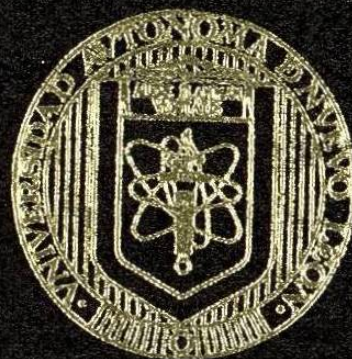


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



PROTECCION DE ESTRUCTURAS, EDIFICACIONES Y ZONAS  
ABIERTAS MEDIANTE PARARRAYOS CON DISPOSITIVO CERRADO

QUE PRESENTA EL

ING. CESAR JAVIER CHAVEZ BRAVO

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE  
LA INGENIERIA ELECTRICA CON ESPECIALIDAD  
EN POTENCIA

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.  
MARZO DEL 2002

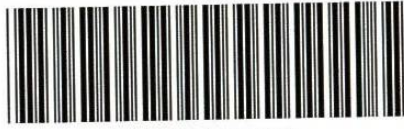


FM  
Z5853  
.M2  
FIME  
2002  
.Ch38

PROTECCIÓN DE ESTACIONES Y ZONAS  
ADJUNTAS MEDIANTE PARRAMOS  
CON DISPOSITIVO CERRADO

COMUNICACIONES Y ZONAS  
CERRADAS

COMUNICACIONES Y ZONAS  
CERRADAS



1020147449

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



PROTECCION DE ESTRUCTURAS, EDIFICACIONES Y ZONAS  
ABIERTAS MEDIANTE PARARRAYOS CON DISPOSITIVO CERRADO

QUE PRESENTA EL

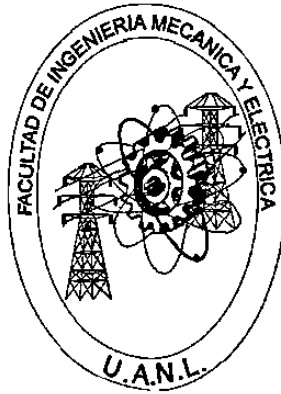
ING. CESAR JAVIER CHAVEZ BRAVO

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE  
LA INGENIERIA ELECTRICA CON ESPECIALIDAD  
EN POTENCIA

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.  
MARZO DEL 2002

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS, EDIFICACIONES Y ZONAS  
ABIERTAS MEDIANTE PARARRAYOS CON DISPOSITIVO CERRADO

QUE PRESENTA EL

ING. CESAR JAVIER CHAVEZ BRAVO

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA  
INGENIERIA ELECTRICA CON ESPECIALIDAD EN POTENCIA

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L. MARZO DEL 2002.

973 895

TH

Zs 53

.M2

FIME

2002

.Ch38



FONDO  
TESIS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis **“PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS, EDIFICACIONES Y ZONAS ABIERTAS MEDIANTE PARARRAYOS CON DISPOSITIVO CERRADO”** realizada por el ING. CESAR JAVIER CHAVEZ BRAVO, con matricula 0007164 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con la especialidad en Potencia.


**El Comité de Tesis**

---

Asesor  
M.C. Enrique López Guerrero


---

Coasesor  
M.C. Félix González Estrada



---

Coasesor  
M.C. Roberto Villarreal Garza



---

Vo. Bo.  
M.C. Roberto Villarreal Garza  
División de Estudios de Postgrado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, a 11 de Marzo del 2002

## INDICE

### **PRÓLOGO**

<b>SINTESIS</b>	<b>1</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>2</b>
1.1 Objeto y campo de aplicación	2
1.2 Normativas de referencia	2
1.3 Definiciones	3
1.4 Fenómenos atmosféricos y sistemas de protección contra el rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)	5
<b>2. INSTALACIÓN EXTERIOR DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (IEPR)</b>	<b>8</b>
2.1 Disposiciones generales	8
2.2 Dispositivo de capacitación	9
2.3 Conductores de bajada	11
<b>3. EQUIPOTENCIALIDAD DE LAS MASAS METÁLICAS E INSTALACIÓN INTERIOR DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (IIPR)</b>	<b>16</b>
3.1 Generalidades	16
3.2 Equipotencialidad de las masas metálicas exteriores	18
3.3 Equipotencialidad de las masas metálicas embebidas en las paredes	18
3.4 Equipotencialidad de las masas metálicas interiores – instalación interior de protección contra el rayo	19
<b>4. TOMAS DE TIERRA</b>	<b>19</b>
4.1 Generalidades	19



4.2	Diferentes tipos de tomas de tierra	20
4.3	Disposiciones complementarias	20
4.4	Equipotencialidad de las tierras	21
4.5	Condiciones de proximidad	22
<b>5.</b>	<b>PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN</b>	<b>23</b>
5.1	Generalidades	23
5.2	Precauciones y medidas a adoptar	23
<b>6.</b>	<b>ELEMENTOS ESPECIALES</b>	<b>24</b>
6.1	Antenas	24
6.2	Tejados de paja	24
6.3	Chimeneas de fábricas	25
6.4	Áreas de almacenamiento de productos inflamables o explosivos.	25
6.5	Edificios religiosos	25
6.6	Estructuras de gran altura.	26
6.7	Áreas deportivas	27
6.8	Árboles	27
<b>7.</b>	<b>INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	<b>28</b>
7.1	Inspección inicial	28
7.2	Inspección periódica	28
7.3	Mantenimiento	29

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>ANEXO A (NORMATIVO):</b> Modelo de protección.	<b>30</b>
<b>ANEXO B (NORMATIVO):</b> Guía de evaluación del riesgo de impacto de rayo y elección del nivel de protección de una instalación exterior de protección contra el rayo.	<b>35</b>
<b>ANEXO C (NORMATIVO):</b> Ensayo de evaluación de un PDC.	<b>44</b>
<b>ANEXO D (INFORMATIVO):</b> Parámetros característicos del rayo y sus efectos.	<b>50</b>
<b>ANEXO E (INFORMATIVO):</b> Protección de las personas contra el riesgo de descargas eléctricas debidas al rayo.	<b>59</b>

## PRÓLOGO

La presente 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 puede evitar la formación de rayos.

Una instalación de protección contra el rayo concebida y realizada conforme a la presente 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...)
- Equipos que contengan equipos o documentos especialmente vulnerables o valiosos (instalaciones de telecomunicaciones, ordenadores, archivos, meseos, 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 concepción 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, etc.
- Los elementos que se utilicen en la realización de la instalación deban 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 la presente norma constituyen las condiciones mínimas que permitan asegurar una protección estadísticamente eficaz



## SÍNTESIS

El objetivo del campo de aplicación regula la concepción, realización, revisión y mantenimiento de instalaciones realizadas con pararrayos con dispositivo de cebado. El objetivo de esta instalación es proteger con la mayor eficiencia posible a personas y bienes materiales.

Los dispositivos de captación están compuestos por una o más puntas captadoras, dispositivos de cebado y un eje que soporta el sistema de conexión del conductor de bajada.

La protección contra un rayo por el conductor aparece en diferencias de potencial entre este y las masas metálicas conectadas a tierra que se encuentran próximas. Se pueden formar entonces chispas peligrosas entre dos extremos del bucle que se ha cerrado.

Se realiza una toma de tierra por cada conductor de bajada, dado el carácter de impulso del rayo y para asegurar el camino más fácil 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.

Una de las partes importantes es la protección contra la corrosión de los metales dependiendo del tipo de material utilizado y de la naturaleza del medio ambiente, y los factores como el moho, las sales solubles, electrolisis constituyen condiciones verdaderamente complejas, las precauciones se las daremos en los capítulos siguientes.

## **1. Generalidades**

### **1.1 Objeto y campo de aplicación**

#### **1.1.1 Campo de aplicación**

La presente norma trata la protección, mediante pararrayos con dispositivo de cebado, contra los impactos directos del rayo en estructuras corrientes (edificaciones de altura inferior a 60m) y zonas abiertas (áreas de almacenamiento, áreas de ocio...). 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. Objetivo**

La presente norma regula la concepción, realización, revisión y mantenimiento de instalaciones realizadas con pararrayos con dispositivo de cebado. El objetivo de estas instalaciones es proteger con la mayor eficiencia posible a personas y bienes materiales.

