el cable de bajada podrá ir dentro de un conducto específico aislante y no inflamable, que recorra la estructura en toda su altura o solo en parte.

Las distancias de separación deben también cumplirse para las bajantes interiores a fin de poder determinar el nivel de aislamiento necesario del conductor específico.

El usuario debe ser informado de las dificultades de realizar la verificación y mantenimiento, así como de los riesgos resultantes de la penetración de sobretensiones en el interior de los edificios.

Se debe evitar el acceso de personas a ese conducto específico en momentos de tormenta o bien disponer medidas de protección iguales a las que se dan para bajantes externas (véase el anexo D).

5.3.5 Revestimiento exterior

Cuando el exterior de un edificio está provisto de un revestimiento externo metálico, una pared de piedra o cristal, en caso de una cubierta fija de la fachada, el conductor de bajada puede instalarse sobre la fachada de hormigón o en la estructura principal debajo del revestimiento.

En este caso, las partes conductoras del revestimiento deben conectarse a la bajante en la parte superior y en la base.

Si el revestimiento externo es de material inflamable, el conductor de bajada debe instalarse a más de 10 cm detrás de éste si su sección es menor de 100 mm². Para secciones de 100 mm² o mayores no hay necesidad de guardar una distancia entre la bajante y el material aislado.

NOTA 1 Se puede realizar un cálculo específico del aumento de temperatura para cambiar estas condiciones.

NOTA 2 Los mismos requisitos se aplican también al material inflamable incluso en el tejado (por ejemplo, tejados de paja).

5.3.6 Materiales y dimensiones

Véase la Norma UNE-EN 50164-2.

5.3.7 Junta de control

Es conveniente que cada conductor de bajada esté provisto de un manguito seccionador, junta o toma de control o puente de comprobación que permita desconectar la toma de tierra a fin de efectuar la medición.

Generalmente las juntas de control se intercalan en las bajantes en su parte inferior. Para las instalaciones sobre paredes metálicas, o que no estén provistas de una bajante específica, las juntas de control deben intercalarse entre cada toma de tierra y el elemento metálico del edificio al que estén unidas; deben estar emplazadas en el interior de una arqueta de inspección (conforme a la Norma UNE-EN 50164-5) sobre el que estará inscrito el símbolo de toma de tierra.

5.3.8 Contador de impactos de rayo

Cuando la instalación está provista de un contador de impactos de rayo, es conveniente que esté instalado en el conductor de bajada más directo y que esté instalado preferentemente justo por encima de la junta de control. Debe cumplir con la Norma UNE-EN 50164-6.

5.3.9 Componentes naturales

Entre los elementos conductores que componen la estructura, algunos pueden reemplazar en todo o en parte a una bajante o servir de complemento de ésta.

5.3.9.1 Componentes naturales que pueden reemplazar en todo o en parte la bajante

En general, las armaduras de acero exteriores interconectadas (estructuras metálicas) pueden ser utilizadas como bajantes, siempre que sean conductores y su impedancia sea menor o igual 0,01 Ω .

En este caso, los PDCs estarán unidos directamente a la estructura metálica y ésta debe unirse en la parte baja a las tomas de tierra.

La utilización de una bajante natural debe satisfacer las condiciones de equipotencialidad del capítulo 6.

5.3.9.2 Componentes naturales que complementan a la/s bajante/s

Los siguientes elementos pueden ser utilizados como complemento del sistema de protección contra el rayo y unidos al mismo.

a) Las armaduras de acero interconectadas eléctricamente continuas:

- las estructuras metálicas interiores, los armazones metálicos del hormigón y las estructuras metálicas embebidas en las paredes, a condición de que los bornes de conexión previstos para este efecto existan tanto en la parte superior como en la parte inferior;
- las armaduras metálicas exteriores que no se extiendan por toda la estructura.

NOTA En el caso de hormigones pretensados, debe prestarse atención al riesgo de consecuencias mecánicas inaceptables por el paso de la corriente del rayo.

b) Las chapas metálicas que recubren el espacio a proteger, si se cumple que:

- la continuidad eléctrica entre las diferentes partes está realizada de forma perdurable;
- éstas no deben estar revestidas de material aislante.

NOTA Una capa fina de pintura protectora, de 1mm de asfalto de o de 0,5 mm de PVC de no se considera como un aislante.

c) Las tuberías metálicas, si su espesor es de al menos 2 mm.

5.4 Equipotencialidad de las masas metálicas

5.4.1 Generalidades

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

Las chispas peligrosas pueden producirse entre la parte externa del S-PDC y otros componentes tales como:

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

Las chispas peligrosas entre las diferentes partes pueden impedirse mediante:

- conexiones equipotenciales de acuerdo con el apartado 5.5;
- aislamiento eléctrico entre las partes, de acuerdo con el apartado 5.6.

5.5 Conexiones equipotenciales para el rayo

5.5.1 Generalidades

Las conexiones equipotenciales se obtienen conectando el SPCR con

- las partes metálicas de la estructura;
- las instalaciones metálicas;

- los sistemas internos;
- las 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 no se tiene una equipotencialidad natural;
- SPD, cuando no es posible realizar conexiones directas.

La manera como se consigue la equipotencialidad es importante y debe concertarse con los distribuidores de la red de telecomunicación, de potencia y con otros distribuidores y con las autoridades competentes, en caso de conflictos.

Los SPD deben instalarse de tal manera que puedan inspeccionarse.

NOTA Cuando se instala un S-PDC, las partes metálicas externas a la estructura pueden resultar afectadas, lo que debe tenerse en cuenta cuando se proyecten estos sistemas. También pueden ser necesarias conexiones equipotenciales para las partes metálicas exteriores.

5.5.2 Conexiones equipotenciales en instalaciones metálicas

En el caso de un S-PDC externo aislado, las conexiones equipotenciales deben realizarse solamente a nivel del suelo.

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

- a) en el subsuelo 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 terminal de puesta a tierra. En estructuras grandes (más de 20 m de longitud) puede instalarse 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 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.

En la tabla 1 se indican las secciones mínimas de los conductores que conectan las barras equipotenciales entre sí o con la puesta a tierra.

En la tabla 2 se indican las secciones mínimas de los conductores que conectan las instalaciones metálicas internas a las barras equipotenciales.

Tabla 1 – Dimensiones mínimas de los conductores que conectan las barras equipotenciales entre sí o con la puesta a tierra

Clase del SPCR	Materiales	Sección (mm ²)
I a IV	Cobre	16
	Aluminio	22
	Acero	50

Tabla 2 – Dimensiones mínimas de los conductores que conectan las instalaciones metálicas internas a las barras equipotenciales

Clase del SPCR	Materiales	Sección (mm ²)
I a IV	Cobre	6
	Aluminio	8
	Acero	16

La equipotencialidad puede obtenerse mediante una ISG según la Norma UNE-EN 50164-3.

5.5.3 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 en la estructura a proteger.

Los conductores equipotenciales deben ser capaces de soportar la corriente del rayo que circula por ellos.

La equipotencialidad puede obtenerse mediante una ISG según la Norma UNE-EN 50164-3.

5.5.4 Conexiones equipotenciales para los sistemas internos

Es imperativo que las conexiones equipotenciales se realicen de acuerdo con los apartados 5.5.2 a) y 5.5.2 b).

Si los conductores de los sistemas internos son apantallados o se encuentran en conductores metálicos, puede ser suficiente conectar equipotencialmente las pantallas y los conductos.

Si los conductores de los sistemas internos no están apantallados o situados en conductores metálicos, los conductores se deben conectar a tierra a través de SPDs. En los sistemas TN, el conductor de protección CP y el CPN pueden conectarse al S-PDC bien directamente o a través de un SPD.

Los conductores equipotenciales deben tener las características que se indican en el apartado 5.5.2.

Si se requiere protección contra sobretensiones transitorias de los sistemas internos, debe realizarse mediante dispositivos conformes a la Norma UNE-EN 61643-11, utilizando los principios de selección y aplicación indicados en la Especificación Técnica CLC/TS 61643-12.

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

Las conexiones equipotenciales para las líneas eléctricas y de telecomunicación deben hacerse de acuerdo con el apartado 5.5.3.

Todos los conductores de una línea deben conectarse equipotencialmente, bien directamente o bien a través de un SPD. Los conductores activos solo deben conectarse a la barra equipotencial mediante SPD. En los sistemas TN, el conductor de protección CP y el CPN pueden conectarse a la barra equipotencial, bien directamente o bien a través de un SPD.

Si las líneas están apantalladas o se encuentran en conducciones metálicas, las pantallas y los conductos deben conectarse equipotencialmente.

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 de equipotencialización y los SPDs deben tener las características indicadas en el apartado 5.5.3.

Si se requiere protección contra sobretensiones transitorias de los sistemas internos, debe realizarse mediante dispositivos conformes a la Norma UNE-EN 61643-11, utilizando los principios de selección y aplicación indicados en la Especificación Técnica CLC/TS 61643-12.

5.6 Distancia de separación

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 pueden conseguirse mediante una distancia d entre las distintas partes, superior a la distancia de separación s :

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

donde

k_i depende del Nivel de Protección elegido (tabla 3);

k_m depende del aislamiento eléctrico de los materiales (tabla 4)

k_c depende de la corriente que circula por el pararrayos y las bajantes (tabla 5);

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 que se encuentra el punto equipotencial más próximo.

NOTA La longitud l a lo largo del sistema captador puede no tenerse en cuenta en estructuras con tejado metálico continuo actuando como captador natural.

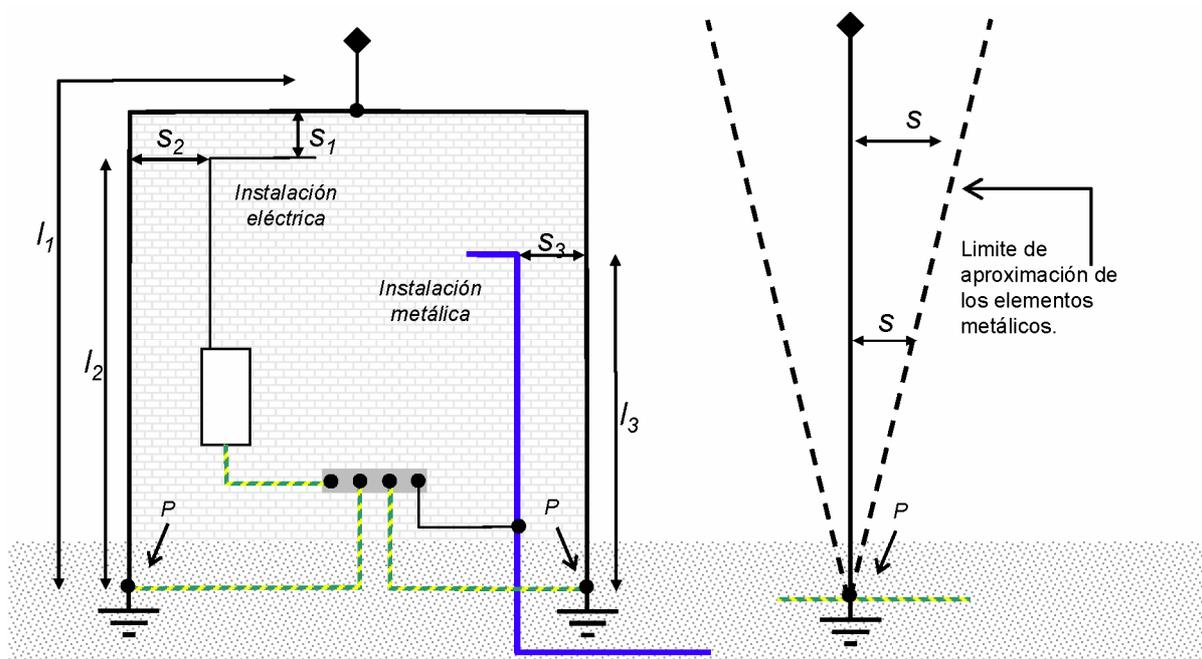


Figura 5 – Distancia de separación en función de la longitud considerada y aumento de la diferencia de potencial en función de la distancia al punto de equipotencialidad más próximo (P)

Tabla 3 – Valores del coeficiente k_i

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

Tabla 4 – Valores del coeficiente k_m

Materiales	k_m
Aire	1
Hormigón, ladrillos	0,5
NOTA 1 Cuando se encuentran varios materiales en serie, es buena práctica tomar el valor más bajo de k_m . NOTA 2 Si se emplean otros materiales aislantes, la forma de utilización y el valor de k_m debe darlo el fabricante.	

En estructuras metálicas o de hormigón con armaduras metálicas interconectadas y con continuidad eléctrica no se requiere distancia de separación.

Tabla 5 – Aislamiento del S-PDC externo - Valores del coeficiente k_c

Número de bajantes	k_c	
	Toma de tierra tipo A1 o A2	Toma de tierra tipo B
1	1	1
2	0,66 ^c	1...0,5 (véase la figura E.1) ^a
3 o más	0,44 ^{b, c}	1...1/n (véase la figura E.2) ^{a, b}
^a Véase el anexo E. ^b Si los conductores de bajada están conectados por anillos metálicos horizontales, la distribución de corriente es más homogénea en la parte inferior de los conductores de bajada y k_c se reduce más. Esto es válido, especialmente, para estructuras altas. ^c Estos valores son válidos para electrodos de puesta a tierra con resistencias de puesta a tierra comparables. Si la resistencia de puesta a tierra de estos electrodos es claramente diferente, se considera $k_c = 1$.		
NOTA Pueden emplearse otros valores de k_c si se realizan cálculos detallados.		

6 TOMAS DE TIERRA

6.1 Generalidades

Es conveniente interconectar todas las tomas de tierra de una misma estructura

Debe realizarse una toma de tierra por cada conductor de bajada con al menos dos electrodos por cada toma de tierra.

Dado el carácter de impulso de la corriente del rayo y para asegurar el camino más fácil posible hacia tierra, minimizando siempre el riesgo de aparición de sobretensiones peligrosas en el interior del volumen a proteger, es importante ocuparse de la forma y dimensiones de la toma de tierra, así como del valor de su resistencia.

Se debe asegurar una cierta superficie de contacto del electrodo de tierra con el terreno, a fin de facilitar la dispersión de la corriente del rayo en tierra en un espacio de tiempo muy corto.

Las tomas de tierra deben responder a los criterios siguientes:

- resistencia medida por los medios convencionales: lo más baja posible (inferior a 10Ω). Se debe medir este valor sobre la toma de tierra aislada de todo otro elemento de naturaleza conductora;
- evitar las tomas de tierra constituidas por un único elemento de gran longitud, horizontal, o vertical (>20m) a fin de asegurar un valor de impedancia o inductancia lo más bajo posible.

La utilización de una única toma de tierra vertical profunda, buscando alcanzar terrenos húmedos, solo es interesante si la resistividad de la superficie es particularmente elevada y es solo compatible con la existencia de estratos inferiores del terreno de elevada conductividad.

Sin embargo, es de señalar que tales tomas de tierra a profundidad presentan una impedancia de onda elevada cuando la profundidad es superior a 20 m. Se debe entonces aumentar el número de picas horizontales y verticales, que deben estar siempre unidas eléctricamente entre sí.

Salvo absoluta imposibilidad, las tomas de tierra deben estar siempre orientadas hacia el exterior de los edificios.

NOTA Para las medidas para evitar tensiones de paso, véase el anexo D.

6.2 Diferentes tipos de tomas de tierra

Las dimensiones de las tomas de tierra dependen de la resistividad del suelo en el que están realizadas. La resistividad puede variar considerablemente según la naturaleza del terreno (arcilla, arena, roca, etc.).

La resistividad puede estimarse con la tabla 6 o medirse utilizando un método adecuado con un medidor de resistividad del terreno.

Para cada conductor de bajada, la toma de tierra puede consistir en:

Tipo A: dividido en:

A1. conductores de la misma naturaleza y sección que las bajantes, excepto aluminio, dispuestos en forma de pata de ganso de grandes dimensiones y al menos a 50 cm de profundidad.

Ejemplo: tres conductores de 7 a 8 m de longitud, horizontalmente, al menos a 50 cm de profundidad.

A2. por la unión de muchas piquetas verticales de una longitud total mínima de 6 m, al menos a 50 cm de profundidad.

- dispuestas en línea o triángulo y espaciadas entre sí por una distancia al menos igual a su longitud enterrada;
- unidas entre sí por un conductor idéntico o compatible en sus características a aquel utilizado en la bajante enterrado en una zanja.

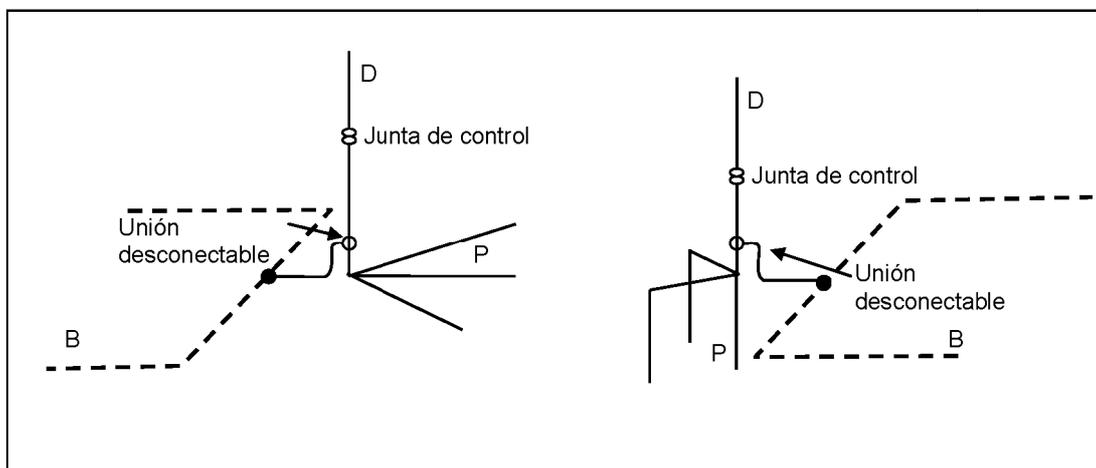
NOTA La forma recomendada es el triángulo.

Tipo B: electrodo en anillo

Esta disposición comprende tanto un anillo conductor exterior a la estructura a proteger, en contacto con el suelo el menos en el 80% de su longitud, como un electrodo de la cimentación siempre que esté formado por un conductor de al menos 50 mm^2 . La parte inferior de cada conductor de bajada debe al menos conectarse adicionalmente a un electrodo horizontal con una longitud mínima de 4 m o a un electrodo vertical con una longitud mínima de 2 m.

Tabla 6 – Valores orientativos de la resistividad en función del terreno

Naturaleza del terreno	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	50 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600



Leyenda

- D Conductores de bajada
- B Bucle en la cimentación del edificio
- P Toma de tierra del S-PDC

Figura 6 – Esquema de tomas de tierra tipo A1 y A2

6.3 Disposiciones complementarias

Cuando con las disposiciones habituales la resistividad elevada del terreno no permita obtener una toma de tierra inferior a 10Ω , se pueden realizar las siguientes medidas complementarias:

- poner alrededor de los conductores de tierra un material mejorador de la conductividad no corrosivo y de menor resistividad;
- añadir electrodos de tierra en forma de pata de ganso o conectar con electrodos ya existentes;
- multiplicar el número de las tomas de tierra, uniéndolas entre sí;
- aplicar un mejorador de tierra conforme a la Norma UNE-EN50164-7;
- si tras la aplicación de las disposiciones enunciadas no se consigue disponer de una resistencia menor de 10Ω , se considerará que la toma de tierra Tipo A asegura un paso aceptable de la corriente del rayo siempre que esté constituida por una longitud total de electrodo enterrado de al menos:
 - 160 m para Nivel de Protección I,
 - 100 m para Nivel de Protección II, III, IV.

