

NORMA UNE 21.186
"Protección de estructuras, edificaciones
y zonas abiertas mediante pararrayos con
dispositivo de cebado"

ICS 29.020; 29.240.10
1996

Junio

TÍTULO

Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado

Protection of structures and of open areas against lightning using early streamer emission air terminals.

Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage

CORRESPONDENCIA

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta Norma Española ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 20-21 Electrotécnico cuya Secretaría desempeña AENOR

ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES	5
1 GENERALIDADES	6
1.1 Objeto y campo de aplicación	6
1.2 Normas para consulta	6
1.3 Definiciones	6
1.4 Fenómenos atmosféricos y sistemas de protección contra el rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)	8
2 INSTALACIÓN EXTERIOR DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (AEPR)	11
2.1 Disposiciones generales	11
2.2 Dispositivo de captación	12
2.3 Conductores de bajada	18
3 EQUIPOTENCIALIDAD DE LAS MASAS METÁLICAS E INSTALACIÓN INTERIOR DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (IIPR)	23
3.1 Generalidades	23
3.2 Equipotencialidad de las masas metálicas exteriores	24
3.3 Equipotencialidad de las masas metálicas embebidas en las paredes	25
3.4 Equipotencialidad de las masas metálicas interiores: instalación interior de protección contra el rayo	25
4 TOMAS DE TIERRA	25
4.1 Generalidades	25
4.2 Diferentes tipos de tomas de tierra	26
4.3 Disposiciones complementarias	28
4.4 Equipotencialidad de las tierras	28
4.5 Condiciones de proximidad	28
4.6 Materiales y dimensiones	29

5	PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN	29
5.1	Generalidades	29
5.2	Precauciones y medidas a adoptar	29
6	DISPOSICIONES PARTICULARES	30
6.1	Antenas	30
6.2	Tejados de paja	31
6.3	Chimeneas de fábricas	31
6.4	Áreas de almacenamiento de productos inflamables o explosivos	31
6.5	Edificios religiosos	31
6.6	Estructuras ubicados en puntos elevados	32
6.7	Zonas abiertas, áreas de ocio o deportivas	32
6.8	Árboles	32
7	VERIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO	33
7.1	Verificación inicial	33
7.2	Verificación periódica	33
7.3	Mantenimiento	34
ANEXO A (Normativo)	MODELO DE PROTECCIÓN	35
ANEXO B (Normativo)	GUÍA DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE IMPACTO DE RAYO Y SELECCIÓN DEL NIVEL DE PROTECCIÓN PARA UNA INSTALACIÓN EXTERIOR DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO	39
ANEXO C (Normativo)	ENSAYO DE EVALUACIÓN DE UN PDC	48
ANEXO D (Normativo)	PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL RAYO Y SUS EFECTOS	51
ANEXO E (Informativo)	PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS CONTRA EL RIESGO DE DESCARGAS ELÉCTRICAS DEBIDAS AL RAYO	59
ANEXO NACIONAL		
	Normas para consulta	61
	Correspondencia con otras normas	61

ANTECEDENTES

Esta norma indica las medidas a adoptar para diseñar, con los conocimientos y la tecnología actuales, un sistema de protección contra el rayo efectivo en estructuras (edificaciones o zonas abiertas como zonas de almacenamiento, áreas de ocio, deportivas, etc.) mediante pararrayos con dispositivo de cebado y marca las directrices para la realización del sistema de protección.

No deberá olvidarse que ningún sistema o dispositivo puede evitar la formación de rayos.

Una instalación de protección contra el rayo diseñada y realizada conforme a esta norma, no puede, como todo proceso en el que intervienen elementos 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.

La decisión de dotar a una estructura de un sistema de protección contra el rayo depende de los factores siguientes: la probabilidad de impacto de rayo en la estructura, su gravedad y qué consecuencias serían aceptables. La elección tendrá en cuenta los parámetros contenidos en la guía de evaluación de riesgo (Anexo B). Esta guía indica además el nivel de protección requerido.

Entre las estructuras en las que será necesaria la instalación de un sistema de protección contra el rayo se pueden citar:

- Edificios o zonas abiertas con concurrencia de público.
- Edificaciones de gran altura y, en general, construcciones elevadas (pilares, depósitos de agua, faros...).
- Construcciones y depósitos en los que se manipulen y/o contengan materiales peligrosos (explosivos, inflamables, tóxicos...).
- Edificios que contengan equipos o documentos especialmente vulnerables o valiosos (instalaciones de telecomunicaciones, ordenadores, archivos, museos, monumentos históricos, patrimonios culturales...) y, en general, estructuras utilizadas para fines comerciales, industriales, agrícolas, administrativos o residenciales.

En todas las fases de la construcción de una estructura, desde su diseño hasta su finalización, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Las empresas especializadas en protección contra el rayo deberán ser consultadas por las partes implicadas: arquitectos, ingenieros, proyectistas, constructores, instaladores, usuarios, etc.
- Los elementos que se utilicen en la realización de la instalación deben ajustarse a esta norma.
- Aprovechar, siempre que sea posible, los elementos conductores de las estructuras a proteger como parte del sistema de protección contra el rayo.

Las disposiciones indicadas en esta norma constituyen las condiciones mínimas que permitirán asegurar una protección estadísticamente eficaz.

1 GENERALIDADES

1.1 Objeto y campo de aplicación

1.1.1 Campo de aplicación. Esta norma trata la protección, mediante pararrayos con dispositivo de cebado, contra los impactos directos del rayo en estructuras corrientes (edificaciones de altura inferior a 60 m) y zonas abiertas (áreas de almacenamiento, áreas de ocio... etc.). Asimismo, contempla la protección contra los efectos del paso de la corriente del rayo por el sistema de protección.

NOTA - Otras normas tratan la protección contra el rayo mediante puntas Franklin, hilos tendidos y mallas conductoras o jaulas de Faraday.

Algunas Administraciones y responsables de instalaciones de alto riesgo pueden requerir reglamentaciones específicas.

1.1.2 Objeto. Esta norma regula el diseño, realización, revisión y mantenimiento de instalaciones realizadas con pararrayos con dispositivo de cebado. El objeto de estas instalaciones es proteger con la mayor eficacia posible a personas y bienes materiales.

1.2 Normas para consulta

Las normas que se citan a continuación son válidas para esta norma, ya que contienen disposiciones a las que aquí se hace referencia.

En el momento de la publicación de esta norma, las ediciones indicadas estaban en vigor. Toda norma está sujeta a revisión y aquellos que toman parte en los acuerdos basados en estas normas están invitados a estudiar la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de los documentos indicados a continuación:

UNE 20460-4-41:1990 - *Instalaciones eléctricas en edificios. Protección para garantizar la seguridad. Protección contra los choques eléctricos.*

UNE 21302-826:1991 - *Vocabulario electrotécnico. Instalaciones eléctricas en edificios.*

Reglamento electrotécnico para baja tensión 1994.

1.3 Definiciones

1.3.1 descarga eléctrica atmosférica a tierra: Descarga eléctrica de origen atmosférico entre una nube y la tierra, que puede comprender más de un rayo.

1.3.2 rayo: Impacto simple o múltiple de la descarga a tierra.

1.3.3 punto de impacto: Punto en el que el rayo incide sobre el terreno, una estructura o una instalación de protección contra el rayo.

1.3.4 zona protegida: Volumen protegido por un pararrayos con dispositivo de cebado.

1.3.5 densidad de impactos: Número de impactos por año y km^2 (N/año, km^2). Véase mapa en el anexo B.

1.3.6 densidad de arcos: Número de arcos de retorno por año y km^2 (N/año, km^2). Un impacto está constituido por término medio por varios arcos.

1.3.7 sistema de protección contra el rayo (SPCR): Sistema completo que permite proteger estructuras, edificaciones y zonas abiertas contra los efectos del rayo. Consta de una instalación exterior y de una instalación interior de protección contra el rayo.

NOTA - En ciertos casos el SPCR podrá estar formado solamente por una instalación exterior o por una instalación interior.

1.3.8 instalación exterior de protección contra el rayo (IEPR): Una instalación exterior de protección contra el rayo está formada por uno o más pararrayos con dispositivo de cebado, uno o más conductores de bajada y una o más tomas de tierra.

1.3.9 instalación interior de protección contra el rayo (IIPR): Una instalación interior de protección contra el rayo comprende todos los dispositivos que reducen los efectos electromagnéticos de la corriente de la descarga atmosférica en el interior del espacio a proteger.

1.3.10 pararrayos con dispositivo de cebado (PDC): Pararrayos provisto de punta/s captadora/s equipado con dispositivos de cebado que genera un avance en el cebado, evidenciado cuando es comparado con un pararrayos con dispositivo de cebado de referencia PR con su dispositivo de cebado anulado, de la misma geometría y en las mismas condiciones de ensayo.

1.3.11 proceso de cebado: Fenómeno físico comprendido entre la aparición de los efluvios del efecto corona y la propagación continua del trazador ascendente.

1.3.12 avance en el cebado (Δt): Ganancia media en el instante de cebado del trazador ascendente de un PDC en comparación con el de un PR de la misma geometría, obtenidos mediante ensayos. Se mide en microsegundos.

1.3.13 componente natural: Elemento conductor situado en el exterior, embebido en la pared o en el interior de una estructura y que puede ser utilizado para reemplazar, en todo o en parte, una bajante, o para complementar una IEPR.

1.3.14 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.

1.3.15 unión equipotencial: Unión eléctrica que pone al mismo potencial las masas y los elementos conductores.

1.3.16 conductor de equipotencialidad: Conductor que permite realizar una unión equipotencial.

1.3.17 chispa peligrosa: Arco eléctrico provocado por una corriente de descarga en el interior del volumen a proteger.

1.3.18 distancia de seguridad (d_s): Distancia mínima requerida, entre dos elementos conductores, para evitar la formación de chispas peligrosas.

1.3.19 armaduras de acero interconectadas: Componentes naturales en el interior de una estructura, que, si garantizan una continuidad eléctrica inferior a 0.01Ω , pueden ser utilizados como conductores de bajada.

1.3.20 conductor de bajada: Parte de la instalación exterior de protección contra el rayo destinada a conducir la corriente del rayo desde el PDC hasta la toma de tierra.

1.3.21 unión de comprobación de tierras: Dispositivo de desconexión de la toma de tierra del resto de la instalación.

NOTA - Estos dispositivos suelen denominarse "manguito seccionador", "junta o toma de control" o "puente de comprobación".

1.3.22 toma de tierra: Elemento conductor o conjunto de elementos conductores en contacto directo con la tierra y que asegura una unión eléctrica con ésta.

1.3.23 electrodo de tierra: Conductor o conjunto de conductores enterrados que sirven para establecer una conexión con tierra y dispersar en ella la corriente de la descarga atmosférica.

1.3.24 resistencia de la toma de tierra: Es la resistencia entre un conductor puesto a tierra y un punto de potencial cero.

1.3.25 protector contra sobretensiones. Dispositivo destinado a limitar las sobretensiones y a derivar las corrientes asociadas a tierra. Contiene, al menos, un componente no lineal. Por ejemplo, para la protección de líneas de acometida eléctrica, de transmisión de datos, líneas telefónicas, instalaciones de TV, emisores y receptores de radiofrecuencia.

1.3.26 sobretensión transitoria de origen atmosférico: Sobretensión de corta duración -que no sobrepasa los milisegundos- oscilatoria o no, generalmente con una gran amortiguación.

1.3.27 nivel de protección: Clasificación de una instalación exterior de protección contra el rayo, según su nivel de riesgo.

1.3.28 superficie de captura equivalente: Superficie de suelo plano sometido al mismo número de impactos que la estructura considerada.

1.4 Fenómenos atmosféricos y sistemas de protección contra el rayo mediante pararrayos con dispositivos de cebado (PDC)

1.4.1 Fenómenos atmosféricos y necesidad de protección contra el rayo. La necesidad de protección viene determinada por la densidad de caída de rayos en el entorno considerado. La probabilidad de que una estructura sea alcanzada por un rayo a lo largo de un año es el producto de la densidad de impactos por su superficie de captura equivalente.

La densidad de impactos viene dada por la tabla del apartado B2.1 del anexo B.

La necesidad de proteger una estructura y el nivel de protección que se ha de aplicar se dan en el anexo B.

NOTA – Otros imperativos pueden llevar a optar por una protección al margen de todas las consideraciones estadísticas. Por ejemplo, obligaciones reglamentarias o consideraciones personales, ya que algunos factores no pueden ser valorados y éstos pueden anular todas las consideraciones: el deseo de evitar todo riesgo para la vida, o de proveer a los ocupantes de un edificio de una seguridad completa, incluso aunque el valor de su índice de riesgo no indicase la necesidad de protección.

1.4.2 Parámetros característicos de la descarga y sus efectos. La descarga se caracteriza principalmente por los parámetros relacionados con la formación del arco eléctrico entre la nube y la tierra, ya que éstos están ligados al paso de la corriente de la descarga en el arco y en los conductores.

Citaremos los siguientes parámetros:

- amplitud;
- tiempo de cola;
- tiempo de subida;
- variación de la corriente con el tiempo;

- polaridad;
- carga;
- energía específica;
- número de rayos por descarga.

Los tres primeros son independientes en términos estadísticos. Por ejemplo, se puede encontrar cualquier valor de la amplitud con cualquier valor de tiempo de cola (Véanse los datos mundiales mostrados en las tablas del anexo D). A efectos prácticos existen formas de ondas normalizadas que relacionan el tiempo de subida y de bajada por ejemplo 8/20 μ s, 10/350 μ s, 1,2/50 μ s u otros).

Como fenómeno eléctrico, el rayo puede tener las mismas consecuencias que cualquier otra corriente que circule por un conductor eléctrico, o que todo otro paso de corriente a través de un mal conductor o un aislante.

Los efectos de los parámetros característicos del rayo a los que se debe prestar atención son los siguientes:

- efectos ópticos;
- efectos acústicos;
- efectos electroquímicos;
- efectos térmicos;
- efectos electrodinámicos;
- radiación electromagnética.

Se deberán considerar los efectos térmicos y electrodinámicos al dimensionar las diferentes partes que componen el sistema de protección contra el rayo. Las consecuencias de la radiación electromagnética (excitaciones, inducciones...) se analizan en el capítulo 3.

Los otros efectos no tienen una influencia notable en el diseño de un sistema de protección contra el rayo. Todos los efectos mencionados se describen en el anexo D.

1.4.3 Composición de un sistema de protección contra el rayo. Un sistema de protección contra el rayo está formado por una instalación exterior de protección contra el rayo (IEPR) y por una instalación interior de protección contra el rayo (IIPR) complementaria.

NOTA - En ciertos casos el SPCR podrá estar formado solamente por la instalación interior o por la instalación exterior.

