



# GUÍA DE LA IALA

1012

## LA PROTECCIÓN DE LOS FAROS Y OTRAS AYUDAS A LA NAVEGACIÓN CONTRA DAÑOS POR RAYO

**Edición 3.0**

Mayo de 2013



Puertos del Estado





# REVISIÓN DEL DOCUMENTO

Las revisiones realizadas a este documento de la IALA se anotarán en el siguiente cuadro antes de la puesta en circulación de un documento revisado.

Fecha	Página / Apartado revisado	Motivo de revisión
Diciembre de 2005	Documento entero	Reformateado para reflejar la jerarquía de la documentación de la IALA
Mayo de 2013		Apartados adicionales añadidos y actualización del documento para reflejar los cambios de la norma de la CEI.

La revisión de la traducción de este documento ha sido realizada por el grupo de trabajo de Puertos del Estado en el que han participado:

*Luis Martínez (Autoridad Portuaria de Vigo);  
Enrique Abati (Autoridad Portuaria de Marín);  
Juan Manuel Vidal (Autoridad Portuaria de Gijón);  
Carlos Calvo (Autoridad Portuaria de Santander);  
Cristina García-Capelo (Autoridad Portuaria de Bilbao);  
José Luis Núñez (Autoridad Portuaria de Pasajes);  
Juan Antonio Torres (Autoridad Portuaria de Huelva);*

*Septimio Andrés (Autoridad Portuaria de Sevilla);  
Germán Gamarro (Autoridad Portuaria de Algeciras);  
Santiago Tortosa (Autoridad Portuaria de Ceuta);  
Jaime Arenas (Autoridad Portuaria de Baleares);  
Antonio Cebrián y Guillermo Segador (Autoridad Portuaria de Barcelona);  
José Carlos Díez (Puertos del Estado).*

Coordinación de la edición en español y edición final:

*José Carlos Díez (Puertos del Estado)*

NOTA: Puertos del Estado no se responsabiliza de los errores de interpretación que puedan producirse por terceros en el uso del contenido de este documento, que corresponde a una traducción del documento original de la Asociación Internacional de Ayudas a la Navegación Marítima y Autoridades de Faros (IALA) denominado según aparece en la carátula.



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

---

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>ÁMBITO DE APLICACIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>BREVE HISTORIA DEL ORIGEN DE LOS PARARRAYOS</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>EVALUACIÓN DE NECESIDADES</b> .....	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>TIPOS DE DAÑO POR RAYO</b> .....	<b>10</b>
5.1	Impacto directo.....	11
5.2	Impacto indirecto .....	11
<b>6</b>	<b>DISEÑO</b> .....	<b>11</b>
6.1	Fundamentos de la protección contra rayos.....	11
6.2	Diseño estructural de la protección contra rayos .....	11
6.2.1	Método del ángulo de protección .....	11
6.2.2	Método de la esfera rodante.....	12
6.2.3	Método de la esfera rodante cuando se utilizan pararrayos con dispositivo de cebado .....	12
6.3	Diseño interior de la protección contra rayos .....	14
6.4	Aplicación de métodos de protección contra rayos para obtener una estructura equipotencial .....	15
6.5	Resumen del enfoque de diseño .....	16
6.5.1	Protección obligatoria .....	16
6.5.2	Protección muy deseable .....	16
6.5.3	Medidas adicionales recomendadas .....	16
<b>7</b>	<b>INSTALACIÓN</b> .....	<b>17</b>
7.1	Protección de estructuras.....	17
7.1.1	General .....	17
7.1.2	Edificios y estructuras independientes.....	19
7.1.3	Torres de acero de celosía .....	20
7.1.4	Ayudas flotantes .....	21
7.2	Conexiones.....	21
7.2.1	Servicios.....	21
7.2.2	Suministro de energía eléctrica .....	22
7.2.3	Circuitos de telefonía.....	22
7.2.4	Suministro de agua .....	22
7.2.5	Suministro de gas .....	22
7.3	Elementos estructurales de metal .....	22
7.3.1	General .....	22
7.3.2	Pilares de carga.....	23
7.3.3	Pasamanos de la escalera .....	23
7.4	Sistemas de distribución de cables .....	23
7.4.1	Conducciones .....	23
7.4.2	Canaletas metálicas .....	23



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

7.4.3	Bandejas portacables.....	23
7.4.4	Circuitos de detección de incendios .....	24
7.4.5	Armarios y cabinas de equipos .....	24
7.4.6	Cables de sensores, de control y de datos.....	24
7.4.7	Antenas de radiocomunicaciones y cables de alimentación .....	24
<b>7.5</b>	<b>Antenas de radiofaro .....</b>	<b>25</b>
7.5.1	Contrantena (malla de tierra).....	25
7.5.2	Cable de radiofrecuencia de antena.....	25
7.5.3	Estructuras de soporte de antena .....	25
<b>7.6</b>	<b>Otros equipos .....</b>	<b>25</b>
7.6.1	Detectores de niebla .....	25
7.6.2	Señales de niebla .....	25
7.6.3	Balizas de emergencia .....	25
7.6.4	Paneles solares fotovoltaicos .....	26
7.6.5	Generadores .....	26
7.6.6	Tanques de almacenamiento de combustible.....	26
7.6.7	Sensores de nivel de combustible .....	26
7.6.8	Antenas de radar .....	26
7.6.9	Unidades AIS.....	26
<b>7.7</b>	<b>Protección contra sobretensiones .....</b>	<b>26</b>
7.7.1	General .....	26
7.7.2	Suministros de electricidad .....	27
7.7.3	Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) .....	27
7.7.4	Paneles solares fotovoltaicos .....	27
7.7.5	Circuitos de telefonía, de datos, de control y de supervisión.....	27
7.7.6	Circuitos coaxiales y blindados .....	28
<b>7.8</b>	<b>Puesta a tierra.....</b>	<b>28</b>
7.8.1	General .....	28
7.8.2	En tierra.....	29
7.8.3	En roca.....	30
7.8.4	En terreno superficial .....	30
7.8.5	Electrodos de tierra marinos .....	30
<b>8</b>	<b>INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PERIÓDICOS .....</b>	<b>31</b>
<b>8.1</b>	<b>Inspección .....</b>	<b>31</b>
<b>8.2</b>	<b>Pruebas .....</b>	<b>31</b>
8.2.1	General .....	31
8.2.2	medida de la resistencia de electrodos de tierra.....	31
8.2.3	Medida de electrodos de tierra en roca .....	32
<b>8.3</b>	<b>Mantenimiento de descargadores .....</b>	<b>33</b>
<b>8.4</b>	<b>Registros .....</b>	<b>33</b>
<b>8.5</b>	<b>Mantenimiento.....</b>	<b>33</b>



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

9	ACRÓNIMOS.....	34
10	REFERENCIAS.....	35
ANEXO A	EJEMPLO.....	¡Error! Marcador no definido.7
ANEXO B	EVALUACIÓN DE RIESGOS (EJEMPLO).....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO C	MÉTODO DE WENNER PARA LA RESISTENCIA DE ELECTRODOS DE TIERRA .....	39
ANEXO D	HOJA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA RESISTIVIDAD DE LA TIERRA .....	¡Error! Marcador no definido.0

## Índice de Tablas

Tabla 1	Extracto de la norma CEI 62305-3.....	13
Tabla 2	Extracto de la norma CEI 62305-3 sobre los tamaños y tipos de materiales .....	18

## Índice de Figuras

Figura 1	La experiencia de Benjamin Franklin .....	8
Figura 2	Algunos tipos de pararrayos radioactivos .....	8
Figura 3	Pararrayos piezoeléctrico .....	9
Figura 4	Pararrayos dieléctrico.....	9
Figura 5	Pararrayos de generador de impulsos.....	9
Figura 6	Niveles cerámicos del mundo .....	10
Figura 7	Método del ángulo de protección (cono invertido) .....	12
Figura 8	Método de la esfera rodante .....	12
Figura 9	Método aumentado de la esfera rodante .....	13
Figura 10	Comprobación de la protección por el modelo de la esfera rodante .....	14
Figura 11	Croquis mostrando distintas disposiciones de conexión y puesta a tierra .....	15
Figura 12	Disposición de bucles.....	17
Figura 13	Instalación del anillo horizontal.....	19
Figura 14	Un ejemplo de conexión al murete .....	19
Figura 15	Sistema de protección contra rayos .....	21
Figura 16	Ejemplo de conexiones .....	21
Figura 17	Disposiciones para el tendido de cables .....	22
Figura 18	Puesta a tierra .....	23
Figura 19	Diferentes tipos de electrodos de tierra .....	28
Figura 20	Soldadura aluminotérmica .....	30
Figura 21	Método recomendado de medición de la resistencia de electrodos de tierra.....	32
Figura 22	Esquema de conexionado para el método de Wenner.....	39



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

---

## Lista de ecuaciones

<i>Ecuación 1</i>	<i>Cálculo del radio de protección .....</i>	<i>13</i>
<i>Ecuación 2</i>	<i>Longitud del electrodo de tierra - Varillas horizontales de sección rectangular .....</i>	<i>29</i>
<i>Ecuación 3</i>	<i>Longitud del electrodo de tierra - Varillas horizontales de sección circular .....</i>	<i>29</i>
<i>Ecuación 4</i>	<i>Longitud del electrodo de tierra - Varillas verticales de sección rectangular.....</i>	<i>29</i>
<i>Ecuación 5</i>	<i>Longitud del electrodo de tierra - Varillas verticales sección de circular .....</i>	<i>29</i>
<i>Ecuación 6</i>	<i>Resistividad del terreno .....</i>	<i>39</i>



## 1 INTRODUCCIÓN

---

Los rayos son una descarga atmosférica de electricidad acompañada por truenos, que suele ocurrir durante las tormentas, y generan los siguientes efectos:

- Explosiones térmicas;
- Electrodinámicas;
- Subida de la tensión de tierra (riesgo de electrocución);
- Sobretensiones de varios miles de voltios y corrientes inducidas destructivas (daños a equipos eléctricos y electrónicos, que terminan en una interrupción del servicio).

Un sistema de protección contra rayos debe diseñarse para garantizar que la descarga de rayo se desvíe de los equipos que protege. Para lograrlo, se debe habilitar una trayectoria a tierra de muy baja impedancia, de manera que al producirse la descarga y el equipo permanezca en una zona protegida, similar a un paraguas con respecto a la lluvia.

Básicamente, la protección contra el efecto de rayos se basa en:

- La captura y descarga de la corriente a tierra;
- La utilización de descargadores de tensión;
- La protección pasiva de la instalación.

La protección contra el impacto de rayo puede lograrse con bastante éxito, pero puede resultar cara. Por lo tanto, la decisión de ofrecer este tipo de protección debe tomarse considerando el coste de los equipos a proteger y la necesidad crítica de los equipos/el servicio.

## 2 ÁMBITO DE APLICACIÓN

---

Como consecuencia del impacto de rayo, las personas y los equipos que se encuentren en un edificio pueden verse en riesgo por las corrientes de rayo y las tensiones asociadas que pueden generarse en el edificio o sus servicios asociados. Algunos equipos (p. ej. los equipos electrónicos, incluidos los ordenadores) son especialmente vulnerables a los daños producidos por sobretensiones en el suministro de energía eléctrica, que pueden aparecer incluso cuando el impacto del rayo sea lejos del edificio (p. ej. como resultado de una subida de tensión transmitida al edificio a través del suministro de electricidad).

Se deben tomar medidas para proteger de los efectos de rayos a las personas y equipos que se encuentren dentro de edificios.

Esta guía describe un enfoque práctico a la evaluación de riesgos, diseño, instalación y prueba de los sistemas de protección contra rayos para las estructuras, equipos y sistemas de AtoN.

No pretende ser un tratado riguroso sobre la protección contra rayos y, por lo tanto, el lector deberá consultar las normas nacionales e internacionales para obtener una descripción más completa de los métodos de protección.

## 3 BREVE HISTORIA DEL ORIGEN DE LOS PARARRAYOS

---

A lo largo de la historia, el hombre ha desarrollado una serie de dispositivos para protegerse contra los rayos, que suelen denominarse pararrayos.

Cuando descubrió que los impactos de rayo eran un fenómeno eléctrico, Benjamin Franklin inventó el pararrayos en 1752. (Véase la Figura 1)



**Figura 1** *La experiencia de Benjamin Franklin*

Los pararrayos son un sistema de protección muy sencillo, compuestos de un terminal aéreo (la varilla), que se utiliza para capturar el rayo y se conectan a uno o más conductores de bajada y a un electrodo de tierra.

El sistema tiene la capacidad de interceptar, guiar y dispersar la energía del rayo que proviene de las nubes tormentosas a la tierra, evitando así que aparezcan tensiones y corrientes que supongan un peligro para las personas, animales y equipos que se encuentren dentro del volumen que se protege.

Su función se basa en un fenómeno físico conocido como el “efecto corona”, que consiste en la ionización del aire alrededor de la punta de la varilla. Cuando el campo eléctrico en las proximidades alcanza una cierta magnitud, se crea una “ruta preferente” para el impacto de rayo para descargarlo y conducirlo hacia abajo a la tierra, donde se disipa.

En 1914, con el objetivo de hacer la ionización más eficaz, Szillard, un físico húngaro, propuso la utilización de una fuente de radiación de radio-226 en los pararrayos de Franklin, tras detectar un aumento de la corriente eléctrica en una varilla sometida a un campo eléctrico que contenía sal de radio.

En 1931, Gustav Capart, un físico belga, patentó el primer pararrayos ionizante que utilizaba la radioactividad, pero fue su hijo, Alphonse, quien introdujo, con fines comerciales, varias mejoras al equipo de su padre en 1953.