### **1.2 Normativas de referencia**

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 la presente 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 20-460-90 Instalaciones eléctricas en edificios. PROTECCIÓN PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD. Protección contra los choques eléctricos.
- UNE 21-302-91 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, 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  $\text{km}^2$  (N/año.  $\text{km}^2$ ). Ver mapa de anexo B.

### **1.3.6 Densidad de arcos**

Número de arcos de retorno por año y por  $\text{km}^2$  (N/año.  $\text{km}^2$ ) 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 un sistema Externo y de un Sistema Interno de Protección contra el rayo.

NOTA: En ciertos casos el SPCR podrá formado solamente por el sistema externo por el sistema interno.

### **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.

### **1.3.8 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.

### **1.3.9 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 PDC de referencia 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 ( $\Delta t$ ).**

Ganancia media en el instante de emisión del trazador de un PDC en comparación con el de referencia 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.

#### **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**

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  $0.01 \Omega$ , 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 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 para establecer conexión con la 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 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 on, 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 PDC.**

### **1.1.1 Fenómenos atmosféricos y sistemas de protección contra el rayo.**

La necesidad de protección viene de protección viene determinada por la densidad de caída de los 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 recogida en el Anexo B.

La necesidad de proteger una estructura y el nivel de producción que se ha de aplicar se estudian 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: 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.

### **1.1.2 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 estos 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. A efectos prácticos existen formas de ondas normalizadas que relacionan el tiempo de subida y de bajada.

Como fenómenos eléctricos, 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 características del rayo a los que se debe prestar atención son los siguientes:

- Efectos ópticos

- Efectos acústicos
- Efectos electroquímicos
- Efectos térmicos
- Efectos electrodinámicos
- Radiación electromagnética

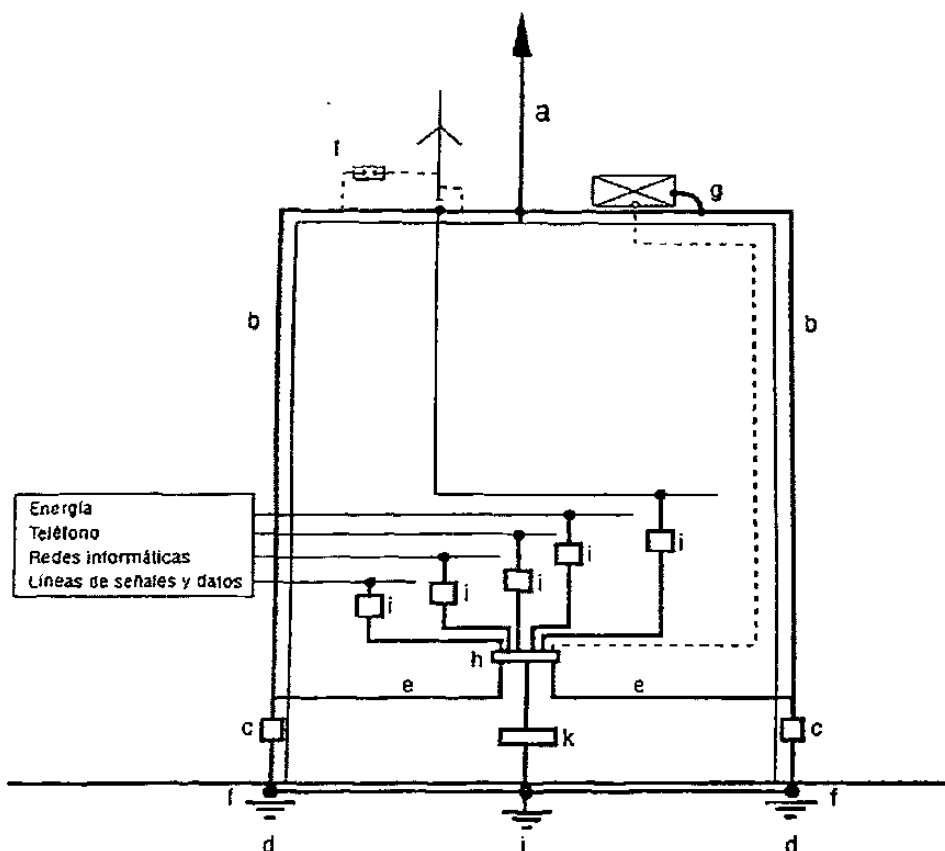
Se deberán considerar los efectos térmicos y electrodinámicos al dimensionar las diferentes partes que compone el sistema de protección contra el rayo. Las consecuencias de la radiación electromagnética (excitaciones, inducciones...)

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

### 1.1.3 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 un sistema interior de protección contra el rayo (IIPR) complementario.

NOTA: En ciertos casos el SPCR podrá estar formado solamente por el sistema externo o por el sistema interno.



## **2. INSTALACIÓN EXTERIOR DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (IEPR)**

### **2.1 Disposiciones Generales**

#### **2.1.1 Concepción**

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

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

#### **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
- Dificultad de acceso
- Continuidad de servicio
- El contenido de la estructura: la 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 salientes del edificio
- Los puntos más vulnerables del edificio
- La disposición de los conductos metálicos (agua, electricidad...)
- La naturaleza del ambiente, que puede ser particularmente corrosivo (ambiente salino, fábrica petroquímica, cementeras...)



Los puntos de la estructura considerados vulnerables son las partes salientes, en particular las torres, valetas, objetos puntiagudos, chimeneas, las masas metálicas (extractores de aire, dispositivos de limpieza de fachadas...) 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 soporta el sistema de conexión del conductor de bajada.

Para determinar la zona protegida por PDC, se utiliza el modelo electrogeométrico, tal como se explica en el anexo A, y el cebado, según el punto 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 del cebado

Un PDC se caracteriza por su avance en el cebado. Este se evidencia en los ensayos de evaluación. Dichas pruebas comparan un pararrayo con dispositivo de cebado y un PDC de referencia 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:

$$\Delta t = \overline{T_{pm}} - \overline{T_{pdc}}$$

Donde:

$\overline{T_{pm}}$  es el instante de iniciación promedio de un trazador ascendente en un PDC de referencia.

$\overline{T_{pdc}}$  es el instante de iniciación promedio e un trazador ascendente en un pararrayos con dispositivo de cebado.

#### 2.2.2.1 Ensayo de evaluación para pararrayos con un dispositivo de cebado.

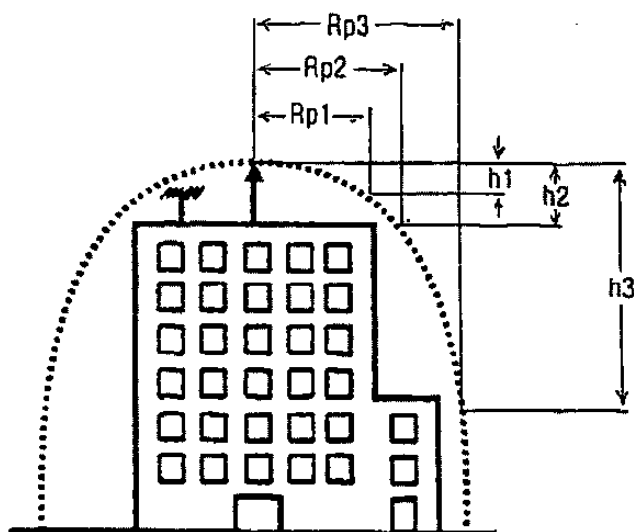
Este procedimiento consiste en evaluar el avance en el cebado de un PDC, se simulan en el laboratorio de alta tensión las condiciones naturales, mediante la superposición de un campo permanente, que representa el campo ambiente existente en el momento de una tormenta, y de un campo de impulsos, simulando 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  $h$  y cuyo eje es el mismo que el del PDC.



Radios de Protección

## 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 aluminio o acero inoxidable. La punta, al igual que el cuerpo de la punta, tendrá una sección conductora mayor a  $120 \text{ mm}^2$ .