La instalación exterior se compone de los elementos siguientes unidos entre sí (véase figura 1.4.3.):

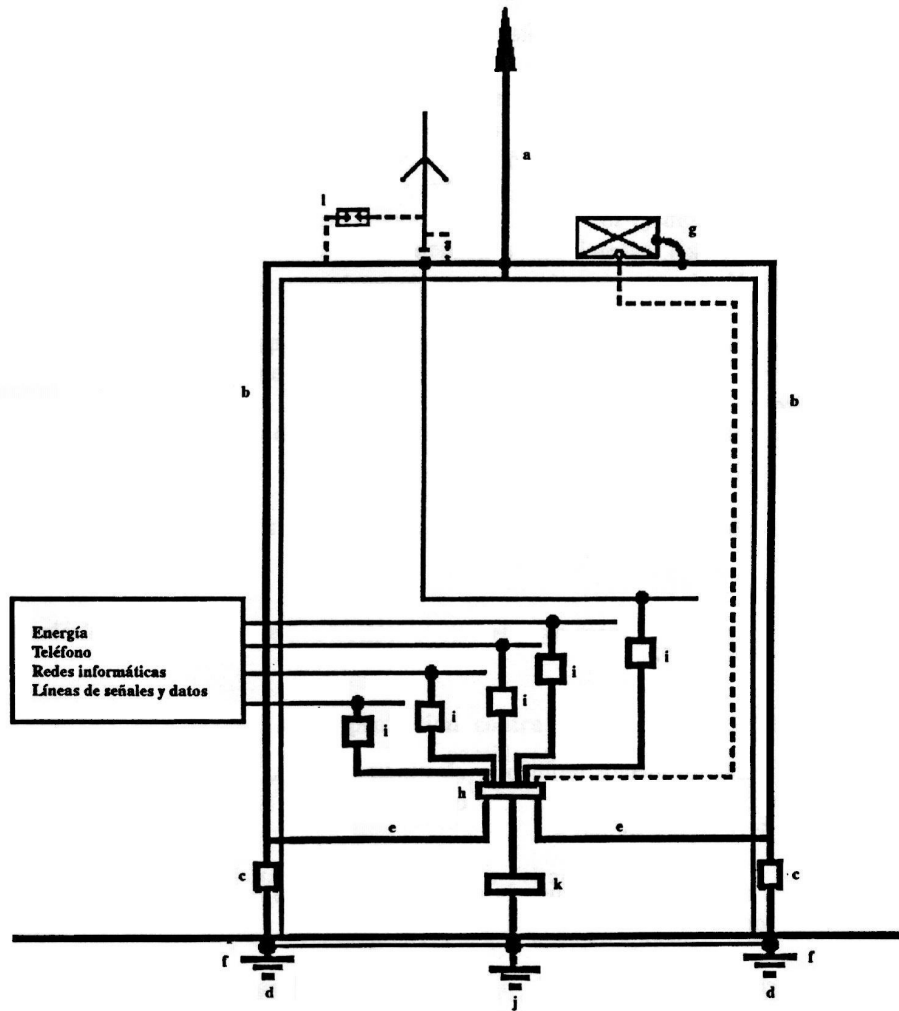


Fig. 1.4.3

- (a) uno o más PDC
- (b) uno o más conductores de bajada
- (c) una junta de control por conductor de bajada (manguito seccionador o puente de comprobación)
- (d) una toma de tierra por conductor de bajada
- (e) una o más uniones equipotenciales entre las tomas de tierra

La instalación interior se compone de:

- (f) una o más conexiones equipotenciales
- (g) conductor de protección o equipotencialidad
- (h) una o más barras de equipotencialidad
- (i) uno o más protectores contra sobretensiones
- (j) puesta a tierra
- (k) borne de tierra
- (l) conexión directa o con vía de chispas

2 INSTALACIÓN EXTERIOR DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (IEPR)

2.1 Disposiciones generales

2.1.1 Diseño. Se deberá realizar un estudio previo para determinar el nivel de protección a emplear, el emplazamiento de el/los PDC(s), el trazado de las bajante(s) y la ubicación y el tipo de las toma(s) de tierra.

Es aconsejable tener en cuenta la estructura arquitectónica desde el momento del diseño del sistema de protección contra el rayo, ya que en caso contrario su eficacia puede disminuir sensiblemente.

2.1.2 Estudio previo. El estudio previo comprende dos partes:

- a) Estudio del riesgo de caída de rayos y elección del nivel de protección con la ayuda del Anexo B.
- b) Emplazamiento de los diferentes elementos de la instalación.

El conjunto de las informaciones formará un documento descriptivo que contenga:

- las dimensiones de la estructura;
- la posición geográfica relativa de la estructura: aislada, situada en la cima de una colina o en medio de otras construcciones que sean más altas, de la misma altura o más bajas;
- la frecuencia de ocupación de la estructura y si los ocupantes son personas con movilidad limitada o no;
- el riesgo de pánico;
- la dificultad de acceso;
- la continuidad de servicio;
- el contenido de la estructura: presencia de seres humanos, de animales, de materias inflamables o de equipos sensibles como ordenadores, equipos electrónicos, de gran valor o irremplazables;
- la forma e inclinación de los tejados;
- la naturaleza 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 la naturaleza de los materiales que las constituyen (metálicos o no conductores);
- los puntos más vulnerables del edificio;
- la disposición de los conductos metálicos (agua, electricidad, gas...) del edificio;
- 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.).

Los puntos de la estructura considerados vulnerables son las partes salientes, en particular las torres, veletas, objetos puntiagudos, chimeneas, canalones, tuberías, aristas y cumbreras, las masas metálicas (extractores de aire, dispositivos de limpieza de fachada, barandillas,...) casetones de escalera, recintos técnicos sobre el techo, en terraza, etc.

2.2 Dispositivos de captación

2.2.1 Principios generales. Un pararrayos con dispositivo de cebado (PDC) está compuesto por una o más puntas captadoras, dispositivos de cebado y un eje sobre el que se soporta el sistema de conexión del conductor de bajada.

Para determinar la zona protegida por un PDC, se utiliza el modelo electrogeométrico, tal como se explica en el anexo A, y el avance en el cebado, según se define en el apartado 2.2.2.

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.

2.2.2 Avance en el cebado. Un PDC se caracteriza por su avance en el cebado. Este se evidencia en los ensayos de evaluación. Dichas pruebas comparan un pararrayos con dispositivo de cebado y un PR con su dispositivo de cebado anulado, de la misma geometría y en las mismas condiciones de ensayo.

Este avance en el cebado determina el cálculo de los radios de protección. Se expresa:

$$\Delta t = \bar{T}_{PR} - \bar{T}_{PDC}$$

donde

\bar{T}_{PR} es el instante de cebado promedio de un trazador ascendente en un PR;

\bar{T}_{PDC} es el instante de cebado promedio de un trazador ascendente en un pararrayos con dispositivo de cebado.

2.2.2.1 Ensayo de evaluación para pararrayos con dispositivo de cebado. Este procedimiento consiste en evaluar el avance en el cebado de un PDC. Se simulan en laboratorio de alta tensión las condiciones naturales, mediante la superposición de un campo permanente, que representa el campo ambiente existente en el momento de una tormenta, y de un campo de impulsos, simulando la aproximación del trazador descendente.

NOTA - Los ensayos de correlación in situ están en curso de definición.

2.2.3 Posicionamiento del pararrayos con dispositivo de cebado

2.2.3.1 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 figura 2.2.3.1).

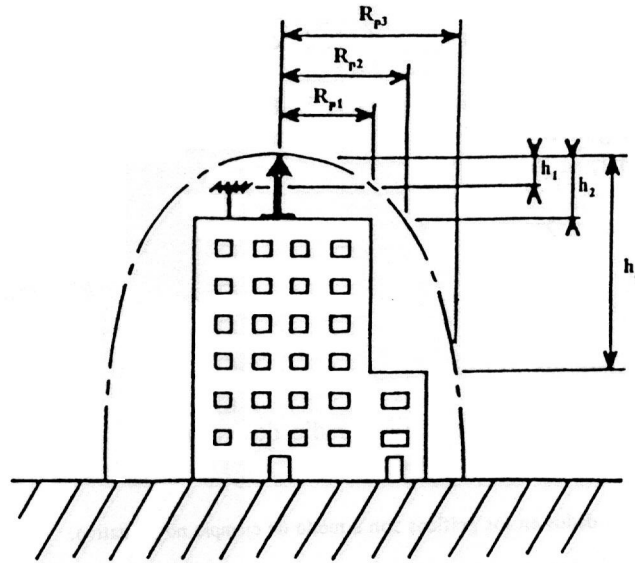


Fig. 2.2.3.1 - Radios de protección

donde

h_n es la altura de la punta del PDC, con relación al plano horizontal que pasa por el punto más alejado perteneciente al elemento a proteger;

R_{pn} es el radio de protección del PDC, para la altura considerada.

2.2.3.2 Radio de protección. El radio de protección de un PDC depende de su altura (h) en relación con la superficie a proteger, de su avance en el cebado y del nivel de protección elegido (véase anexo A).

$$R_p = \sqrt{2Dh - h^2 + \Delta L(2D + \Delta L)}, \text{ para } h \geq 5\text{ m} \quad (\text{fórmula 1})$$

Para $h < 5$ m se utiliza el método gráfico dado en las figuras 2.2.3.3a, b y c.

donde

R_p es el radio de protección;

h es la altura de la punta del PDC en relación al plano horizontal que pasa por el vértice del elemento a proteger;

D 20 m para el nivel de protección I;

45 m para el nivel de protección II;

60 m para el nivel de protección III;

$$\Delta L \quad \Delta L_{(m)} = v_{(m/\mu s)} \cdot \Delta t_{(\mu s)} \quad (\text{fórmula 2})$$

donde

Δt es el avance en el cebado obtenido en los ensayos de evaluación de los PDCs (véase apartado 2.2.2.1).

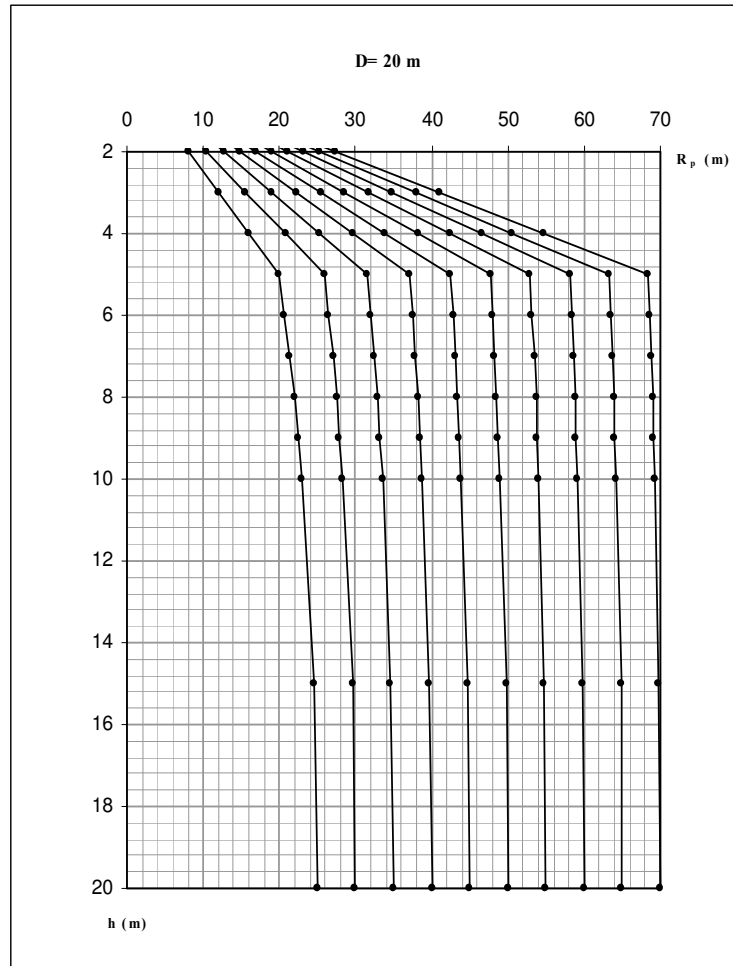
2.2.3.3 Elección y posicionamiento del PDC. Para cada instalación de un sistema de protección contra el rayo, se realiza un estudio previo para determinar el nivel de protección requerido (véase apartado 2.1.2).

Seguidamente se determina el radio de protección R_p necesario para la cobertura de la estructura, con la ayuda de la fórmula 1 o de los gráficos 2.2.3.3a, b, c, para $h \geq 5$ m, y con las gráficas citadas para $h < 5$, para los niveles de protección de I a III, se toma:

- para el nivel I, figura 2.2.3.3.a)
- para el nivel II, figura 2.2.3.3.b)
- para el nivel III, figura 2.2.3.3.c)

Cuando se utilicen los gráficos, se hallará el radio de protección R_p eligiendo, dentro de la curva seleccionada, la altura h necesaria y el ΔL del PDC considerado.

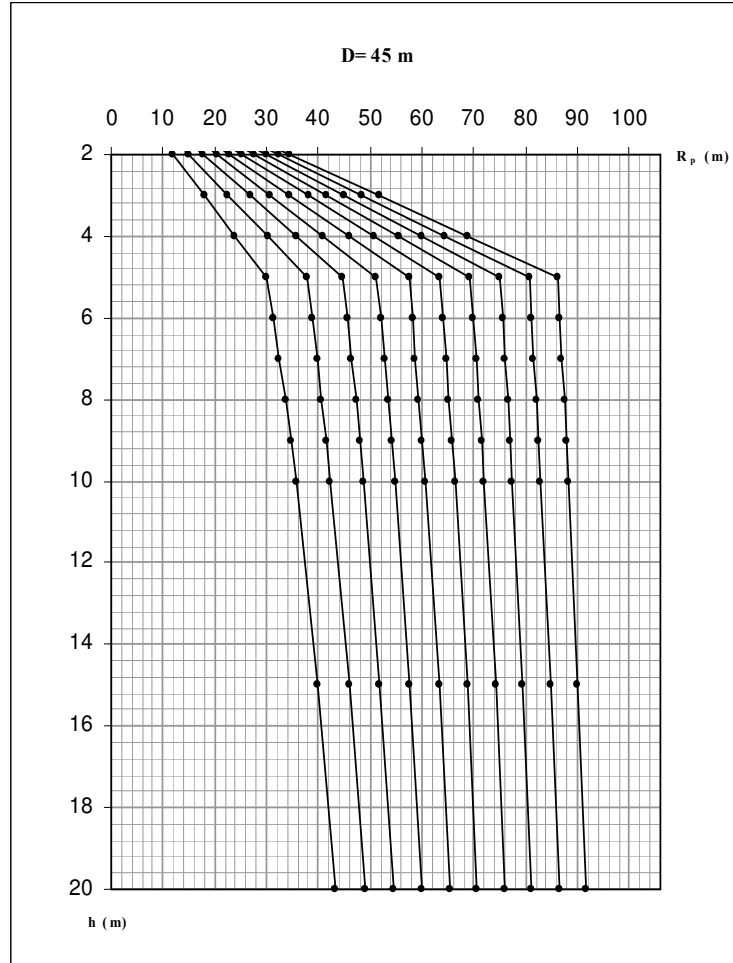
NOTA - Los valores de ΔL dados en los gráficos son a modo de ejemplo no limitativo.



D (m)										
20										
DL (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
h (m)	R _p (m)									
20	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
25	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
30	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
35	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
40	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
45	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
50	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
55	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
60	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00

D(m): Distancia de cebado o radio de la esfera ficticia.
 ΔL (m): Avance en el cebado del pararrayos considerado.
 h (m): Diferencia de altura entre la punta pararrayos y el plano horizontal considerado.
 R_p (m): Radio de protección al nivel del plano horizontal considerado.

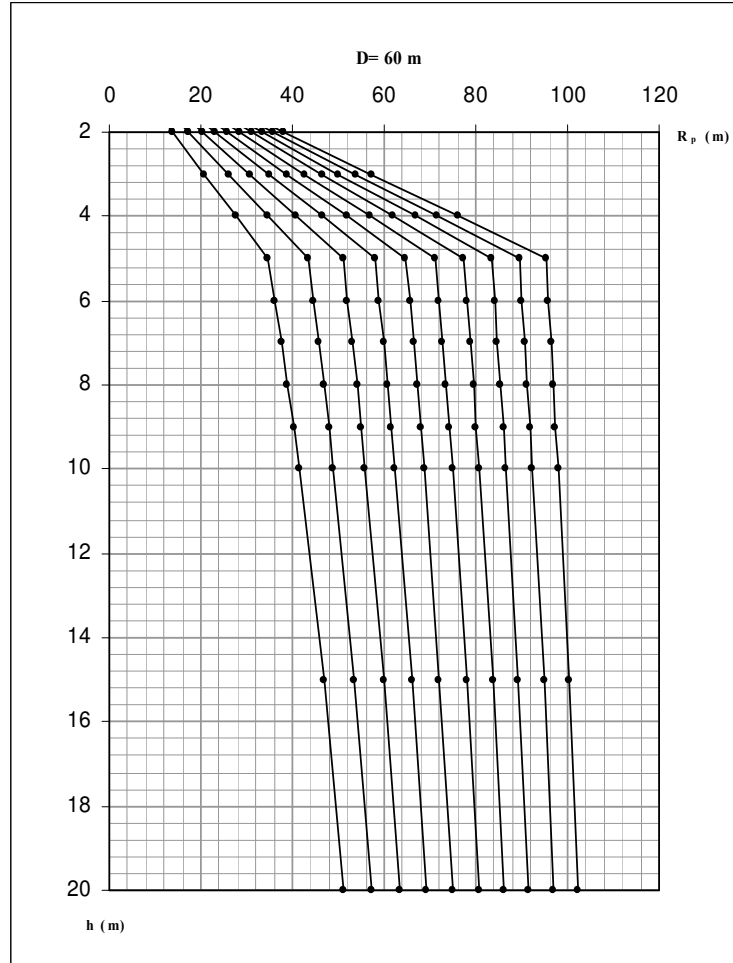
**Fig. 2.2.3.3 a) – Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado
 Nivel de protección I (D = 20 m)**



D (m)										
45										
DL (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
h (m)	R _p (m)									
20	43.30	48.99	54.54	60.00	65.38	70.71	75.99	81.24	86.46	91.65
25	45.83	51.23	56.57	61.85	67.08	72.28	77.46	82.61	87.75	92.87
30	47.70	52.92	58.09	63.25	68.37	73.48	78.58	83.67	88.74	93.81
35	48.99	54.08	59.16	64.23	69.28	74.33	79.37	84.41	89.44	94.47
40	49.75	54.77	59.79	64.81	69.82	74.83	79.84	84.85	89.86	94.87
45	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00
50	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00
55	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00
60	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00

- D(m): Distancia de cebado o radio de la esfera ficticia.
- ΔL (m): Avance en el cebado del pararrayos considerado.
- h (m): Diferencia de altura entre la punta pararrayos y el plano horizontal considerado.
- R_p (m): Radio de protección al nivel del plano horizontal considerado.