La ventaja aportada por la utilización del nuevo dispositivo era la ionización mejorada de la atmósfera alrededor del pararrayos, causada por el elemento radioactivo. Este hecho aceleraba la ionización del aire en el momento de la descarga eléctrica para aumentar la zona de protección.

Se comercializó a finales de la década de 1950 y, desde entonces, se ha instalado una gran cantidad de unidades. Los pararrayos contenían radio-226 hasta la década de 1960 y, desde entonces, este elemento fue reemplazado por americio-241, que es más barato y de mayor disponibilidad en el mercado (véase la Figura 2). En la actualidad, estos pararrayos radioactivos ya no están disponibles.



**Figura 2** *Algunos tipos de pararrayos radioactivos*

Hoy en día, están disponibles en el mercado algunos pararrayos con un dispositivo ionizante no radioactivo, que se llaman dispositivos de descarga adelantada (I.A.D. del inglés, ignition advance devicer). N del T: También se les conoce como PDC Pararrayos con Dispositivo de Cebado. Véanse las Figuras Figura 3, Figura 4 y Figura 5.

Existen tres tipos:

- Piezoeléctricos – cuya operación se basa en la ionización del aire por los efectos de Venturi y piezoeléctrico, que generan tensiones elevadas con el paso del viento.
- Dieléctricos – cuyo diseño permite la generación de una tensión elevada, basada en un efecto dieléctrico, entre las dos partes del dispositivo.
- Generadores de impulsos – que incorporan un dispositivo electrónico que envía impulsos de alta frecuencia, algunos de los cuales necesitan una fuente de energía auxiliar.



**Figura 3** Pararrayos piezoeléctrico

**Figura 4** Pararrayos dieléctrico

**Figura 5** Pararrayos de generador de impulsos

## 4 EVALUACIÓN DE NECESIDADES

Cabe resaltar desde el principio que la protección total contra los efectos de los rayos no siempre es factible. Desafortunadamente, los elementos de estado sólido (transistores, circuitos integrados, microchips, etc.), que son esenciales para los complejos sistemas electrónicos modernos, son mucho más vulnerables a los daños producidos por tensiones excesivas que los equipos más antiguos.

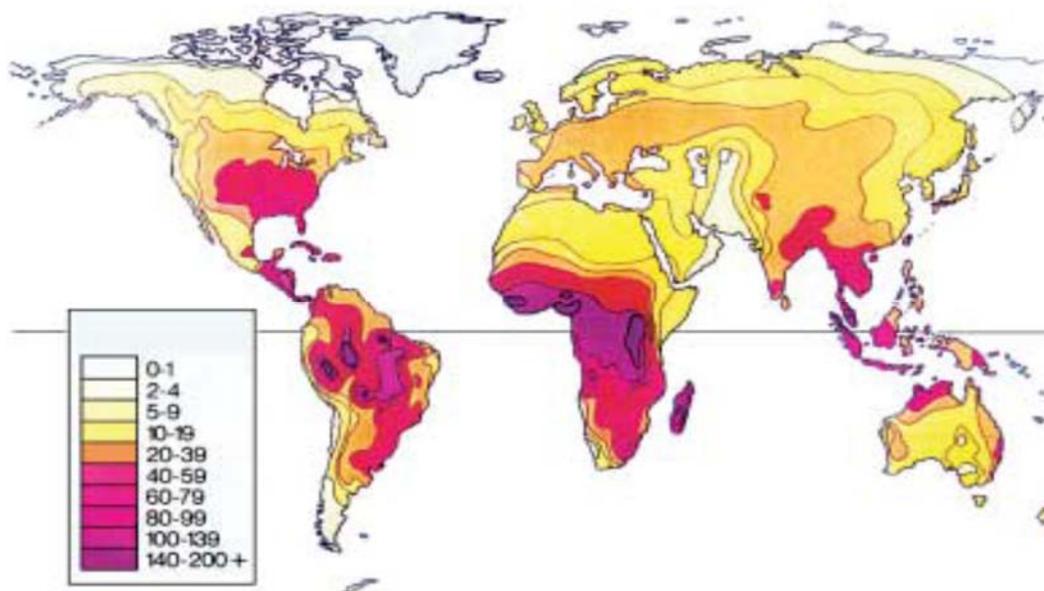
Al evaluar la necesidad de protección contra rayos, se tienen que considerar varios factores:

- ¿Existe una amenaza lo suficientemente grave para justificar la protección?
- ¿Es suficiente el coste de sustituir los equipos para justificar el coste de la protección?
- ¿Es el servicio lo suficientemente crítico para justificar el coste de protección?
- Se debe tener en cuenta el entorno de los equipos, porque una superficie de tierra seca necesitará una gran instalación mientras, por el contrario, una húmeda proporcionará un circuito a tierra con una instalación mínima.

Puede calcularse el nivel de protección a instalar, realizando una evaluación de riegos según la norma internacional CEI 62305-2 (véase el ejemplo en el ANEXO B), cuyos resultados arrojarán un nivel de protección (LPL, del inglés, *Lightning Protection Level*) adecuado para atenuar el riesgo, que será proporcional a la inversión realizada. Dicha norma tiene en cuenta los siguientes parámetros:



- El tamaño, la composición y la ubicación geográfica de la estructura;
- La ocupación y los contenidos de la estructura;
- La definición de la zona circundante;
- La naturaleza del entorno (nivel cerámico <sup>1</sup>, véase la Figura 6);
- El impacto resultante (resultado).



**Figura 6** *Niveles cerámicos del mundo*

La decisión de instalar la protección se basa, principalmente, en la vulnerabilidad de los equipos alojados dentro de la instalación o estructura. Si la estructura es particularmente resistente al impacto de rayo (como una marca diurna metálica) o no contiene equipos vulnerables a un impacto, la protección no está justificada.

En la mayoría de los emplazamientos, es para faros y lugares que alojan equipos es fundamental disponer de instalaciones de puesta a tierra adecuadas que minimicen el peligro al personal y los daños a los edificios. Medidas sencillas y relativamente baratas darán una protección adicional a los circuitos de entrada de las líneas de telecomunicaciones y de suministro eléctrico, e incluso a los modernos de equipos de comunicaciones y de telemetría.

## 5 TIPOS DE DAÑO POR RAYO

Hay dos categorías principales de impacto de rayo. En la primera categoría (impacto directo), el edificio o estructura es impactado por el rayo y corrientes muy elevadas fluyen a tierra (potencial de tierra) a través del sistema de protección contra rayos y, en algunos casos, también por la estructura de fábrica. El segundo tipo (impacto indirecto) es cuando impactan en otros edificios, estructuras, árboles o el suelo a cierta distancia de la estructura y la corriente fluye hasta un lugar distante. El potencial (tensión) de un impacto indirecto puede ser tan elevado como el de uno directo.

<sup>1</sup> El nivel cerámico se define como el número anual de días en que se pueden oír truenos.



## 5.1 IMPACTO DIRECTO

---

Al impactar un rayo directamente contra un edificio o una estructura, fluyen a tierra corrientes de hasta 200.000 amperios. El potencial eléctrico de la tierra en las inmediaciones del impacto puede elevarse a hasta varios cientos de kilovoltios en relación con el área circundante. Se producirán descargas laterales entre el conductor de descarga del pararrayos y cualquier superficie conductora que no esté conectada eléctricamente al sistema de protección contra rayos a través de un circuito de baja impedancia. Las descargas colaterales pueden producir grandes corrientes Si la superficie conductora tiene un trayecto a tierra diferente (p. ej. acometidas de servicios, cables enterrados, etc.), fluirán corrientes muy elevadas y dañinas en dichas descargas laterales.

## 5.2 IMPACTO INDIRECTO

---

No hace falta que el rayo impacte contra una ayuda a la navegación para dañarla a ella o a sus contenidos. Al igual que en el caso de un impacto directo, el potencial eléctrico de la tierra en los alrededores del impacto se elevará rápidamente a muchos kilovoltios por encima del valor normal y esta sobretensión transitoria se verá inducida o conducida a cualquier servicio (que tenga partes conductoras) que pase por o cerca de la zona del impacto. Si hay líneas o conductores conectados a una AtoN y, éstas no están conectados al sistema de protección contra rayos de la ayuda, las sobretensiones transitorias llegarán a ella y se podrán producir descargas laterales en la ayuda, incluso, si el impacto se produce a una distancia de varios kilómetros. Este es, tal vez, el tipo de daño más habitual debido a los rayos.

# 6 DISEÑO

---

## 6.1 FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

---

La magnitud de una descarga de rayo desafía cualquier intento de bloquear la corriente del rayo para evitar daños a los equipos. Por consiguiente, la filosofía básica de la protección contra rayos radica en desviar la corriente del rayo evitando que afecte al personal y a los equipos vulnerables, conduciéndola por un circuito eficaz a tierra, donde pueda disiparse con seguridad.

## 6.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

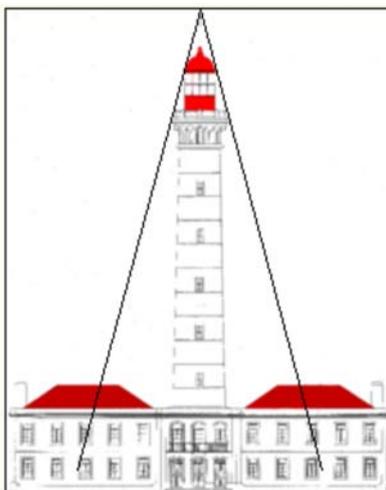
---

La primera etapa del diseño e instalación de la protección contra rayos es la ubicación de los terminales aéreos, los conductores de bajada y una red de electrodos de tierra adecuados, que, con la mínima perturbación, recojan cualquier descarga de rayo y la conduzcan a tierra. El diseño de la red de electrodos debe realizarse de acuerdo con las normas nacionales e internacionales que sean de aplicación.

En la actualidad, existen tres tipos de métodos de cálculo que pueden emplearse para la protección de estructuras contra el impacto de rayo, pero, a continuación, sólo se tratan los dos más adecuados. Ambos métodos ayudan a determinar la mejor ubicación de los terminales aéreos.

### 6.2.1 MÉTODO DEL ÁNGULO DE PROTECCIÓN

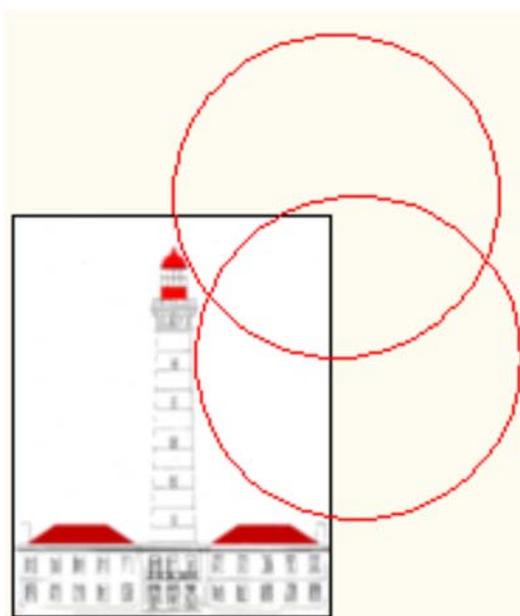
Este método utiliza un cono invertido para definir el ángulo de protección y es el más adecuado para estructuras elevadas y exentas. Los terminales o puntas captadoras se deben instalar en el vértice de cada cono. (Véase la Figura 7). El ángulo de protección varía en función de la altura de la estructura y el nivel de protección. (Véase la Tabla 1). Además, cualquier estructura que se encuentre fuera del cono de protección necesitará, a su vez, una terminación aérea y un segundo cono de protección en función de su altura. Todas las terminaciones aéreas deben estar conectadas adecuadamente.



**Figura 7** *Método del ángulo de protección (cono invertido)*

### 6.2.2 MÉTODO DE LA ESFERA RODANTE

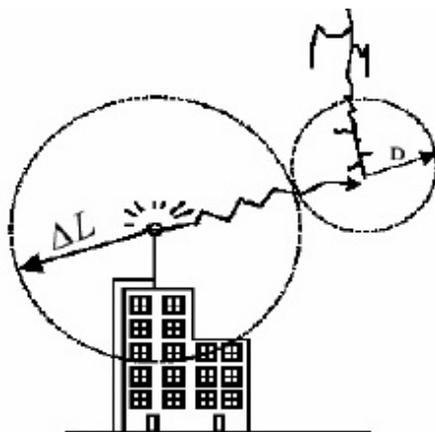
Se aplica este método cuando la zona a proteger contiene uno o varios edificios anejos, o tiene una forma más compleja. (Véase la Figura 8). En este caso, una esfera de un cierto tamaño, basado en el nivel de protección necesario (véase la 0), se rota sobre la estructura y, en cada punto que toca, es necesaria una terminación o punta captadora. Como en el caso anterior, deben estar conectadas entre sí adecuadamente.



**Figura 8** *Método de la esfera rodante*

### 6.2.3 MÉTODO DE LA ESFERA RODANTE CUANDO SE UTILIZAN PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO

Aunque no aparezca en la norma de la CEI, se utilizan pararrayos con dispositivo de cebado por ionización no radioactiva o por impulsos. Cuando se emplean estos dispositivos para la protección, el método de la esfera rodante tiene un radio mayor para el mismo nivel de protección. (Véase la Figura 9).



**Figura 9 Método aumentado de la esfera rodante**

El nivel de aumento se determina por la siguiente fórmula y es definida por la norma francesa NF C 17-102 (1995) y la norma portuguesa NP4426 (2003).

$$Rp = \sqrt{h(2D - h) + \Delta L(2D + \Delta L)}, \text{ para } h \geq 5 \text{ metros}$$

**Ecuación 1 Cálculo del radio de protección**

Donde:

$Rp$  es el radio de protección

$h$  es la altura del pararrayos relativa al plano horizontal que pasa por el vértice del elemento a proteger.