En cualquier caso, cada elemento vertical u horizontal no debe ser mayor de 20 m.

La longitud necesaria puede ser una mezcla de conductor radial (longitud acumulada L_1) y picas (la longitud acumulada L_2) cumpliendo que 160 m (o 100 m) = $L_1 + 2 \cdot L_2$.

Para las tomas de tierra tipo B, cuando no se pueda alcanzar el valor de 10Ω longitud de cada electrodo adicional debe ser:

- Para electrodos horizontales: de 4 m a 160 m para Nivel de Protección I (100 m para otros niveles de protección).
- Para electrodos verticales: de 2 m a 80 m para Nivel I de Protección (50 m para otros niveles).
- O bien una combinación como se explica en las tomas de tierra Tipo A.

6.4 Equipotencialidad de las tierras

Cuando el edificio o el volumen a proteger disponga de una toma de tierra de cimentación para las masas de las instalaciones eléctricas, las tomas de tierra de las instalaciones de pararrayos se unirán a ellas mediante un conductor normalizado (véase la Norma UNE -EN 50164-2).

Para las estructuras de nueva construcción se debe tener en cuenta esta disposición desde el estudio inicial, y realizar la interconexión con el circuito de tierra en el fondo de la excavación, directamente al pie de cada bajante mediante un dispositivo que permita la desconexión y que esté emplazado preferiblemente en un registro de inspección que lleve el

símbolo de toma de tierra .

Para edificios e instalaciones ya existentes se deben realizar interconexiones preferentemente sobre las partes enterradas y debe existir la posibilidad de desconexión para controles posteriores.

En el caso de una interconexión en el interior de un edificio, la trayectoria del conductor de unión se debe realizar de forma que evite una eventual inducción sobre los cables y materiales situados en las inmediaciones.

Cuando otras estructuras separadas se incluyan dentro del volumen a proteger, la toma de tierra del PDC se debe interconectar a la red de tierra equipotencial enterrada que une las diferentes estructuras.

6.5 Condiciones de proximidad

Los elementos constitutivos de las tomas de tierra de los pararrayos deben distar al menos 2 m de toda canalización metálica o eléctrica enterrada, siempre que estas canalizaciones no estén eléctricamente conectadas a la unión equipotencial principal del edificio.

Para los terrenos de resistividad superior a 500 $\Omega\cdot\text{m}$ la distancia mínima será de 5 m.

6.6 Materiales y dimensiones

Véase la Norma UNE-EN 50164-2.

7 DISPOSICIONES PARTICULARES

7.1 Antenas

La existencia de una antena sobre el tejado de un edificio aumenta los riesgos de impacto de rayo y ésta se puede convertir en el primer elemento susceptible de recibir la descarga.

El mástil que soporta la antena debe estar unido directamente o por medio de una vía de chispas conforme a la Norma UNE-EN 50164-3 al sistema de protección contra el rayo mediante un conductor adecuado, excepto si la antena está fuera de la zona protegida o sobre otro tejado. Es conveniente proteger el cable coaxial con un protector contra sobretensiones.

Se puede utilizar un mástil común cuando se cumplan todas las condiciones siguientes:

- los PDCs están fijados en la punta del mástil;
- la punta del PDC sobrepasa al menos en dos metros la antena más próxima;
- la fijación del conductor de bajada está efectuada por medio de un conector directamente sobre el PDC;
- la trayectoria del cable coaxial de la antena se realiza por el interior del mástil de la antena.

En el caso de una torreta, es preferible pasar el cable coaxial por el interior de un tubo metálico.

7.2 Áreas de almacenamiento de productos inflamables o explosivos

Los depósitos que contengan líquidos inflamables deben estar conectados a tierra, pero solo esta puesta a tierra no es suficiente para constituir una protección contra las descargas atmosféricas. Por lo tanto es necesario un estudio complementario en profundidad.

Los pararrayos con dispositivo de cebado se sitúan en el exterior de las zonas con riesgo de explosión y más elevados que las estructuras a proteger. En la medida de lo posible la trayectoria de los conductores de bajada se efectuará por el exterior de las zonas con riesgo de explosión. Si no es posible se deberá prestar particular atención a las medidas a tomar para evitar la formación de chispas.

Las tomas de tierra deben estar orientadas en dirección opuesta a las zonas de almacenamiento.

NOTA Se recomienda la instalación de un contador de rayos.

7.3 Edificios religiosos

Los campanarios, torres y minaretes son puntos de impacto preferentes de la descarga debido a su prominencia.

Para este tipo de edificios, el S-PDC debe disponer de una primera bajante directa realizada a lo largo de la torre principal.

Cuando la altura del punto prominente del edificio sea mayor de 40 m se recomienda que el segundo conductor de bajada específico se instale sobre cumbrera de la nave.

Si hay una cruz o una estatua no metálica de la nave, está debe estar provista de una punta de captación.

Cuando en el punto más alto exista un elemento prominente no metálico (una cruz, una estatua no metálica, etc.) estos objetos se dotarán de un dispositivo de captura.

Es conveniente que las tomas de tierra del pararrayos así como la tierra eléctrica se unan entre sí mediante un conductor de tierra.

Algunos edificios tienen campanas eléctricas. Su alimentación eléctrica debe protegerse contra sobretensiones con un SPD que cumpla la Norma UNE-EN 61643-11 y la Especificación Técnica CLC/TS 61643-12.

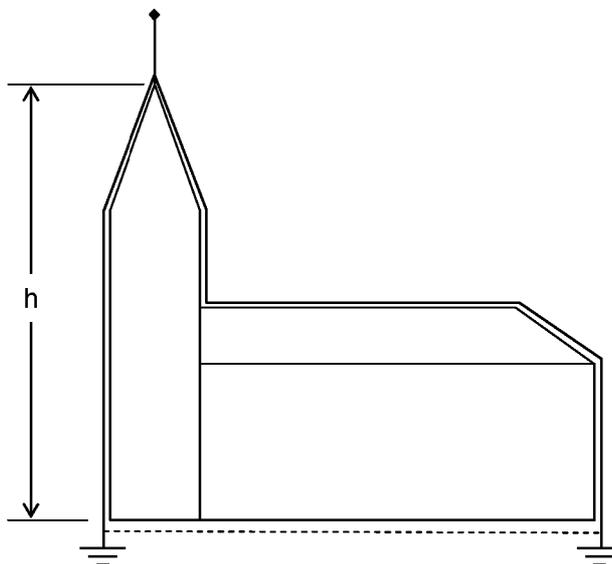


Figura 7 – Edificio religioso

8 PARTE DE INSTALACIÓN, VERIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO

La configuración de un S-PDC y sus componentes instalados se verifican según el presente documento y el informe de ejecución. El buen estado del S-PDC y su mantenimiento deben asegurarse a lo largo del tiempo.

8.1 Parte de instalación

El instalador debe realizar un parte de instalación al final de las obras que comprenda al menos los elementos siguientes:

- nivel de protección utilizado;
- justificación de la protección;
- tipo y características del PDC;
- método de control del PDC;

- nombre y localización de los conductores de bajada;
- presencia y localización, si existe, del contador de rayos;
- justificación del cumplimiento de las distancias de separación;
- justificación de las uniones equipotenciales incluidos los protectores contra sobretensiones;
- tipo y valor de las tomas de tierra;
- justificación de las dimensiones de la toma de tierra cuando su valor es superior a 10 Ω .

8.2 Orden de las verificaciones

Las fases de las verificaciones se efectúan:

- inicialmente, a la finalización del S-PDC;
- periódicamente, según los criterios de la tabla 7;
- cada vez que la estructura protegida es modificada, reparada o cuando la estructura ha recibido el impacto de un rayo.

Tabla7 – Períodos máximos entre verificaciones de un SPCR

Nivel de protección	Verificación visual (años)	Verificación completa (años)	Verificación completa de los sistemas críticos (años)
I y II	1	2	1
III y IV	2	4	1

NOTA Los S-PDC empleados en estructuras con riesgo de explosión deberían verificarse visualmente cada 6 meses. Los ensayos eléctricos de la instalación deberían realizarse una vez al año.
Una excepción aceptable al ensayo anual programado, sería realizar los ensayos en 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.

NOTA 1 Los impactos de rayo pueden registrarse mediante un contador de impactos de rayo instalado en una de las bajantes.

NOTA 2 Si las autoridades nacionales requieren medidas regulares del sistema eléctrico de una estructura se recomienda verificar al mismo tiempo el sistema de protección contra el rayo en cuanto al funcionamiento de las medidas de protección internas incluyendo las uniones equipotenciales con los sistemas eléctricos.

NOTA 3 Las instalaciones más antiguas deben relacionarse con un nivel de protección o tomarse los intervalos para la verificación de las especificaciones locales u otras como los reglamentos de construcción, reglamentaciones técnicas, instrucciones, seguridad industrial o protección de riesgos laborales.

NOTA 4 Un sistema crítico puede estar definido por la reglamentación o por el usuario.

8.3 Informe de verificación

Es conveniente que cada verificación periódica sea registrada en un informe detallado que recoja todos los resultados de la verificación y las medidas correctoras a tomar.

8.4 Verificación inicial

La verificación inicial se efectúa tras la finalización de los trabajos de instalación del S-PDC.

Su objetivo es asegurar que la totalidad de la instalación del S-PDC está correctamente realizada de acuerdo con esta norma y con el informe de ejecución.

Esta verificación llevará al menos los siguientes puntos:

- asegurar que el PDC esté al menos 2 m por encima de cualquier elemento a proteger;
- el PDC tiene las características indicadas en el informe de ejecución;
- el número de conductores de bajada;
- conformidad de los componentes del S-PDC con esta norma y las series de Normas UNE-EN 50164 y UNE-EN 61643 por marcaje, declaración o documentación;
- trayectoria, emplazamiento y continuidad eléctrica de los conductores de bajada;
- fijación mecánica de los diferentes elementos de la instalación;
- respetar las distancias de seguridad y/o la presencia de uniones equipotenciales;
- resistencia de las tomas de tierra;
- equipotencialidad de la toma de tierra del S-PDC con la del edificio.

En cualquier caso, cuando la totalidad o parte de un conductor no sea visible, es aconsejable realizar una medida de su continuidad eléctrica.

8.5 Verificación visual

Es conveniente proceder a una inspección visual a fin de asegurar que:

- no se aprecia ningún daño debido al rayo;
- el PDC conserva su integridad;
- no hay ninguna extensión o modificación de la estructura protegida que requiera la aplicación de medidas complementarias de protección contra el rayo;
- la continuidad eléctrica de los conductores visibles es correcta;
- todas las fijaciones y las protecciones mecánicas están en buen estado;
- ninguna pieza está deteriorada por la corrosión;
- se respetan las distancias de separación, el número de uniones equipotenciales es suficiente y su estado es correcto;
- el indicador de fallo de los protectores contra sobretensiones no indica su final de vida;
- se controlan y registran los resultados de las operaciones de mantenimiento.

8.6 Verificación completa

Una verificación completa comprende las inspecciones visuales y las siguientes medidas para verificar:

- la continuidad eléctrica de los conductores integrados;

- los valores de resistencia de la toma de tierra (es conveniente analizar todas las variaciones superiores al 50% respecto al valor inicial);
- el correcto funcionamiento del PDC según la metodología entregada por el fabricante.

NOTA Es posible tomar una medida de tierra a alta frecuencia en el momento de la realización del sistema de toma de tierra o en la fase del mantenimiento, con el fin de verificar la coherencia entre el sistema realizado de toma de tierra y su necesidad.

8.7 Mantenimiento

Cuando una verificación muestre que existen deficiencias o anomalías en el SPRC, es conveniente realizar la reparación con el menor retraso a fin de mantener la eficacia óptima del sistema.

Las instrucciones de mantenimiento de los componentes y de los dispositivos de protección se aplican de acuerdo con las instrucciones de los manuales del fabricante.

ANEXO A (Normativo)**ANÁLISIS DEL RIESGO****A.1 Explicación de los términos****A.1.1 Daños y pérdidas****A.1.1.1 Fuente de daños**

La primera fuente de daños es la corriente del rayo. En función del punto de impacto se distinguen las siguientes fuentes de daños (véase la tabla A.1):

- S1: descargas en la estructura;
- S2: descargas cerca de la estructura;
- S3: descargas en una línea conectada a la estructura;
- S4: descargas cerca de una línea conectada a la estructura.

A.1.1.2 Tipos de daños

Una descarga puede producir daños en función de las características del objeto a proteger. Algunas de las características más importantes son: tipo de construcción, contenido y sus aplicaciones, tipo de servicios y medidas de protección previstas.

Es útil distinguir, para aplicaciones prácticas de la evaluación del riesgo, entre tres tipos básicos de daños que pueden aparecer como consecuencia de las descargas atmosféricas. Son los siguientes (véase la tabla A.1):

- D1: daños a seres vivos;
- D2: daños físicos;
- D3: fallos de sistemas eléctricos y electrónicos.

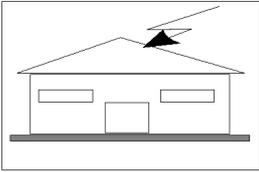
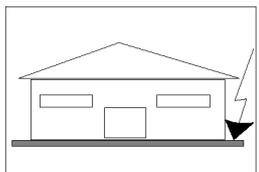
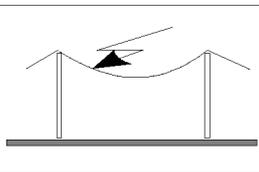
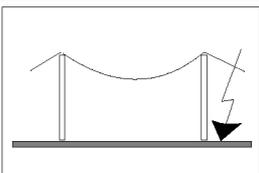
El daño por rayo en una estructura puede limitarse a una parte de la estructura o extenderse a toda la estructura. También puede involucrar a sus alrededores y al entorno (por ejemplo, emisiones químicas o radiactivas).

A.1.1.3 Tipo de pérdidas

Cada tipo de daño, solo o en combinación con otros, pueden producir pérdidas consecutivas diferentes en el objeto a proteger. El tipo de pérdidas que pueden aparecer depende de las características del objeto y de su contenido. Deben tenerse en cuenta los siguientes tipos de pérdidas (véase la tabla A.1 Tabla A.):

- L1: pérdida de vidas;
- L2: pérdida de servicio público;
- L3: pérdida de patrimonio cultural;
- L4: pérdida de valor económico (estructura y su contenido).

Tabla A.1 – Fuentes de daños, tipo de daños y tipo de pérdidas en función del punto de impacto

Punto de impacto	Fuente de daño	Tipo de daño	Tipo de pérdidas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ¹⁾ , L2, L4
	S2	D3	L1 ¹⁾ , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ¹⁾ , L2, L4
	S4	D3	L1 ¹⁾ , L2, L4
<p>1) Solo para estructuras con riesgo de explosión y para hospitales o estructuras en las que los fallos de los sistemas internos dan lugar a un riesgo inmediato para la vida humana.</p> <p>2) Solo para propiedades donde puedan producirse pérdidas de animales.</p>			

A.1.2 Riesgo y componentes del riesgo

A.1.2.1 Riesgo

El riesgo R es el valor de una pérdida anual media probable. Para cada tipo de pérdida que puede presentarse en una estructura debe evaluarse el riesgo correspondiente.

Los riesgos a evaluar en una estructura pueden ser los siguientes:

- R1: riesgo de pérdida de vida humana;
- R2: riesgo de pérdida de servicio público;
- R3: riesgo de pérdida de patrimonio cultural;
- R4: riesgo de pérdida de valor económico.

Para valorar los riesgos, R, deben definirse y calcularse las componentes del riesgo correspondientes (riesgos parciales en función de la fuente y del tipo de daño).

Cada riesgo R es la suma de sus componentes. Cuando se calcula un riesgo, las componentes del riesgo pueden agruparse de acuerdo con la fuente y el tipo de daño.

A.1.2.2 Componentes del riesgo por descargas en la estructura

R_A: Componente relacionado con daños a los seres vivos producidos por tensiones de contacto y de paso en una zona de hasta 3 m exterior a la estructura. Pueden aparecer pérdidas de tipo L1 y, en el caso de estructuras que almacenan ganado, también pueden aparecer pérdidas de animales de tipo L4.

NOTA 1 En esta norma no se considera la componente del riesgo por tensiones de paso y de contacto en el interior de la estructura por descargas en la estructura.

NOTA 2 En estructuras especiales, las personas pueden estar sometidas a riesgos de impactos directos (por ejemplo, partes altas de un garaje o de un estadio). Estos casos pueden considerarse empleando los principios de esta norma.

R_B: Componente relacionado con los daños físicos producidos por chispas peligrosas en el interior de la estructura, causantes de fuegos o de explosiones que también pueden afectar al entorno. Pueden presentarse todos los tipos de pérdidas (L1, L2, L3 y L4).

R_C: Componente relacionado con los fallos de los sistemas internos debidos al LEMP. En todos los casos podrían producirse pérdidas del tipo L2 y L4 junto con pérdidas del tipo L1 en aquellos casos de estructuras con riesgo de explosión y hospitales u otras estructuras en las que el fallo de los sistemas internos ponga en peligro inmediato la vida humana.

A.1.2.3 Componentes del riesgo por descargas cerca de la estructura

R_M: Componente relacionado con los fallos de los sistemas internos debidos al LEMP. En todos los casos podrían producirse pérdidas del tipo L2 y L4, junto con pérdidas del tipo L1 en aquellos casos de estructuras con riesgo de explosión y hospitales u otras estructuras en las que el fallo de los sistemas internos ponga en peligro inmediato la vida humana.

A.1.2.4 Componentes del riesgo por descargas en una línea conectada a la estructura

R_U: Componente relacionado con los daños a los seres vivos producidos por tensiones de contacto en el interior de la estructura, debidas a la corriente inyectada en una línea que entra en la estructura. Pueden ocurrir pérdidas de tipo L1 y, en el caso de propiedades agrícolas, podrían ocurrir pérdidas de tipo L4 por pérdidas de animales.

R_V: Componente relacionado con los daños físicos producidos por la corriente del rayo transmitida a través de las líneas entrantes (fuego o explosión generados por chispas peligrosas producidas, generalmente en el punto de entrada de la línea en la estructura, entre la instalación externa y las partes metálicas). Puede ocurrir cualquier tipo de pérdidas (L1, L2, L3 y L4).

R_W: Componente relacionado con los fallos de los sistemas internos por sobretensiones inducidas en las líneas que entran en la estructura. En todos los casos podrían producirse pérdidas del tipo L2 y L4, junto con pérdidas del tipo L1 en aquellos casos de estructuras con riesgo de explosión y hospitales u otras estructuras en las que el fallo de los sistemas internos ponga en peligro inmediato la vida humana.

NOTA Los servicios que se tienen en cuenta en esta evaluación son solamente las líneas que entran en la estructura. Las descargas en tuberías o próximas a las tuberías no se consideran fuente de daño en base a su conexión equipotencial con la toma de tierra de la estructura. Si no está prevista una conexión equipotencial, debe considerarse la amenaza del daño.

A.1.2.5 Componentes del riesgo por descargas cerca de una línea conectada a la estructura

R_Z: Componente relacionado con los fallos de los sistemas internos causados por sobretensiones inducidas en las líneas que entran y se transmiten a la estructura. En todos los casos podrían producirse pérdidas del tipo L2 y L4, junto con pérdidas de tipo L1 en aquellos casos de estructuras con riesgo de explosión y hospitales u otras estructuras en las que el fallo de los sistemas internos ponga en peligro inmediato la vida humana.