**Fig. 2.2.3.3 b) – Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado
Nivel de protección II (D = 45 m)**



D (m)										
60										
ΔL (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
h (m)	R _p (m)									
20	51.23	57.45	63.44	69.28	75.00	80.62	86.17	91.65	97.08	102.47
25	54.77	60.62	66.33	71.94	77.46	82.92	88.32	93.67	98.99	104.28
30	57.66	63.25	68.74	74.16	79.53	84.85	90.14	95.39	100.62	105.83
35	60.00	65.38	70.71	75.99	81.24	86.46	91.65	96.82	101.98	107.12
40	61.85	67.08	72.28	77.46	82.61	87.75	92.87	97.98	103.08	108.17
45	63.25	68.37	73.48	78.58	83.67	88.74	93.81	98.87	103.92	108.97
50	64.23	69.28	74.33	79.37	84.41	89.44	94.47	99.50	104.52	109.54
55	64.81	69.82	74.83	79.84	84.85	89.86	94.87	99.87	104.88	109.89
60	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	105.00	110.00

D(m): Distancia de cebado o radio de la esfera ficticia.
 ΔL (m): Avance en el cebado del pararrayos considerado.
 h (m): Diferencia de altura entre la punta pararrayos y el plano horizontal considerado.
 R_p (m): Radio de protección al nivel del plano horizontal considerado.

**Fig. 2.2.3.3 c) – Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado
 Nivel de protección III (D = 60 m)**

2.2.4 Materiales y dimensiones. La/s parte/s del PDC por las que fluye la corriente del rayo serán de cobre, aleación de cobre, aleación de aluminio o acero inoxidable. La punta, al igual que el cuerpo de la punta, tendrá una sección conductora superior a 120 mm^2 .

2.2.5 Montaje en obra

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

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

Aquellos PDCs que protejan zonas abiertas (campos de deporte, golf, piscinas, camping...) 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.

2.2.5.2 Mástiles autónomos. Los PDCs pueden estar ubicados ocasionalmente sobre mástiles autónomos. En caso de sujeción mediante vientos conductores, estos estarán unidos, en sus puntos de anclaje a nivel de suelo, a los conductores de bajada mediante conductores conforme a la tabla 2.3.4.

2.2.5.3 Puntos de ubicación preferentes. 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;
- cubreras;
- chimeneas metálicas o de albañilería

2.3 Conductores de bajada

2.3.1 Principios generales. Los conductores de bajada están destinados a conducir la corriente del rayo desde los dispositivos de captación hasta las tomas de tierra. Se situarán en el exterior de la estructura, a excepción de los casos citados en el apartado 2.3.3.1

2.3.2 Número de bajantes. Cada PDC estará unido a tierra por al menos una bajante. Serán necesarias al menos dos bajantes en los casos siguientes:

- si la proyección horizontal del conductor es superior a su proyección vertical (véase figura 2.3.2);
- en el caso de realización de instalaciones sobre estructuras de altura superior a 28 m.

Las dos bajantes deberán realizarse sobre dos fachadas distintas, siempre que esto sea posible.

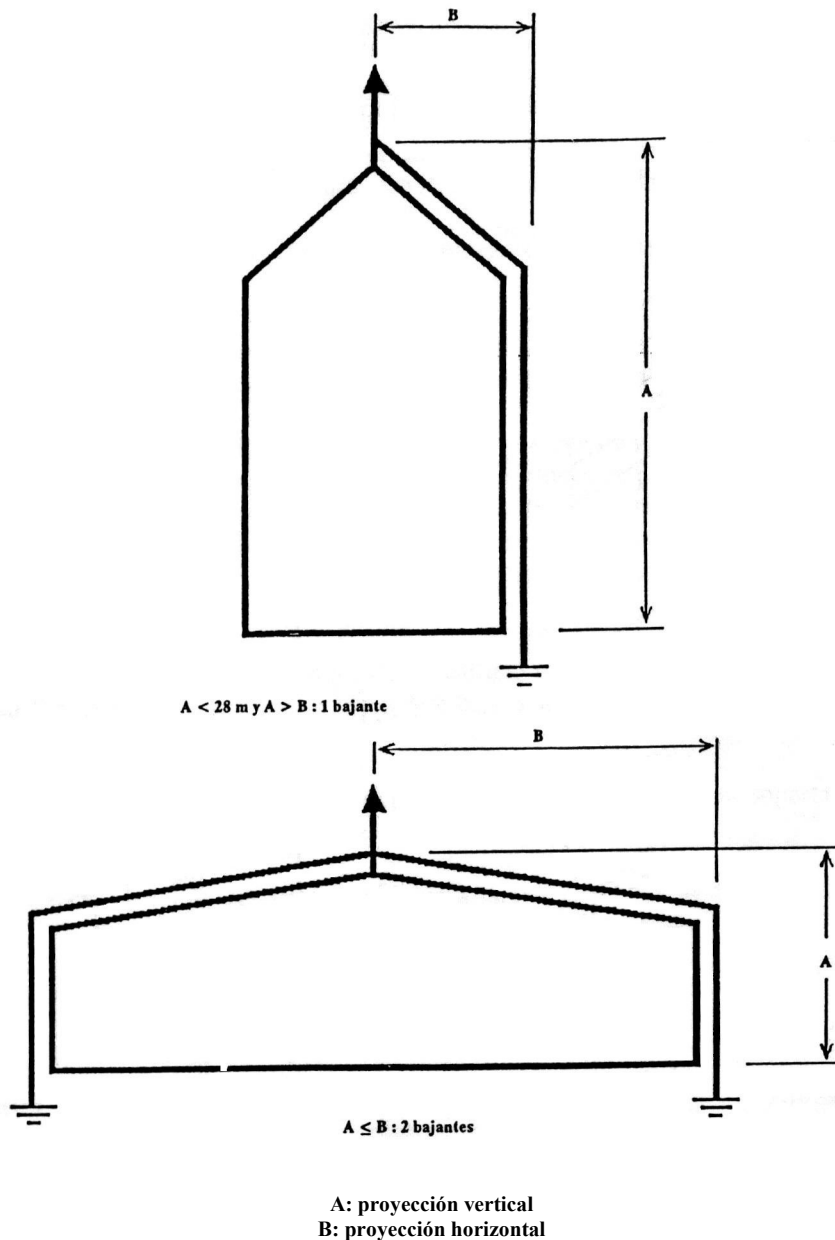


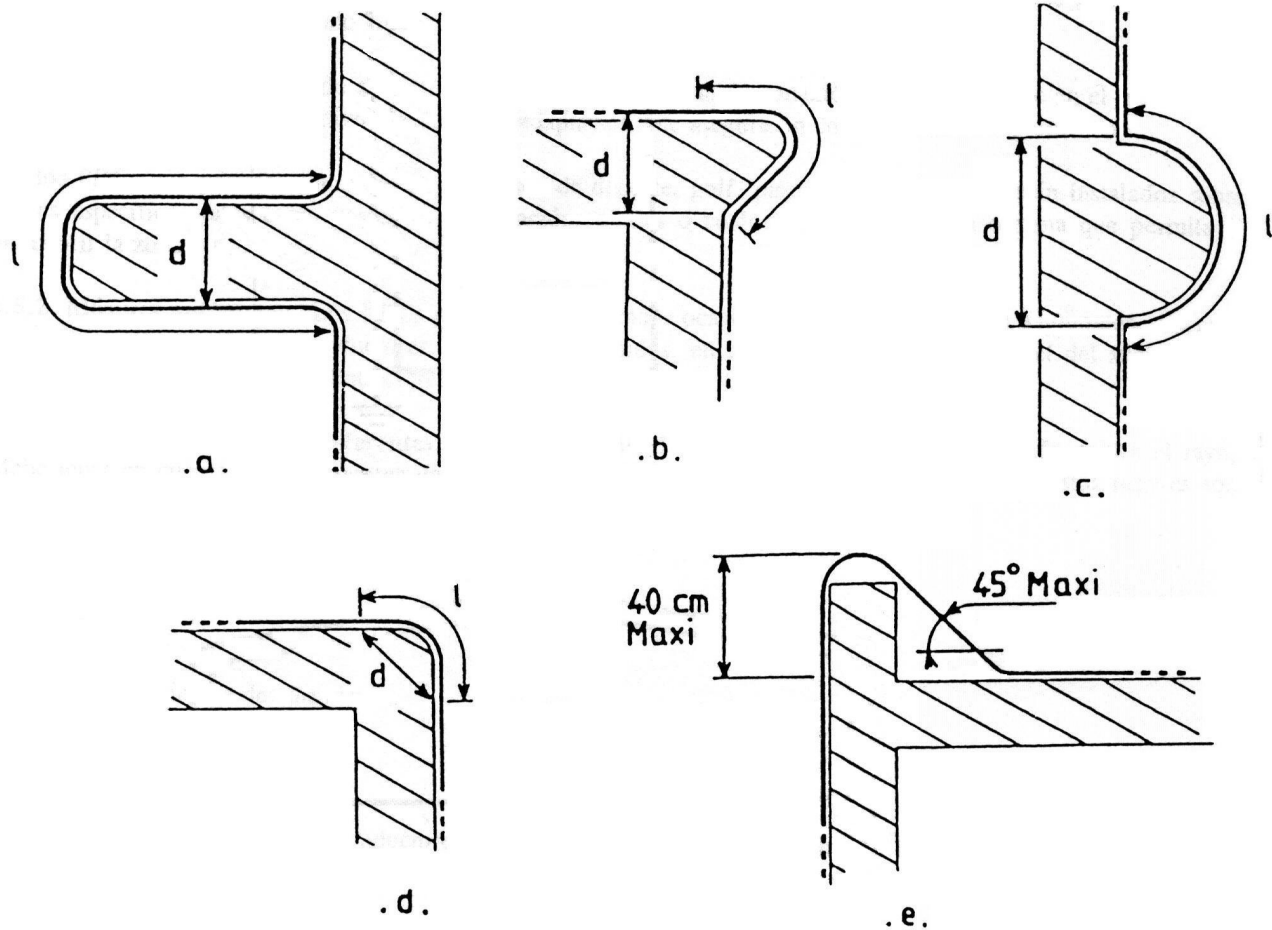
Fig. 2.3.2 –Número de bajantes

2.3.3 Trayectoria. El conductor de bajada se instalará de tal forma que su recorrido sea lo más directo posible. Su trazado tendrá 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 serán inferiores a 20 cm (véase figura 2.3.3). 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 1 m a cada parte del cruce. El blindaje deberá unirse a la bajante.

Se ha de evitar el contorno de cornisas o elevaciones. Se preverán lugares de paso lo más directo posible para los conductores. En cualquier caso, se admite una remontada de 40 cm para franquear una elevación con una pendiente menor o igual a 45 grados (véase figura 2.3.3).

En el caso d de la figura 2.3.3, la condición $d > 1/20$ se cumple siempre ya que $d = l/\sqrt{2}$ para cualquier longitud l.



l= longitud del bucle, en metros;

d= anchura del bucle, en metros.

No hay peligro de ruptura de ningún dieléctrico si se respeta la condición $d > 1/20$.

Fig. 2.3.3 – Formas de acodamiento de una bajante de pararrayos

Las fijaciones de los conductores de bajada se realizarán tomando como referencia 3 fijaciones por metro. Estas fijaciones deben ser apropiadas para los soportes y realizadas de forma de que no afecten la impermeabilidad del tejado. Deben permitir una posible dilatación de los conductores.

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. Se debe evitar, en la medida de lo posible, la perforación de los cables.

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 de suelo.

2.3.3.1 Trayectoria por interiores. Cuando es imposible realizar una bajante exterior, el cable de bajada podrá ir dentro de un tubo, destinado especialmente a tal efecto, que recorra la pared en toda su altura o sólo en parte.

La utilización de fundas aislantes y no inflamables es posible siempre que éstas tengan una sección interior superior o igual a 2 000 mm². En cualquier caso, se deben respetar las condiciones de proximidad de los capítulos 2 y 3. La eficacia del sistema de bajantes puede verse disminuida en el caso de la trayectoria sea interior. El proyectista debe ser consciente de esta reducción de la eficacia del sistema de protección contra el rayo, de las dificultades de realizar la verificación y el mantenimiento, así como los riesgos resultantes de la penetración de sobretensiones en el interior de los edificios.

2.3.3.2 Revestimiento exterior. Cuando el exterior de un edificio o estructura está provisto de elementos metálicos, o de un elemento fijo de revestimiento, el conductor de bajada se puede fijar detrás del revestimiento sobre el hormigón o la estructura que lo soporta.

En este caso, los elementos conductores del revestimiento y de la estructura que lo soporta deben estar unidos equipotencialmente a la bajante, tanto en la parte superior como en la base.

2.3.4 Materiales y dimensiones. Los conductores de bajada podrán ser pletinas, trenza plana, cable trenzado o redondo. La sección mínima ha de ser de 50 mm² y esta definida en la tabla 2.3.4

Tabla 2.3.4

Conductores de bajada		
Material	Observaciones	Dimensiones
Cobre electrolítico desnudo o estañado(1)	Recomendado por su buena conductividad eléctrica y su resistencia a la corrosión	pletina 30 x 2mm trenza plana 30 x 3.5 mm cable trenzado 50 mm ² redondo Ø 8 mm (2)
Acero inoxidable 18/10, 304	Recomendado en ciertos ambientes corrosivos	Pletina 30 x 2 mm Redondo Ø 8 mm (2)
Aluminio A 5/L	Debe ser utilizado sobre superficies de aluminio (barandillas, muros,...)	Pletina 30 x 3 mm Redondo Ø 10 mm (2)

Notas:

- 1) Se recomienda el cobre estañado debido a sus propiedades físicas, mecánicas y eléctricas (conductividad, maleabilidad, resistencia a la corrosión,...)
- 2) Dado el carácter de impulso de la corriente del rayo, el conductor plano es preferible al conductor redondo, ya que ofrece una mayor superficie exterior para una sección idéntica.
- 3) No se admite el uso de cables coaxiales aislados como conductores de bajada, ni el empleo de fundas o revestimientos aislantes envolviendo las bajantes.
- 4) Previo acuerdo, se podrán utilizar otros materiales.

2.3.5 Unión de comprobación de tierras. Cada conductor de bajada estará 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 y estará etiquetado con la inscripción “pararrayos” y el símbolo \oplus .

Generalmente, las juntas de control se intercalan en las bajantes a 2 m por encima de suelo. Para las instalaciones sobre paredes metálicas, o que estén provistas de una bajante específica, las juntas de control se intercalarán entre cada toma de tierra y el elemento metálico del edificio al que estén unidas; estarán emplazadas en el interior de un registrador de inspección sobre el que estará inscrito el símbolo \oplus .

2.3.6 Contador de impacto de rayos. Cuando este prevista la instalación de un contador de impactos de rayo, éste debe estar instalado sobre el conductor de bajada más directo, por encima de la junta de control y, en todos los casos, aproximadamente a 2 m por encima del suelo.

2.3.7 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.

2.3.7.1 Componentes naturales que pueden reemplazar en todo o en parte a 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 a 0.01Ω .

En este caso, los PDCs estarán unidos en la parte superior directamente a la estructura metálica y ésta se unirá en la parte inferior a las tomas de tierra.

La utilización de una bajante natural debe satisfacer las condiciones de equipotencialidad del capítulo 3.

NOTA MUY IMPORTANTE - Los componentes naturales podrán ser modificados o suprimidos sin que su pertenencia al sistema de protección contra el rayo sea tenida en cuenta, por lo que es preferible proveer el sistema de conductores específicos.