## 2.2.5 Montaje de la obra.

### 2.2.5.1 Pararrayos con dispositivo de cebado

La punta de un PDC debe estar situada al menos dos metros 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. Este 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...) 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. Éstos estarán unidos, en sus puntos de anclaje a nivel del suelo, a los conductores de bajada mediante conductores conforme a la tabla.

### **2.2.5.3 Puntos de ubicación preferentes**

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

- Casetas situadas en terrazas
- Cumbreiras
- Chimeneas metálicas o de albañilería.

## **2.3 Conductores de bajada**

### **2.3.1 Principios generales.**

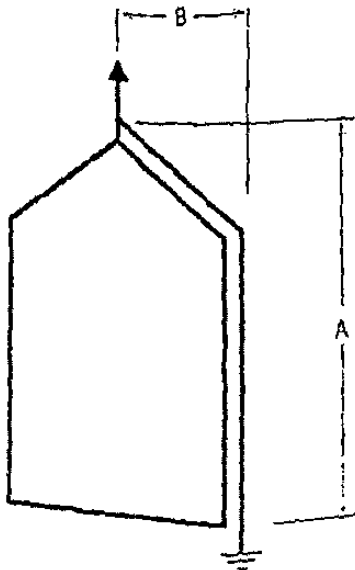
Los conductores de bajada están destinados a conducir la corriente del rayo desde los dispositivos de capacitación hasta las tomas de tierra. Se situarán en el exterior de la estructura a excepción de los casos en el punto 2.3.3.1.

### **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:

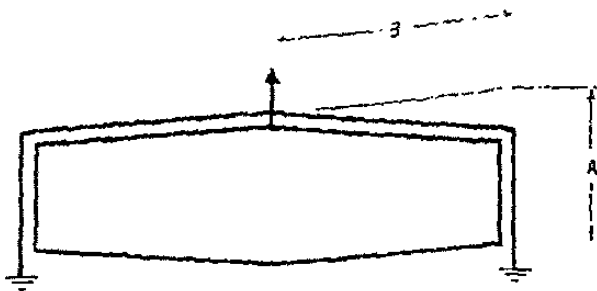
- Si la proyección horizontal del conductor es superior a su proyección vertical.
- En el caso de realización de instalaciones sobre estructuras de altura superior a 28m.

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



A: proyección vertical  
B: proyección horizontal

$A > B$   
1 bajante



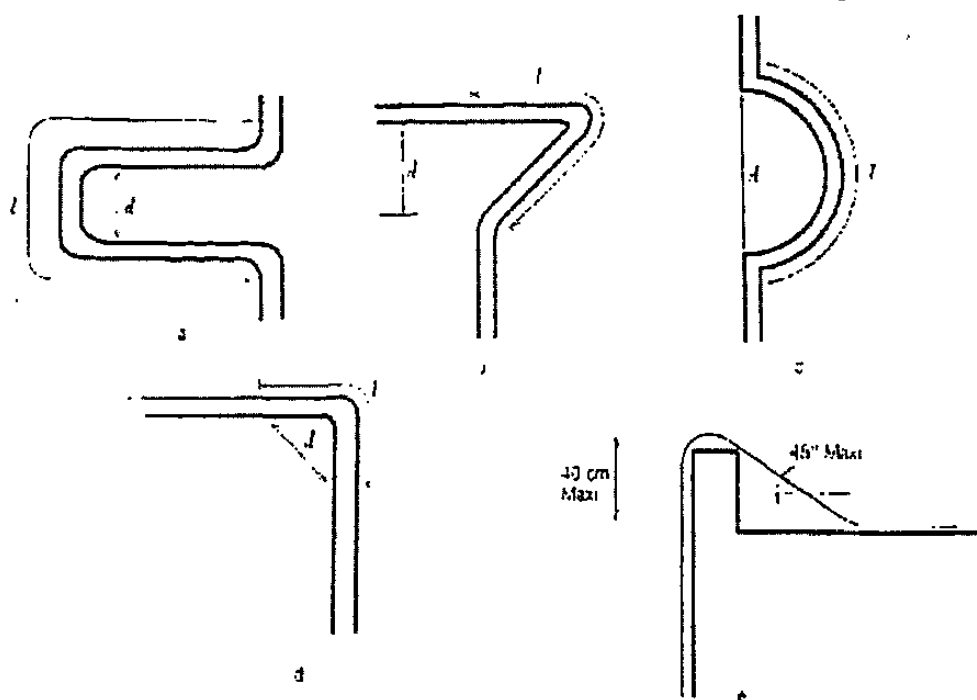
$A < B$   
2 bajantes

### 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 en curvatura no serán inferiores a 20cm. Para la desviación de los cables de bajada, se utilizarán preferentemente los codos formados por las esquinas.

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

Se ha de evitar el contorno de cornisas o elevaciones. Se preverán lugares de paso lo más directos posibles para los conductores. En cualquier caso, se admite una remontada de un máximo de 40cm. Para franquear una elevación con una pendiente  $\leq$  a  $45^\circ$ .



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

La unión de diferente conductores entre si 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 2m. A partir del 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 afecto, que recorra la pared en toda su altura o solo en parte.

La utilización de fundas aislantes y no inflamables es posible siempre que éstas tengan una sección interior superior o igual a 2000 mm<sup>2</sup>. 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 que 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 sobresalientes 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 unidas 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 50mm<sup>2</sup>. Como se observará en la siguiente tabla:

**Tabla 2.3.4**

Conductores de bajada		
Material	Observaciones	Dimensiones
Cobre electrolítico desnudo	Recomendado por su buena conductividad eléctrica y su resistencia a la corrosión	Pletina 30x2mm trenza plana 30x3.5mm cable trenzado 50mm <sup>2</sup> redondo o 8 mm (2)
Acero inoxidable 18/10, 304	Recomendado en ciertos ambientes corrosivos	Pletina 30x2mm Redondo o 8mm (2)
Aluminio A 5/1	Debe ser utilizado sobre superficies de aluminio (barandillas, muros...)	Pletina 30x3mm Redondo o 10mm (2)

#### NOTAS:

- (1) Se recomienda el cobre estañado debido a sus propiedades físicas, mecánicas y eléctricas (conductividad, maleabilidad, resistencia a la corrosión...)
- (2) Dado al 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 ( $\pm$ ).

Generalmente, las juntas de control se intercalan en las bajantes a dos metros de altura. Para las instalaciones sobre las paredes metálicas, o que no estén provistas de una bajante específica, las juntas de control intercalarán entre cada toma de tierra y el elemento metálico del edificio estén unidas; estarán emplazadas en el interior de un registrador de inspección sobre el que estará inscrito e símbolo ( $\pm$ ).

### **2.3.6 Contador de impactos de rayo**

Cuando esté 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 2 m por encima del suelo.

## **Componentes naturales**

Entre los elementos conductores que componen la estructura, algunos pueden remplazar 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 0.01 .

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 los componentes naturales debe satisfacer las condiciones de equipotencialidad del punto 3.

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

### 2.3.7.2 Componentes naturales que pueden completar 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 embebidas en las paredes, a condición de que los borne 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 cubren el espacio a proteger teniendo en cuenta que:

- La continuidad eléctrica entre las diferentes partes se debe realizar de forma perdurable
- Éstas no deben estar revestidas de material aislante.

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

NOTA: Una ligera capa de pintura protectora, 1 mm de asfalto o .5 mm de PVC no se considera aislamiento.

## 3 EQUIPOTENCIALIDAD DE LAS MASAS METÁLICAS E INSTALACIÓN INTERIOR DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO.

### 3.1 Generalidades

Al pasar la corriente del 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 dos extremos del bucle que se ha creado.

En función de la distancia que separa los dos extremos del bucle abierto (él 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 chispas peligrosas se la llama distancia de seguridad (d), y depende del nivel de protección elegido.

A menudo es difícil asegurar el aislamiento en el momento de instalar un SPCR (falta información cuando se toma la decisión...), o asegurarlo con el paso del tiempo (modificaciones, estructuras...). 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 de seguridad.

### 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 del rayo, y el elemento que 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, los elementos constructores 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 la tierra, en la que no hay formación de chispas peligrosas.

Para que exista un aislamiento, con 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 4.