NOTA Los servicios que se tienen en cuenta en esta evaluación son solamente las líneas que entran en la estructura. Las descargas en tuberías o próximas a las tuberías no se consideran fuente de daño en base a su conexión equipotencial con la toma de tierra de la estructura. Si no está prevista una conexión equipotencial, debe considerarse la amenaza del daño.

A.1.3 Composición de los componentes del riesgo

Los componentes del riesgo a considerar para cada tipo de pérdidas son los que se indican a continuación:

R₁: Riesgo de pérdida de vida humana:

$$R_1 = R_A + R_B + R_C^{1)} + R_M^{1)} + R_U + R_V + R_W^{1)} + R_Z^{1)} \quad (\text{A.1})$$

R₂: Riesgo de pérdida de servicio público:

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (\text{A.2})$$

R₃: Riesgo de pérdida de patrimonio cultural:

$$R_3 = R_B + R_V \quad (\text{A.3})$$

R₄: Riesgo de pérdida de valor económico:

$$R_4 = R_A^{2)} + R_B + R_C + R_M + R_U^{2)} + R_V + R_W + R_Z \quad (\text{A.4})$$

Las combinaciones de las componentes del riesgo para cada tipo de pérdidas están también indicadas en la tabla A.2.

Tabla A.2 – Componentes del riesgo a considerar para cada tipo de pérdidas

Fuente del daño	Descargas en la estructura			Descargas cerca de la estructura	Descargas en una línea conectada a la estructura			Descargas cerca de una línea conectada a la estructura
	S1				S2	S3		
Componente del riesgo Riesgo para cada tipo de pérdidas	R _A	R _B	R _C	R _M	R _U	R _V	R _W	R _Z
R ₁	X	X	X ¹⁾	X ¹⁾	X	X	X ¹⁾	X ¹⁾
R ₂		X	X	X		X	X	X
R ₃		X				X		
R ₄	X ²⁾	X	X	X	X ²⁾	X	X	X

NOTA Los sistemas de detección de tormentas eléctricas que cumplan con la Norma UNE-EN 50536 pueden complementar el sistema interno y externo de protección contra el rayo.

A.2 Evaluación de riesgos

A.2.1 Procedimiento básico

Se debe aplicar el procedimiento siguiente:

- identificación del objeto a proteger y sus características;
- identificación en el objeto de todos los tipos de pérdidas y del riesgo asociado R (R₁ a R₄);

1) Solo para estructuras con riesgo de explosión y hospitales con equipos de reanimación eléctrica u otras estructuras en las que el fallo de los sistemas internos ponga en peligro inmediato la vida humana.

2) Sólo para propiedades donde puede producirse pérdida de animales.

- evaluación del riesgo R para cada tipo de pérdidas (R_1 a R_4);
- evaluación de la necesidad de protección mediante la comparación de los riesgos R_1 , R_2 y R_3 con el riesgo tolerable R_T .
- evaluación del rendimiento económico del coste de la protección en relación al coste total de las pérdidas con y sin medidas de protección. En este caso, la evaluación de las componentes de riesgo R_4 debe hacerse para evaluar tal coste.

A.2.2 Estructura a considerar para la evaluación del riesgo

La estructura que hay que considerar está formada por:

- la propia estructura;
- las instalaciones en la estructura;
- contenido de la estructura;
- personas en la estructura o de pie en una zona exterior a la estructura hasta una distancia de 3 m de la estructura;
- ambiente afectado por un daño a la estructura.

La protección no incluye los servicios conectados en el exterior de la estructura.

NOTA La estructura considerada puede subdividirse en varias zonas (véase A.3.7).

A.2.3 Riesgo tolerable R_T

Es responsabilidad de la autoridad competente identificar el valor del riesgo tolerable.

Cuando las descargas atmosféricas implican la pérdida de vida humana o la pérdida de valor social o cultural, los valores representativos de riesgo tolerable R_T están indicados en la tabla A.3.

Tabla A.3 – Valores típicos del riesgo tolerable R_T

Tipos de pérdidas	R_T (años ⁻¹)
Pérdida de vida humana o daños permanentes	10^{-5}
Pérdida de servicio público	10^{-3}
Pérdida de patrimonio cultural	10^{-3}

A.2.4 Procedimiento para evaluar la necesidad de protección

Para evaluar la necesidad de protección contra el rayo en una estructura deben considerarse los riesgos R_1 , R_2 , R_3 y R_4 .

Para cada riesgo deben darse los siguientes pasos:

- determinar las componentes R_X , que constituyen el riesgo;
- calcular las componentes del riesgo R_X ;
- calcular el riesgo total R (véase A.1.2);
- determinar el riesgo tolerable R_T ;
- comparar el riesgo R con el riesgo tolerable R_T .

Si $R \leq R_T$, no es necesaria protección contra el rayo.

Si $R > R_T$, deben tomarse medidas de protección para reducir $R \leq R_T$ para todos los riesgos a los que está sometido el objeto.

A.2.5 Procedimiento para evaluar la rentabilidad económica de la protección

Además de la necesidad de la protección contra el rayo en una estructura puede ser de utilidad, al objeto de reducir las pérdidas económicas L_4 , establecer los beneficios económicos de la instalación de las medidas de protección.

La evaluación de las componentes de riesgo R_4 de una estructura permite a los usuarios evaluar el coste económico de las pérdidas con o sin medidas de protección.

El procedimiento para determinar la rentabilidad económica de la protección requiere:

- la identificación de los componentes R_x que forman el riesgo R_4 en una estructura;
- el cálculo de los componentes del riesgo R_x identificados en ausencia de medidas de protección nuevas/adicionales;
- el cálculo del coste anual de las pérdidas para cada componente del riesgo R_x ;
- el cálculo del coste anual C_L de las pérdidas totales sin medidas de protección;
- la adopción de las medidas de protección seleccionadas;
- el cálculo de los componentes del riesgo R_x con las medidas de protección seleccionadas;
- el cálculo, para cada componente del riesgo, del coste anual de las pérdidas residuales en la estructura o servicio protegido;
- el cálculo del coste total anual C_{RL} de las pérdidas residuales con las medidas de protección seleccionadas;
- el cálculo del coste anual C_{PM} de las medidas de protección;
- comparación de costes.

Si $C_L < C_{RL} + C_{PM}$ las medidas de protección contra el rayo no pueden considerarse rentables;

Si $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$ las medidas de protección contra el rayo pueden ahorrar dinero a lo largo de la vida de la estructura.

A.2.6 Selección de las medidas de protección

La selección de las medidas de protección más adecuadas debe hacerla el diseñador distribuyendo cada componente del riesgo en el riesgo total R y teniendo en cuenta los aspectos técnicos y económicos de las diferentes medidas de protección.

Deben identificarse los parámetros críticos al objeto de determinar las medidas más eficaces para reducir el riesgo R .

Para cada tipo de pérdidas hay distintas medidas de protección que, individualmente o combinadas, cumplen con la condición $R \leq R_T$. La solución que se adopte debe hacerse teniendo en cuenta los aspectos técnicos y económicos. Un procedimiento simplificado para la selección de las medidas de protección está indicado en el diagrama de flujos de la figura A.1. En cualquier caso, el instalador o el proyectista debería identificar los componentes del riesgo más críticos y reducirlos, teniendo en cuenta también los aspectos económicos.

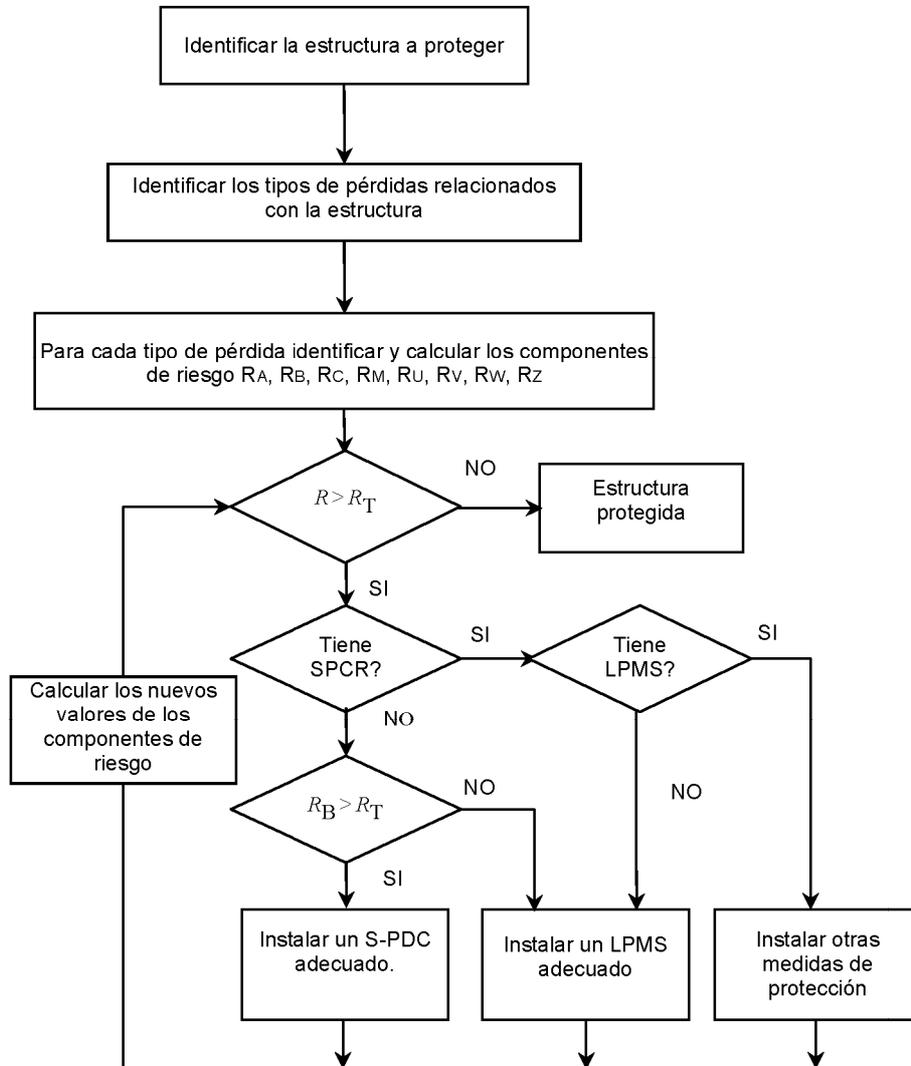


Figura A.1 – Procedimiento para seleccionar las medidas de protección en estructuras

A.3 Evaluación de las componentes del riesgo

A.3.1 Ecuación básica

Cada componente del riesgo R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W y R_Z , tal como se describen en el apartado A.1.2, puede expresarse por medio de la ecuación general siguiente:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (\text{A.5})$$

donde

N_X es el número de sucesos peligrosos al año (véase A.4);

P_X es la probabilidad de daños en una estructura (véase A.5);

L_X es la pérdida consiguiente (véase A.6).

NOTA 1 El número de sucesos peligrosos, N_X , depende de la densidad de descargas a tierra (N_g) y de las características físicas del objeto a proteger, las de sus alrededores y las del terreno.

NOTA 2 La probabilidad de daño, P_X , depende de las características del objeto a proteger y de las medidas de protección adoptadas.

NOTA 3 La pérdida consiguiente, L_X , depende del uso asignado al objeto, la presencia de personas, el tipo de servicio prestado al público, el valor de las cosas afectadas por el daño y las medidas tomadas para limitar el montante de las pérdidas.

A.3.2 Evaluación de las componentes del riesgo por descargas en una estructura (S1)

Para evaluar las componentes del riesgo por descargas atmosféricas en una estructura, se aplican las siguientes relaciones:

- componente relacionada con los daños a los seres vivos (D1)

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (\text{A.6})$$

- componente relacionada con los daños físicos (D2)

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (\text{A.7})$$

- componente relacionada con los fallos de los sistemas internos (D3)

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (\text{A.8})$$

Los parámetros para evaluar los componentes del riesgo están indicados en la tabla A.4.

A.3.3 Evaluación de las componentes del riesgo por descargas cerca de una estructura (S2)

Para evaluar las componentes del riesgo por descargas atmosféricas cerca de una estructura, se aplican las siguientes relaciones:

- componente relacionada con los fallos de los sistemas internos (D3)

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (\text{A.9})$$

Los parámetros para evaluar los componentes del riesgo están indicados en la tabla A.4.

A.3.4 Evaluación de las componentes del riesgo por descargas en una línea conectada a la estructura (S3)

Para evaluar las componentes del riesgo por descargas atmosféricas en una línea entrante, se aplican las siguientes relaciones:

- componente relacionada con los daños a los seres vivos (D1)

$$R_U = (N_L + N_{Da}) \times P_U \times L_U \quad (\text{A.10})$$

- componente relacionada con los daños físicos (D2)

$$R_V = (N_L + N_{Da}) \times P_V \times L_V \quad (\text{A.11})$$

- componente relacionada con los fallos de los sistemas internos (D3)

$$R_W = (N_L + N_{Da}) \times P_W \times L_W \quad (\text{A.12})$$

Los parámetros para evaluar los componentes del riesgo están indicados en la tabla A.4.

Si la línea tiene más de una sección, los valores de R_U , R_V y R_W son la suma de los valores R_U , R_V y R_W correspondientes a cada sección de la línea. Las secciones a considerar son las que se encuentran entre la estructura y el primer nudo de distribución.

En el caso de una estructura con más de una línea conectada y con diferentes trazados, deben hacerse los cálculos para cada línea.

A.3.5 Evaluación de las componentes del riesgo por descargas cerca una línea conectada a la estructura (S4)

Para evaluar las componentes del riesgo por descargas atmosféricas cerca de una línea conectada a la estructura, se aplican las siguientes relaciones:

- componente relacionada con los fallos de los sistemas internos (D3)

$$R_Z = (N_I - N_L) \times P_Z \times L_Z \quad (\text{A.13})$$

Los parámetros para evaluar los componentes del riesgo están indicados en la tabla A.4.

Si la línea tiene más de una sección, el valor de R_Z es la suma de los componentes R_Z correspondientes a cada sección. Las secciones a considerar son las que se encuentran entre la estructura y el primer nudo de distribución.

En el caso de una estructura con más de una línea conectada y con diferentes trazados deben hacerse los cálculos para cada línea.

Si $(N_I - N_L) < 0$, se considera que $(N_I - N_L) = 0$.

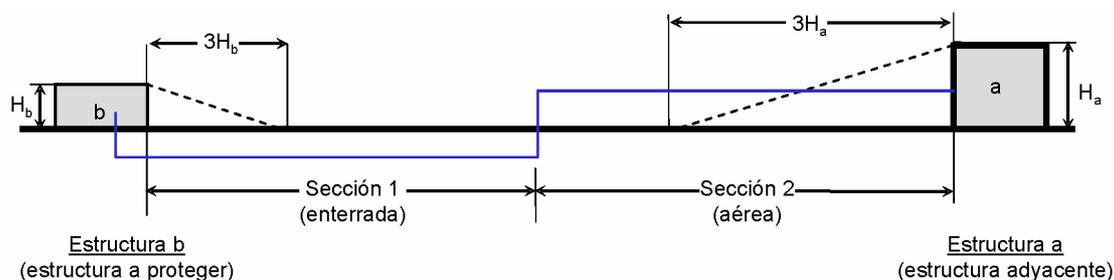


Figura A.2 – Estructuras en los extremos de las líneas: en el extremo “b” se encuentra la estructura a proteger (estructura b) y en el “a” una estructura adyacente (estructura a)

A.3.6 Resumen de los componentes del riesgo en una estructura

Los componentes del riesgo en una estructura en función de los diferentes tipos de daños y las diferentes fuentes de daños, están resumidos en la tabla A.4.

Tabla A.4 – Componentes del riesgo en una estructura en función de los diferentes tipos de daños y de las diferentes fuentes de daños

Fuente del daño	Descargas en la estructura	Descargas cerca de la estructura	Descargas en una línea conectada a la estructura	Descargas cerca de una línea conectada a la estructura
Daño	S1	S2	S3	S4
D1 Lesiones a seres vivos	$R_A = N_D \times P_A \times r_a \times L_t$		$R_U = (N_L + N_{Da}) \times P_U \times r_u \times L_t$	
D2 Daños físicos	$R_B = N_D \times P_B \times r_p \times h_z \times r_f \times L_f$		$R_V = (N_L + N_{Da}) \times P_V \times r_p \times h_z \times r_f \times L_f$	
D3 Daños a los sistemas eléctricos y electrónicos	$R_C = N_D \times P_C \times L_o$	$R_M = N_M \times P_M \times L_o$	$R_W = (N_L + N_{Da}) \times P_W \times L_o$	$R_Z = (N_I - N_L) \times P_Z \times L_o$

Si la estructura está dividida en zonas Z_S (véase A.3.7), debe valorarse cada componente del riesgo en cada zona.

El riesgo total R de la estructura es la suma de los componentes del riesgo asociados a las zonas Z_S que constituyen la estructura.

A.3.7 Partición de la estructura en zonas Z_S

Para evaluar cada componente del riesgo, una estructura puede dividirse en zonas Z_S de características homogéneas. Sin embargo, una estructura puede ser o puede considerarse como una sola zona.

Las zonas Z_S están definidas principalmente por:

- el tipo de terreno o suelo (componente del riesgo R_A y R_U);
- los compartimentos contra el fuego (componente del riesgo R_B y R_V);
- las pantallas espaciales (componente del riesgo R_C y R_M).

Pueden definirse otras zonas de acuerdo a:

- distribución de los sistemas internos (componente del riesgo R_C y R_M);
- medidas de protección existentes o previstas (todos los componentes del riesgo);
- valor de las pérdidas L_X (todos los componentes del riesgo).

La partición de la estructura en zonas Z_S debería hacerse teniendo en cuenta la posibilidad de implementar las medidas de protección más convenientes.

A.3.8 Evaluación de los componentes del riesgo en una estructura con zonas Z_S

Las reglas para evaluar los componentes del riesgo dependen del tipo de riesgo.

A.3.8.1 Riesgos R1, R2, R3 y R4

A.3.8.1.1 Estructura con una zona única

En este caso solo está definida una zona Z_S coincidente con la estructura. De acuerdo con el apartado A.1.3, el riesgo R es la suma de los componentes del riesgo R_X . Para la evaluación de los componentes del riesgo y la elección de los parámetros apropiados, se aplican las reglas siguientes:

- los parámetros relativos al número N de sucesos peligrosos deben evaluarse de acuerdo con el capítulo A.4;
- los parámetros relativos a la probabilidad P de daños deben evaluarse de acuerdo con el capítulo A.5.

Además:

- Para los componentes R_A , R_B , R_U , R_V , R_W y R_Z se fija un solo valor para los parámetros involucrados. Cuando pueda aplicarse más de un valor, debe elegirse el de mayor valor.
- Para los componentes R_C y R_M , si en la zona hay más de un sistema interno involucrado, los valores de P_C y P_M vienen dados por:

$$P_C = 1 - (1 - P_{C1}) \times (1 - P_{C2}) \times (1 - P_{C3}) \quad (\text{A.14})$$

$$P_M = 1 - (1 - P_{M1}) \times (1 - P_{M2}) \times (1 - P_{M3}) \quad (\text{A.15})$$

donde P_{Ci} y P_{Mi} son los parámetros relativos al sistema interno i .

- Los parámetros relativos a la cantidad de pérdidas L deben evaluarse de acuerdo con el capítulo A.6.

De acuerdo con el uso de la estructura, pueden considerarse en la zona los valores típicos medios del capítulo A.6.

Si en una zona existe más de un valor para cualquier parámetro, con excepción de P_C y P_M , debe tomarse el valor del parámetro que dé lugar al mayor valor del riesgo.

Definir la estructura como una zona única puede dar lugar a medidas de protección costosas, debido a que cada medida debe extenderse a toda la estructura.