2.3.7.2 Componentes naturales que pueden complementar 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, conectadas en tres puntos al menos en ambas partes;
 - las estructuras metálicas exteriores que no abarquen toda la altura del edificio.

NOTA - Cuando se trate de hormigón prefabricado, conviene evaluar el riesgo de efectos mecánicos debidos al paso de la corriente del rayo por el sistema de protección.

- b) Las chapas metálicas que recubren el espacio a proteger, teniendo en cuenta que:
 - la continuidad eléctrica entre las diferentes partes se debe realizar en forma perdurable;
 - éstas no deben estar revestidas de material aislante.

- c) Las tuberías metálicas, si están fabricadas en material de al menos 2 mm de espesor.

NOTA- Una ligera capa de pintura protectora, 1 mm de asfalto o 0.5 mm de PVC no se considera aislamiento.

3 EQUIPOTENCIALIDAD DE LAS MASAS METÁLICAS E INSTALACIÓN INTERIOR DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (IIPR)

3.1 Generalidades

Al pasar la corriente de rayo por el conductor, aparecen diferencias de potencial entre éste y las masas metálicas conectadas a tierra que se encuentran próximas. Se pueden formar entonces chispas peligrosas entre los dos extremos de bucle que se ha creado.

En función de la distancia que separa los dos extremos del bucle abierto (el o los conductores de bajada por una parte y la masa metálica conectada a tierra por otra), se realizará o no la conexión equipotencial. La distancia mínima en la que no existe riesgo de chispa peligrosa se denomina distancia de seguridad (d_s) y depende del nivel de protección elegido, del número de bajantes, del material que se encuentre en los extremos del bucle y de la distancia desde la masa metálica considerada hasta la toma de tierra.

A menudo es difícil asegurar el aislamiento en el momento de instalar un SPCR (falta de información cuando se toma la decisión...), o asegurarlo con el paso del tiempo (modificaciones en la estructura, obras,...). Así pues, es preferible realizar la conexión equipotencial.

Sin embargo, en ciertos casos no se realiza la conexión equipotencial (conductor inflamable o explosivo,...). En estos casos el/los conductor/es de bajada se instalarán a una distancia mayor que la distancia de seguridad d_s [véase apartado 3.2.1.c)].

3.1.1 Unión equipotencial. La unión equipotencial se realizará mediante conductores de equipotencialidad, vías de chispas o protectores contra sobretensiones, en el punto de mayor proximidad entre el conductor de bajada o el PDC, por el que pasa la corriente de rayo, y el elemento se pondrá al mismo potencial situado sobre la estructura, en sus paredes o en el interior de las mismas.

Se consigue una equipotencialidad uniendo el SPCR, la estructura metálica de la estructura, la instalación metálica, los elementos conductores externos y los circuitos eléctricos y telefónicos del espacio a proteger con ayuda de conductores de equipotencialidad o de limitadores de sobretensiones .

NOTA – siempre que todo lo anterior sea posible constructivamente.

3.1.2 Distancia de seguridad. Es la distancia mínima entre un conductor de bajada por el que pasa la corriente del rayo y una masa conductora próxima unida a tierra, en la que no hay formación de chispas peligrosas.

Para que exista aislamiento, en relación a las chispas peligrosas, es necesario que la distancia que separa el sistema de protección contra el rayo del elemento conductor considerado sea superior a d_s .

$$\text{Distancia de seguridad: } d_s \text{ (m)} = a_n \frac{K_i}{K_m} l \tag{fórmula 3}$$

Donde:

a_n depende del número de bajantes por PDC antes del punto del contacto considerado:

$a_n = 1$ cuando hay una bajante

$a_n = 0.6$ cuando hay dos bajantes

$a_n = 0.4$ cuando hay tres o más bajantes

K_i depende del nivel de protección elegido:

$K_i = 0.1$ para el nivel I

$K_i = 0.075$ para el nivel II

$K_i = 0.05$ para el nivel III

K_m depende del material existente entre los dos extremos del bucle:

$K_m = 1$ para el aire

$K_m = 0.5$ cuando esté relleno del material (a excepción del metal)

1 es la distancia vertical desde el punto en que se considera la proximidad hasta la toma de tierra de la masa metálica o la unión equipotencial más próxima.

NOTAS

- 1 Cuando la masa conductora próxima no está eléctricamente unida a tierra, no se realizará unión equipotencial
- 2 En el caso de que el SPCR esté conectado a estructuras de hormigón armado con armaduras de acero interconectadas, o a estructuras de carpintería metálica, las condiciones de proximidad son respetadas habitualmente.

3.2 Equipotencialidad de las masas metálicas exteriores

En la mayoría de los casos, es posible una unión directa mediante conductores de equipotencialidad. En el caso de que no sea posible o no esté autorizada por los servicios competentes, se deberá realizar la unión mediante protectores contra sobretensiones o vías de chispas.

3.2.1 Unión equipotencial mediante conductores de equipotencialidad. Se realizará una unión equipotencial en los siguientes entornos:

a) A nivel del suelo o en el subsuelo.

Las diferentes tomas de tierra de la estructura deben ser unidas entre sí según las disposiciones de los apartados 4.4 y 4.5.

b) Cuando no se respeten la/s exigencia/s de proximidad ($d < d_s$).

En este caso, los conductores de equipotencialidad serán del mismo tipo de aquellos utilizados para realizar las bajantes (tabla 2.3.4) y su longitud será lo más corta posible.

En el caso de SPCR aislado, la unión equipotencial se realizará únicamente a nivel del suelo.

c) En el caso de canalizaciones exteriores de gas, $d_s = 3$ m.

3.2.2 Equipotencialidad por unión directa o protector contra sobretensiones. Una antena o poste de líneas eléctricas se unirá a la bajante en el punto más próximo directamente o mediante un protector contra sobretensiones, por ejemplo tipo vía de chispas para mástil de antena.

En el caso de canalizaciones (agua, gas,...) que incluyan partes aislantes dentro del espacio considerado, aquellas deben ser cortocircuitadas mediante un protector contra sobretensiones.

3.3 Equipotencialidad de las masas metálicas embebidas en las paredes

La unión equipotencial se realizará, de acuerdo con las reglas de los apartados 3.2.1 a) y b), allí donde se hayan previsto bornes de conexión a tal efecto. Se prestará particular atención a los problemas de hermeticidad.

NOTA - En caso de estructuras ya existentes, se deberá contactar con los servicios competentes.

3.4 Equipotencialidad de las masas metálicas interiores: instalación interior de protección contra el rayo

Los conductores de equipotencialidad unen las masas metálicas interiores a una barra de equipotencialidad fabricada y dispuesta de forma que permite una desconexión fácil para su comprobación. Estos conductores tendrán una sección mínima de 16 mm² cuando sean de cobre o aluminio y de 50 mm² si son de acero. La barra de equipotencialidad será instalada lo más cerca posible de la toma general de tierra de la estructura. En el caso de grandes estructuras, se pueden instalar varias tomas de tierra, siempre que éstas estén interconectadas. Cada una de las barras de equipotencialidad será de cobre o de material idéntico al conductor de equipotencialidad y de una sección mínima de 75 mm².

En el caso de instalaciones eléctricas o de telecomunicaciones, si los conductores están apantallados o dispuestos en el interior de un conducto metálico, puede ser suficiente con unir únicamente la pantalla o los conductos metálicos a tierra.

En caso contrario, los conductores se unirán al sistema de protección contra el rayo mediante protectores contra sobretensiones.

4 TOMAS DE TIERRA

4.1 Generalidades

Se realizará una toma de tierra por cada conductor de bajada.

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 deberá asegurar una mínima 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 10 Ω). Se debe medir este valor sobre la toma de tierra aislada de todo otro elemento de naturaleza conductora;
- valor de impedancia de onda o inductancia: lo más bajo posible, para minimizar la fuerza contraelectromotriz que se añade al potencial óhmico en el momento de la descarga del rayo. A este efecto, es conveniente evitar las tomas de tierra constituidas por un único elemento de gran longitud, horizontal o vertical.

Así, la utilización de electrodos profundos, buscando gran profundidad en terrenos húmedos, sólo es interesante si la resistividad de la superficie es particularmente elevada y es sólo compatible con la existencia de estratos inferiores del terreno de elevada conductividad o reducida resistividad, siendo adecuado para la toma de decisión en este sentido, disponer de una herramienta de predicción de estratigrafía del terreno a partir de medidas en su superficie.

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 perfectamente unidas eléctricamente entre sí. Igualmente, son preferibles los conductores de cobre a los de acero, ya que para estos últimos la sección necesaria para obtener una conductividad equivalente haría impracticable su montaje en obra.

Las tomas de tierra se realizarán y dispondrán conforme a las indicaciones anteriores, así como a aquellas de la instrucción MI BT 039 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

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

4.2 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...).

Esta resistividad puede estimarse según la tabla 4.2 o ser medida por un método apropiado con la ayuda de un medidor de tierra.

Por ejemplo, las tomas de tierra podrán estar constituidas para cada conductor de bajada:

- a) por conductores de la misma naturaleza y sección que las bajantes, salvo para el aluminio, dispuestos en forma de pata de ganso de grandes dimensiones y al menos a 50 cm de profundidad;

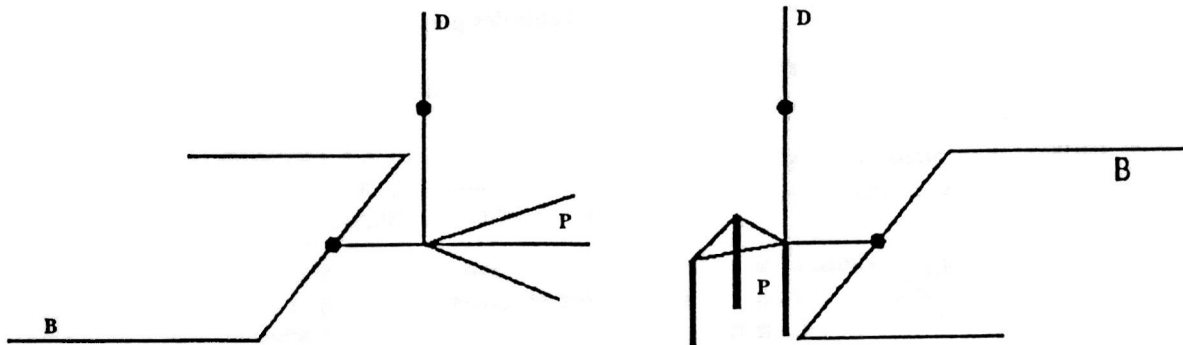
Ejemplo: tres conductores de 7 a 8 m de longitud, horizontalmente, al menos a 50 cm de profundidad,

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

NOTA - La forma recomendada es el triángulo.

Tabla 4.2

Naturaleza del terreno	Resistividad en $\Omega \cdot m$
Terreno pantanoso	0 a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcilla compactas	100 a 200
Margas del jurasico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena de silicio	200 a 3 000
Suelo pedregoso desnudo	1 500 a 3000
Suelo pedregoso recubierto de césped	300 a 500
Caliza blanda	100 a 300
Calizas compactas	1 000 a 5 000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Esquistos	50 a 300
Micacitas	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1 500 a 10 000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600



D: Conductores de bajada del pararrayos.

B: Bucle en el fondo de la excavación del edificio.

P: Toma de tierra de las instalaciones del pararrayos.

Fig. 4.2 – Esquema de tipos de tomas de tierra


4.3 Disposiciones complementarias

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

- poner alrededor de los conductores de tierra un material no corrosivo mejorador de la conductividad del terreno;
- añadir piquetas de tierra en forma de pata de ganso o conectar con piquetas ya existentes;
- multiplicar el número de las tomas de tierras, uniéndolas entre sí;
- aplicar un tratamiento que permita una disminución de la impedancia y posea un alto poder de disipación;
- si tras la aplicación de las disposiciones enunciadas no se consigue disponer de una resistencia menor a 10Ω , se considerará que la toma de tierra asegura un paso aceptable de la corriente de rayo siempre que esté constituida por un mínimo de 100 m de electrodo enterrado, sabiendo que la longitud de cada elemento vertical u horizontal no se sobrepasa los 20 m.

4.4 Equipotencialidad de las tierras

Cuando el edificio o el volumen a proteger disponga en la cimentación de una toma de tierra de las instalaciones eléctricas, conforme a la instrucción MI BT 039, las tomas de tierra de las instalaciones de pararrayos se unirán a ellas mediante un conductor normalizado (véase tabla 2.3.4) (figura 4.2).

Para instalaciones nuevas se debe de tener en cuenta esta disposición desde 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 este emplazado en un registro de inspección que lleve el símbolo .

Para instalaciones y registros ya existentes, se deberán realizar interconexiones preferentemente sobre las partes enterradas y deberá 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 interconectará a la red de tierra equipotencial enterrada que une diferentes estructuras.

4.5 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 $500 \Omega \cdot m$ la distancia mínima será de 5 m.

4.6 Materiales y dimensiones

Los materiales y dimensiones mínimos de los electrodos de tierra se da en la tabla 4.6.

Tabla 4.6

Electrodos de tierra		
Material	Observaciones	Dimensión
Cobre electrolítico desnudo o estañado ¹⁾	Recomendado por su buena conductividad eléctrica y su resistencia a la corrosión	pletina 30 x 2mm redondo Ø 8 mm trenza plana 30 x 3.5 mm cable trenzado 50 mm ² rejilla de hilo de secc. mín. 10 mm ² piqueta maciza Ø 14 mm, L= 2 m piqueta tubular Ø 25 ext, L= 2 m placa 500 x 500 x 2
Acero cobrizado (250 µ)		piqueta maciza Ø 14 mm, L= 2 m
Acero inoxidable 18/10, 304	Recomendado en ciertos ambientes corrosivos	pletina 30 x 2 mm redondo Ø 10 mm piqueta maciza Ø 14 mm, L= 2 m piqueta tubular Ø 25 mm, L= 2 m
Acero galvanizado en caliente (50 µ)	Reservado para instalaciones provisionales y de corta vida, debido a su mala resistencia a la corrosión.	pletina 30 x 3.5 mm redondo Ø 10 mm piqueta maciza Ø 19 mm, L= 2 m piqueta tubular Ø 21 mm, L= 2 m

1) Teniendo en cuenta las propiedades físicas, mecánicas y eléctricas (conductividad, maleabilidad, resistencia a la corrosión , etc...) se recomienda el cobre estañado

5 PROTECCION CONTRA LA CORROSION

5.1 Generalidades

La corrosión de los metales depende del tipo de metal utilizado y de la naturaleza del ambiente. Factores como el moho, las sales solubles (electrólitos), grado de aireación, temperatura y evolución de la electrólisis constituyen condiciones verdaderamente complejas.

El efecto de contacto entre materiales diferentes, unido a los fenómenos de electrólisis debidos al entorno, provocan un aumento de la corrosión del metal mas anódico o activo y una disminución de la corrosión del metal más catódico o inerte. Se debe impedir la corrosión del metal mas catódico. El electrólito de esta reacción puede ser un suelo húmedo, o una condensación retenida en las fisuras.

5.2 Precauciones y medidas a adoptar

A fin de reducir la corrosión, es necesario:

- evitar el uso de metales no apropiados dentro de un ambiente agresivo;
- evitar el par galvánico producido por la unión de metales diferentes;
- utilizar la sección adecuada de los conductores y fijaciones resistentes a la corrosión;
- prever en los casos críticos los revestimientos protectores adecuados a las influencias externas.

Para satisfacer las condiciones dichas anteriormente, sirvan las siguientes precauciones como ejemplos:

- las uniones podrán realizarse mediante protectores contra sobretensiones, por ejemplo tipo vía de chispas, cuando exista necesidad de protección catódica;
- el espacio o el diámetro mínimo de un elemento conductor debe cumplir las disposiciones de esta norma;
- los conductores de aluminio no deben estar directamente enterrados o encerrados dentro del hormigón, salvo si están enfundados de forma perdurable o adecuada;
- las uniones cobre/aluminio deben, si es posible, ser evitadas. En caso contrario, las uniones se realizarán mediante la conexión bimetálica apropiada;
- generalmente el cobre es apropiado para la toma de tierra, salvo en ciertas condiciones ácidas, en presencia de oxígeno y sulfatos;
- los conductores de bajada necesitan un revestimiento si están sometidos a humos de naturaleza sulfúrica o amoniacal;
- las fijaciones de los conductores se harán en inoxidable o en material sintético apropiado en el caso de ambiente corrosivo.

6 DISPOSICIONES PARTICULARES

6.1 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.