Distancia de seguridad  $d_1$  (m) =  $a_n K_i / K_m - 1$ .

Donde:

$a_n$  : Depende del número de bajantes por PDC antes del punto de 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 de material (a excepción de metal)

-1 = 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.

### **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 sobresalientes 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 de suelo o en el subsuelo

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

b) Cuando no se respeten las exigencias de proximidad

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

En el caso de SPCR aislados, la unión equipotencial se realizará a nivel de suelo.

c) En el caso de canalizaciones exteriores de gas  $d1 = 3m$ .

#### **3.2.2 Equipotencialidad por la 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 en las paredes.**

La unión equipotencial se realizará, de acuerdo con las reglas de los puntos 3.2.1 a) y b). Allí se hayan previsto bornes de conexión a tal efecto. Se prestará particular atención 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 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  $16\text{mm}^2$  cuando sean de cobre o de aluminio y de  $50\text{mm}^2$  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 de las barras de equipotencialidad será de cobre o de material idéntico al conductor de equipotencialidad y de una sección mínima de  $75\text{mm}^2$ .

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 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 de la forma y dimensiones de la toma de 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  $10 \Omega$ ). Se debe medir este valor sobre la toma de tierra aislada de otro elemento de naturaleza conductora.
- Valor de importancia de onda o inductancia: lo más bajo posible para minimizar la fuerza de contraelectromotriz que se añade al potencial ohmico en el momento de la descarga del rayo. A este efecto, es conveniente evitar las tomas de tierra constituidas por único elemento de gran longitud, horizontal o vertical.

Así la utilización de electrodos profundos, buscando gran oportunidad en terrenos húmedos, solo es interesante si la resistividad de la superficie es particularmente elevada y

es solo compatible con la existencia de estratos inferiores del terreno de elevada conductividad 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 Electrónico para Bajar 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 que sigue 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) o 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

-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 tierra, uniéndolas entre sí.

-aplicar un tratamiento que permita una disminución de la impedancia y ponga un alto poder de disipación.

-si tras la aplicación de las disposiciones enunciadas no se consigue disponer de una resistencia menor de 10 ohms, se considerara que la toma de tierra asegura un paso aceptable de la corriente del rayo siempre que este constituida por un mínimo de 100 m de electrodo enterrado, sabiendo que la longitud de cada elemento vertical u horizontal no 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 para las masas de las instalaciones eléctricas, conforme la instrucción MI BT 039, las tomas de tierra de las instalaciones de pararrayos se unirán a ellas mediante un conductor normalizado.

Para instalaciones nuevas se debe tener en cuenta esta disposición desde el estudio inicial y realizar la interconexión con el circuito de tierra en el fondo de la excavación, directamente al pie de cada bajante mediante un dispositivo que permita la desconexión y que este remplazado en un registro de inspección que lleve el símbolo de GND.

Para instalaciones y registros ya existentes, se deberán realizar las interconexiones perfectamente 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 forma de la tierra del PDC se interconectará a la red de tierra equipotencial enterrada que une las diferentes estructuras.

#### **4.5 Condiciones de proximidad**

Los elementos constituidos 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 ohms cada metro, la distancia mínima será de 5 m.

## **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(electrolitos), grado de aireación, temperatura y evolución de la electrolisis constituyen condiciones verdaderamente complejas.

El efecto de contacto entre materiales diferentes, unido a los fenómenos de electrolisis debidos al entorno, provoca un aumento de la corrosión del metal más anódico o activo y una disminución de la corrosión del metal más catódico o inerte. Se debe impedir la corrosión del metal más catódico. El electrolito 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 criticos 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 espaciado 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 y adecuada.
- las uniones cobre/aluminio deben ser evitadas. Si es posible. En caso contrario, las uniones se realizaran mediante la conexión bimetálica apropiada.
- generalmente el cobre es apropiado para la toma de tierra salvo en ciertas condiciones ácidas, en presencia de oxígeno o de sulfatos.

-los conductores de bajada necesitan un revestimiento se 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 esta 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 punta del mástil.
- la punta del PDC sobrepasa al menos en dos metros la antena más próxima.
- la fijación del conductor de bajada esta 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 inferior del mástil de la antena.

En el caso de una torrea, 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 fabricas**



Por su gran altura y la ionización del aire que producen los humos y los gases calientes, las chimeneas de las fabricas 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 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 distanciadas 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 solo esta puesta a tierra no es suficiente para construir 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 seguridad de forma que domine las instalaciones a proteger. Su instalación debe tener en cuenta los radios de protección conforme a la presente norma.

Las tomas de tierra se situaran 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 minareles 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 490 m.

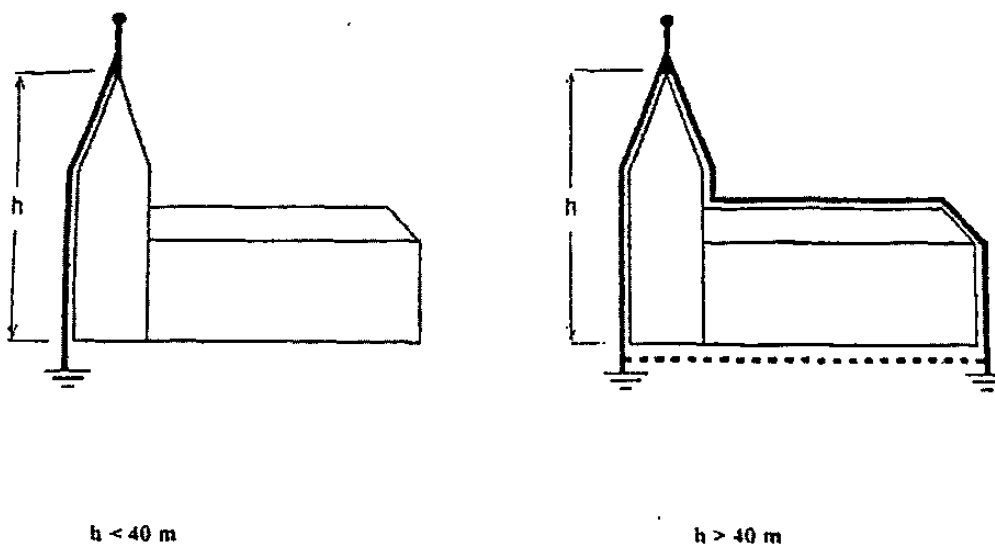
-por su longitud la nave salga de la zona de protección del PDC.

En este segundo caso, se colocaran el o los PDCs adicionales necesarios conforme a lo dispuesto en el punto 2.2.5.1 y demás disposiciones de la presente norma. Su bajante se conectara con la segunda 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, esta será provista de una punta de captación.

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 subestaciones con la ayuda de un protector contra sobretensiones conforme al apartado 3.



## Edificios religiosos

### 6.6 Estructuras ubicadas en puntos elevados

Los restantes situados en puntos elevados, los refugio, las estaciones de teleféricos.... están particularmente expuestos a la caída de rayos. El PDC se instalara 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, camping, caravanings, 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 instalando un PDC en el punto más elevado del mismo conforme a las disposiciones de la presente 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 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 esta debe ser objeto de verificaciones destinadas a asegurar que esta correctamente realizada conforme a la presente normativa.

Esta verificación se basa en los siguientes puntos:

- asegurar que el PDC este al menos 2 metros 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 considerable realizar una medida de su continuidad eléctrica.

### 7.2 Verificación periódica

La periodicidad viene recomendada por el nivel de protección. se recomienda 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 mediante un contador de impactos de rayo instalado en una de las bajantes.

### **7.2.1 Procedimiento de verificación**

Primeramente se deberá verificar que todos los componentes del SPCR cumplen la presente norma.

Se debe realizar una inspección visual para asegurar que:

- ninguna extensión o modificación sobre la estructura protegida domine sobre la instalación de las 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 este 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).

### **7.2.2 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 realizarla reparación con el menor retraso a fin de mantener la eficacia optima del sistema.