A.3.8.1.2 Estructura con zonas múltiples

En este caso, la estructura se divide en diferentes zonas Z_S . El riesgo de la estructura es la suma de los riesgos relativos a cada una de las zonas; en cada zona el riesgo es la suma de todos los componentes del riesgo de la zona.

Para la evaluación de los componentes del riesgo y la elección de los parámetros apropiados, se aplican las reglas del apartado A.3.8.1.1.

La división de la estructura en zonas permite al proyectista, en la evaluación de los componentes del riesgo y en la selección de las medidas de protección más apropiadas zona por zona, tener en cuenta las características de cada parte de la estructura reduciendo el coste total de la protección contra el rayo.

A.4 Evaluación del número anual n de sucesos peligrosos

A.4.1 Generalidades

El valor medio anual N de sucesos peligrosos por descargas de rayos que afectan a un objeto a proteger depende de la actividad tormentosa de la región en la que se encuentra el objeto y de las características físicas del objeto. Para calcular el número N , está generalmente aceptado multiplicar la densidad de descargas a tierra N_g , por la superficie de captación equivalente del objeto, teniendo en cuenta los factores de corrección debidos a las características físicas del objeto.

La densidad de descargas a tierra N_g es el número de descargas por año y km^2 . Este valor puede obtenerse, en muchas partes del mundo, a partir de las redes de localización de descargas.

NOTA Si no se dispone de un mapa de N_g , puede estimarse en las regiones templadas mediante la expresión:

$$N_g \approx 0,1 T_d \quad (\text{A.16})$$

donde T_d es el número de días de tormentas al año (puede obtenerse de los mapas isoceráunicos).

Los sucesos que pueden considerarse peligrosos para una estructura a proteger son los siguientes:

- descargas en la estructura;
- descargas cerca de la estructura;
- descargas en un servicio que entra en la estructura;
- descargas cerca de un servicio que entra en la estructura;
- descargas en una estructura a la que está conectado el servicio.

Se puede utilizar un método simplificado en estructuras donde:

- El riesgo de incendio es bajo o normal.
- El riesgo de incendio es alto pero con bajo peligro de pánico.
- No existe riesgo de explosión.
- No existe riesgo para el entorno.
- No es un hospital.

A.4.2 Evaluación del valor medio anual de sucesos peligrosos por descargas en una estructura N_D y por descargas en una estructura conectada al extremo “a” de una línea N_{Da}

A.4.2.1 Determinación de la superficie de captación A_d

La superficie de captación A_d se define, para estructuras aisladas en un terreno llano, por la intersección entre la superficie del terreno y una línea recta de pendiente 1/3 que pasa por la parte superior de la estructura (tocándola en ese punto) y girando alrededor de ella. El valor de A_d puede determinarse matemáticamente o gráficamente.

A.4.2.1.1 Estructura rectangular

La superficie de captación de una estructura rectangular aislada de longitud L , anchura W y altura H , situada en un terreno llano, es igual a:

$$A_d = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times \pi \times H^2 \quad (\text{A.17})$$

donde L , W y H se expresan en metros (véase la figura A.3).

NOTA Una evaluación más precisa se podría obtener considerando la altura relativa de la estructura con respecto a los objetos circundantes o al suelo dentro de una distancia de $3H$ desde la estructura.

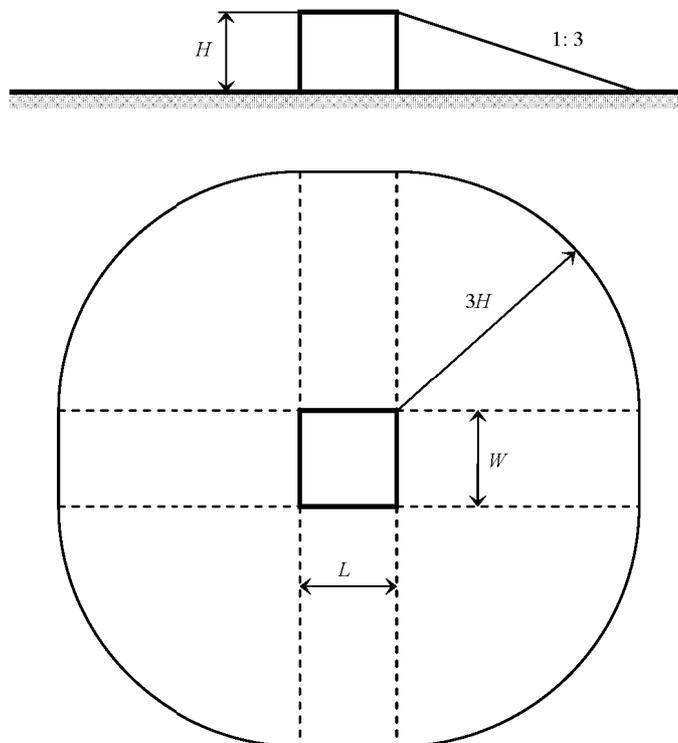


Figura A.3 – Superficie de captación A_d de una estructura aislada

A.4.2.1.2 Estructura de forma compleja

Si una estructura tiene una forma compleja, como un techo en punta elevada (véase la figura A.4), debería emplearse un método gráfico para evaluar A_d (véase la figura A.5), ya que las diferencias pueden ser muy grandes si se emplean las dimensiones máximas ($A_{d\text{máx.}}$) o mínimas ($A_{d\text{mín.}}$).

Un valor aproximado aceptable para la superficie de captación es el valor máximo entre $A_{d\text{mín.}}$ y la superficie de captación que corresponde a elemento prominente en el tejado A'_d . A'_d puede calcularse mediante la expresión:

$$A'_d = 9 \times \pi \times (H_p)^2 \quad (\text{A.18})$$

donde H_p es la altura del punto prominente.

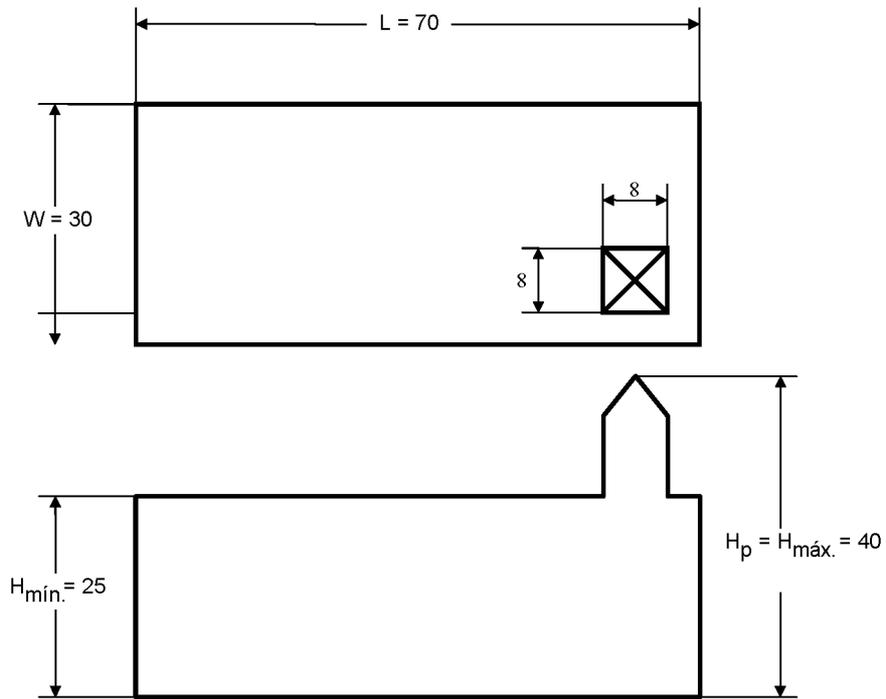


Figura A.4 – Estructura de forma compleja

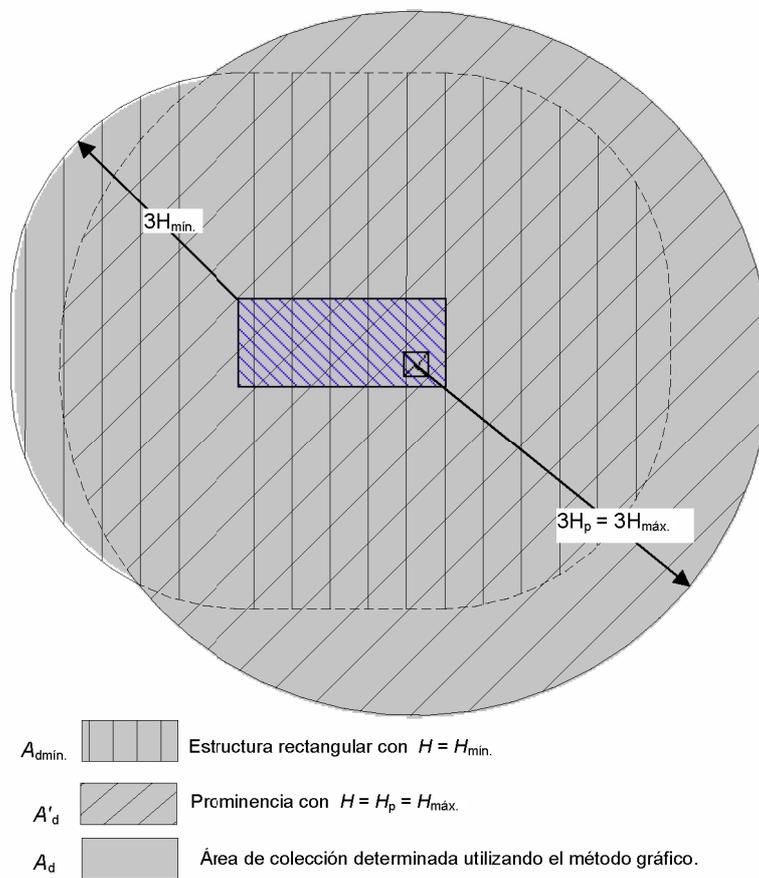


Figura A.5 – Diferentes métodos para determinar la superficie de captación de la estructura de la figura A.4

A.4.2.1.3 Estructura formando parte de un edificio

Cuando la estructura S considerada forma parte de un edificio B, las dimensiones de la estructura S pueden emplearse en la evaluación de Ad si se cumplen las condiciones siguientes (véase la figura A.6):

- la estructura S es una parte vertical separada del edificio B;
- el edificio B no tiene riesgo de explosión;
- la propagación del fuego entre la estructura S y otras partes del edificio B está impedida durante 120 min (REI 120) mediante paredes resistentes al fuego o por otras medidas de protección;
- la propagación de sobretensiones a lo largo de las líneas comunes, si las hay, está impedida mediante dispositivos de protección contra sobretensiones en el punto de entrada de esas líneas en la estructura o mediante otra medida de protección equivalente.

NOTA Para la definición e información del REI ver el Diario Oficial de la Unión Europea, 1994/28/02. n. C 62/63.

Cuando estas condiciones no se cumplen deberían emplearse las dimensiones totales del edificio B.

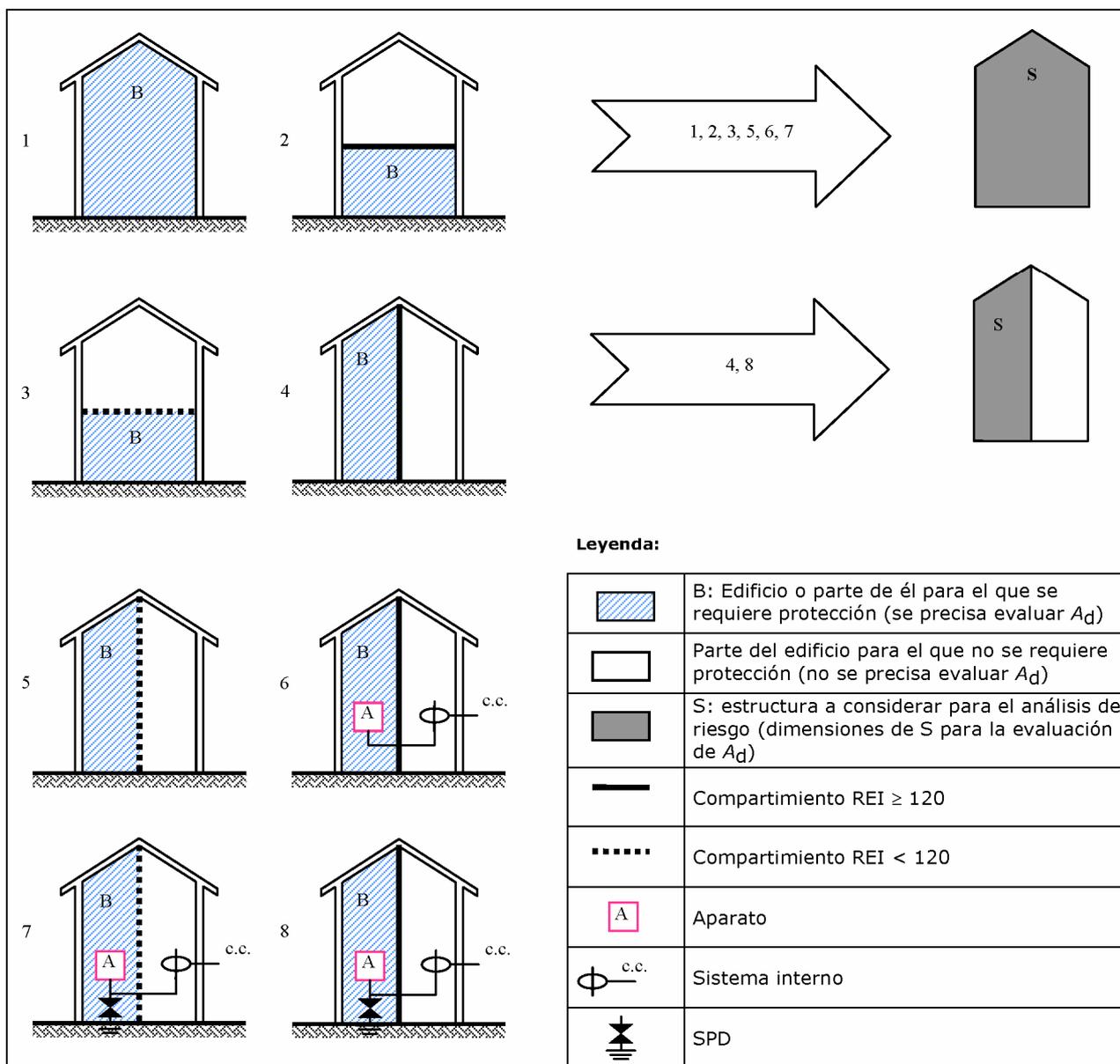


Figura A.6 – Estructura a considerar para la evaluación del área de colección A_d

A.4.2.2 Localización relativa de la estructura

La situación relativa de la estructura en relación con los objetos que la rodean, o de lo expuesto del lugar en que se encuentre, debe tenerse en cuenta mediante un factor de localización C_d (véase tabla A.5).

Tabla A.5 – Factor de localización C_d

Posición relativa	C_d
Objeto rodeado por objetos más altos o por árboles	0,25
Objeto rodeado por objetos o árboles de la misma altura o más pequeños	0,5
Objeto aislado: sin otros objetos en las proximidades	1
Objeto aislado en la parte superior de una colina o de un montículo	2

A.4.2.3 Número de sucesos peligrosos N_D para una estructura (extremo “b” de una línea)

N_D puede evaluarse como el producto:

$$N_D = N_g \times A_{d/b} \times C_{d/b} \times 10^{-6} \quad (19)$$

donde

N_g es la densidad de descargas atmosféricas a tierra (1/km²/año);

$A_{d/b}$ es la superficie de captación de la superficie aislada (m²), (véase la figura A.7);

$C_{d/b}$ es el factor de localización de la estructura (véase la tabla A.5).

A.4.2.4 Número de sucesos peligrosos N_{Da} para una estructura adyacente (extremo “a” de una línea)

El valor medio anual de sucesos peligrosos por descargas en una estructura en el extremo “a” de una línea N_{Da} (véanse el apartado A.3.5 y la figura A.2) puede evaluarse como el producto:

$$N_{Da} = N_g \times A_{d/a} \times C_{d/a} \times C_t \times 10^{-6} \quad (A.20)$$

donde

N_g es la densidad de descargas atmosféricas a tierra (1/km²/año);

$A_{d/a}$ es la superficie de captación de la superficie adyacente aislada (m²) (véase la figura A.7);

$C_{d/a}$ es el factor de localización de la estructura adyacente (véase la tabla A.5);

C_t es el factor de corrección por la presencia de un transformador AT/BT en el servicio al que está conectado la estructura y situado entre el punto de impacto y la estructura (véase la tabla A.7). Este factor se aplica en las secciones de las líneas aguas arriba del transformador en relación a la estructura.

A.4.3 Evaluación del valor medio anual de sucesos peligrosos por descargas cerca de una estructura N_M

N_M puede evaluarse como el producto:

$$N_M = N_g \times (A_m - A_{d/b} C_{d/b}) \times 10^{-6} \quad (A.21)$$

donde

N_g es la densidad de descargas atmosféricas a tierra (1/km²/año);

A_m es la superficie de captación de las descargas que impactan cerca de la estructura (m²).

La superficie de captación A_m se extiende hasta una línea situada a una distancia de 250 m desde el perímetro de la estructura (véase la figura A.7).

Si $N_M < 0$, debe considerarse $N_M = 0$ en la evaluación.

A.4.4 Evaluación del valor medio anual de sucesos peligrosos por descargas en una línea N_L

Para un servicio de una sola sección, N_L puede evaluarse mediante:

$$N_L = N_g \times A_l \times C_d \times C_t \times 10^{-6} \quad (A.22)$$

donde

N_g es la densidad de descargas atmosféricas a tierra ($1/\text{km}^2/\text{año}$);

A_l es la superficie de captación de las descargas que impactan en la línea (m^2), (véanse la tabla A.6 y la figura A.7);

C_d es el factor de localización del servicio (véase la tabla A.5);

C_t es el factor de corrección por la presencia de un transformador AT/BT en la línea a la que está conectada la estructura y situado entre el punto de impacto y la estructura (véase la tabla A.4). Este factor se aplica en las secciones de las líneas aguas arriba del transformador en relación a la estructura.

Tabla A.6 – Superficies de captación A_l y A_i en función de las características de la línea

	Aéreo	Enterrado
A_l	$[L_c - 3(H_a + H_b)] 6 H_c$	$[L_c - 3(H_a + H_b)] \sqrt{\rho}$
A_i	$1\ 000 L_c$	$25 L_c \sqrt{\rho}$

donde

A_l es la superficie de captación de las descargas que impactan en la línea (m^2);

A_i es la superficie de captación de las descargas a tierra cerca de la línea (m^2);

H_c es la altura de los conductores de la línea sobre el terreno (m);

L_c es la longitud de la sección de la línea desde la estructura hasta el primer nudo (m). Debería considerarse una longitud máxima $L_c = 1\ 000$ m;

H_a es la altura de la estructura conectada al extremo “a” de la línea (m);

H_b es la altura de la estructura conectada al extremo “b” de la línea (m);

ρ es la resistividad del terreno en el que está enterrada la línea ($\Omega\cdot\text{m}$). Debería considerarse un valor máximo $\rho = 500\ \Omega\cdot\text{m}$.

Al objeto de este cálculo:

- cuando no se conozca el valor de L_c , se considera $L_c = 1\ 000$ m;
- cuando no se conozca el valor de la resistividad del terreno, se considera $\rho = 500\ \Omega\cdot\text{m}$;
- para cables subterráneos situados en su totalidad en una instalación de puesta a tierra muy mallada, puede considerarse como superficie equivalente de captación $A_l = A_i = 0$;
- la estructura a proteger debe considerarse conectada al extremo “b” del servicio.