Cuando se trata de una antena receptora de radiodifusión, individual o colectiva, el mástil que soporta la antena debe estar unido directamente o por medio de una vía de chispas a los conductores de bajada de la instalación mediante un conductor adecuado, excepto si la antena esta fuera de la zona protegida o sobre otro tejado. El cable coaxial deberá protegerse con un protector contra sobretensiones.

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

- el mástil común esta constituido por tubos de sujeción lo suficientemente resistentes como para no necesitar vientos;
- los PDCs están fijados en la antena 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 una abrazadera de unión fijada directamente sobre la punta;
- 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.

6.2 Tejados de paja

En tales casos, la opción es la protección mediante un PDC instalado sobre la chimenea. La bajante recorrerá el tejado sobre soportes aislantes separados entre sí de 20 a 25 cm, bajando sobre las rampas de paja.

6.3 Chimeneas de fábricas

Por su gran altura y la ionización de aire que producen los humos y los gases calientes, las chimeneas de las fábricas son puntos de impacto preferentes de la descarga.

La parte alta de la chimenea debe estar provista de un PDC, preferentemente de material adaptable a un ambiente corrosivo y a la temperatura de los desechos, y ubicado del lado del viento dominante.

Para las chimeneas de altura igual o superior a 40 m, se dispondrán al menos dos bajantes igualmente distancias, una de ellas expuesta del lado de los vientos dominantes. Estas bajantes se unirán entre sí en la parte alta y en la base de la chimenea mediante un anillado. Cada bajante estará provista de una toma de tierra.

Los elementos metálicos externos e internos se unirán al conductor de bajada en el punto más próximo y en las mismas condiciones que las indicadas en el capítulo 3.

6.4 Áreas de almacenamiento de productos inflamables o explosivos

Conforme a los reglamentos en vigor, los depósitos que contengan líquidos inflamables deben estar conectados a tierra, pero sólo 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 sobre mástiles, postes, pilares o cualquier estructura exterior al perímetro de la seguridad, de forma que domine las instalaciones a proteger. Su instalación debe tener en cuenta los radios de protección conforme a esta norma.

Las tomas de tierra se situarán en la zona opuesta a las instalaciones de almacenamiento. Las tomas de tierra de los PDCs y de las instalaciones a proteger deben estar unidas mediante un conductor equipotencial.

NOTA - Se recomienda la colocación de un contador de descargas.

6.5 Edificios religiosos

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

La o las principales prominencias serán provistas de PDCs unidos al suelo por una bajante directa realizada a lo largo de la torre principal.

Se prevé la realización de una segunda bajante recorriendo en horizontal el tejado de la nave, siempre que al menos una de estas condiciones se cumpla:

- la altura total del campanario sea superior a 40 m
- por su longitud la nave salga de la zona de protección del PDC.

En este segundo caso, se colocarán el/los PDC/s adicionales necesarios, conforme a lo dispuesto en el apartado 2.2.5.1 y demás disposiciones de esta norma. Su bajante se conectará con la segunda bajante que comienza en la cima de la torre.

En el caso de una iglesia con dos bajantes, si hay una cruz o una estatua no metálica en la extremidad de la nave, ésta será provista de una punta de captación (véase ejemplos de la figura 6.5).

Las dos tomas de tierra del pararrayos así como la tierra eléctrica se unirán entre sí preferentemente mediante un conductor de tierra.

Algunos edificios religiosos tienen campanas eléctricas. Su alimentación eléctrica se protegerá contra las sobretensiones con la ayuda de un protector contra sobretensiones conforme al capítulo 3.

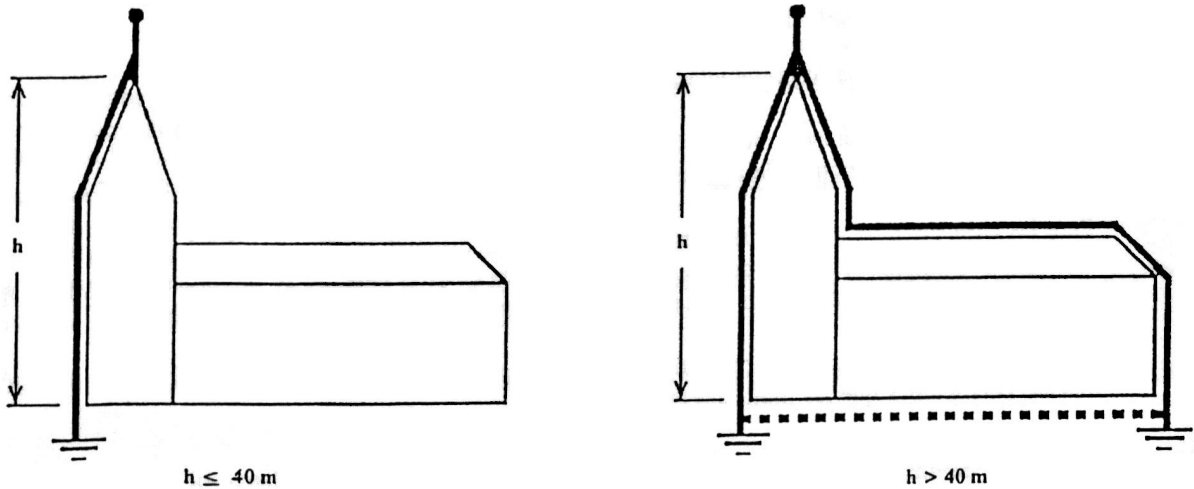


Fig. 6.5 – Edificios religiosos

6.6 Estructuras ubicadas en puntos elevados

Los restaurantes situados en puntos elevados, los refugios, las estaciones de teleféricos,... están particularmente expuestos a la caída de rayos. El PDC se instalará conforme a las disposiciones de esta norma. La realización de las uniones equipotenciales y de las tomas de tierra debe ser especialmente cuidadosa.

6.7 Zonas abiertas, áreas de ocio o deportivas

Terrenos de deporte, campings, parques de caravanas, piscinas, hipódromos, circuitos automovilísticos, parques de atracciones,...

Los PDCs se instalarán sobre los mástiles de las banderas, los postes de alumbrado, los pilares o toda otra estructura existente. Su número y su instalación cumplirá con las disposiciones de esta norma.

6.8 Árboles

Ciertos árboles aislados constituyen potenciales puntos de impacto preferentes del rayo, debido a su altura y a su forma.

En aquellos lugares en los que exista un riesgo para la seguridad del entorno (por ejemplo proximidad de un edificio) o cuando el árbol sea de interés estético o histórico, se puede proteger al árbol de forma efectiva instalado un PDC en el punto más elevado del mismo conforme a las disposiciones de esta norma.

Para un montaje de la bajante más sencillo, no entorpecer el crecimiento del árbol y dañarlo lo menos posible, el conductor debe ser fijado de forma flexible a los medios de fijación adaptados a lo largo del tronco del árbol por un trazado lo más directo posible.

7 VERIFICACION Y MANTENIMIENTO

El mantenimiento de cualquier SPCR es indispensable. En efecto, ciertos componentes pueden perder su eficacia con el transcurso del tiempo, debido a la corrosión, inclemencias atmosféricas, golpes mecánicos e impactos del rayo. Las características mecánicas y eléctricas de un sistema de protección contra el rayo deben ser mantenidas durante toda su vida, con el fin de satisfacer las prescripciones normativas.

7.1 Verificación inicial

Desde la realización de la instalación de un PDC, ésta debe ser objeto de verificaciones destinadas a asegurar que está correctamente realizada de acuerdo con esta norma.

Esta verificación se basa en los siguientes puntos:

- asegurar que el PDC esté al menos 2 m por encima de cualquier elemento de la zona a proteger;
- naturaleza y sección de los materiales utilizados para los conductores de bajada;
- 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;
- interconexión de las tomas de tierra.

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

7.2 Verificación periódica

7.2.1 Periodicidad. La periodicidad viene recomendada por el nivel de protección. Se recomiendan las periodicidades siguientes:

	Periodicidad normal	Periodicidad especial
Nivel I	2 años	1 año
Nivel II	3 años	2 años
Nivel III	3 años	2 años

NOTA – En el caso de ambiente corrosivo, es aconsejable aplicar la periodicidad especial.

Además, un SPCR deberá ser verificado cuando se produzca cualquier modificación o reparación de la estructura protegida, o tras cualquier impacto del rayo registrado sobre la estructura.

NOTA – Tal registro puede hacerse mediante un contador de impactos de rayo instalado en una de las bajantes.

7.2.2 Procedimiento de verificación. Primeramente se deberá verificar que todos los componentes del SPCR cumplen esta norma.

Se debe realizar una inspección visual para asegurar que:

- cualquier extensión o modificación de la estructura protegida necesita o no la instalación de disposiciones complementarias de protección;
- la continuidad eléctrica de los conductores sea buena;
- la fijación de los diferentes componentes y las protecciones mecánicas estén en buen estado;
- ninguna parte esté afectada por la corrosión;
- las distancias de seguridad sean respetadas y las uniones equipotenciales sean suficientes y estén en buen estado.

Se deben realizar medidas para verificar:

- la continuidad eléctrica de los conductores no visibles;
- la resistencia de las tomas de tierra (se debe analizar toda evolución).

7.2.3 Informe de verificación. Cada verificación periódica debe ser objeto de un informe detallado que recoja el conjunto de las constataciones e indique las medidas correctivas a tomar.

7.3 Mantenimiento

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

ANEXO A (Normativo)

MODELO DE PROTECCIÓN

A.1 Descripción de la fase de aproximación

A.1.1 Determinación del punto de impacto

La formación o llegada de una nube de tormenta provoca la creación de un campo eléctrico (ambiente) entre la nube y el suelo. Este campo eléctrico puede superar en el suelo los 5 kV/m, iniciando así la creación de descargas corona a partir de las irregularidades del suelo o de las masas metálicas.

El rayo comienza por la formación en el seno de la nube tormentosa de un trazador descendente que proponga a impulso hacia el suelo. El trazador descendente transporta cargas eléctricas, provocando el incremento del campo en el suelo.

Un trazador ascendente se desarrolla a partir de un estructura o de un objeto sobre el suelo. Se propaga hasta que encuentra el trazador descendente y la corriente del rayo fluye por el canal así creado. Otros trazadores ascendentes puede ser emitidos desde diferentes estructuras sobre el suelo. El primero entre ellos que encuentra el trazador descendente determina el punto de impacto de la descarga (figura A.1).

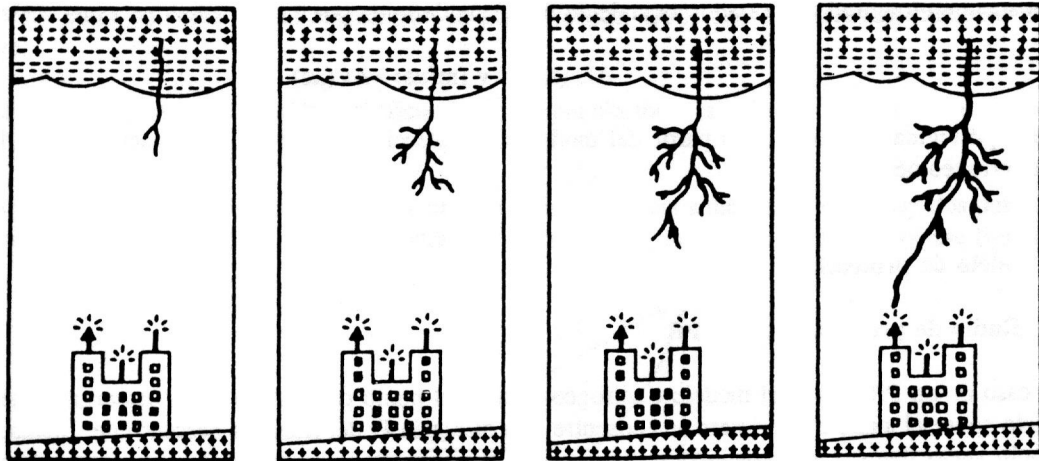


Fig. A.1

NOTA – Esta descripción es válida sólo en el caso de rayo descendente negativo, único caso en que se aplica el modelo electrogeométrico. Este tipo de rayo es, con diferencia, el más frecuente.

A.1.2 Velocidad de propagación de los trazadores

Recientes experimentos realizados, provenientes de naturaleza, muestran que las velocidades medias de los trazadores ascendentes y descendentes son comparables durante la fase de aproximación. La relación de las velocidades v_a/v_d es aproximadamente 1 (entre 0.9 y 1.1).

Supondremos aquí que $v = v_a = v_d = 1\text{m}/\mu\text{s}$ (valor medio de las velocidades de los trazadores)

donde

v_a es la velocidad del trazador ascendente;

v_d es la velocidad del trazador descendente;

v es la velocidad común.

A.2 Ventaja de protección con un PDC

A.2.1 Avance en el cebado

Un PDC está diseñado para reducir el tiempo medio estadístico asociado al cebado del trazador ascendente. Un PDC presenta una ganancia en el instante de cebado respecto a un PR emplazado en las mismas condiciones. Esta ganancia se evalúa en laboratorios de alta tensión siguiendo las recomendaciones del apartado 2.2.2.1 y del anexo C de esta norma.

A.2.2 Ganancia en longitud del trazador ascendente

La ganancia en longitud del trazador ascendente ΔL viene definida por

$$\Delta L \text{ (m)} = v \text{ (m}/\mu\text{s)} \cdot \Delta t \text{ (\mu s)}$$

La zona protegida se determina a partir del modelo de protección descrito continuación, sobre las bases del modelo electrogeométrico.

A.3 Modelo de protección

A.3.1 Radio de protección de un PR

En el caso de un PR, según el modelo electrogeométrico, el punto de impacto de la descarga viene determinado por el objeto sobre el suelo que primero se encuentre a la distancia D del trazador descendente, incluso si este objeto es el propio suelo llano. La distancia D que determina el punto de encuentro de los trazadores descendentes y ascendentes se denomina “distancia de cebado”: es también la longitud de desarrollo del trazador ascendente.

Por tanto, todo sucede como si el extremo del trazador descendente estuviese rodeado de una esfera ficticia, de radio D , centrada sobre el extremo, y como si esta esfera acompañase rígidamente el extremo del trazador descendente.

En el caso de un PR de altura “ h ” con respecto a la superficie de referencia (techo del edificio, suelo...) existen tres posibilidades (véase figura A.2):

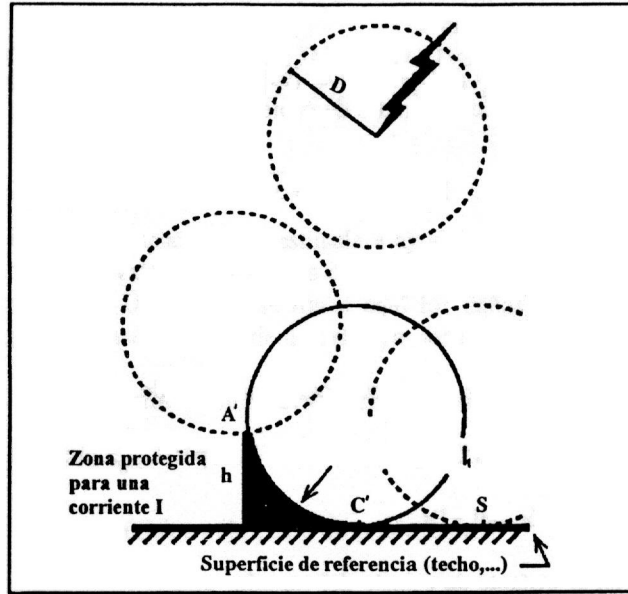


Fig. A.2 – Método de la esfera ficticia

- si la esfera entra en contacto únicamente con la punta vertical (A'), ésta constituirá el punto de impacto de la descarga;
- si la esfera entra en contacto con la superficie de referencia sin tocar la punta, el rayo tocará únicamente el suelo en S;
- si la esfera entra en el contacto con el PR y la superficie de referencia simultáneamente, hay dos puntos de impacto posibles: A' y C', pero el impacto jamás podrá producirse dentro de la zona sombreada (véase figura A.3).