$D$  es 20 m para el nivel de protección I, 30 m para el nivel de protección II, 45 m para nivel de protección III y 60 m para nivel de protección IV, en función de la evaluación de riegos concreta.

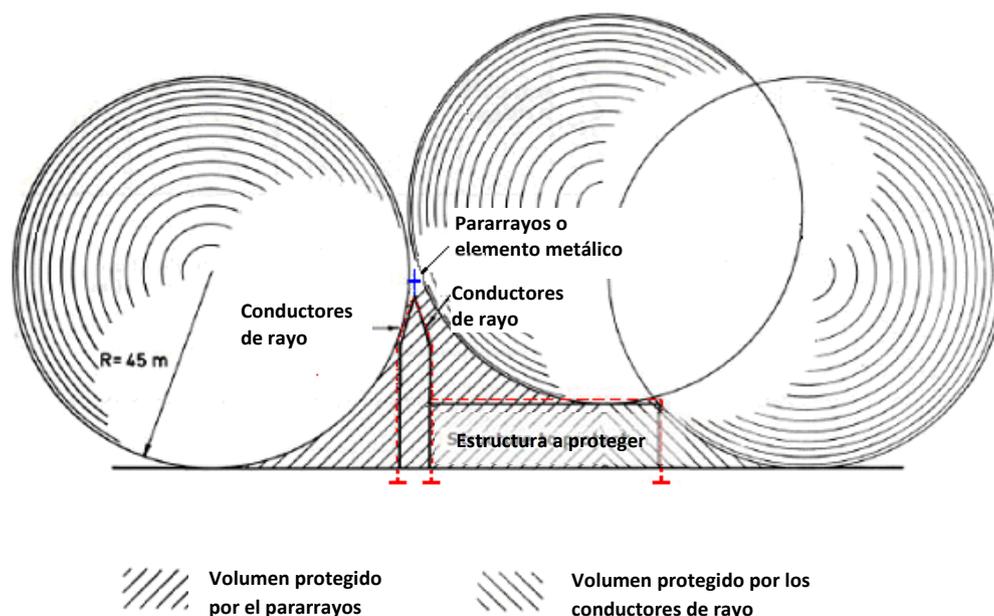
$\Delta L = \Delta T$  del pararrayos (respuesta del pararrayos) a instalar (refiérase a las tablas del fabricante).

**Tabla 1 Extracto de la norma CEI 62305-3**

NIVEL DE PROTECCIÓN	Altura del vértice del cono de protección (metros) (a)						Radio de la esfera rodante (m)
	10	20	30	40	50	60	
	Ángulo de protección (grados) (b)						
I (Muy alto)	45	20	©	©	©	©	20
II (Alto)	55	35	25	©	©	©	30
III (Normal)	60	45	35	25	©	©	45
IV (Débil)	65	55	45	35	30	25	60

a - Para diferentes alturas, se podrá utilizar una interpolación lineal de los valores mostrados para los ángulos de protección.  
b - Ángulo entre la vertical y el borde de cono.  
c - En este caso, es de aplicación el método de la esfera rodante.

Figura 10 pretende simular las áreas protegidos por uno a más pararrayos, suponiendo un nivel de protección III (normal) con un radio de la esfera rodante de 45 m.



**Figura 10** *Comprobación de la protección por el modelo de la esfera rodante*

La elección del método a utilizar y el nivel de protección necesario serán determinados por el resultado de la evaluación de riesgos arriba mencionada. No obstante, como norma general, se recomienda la técnica de la esfera rodante, empleando una esfera de 10 kA (radio de 45 m) para determinar la ubicación de los dispositivos captadores en todas las instalaciones de ayuda a la navegación, salvo las más rudimentarias. Para estructuras simples cuya altura no supere los 20 m, es adecuada la técnica de la zona de protección de 45 grados.

### 6.3 DISEÑO INTERIOR DE LA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

La segunda, e igualmente importante, etapa en el diseño de los sistemas de protección contra rayos implica la conexión, el blindaje y la protección de interfaces. El concepto que rige es que, incluso con una red eficiente de terminales captadores, el rayo es un fenómeno tan violento que se generarán tensiones y campos electromagnéticos elevados en el emplazamiento y pueden causar daños.

Los pasos a seguir en esta etapa, que pueden haber sido identificados como medidas de atenuación en la etapa de evaluación de riesgos, suelen dividirse en las siguientes áreas:

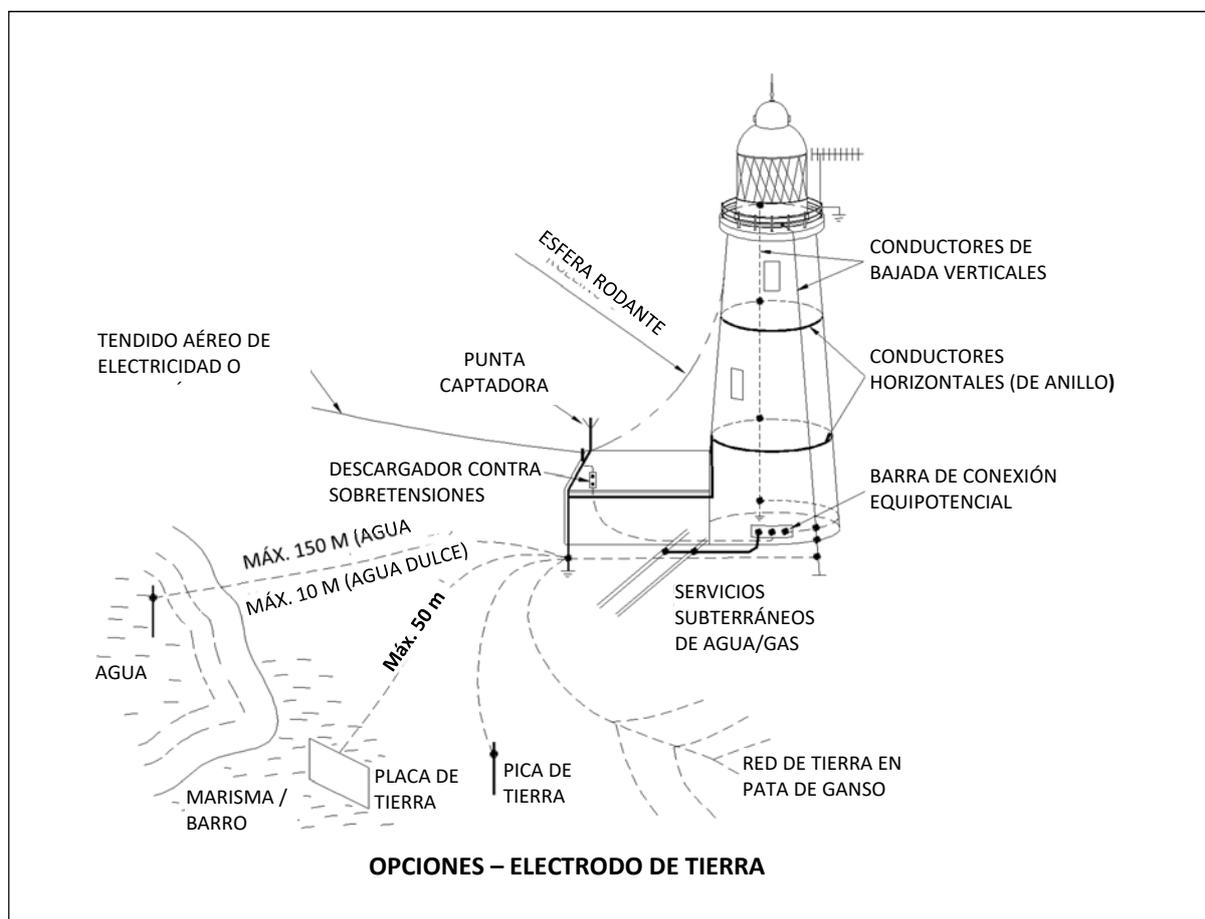
- Idealmente, colocar los equipos dentro de determinadas áreas para simplificar la creación de zonas equipotenciales dentro de un edificio, donde los todos equipos, los cuadros de control y el blindaje del cableado puedan conectarse adecuadamente;
- Tan cerca como sea posible al punto de entrada de las zonas equipotenciales desde el exterior, instalar dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD, del inglés *Surge Protection Devices*) en todos los cables.

Si hubiera una distancia vertical sustancial entre las zonas equipotenciales, se podrá mejorar la protección instalando dichos dispositivos en los cables que entran o salen de las zonas equipotenciales elegidas.

- Si fuera posible, colocar todos los servicios de entrada y salida juntos e instalar dispositivos de protección contra sobretensiones en los puntos de entrada/salida del edificio;
- Interconectar todas las zonas equipotenciales a un punto de compensación de potencial principal, utilizando un conductor de tierra del tamaño adecuado;
- En el caso de un sistema de protección aislado externo contra rayos, la conexión cruzada del punto de puesta a tierra interno con el sistema de protección contra rayos externo debe realizarse únicamente a nivel del suelo.

## 6.4 APLICACIÓN DE MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS PARA OBTENER UNA ESTRUCTURA EQUIPOTENCIAL

Para ilustrarlo, la Figura 11 muestra un faro y un edificio alimentados por un suministro de energía con tendido aéreo. La instalación se supervisa remotamente a través de una línea telefónica. El sistema de protección externa en la Figura 11 se ha diseñado correctamente y se ha creado una impedancia de tierra de 2 ohmios para disipar la corriente del rayo. Las interconexiones entre la torre, el edificio y las bajantes han dado una resistencia muy baja en el conductor de bajada, a pesar de que la torre del faro puede crear en él una inductancia de  $10 \mu\text{H}$ .



**Figura 11** Croquis mostrando distintas disposiciones de conexión y puesta a tierra

Aunque la red de terminales de descarga contra rayos se haya diseñado e instalado correctamente, se seguirán generando tensiones elevadas en la instalación, incluso con una descarga moderada. Si un impacto de rayo moderado con un tiempo de subida de  $1\mu\text{s}$  a  $100 \text{ kA}$  alcanzará esta instalación, se generarían  $10 \text{ kV}$  a través de la inductancia de la torre durante el frente de subida del impacto. Como el cable del suministro de electricidad discurre hasta la torre y está puesto a tierra en cada extremo, esta tensión se transmitiría a través del cable y, aún más importante, a través de sus conexiones. Por lo tanto, la sobretensión dañaría los elementos conectados (p. ej. el cambiador de lámparas o la fase de salida de la fuente de alimentación), si no estuvieran correctamente protegidas.

En el mismo impacto, se generaría también  $20 \text{ kV}$  a través de la impedancia de puesta a tierra en el punto de máxima corriente del impacto. Como la instalación está conectada a través de la red pública de telefonía conmutada (RPTC) a un lugar remoto no afectado por el impacto de rayo, la tensión se transmitiría a través de la interfaz a la línea de la RPTC, resultando en un flujo de corriente del emplazamiento a la puesta a tierra remota no afectada, con los consiguientes daños en la interfaz.



La respuesta a este problema es usar conexiones para crear zonas equipotenciales en el emplazamiento y para garantizar que las conexiones entre estas zonas equipotenciales se encuentren adecuadamente protegidas. En el ejemplo, la conexión debe utilizarse en la parte superior de la torre (en la luz) y dentro del edificio del suministro de energía. El objeto de dichas conexiones es garantizar que no se generen tensiones elevadas entre los equipos dentro de cada zona equipotencial durante un impacto. A continuación, las conexiones deben utilizarse para conectar al sistema de protección contra rayos dichas zonas equipotenciales eficazmente a través del trayecto más corto. Si es posible, sólo debe realizarse una conexión al conductor de bajada de la protección contra rayos desde cada zona equipotencial para garantizar que la corriente del impacto directo no fluya a través de la red de conexiones de cada zona en su trayecto de descarga a tierra.

Se debe diseñar el sistema de protección contra rayos para garantizar que se genere la mínima tensión a lo largo del circuito de descarga del rayo. Si no, se generaría una tensión innecesaria entre las zonas equipotenciales, dificultando la protección de las interfaces que las conectan. En función de las tensiones esperadas y el sistema de terminaciones de protección contra rayos instalado, debe diseñarse la protección de las interfaces y los cables que interconectan las zonas, incluidos el cableado desde zonas remotas como, por ejemplo, las líneas de la RPTC, para evitar daños.

## 6.5 RESUMEN DEL ENFOQUE DE DISEÑO

La instalación de una protección completa contra rayos para todos los faros y ayudas a la navegación, de acuerdo con esta guía, podría ser ineficaz en cuanto a costes. Sin embargo, existen algunas medidas que se consideran fundamentales.

### 6.5.1 PROTECCIÓN OBLIGATORIA

Deben tomarse las siguientes medidas:

- Protección del edificio y la estructura de acuerdo con la protección estructural que figura a continuación;
- Puesta a tierra conforme al apartado sobre la misma;
- Conexiones entre los servicios de electricidad, telefonía, agua y gas, tanto los de entrada como los de salida;
- Instalación de descargadores contra sobretensiones en todos los circuitos eléctricos y de comunicaciones, tanto los de entrada como los de salida.

### 6.5.2 PROTECCIÓN MUY DESEABLE

Deben tomarse las siguientes medidas:

- Conexión a tierra de paneles solares fotovoltaicos, señales de niebla remotas, etc.;
- Instalación de conductor/es de conexión en bandejas portacables y canalizaciones;
- Conexión a tierra de carcasas metálicas y partes traseras de metal de carcasas aisladas;
- Conexión a tierra del apantallado de los cables de alimentación de antenas de radiocomunicaciones y de radiofaros.