## ANEXO A

### (NORMATIVO)

### MODELO DE PROTECCIÓN

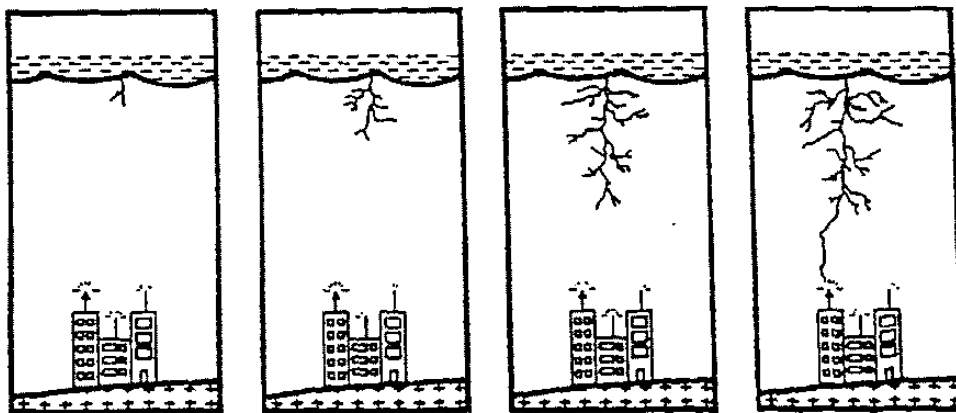
#### A 1 DESCRIPCIÓN DE LA FASE DE APROXIMACIÓN

##### 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 5kV/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 se propaga a impulsos 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 una estructura o de un objeto sobre el suelo. Se propaga hasta que se encuentra el trazador descendente y la corriente del rayo fluye por el canal así creado. Otros trazadores ascendentes pueden 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.



NOTA: Esta descripción es válida solo en el caso del 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 la naturaleza muestran que las velocidades medias de los trazadores ascendente y descendente son comparables durante la fase de aproximación. La relación de las velocidades  $v_1/v_0$  es aproximadamente 1 (entre 0.9 y 1.1)

Supondremos aquí que  $v = v = v = t$  m/us (valor de las velocidades de los trazadores), donde:

- V = Velocidad del Trazador ascendente
- V = Velocidad del trazador descendente
- V = Velocidad Común

## A2 VENTAJA EN LA PROTECCIÓN CON UN PDC

### A 2.1 Ganancia en tiempo de cebado

Un PDC esta diseñado para reproducir el tiempo medio estadístico asociado al cebado del trazador ascendente. Un PDC presenta una ganancia en tiempo de cebado a un PDC de referencia emplazado en las mismas condiciones, Esta ganancia se evalúa en la elaboración de alta tensión siguiendo las recomendaciones del párrafo 2.2.2.1 y del Anexo C de la presente Norma.

### A 2.2 Ganancia en Longitud del Trazador ascendente

La Ganancia en longitud del trazador ascendente ohms l viene definida por

$$\text{Ohms } L \text{ (m)} = v \text{ (m/us)} \cdot \text{Ohms } t \text{ (us)}$$

La zona protegida se determina a partir del modelo de protección descrito a continuación. Sobre las bases del modelo electro geométrico

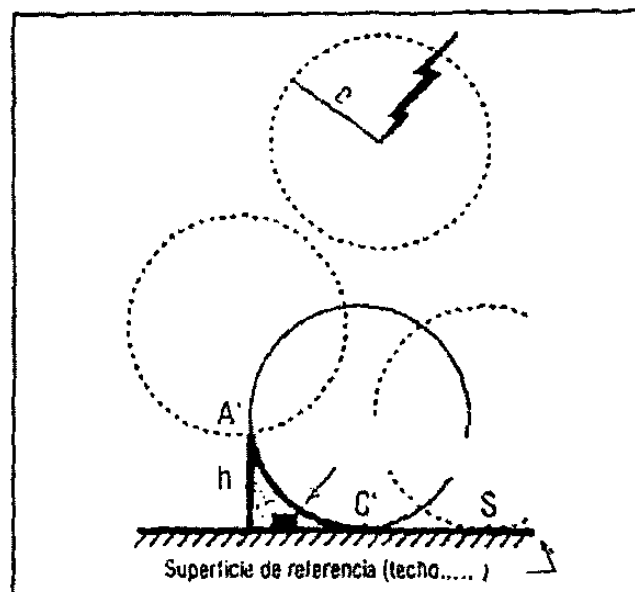
### A 3 MODELO DE PROTECCIÓN

#### A 3.1 Radio de protección de un PDC de referencia

En el caso de un PDC de referencia, según el modelo electro geométrico. 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 descendiente, incluso si el objeto es el propio suelo llano. La distancia  $D$  que determina el punto de encuentro de los trazadores descendiente y ascendente se denomina “ distancia de cebado”es también la longitud de desarrollo del trazador ascendente

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

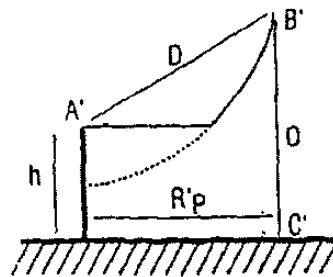
En el caso de un PDC de referencia de altura “ $h$ ” con respecto a la superficie de referencia (techo del edificio, suelo...) existen tres posibilidades (ver figura A2)





### Método de la esfera ficticia

- Si la esfera entra en contacto únicamente con la punta vertical (A. Esta 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 tocara únicamente el suelo en "s
- Si la esfera entra n contacto con el PDC de referencia 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



### A 3.2 Radio de protección de una PDC

En el caso de un PDC, existe una ganancia en el instante de cebado  $\Delta t$ , con  $\Delta L = v\Delta t$ , y los puntos de impacto posibles son A y C (figura A4) con un radio de protección  $R_p$  tal que:

$$R_p \approx \sqrt{2D\pi h^2 + \Delta L(2D + \Delta L)} \quad , \text{ para } h \geq S_m$$

donde:

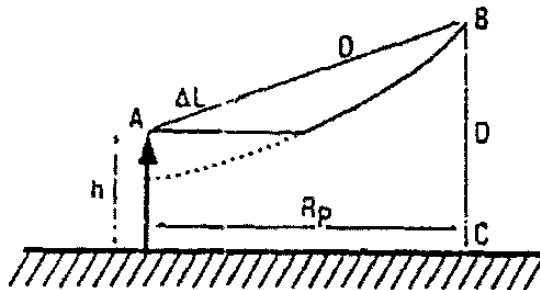
D: distancia de cebado,

$\Delta L$ : ganancia en longitud del trazador ascendente definido por  $\Delta L = v\Delta t$ ,

h: altura de la punta del PDC por encima de la superficie a proteger,

$R_p$ : radio de protección del PDC,

$\Delta t$ : ganancia en tiempo de cebado del trazador ascendente continuo.



## **ANEXO B (Normativo)**

### **GUÍA DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE IMPACTO DE RAYO Y SELECCIÓN DEL NÍVEL DE PROTECCIÓN PARA UNA INSATALACIÓN EXTERIOR DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO**

#### **B 1 GENERALIDADES**

La guía de evaluación de riesgo de impacto está destinada a ayudar al responsable del estudio en el análisis de los diferentes criterios que permitirán evaluar el riesgo de daños debidos a la descarga, determinar 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;
- necesidad de continuidad de los servicios públicos o de producción;
- zonas de gran densidad de impactos 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 estructuras comunes se relacionan en la Tabla B1 a modo de información.

Clasificación de las estructuras	Tipo de estructura	Efectos del rayo
Estructuras comunes (ver nota)	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.
	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, centros de salud.	Como los anteriores, más problemas con pacientes en 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.

Para una estructura rectangular de longitud  $L$ , anchura  $I$  y altura  $H$ , la superficie de captura es igual a:  $A_e = LI + 6H(L+I) + 9\pi H^2$

La topografía del lugar y los objetos situados en el interior de una distancia  $3H$  a la estructura influyen de forma significativa en su superficie de captura. Este factor se tiene en cuenta a través del coeficiente  $C_1$ , (tabla B2).