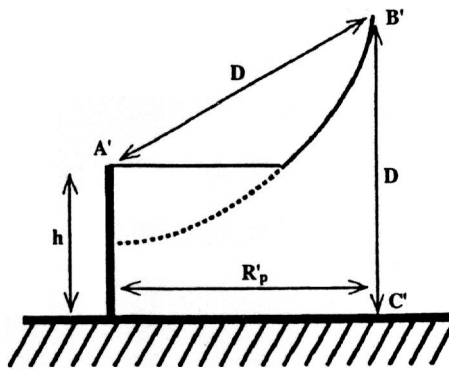


Fig. A.3

La distancia de cebado D viene generalmente dada por la siguiente ecuación:

$$D(m) = 10 \times I^{2/3}$$

donde

I es el pico de corriente del primer arco de retorno en kiloamperios.

A.3.2 Radio de protección de un PDC

En el caso de un PDC, existe una ganancia en el instante de cebado Δt , con $\Delta L = v \cdot \Delta t$, y los puntos de impacto posibles son A y C (figura A.4) con un radio de protección R_p tal que:

$$R_p = \sqrt{2Dh - h^2 + \Delta L(2D + \Delta L)}, \text{ para } h \geq 5\text{m}$$

donde

D es la distancia del cebado;

ΔL es la ganancia en longitud del trazador ascendente definido por $\Delta L = v \cdot \Delta t$;

h es la altura de la punta del PDC por encima de la superficie a proteger;

R_p es el radio de protección del PDC

Δt es la ganancia en el instante de cebado del trazador ascendente continuo.

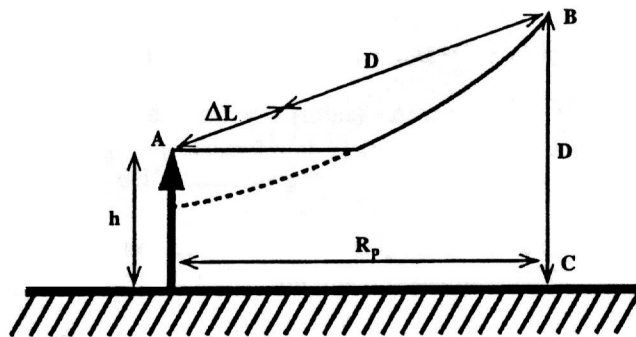


Fig. A.4

ANEXO B (Normativo)

GUÍA DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE IMPACTO DE RAYO Y SELECCIÓN DEL NIVEL DE PROTECCIÓN PARA UNA INSTALACIÓN EXTERIOR DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO

B.1 Generalidades

La guía de evaluación de riesgo de impacto está destinada de ayudar al responsable del estudio de análisis de los diferentes criterios que permitirán evaluar el riesgo de daños debidos a la descarga, determina la mejor protección y el nivel de protección requerido. Únicamente se tratan aquí los daños causados por el impacto directo del rayo sobre la estructura a proteger y el paso de la corriente del rayo por el SPCR.

En numerosos casos, la necesidad de protección es evidente. Citaremos, por ejemplo, el caso de:

- agrupaciones numerosas de personas;
- necesidades de continuidad de los servicios públicos o de producción;
- zonas de gran densidad de impacto de rayo;
- edificios muy altos o aislados;
- edificios que contengan materiales explosivos o inflamables, o patrimonio cultural irremplazable.

Ciertos ejemplos de efectos causados por un rayo para diferentes tipos de estructura comunes se relacionan en la tabla B.1 a modo de información.

Tabla B.1

Clasificación de las estructuras	Tipo de estructura	Efectos de rayo
	Casa particular	Perforación de las instalaciones eléctricas, incendio y daños materiales que se limitan normalmente a los objetos próximos al punto de impacto o de paso de la descarga
Estructuras comunes (véase nota)	Granja	Riesgos de incendio y de chispas peligrosas. Riesgo de corte de corriente: muerte del ganado debido a la pérdida de control de la ventilación y de la distribución de los alimentos. Riesgo de tensión de paso
	Teatros, escuelas, grandes superficies, áreas deportivas.	Riesgo de pánico y de fallo de las alarmas de incendio, causando retraso en la lucha contra el fuego
	Bancos, compañías de seguros, sociedades comerciales, centro de salud	Como los anteriores, más problemas con pacientes de cuidados intensivos y dificultad de auxilio a las personas impedidas
	Industrias	Efectos adicionales dependiendo del contenido de las fábricas, desde daños menores hasta inaceptables y a la pérdida de producción
	Museos y emplazamientos arqueológicos	Pérdidas irremplazables de patrimonio cultural

NOTAS

- 1 En todos los caso existe riesgo para las personas que se encuentren en el interior y alrededor de la estructura.
- 2 Los equipos electrónicos sensibles pueden estar instalados dentro de cualquier tipo de estructura y puede ser fácilmente dañados por las sobretensiones debidas a las descarga.

En esta guía se propone una evaluación de los riesgos teniendo en cuenta el riesgo de impacto y los siguientes factores:

- 1 Entorno del edificio
- 2 Naturaleza de la estructura del edificio
- 3 Valor de su contenido
- 4 Ocupación humana y riesgo de pánico
- 5 Consecuencia que tendrían sobre el entorno los daños al edificio

La situación del edificio dentro de su entorno y su altura serán consideradas para el cálculo del riesgo de exposición.

En ciertos casos, algunos factores no pueden ser evaluados y pueden prevalecer sobre toda otra consideración. Por ejemplo, el deseo de evitar riesgos para la vida o de proveer a los ocupantes de un edificio de una protección completa, incluso aunque su índice de riesgo no indicase la necesidad de protección. Entonces se pueden tomar medidas de protección mas severas que las que resultan de aplicar esta guía.

La selección de un nivel de protección adecuados para la colocación de un IEPR en un lugar se basa en la frecuencia de impactos de rayo, N_d , prevista sobre la estructura o la zona a proteger, y en la frecuencia anual aceptable de rayos, N_c , establecida para esa zona.

B.2 Determinación de N_d y N_c

B.2.1 Densidad de impacto de rayo sobre el terreno N_g

La densidad de impactos de rayo sobre el terreno, expresado en número de rayos por km^2 , se determina mediante la utilización del nivel cerámico local N_k : $N_g = 0,02 N_k^{1,67}$

N_k/año	5	10	15	20	25	30	35	40	45
N_g/km², año	0.3	0.9	1.8	3.0	4.3	5.8	7.6	9.5	11.5

B.2.2 Frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d) sobre una estructura

La frecuencia anual media N_d de impactos directos sobre una estructura se evalúa a partir de la expresión:

$$N_d = N_g \cdot 1.1 \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} / \text{año}$$

donde

N_g es la densidad anual media de impactos de rayo en la región donde esta situada la estructura (número de impactos/año, km^2);

1.1 es el coeficiente de seguridad ligado a la evaluación de impactos;

A_e es la superficie de captura equivalente de la estructura aislada (m^2);

C_1 es el coeficiente relacionado con el entorno.

La superficie de captura equivalente se define como la superficie sobre el suelo que tiene la misma probabilidad anual que la estructura de recibir el impacto directo de un rayo.

Para las superficies aisladas según la tabla B.2 la superficie de captura equivalente A_e es la superficie comprendida entre las líneas obtenidas por la intersección entre la superficie del suelo y una línea de pendiente 1:3 que pasa por el punto más alto de la estructura y dé la vuelta a ésta (véase figura B.3).

Para una estructura rectangular de longitud L, anchura l y altura H, la superficie de captura es igual a:

$$A_e = L \cdot l + 6H(L + l) + 9\pi H^2$$

La topografía del lugar y los objetos situados en el interior de una distancia 3H a la estructura influyen en forma significativa en su superficie de captura. Este factor se tiene en cuenta a través del coeficiente C_1 (tabla B.2).

Tabla B.2
Determinación del coeficiente C_1

Situación relativa a la estructura	C_1
Estructura situada en un espacio donde hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más altos	0.5
Estructura rodeada de estructuras más bajas	0.75
Estructuras aislada	1
Estructura aislada situada sobre una colina o promontorio	2

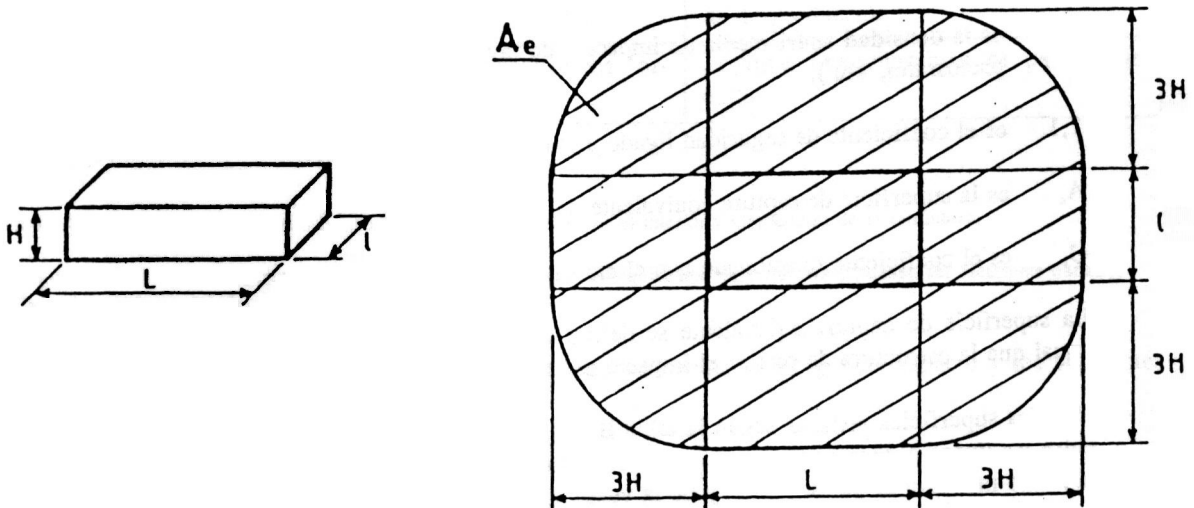
- Cuando la superficie de captura equivalente de una estructura cubre completamente otra estructura, ésta última no se tendrá en cuenta.
- Cuando se cubre la superficie de captura de varias estructuras, la superficie de captura común correspondiente se considera como una única superficie de captura. En la figura B.3 se representan tres ejemplos característicos.

Nota - Se pueden utilizar otros métodos más sofisticados para una evaluación más precisa de la superficie de captura equivalente.

Fig. B.3 – Ejemplos de cálculo

- 1) Para un edificio rectangular, la superficie de captura es:

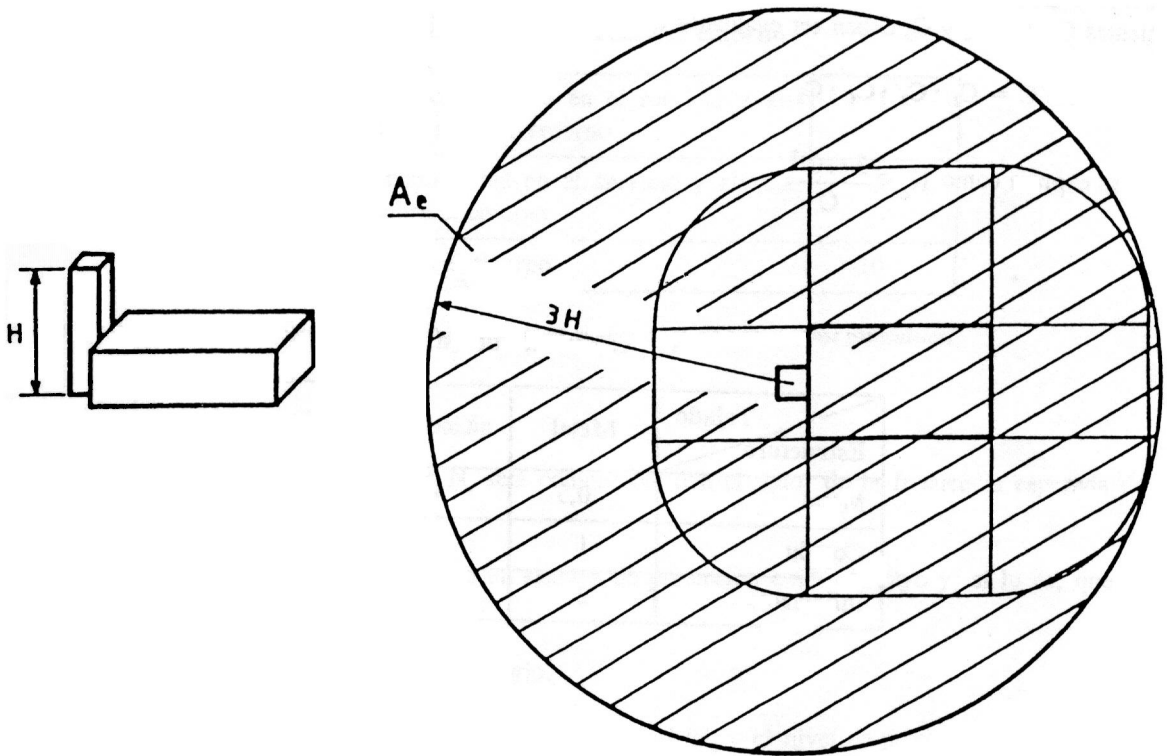
$$A_e = L \cdot l + 6H(L + l) + 9\pi H^2$$



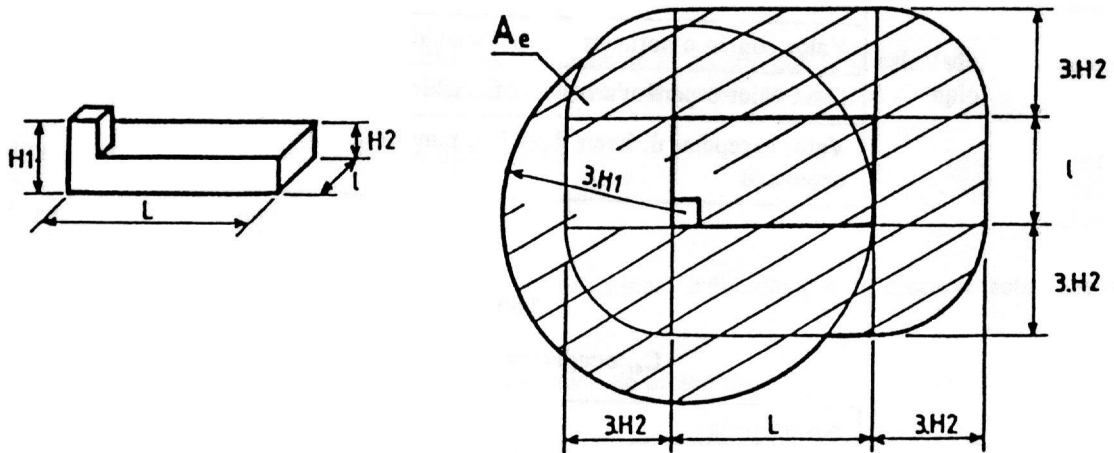
- 2) En el caso de un edificio en el que haya una parte prominente.

La superficie equivalente de la parte prominente engloba total o parcialmente esta parte más la base:

2.1 $A_e = 9\pi H^2$



2.2



B.2.3 Frecuencia aceptable de rayos (N_c) sobre una estructura

B.2.3.1 Generalidades. Los valores de N_c , se estiman a través del análisis del riesgo de daños teniendo en cuenta los factores apropiados, tales como:

- el tipo de construcción;
- el contenido de la estructura;
- la ocupación de la estructura;
- las consecuencias sobre el entorno.

B.2.3.2 Determinación de N_c . Según lo dicho anteriormente, cuatro factores determinados, dados por los coeficientes C_2 , C_3 , C_4 y C_5 deben ser evaluados con la ayuda de las tablas B.5 a B.8.

Llamamos $C = C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$

N_c se expresa como $N_c = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{C}$

Tabla B.5

C_2 , coeficiente de estructura

Estructura	7.3.2 Metal	7.3.3 Común	Inflamable
Metal	0.5	1	2
Común	1	1	2.5
Inflamable	2	2.5	3

Tabla B.6

C_3 , contenido de la estructura

Sin valor o no inflamable	0.5
Valor común o normalmente inflamable	2
Gran valor o particularmente inflamable	5
Valor excepcional, irremplazable o muy inflamable, explosivo	10

Tabla B.7

C_4 , ocupación de la estructura

	0.5
Ocupada normalmente	3
De difícil evacuación o riesgo de pánico	7

Tablas B.8

C₅, consecuencia sobre el entorno

Sin necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno	1
Necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno	5
Consecuencia para el entorno	10

NOTA – Algunas reglamentaciones específicas podrían imponer otros valores de N_c en ciertos casos particulares.