NOTA Más información sobre las superficies de captación A_l y A_i , puede encontrarse en las Recomendaciones ITU K.46 y K.47.

Tabla A.7 – Factor del transformador C_t

Transformador	C_t
Servicio con un transformador de dos arrollamientos	0,2
Solamente el servicio	1

A.4.5 Evaluación del valor medio anual de sucesos peligrosos por descargas cerca de la línea N_I

Para una línea de una sola sección (aérea, subterránea, apantallada, no apantallada, etc.), N_I puede evaluarse mediante:

$$N_I = N_g \times A_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6} \quad (\text{A.23})$$

donde

N_g es la densidad de descargas atmosféricas a tierra ($1/\text{km}^2/\text{año}$);

A_i es la superficie de captación de las descargas a tierra cerca de la línea (m^2), (véanse la tabla A.6 y la figura A.7);

C_e es el factor ambiental (véase la tabla A.8);

C_t es el factor de corrección por la presencia de un transformador AT/BT en la línea a la que está conectada la estructura y situado entre el punto de impacto y la estructura (véase la tabla A.7). Este factor se aplica en las secciones de las líneas aguas arriba del transformador en relación a la estructura.

Tabla A.8 – Factor ambiental C_e

Entorno	C_e
Urbano con edificios altos ¹⁾	0
Urbano ²⁾	0,1
Suburbano ³⁾	0,5
Rural	1

1) Altura de los edificios superior a 20 m.
2) Altura de los edificios entre 10 m y 20 m.
3) Altura de los edificios inferior a 10 m.

NOTA La superficie de captación de la línea A_i se define por su longitud L_c y la distancia lateral D_i (véase la figura A.7) a la que la descarga puede producir sobretensiones inducidas no inferiores a 1,5 kV.

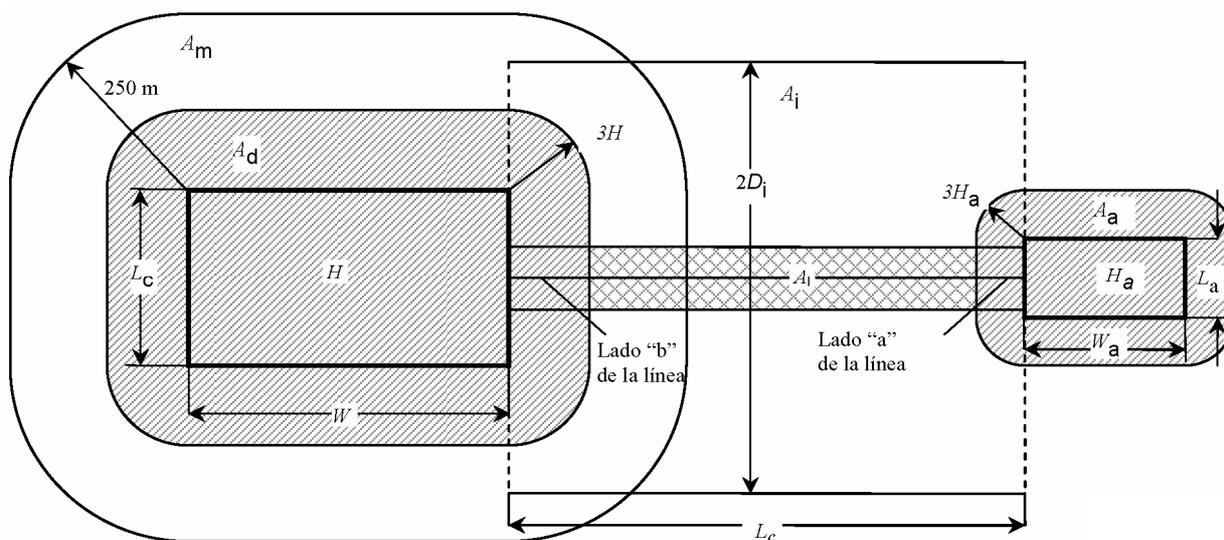


Figura A.7 – Superficies de captación (A_d , A_m , A_i , A_j)

A.5 Evaluación de la probabilidad de daños P_X en una estructura

Las probabilidades dadas en este anexo son válidas si las medidas de protección están conformes con las normas aplicables.

Solamente pueden elegirse probabilidades P_X inferiores a 1, si la medida o la característica es válida para toda la estructura o la zona (Z_s) a proteger y para todo el equipamiento.

A.5.1 Probabilidad P_A de que una descarga en la estructura produzca daños a los seres vivos

En la tabla A.9 se indican, en función de las medidas de protección adoptadas, los valores de la probabilidad P_A de que una descarga en la estructura produzca impactos en los seres vivos por tensiones de paso y de contacto.

Tabla A.9 – Valores de la probabilidad P_A de que una descarga en la estructura produzca impactos en los seres vivos por tensiones de paso y de contacto

Medidas de protección	P_A
Sin medidas de protección	1
Aislamiento eléctrico de los conductores expuestos (por ejemplo, al menos 3 mm de polietileno reticulado)	10^{-2}
Equipotencialización efectiva del terreno	10^{-2}
Señales de aviso	10^{-1}

Si se ha tomado más de una previsión, el valor de P_A es el producto de los valores correspondientes de P_A .

NOTA La probabilidad P_A se considera despreciable cuando se emplean como conductores de bajada las armaduras metálicas, el acero del hormigón armado o se han tomado restricciones físicas.

A.5.2 Probabilidad P_B de que una descarga en la estructura produzca daños físicos

En la tabla A.10 se indican, en función del nivel de protección contra rayos (LPL), los valores de la probabilidad P_B de que una descarga en la estructura produzca daños físicos.

Tabla A.10 – Valores de P_B en función de las medidas de protección para reducir los daños físicos

Características de la estructura	Nivel de protección	P_B
Estructura no protegida por un S-PDC	–	1
Estructura protegida por un S-PDC	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Nivel I+		0,01
Nivel I++		0,001

A.5.3 Probabilidad P_C de que una descarga en la estructura produzca fallos de los sistemas internos

La probabilidad P_C de que una descarga en una estructura produzca un fallo de los sistemas internos depende de la coordinación adoptada para los dispositivos de protección contra sobretensiones.

$$P_C = P_{SPD} \quad (A.24)$$

En la tabla A.11 se indican los valores de P_{SPD} en función del nivel de protección adoptado.

Tabla A.11 – Valores de la probabilidad P_{SPD} en función del nivel de protección para el que se han diseñado los dispositivos de protección contra sobretensiones

Nivel de protección	P_{SPD}
Sin protección coordinada de SPD	1
III-IV	0,03
II	0,02
I	0,01
NOTA: 3	0,005 – 0,001

NOTA 1 Solo la protección coordinada mediante SPDs es adecuada como medida para reducir P_C . Además es efectiva para reducir P_C solamente en estructuras con S-PDC o en estructuras con armaduras metálicas continuas o con armaduras de hormigón armado actuando como sistema de protección contra el rayo natural, siempre que se cumplan los criterios de equipotencialización y de puesta a tierra.

NOTA 2 El apantallamiento de los sistemas internos conectados a las líneas externas, formado por cables con pantallas metálicas, o por sistemas de cables en conductos o tubos metálicos, pueden no precisar de la protección coordinada con SPDs.

NOTA 3 Son posibles valores más pequeños de P_{SPD} en el caso de que las características de los dispositivos de protección contra sobretensiones (mayor capacidad de soportar corrientes, menor nivel de protección, etc.) sean superiores a los requisitos del Nivel de Protección I en los diferentes puntos de la instalación.

A.5.4 Probabilidad P_M de que una descarga cerca de la estructura produzca fallos de los sistemas internos

La probabilidad P_M de que una descarga en una estructura produzca fallos de los sistemas internos depende de las medidas de protección adoptadas contra el rayo en función del factor K_{MS} .

Cuando no se ha llevado a cabo la coordinación de los SPDs de acuerdo con la Norma UNE-EN 61643-11 y la Especificación Técnica CLC/TS 61643-12, el valor de P_M es igual al de P_{MS} .

En la tabla A.12 se dan los valores de P_{MS} en función de K_{MS} , donde K_{MS} es el factor relacionado con el rendimiento de las medidas de protección adoptadas.

Cuando se ha realizado la coordinación de los SPDs de acuerdo con la Norma UNE-EN 61643-11 y el Informe CLC/TS 61643-12, el valor de P_M es el valor más bajo entre P_{SPD} y P_{MS} .

Tabla A.12 – Valor de la probabilidad P_{MS} en función del factor K_{MS}

K_{MS}	P_{MS}
$\geq 0,4$	1
0,15	0,9
0,07	0,5
0,035	0,1
0,021	0,01
0,016	0,005
0,015	0,003
0,014	0,001
$\leq 0,013$	0,000 1

Debe considerarse $P_{MS} = 1$ en los sistemas internos cuyos equipos no responden a las normas de producto aplicables en materia de resistividad o tensión soportada.

El valor de K_{MS} se obtiene a partir del producto:

$$K_{MS} = K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4} \quad (\text{A.25})$$

donde

K_{S1} tiene en cuenta la eficacia del apantallamiento de la estructura, del SPCR o de otras pantallas en el límite de la zona LPZ 0/1;

K_{S2} tiene en cuenta la eficacia del apantallamiento de las pantallas internas de la estructura en el límite de la zona LPZ X/Y ($X > 0$, $Y > 1$);

K_{S3} tiene en cuenta las características del cableado interno (véase la tabla A.13);

K_{S4} tiene en cuenta la capacidad, del sistema a proteger, de soportar impulsos de tensión.

NOTA Las zonas de protección contra el rayo (LPZ) se definen como:

LPZ 0_A: Zona externa y con peligro de impactos directos del rayo.

LPZ 0_B: Zona externa pero dentro del radio de protección del sistema de protección contra el rayo y, por tanto, protegida contra un impacto directo.

LPZ 1: Zona interna, donde las sobretensiones están limitadas por el reparto de corriente, por protectores en la entrada y, a veces, por apantallamientos.

LPZ 2...n: Zonas internas con sobretensiones todavía más limitadas por el reparto de corriente y por protectores contra sobretensiones en la entrada.

En el interior de una zona de protección (LPZ), y a una distancia de seguridad desde el límite de la pantalla al menos igual al ancho de la malla w , pueden evaluarse los factores K_{S1} y K_{S2} para el SPCR o para las pantallas espaciales como:

$$K_{S1} = K_{S2} = 0,12 \times w \quad (\text{A.26})$$

donde $w(m)$ es el ancho de la malla de la pantalla espacial o de la malla de los conductores de bajada, o también la distancia entre las columnas metálicas de la estructura, o la distancia entre la armadura de hormigón armado, cuando actúan como sistema de protección contra el rayo natural.

Para pantallas metálicas continuas de espesores entre 0,1 mm y 0,5 mm, $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$ a 10^{-5} .

En los lugares en los que un bucle de inducción se encuentre cerca del límite de una LPZ, y si la distancia de los conductores a la pantalla es inferior a la distancia de seguridad, los valores de K_{S1} y de K_{S2} serán más altos. Por ejemplo, los valores de K_{S1} y de K_{S2} deberían valer el doble en los lugares en que la distancia a la pantalla va desde $0,1 w$ a $0,2 w$.

Para una cascada de LPZ, el valor de K_{S2} es el producto del K_{S2} correspondiente a cada zona.

NOTA 2 El valor máximo de K_{S1} está limitado a 1.

Tabla A.13 – Valor del factor K_{S3} en función del cableado interno

Tipo de cableado interno	K_{S3}
Cable sin apantallar – sin precauciones de cableado para evitar bucles ¹⁾	1
Cable sin apantallar – precauciones de cableado para evitar grandes bucles ²⁾	0,2
Cable sin apantallar – precauciones de cableado para evitar grandes bucles ³⁾	0,02
Cable apantallado con resistencia de la pantalla ⁴⁾ $5 < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	0,001
Cable apantallado con resistencia de la pantalla ⁴⁾ $1 < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,0002
Cable apantallado con resistencia de la pantalla ⁴⁾ $R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,0001
1) Bucles de conductores con diferentes trazados en edificios grandes (área del bucle del orden de 50 m ²). 2) Bucles de conductores situados en el mismo conducto o bucles con diferentes trazados en edificios pequeños (área del lazo del orden de 10 m ²). 3) Bucles de conductores en el mismo cable (área del lazo del orden de 0,5 m ²). 4) Cable con la pantalla de resistencia R_S (Ω/km) conectada en ambos extremos a la barra equipotencial y los equipos conectados a la misma barra equipotencial.	

Para los cableados en conductos metálicos continuos conectados en ambos extremos a la barra equipotencial, el valor de K_{S3} debe multiplicarse por 0,1.

El valor de K_{S4} se determina como:

$$K_{S4} = 1,5/U_w \quad (\text{A.27})$$

donde U_w es la tensión asignada soportada al impulso (kV), del sistema a proteger.

Si en un sistema interno hay diferentes aparatos con diferentes niveles de impulso, debe seleccionarse el factor K_{S4} correspondiente al menor nivel de impulso.

A.5.5 Probabilidad P_U de que una descarga en un servicio produzca daños a los seres vivos

Los valores de la probabilidad P_U de daños a los seres vivos por tensiones de contacto por la acción de una descarga en un servicio que entra en una estructura dependen de las características de la línea apantallada, de la tensión soportada al impulso de los sistemas internos conectados al servicio, de las medidas de protección adoptadas como restricciones físicas, avisos, etc. (véase la tabla A.9) y los dispositivos de protección contra sobretensiones previstos a la entrada del servicio.

Cuando los SPDs no están previstos para conexión equipotencial, el valor de P_U es igual al de P_{LD} , donde P_{LD} es la probabilidad de fallo de los sistemas internos debidos a una descarga en la línea conectada.

En la tabla A.14 se dan los valores de P_{LD} .

Cuando los SPDs están previstos para conexión equipotencial, el valor de P_U es el valor más pequeño de los valores de P_{SPD} (véase la tabla C.3) y P_{LD} .

NOTA Para reducir P_U no es necesaria una protección coordinada mediante SPDs de acuerdo con de acuerdo con la Norma UNE-EN61643-11 y la Especificación Técnica CLC/TS 61643-12. En este caso son suficientes los dispositivos de protección contra sobretensiones en las líneas.

Tabla A.14 – Valores de la probabilidad P_{LD} en función de la resistencia R_S de la pantalla del cable y de la tensión soportada a impulso U_W del equipamiento

U_W kV	$5 < R_S \leq 20$ Ω/km	$1 < R_S \leq 5$ Ω/km	$R_S \leq 1$ Ω/km
1,5	1	0,8	0,4
2,5	0,95	0,6	0,2
4	0,9	0,3	0,04
6	0,8	0,1	0,02

R_S (Ω/km): resistencia de la pantalla del cable.

Para un servicio sin apantallar se debe tomar $P_{LD} = 1$.

Cuando se proveen medidas de protección, tales como restricciones físicas, avisos, etc., la probabilidad P_U debe reducirse multiplicándola por los valores de P_A dados en la tabla A.9.

A.5.6 Probabilidad P_V de que una descarga en un servicio produzca daños físicos

Los valores de la probabilidad P_V de daños físicos por la acción de una descarga en un servicio que entra en una estructura dependen de las características de la línea apantallada, de la tensión soportada al impulso de los sistemas internos conectados al servicio y de los dispositivos de protección contra sobretensiones previstos.

Cuando los SPDs no están previstos para conexión equipotencial el valor de P_V es igual al de P_{LD} , donde P_{LD} es la probabilidad de fallo de los sistemas internos debidos a una descarga en la línea conectada.

En la tabla A.14 se dan los valores de P_{LD} .

Cuando los SPDs están previstos para conexión equipotencial, el valor de P_V es el valor más pequeño de los valores de P_{SPD} (tabla A.11) y P_{LD} (tabla A.14).

NOTA Para reducir P_V no es necesaria una protección coordinada mediante SPDs de acuerdo con la Norma UNE-EN 61643-11 y la Especificación Técnica CLC/TS 61643-12. En este caso son suficientes los dispositivos de protección contra sobretensiones en las líneas.

A.5.7 Probabilidad P_W de que una descarga en un servicio produzca fallos en los sistemas internos

Los valores de la probabilidad P_W de que una descarga en un servicio que entra en una estructura cause un fallo en los sistemas internos, dependen de las características del apantallamiento de la línea, de la tensión soportada al impulso de los sistemas internos conectados al servicio y de los dispositivos de protección contra sobretensiones previstos.

Cuando no está prevista la coordinación de los dispositivos de protección contra sobretensiones de acuerdo con la Norma UNE-EN 61643-11 y la Especificación Técnica CLC/TS 61643-12, el valor de P_W es igual al de P_{LD} , donde P_{LD} es la probabilidad de fallo de los sistemas internos debidos a una descarga en la línea conectada.

En la tabla A.14 se dan los valores de P_{LD} .

Cuando está prevista la coordinación de los dispositivos de protección contra sobretensiones de acuerdo con la Norma UNE-EN 61643-11 y la Especificación Técnica CLC/TS 61643-12, el valor de P_W es el valor más pequeño de los valores de P_{SPD} (tabla A.11) y P_{LD} (tabla A.14).

A.5.8 Probabilidad P_Z de que una descarga cerca de un servicio produzca fallos en los sistemas internos

Los valores de la probabilidad P_Z de que una descarga cerca de un servicio que entra en una estructura causará un fallo en los sistemas internos dependen de las características de la línea apantallada, de la tensión soportada al impulso de los sistemas internos conectados al servicio y de las medidas de protección previstas.

Cuando no está prevista la coordinación de los dispositivos de protección contra sobretensiones de acuerdo con la Norma UNE-EN 61643-11 y la Especificación Técnica CLC/TS 61643-12 el valor de P_Z es igual al de P_{LI} , donde P_{LI} es la probabilidad de fallo de los sistemas internos debidos a una descarga en la línea conectada.

En la tabla A.15 se dan los valores de P_{LI} .

Cuando está prevista la coordinación de los dispositivos de protección contra sobretensiones de acuerdo con la Norma UNE-EN 61643-11 y la Especificación Técnica CLC/TS 61643-12, el valor de P_Z es el valor más pequeño de los valores de P_{SPD} (tabla A.11) y P_{LI} (tabla A.15).

Tabla A.15 – Valores de la probabilidad P_{LI} en función de la resistencia R_S de la pantalla del cable y de la tensión soportada a impulso U_W del equipamiento

U_W kV	Sin pantalla	Pantalla no conectada a la misma barra equipotencial que el equipo	Pantalla conectada a la misma barra equipotencial a la que está conectado el equipo		
			$5 < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	$1 < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	$R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$
1,5	1	0,5	0,15	0,04	0,02
2,5	0,4	0,2	0,06	0,02	0,008
4	0,2	0,1	0,03	0,008	0,004
6	0,1	0,05	0,02	0,004	0,002

R_S : resistencia de la pantalla del cable (Ω/km).
 NOTA Una evaluación más precisa de K_s para secciones apantalladas y no apantalladas puede encontrarse en la Recomendación ITU K.46.

A.6 Evaluación de las pérdidas L_X en una estructura

A.6.1 Valor medio relativo de las pérdidas anuales

Las pérdidas L_X se refieren al valor medio relativo de un tipo de daño particular que puede haber sido producido por una descarga, considerando tanto su extensión como sus efectos.

Su valor depende:

- del número de personas y del tiempo que permanecen en el lugar peligroso;
- del tipo y de la importancia del servicio público;
- del valor de los bienes afectados por el daño.