**Tabla B2 – 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
Estructura aislada	1
Estructura aislada situada sobre una colina o promontorio	2

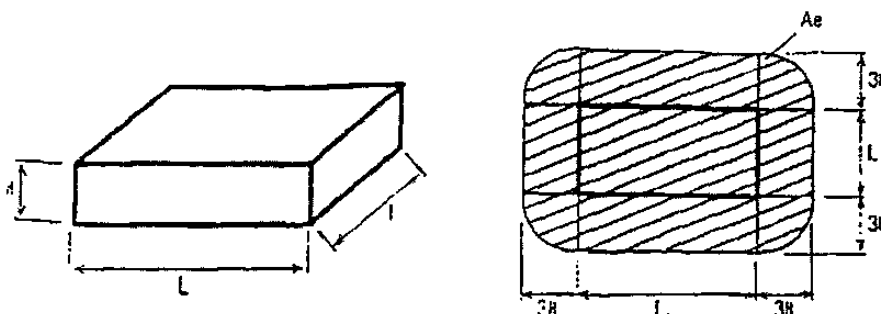
- Cuando la superficie de captura equivalente de una estructura cubre completamente otra estructura, ésta última no se tendrá en cuenta.
- Cuando se cubre la superficie de captura de varias estructuras, la superficie de captura común correspondiente se considera como una única superficie de captura. En la figura B3 se representan tres ejemplos característicos.

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

**Figura B3 – Ejemplos de cálculo**

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

$$A_e = LI + 6H(L+I) + 9\pi H^2$$



NOTA : 1- En todos los casos existe riesgo para las personas que se encuentren en el interior y alrededores de

La estructura.

2- Los equipos electrónicos sensibles pueden estar instalados dentro de cualquier tipo de estructura

y pueden ser fácilmente dañados por las sobretensiones debidas a la 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. Consecuencias que tendrían sobre el entorno los daños del 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 más severas que las que resultan de aplicar esta guía.

La selección de un nivel de protección adecuado para la colocación de una 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,  $N_e$ , establecida para esa zona.

## B 2 Determinación $N_d$ y $N_c$

### B 2.1 Densidad de impactos de rayo sobre el terreno $N_g$

La densidad de impactos de rayo sobre el terreno, expresado en número de rayos por  $\text{km}^2$ , se determina mediante la utilización del nivel cerámico local  $N_k$ :  $N_a = 0.02 N_k^{1.67}$

$N_k$ /año	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$N_a$ / $\text{km}^2$ ,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:

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

$N_g$ : densidad anual media de impactos de rayo en la región donde está situada la estructura (número de impactos/año.km<sup>2</sup>)

1.1: coeficiente de seguridad ligado a la evaluación de impactos.

$A_e$ : superficie de captura equivalente a la estructura aislada (m<sup>2</sup>).

$C_1$ : coeficiente relacionado con el entorno.

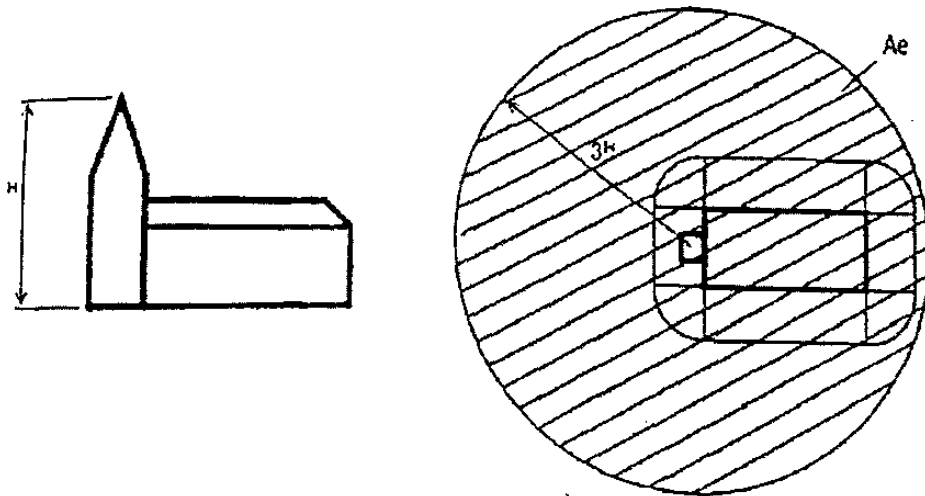
La superficie de captura equivalente se define como la superficie sobre el suelo que tiene la misma probabilidad anual que la estructura de recibir el impacto directo de un rayo.

Para las superficies aisladas según la tabla B2, 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 (ver la figura B3).

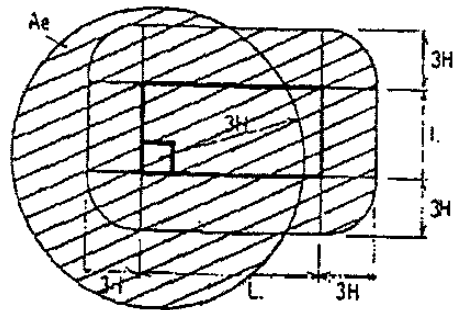
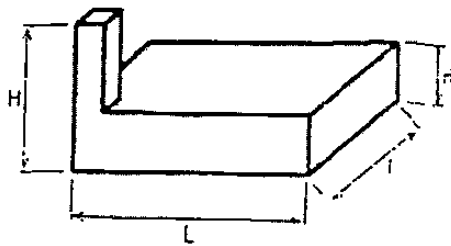
2) En el caso de un edificio en el que haya una parte prominente.

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 ( $N_e$ ) sobre una estructura

### B 2.3.1 Generalidades

Los valores de  $N_e$  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 $N_e$

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 B5 a B8.

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

$N_e$  se expresa como  $N_e = 3 \cdot 10^{-3} / C$



**Tabla B5- C<sub>2</sub>, coeficiente de estructura**

Tejado	Metal	Común	Inflamable
Estructura			
Metal	0.5	1	2
Común	1	1	2.5
Inflamable	2	2.5	3

**Tabla B6- C<sub>3</sub>, 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 B7- C<sub>4</sub>, ocupación de la estructura**

No ocupada	0.5
Ocupada normalmente	3
De difícil evacuación o riesgo de pánico	7

**Tabla B8- C<sub>5</sub>, consecuencias 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
Consecuencias para el entorno	10

NOTA : Algunas reglamentaciones específicas podrían imponer otros valores de  $N_e$  en ciertos casos particulares.

### B 3 MÉTODO DE SELECCIÓN DEL NIVEL DE PROTECCIÓN

El valor de la frecuencia aceptable de rayos  $N_e$  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  $N_d \leq N_e$ , el sistema de protección no es necesario.
- Si  $N_d > N_e$ , se debe instalar un SPCR de eficiencia  $E \geq 1 - N_e/N_d$  y 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 o 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 B9 se da un método práctico para escoger el nivel de protección.

La tabla B10 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  $E$ .

**Figura B 9 – Determinación de la necesidad y el nivel de protección**

Entrada de datos Fórmulas	Cálculos	Resultados
Superficie de captura equivalente: $A_e = LI + 6H(L+I) + 9\pi H^2$ (en el caso de un volumen paralelepípedo)	$L =$ $I =$ $H =$ $H^2 =$	$A_e =$
Frecuencia establecida de impactos directos sobre una estructura: $N_d = N_g \cdot 1.1 \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6}$	$N_g =$ $A_e =$ $C_1 =$	$N_d =$
Frecuencia establecida de impactos sobre una estructura:	$C_2 =$ $C_3 =$ $C_4 =$	$N_e =$

$N_c = 3 \cdot 10^{-3} / C$ con $C = C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$	$C_5 =$ $C =$	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si <math>N_d \leq N_c</math> : PROTECCIÓN OPCIONAL</li> <li>- Si <math>N_d &gt; N_c</math>: PROTECCIÓN NECESARIA</li> <li>- Determinar el nivel de protección requerido calculando la eficiencia <math>E = 1 - N_c / N_d</math></li> <li>- Instalar una IEPR de nivel de protección correspondiente a la E calculada con la ayuda de la tabla B10 a continuación.</li> </ul>		

**Tabla B10**

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

## ANEXO C (Normativo)

### ENSAYO DE EVALUACIÓN DE UN PDC

#### C1 CONDICIONES EXPERIMENTALES

Se evalúa la eficacia de un PDC comparando, en un laboratorio de alta tensión, los tiempos de cebado del trazador ascendente para un PDC y un PDC de referencia 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 consecuencias sobre las condiciones de formación del efecto corona y las cargas espaciales preexistentes. Por ello es necesario simularlo: su valor estará 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  $\mu$  s y 1000  $\mu$  s. En la zona de iniciación del trazador ascendente la pendiente de onda debe estar comprendida entre  $2 \cdot 10^8$  y  $2 \cdot 10^9$  V/m.s.