### 6.5.3 MEDIDAS ADICIONALES RECOMENDADAS

Las siguientes medidas reducirán aún más el riesgo de daños:

- Colocación de los equipos de supervisión y control de posicionamiento reduciendo los trayectos verticales de cable;
- Instalación de descargadores contra sobretensiones en tiradas largas de cables electricidad, telemetría, control y sensores;
- Reubicación de acometidas de servicios de entrada para permitir conexiones cortas y directas;
- Conductores adicionales de bajantes reducirán la inducción de corriente en los conductores interiores;

- Diseño inteligente en la distribución del sistema de supervisión para reducir el número de cables de sensores;
- Usar fibra óptica si los circuitos de los sensores son muy largos;
- Instalación de descargadores contra sobretensiones en los cables de alimentación de antenas de radiocomunicaciones;
- Concentración de los equipos sensibles de ayudas a la navegación en un área restringido y proporcione una zona de protección que cubra dicha zona mediante la instalación de descargadores contra sobretensiones en todos los cables que entren y salgan de la zona.

## 7 INSTALACIÓN

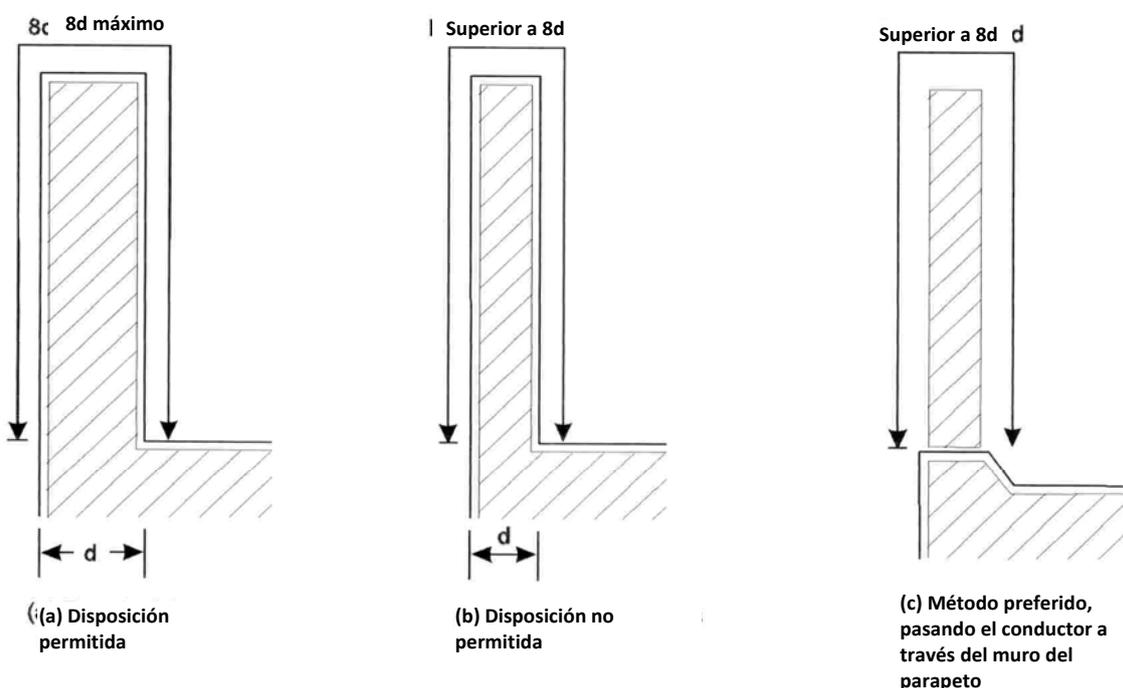
### 7.1 PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS

#### 7.1.1 GENERAL

Deben instalarse, por lo menos, dos bajantes con conductores de no menos de  $50 \text{ mm}^2$ , generalmente de cobre (se pueden utilizar otros materiales, véase la 0). Deben estar espaciados horizontalmente de manera uniforme en torno al perímetro del exterior del edificio (con un espaciado máximo de 10 m), que podrá incrementarse hasta 20 m, pero en función de la clase del sistema de protección contra rayos determinado por la evaluación de riesgos.

Los cables de las bajantes se fijarán a la estructura con abrazaderas adecuadas y, siempre que sea posible, debe haber 3 fijaciones por metro.

Cada bajante debe discurrir verticalmente, se deben evitar, siempre que sea posible, las curvas cerradas y no se permiten los bucles reentrantes que excedan  $8d$  (véase la Figura 12 para la definición de “ $d$ ”).



**Figura 12 Disposición de bucles**

Cada toma a tierra debe tener un empalme de pruebas a una altura adecuada, pero normalmente entre 0,3 m y 3 m por encima del suelo. Para garantizar la seguridad del sistema, es posible que sea necesaria protección mecánica cerca del nivel del suelo.



Por razones de análisis estadístico, es opcional la instalación de un contador de descargas en uno de los cables de bajada.

Todos los conductores de bajada deben estar conectados entre sí a través de un conductor horizontal (anillo perimetral) de no menos de 50 mm<sup>2</sup>, generalmente de cobre. Pueden utilizarse otros materiales, véase la Tabla 2. Esta banda debe colocarse en el punto más bajo posible por encima de los empalmes de prueba. Cuando la estructura supere 20 m de altura, deben instalarse conductores de anillo adicionales (véase la Figura 13), que estarán espaciados de manera uniforme a lo largo de la altura de la estructura a intervalos no superiores a 20 m.

**Tabla 2 Extracto de la norma CEI 62305-3 sobre los tamaños y tipos de materiales**

Material	Configuración	Área de la sección transversal mm <sup>2</sup>
Cobre, Cobre estañado	Cinta sólida	50
	Redondo sólido <sup>b</sup>	50
	Trenzado <sup>b</sup>	50
	Redondo sólido <sup>c</sup>	176
Aluminio	Cinta sólida	70
	Redondo sólido	50
	Trenzado	50
Aleación de aluminio	Cinta sólida	50
	Redondo sólido	50
	Trenzado	50
	Redondo sólido <sup>c</sup>	176
Aleación de aluminio recubierta de cobre	Redondo sólido	50
Acero galvanizado por inmersión en caliente	Cinta sólida	50
	Redondo sólido	50
	Trenzado	50
	Redondo sólido <sup>c</sup>	176
Acero recubierto de cobre	Redondo sólido	50
	Cinta sólida	50
Acero inoxidable	Cinta sólida <sup>d</sup>	50
	Redondo sólido <sup>d</sup>	50
	Trenzado	70
	Redondo sólido <sup>c</sup>	176
<sup>a</sup>	Las características mecánicas y eléctricas, así como las propiedades de resistencia a la corrosión cumplirán los requisitos de la futura serie CEI 62561.	
<sup>b</sup>	50 mm <sup>2</sup> (diámetro de 8 mm), se podrá reducir a 25 mm <sup>2</sup> en ciertas aplicaciones en las que la resistencia mecánica no sea un requisito fundamental. En este caso, se debe considerar reducir el espaciado entre las fijaciones.	
<sup>c</sup>	Aplicable para las varillas captadoras aéreas y las de puesta a tierra. Cuando el estrés mecánico, como la carga de viento, no sea crítico, se podrá utilizar una varilla de un diámetro de 9,5 mm y una longitud de 1 m para las varillas de terminación de aire.	
<sup>d</sup>	Si las consideraciones térmicas y mecánicas son importantes, se aumentarán estos valores a 75 mm <sup>2</sup> .	



***Figura 13 Instalación del anillo horizontal***

Es fundamental que cada conductor de bajada tenga un electrodo de tierra.

Se deben inspeccionar y probar los conductores de bajada existentes. Si aún no lo hubiera, debe instalarse un empalme de prueba. Se debe inspeccionar y ensayar la puesta a tierra conforme al apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Cuando la ayuda a la navegación sea una linterna con murete y cubierta de metal, la estructura de la cubierta puede utilizarse como elemento captador aéreo, pero cada conductor de bajada debe estar conectado en su extremo superior a la base del murete (véase la Figura 14).



***Figura 14 Un ejemplo de conexión al murete***

Cuando la linterna o su cubierta no sean conductoras, debe instalarse una red de varillas captadoras en el punto más elevado de la estructura y todos los conductores de bajada estarán conectados a dicha red. La estructura debe tener la forma de una malla de tiras conductoras, dispuesta de tal forma que ninguna parte de la cubierta se encuentre a más de 5 m de un conductor. Cuando se disponga de varillas captadoras verticales en forma de pináculos, deben tener una altura superior a 0,3 m, estar a una altura mayor que cualquier antena y estar colocadas en las intersecciones de la malla y espaciadas unas a otras a no más de 10 m. Todos los salientes metálicos sobre la cubierta o por encima de ella deben estar conectados al sistema captador aéreo. Si existen barandillas en la cubierta, podrán formar parte de la estructura captadora, siempre y cuando estén conectadas a intervalos frecuentes al conductor del anillo conectado a las bajantes. Cuando haya estructuras metálicas a nivel de la galería, tales como escaleras, fijaciones de antenas, estructuras de paneles solares, balcones, barandillas, etc., se tendrán que interconectar con los conductores de bajada.

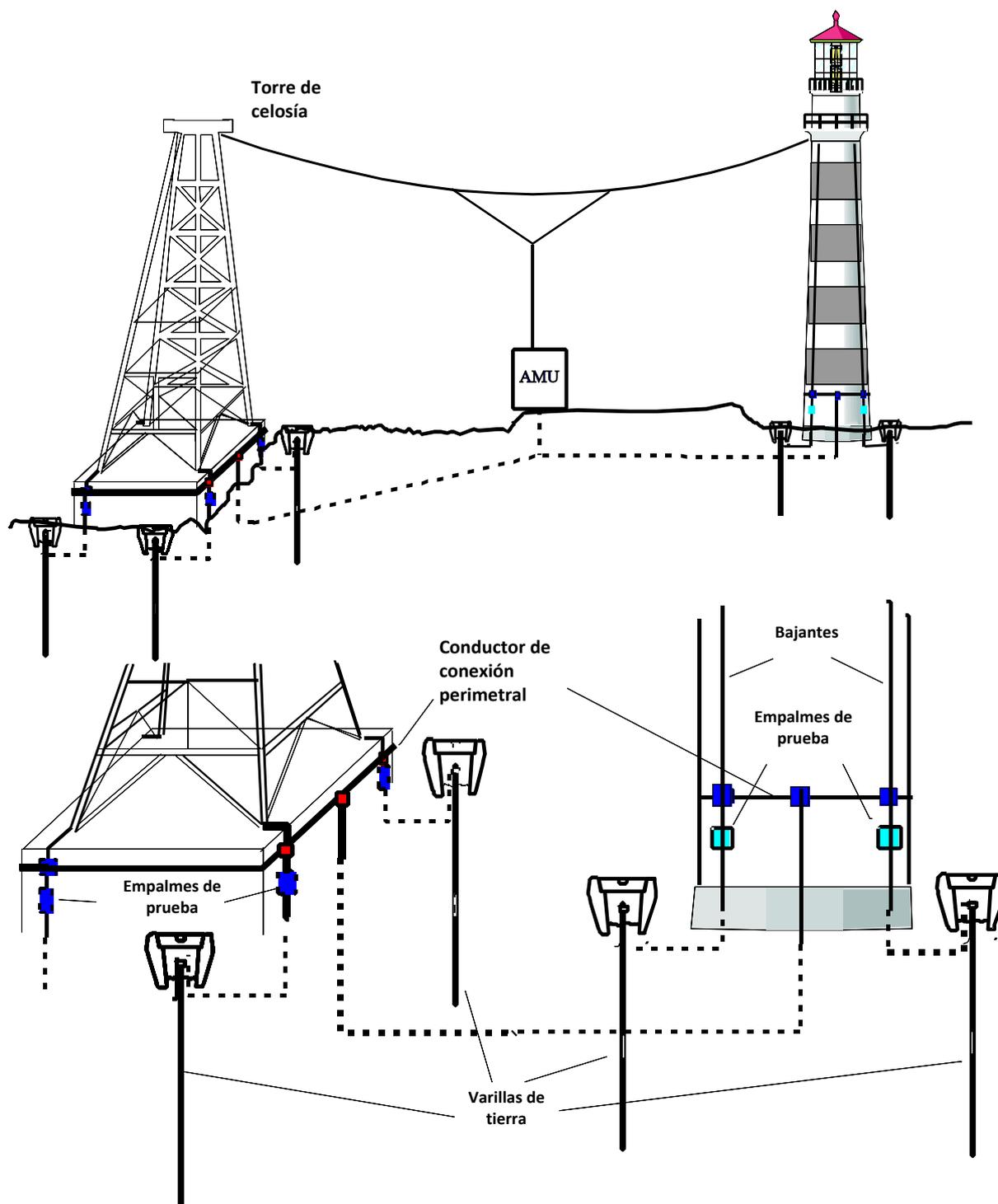
### **7.1.2 EDIFICIOS Y ESTRUCTURAS INDEPENDIENTES**

Cuando una estación esté compuesta de dos o más edificios distintos, como, por ejemplo, un faro, un edificio para el grupo electrógeno, otro para las señales de niebla, etc., cada edificio debe estar provisto de su propio sistema

de protección contra rayos, que tendrá que estar conectado al del edificio principal a través de un conductor de no menos de 50 mm<sup>2</sup>. Los servicios (teléfono, red eléctrica, etc.) de entrada a estos edificios, deben estar conectados al sistema de protección contra rayos del edificio independiente de la misma manera que en el edificio principal.

### 7.1.3 TORRES DE ACERO DE CELOSÍA

Cada pata de una torre de celosía debe estar provista de una puesta a tierra de protección contra rayos. Dichas puestas a tierra individuales deben estar interconectadas entre la pata de la torre y el empalme de ensayo de las puestas a tierra y, además, también se deben conectar al sistema de protección contra rayos del edificio principal. (Véase la Figura 15).