Las pérdidas L_X varían con el tipo de pérdidas consideradas (L_1 , L_2 , L_3 y L_4) y, para cada tipo de pérdidas, con el tipo de daño que producen las pérdidas (D_1 , D_2 y D_3). Se emplean los siguientes símbolos:

L_t son las pérdidas debidas a daños por tensiones de paso y de contacto;

L_f son las pérdidas debidas a daños físicos;

L_o son las pérdidas debidas a fallos de los sistemas internos.

A.6.2 Pérdidas de vidas humanas

Los valores L_t , L_f y L_o pueden determinarse en términos del número aproximado de víctimas a partir de la siguiente expresión:

$$L_X = (n_p/n_t) \times (t_p/8\ 760) \quad (\text{A.28})$$

donde

n_p es el número medio de posibles personas en peligro (víctimas);

n_t es el número total de personas previstas (en la estructura);

t_p es el tiempo en horas que las personas se encuentran en un sitio peligroso, tanto fuera de la estructura (solo L_t), como en su interior (L_t , L_f y L_o).

En la tabla A.16 se dan los valores medios típicos de L_t , L_f y L_o que pueden usarse cuando la determinación de n_p , n_t y t_p es incierta o difícil.

Tabla A.16 – Valores medios típicos de L_t , L_f y L_o

Tipo de estructura	L_t
Todo tipo – (personas en el interior del edificio)	10^{-4}
Todo tipo – (personas en el exterior del edificio)	10^{-2}

Tipo de estructura	L_f
Hospitales, hoteles, edificios civiles	10^{-1}
Industriales, comerciales, escuelas	5×10^{-2}
Entretenimiento público, iglesias, museos	2×10^{-2}
Otros	10^{-2}

Tipo de estructura	L_o
Estructura con riesgo de explosión	10^{-1}
Hospitales	10^{-3}

Las características de las estructuras afectan a las pérdidas de vidas humanas, lo que se tiene en cuenta mediante factores amplificadores (h_z) y reductores (r_f , r_p , r_a , r_u), como se indica a continuación:

$$L_A = r_a \times L_t \quad (\text{A.29})$$

$$L_U = r_u \times L_t \quad (\text{A.30})$$

$$L_B = L_V = r_p \times h_z \times r_f \times L_f \quad (\text{A.31})$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \quad (\text{A.32})$$

donde

r_a es un factor reductor de las pérdidas de vidas humanas en función del tipo de terreno (véase la tabla A.17);

r_u es un factor reductor de las pérdidas de vidas humanas en función del tipo de suelo (véase la tabla A.17);

r_p es un factor reductor de las pérdidas por daños físicos en función de las medidas tomadas para reducir los efectos del fuego (véase la tabla A.18);

r_f es un factor reductor de las pérdidas por daños físicos en función del riesgo de incendio de la estructura (véase la tabla A.19);

h_z es un factor amplificador de las pérdidas por daños físicos cuando se presenta un daño especial (véase la tabla A.20).

Tabla A.17 – Valores de los factores reductores r_a y r_u en función del tipo de terreno y del suelo

Tipo de superficie	Resistencia de contacto $k\Omega$ ¹⁾	r_a y r_u
Agrícola, hormigón	≤ 1	10^{-2}
Mármol, cerámica	1 – 10	10^{-3}
Grava, moqueta, alfombra	10 – 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madera	≥ 100	10^{-5}

1) Valores medidos en un electrodo de 400 cm² comprimido con una fuerza de 500 N entre el electrodo y un punto del infinito.

Tabla A.18 – Valores del factor reductor r_p en función de las medidas tomadas para reducir los efectos del fuego

Medidas	r_p
Sin medidas	1
Una de las siguientes medidas: extintores; instalaciones fijas de extinción manuales; instalaciones manuales de alarma; tomas de agua; compartimentos a prueba de fuego; vías de evacuación	0,5
Una de las siguientes medidas: instalaciones fijas de extinción automáticas; instalaciones automáticas de alarma ¹⁾	0,2

1) Solo si está protegido contra sobretensiones y otros daños y si los bomberos pueden llegar en menos de 10 min.

Si se ha tomado más de una medida, debe tomarse el valor más pequeño de r_p .

En las estructuras con riesgo de explosión debe tomarse, en todos los casos $r_p = 1$.

Tabla A.19 – Valores del factor reductor r_f en función del riesgo de incendio en la estructura

Riesgo de incendio	r_f
Explosión	1
Alto	10^{-1}
Normal	10^{-2}
Bajo	10^{-3}
Ninguno	0

NOTA 1 En el caso de una estructura con riesgo de explosión y de una estructura que contenga mezclas explosivas puede ser necesaria una evaluación más detallada de r_f .

NOTA 2 Las estructuras con un riesgo alto de incendio puede considerarse que son las estructuras hechas con materiales combustibles, las estructuras con techos fabricados con materiales combustibles, o las estructuras con una energía calorífica específica superior a 800 MJ/m².

NOTA 3 Las estructuras con un riesgo normal de incendio pueden considerarse que son las estructuras con una energía calorífica específica entre 800 MJ/m² y 400 MJ/m².

NOTA 4 Las estructuras con un riesgo bajo de incendio puede considerarse que son las estructuras con una energía calorífica específica inferior a 400 MJ/m², o estructuras que, ocasionalmente, contienen materiales combustibles.

NOTA 5 La energía calorífica específica es el cociente entre la energía total del material combustible en la estructura y la superficie total de la estructura.

Tabla A.20 – Valores del factor amplificador h_z de los daños físicos por la presencia de un daño especial

Tipos de daños especiales	h_z
Sin daño especial	1
Nivel bajo de pánico (por ejemplo, estructuras limitadas a dos pisos y número de personas inferior a 100)	2
Nivel medio de pánico (por ejemplo, estructuras destinadas a eventos culturales o deportivos con un número de personas entre 100 y 1 000)	5
Dificultad de evacuación (por ejemplo, estructuras con personas inválidas, hospitales)	5
Nivel alto de pánico (por ejemplo, estructuras destinadas a eventos culturales o deportivos con un número de personas superior a 1 000)	10
Riesgos para el ambiente o los alrededores	20
Contaminación de los alrededores o del ambiente	50

A.6.3 Pérdidas inaceptables de servicio público

Los valores L_f y L_o pueden determinarse en términos de cantidad relativa de posibles pérdidas a partir de la expresión aproximada siguiente:

$$L_x = (n_p/n_t) \times (t/8\ 760) \quad (\text{A.33})$$

donde

n_p es el número medio de posibles personas en peligro (usuarios sin servicio);

n_t es el número total de personas (usuarios con servicio);

t es el tiempo al año de pérdida de servicio (en horas).

En la tabla A.21 se dan los valores típicos medios de L_f y L_o que pueden usarse cuando la determinación de n_p , n_t y t es incierta o difícil.

Tabla A.21 – Valores típicos medios de L_f y L_o

Tipo de servicio	L_f	L_o
Gas, agua	10^{-1}	10^{-2}
TV, telecomunicaciones, red eléctrica	10^{-2}	10^{-3}

Las pérdidas de servicio público están afectadas por las características de la estructura y por un factor reductor (r_p) de la siguiente manera:

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_f \quad (\text{A.34})$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \quad (\text{A.35})$$

Los valores de los factores r_p y r_f están, respectivamente, en las tablas A.18 y A.19.

A.6.4 Pérdidas de patrimonio cultural irremplazable

El valor de L_f puede determinarse en términos de cantidad relativa de posibles pérdidas a partir de la expresión aproximada siguiente:

$$L_X = c/c_t \quad (\text{A.36})$$

donde

c es el valor monetario medio de las posibles pérdidas de la estructura (es decir, valor asegurable de las posibles pérdidas de bienes);

c_t es el valor monetario total de la estructura (es decir, valor asegurado de todos los bienes presentes en la estructura).

Un valor medio típico de L_f , cuando la determinación de c y c_t es incierta o difícil, es

$$L_f = 10^{-1} \quad (\text{A.37})$$

Las pérdidas de patrimonio cultural irremplazable están afectadas por las características de la estructura y por un factor reductor (r_p) de la siguiente manera:

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_f \quad (\text{A.38})$$

Los valores de los factores r_p y r_f están, respectivamente, en las tablas A18 y A19.

A.6.5 Pérdidas económicas

El valor de L_t , L_f y L_o puede determinarse en términos de cantidad relativa de posibles pérdidas a partir de la expresión aproximada siguiente:

$$L_X = c/c_t \quad (\text{A.39})$$

donde

c es el valor monetario medio de las posibles pérdidas de la estructura (incluyendo su contenido, las actividades relevantes y sus consecuencias);

c_t es el valor monetario total de la estructura (incluyendo su contenido, las actividades relevantes y sus consecuencias).

En la tabla A.22 se dan los valores medios típicos de L_t , L_f y L_o que pueden usarse cuando la determinación de c y de c_t es incierta o difícil.

Tabla A.22 – Valores medios típicos L_t , L_f y L_o

Tipo de estructura	L_t
Dentro de los edificios de cualquier tipo	10^{-4}
Fuera de los edificios de cualquier tipo	10^{-2}

Tipo de estructura	L_f
Hospital, industrial, museo, agricultura	0,5
Hotel, escuela, oficina, iglesia, entretenimiento público, edificio económico	0,2
Otros	0,1

Tipo de estructura	L_o
Estructura con riesgo de explosión	10^{-1}
Hospital, industrial, oficina, hotel, edificio económico	10^{-2}
Museo, agricultura, escuela, iglesia, entretenimiento público	10^{-3}
Otros	10^{-4}

Las pérdidas de valor económico dependen de las características de la estructura. Esto se considera mediante factores amplificadores (h_z) y reductores (r_p , r_a , r_f , r_u) según las siguientes expresiones:

$$L_A = r_a \times L_t \quad (\text{A.40})$$

$$L_U = r_u \times L_t \quad (\text{A.41})$$

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_f \quad (\text{A.42})$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \quad (\text{A.43})$$

Los valores de los factores r_a y r_u se encuentra en la tabla A.17; los de r_p en la tabla A.18; los de r_f en la tabla A.19 y los de h_z en la tabla A.20.

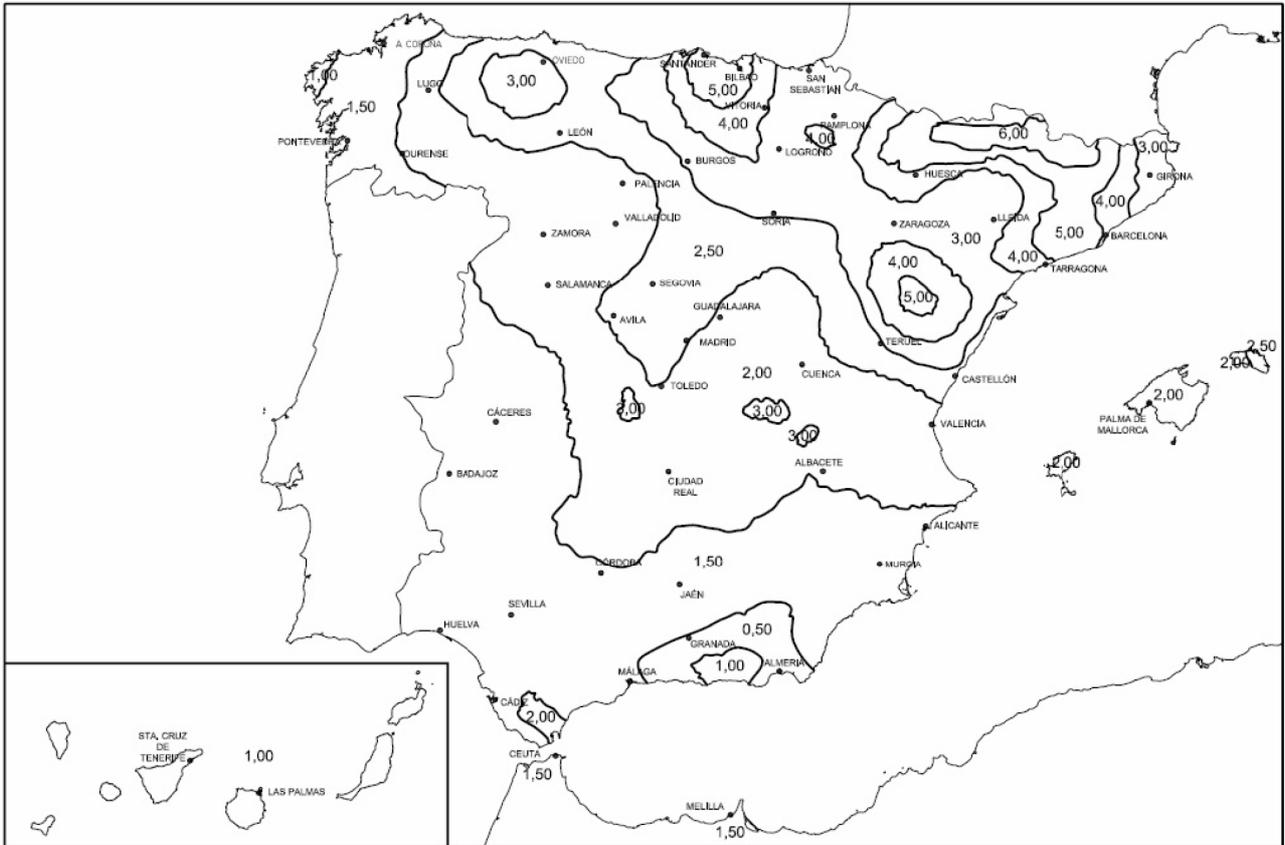


Figura A.8 – Mapa de Ng para España

ANEXO B
(DISPONIBLE)

ANEXO C (Normativo)**REQUISITOS Y ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE UN PDC****C.1 Condiciones de funcionamiento****C.1.1 Condiciones normales**

Las condiciones normales de funcionamiento son las siguientes

- Temperatura de funcionamiento: de -20 °C a 60 °C.
- Velocidad del viento menor de 122 km/h.

C.1.2 Condiciones anormales

Las condiciones anormales de funcionamiento son las siguientes

- Temperatura de funcionamiento menor de -20 °C o mayor de 60 °C.
- Velocidad del viento mayor de 122 km/h.
- Nieve y hielo.
- Lugar de alta contaminación.

C.2 Requisitos**C.2.1 Requisitos generales****C.2.1.1 Identificación y documentación**

El PDC se identifica por la siguiente información indicada en el producto (marcado)

- Nombre, logo o marca comercial del fabricante.
- Referencia del producto.
- Eficacia del pararrayos con dispositivo de cebado: ΔT (en μs).
- Número de serie.

C.2.1.2 Marcado

El marcado debe ser legible y duradero. Debe incluir al menos el nombre, logo o marca comercial del fabricante, la referencia del producto y el número de serie. El marcado debe verificarse mediante el ensayo del apartado C.3.1.2.

C.2.2 Requisitos del cebado

El cebado del pararrayos (ΔT) se debe determinar según los procedimientos descritos en el apartado C.3.5.

Debe estar entre 10 μ y 60 μs .

Si el resultado de ΔT es menor de 10 μs , el terminal no se considerará un PDC.

Si el resultado de ΔT es mayor de 60 μs , los cálculos del radio de protección se realizarán considerando $\Delta = 60$ m.

C.2.3 Requisitos eléctricos

El PDC debe ser capaz de soportar un impulso de rayo de 100 kA (onda 10/350). Se verifica con los ensayos definidos en el apartado C.3.4.

C.2.4 Requisitos mecánicos

Las partes del PDC por las que pase la corriente del rayo deben tener una sección conforme a la Norma UNE-EN 50164-2.

Las partes del PDC que capturan el rayo deben tener unas características dimensionales conformes a la siguiente tabla:

Tabla C.1 – Material, características y área mínima de la parte en la que impacta el rayo

Material	Características	Área mínima	Comentarios
Cobre, aluminio, aleación de aluminio, acero galvanizado en caliente ¹⁾ , acero inoxidable ²⁾	Macizo	200 mm ²	16 mm de diámetro
1) El recubrimiento debe ser liso, continuo y exento de manchas de fundente, con un espesor mínimo de 50 micras.			
2) Cromo $\geq 16\%$; Níquel $\geq 8\%$; Carbono $\geq 0,07\%$.			

C.2.5 Requisitos ambientales

El PDC debe ser capaz de soportar condiciones extremas ambientales como ambientes salinos o sulfurosos, característicos de zonas costeras y de contaminación industrial. Se comprueba mediante los ensayos descritos en el apartado C.3.3.

C.2.6 Compatibilidad electromagnética

C.2.6.1 Inmunidad electromagnética

Los PDCs sin dispositivos electrónicos o cuyos componentes son pasivos (por ejemplo diodos, resistencias, condensadores, inductancias, varistores u otros componentes de protección) no son sensibles a las ondas electromagnéticas de los entornos industriales. Por lo tanto no se precisa este ensayo.

Los demás PDCs deben someterse a ensayo. Estos PDCs deben cumplir con los ensayos de la Norma UNE-EN 61000-6-2 de inmunidad para entornos industriales. El funcionamiento del pararrayos y del posible dispositivo de verificación integrado en el pararrayos no deben verse afectados durante el ensayo. Se verifica por la ausencia de chispas detectadas visualmente.

C.2.6.2 Emisión electromagnética

Los PDCs sin dispositivos electrónicos o cuyos componentes son pasivos (por ejemplo diodos, resistencias, condensadores, inductancias, varistores u otros componentes de protección) no generan ninguna señal fuera de las condiciones de tormenta. En consecuencia no se requieren estos ensayos de emisión.

Los PDCs con elementos electrónicos deben cumplir con la Norma UNE-EN 61000-6-3 de emisión en entornos residenciales.

Los PDCs que cumplen estas condiciones pero incluyen módulos de radio deben cumplir la directiva descrita en RTTE 1999/5/CE.

C.3 Ensayos de tipo

Los ensayos se deben realizar siguiendo el diagrama de flujo de la figura C.1.

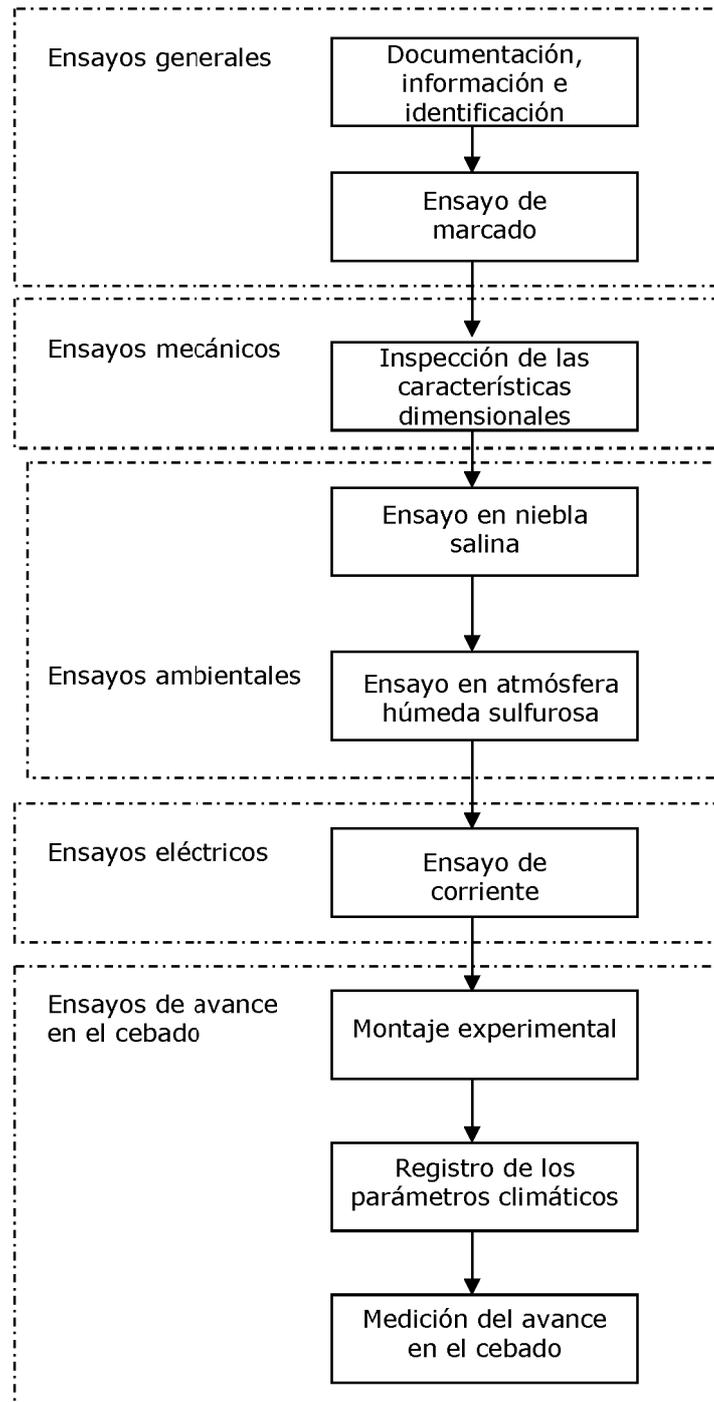


Figura C.1 – Secuencia de ensayos

C.3.1 Ensayos generales

C.3.1.1 Documentación, información e identificación

La verificación a través del examen de la identificación del marcado se debe realizar según lo descrito en el apartado C.2.1.1. Su cumplimiento se verifica por inspección.