B.3 Método de selección del nivel de protección

El valor de la frecuencia aceptable de rayos N_c será comparable con el valor de la frecuencia esperada de rayos sobre la estructura N_d .

Esta comparación permite decidir si es necesario un sistema de protección contra el rayo y, si lo es, qué nivel de protección:

- Si $N_d \leq N_c$, el sistema de protección no es necesario.
- Si $N_d > N_c$, se debe instalar un SPCR de eficiencia $E \geq 1 - N_c/N_d$ y en el nivel de protección correspondiente se seleccionará según la tabla B.10.

La concepción de un SPCR deberá respetar las especificaciones dadas en la norma para los niveles de protección seleccionados.

Si se instala un sistema de protección contra el rayo de eficiencia E' menor que la E calculada, las medidas complementarias serán efectuadas en la obra. Las medidas adicionales de protección son, por ejemplo:

- las medidas que limitan la tensión de paso de contacto;
- las medidas que limitan la propagación del fuego;
- las medidas que pueden reducir los efectos de las sobretensiones inducidas por la descarga sobre los equipos sensibles.

En la figura B.9 se da un método práctico para escoger el nivel de protección.

La tabla B.10 da los valores críticos de la eficiencia crítica E_c correspondientes a los límites entre los diferentes niveles de protección y los niveles de protección correspondientes a las eficiencias calculadas E .

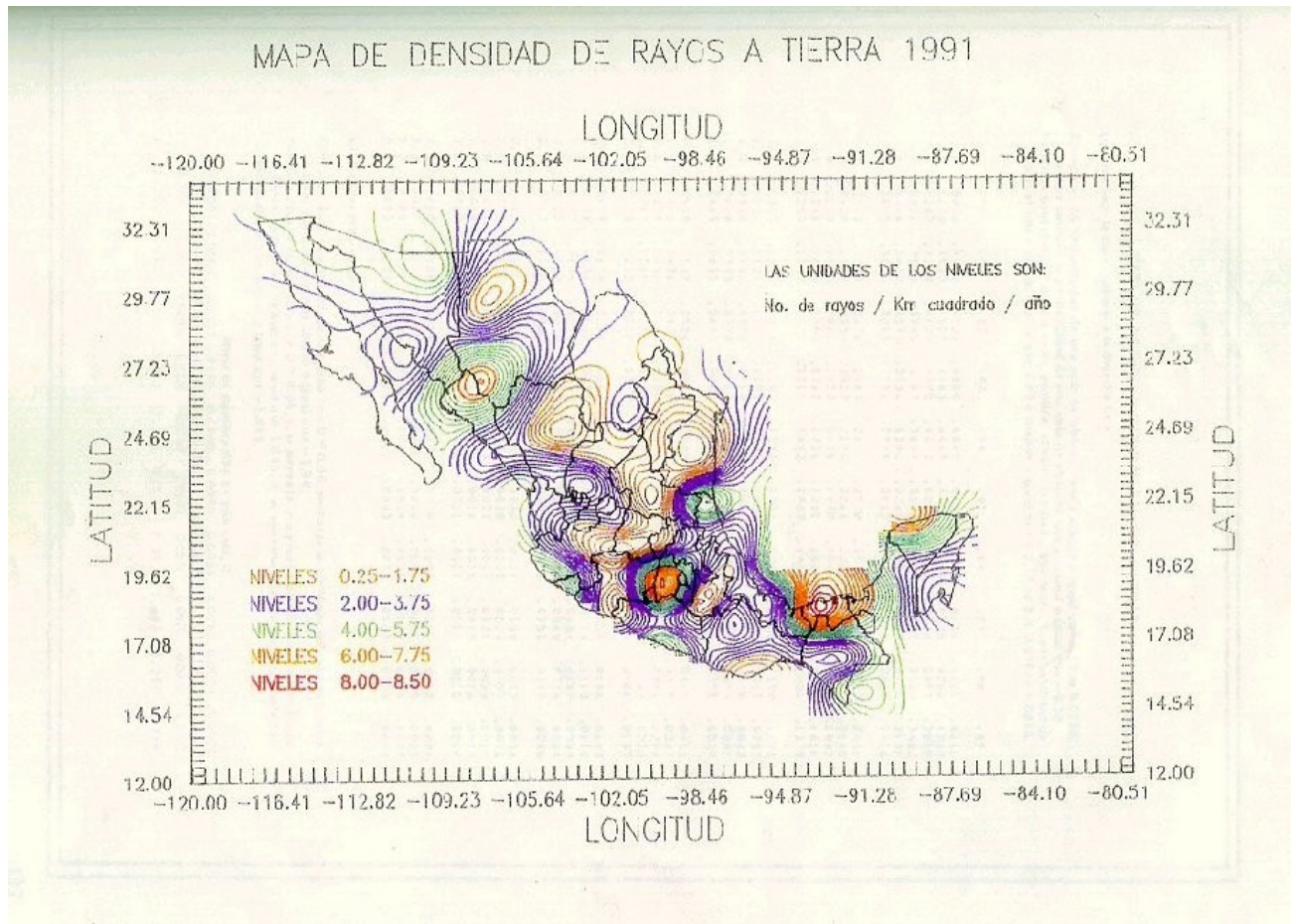
Tabla B.9

Determinación de la necesidad y el nivel de protección

Entradas de datos Formulas	Cálculos	Resultados
Superficie de captura equivalente: $A_e = L \cdot l + 6H(L + l) + 9\pi H^2$ (en el caso de un volumen paralelepípedo)	L= l= H= H²=	A _e =
Frecuencia establecida de impactos directos sobre una estructura: $N_d = N_g \cdot 1,1 \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6}$	Ng = Ac = C ₁ =	N _d =
Frecuencia establecida de impactos sobre una estructura $N_c = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{C}$ con $C = C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$	C ₂ = C ₃ = C ₄ = C ₅ = C =	N _c =
Si $N_d \leq N_c$: PROTECCIÓN OPCIONAL		
Si $N_d > N_c$: PROTECCIÓN NECESARIA		
Determinar el nivel de protección requerido calculado la eficiencia $E = 1 - N_c/N_d$		
Instalar una IEPR de nivel de protección correspondiente a la E calculada con la ayuda de la tabla B.10		

Tabla B.10

E Eficiencia calculada	Nivel de protección correspondiente	I (kA) Corriente de cresta máxima	D (m) Distancia de cebado
$E > 0.98$	Nivel I + medidas complementarias	-	-
$0.95 < E \leq 0.98$	Nivel I	2.8	20
$0.80 < E \leq 0.95$	Nivel II	9.5	45
$0 < E \leq 0.80$	Nivel III	14.7	60



DENSIDAD DE IMPACTOS DE RAYO, Ng (Impactos/año, km²)

ANEXO C (Normativo)

ENSAYO DE EVALUACIÓN DE UN PDC

C.1 Condiciones experimentales

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

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.1.1 Simulación del campo a nivel del suelo

El campo natural a nivel del suelo previo a la descarga tiene consecuencia sobre las condiciones de formación del efecto corona y las cargas espaciales preexistentes. Por ello es necesario simularlo: su valor está comprendido entre 10 kV/m y 25 kV/m.

C.1.2 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 μ s y 1000 μ s. En la zona de iniciación del trazador ascendente la pendiente de onda debe estar comprendida entre 2 \cdot 10⁸ y 2 \cdot 10⁹ V/m/s.

C.2 Montaje experimental

C.2.1 Posicionamiento de los pararrayos a comparar

La distancia entre el plato superior y la punta debe ser suficiente para que la propagación de la descarga ascendente se efectúa en espacio libre, y, en todo caso, superior a 1 m ($d \geq 1$ m). Es necesario garantizar que los dos objetos comparados estén bajo condiciones eléctricas idénticas e independientes de su emplazamiento: se prueban uno después del otro, colocados en el centro del plato inferior y la misma altura.

C.2.2 Dimensionamiento del montaje experimental

La distancia plato superior/suelo (H) debe ser superior a 2 m. La relación h/H altura de la punta/altura del plato sobre el suelo debe estar comprendida entre 0.25 y 0.5. El plato superior tendrá como dimensión horizontal mínima la distancia plato superior /suelo.

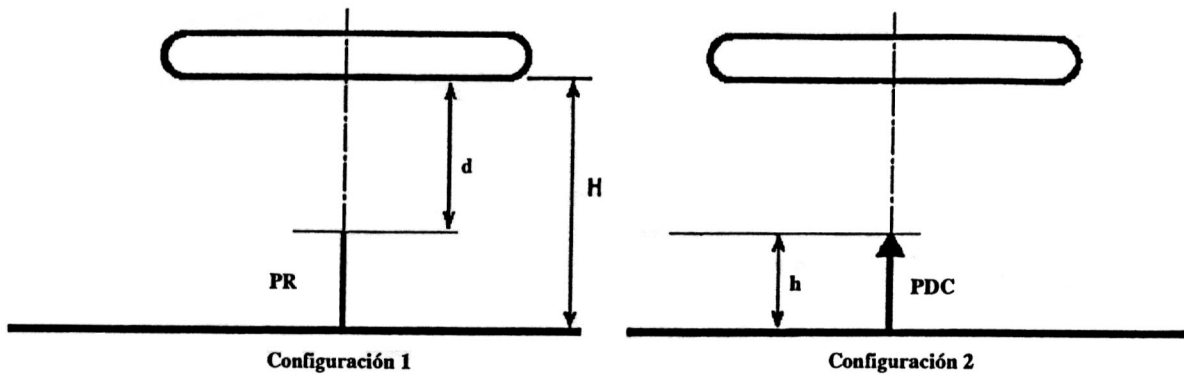


Fig. C.1

C.3 Magnitudes a controlar – medidas a efectuar

C.3.1 Parámetros eléctricos

- Forma y amplitud de las tensiones aplicadas (calibrado del campo ambiental, onda de tensión impulsional, corriente asociada,...);
- ajuste de la polarización continua ;
- ajuste del cebado sobre al punta de referencia (PR): la probabilidad de cebado debe ser igual a 1.

C.3.2 Condiciones geométricas

La distancia d será la misma estrictamente en cada configuración. Se debe verificar antes de cada configuración.

C.3.3 Parámetros climáticos

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

C.3.4 Número de impactos por configuración

Es necesario que se dé para cada configuración un número de impactos estadísticamente suficiente: por ejemplo, una centena por cada configuración.

C.3.5 Instante de cebado

El criterio escogido para evaluar la eficacia de un PDC es su capacidad para iniciar el cebado de un trazador ascendente antes que un PR situado en las mismas condiciones. Se mide el valor T para cada impulso que impacte sobre el PDC y sobre el PR (instante de cebado de un trazador ascendente).

C.4 Eficacia de un PDC

C.4.1 Evaluación experimental de los instantes medios de cebado

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 \bar{T}_{PR} y un \bar{T}_{PDC} , a partir de los impulsos que han impactado, respecto a los parámetros de la curva experimental escogida.

C.4.2 Forma de onda de referencia

La onda de referencia se define por un tiempo de subida T_s igual a $650 \mu s$ y su forma definida por la figura C.2.

C.4.3 Determinación del avance en el cebado del PDC

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.

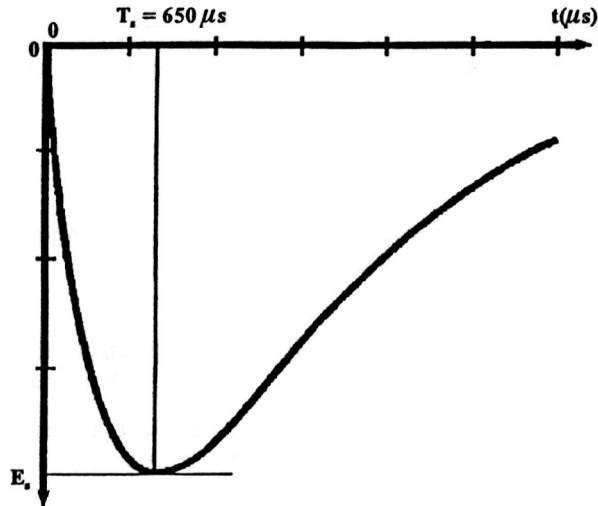


Fig. C.2 – Forma de onda de referencia

A partir de \bar{T}_{PDC} y \bar{T}_{PR} se calculan los campos E por medio de la curva experimental, una vez deducidos estos campos mediante la forma de onda de referencia se deducen los tiempos de cebado \bar{T}_{PDC} y un \bar{T}_{PR} , que se utilizan para el cálculo del avance en el cebado $\Delta t = \bar{T}_{PR} - \bar{T}_{PDC}$

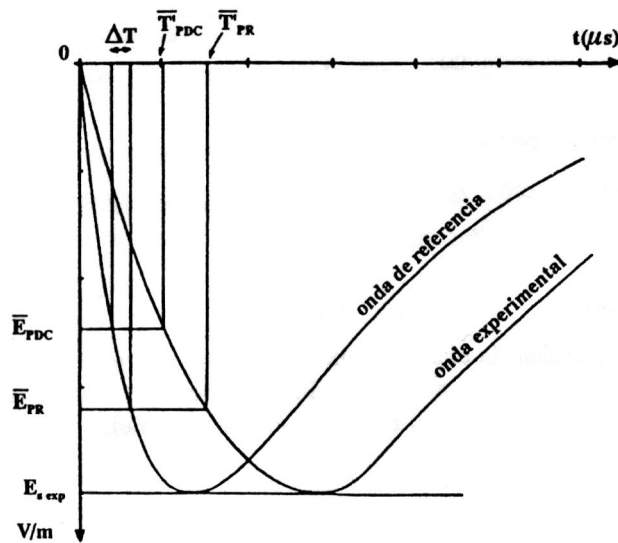


Fig. C.3

NOTA - El método que aquí se describe permite determinar un valor de Δt en laboratorio. Utilizando los campos de iniciación del trazador ascendente, que son función únicamente de la altura h del pararrayos, se puede determinar un valor de Δt independiente de d . El modelo del campo umbral de iniciación del líder continuo, desarrollado por Rizk y Berger, permite esta transposición.

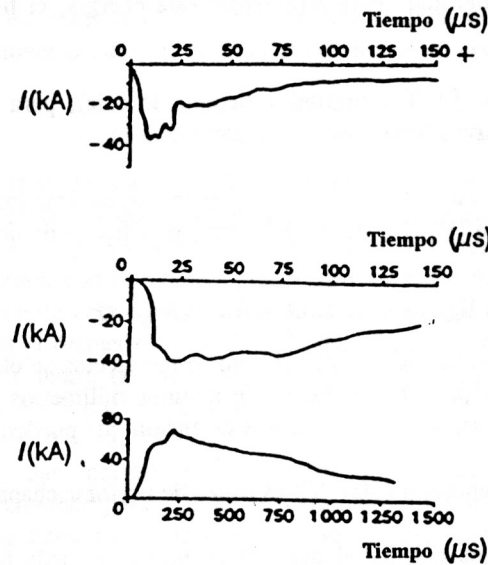
ANEXO D (Informativo)

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL RAYO Y SUS EFECTOS

D.1 Parámetros característicos del rayo

D.1.1 Formas de las componentes impulsionales (descargas) de un rayo

La figura D.1 presenta algunas formas de onda de corriente de rayo. Estas corrientes han sido registradas en la estación de estudio de tormentas del monte San Salvatore, en Suiza. Las tablas D.1 a D.13 presentan la distribución de las frecuencias acumuladas de las características del rayo.



Corriente de descarga negativa y positiva obtenida en el monte San Salvatore, de Lugano (Suiza)

Fig. D.1 - Distribución de las frecuencias acumuladas de las características del rayo

D.1.2 Distribución de los diferentes parámetros del rayo

Los parámetros utilizados para describir el impulso del rayo (o los impulsos en el caso de impactos de descarga negativa múltiple) son numerosos. Se puede citar en particular: amplitud de corriente, tiempo de subida, tiempo de cola, carga y energía específica.

Estos parámetros hacen referencia a las formas de impacto del rayo reales tal como han sido medidos para establecer la estadísticas de distribución, Se puede, en una primera aproximación, considerar que la amplitud, el tiempo de cola y el tiempo de subida están definidos como en el laboratorio. La carga, como tal, corresponde a $\int i dt$ y la energía específica a $\int i^2 dt$. La utilidad de estos parámetros será estudiada mas adelante.

La brusquedad de la subida (la pendiente máxima de la corriente expresada en kA/ μs) es también algunas veces un dato interesante para caracterizar un impulso aunque a ella están ligados otros parámetros ya definidos: tiempo de subida y amplitud.