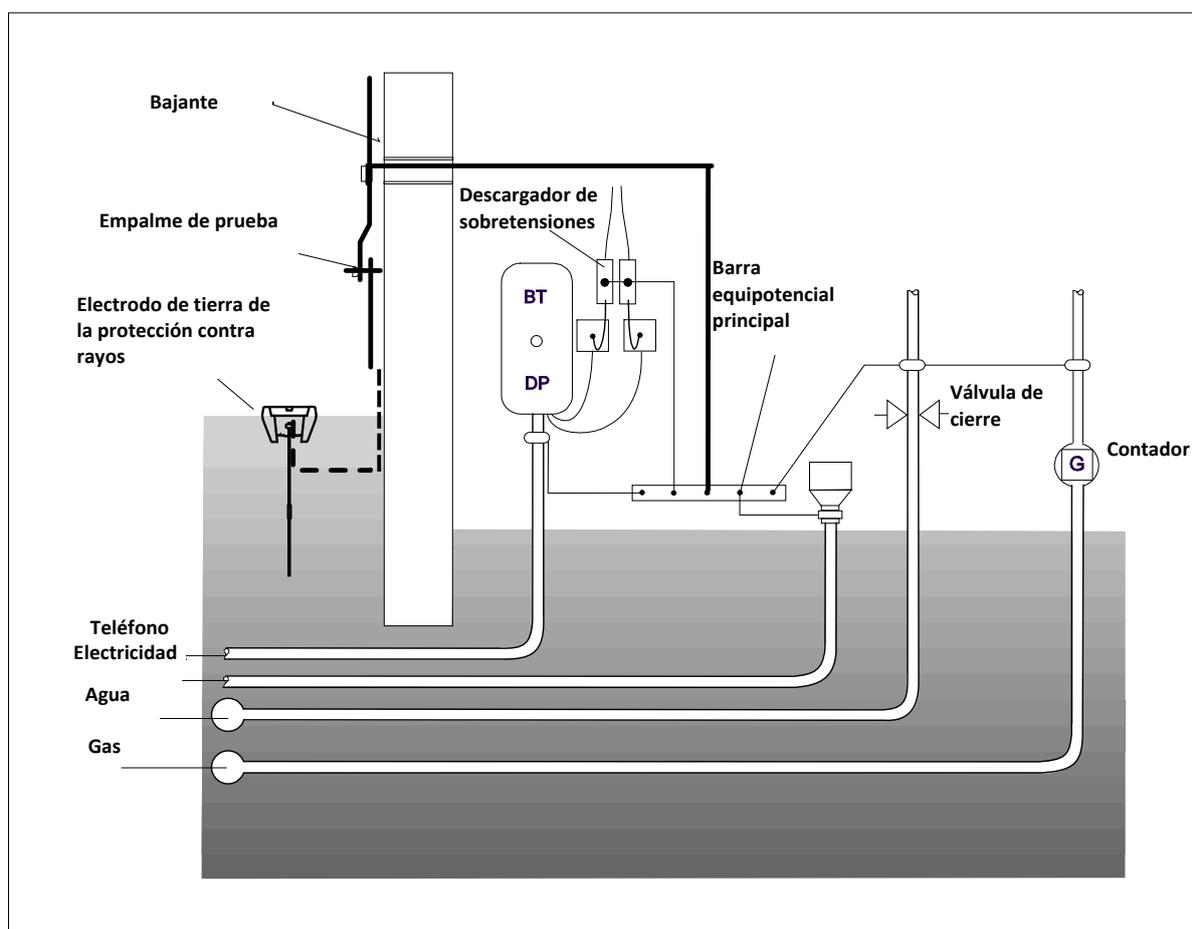
**Figura 15 Sistema de protección contra rayos**

### 7.1.4 AYUDAS FLOTANTES

La mayoría de las ayudas flotantes a la navegación, como los buques faro, las embarcaciones de con linternas de menor tamaño, los LANBYS y las boyas, tienen estructuras hechas enteramente de metal y forman una jaula de Faraday, que ofrece un blindaje eficaz a los equipos electrónicos instalados dentro del casco o superestructura. Sin embargo, es posible que se generen tensiones inducidas, que pueden evitarse garantizando que las carcasas metálicas estén puestas a tierra a la estructura metálica de la embarcación. Para las antenas de radio y de los equipos de navegación, se debe proporcionar un circuito de descarga a tierra, formado por descargadores de sobretensiones.

Las embarcaciones con cascos de plástico y de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP) deben estar provistas de unas varillas captadoras con un circuito de baja impedancia a tierra para evitar daños estructurales a la superestructura metálica, que podrá actuar como el elemento captador aéreo. El electrodo de tierra debe ser de cobre o de otro material conductor de no menos de 0,25 m<sup>2</sup> que sea compatible con el agua salada y se instalará de tal manera que siempre esté sumergida por debajo de la línea de flotación.

### 7.2 CONEXIONES



**Figura 16 Ejemplo de conexiones**

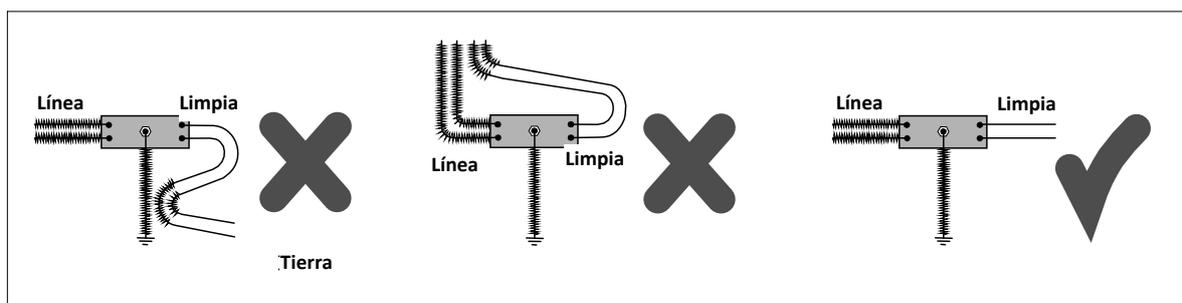
#### 7.2.1 SERVICIOS

Todos los servicios de entrada o de salida deben conectarse al sistema de protección contra rayos en el punto de entrada al edificio. Dichas conexiones deben ser lo más cortas y directas posible, véase la Figura 16. El tamaño del

conductor de conexión de cobre no debe ser inferior a 16 mm<sup>2</sup>. los conductores utilizados para cumplir con los reglamentos nacionales de cableado vigentes no son adecuados para proporcionar protección contra rayos.

Antes de realizar este tipo de trabajo, es posible que tenga que consultarse al proveedor del servicio público. En algunos casos, podría ser necesario que el proveedor tenga que reubicar el punto de entrada al edificio.

Los conductores que entran al edificio podrían transportar corrientes o tensiones transitorios de rayos y se consideran como “sucios”. Por el contrario, se consideran “limpios” los conductores interiores ubicados tras el punto de puesta a tierra y, en su caso, la protección contra sobretensiones (véase el apartado 7.3). Es fundamental que los conductores limpios no se tiendan cerca de los sucios o en paralelo a ellos. Figura 17 muestra la disposición para tender el cableado hacia y desde los descargadores de sobretensiones.



**Figura 17 Disposiciones para el tendido de cables**

### 7.2.2 SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Se deben proteger todos los circuitos de electricidad, incluidos los de suministro doméstico y de la estación. El requisito mínimo es que se conecte el blindaje de los cables bajo tierra al sistema de protección contra rayos a través de una conexión corta y directa (Figura 16). Es posible que necesiten protección adicional en la forma de protectores de sobretensiones en las estaciones particularmente vulnerables, como, por ejemplo, aquellas donde el transformador de baja tensión no se encuentre en la estación y/o las que tengan una alta resistividad de tierra.

### 7.2.3 CIRCUITOS DE TELEFONÍA

Se deben proteger todos los circuitos de telefonía, incluidos los domésticos y de la estación, porque si sólo se protege el circuito de telecontrol, las sobretensiones en los otros circuitos pueden inducir tensiones elevadas en los circuitos protegidos. El requisito mínimo es la instalación en el punto de entrada/salida de dispositivos de protección de sobretensiones en todas las líneas de telefonía. Cuando las líneas de telefonía de entrada estén en la forma de cable blindado bajo tierra, se debe solicitar al proveedor de telefonía local a que permita la conexión del blindaje al sistema de protección contra rayos.

### 7.2.4 SUMINISTRO DE AGUA

Se deben conectar al sistema de protección contra rayos las tuberías de agua de entrada (o las tuberías interiores de metal cuando el suministro de entrada es de plástico).

### 7.2.5 SUMINISTRO DE GAS

Las tuberías metálicas de conducción de gas que se encuentren al lado del consumidor, después del contador, deberán estar conectadas al sistema de protección contra rayos.

## 7.3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE METAL

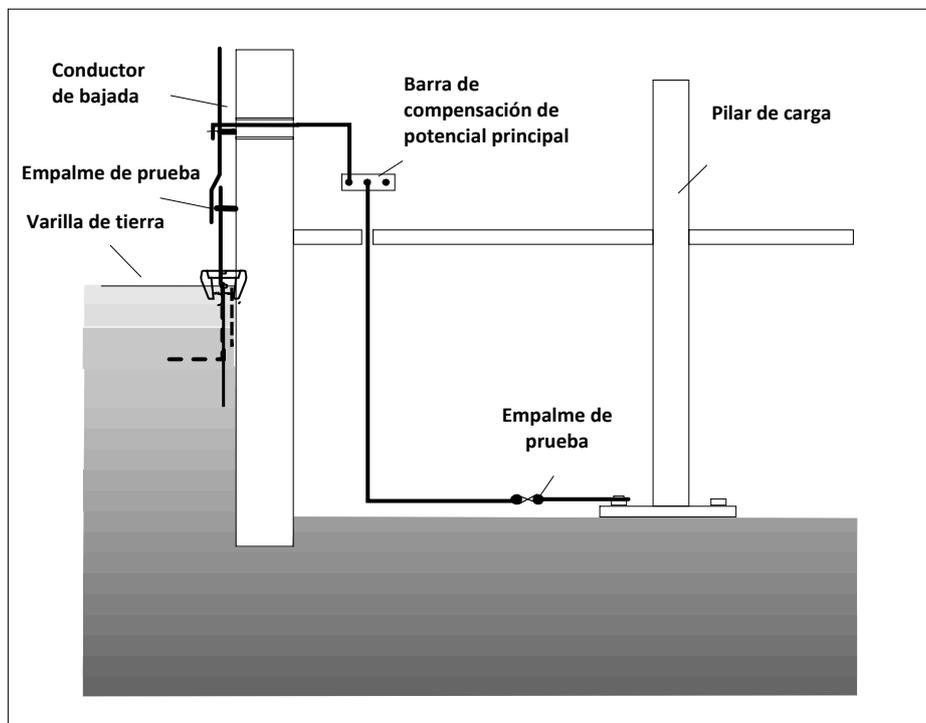
### 7.3.1 GENERAL

Se deben conectar al sistema de protección contra rayos todos los elementos aislados de metal, p. ej. pedestales de luces de sectores, ventanas metálicas, bajantes pluviales y tuberías metálicas. Los tubos metálicos verticales se deben conectar en la parte superior e inferior. Las diferencias de tensión en los conductores se deben más a la

inductancia que a la resistencia. Es, por lo tanto, esencial que los conductores de conexión sean lo más cortos y rectos posibles.

### 7.3.2 PILARES DE CARGA

Probablemente, los pilares de carga forman el mejor sistema de protección contra rayos para la instalación (cuando se mantenga intacto) y debe conectarse al sistema de protección contra rayos en su punto más bajo. Incluso cuando el pilar se haya retirado total o parcialmente, las cimentaciones aún pueden proporcionar un elemento adicional al sistema de puesta a tierra del edificio principal y se deberán utilizar para ello, véase la Figura 18).



**Figura 18** *Puesta a tierra*

### 7.3.3 PASAMANOS DE LA ESCALERA

Todos los pasamanos de metal se deben conectar al sistema de protección contra rayos.

## 7.4 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE CABLES

### 7.4.1 CONDUCCIONES

Los conductos de acero galvanizado ofrecen la mejor protección para el cableado contra los efectos de los rayos. Por lo tanto, se recomienda este método para el cableado de equipos vulnerables. Todas las uniones se deben enroscar a la máxima profundidad del acople.

### 7.4.2 CANALETAS METÁLICAS.

Las canaletas metálicas ofrecen la segunda mejor forma de protección, siempre y cuando las tapas desmontables se conecten en cada empalme por medio de una conexión permanente y flexible.

### 7.4.3 BANDEJAS PORTACABLES

Las bandejas portacables metálicas son la tercer mejor forma de protección (y la más habitual), siempre y cuando se sigan las siguientes pautas:

- Las bandejas portacables y las canaletas metálicas no deben utilizarse como la única forma de conexión.



Debido el número elevado de uniones y discontinuidades en los tendidos de bandejas portacables y canaletas metálicas, existe un alto riesgo de que se formen uniones de alta resistencia. Cabe señalar que el acero inoxidable tiene una resistividad sustancialmente mayor por unidad de longitud que el aluminio, el acero dulce o el cobre.

Se debe instalar un conductor de cobre aislado y continuo de al menos 16 mm<sup>2</sup> a lo largo de toda la bandeja portacables y se deberá conectar a la bandeja en todas las uniones y discontinuidades. Cualquier unión en el conductor de cobre debe ser soldada y atornillada, utilizando arandelas de resorte, o bien remachada. Para reducir el riesgo de la acción electrolítica, se deben estañar las conexiones desde los armarios y bandejas portacables, etc. Se debe conectar este conductor al sistema de puesta a tierra de la protección contra rayos en su punto más bajo. El método preferido sería instalar, en cada borde de la bandeja, dos conductores de igual longitud y con una sección transversal total de al menos 30 mm<sup>2</sup>, que se conectarán tal y como figura más arriba.