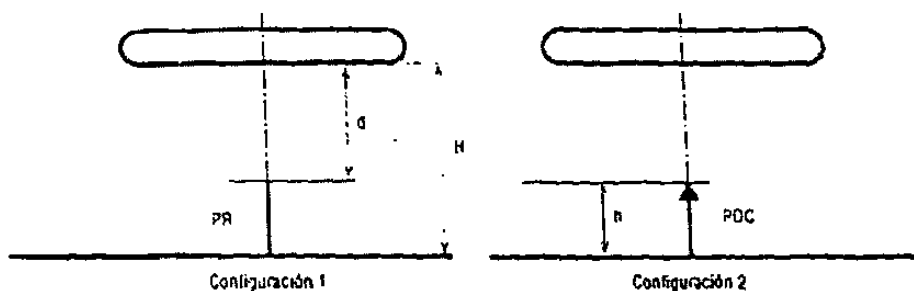
#### C 2 MONTAJE EXPERIMENTAL

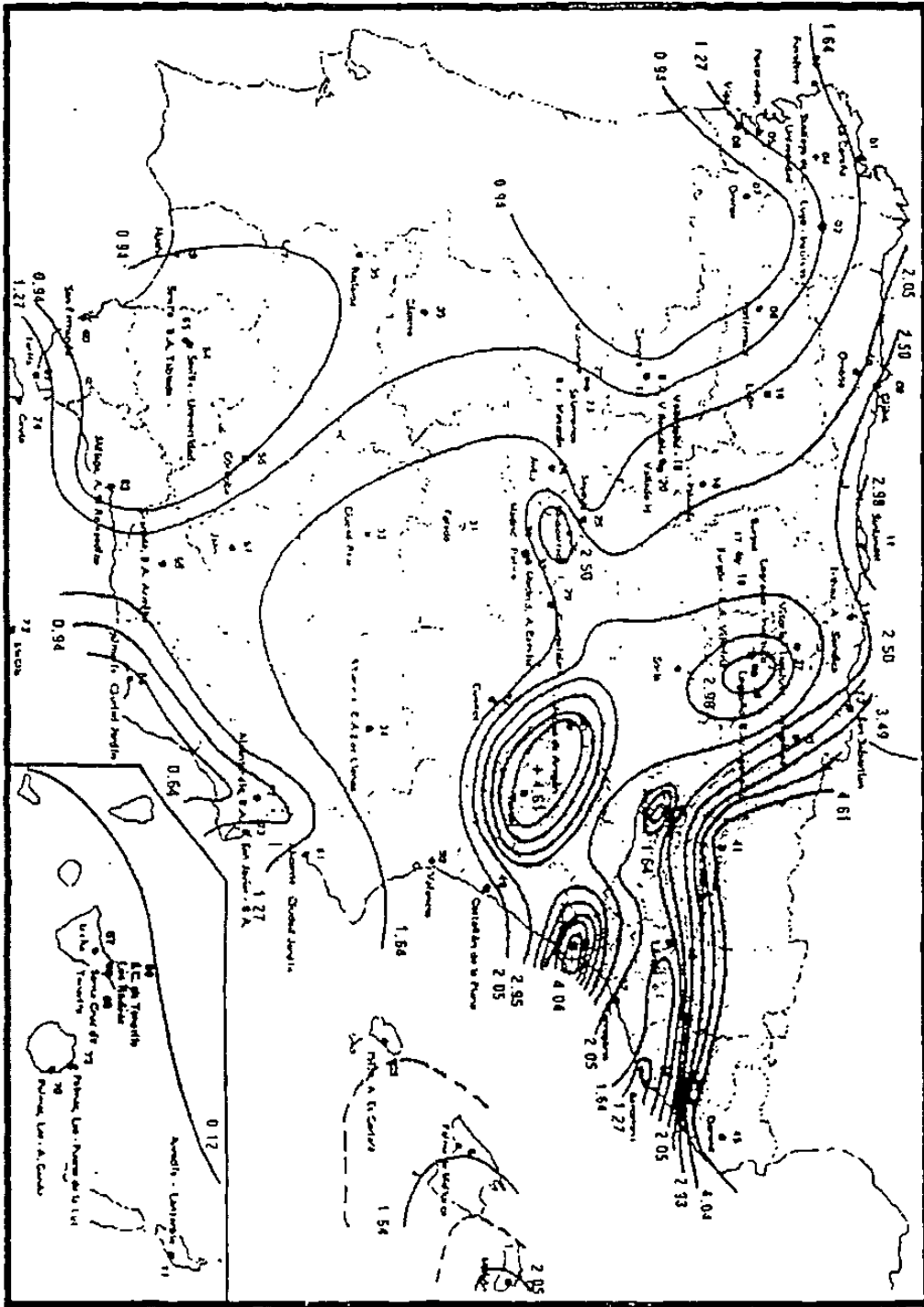
##### C 2.1 Posicionamiento de los pararrayos a comparar

La distancia entre el plato superior y la punta debe ser suficiente para que la propagación de la descarga ascendente se efectúe en espacio libre, y, en todo caso, superior a 1 m ( $d \geq 1$  m). Es necesario garantizar de 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 a 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.





## **C 3 TAMAÑOS A CONTROLAR – MEDIDAS A EFECTUAR**

### **C 3.1 Parámetros eléctricos**

- Forma y amplitud de las tensiones aplicadas (calibrando el campo ambiental, onda de tensión impulsional, corriente asociada,...).
- Ajuste de la polarización continua.
- Ajuste del cebado sobre la punta de referencia (PDC de referencia): 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 Ganancia en tiempo de cebado**

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

## **C 4 EFICACIA DE UN PDC**

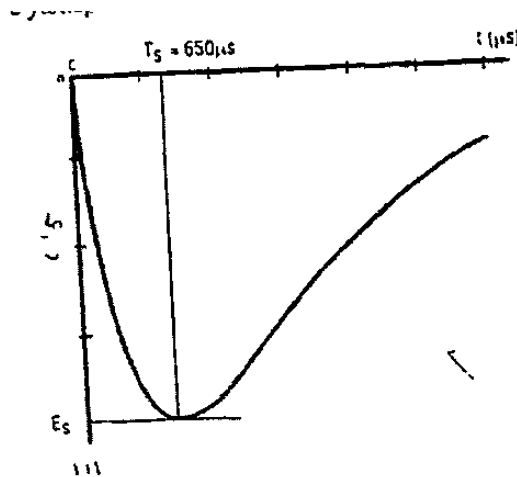
A partir de las medidas de tiempo de cebado de los trazadores ascendentes para un PDC de referencia y para un PDC, se calculan los tiempos medidos de cebado  $\langle T'_{PR} \rangle$  y  $\langle T'_{PDC} \rangle$ , a partir de los impulsos que han impactado, respecto a los parámetros de la curva experimental escogida.

### C 4.1 Forma de onda de referencia

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

#### C 4.2 Determinación del avance en el cebado

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  $E_{SEXP}$ , se yuxtapone la curva experimental.