C.3.1.2 Marcado

Se debe realizar un ensayo en todos los tipos de marcados excepto en los realizados por grabado o moldeo.

La verificación del marcado se realizará por examen visual y frotando manualmente durante 15 s las marcas con un paño empapado en agua y seguidamente durante otros 15 s con un paño empapado en disolvente.

NOTA Este disolvente se define como un disolvente alifático hexano con un contenido máximo de hidrocarburos aromáticos de 0,1% en volumen, un índice de kauributanol de 29, una temperatura de ebullición inicial de 65 °C, una temperatura de ebullición final de 69 °C y un peso específico de 0,68 g/cm³.

Después de este ensayo el marcado debe ser legible.

C.3.2 Ensayos mecánicos

Se verifican de las características dimensionales con sus tolerancias según los datos y planos del fabricante:

- Determinación de la parte sensora.
- Cálculo del calibre de la parte sensora.
- Cálculo del calibre de las partes por la que circula la corriente.

C.3.3 Ensayos ambientales

C.3.3.1 Ensayo en niebla salina

El ensayo en niebla salina se realiza según la Norma UNE-EN 60068-2-52, excepto los puntos 7, 10 y 11 que no son aplicables.

Se realiza el ensayo con un nivel 2 de severidad.

C.3.3.2 Ensayo en atmósfera húmeda sulfurosa

El ensayo en atmósfera húmeda sulfurosa se realiza según la Norma UNE-EN ISO 6988 con 7 ciclos y una concentración de dióxido de azufre de 667 ppm (en volumen).

Cada ciclo dura 24 h e incluye un periodo de calentamiento de 8 h a una temperatura de 40 °C ± 3 °C en una atmósfera con húmeda saturada seguido por un periodo de reposo de 16 h. Después de este periodo de reposo se restablece la atmósfera sulfurosa.

C.3.4 Ensayo de corriente

Después del preacondicionamiento ambiental y sin limpiar la muestra, el PDC se somete a los siguientes ensayos:

I_{imp} Ensayo de corriente impulsional

El ensayo de corriente impulsional I_{imp} se define por la I_{pico} , Q y W/R. Una corriente impulsional unipolar debe alcanzar estos parámetros en 10 ms.

Una forma de onda típica para alcanzar estos valores es la onda 10/350 μ s. La relación entre I_{pico} , Q y W/R se da en las siguientes fórmulas:

$$Q \text{ (A}\cdot\text{s)} = 0,5 I_{\text{pico}} \text{ (kA)} \quad (\text{C.1})$$

$$W/R \text{ (kJ}/\Omega) = Q^2 \text{ (A}\cdot\text{s)} \quad (\text{C.2})$$

Las tolerancias de la corriente de pico I_{pico} , la carga Q y la energía específica W/R son:

- $I_{\text{pico}} \pm 10\%$
- $Q \pm 20\%$
- $W/R \pm 35\%$

La muestra debe someterse tres veces a este ensayo de corriente dado en la tabla C.1. El espacio de tiempo entre cada ensayo debe ser suficiente para permitir que la muestra se enfríe a la temperatura del recinto.

Tabla C.2 – Parámetros del ensayo de corriente

I_{pico} (kA)	Q (A·s)	W/R (kJ/Ω)
100	50	2 500

Superación del ensayo

La muestra pasa el ensayo si el registro de la tensión/corriente y la inspección visual no revelan ninguna indicación de deterioro o perforación de la muestra, excepto las partes que conducen la corriente del rayo donde pueden aparecer trazos de emisión y fusión superficial.

C.3.5 Ensayos de avance en el cebado

La norma de referencia para los procedimientos de ensayo es la Norma UNE-EN 61180-1.

El PDC debe instalarse y conectarse según las instrucciones del fabricante.

Durante los ensayos no está permitido ningún mantenimiento o desensamblaje del PDC.

Es importante observar que son necesarias las técnicas de ensayo adecuadas para los ensayos de impactos y las medidas, a fin de asegurar que se registran los valores adecuados.

C.3.5.1 Montaje experimental

C.3.5.1.1 Caracterización de la punta de referencia

La punta de referencia (PR) debe respetar las dimensiones indicadas en la siguiente figura C.2:

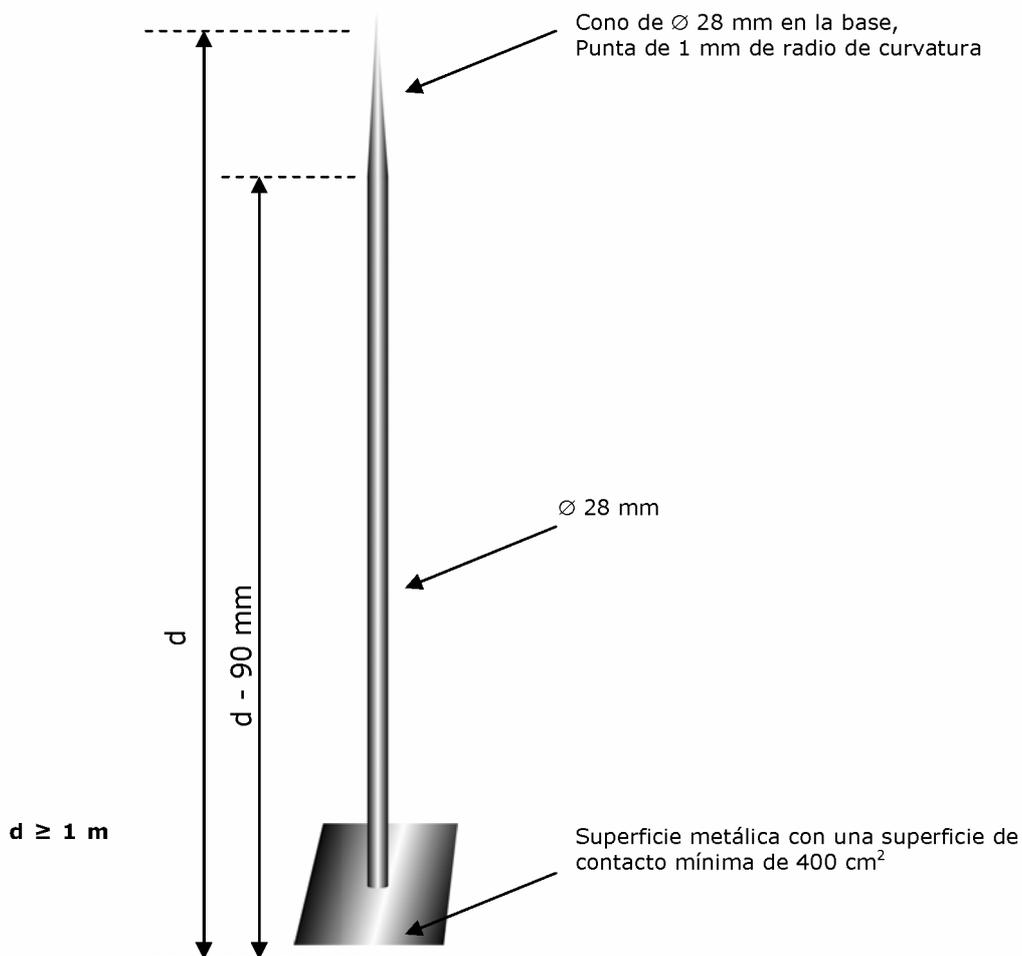


Figura C.2 – Punta de referencia (PR)

C.3.5.1.2 Dimensiones del montaje experimental

Las dimensiones del montaje son las siguientes:

La altura de la punta sobre el suelo (h) debe ser mayor o igual a 1 m. La diferencia de alturas entre los dos terminales debe ser menor del 1%.

La distancia entre el plato superior y la tierra (H) debe ser mayor de 2 m. La relación h/H debe estar comprendida entre 0,25 y 0,5.

El plato superior tendrá como dimensión horizontal mínima la distancia plato superior/suelo (H).

La punta de 28 mm de diámetro que soporta el pararrayos está encima de un cuadrado de 0,2 m de lado.

Las siguientes figuras representan las dos configuraciones de ensayo que corresponden respectivamente con el ensayo de la referencia PR (definida en la figura C.2) y el ensayo del PDC.

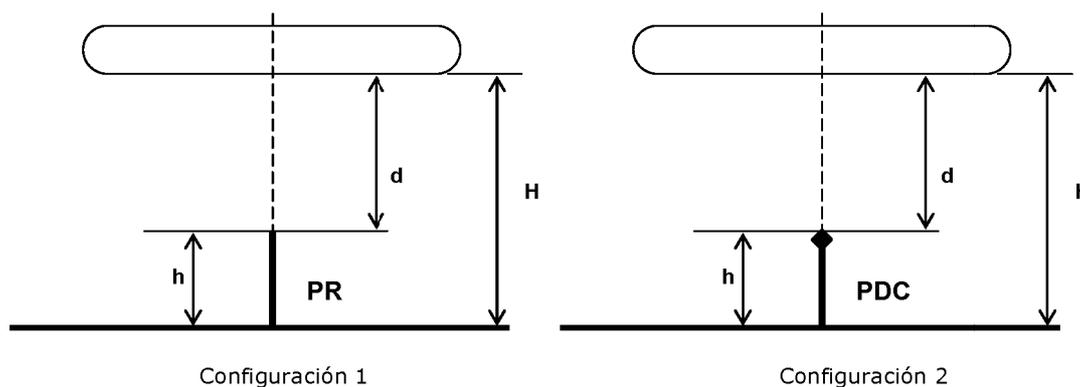


Figura C.3 – Configuraciones del montaje experimental

C.3.5.1.3 Condiciones experimentales

Se evalúa la eficacia de un PDC comparando, en un laboratorio de alta tensión, los tiempos de cebado del trazador ascendente para un PDC y una PR.

Para ello, se ensayarán uno después del otro bajo las mismas condiciones eléctricas y geométricas, simulando los ensayos de laboratorio las condiciones naturales de iniciación de la descarga de captación (trazador positivo ascendente).

C.3.5.1.4 Simulación de la onda

El campo natural a nivel del suelo previo a la descarga tiene consecuencias sobre las condiciones de formación del efecto corona y las cargas espaciales preexistentes. Por ello es necesario simularlo: su valor debe estar comprendido entre -20 kV/m y -25 kV/m.

C.3.5.1.5 Simulación del campo impulsional

Para representar el fenómeno natural de la forma más parecida posible, se simula el crecimiento del campo al nivel del suelo mediante una onda tipo maniobra de tiempo de subida comprendido entre $100 \mu\text{s}$ y $1\,000 \mu\text{s}$. En la zona de iniciación del trazador ascendente la pendiente de la onda debe estar comprendida entre $2 \cdot 10^8$ y $2 \cdot 10^9$ V/m/s.

C.3.5.2 Magnitudes a controlar – medidas a efectuar

C.3.5.2.1 Parámetros eléctricos

Los parámetros eléctricos a controlar y registrar son la forma y la amplitud de las tensiones aplicadas (calibración del campo ambiental, onda impulsional de tensión, corriente asociada) para la PR y el PDC.

Para este control se debe ajustar lo siguiente:

- la tensión continua de polarización;
- la onda impulsional que provoca la emisión en la punta de referencia: la tensión a aplicar se determina utilizando un procedimiento simplificado “up and down” para obtener el valor U_{100} con una precisión final del 1%.

C.3.5.2.2 Condiciones geométricas

La distancia d será la misma estrictamente en cada configuración (± 1 mm). Se debe verificar antes de cada configuración (véase la figura C.3).

C.3.5.2.3 Parámetros climáticos

Es necesario anotar las condiciones climáticas (presión, temperatura y humedad absoluta) al principio y a mitad de los ensayos de cada sesión y al final de los ensayos de cada configuración.

Para poder considerar los ensayos de la PR y el PDC como idénticos (con la misma tensión U100), las variaciones de los parámetros climáticos deben cumplir con los valores definidos en la tabla C.3. Si no es así se deberá volver a medir la tensión U100 antes de la siguiente configuración.

Tabla C.3 – Variación de los parámetros climáticos durante los ensayos

Parámetro	Variación para ambas configuraciones
Presión	$\pm 2\%$
Temperatura	$\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
Humedad relativa	$\pm 20\%$

Los valores se registran en el informe de ensayo pero no son motivo de correcciones.

C.3.5.2.4 Número de impactos por configuración

Para cada configuración se registran los 50 primeros disparos utilizables. (Un ejemplo de disparo no utilizable es uno de los utilizados para pre-iniciar el generador). El tiempo de espera entre dos disparos será de 2 min. Este valor debe mantenerse durante los ensayos.

C.3.5.2.5 Medida del avance en el cebado de un PDC

El criterio escogido para evaluar la eficacia de un PDC es su capacidad para iniciar reiteradamente el cebado de un trazador ascendente antes que un PR situado en las mismas condiciones. Se mide el valor T (tiempo de emisión del trazador ascendente) para cada impacto utilizable sobre el PDC y sobre la PR. Este tiempo T se mide entre el punto de intersección del eje de tiempos con la curva de tensión impulsional y el tiempo correspondiente al cambio brusco de la pendiente de la tensión impulsional correspondiente a una emisión.

A partir de las medidas de los instantes de cebado de los trazadores ascendentes para un PR y para un PDC, se calculan los instantes medios de cebado $\langle T'_{PR} \rangle$ y $\langle T'_{PDC} \rangle$, a partir de los impactos útiles mientras se respeten los parámetros, respecto a los parámetros de la curva experimental escogida. También se calcula la desviación de estas dos distribuciones (σ_{PR} y σ_{PDC}).

C.3.5.3 Determinación del avance en el cebado del PDC

El avance en el cebado se determina en relación a una onda de referencia definida por un tiempo de subida $T_s = 650\text{ }\mu\text{s}$ y la forma definida en la figura C.4.

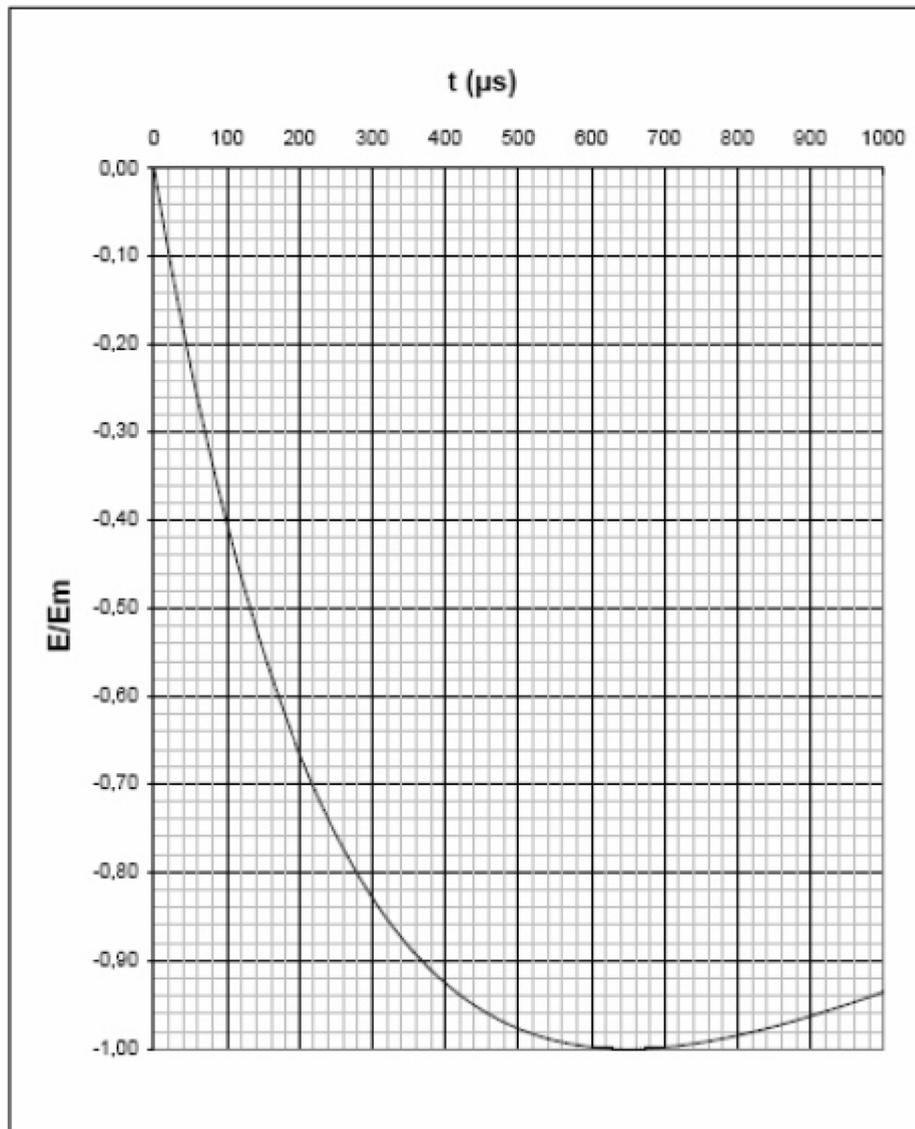


Figura C.4 – Onda de referencia

Sobre esta forma de onda de referencia, en la que se ha fijado el valor del campo E_s igual al valor del campo máximo experimental $E_{s_{exp}}$, se yuxtapone la curva experimental.

A partir de $\langle T'_{PR} \rangle$ y $\langle T'_{PDC} \rangle$ se calculan los campos E por medio de la curva experimental. Una vez obtenidos estos campos mediante la forma de onda de referencia se deducen los tiempos de cebado T_{PDC} y T_{PR} , que se utilizan para el cálculo del avance en el cebado $\Delta T (\mu s) = T_{PR} - T_{PDC}$.