#### 7.4.4 CIRCUITOS DE DETECCIÓN DE INCENDIOS

Debido a la longitud de la mayoría de estos tendidos de cable, deben utilizarse cables con aislamiento mineral, que se conectará el apantallado en ambos extremos al sistema de protección contra rayos.

Alternativamente, se podrán utilizar cables que cumplan los requisitos de la norma CEI 60332 sobre cables ignífugos, que deben estar equipados con descargadores de sobretensiones en su punto de entrada y de salida de la zona equipotencial.

#### 7.4.5 ARMARIOS Y CABINAS DE EQUIPOS

Los armarios y cabinas metálicas de equipos deben conectarse al conductor de tierra en la bandeja portacables o en la canalización a través de un conductor corto, directo y flexible de no menos de 6 mm<sup>2</sup> (preferiblemente 16 mm<sup>2</sup>). Cuando sea posible, debe evitarse el uso de armarios de equipos que no sean metálicos, pero si se utilizan, la parte trasera de metal se debe conectar, como en el caso de los metálicos.

#### 7.4.6 CABLES DE SENSORES, DE CONTROL Y DE DATOS

Todo el cableado de interconexión de sensores, de control y de datos debe utilizar cable blindado. Se deben conectar ambos extremos del blindaje al conductor de tierra de la protección contra rayos. (Un cable blindado que sólo esté conectado en un extremo no será eficaz para eliminar las tensiones inducidas por los rayos). En la mayor parte de los casos, el efecto del apantallado sobre la señal circulante es insignificante.

Cuando, debido al ruido inducido en los conductores de señales, es fundamental un punto único de puesta a tierra, se podrán utilizar descargadores contra sobretensiones adicionales para proporcionar la puesta a tierra en el extremo remoto. Además, se podrá tomar en consideración la utilización de cables de doble blindaje con el recubrimiento exterior, en ambos extremos, puesto a la tierra desde protección contra rayos, y con el recubrimiento interior puesto a tierra en un extremo para reducir el ruido inducido.

Cuando se instalen cables externos de sensores, de control o de datos, p. ej. en tanques de almacenamiento de combustible, los cables deben estar equipados, en el punto de entrada al edificio, con descargadores contra sobretensiones conectados a tierra. Se debería considerar la implementación de tendidos de cables de datos para ordenadores y distribución de sistemas de control utilizando cable de fibra óptica, que son inherentemente inmunes a los daños causados por las tensiones generadas por la descarga de rayos. Es posible que los cables de fibra óptica lleven un recubrimiento metálico, que se tendrá que pelar bien hacia atrás (2 cm) si se pretende conseguir aislamiento eléctrico.

Donde haya tendidos largos de cable de sensores, debe utilizarse cable MICC, con el recubrimiento de cobre conectado en ambos extremos al sistema de protección contra rayos o a una carcasa de metal ya conectada. Alternativamente, los cables de sensores estándar se podrán tender en un conducto o equiparlos con descargadores de sobretensiones en su punto de entrada y de salida de cada zona equipotencial.

#### 7.4.7 ANTENAS DE RADIOCOMUNICACIONES Y CABLES DE ALIMENTACIÓN

Se debe conectar el apantallamiento de todos los cables de alimentación de radiocomunicaciones al sistema de protección contra rayos, tanto en la antena como en el punto de entrada al edificio. Cuando se instale un



descargador de sobretensiones, se debe hacer en el punto de entrada al edificio y se conectará al sistema de protección contra rayos.

También se deben conectar al sistema de protección contra rayos los equipos de radio.

Las fijaciones de las antenas de un solo elemento y el poste de montaje de las antenas Yagi se deben conectar al sistema de protección contra rayos a través de un circuito directo y corto.

## **7.5 ANTENAS DE RADIOFARO**

### **7.5.1 CONTRANTENA (MALLA DE TIERRA)**

La red de tierra que conforma la contrantena del radiofaro suele ser mejor que las puestas a tierra del sistema de protección contra rayos. Es fundamental que se conecte dicha contrantena al sistema de protección contra rayos de la estación, utilizando cinta de cobre o cable de 50 mm<sup>2</sup>.

### **7.5.2 CABLE DE RADIOFRECUENCIA DE ANTENA**

El apantallamiento del cable coaxial de radiofrecuencia de la antena de radiofaros debe conectarse a la contrantena de la unidad correspondiente a la antena, así como al sistema de protección contra rayos en el punto de entrada al edificio.

### **7.5.3 ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE ANTENA**

Todas las estructuras de soporte de antenas deben conectarse a su propio electrodo de tierra y a la contrantena del radiofaro. Si la resistencia de tierra de la contrantena es superior a 10 ohmios, es posible que sean necesarias picas de tierra adicionales, en función de las condiciones del suelo (p. ej. roca).

Si la estructura de sustentación de la antena es una torre de celosía de acero, serán de aplicación las disposiciones de la puesta a tierra de las torres de este tipo.

Todos los anclajes en el suelo de los postes de arriostrado se deben conectar a la contrantena.

Todos los anclajes de antenas en forma de T, etc. en el edificio deben conectarse a la tierra general del sistema de protección contra rayos.

## **7.6 OTROS EQUIPOS**

### **7.6.1 DETECTORES DE NIEBLA**

Los detectores de niebla y sus fijaciones se deben conectar al sistema de protección contra rayos, y los cables de interconexión deben ser apantallados (conectados en ambos extremos) o tenderse en el interior un conducto de metal. Además, debe instalarse descargadores.

### **7.6.2 SEÑALES DE NIEBLA**

Los elementos de metal de una señal de niebla se deben conectar al sistema de protección contra rayos. Cuando el emisor (bocinas) de la señal de niebla esté lejos del faro, se tenderá entre el edificio y el emisor un conductor de tierra de no menos de 16 mm<sup>2</sup>. Este conductor debe seguir el mismo trazado que el de los cables de alimentación de la señal de niebla y debe conectarse a la puesta a tierra del sistema de protección contra rayos en el punto de entrada al edificio. Cuando el emisor de la señal de niebla se encuentre a una distancia considerable del edificio principal, es posible que se tenga que considerar la instalación de una puesta a tierra de protección contra rayos en la misma y, si se instala, el conductor de interconexión no deberá ser de menos de 50 mm<sup>2</sup>.

### **7.6.3 BALIZAS DE EMERGENCIA**

Cuando se instala, por ejemplo, una baliza de emergencia sobre la linterna, puede que sea necesario colocar una punta captadora, situada al menos 300 mm por encima de ella, que debe conectarse al sistema de protección contra rayos del edificio. Además, deben instalarse descargadores en el punto de entrada al edificio.



#### 7.6.4 PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

Los paneles solares fotovoltaicos son vulnerables a los daños por rayo, particularmente si se encuentran a una cierta distancia del edificio principal. Debería instalarse un terminal de tierra local separado, que se conectará al bastidor de fijación de los paneles, que, a su vez, debe conectarse a la puesta a tierra principal de sistema de protección contra rayos, utilizando un conductor de no menos de 50 mm<sup>2</sup>, que seguirá muy de cerca el tendido de corriente continua entre los paneles fotovoltaicos y el edificio principal. Al evaluar esta necesidad, debe utilizarse la técnica de la esfera rodante (véase 0), en función del nivel de protección contra rayos necesario y teniendo en cuenta la ubicación de los paneles fotovoltaicos.

Todos los cables deben discurrir en la bandeja portacables, conducto/canalización o bien atados con el armazón junto al conductora de puesta a tierra.

#### 7.6.5 GENERADORES

El chasis del generador o los generadores debe conectarse al sistema de protección contra rayos a través de un conductor flexible de no menos de 16 mm<sup>2</sup>.

#### 7.6.6 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE

Los tanques de servicio se deben conectar al sistema de protección contra rayos.

Los tanques exteriores de almacenamiento deben estar puestos a tierra e interconectados al sistema de protección contra rayos del edificio del grupo electrógeno.

#### 7.6.7 SENSORES DE NIVEL DE COMBUSTIBLE

Las conexiones de los sensores de nivel se deben realizar con cable apantallado y puesto a tierra en cada extremo e, idealmente, tendidas en un conducto metálico o MICC. Los cables de sensores deben estar equipados con un descargador, que debe conectarse al sistema de protección contra rayos en el punto de entrada al edificio. En condiciones extremas, cuando el tanque de almacenamiento se encuentre lejos del edificio principal, puede considerarse, la utilización de sensores autoalimentados de fibra óptica.

#### 7.6.8 ANTENAS DE RADAR

Las antenas de radar consisten en un escáner giratorio montado sobre una carcasa que contiene el motor de accionamiento y la caja de engranajes. El conjunto de antena se conecta al transmisor a través de un guíaondas rectangular de cobre y con continuidad eléctrica. Tanto el guíaondas como la carcasa del accionador deben conectarse a la superestructura del buque o, en el caso de un faro, al sistema de protección contra rayos en su punto de entrada al faro.

#### 7.6.9 UNIDADES AIS

Cualquier cable que entre en la zona equipotencial desde una unidad AIS, tiene que estar equipado con descargadores en el punto de entrada a esta zona. Todas las antenas VHF y cables de alimentación se deben tratar tal y como se expone en el apartado 7.4.7 *Antenas de radiocomunicaciones y cables de alimentación*.

### 7.7 PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES

#### 7.7.1 GENERAL

Todos los cables, tanto de entrada como de salida, de alimentación, de telefonía, de comunicación de datos, de telemetría y de control, así como los cables de radiofrecuencia de antenas de radio deben estar equipados con descargadores en el punto de entrada al edificio (o tan cerca como sea factible).

Todos los descargadores deben instalarse según las instrucciones del fabricante.

Debido a la naturaleza de las instalaciones de faro, es probable que exista un número elevado de tendidos verticales de cable, lo que aumenta de forma considerable el riesgo de aparición de sobretensiones transitorias, tanto resistivas acopladas como inducidas, para muchos de los circuitos de energía internos, de control, de supervisión y de telecomunicaciones. Es, por lo tanto, fundamental que se evalúe cada instalación y se instale la protección



adecuada contra sobretensiones. Para realizar dicha evaluación, se deben utilizar los documentos de referencia relacionados al final de esta guía y, si fuera necesario, recabar el consejo de consultores y fabricantes.

### 7.7.2 SUMINISTROS DE ELECTRICIDAD

- El tipo y la capacidad nominal del protector deben ser los adecuados para la tensión de suministro;
- El protector debe llevar una indicación continua de su estado de protección;
- La indicación de estado debe avisar de un fallo de protección entre todas las combinaciones de conductores, incluidos los neutros a tierra (de lo contrario, un cortocircuito de neutro a tierra, potencialmente peligroso, podría pasar desapercibido);
- El protector debe estar clasificado para una corriente de descarga máxima no inferior a 10 kA, forma de onda de 8/20 microsegundos ( $8 \mu\text{s}$  tiempo de subida/ $20 \mu\text{s}$  3 dB de ancho de pulso);
- El protector debe limitar la sobretensión transitoria por debajo de la que es capaz de dañar los equipos. La tensión de pico del transitorio no debe exceder el permitido para todas las posibles combinaciones de conductores, p. ej. Fase-Neutro, Neutro-Tierra y Fase-Tierra.
- El protector no debe interferir con o restringir el funcionamiento normal del sistema; ni modificar o cortar la alimentación tras su disparo.
- El protector no debe tener una corriente de fuga a tierra elevada.

### 7.7.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA (SAI)

A pesar de las afirmaciones de algunos fabricantes, lo cierto es que la mayoría de los SAI no ofrecen suficiente protección contra sobretensiones para la protección contra rayos. Es fundamental que se proteja adecuadamente tanto la entrada como la salida (o entrada de cada carga) de cada SAI.

### 7.7.4 PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

Los paneles fotovoltaicos, particularmente los que están instalados a cierta distancia del edificio principal, deben disponer de descargadores en los cables de corriente continua, en el punto de entrada al edificio, para proteger el regulador de carga.

Los dispositivos de este tipo para sistemas de 12/24 V CC deben tener una pérdida de inserción mínima y una corriente de fuga muy reducida.

### 7.7.5 CIRCUITOS DE TELEFONÍA, DE DATOS, DE CONTROL Y DE SUPERVISIÓN

Los circuitos que discurren entre edificios deben estar protegidos en AMBOS extremos para proteger los dos equipos.

El dispositivo de protección debe tener la capacidad nominal adecuada para la aplicación, p. ej. un descargador de una línea de la RTPC NO es adecuado para la E/S de telemetría, y viceversa.

Con los kits de montaje y de puesta a tierra adecuados, debe ser posible instalar el protector en grupos, o bien de forma individual.

El protector no debe interferir con el funcionamiento normal ni afectar al rendimiento del servicio que se protege.

Cuando los circuitos internos son de una longitud considerable o cuando los equipos interconectados son de importancia primordial, o particularmente vulnerables, la protección contra sobretensiones debe instalarse en ambos extremos del circuito de interconexión.

Los dispositivos de protección para la RTPC y los cableados privados deben tener una capacidad nominal de 10kA (8/20 $\mu\text{s}$ ).

### 7.7.6 CIRCUITOS COAXIALES Y BLINDADOS

Algunos tipos de circuitos coaxiales y blindados, como, por ejemplo, redes de área locales (LAN) y algunos tipos de sensores, sólo deben ser puestos a tierra en un punto. La utilización de un protector de sobretensiones adecuado ofrecerá la unión adicional requerida por esta guía, manteniendo al mismo tiempo el aislamiento del apantallamiento.