A partir  $\langle T'_{PR} \rangle$  y  $\langle T'_{PDC} \rangle$  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  $\langle TPDC \rangle$  y  $\langle TPR \rangle$ , que se utilizan para el cálculo del avance en el cebado  $\Delta t =$

$$\langle TPR \rangle - \langle TPDC \rangle.$$

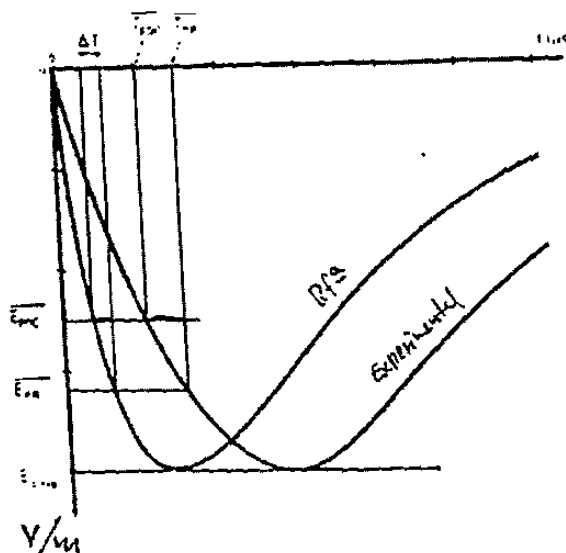


Figura C 3

NOTA: El método que aquí se describe permite determinar un valor de  $\Delta t$  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  $\Delta t$  independiente de  $d$ . El modelo del campo umbral de iniciación del líder continuo, desarrollado por Rizk y Berger, permite esta transposición.

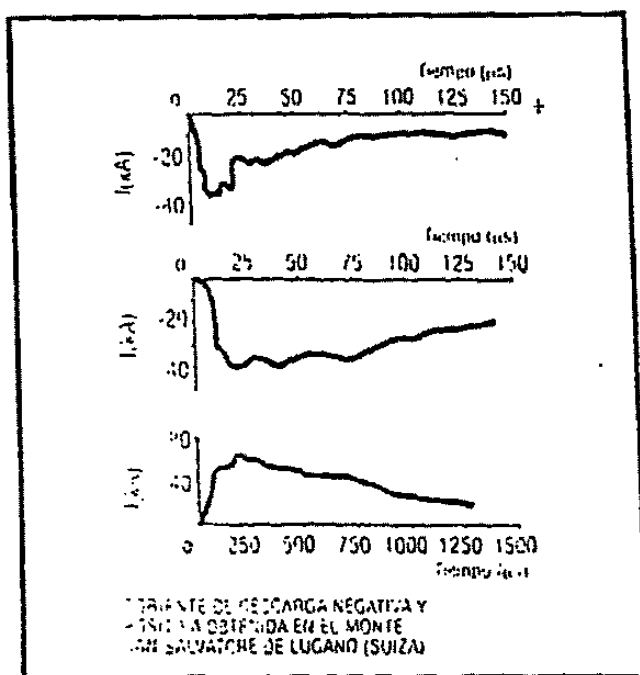


## ANEXO D (Informativo) PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL RAYO Y SUS EFECTOS

### D 1 PARAMETROS 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 3 a D 15 presentan la 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 pueden citar en particular: amplitud de la corriente, tiempo de subida, tiempo de cola, carga y energía específica.

Estos parámetros hacen referencia a las formas de los impactos de rayo reales tal como han sido medidos para establecer las 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 más adelante.

La brusquedad de la subida (la pendiente máxima de la corriente expresada en kA/ $\mu$ s) 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 del 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 pararrayos (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 térmico 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 extremo. Aun 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 a 3 mm de espesor.

Por este motivo, para que una pared metálica se utilice o pueda formar parte del 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 apreciables 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 medida en corriente continua. Con las breves ondas de choque que suponen las corrientes del 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, aun con el efecto pelicular. Los calentamientos que llegan hasta la temperatura de fusión sólo se producen en conductores de sección muy pequeña o 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 de las bajantes de los pararrayos que presenten las secciones recomendadas en la presente norma.

Por el contrario, en los malos conductores mucha de esta energía se libera en forma de calor al pasar la corriente. Debido a esto, el agua contenida en la madera, la mampostería y los materiales análogos se recalientan 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 tiene lugar con preferencia en entornos donde la 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 pueden 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 1200 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 las fuerzas de repulsión que rara vez pueden causar deformaciones en los conductores, hay también potentes fuerzas de atracción entre caminos paralelos de la corriente del 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 pico  $I$  (amplitud) de la corriente de paso, y de los fenómenos inductivo y capacitivo, que dependen principalmente de la pendiente de la corriente  $di/dt$  y de la tensión  $du/dt$  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 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:  $V=RI$ .

Así el paso de una corriente de 100 kA en una toma de tierra de  $5 \Omega$  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, sino 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, la presente 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 forma bucles abiertos en 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 sus extremos abiertos aparecerán fuerzas electromotrices. La presente norma tiene en cuenta éstos fenómenos dentro del apartado 3 (ver figura D 2)

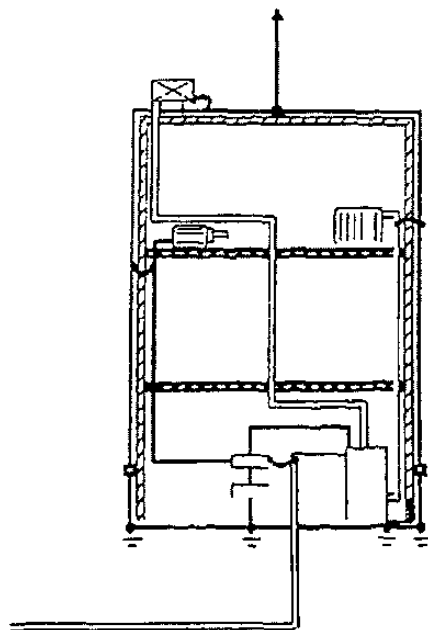


Figura D 2 - Conexiones equipotenciales

### TABLAS D 3 a D 15

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

#### Valores fundamentales de la corriente del rayo Distribución de las frecuencias acumuladas

**Tabla D 3 - Corriente de pico (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 4 - Carga Total ( C )**

Impactos del 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 D5 - Carga impulsional (onda de choque) (C)**

Impactos del rayo	Frecuencias acumuladas		
	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 D6 – Tiempo de subida ( $\mu\text{s}$ )**

Impactos negativos subsiguientes	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Tiempo total de subida	1.8	5.5	18
Tiempo medio entre 30% y 90% de la corriente de pico	1.5	3.8	10
10% y 90% de la corriente de pico	2.2	5.6	14

**Tabla D7**

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 pico	0.1	0.6	3.0
10% y 90% de la corriente de pico	0.2	0.8	3.5

**Tabla D8**

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

**Tabla D9 – Duración del rayo ( $\mu\text{s}$ )**

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	2000

**Tabla D10 – Energía específica ( $\text{J}/\square$ )**

Impactos del rayo	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Impacto principal negativo	$6.0 \times 10^1$	$5.5 \times 10^1$	$5.5 \times 10^1$

Impactos negativos subsiguientes	5.5x10 <sup>2</sup>	6.0x10 <sup>3</sup>	5.2x10 <sup>4</sup>
Descargas positivas	2.5x10 <sup>4</sup>	6.5x10 <sup>4</sup>	1.5x10 <sup>7</sup>

**Tabla D11 – Pendiente de subida (kA /  $\mu$ s)**

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 pico	2.6	7.2	20
10% y 90% de la corriente de pico	1.7	5	14

**Tabla D12**

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 pico	4.1	20	99
10% y 90% de la corriente de pico	3.3	15	72

**Tabla D13**

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

**Tabla D14 – Duración total de la descarga ( $\mu$ s)**

Impactos negativos subsiguientes	Frecuencia acumulada		
	95%	50%	5%
Todas las descargas negativas	0.15	13	1100
Impactos negativos subsiguientes	31	180	900
Descargas positivas	14	85	500



**Tabla D15 - Intervalos de tiempo entre impactos (ms)**

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

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

## **ANEXO E (Informativo)**

### **PROTECCION DE LAS PERSONAS CONTRA EL RIESGO DE DESCARGAS ELÉCTRICAS DEBIDAS AL RAYO**

#### **E 1 GENERALIDADES**

Las personas que se encuentran en el exterior de una estructura se exponen 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 las líneas eléctricas, el teléfono 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 forma 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 campaña de fabricación convencional no ofrecen ninguna protección.

- b) en el caso que no haya ningún refugio próximo, se deben reducir al mismo tiempo la propia altura (acuclillarse) 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 a 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 arboles de gran altura o aislados. Si no es posible, evitar la cercanía de un árbol más 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.