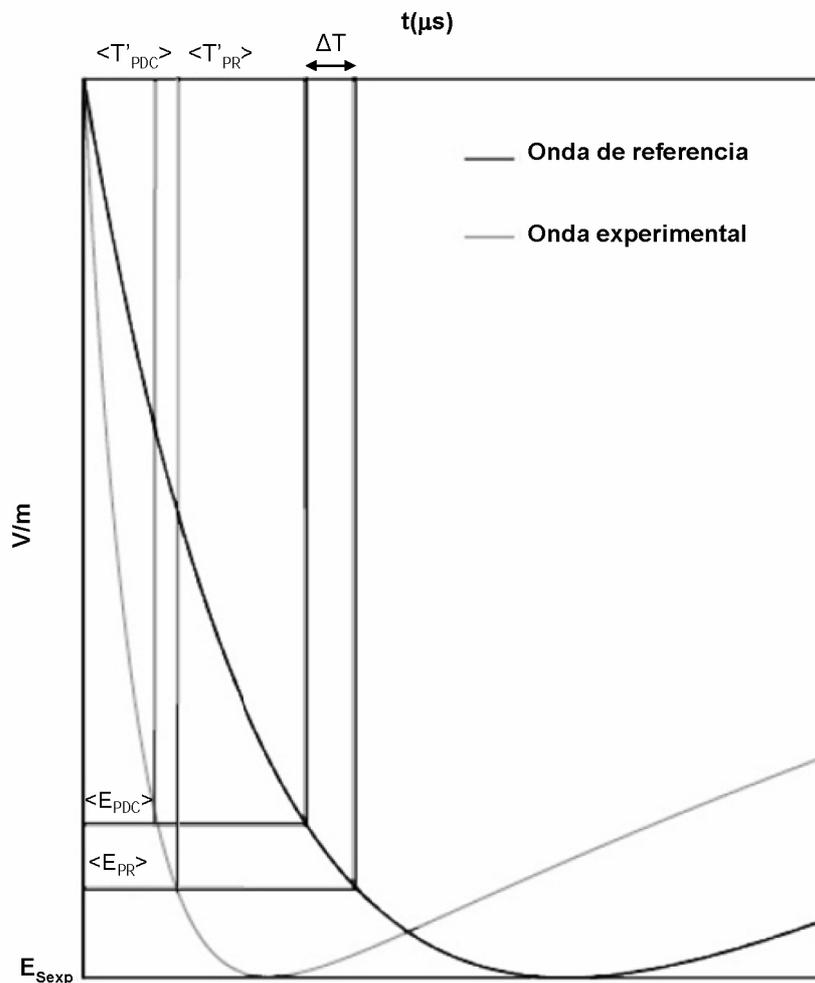


Figura C.5 – Ondas de referencia y experimental

Se calculan los valores medios T_{PR} y T_{PDC} y las desviaciones estándar σ_{PR} y σ_{PDC} .

El equipo instalado es un pararrayos con dispositivo de cebado si:

- $T_{PDC} < T_{PR}$
- $\sigma_{PDC} < 0,8 \cdot \sigma_{PR}$
- $T_{PR} - T_{PDC} \geq 10 \mu s$

C.3.6 Estructura y contenido del informe de ensayo

El propósito de este apartado es proporcionar los requisitos generales para los informes de ensayo del laboratorio. Este documento pretende promover unos procedimientos claros y completos de realizar los informes para los laboratorios que los realizan.

Los resultados de cada ensayo realizado en laboratorio deben ser documentados de forma precisa, clara, objetiva e inequívoca, de acuerdo con cualquier instrucción de los métodos de ensayo. Estos resultados deben documentarse en un informe de ensayos y deben incluir toda la información necesaria para la interpretación de los resultados de los ensayos y toda la información requerida por el método utilizado.

Se debe prestar especial atención a la disposición del informe, especialmente en relación a la presentación de los datos del ensayo y su fácil asimilación por el lector. El formato debe diseñarse cuidadosa y específicamente para cada tipo de ensayo realizado aunque los encabezamientos deben estandarizarse tal como se indica a continuación:

La estructura de cada informe de ensayo debe incluir al menos lo siguiente:

- Identificación del informe.
- Título o tema del informe.
- Nombre, dirección y teléfono del laboratorio de ensayo.
- Nombre, dirección y teléfono del laboratorio subsidiario en el que se realizó el ensayo si fuese diferente de la empresa a la que se asignó su realización.
- Número (o número de serie) de identificación exclusiva del informe de ensayo.
- Nombre y dirección del vendedor.
- El informe debe estar paginado, indicando también el número total de las páginas.
- Fecha de expedición del informe.
- Fecha/s de realización del/de los ensayo/s.
- Firma y título o identificación equivalente de la/s persona/s autorizada/s para firmar el contenido del informe por parte del laboratorio.
- Firma y título de la/s persona/s que realizan el ensayo.
- Descripción del objeto a ensayar.
- Descripción de la muestra.
- Descripción detallada e identificación inequívoca de la muestra y/o el montaje a ensayar.
- Caracterización y acondicionamiento de la muestra y/o el montaje a ensayar.
- Fotografías, planos u otra documentación gráfica si está disponible.
- Normas y referencias.
- Identificación de la norma de ensayo utilizada y su fecha de publicación.
- Otra documentación relevante con la fecha de la misma.
- Procedimiento de ensayo.
- Descripción del procedimiento de ensayo.
- Justificación de cualquier desviación adición o exclusión de la norma de referencia.
- Cualquier otra información relevante a un ensayo específico, por ejemplo las condiciones climáticas.
- Configuración del montaje de ensayo.
- Localización del montaje en el área de ensayo y técnicas de medida.

- Descripción del equipo para realizar el ensayo.
- Descripción de los instrumentos de medida.
- Características y fecha de calibración de todos los instrumentos utilizados para medir los valores especificados en la norma.
- Resultados y parámetros registrados.
- Se debe identificar claramente cuáles son los resultados medidos, observados o derivados.

Los resultados deben presentarse en tablas, gráficos, dibujos, fotografías u otra documentación gráfica adecuada.

- Una declaración de ensayo pasado / fallado identificando la parte del ensayo para la que el objeto ensayado ha fallado y también una descripción del fallo, que debe estar ilustrada por dibujos, fotografías u otra documentación adecuada de información gráfica.

C.3.7 Cuidado y mantenimiento de un PDC

Para asegurar que el PDC funciona correctamente, el fabricante debe describir, en un folleto de verificación y mantenimiento, las medidas que se deben tomar para asegurar el buen estado y mantenimiento de este producto.

El folleto debe contener al menos la siguiente información:

- La/s operación/es a realizar durante la verificación visual del S-PDC.
- La/s operación/es a realizar durante la verificación completa del S-PDC.
- El equipo de ensayo necesario para llevar a cabo la verificación de producción.
- Criterio de operatividad correcta del producto.
- Qué hacer en caso de mal funcionamiento del producto.

Si el PDC precisa un mantenimiento periódico específico (por ejemplo reemplazar un acumulador), esto debe estar especificado en el folleto proporcionado con el producto.

ANEXO D (Normativo)**PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS CONTRA CHOQUES ELÉCTRICOS PRODUCIDOS POR EL RAYO****D.1 Medidas de protección por daños a los seres vivos debidos a las tensiones de contacto y de paso****D.1.1 Medidas de protección contra las tensiones de contacto**

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

El riesgo se reduce a un nivel tolerable si se cumplen alguna de las condiciones siguientes:

- a) la probabilidad de que haya personas en las proximidades, o que el tiempo de permanencia en el exterior de la estructura y cerca de los conductores de bajada sea muy bajo;
- b) los conductores naturales de la estructura están formados por varias columnas de una estructura metálica o por varios pilares de acero interconectados, asegurando una continuidad eléctrica;
- 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, reducen el riesgo a un valor tolerable.

Si no se cumplen ninguna de estas condiciones, deben adoptarse las medidas de protección de la vida de los seres vivos por tensiones de contacto, de acuerdo a:

- aislamiento de los conductores de bajadas para 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 o empleo de carteles para conseguir minimizar la probabilidad de que se toquen los conductores de bajada.

D.1.2 Medidas de protección contra las tensiones de paso

En algunas condiciones, la proximidad de los conductores de bajada en el exterior de la estructura puede ser peligrosa para la vida incluso si el S-PDC se ha diseñado y construido de acuerdo con las recomendaciones citadas anteriormente.

El riesgo se reduce a un nivel tolerable si se cumplen alguna de las condiciones siguientes:

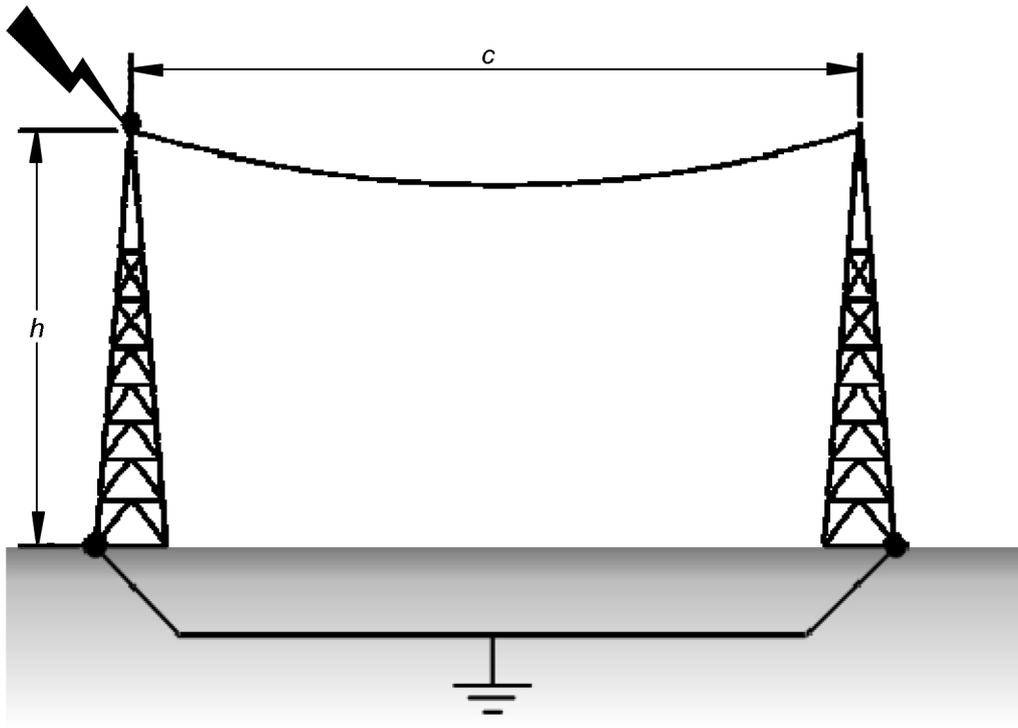
- a) la probabilidad de que haya personas en las proximidades, o que el tiempo de permanencia en la zona peligrosa, hasta 3 m de los conductores de bajada, sea muy bajo;
- b) los conductores naturales de la estructura están formados por varias columnas de una estructura metálica o por varios pilares de acero interconectados, asegurando una continuidad eléctrica;
- 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, reducen el riesgo a un valor tolerable.

Si no se cumplen ninguna de estas condiciones, deben adoptarse las medidas de protección de la vida de los seres vivos por tensiones de paso, de acuerdo a:

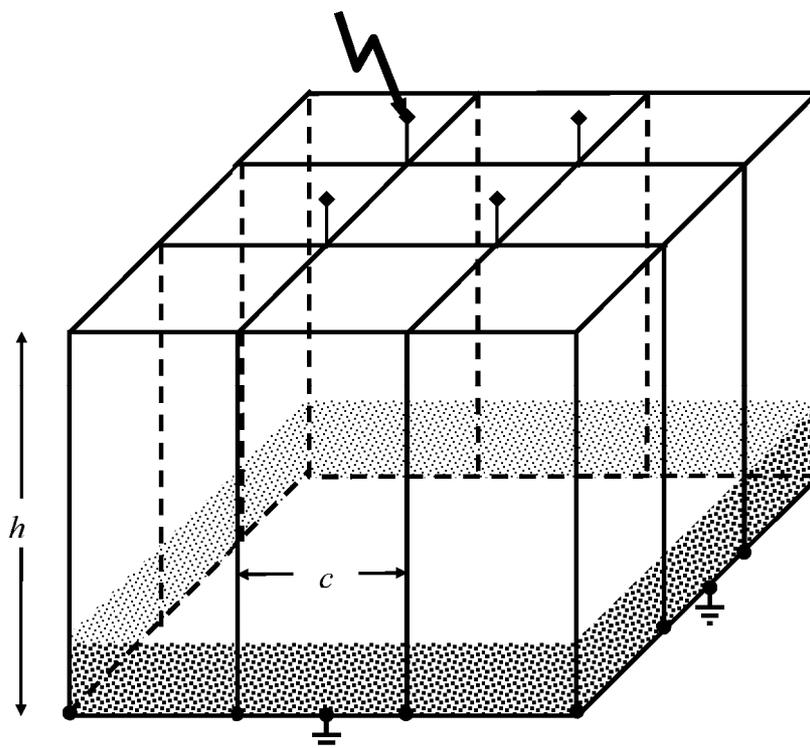
- equipotencialidad mediante el empleo de mallas de puesta a tierra;
- restricciones físicas de acceso o empleo de carteles para conseguir minimizar la probabilidad de acceso a la zona peligrosa de hasta 3 m de distancia de los conductores de bajada.

ANEXO E (Informativo)
EJEMPLO DE VALORES DEL COEFICIENTE k_c



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

Figura E.1 – Caso de un PDC con 2 bajantes y una toma de tierra tipo B



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

- n Número de conductores de bajada
 c Distancia entre dos conductores de bajadas próximos
 h Separación (ó altura) entre los conductores tipo anillo

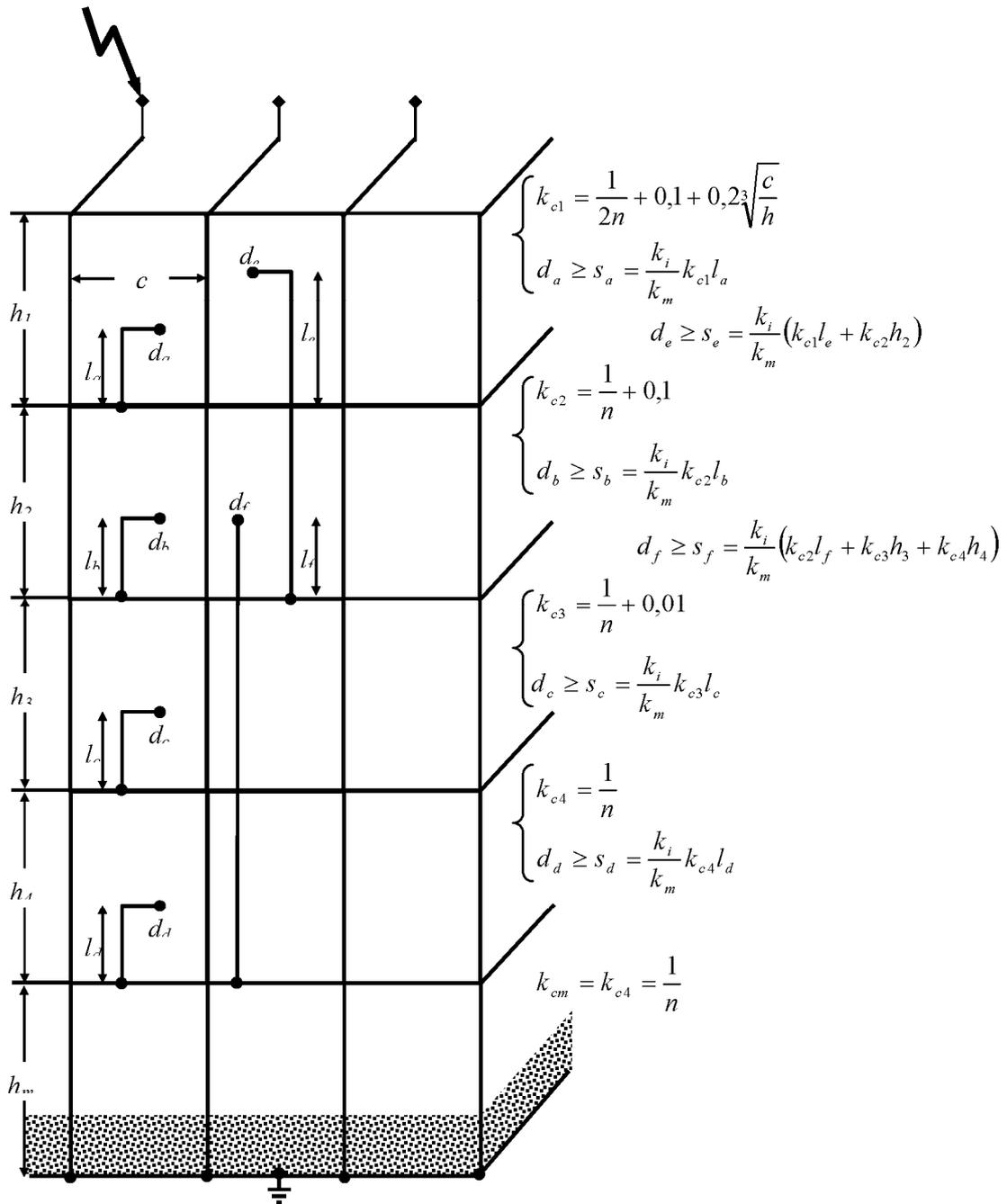
Figura E.2 – Valores de coeficiente k_c en el caso de un sistema de capturas tipo malla y una disposición de puesta a tierra tipo B

La distancia de separación se mejora si se utilizan anillos intermedios adicionales para equilibrar la corriente de rayo que circula alrededor de la estructura o como captadores complementarios (figura E.3). Sin embargo, para estructuras de gran altura ya no es posible que se mantenga de esta distancia de separación de forma realista

NOTA En este último caso es conveniente interconectar en el tejado el sistema de protección contra el rayo exterior a la estructura metálica del edificio.

Es posible calcular el reparto de la corriente en cada nivel de 1 a m partiendo desde el techo, de k_{c1} a k_{cm} . A partir de este valor de reparto de la corriente se puede determinar la distancia de separación en cada nivel de s_a a s_f en el ejemplo ilustrado en la figura E.3.

La distancia al conductor de bajada más cercano, de d_a a d_f en la ilustración de la figura E.3 debe ser superior o igual a la distancia de separación s_x calculada previamente



- n* Número total de conductores de bajada
- c* Distancia entre dos conductores de bajada contiguos
- h* Distancia (altura) entre anillos conductores
- m* Número total de plantas
- d* Distancia al conductor de bajada más próximo
- l* Altura por encima del punto de equipotencialidad

Figura E.3 – Ejemplos de cálculo de distancias de separación en el caso de múltiples bajantes con anillos de interconexión de las bajantes en cada nivel

ANEXO F (Informativo)**BIBLIOGRAFÍA**

UNE 21308-1 *Ensayos en alta tensión. Parte 1: definiciones y prescripciones generales relativas a los ensayos.*

UNE-EN 61643-21, *Pararrayos de baja tensión. Parte 21: Pararrayos conectados a redes de telecomunicaciones y de transmisión de señales. Requisitos y ensayos.*

IEC 61643-22, *Low-voltage surge protective devices. Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks. Selection and application principles.*

REBT2002, *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.*

CTE – SU8, *Código Técnico de la Edificación. Sección SU 8 Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo.*

Directiva RTTE 1999/5/CE *Directiva relativa a equipos radioeléctricos y equipos terminales de telecomunicación.*

Las siguientes normas tratan de la protección contra el rayo mediante otros sistemas: puntas simples, cables tendidos y mallas conductoras.

UNE-EN 62305-1:2007, *Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales.*

UNE-EN 62305-2:2007, *Protección contra el rayo. Parte 2: Evaluación del riesgo.*

UNE-EN 62305-3:2008, *Protección contra el rayo. Parte 3: Daño físico a estructuras y riesgo humano.*

UNE-EN 62305-4:2008, *Protección contra el rayo Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras.*

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