## 7.8 PUESTA A TIERRA

### 7.8.1 GENERAL

La puesta a tierra de un sistema implica proporcionar una conexión a la masa general de tierra. Esta conexión debe tener una resistencia que no supere los 10 ohmios. En instalaciones típicas de AtoN, conseguir este ideal es a menudo difícil. En tales condiciones, la filosofía general de protección debe ser habilitar una zona equipotencial, de forma que se minimicen los daños debidos a las diferencias de tensión en el emplazamiento.

Los electrodos de tierra pueden instalarse en distintas combinaciones o formas, que incluyen picas, placas, tiras o conductores horizontales y electrodo para toma de tierra en el mar (véase la Figura 19). El tipo (o tipos) de electrodo empleado depende de las condiciones locales.



***Figura 19 Diferentes tipos de electrodos de tierra***



La resistencia de tierra de un electrodo dado depende de la resistividad eléctrica del terreno en el que está instalado.

La resistividad de la tierra se puede calcular mediante el método de Wenner (véanse los ANEXOS ANNEX C y ANNEX D).

La longitud del electrodo de tierra necesario, en función de la sección transversal utilizada, se puede determinar utilizando la siguiente fórmula o usando el software gratuito suministrado por los fabricantes:

#### 7.8.1.1 Varillas horizontales de sección rectangular.

$$R = \frac{\rho}{275L} \text{Log}_{10} \frac{200L^2}{wD}$$

Ecuación 2 Longitud del electrodo de tierra - Varillas horizontales de sección rectangular

#### 7.8.1.2 Varillas horizontales de sección circular

$$R = \frac{\rho}{275L} \text{Log}_{10} \frac{100L^2}{\phi D}$$

Ecuación 3 Longitud del electrodo de tierra - Varillas horizontales de sección circular

#### 7.8.1.3 Varillas verticales de sección rectangular

$$R = \frac{\rho}{275L} \text{Log}_{10} \frac{800L^2}{wD}$$

Ecuación 4 Longitud del electrodo de tierra - Varillas verticales de sección rectangular

#### 7.8.1.4 Varillas verticales de sección circular

$$R = \frac{\rho}{275L} \text{Log}_{10} \frac{400L^2}{ND}$$

Ecuación 5 Longitud del electrodo de tierra - Varillas verticales sección de circular

Donde:

R es la resistencia aparente del electrodo de tierra en ohmios

$\rho$  es la resistividad de la tierra en ohmios centímetros

D es la profundidad del electrodo en metros

$\phi$  es el diámetro del electrodo en centímetros

L es la longitud del electrodo en metros

w es el ancho del electrodo en centímetros

N es el número de electrodos

## 7.8.2 EN TIERRA

Cada conductor de bajada debe tener una red de puesta a tierra asociada, que puede consistir en un único electrodo de tierra o un cierto número de electrodos conectados entre sí para formar una única red.

El mejor método de conexión es la soldadura es la aluminotérmica (exotérmica), que jamás se aflojará, corroerá o aumentará la resistencia (véase la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

La resistencia total de tierra de toda la red de puesta a tierra no debe superar los 10 ohmios.



***Figura 20 Soldadura aluminotérmica***

### **7.8.3 EN ROCA**

Cuando se construye un edificio sobre roca, puede que no sea posible lograr el valor máximo de 10 ohmios para la resistencia de tierra.

Cuando éste sea el caso, no se establece un valor máximo y se debe seguir el siguiente procedimiento.

Cada electrodo de tierra debe formarse mediante la inserción de una varilla de tierra de 2,4 m de largo en un agujero con un diámetro de 75 mm, taladrado hasta una profundidad mínima de 2,4 m. A continuación, se rellena el agujero con una mezcla de cemento con un agregado carbonáceo conductor, como, por ejemplo, Marconita. La bentonita se puede utilizar como sustituto para la mezcla de cemento, pero habrá que tener cuidado de asegurar que la bentonita no se salga del agujero o que se seque.

Es importante resaltar que, en los casos en que no se pueda lograr una resistencia de tierra baja, la subida local del potencial de tierra durante un impacto de rayo puede llegar a ser realmente muy extrema. Si se ha realizado un conexionado adecuado en el emplazamiento, es posible que esto por sí solo no cause daños importantes a la instalación, pero puede ocasionar peligro extremo en los interfaces y conexiones del cableado entre el emplazamiento y las puestas a tierra remotas (como en la RPTC, el suministro de energía y las conexiones de supervisión remota). Por consiguiente, se debe extremar la precaución en cuanto a la protección de dichas interfaces en emplazamientos donde no se pueda lograr una resistencia de tierra baja.

### **7.8.4 EN TERRENO SUPERFICIAL**

Cuando las instalaciones están construidas sobre terreno rocoso con capas superficiales de tierra, se puede realizar la puesta a tierra enterrando líneas de electrodos en zanjas. La zanja debe tener una profundidad de al menos 1 metro y el sistema debe instalarse por debajo de la línea de congelación debajo de la zona, que podría estar sujeta a cambios estacionales.

### **7.8.5 ELECTRODOS DE TIERRA MARINOS**

En las estructuras construidas sobre roca, se puede emplear un electrodo de tierra marino como una alternativa, o como complemento del sistema de varillas en tierra. El electrodo de tierra consiste en una malla de 20 mm x 3 mm hecha de pletina de cobre de al menos 1 m x 1 m, fijada a la roca por debajo de la línea de agua de la marea baja. Como el electrodo se encuentra en la zona de oleaje y, por lo tanto, expuesta a condiciones severas, es difícil lograr una fijación segura.



## 8 INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PERIÓDICOS

### 8.1 INSPECCIÓN

Todos los sistemas de protección contra rayos deben ser inspeccionados por una persona competente durante la instalación, tras su finalización y después de que se realicen alteraciones o ampliaciones, para comprobar que cumplen las recomendaciones de esta guía y de la norma CEI 62305, o la norma nacional o internacional de aplicación. Las inspecciones visuales de la instalación de protección contra rayos y de los descargadores contra sobretensiones deben repetirse a intervalos que no superen los 12 meses.

Además, todos los conductores, conexiones, uniones, terminaciones y electrodos de tierra (incluidos los de referencia) deben comprobarse, anotando las observaciones. Si, por algún motivo, como, por ejemplo, obras en el emplazamiento, no es posible inspeccionar ciertas partes de la instalación temporalmente, también se debe anotar.

Durante la inspección periódica del sistema de protección contra rayos, se deben comprobar las conexiones de los servicios añadidos recientemente para garantizar que cumplen esta guía.

### 8.2 PRUEBAS

Para realizar ensayos, sólo se debe desconectar un electrodo de tierra a la vez. Si solo existe un electrodo de tierra, entonces la instalación DEBE estar desconectada de todas las tomas de energía, incluidos los generadores, antes de desconectar el electrodo de tierra para realizar las pruebas. No es suficiente desconectar la conexión a tierra de la acometida de la red para realizar este ensayo, ya que es probable que existan otras conexiones entre la tierra del sistema de protección contra rayos y la puesta a tierra de la red.

#### 8.2.1 GENERAL

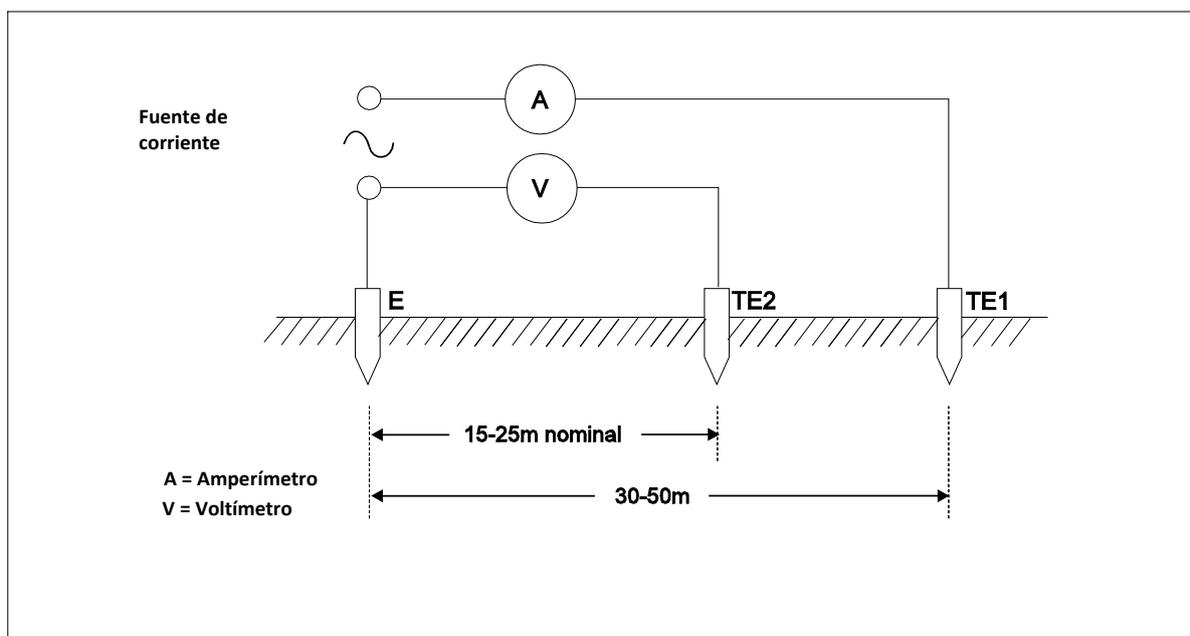
Al finalizar la instalación o cualquier modificación hecha en el sistema, se deben realizar las siguientes mediciones y/o comprobaciones y los resultados se registrarán en un libro de registro del sistema de protección contra rayos:

- 1 La resistencia a tierra de la red de tierra del sistema y la de cada uno de los electrodos de tierra.
- 2 Los resultados de una comprobación visual de todos conductores, conexiones y uniones o de su medición de continuidad eléctrica.

Los ensayos deben repetirse a intervalos fijos, preferiblemente no superiores a 12 meses.

#### 8.2.2 MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE ELECTRODOS DE TIERRA

La resistencia de cada electrodo de tierra se debe medir con el electrodo desconectado del resto del sistema de protección contra rayos y los resultados deben registrarse. El método preferido de medición se muestra en la Figura 21. Se pasa una corriente conocida entre el electrodo de tierra (E) a medir y el electrodo de prueba (TE1) y se mide la tensión entre E y un segundo electrodo de prueba (TE2). A partir de estos valores, se puede calcular la resistencia del electrodo de tierra. Están disponibles en el mercado instrumentos que combinan las funciones mencionadas arriba e indican la resistencia del electrodo de tierra directamente. Alternativamente, se puede utilizar el método de Wenner (véanse los ANEXOS ANNEX C y ANNEX D).



**Figura 21 Método recomendado de medición de la resistencia de electrodos de tierra**

El electrodo de prueba de corriente (TE1) debe insertarse en el terreno a unos 30 o 50 metros del electrodo de tierra de protección contra rayos a medir (E). Inicialmente, el electrodo de tensión (TE2) debe insertarse a mitad de camino entre E y TE1 y se mide y registra la resistencia del electrodo de tierra. Con TE2 colocado 7 m más cerca a E y luego 7 m más lejos, se tomarán y registrarán dos mediciones adicionales. Si las tres mediciones se encuentran dentro del 5%, la posición de TE1, la posición inicial de TE2 y el valor inicial obtenido se deben registrar a efectos de compararlos con futuros ensayos. Si los tres resultados no concuerdan, se incrementará la distancia entre E y TE1, repitiéndose los tres ensayos. Debe repetirse este proceso hasta que las tres mediciones concuerden dentro del nivel de precisión exigido.

Si la resistencia de tierra del sistema de protección contra rayos supera los 10 ohmios, salvo en el caso de las instalaciones en roca (véase el apartado 8.2.3), o si la resistencia de un electrodo multiplicado por el número total de electrodos supera los 10 ohmios, se deberá reducir el valor. Si la resistencia está por debajo de 10 ohmios, pero sustancialmente por encima de la medición anterior, se deberá investigar la causa y tomar las medidas que sean necesarias.

### 8.2.3 MEDIDA DE ELECTRODOS DE TIERRA EN ROCA

Cuando sea posible, se deben dejar dos electrodos de medida permanentemente, situados de acuerdo con la Figura 21. Estos electrodos de medida se emplearán para realizar y registrar las mediciones de la resistencia del electrodo de tierra.

Cuando esto no sea posible (p. ej. una estación situada sobre roca), se desconectará cada electrodo de tierra a su vez y se medirá y registrará la resistencia entre el electrodo aislado y el resto del sistema (véase la [Nota 1](#)).

**Nota 1:** Cabe destacar que antes de desconectar una tierra de protección contra rayos, debe asegurarse de que no esté "viva" (con voltaje) usando un dispositivo de prueba de voltaje de gran sensibilidad

**Nota 2:** Podría ser conveniente elegir un periodo de algo menos de 12 meses para que los ensayos se realicen en diferentes épocas del año.

**Nota 3:** La presencia de conductores enterrados, como, por ejemplo, cables del suministro de red y telefonía, contrantena de radiofaros, etc., pueden ejercer una influencia considerable en las mediciones de la resistencia de electrodos de tierra. Se realizarán todos los esfuerzos necesarios para localizar dichos servicios y, cuando sea posible, elegir un lugar de medición lejos de ellos.



### 8.3 MANTENIMIENTO DE DESCARGADORES

---

Como resultado de que muchas veces los dispositivos de protección pueden fallar sin causar interrupciones a largo plazo, muchos fabricantes fabrican descargadores de varistores de óxido metálico (MOV, del inglés, *Metal Oxide Varistors*) equipados con indicadores de fallos en la parte frontal, que indican que MOV ha fallado y cuáles siguen en funcionamiento. El mantenimiento se limitará a inspecciones visuales periódicas y a la comprobación de las puestas a tierra para garantizar que no se hayan deteriorado y que todas las otras conexiones sean seguras.