El impacto de rayo completo, que comprende el/los impulso(s) y la corriente remanente que circula entre dos impulsos, viene caracterizado esencialmente por su duración total.

D.2 Efectos de los parámetros de la descarga

Los diferentes parámetros citados anteriormente no conducen a los mismos efectos ni, en general, a los mismos fallos de los diferentes materiales.

La amplitud de corriente se utiliza para tratar los problemas de sobretensiones y los problemas de choques mecánicos generados por los impactos del rayo.

El tiempo de subida solamente se considera al tratar el problema de las sobretensiones.

El tiempo de cola está ligado a los efectos mecánicos y se emplea, por tanto, para determinar el tiempo de aplicación de la fuerza electromagnética. Este tiempo de cola es principalmente representativo de la energía de un rayo conjuntamente con la amplitud. Para representar esta energía, el binomio amplitud/tiempo de cola se puede reemplazar por:

- La energía específica $\int i^2 dt$ (amplitud y tiempo de cola), para el dimensionamiento de los componentes de la instalación del pararrayo (conectores, conductores...).
- La carga $\int i dt$ (amplitud y tiempo de cola), para caracterizar los protectores contra sobretensiones ligados a los sistemas de protección (PDC + tomas de tierra) o la fusión de un metal en el punto de impacto del rayo.

D.2.1 Efectos térmicos ligados a la cantidad de carga Q

En las instalaciones de protección contra el rayo, estos efectos se observan principalmente sobre los puntos agudos, donde se puede llegar a producir la fusión de algunos milímetros del material en el extremo. Aún tratándose de superficies planas (chapas), se constatan trazos de fusión que pueden llegar a abrir una brecha completa.

Un impacto de rayo excepcional (300° C) es capaz de perforar chapas de hasta 2 mm a 3 mm de espesor.

Por este motivo, para que una pared metálica se utilice o pueda formar parte de SPCR deberá tener un espesor mínimo que varía según el tipo de metal (por ejemplo, 4 mm para el hierro, 5 mm para el cobre).

Las descargas de poca intensidad pero de larga duración provocan fácilmente la aparición de fuego. Como generalmente las descargas impulsionales del rayo vienen acompañadas de una corriente remanente, rara vez los impactos de rayo tienen una temperatura baja. La madera seca puede incluso incendiarse con este tipo de descargas con largas corrientes persistentes.

Los malos contactos son puntos particularmente peligrosos en la trayectoria de la corriente del rayo. Las resistencias de contacto de algunas milésimas de ohmio provocan un desprendimiento de calor lo suficientemente grande como para que se puedan derretir cantidades de metal apreciable y saltar como chispas. Si un material fácilmente inflamable se encuentra próximo a uno de estos puntos de contacto defectuosos, se pueden producir fuegos indirectamente. Este tipo de chispas es especialmente peligroso en establecimientos expuestos a explosiones y en fábricas de explosivos.

D.2.2 Efectos térmicos ligados a la integral de corriente $\int i^2 dt$

Cuando la corriente del rayo se propaga en un conductor metálico, se desprende calor según la ley de Joule, donde interviene el cuadrado de la intensidad i , el tiempo t de paso de corriente y la resistencia óhmica R .

Por lo tanto, los efectos térmicos importantes aparecen sobre todo en los puntos de resistencia alta.

Sin embargo, no se puede tomar como valor de la resistencia de un conductor la media en corriente continua. Con las breves ondas de choque que suponen las corrientes de rayo aparece, como en alta frecuencia, el efecto pelicular: la corriente se encuentra confinada dentro de una capa delgada de algunas décimas de milímetro de espesor en la superficie del conductor.

En conductores de sección suficiente, no aparecen más consecuencias visibles que un recalentamiento, aún con el efecto pelicular. Los calentamientos que llegan hasta la temperatura de fusión sólo se producen en conductores de sección muy pequeña o de resistividad muy alta. Se observan a menudo efectos de fusión, por ejemplo, sobre los cables de antenas y los alambres. Por el contrario, raramente se observan sobre los cables más gruesos, de algunos milímetros de diámetro (por ejemplo los alambres de espino de hierro). Jamás se ha constatado un caso de fusión en las bajantes de los pararrayos que presenten las secciones recomendadas en esta norma.

Por el contrario, en los malos conductores mucha de esta energía se libera de en forma de calor al pasar la corriente. Debido a esto, el agua contenida en la madera, la mampostería y los materiales análogos se recalienta y se vaporiza. Por la brevedad del fenómeno en su conjunto y como consecuencia del aumento de presión, se produce la explosión de árboles, de postes de madera, de viguetas y murallas. Este tipo de fenómenos explosivos tienen lugar con preferencia en entornos donde al humedad se acumula en puntos de entrada o de salida de corriente entre un material mal conductor (ladrillo) y un material buen conductor (abrazaderas de fijación de una bajante de pararrayos dañada, crampones de canalizaciones eléctricas, abrazaderas de hierro en conductos de gas y agua).

D.2.3 Efectos electrodinámicos

Los esfuerzos mecánicos de cierta importancia solamente se puede manifestar en la/s parte(s) de la trayectoria recorrida por la descarga situadas de forma que una de ellas se encuentra en el campo magnético creado por la otra. En este caso, cuanto más pequeña sea la separación entre estas partes, mayores serán los esfuerzos mecánicos. Las espiras pequeñas tienden a aumentar con una fuerza grande. En un anillo de 10 cm de diámetro de cable redondo de 8 mm y en el caso de una fuerte corriente del rayo de 100 kA, se le está aplicando a cada centímetro del perímetro una fuerza de 1 200 N; si el diámetro es de 2 m, la fuerza no será de más de 140 N. Por la interacción recíproca entre la corriente del rayo dentro de un conductor y el campo magnético terrestre, se pueden producir unos efectos mecánicos del orden de 10 N por metro de conductor como mucho: los efectos son insignificantes.

Junto con la fuerzas de repulsión, que rara vez pueden causar deformaciones en los conductores, hay también potentes fuerzas de atracción entre caminos paralelos de la corriente de rayo, cuando su separación es lo bastante pequeña. Esta es la causa de que las antenas tubulares delgadas se aplasten y los conductores paralelos se entrechoquen.

D.2.4 Diferencias de potencial y cebados

La desconcertante abundancia de signos de chispas que aparecen después del impacto violento de un rayo, a veces incluso dentro de los edificios provistos de pararrayos, se puede explicar por dos efectos bien conocidos en electrotecnia: el aumento de potencial en las tomas de tierra, que depende principalmente de la intensidad de la cresta I (amplitud) de la corriente de paso, y de los fenómenos inductivo y capacitivo, que dependen principalmente de la pendiente de la corriente di/dt respectivamente. Téngase en cuenta que el fenómeno inductivo es más común y tiene consecuencias más graves que el capacitivo.

D.2.4.1 Aumento de potencial en las tomas de tierra. La existencia de una cierta resistencia R de la toma de la tierra, debida a la propia resistividad del suelo, hace que la bajante del pararrayos presente, durante el paso de la corriente, una diferencia de potencial respecto a puntos próximos. El aumento del potencial total respecto a la tierra lejana no afectada (que permanece por convenio a potencial cero), se expresa por la ley de Ohm: $U = RI$.

Así el paso de una corriente de 100 kA en una toma de tierra de 5Ω provocará un aumento de potencial en el dispositivo de paso de la descarga de 500 kV respecto a puntos del suelo lejanos.

En realidad este aumento del potencial se reparte en el suelo en función del tipo de toma de tierra y de las características del terreno.

Todas las partes conductoras de la estructura que están conectadas de alguna forma a tierra (instalaciones de calefacción, redes de canalización, instalaciones eléctricas, revestimientos de cables,...), sufren también un aumento del potencial, si no están conectadas entre ellas. La única forma de impedir las diferencias de potencial es unir eléctricamente los conductores de bajada con las partes unidas a la toma de tierra independientemente. De este modo, estas últimas se convierten en partes integrantes de la instalación de protección contra el rayo y pueden conducir una fracción de corriente según las leyes de circuitos en derivación. Gracias a su unión con los conductores de bajada, ellas mismas son integrantes de la instalación de protección.

Como no se pueden establecer conexiones conductoras con las líneas eléctricas de baja tensión, esta norma recomienda el montaje, en los puntos apropiados, de dispositivos de protección contra las sobretensiones (varistores o vías de chispas). Los protectores deben estar dimensionados para soportar una parte no despreciable (de algún % hasta el 50 % aproximadamente en el peor caso) de la corriente del rayo que afecta al SPCR.

NOTA - Teniendo en cuenta las frecuencias que entran en juego en los fenómenos del rayo, no es suficiente considerar el valor de la toma de tierra medida en continua, sino también su impedancia.

D.2.4.2 Fenómenos de inducción. Se producen por acercamiento entre la bajante a tierra y las estructuras metálicas del edificio.

Un conductor de bajada del pararrayos forman bucles abiertos con las diversas estructuras metálicas de un edificio (canalizaciones de agua, calefacción central, alimentación eléctrica, etc.). Estos bucles serán el origen de fenómenos de inducción y entre su extremo abiertos aparecen fuerzas electromotrices, esta norma tiene en cuenta estos fenómenos de inducción y entre sus extremos abiertos aparecerán fuerzas electromotrices. Esta norma tienen en cuenta estos fenómenos dentro del capítulo 3 (véase figura D.2).

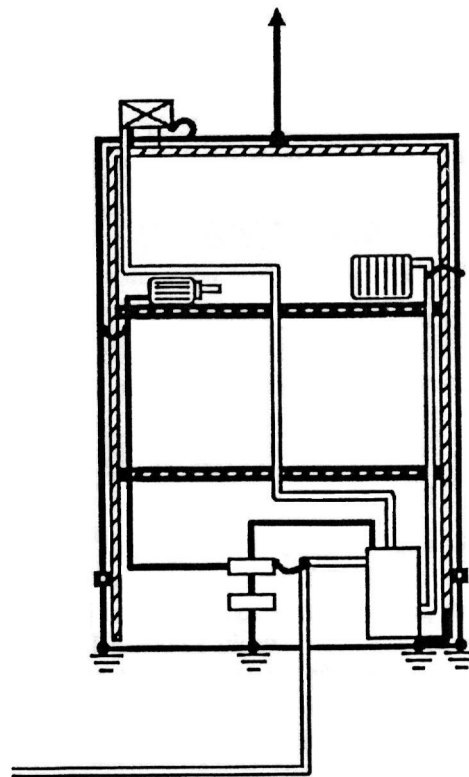


Fig. D.2 – Conexiones equipotenciales
– a nivel de suelo
– en puntos de proximidad $d < d_s$

Tablas D.1 a D.13

Estas tablas están extraídas de la Norma CEI 1024-1:1993; Guía A, elección de los niveles de protección.

Valores fundamentales de la corriente de rayo

Distribución de las frecuencias acumuladas

Tabla D.1

Corriente de cresta (kA) (min 2 kA)

Impactos del rayo	Frecuencia acumulada				
	98%	95%	80%	50%	5%
Impacto principal negativo	4		20		90
Impactos negativos subsiguientes		4.6		12	30
Descargas positivas		4.6		35	250

Tabla D.2

Carga total (C)

Impacto de rayo	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Impacto principal negativo	1.1	5.2	24
Impactos negativos subsiguientes	0.2	1.4	11
Descargas positivas	1.3	7.5	40
Descargas negativas	20	80	350

Tabla D.3

Carga impulsional (onda de choque) (C)

Impacto de rayo	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Impacto principal negativo	1.1	4.5	20
Impactos negativos subsiguientes	0.22	0.95	4
Descargas positivas	2	16	150

Tabla D.4
Tiempo de subida (µs)

Impacto principal negativo	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Tiempo total de subida	1.8	5.5	18
Tiempo medio entre 30% y 90% de la corriente de cresta	1.5	3.8	10
10% y 90% de la corriente de cresta	2.2	5.6	14

Tabla D.5

Impactos negativos subsiguientes	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Tiempo total de subida	0.2	1.1	4.5
Tiempo medio entre 30% y 90% de la corriente de cresta	0.1	0.6	3.0
10% y 90% de la corriente de cresta	0.2	0.8	3.5

Tabla D.6

Descargas positivas	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Tiempo total de subida	3.5	22	200

Tabla D.7
Duración de rayo (µs)

Impactos del rayo	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Impacto principal negativo	30	75	200
Impactos negativos subsiguientes	6.5	32	140
Descargas positivas	25	200	2 000

Tabla D.8
Energía específica (J/Ω)

Impactos del rayo	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Impacto principal negativo	6.0×10^3	5.5×10^4	5.5×10^5
Impactos negativos subsiguientes	5.5×10^2	6.0×10^3	5.2×10^4
Descargas positivas	2.5×10^4	6.5×10^5	1.5×10^7

Tabla D.9
Pendiente de subida (kA/μs)

Impacto principal negativo	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Tiempo total de subida	9.1	24	65
Tiempo medio entre 30% y 90% de la corriente de cresta	2.6	7.2	20
10% y 90% de la corriente de cresta	1.7	5	14

Tabla D.10

Impactos negativos subsiguientes	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Tiempo total de subida	10	40	162
Pendiente media entre 30% y 90% de la corriente de cresta	4.1	20	99
10% y 90% de la corriente de cresta	3.3	15	72

Tabla D.11

Descargas positivas	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Pendiente máxima de subida	0.2	2.4	32

Tabla D.12

Duración total de la descarga (μ s)

Impactos negativos subsiguientes	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Todas las descargas negativas	0.15	13	1 100
Impactos negativos subsiguientes	31	180	900
Descargas positivas	14	85	500

Tabla D.13

Intervalos de tiempo entre impactos (me)

Impactos de rayo	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Impactos negativos múltiples	7	33	150

La distribución de las frecuencias acumuladas de las características de rayo están indicadas en la figura D.1.

ANEXO E (Informativo)

PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS CONTRA EL RIESGO DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS DEBIDAS AL RAYO

E.1 Generalidades

Las personas que se encuentran en el exterior de una estructura se expone a un mayor riesgo de ser alcanzadas por un rayo, tanto por impacto directo como por tensión de paso. Para las personas que se encuentran en el interior de un edificio los riesgos provienen de:

- a) el aumento brusco del potencial de elementos ligados a líneas que provienen del exterior, como líneas eléctricas, el teléfono o los cables de antenas de TV instaladas en el exterior;
- b) los objetos metálicos en el interior de una estructura que pueden también alcanzar potenciales elevados: tensión de contacto.

Las medidas indicadas en esta norma para evitar las chispas peligrosas reducen los riesgos para las personas en el interior de las estructuras.

E.2 Conducta personal

Las personas que quieran protegerse del rayo deberán tomar las siguientes precauciones:

- a) buscar refugio en un lugar que tenga un tejado unido eléctricamente a tierra o en una estructura completamente metálica;

NOTA - las tiendas de campaña de fabricación convencional no ofrecen ninguna protección.

- b) en el caso de que no haya ningún refugio próximo, se debe reducir al mismo tiempo la propia altura (acucillarse) y la superficie en contacto con el suelo (juntar los pies), y no poner las manos sobre un objeto conectado a tierra;
- c) evitar montar en bicicleta o caballo. No permanecer en un vehículo de techo descubierto;
- d) evitar entrar en el agua o nadar;
- e) alejarse de los lugares elevados, de los árboles de gran altura o aislados. Si no es posible, evitar la cercanía de un árbol mas allá del final de las ramas;
- f) evitar el contacto o la proximidad de estructuras metálicas, vallas metálicas,...;
- g) no llevar un objeto que sobresalga por encima de la cabeza (paraguas, palos de golf, herramientas,...);
- h) evitar o limitar el uso de teléfonos de hilo;
- i) evitar el contacto con todo objeto metálico, aparatos eléctricos, marcos de ventanas, radios, televisiones...

E.3 Primeros auxilios

Los primeros auxilios a realizar son los mismos que para las descargas eléctricas, o las quemaduras. La respiración artificial debe ser realizada inmediatamente por un socorrista. Tal acción, así como otros tratamientos de urgencia pueden salvar a la persona afectada.

ANEXO NACIONAL

Normas para consulta

Las siguientes normas tratan de la protección contra el rayo mediante otros sistemas: punta Franklin, hilos tendidos y mallas conductoras o jaulas de Faraday:

CEI 1024 - *Protección de las estructuras contra el rayo.*

UNE 21 185 – *Protección de las estructuras contra el rayo y principios generales.*

Correspondencia con otras normas

Esta norma está basada en la norma francesa NF C 17-102(1995): *Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage.*