Las mediciones de resistencia en el circuito pueden realizarse en otros dispositivos de protección para establecer la integridad de los descargadores de sobretensión. Sin embargo, no es aconsejable realizar las comprobaciones con frecuencia, ya que en muchas ocasiones los fallos se revelan por sí mismos. Existe una posibilidad real de que la desconexión y reconexión rutinaria podría producir errores de entrecruzado de cableado debido al gran número de descargadores que pueden estar presentes en una instalación.

### 8.4 REGISTROS

---

Los registros enumerados a continuación se deben custodiar en el emplazamiento o por la persona responsable del mantenimiento de la instalación:

- Dibujos a escala, mostrando la naturaleza, dimensiones, materiales y posiciones de los componentes del sistema de protección contra rayos.
- La naturaleza del terreno y cualquier disposición especial de la puesta a tierra.
- El tipo y la posición de los electrodos de tierra, incluidos los electrodos de referencia.
- Las condiciones de prueba y los resultados obtenidos (véase el apartado sobre pruebas).
- Cualquier modificación, adición o reparación realizada al sistema.
- El nombre de la persona responsable de la instalación o de su mantenimiento.
- Se debe fijar una etiqueta en el origen de la instalación eléctrica con el siguiente texto:

*“Esta instalación está dotada con un sistema de protección contra rayos. La conexión a otros servicios y la conexión equipotencial principal deben recibir un correcto mantenimiento.”*

### 8.5 MANTENIMIENTO

---

Las inspecciones y pruebas periódicas mencionadas más arriba mostrarán qué tipo de mantenimiento, en su caso, será necesario. Se debe prestar particular atención a los siguientes aspectos:

- La puesta a tierra;
- Indicios de corrosión o condiciones que probablemente la provocarán;
- Modificaciones y adiciones a la estructura que podrían afectar al sistema de protección contra rayos (p. ej. cambios de uso del edificio, colocación de antenas de radio, etc.).



## 9 ACRÓNIMOS

A	Amperio/s
AIS	( <i>Automatic Identification System</i> ) Sistema de Identificación Automática
AMSA	( <i>Australian Maritime Safety Authority</i> ) Autoridad Australiana de Seguridad Marítima
AtoN	( <i>Aid(s) to Navigation</i> ) Ayuda/s a la navegación
dB	Decibelio
cc	Corriente continua
E	Electrodo de tierra
GRP	( <i>Glass Reinforced Plastic</i> ) Plástico reforzado con fibra de vidrio
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities - AISM
CEI	Comisión Electrotécnica Internacional
IT	( <i>Information Technology</i> ) Tecnología de la información
ITN	Instituto de Tecnología Nuclear (Portugal)
kA	Kiloamperio/s
kV	Kilovoltio
LANBY	( <i>Large Automatic Navigation Buoy</i> ) Boya Automática de Navegación Grande
LPL	( <i>Lightning Protection Level</i> ) Nivel de protección contra rayos
m	Metro/s
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
MICC	( <i>Mineral-insulated copper-clad cable</i> ) Cable revestido de cobre con aislamiento mineral
mm	Milímetro/s
MOV	( <i>Metal Oxide Varistor</i> ) Varistor de óxido metálico
NBR	Norma brasileña
NP	Norma portuguesa
RPTC	Red pública de telefonía conmutada
PV	Fotovoltaico
SPD	( <i>Surge Protective Device(s)</i> ) Dispositivo/s de protección contra sobretensiones
TE	( <i>Test Electrode</i> ) Electrodo de ensayo
SAI	Sistema de alimentación ininterrumpida
USCG	( <i>United States Coast Guard</i> ) Guardia Costera de Estados Unidos
V	Voltio/s
VHF	( <i>Very High Frequency</i> ) Frecuencia muy alta (de 30 MHz a 300 MHz)
μH	Nanohenry
μs	Nanosegundo/s
Ω	Ohm/ios



## 10 REFERENCIAS

Dos publicaciones de la Institución Británica de Normalización (*British Standards Institution*) tienen particular importancia en este contexto y se hará referencia a ellas en lo que queda de esta guía, que son:

- [1] British Standard 6651: 1992, “The protection of structures against lightning”
- [2] British Standard Code of Practice BS7430: 1991, “Earthing”

Los otros documentos tenidos en cuenta son:

- [3] General Lighthouse Authorities; Development Department Report, “Guidelines for the Protection of Lighthouses and Aids to Navigation against Damage from Lightning”, No. 20/RPD/1995, Trinity House Lighthouse Service, 1995
- [4] “Lightning Protection”, Australian Maritime Safety Authority (AMSA): AS-1768-1991
- [5] “Lightning Protection”, Norwegian Coastal Administration, 1997
- [6] “Lightning Protection for Radio Transmitter Stations”, Nautel Ltd., 1985
- [7] “Lightning Protection Systems”, USCG, 1995

Otros documentos de relevancia:

- [8] CEI 61024, “Protección de estructuras contra rayos”
- [9] CEI 61312 “Protección contra los impulsos electromagnéticos del rayo - Sistemas informáticos”
- [10] NP 4426, diciembre de 2003, Norma Portuguesa “Protección de estructuras mediante pararrayos con dispositivo ionizante no radioactivo”
- [11] NFC 17-102, 1995 Norma Francesa “Protección de estructuras contra el rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado no radioactivos”
- [12] UNE 21186, 1986 Norma España “Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivos de cebado no radioactivos”
- [13] NBR 7117, diciembre de 1981, Norma Brasileña, “Medición de la resistividad de la tierra con el método de cuatro puntos (método de Wenner)”
- [14] CEI 61643-1, marzo de 2005, dst
- [15] CEI 62305-1 Ed 2.0, diciembre de 2010, Protección contra el rayo – Parte 1: Principios generales
- [16] CEI 62305-2 Ed 2, diciembre de 2010, Protección contra el rayo – Parte 2: Evaluación de riesgos
- [17] CEI 62305-3 Ed 2,0, diciembre de 2010, Protección contra el rayo – Parte 3: Daño físico a estructuras y riesgo humano
- [18] CEI 62305-4 Ed 2,0, diciembre de 2010, Protección contra el rayo – Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras
- [19] “Necessity of the surge protector in the modern electronic world”, Boletín de la IALA 2010/4



## **ANNEX A   EJEMPLO**

### **A 1. CONSIDERACIONES**

---

El radio-226 tiene una vida media de 1.600 años, y el americio-241 una de 432,6 años.

Una vida media es el tiempo que tarda la radioactividad en disminuir a la mitad, lo que significa que, por cada vida media que pasa, la actividad se reduce a la mitad de la anterior, hasta que alcanza un valor insignificante, que no nos permite diferenciar su radiación de la del fondo. En la mayoría de los casos, se considera que ese nivel se alcanza tras 10 vidas medias.

### **A 2. RIESGOS E IMPACTO**

---

Los riesgos de exposición a los pararrayos radioactivos de americio son relativamente moderados. Sin embargo, el riesgo de contaminación radioactiva del medio ambiente puede ser elevado.

Los órganos humanos más susceptibles de ser afectados por la radioactividad son los huesos, los riñones y los pulmones.

En el caso de los pararrayos radiactivos, los riesgos de exposición y contaminación son mayores a distancias por debajo de un metro.

Dado que los pararrayos se colocan por encima de las estructuras, el riesgo de exposición suele ser bajo, ya que la dosis de radiación recibida por un individuo varía de forma inversa al cuadrado de la distancia a la fuente. Sin embargo, cuando se realizan trabajos cerca de la fuente de radiación y durante periodos de tiempo más prolongados, el nivel de exposición puede llegar a ser más importante y debe evitarse.

Principalmente, los efectos biológicos de la radioactividad dependen de los siguientes factores:

- El tipo de radiación;
- La vida media del radionucleido;
- La cantidad de la dosis;
- Los órganos donde se acumula.

En el cuerpo humano, estos efectos se manifiestan a nivel somático o genético.

A nivel somático, un individuo expuesto a la radiación puede presentar síntomas físicos. En cambio, los efectos de la radiación a nivel genético, que son imposibles de evitar, sólo se manifiestan en los descendientes de la persona que se ha visto expuesta a la radiación.

### **A 3. ACTUACIONES**

---

Los pararrayos radioactivos que se utilizaban en la década de 1980 ya no cumplen las normas actuales y representan un riesgo potencial que debe eliminarse.

Con la conciencia del peligro de la radioactividad y la posibilidad de la falta de eficacia de estos dispositivos debido al envejecimiento o el deterioro del material, se ha recomendado, desde 1991, que no se utilicen estos tipos de pararrayos y deben retirarse.

La mayoría de los países deben disponer de una organización responsable del almacenamiento y tratamiento de residuos radioactivos, y que emita instrucciones para su manipulación segura.

Tras su retirada, se consideran como residuos radioactivos y deben tratarse como tal.



Cuando se manejan pararrayos radioactivos, el Instituto de Tecnología Nuclear (ITN) de Portugal recomienda seguir las siguientes normas:

- No dañe el pararrayos;
- Use guantes;
- Evite el contacto con la punta del pararrayos o con las partes de porcelana donde se encuentran las fuentes radioactivas;
- Corte el mástil un poco por debajo de los brazos o del anillo de metal;
- Envuelva con papel de plomo la punta del pararrayos;
- Embálelo en una caja de madera;
- Contrate una organización debidamente aprobada para que lo retire.



## ANNEX B EVALUACIÓN DE RIEGOS (EJEMPLO)

Date: 12-11-07

### Risk analyse (lightning strike protection)

Vila R.S.António Lighthouse

INPUT DATA	
Local Keraunic index	9
Coefficient C1	0.75
Coefficient C2	1
Coefficient C3	2
Coefficient C4	3
Coefficient C5	5
Height of tower	46

Result of calculations	
Ng density of impacts per Km2, year	0.78453981
Nd expected frequency of impacts on the structure	0.03872504
Nc acceptable frequency of impacts on the structure	0.00018333
E efficiency of protection to install $\geq$	0.99526577

If Na - Nc is negative it is not necessary protection 0.0385417

Efficiency of protection to install $\geq$	
Efficiency calculated	1

Selecting the level of protection  
if  $N_d \leq N_c$  protection is not necessary  
If  $N_d > N_c$  you must install protection system of efficiency (E) and corresponding level of protection in selected table B.10

### Struture characterization

C1 ; Coefficient			
Structure located in an area where there are other structures or trees of the same height or higher	0.5		
Structure surrounded by lower structures	0.75		
Isolated Structure	1		
Isolated structure situated on a hill or promontory	2		

C2 ; Strutural coefficient			
Roff	Metalic	Common	Flammable
Metal	0.5	1	2
Common	1	1	2.5
Flammable	2	2.5	3

C3 ; Stuture content	
without value or not flammable	0.5
Common value or normally flammable	2
High value or particularly flammable	5
Exceptional value, irreplaceable or highly flammable, explosive	10

C4 ; Occupancy of the structure	
Unoccupied	0.5
Normally occupied	3
Difficult to evacuate or risk of panic	7

C5 ; Consequences of impact	
No need for continuity of service and some effect on the neighbourhood	1
Need for continuity of service and some effect on the neighbourhood	5
effect on the neighbourhood	10

Table B.10

E	Level of protection	I(kA)	D(m)
Efficiency calculated	corresponding	Rated crest maximum	Distance from start
$E > 0,999$	Nível ++	(a)	(a)
$0,99 < E \leq 0,999$	Nível I+	(b)	(b)
$0,98 < E \leq 0,999$	Nível I	3	20
$0,95 < E \leq 0,98$	Nível II	5	30
$0,90 < E \leq 0,95$	Nível III	10	45
$0,90 < E \leq 0,80$	Nível IV	16	60
$E < 0$	It is not necessary protection		

Additional measures: (a) Struture protected by PDI with decrease protection radius  
(b) Struture protected by PDI

### Outcome of risk analysis:

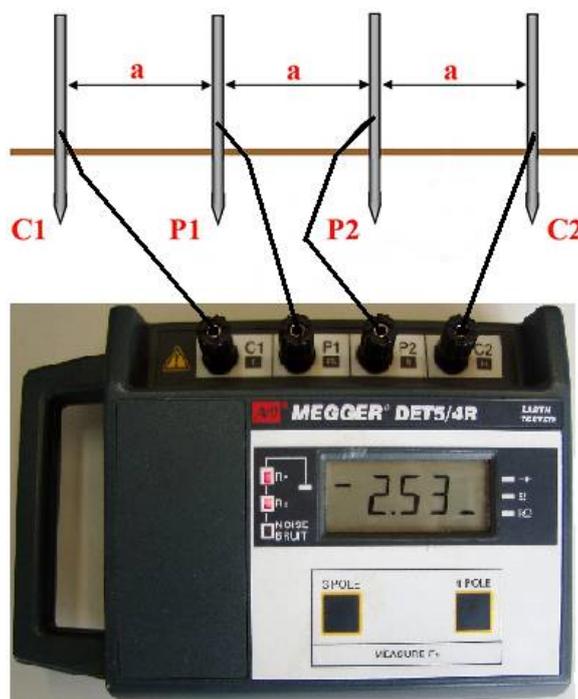
La hoja de cálculo mostrada más arriba y la que figura en el ANNEX C están disponibles de la IALA como un único fichero de Excel ([contact@iala-ism.org](mailto:contact@iala-ism.org)).

## ANNEX C MÉTODO DE WENNER PARA LA RESISTENCIA DE ELECTRODOS DE TIERRA

En la práctica, el terreno no suele ser homogéneo y su resistividad varía según la profundidad.

La medición de la resistividad del terreno y la consiguiente longitud del electrodo de tierra pueden determinarse de la siguiente manera.

Se introducen en el suelo cuatro electrodos equidistantes hasta una profundidad que no supere el 5% de la distancia entre cualquier par de ellos. Se conecta una fuente de corriente entre los dos electrodos exteriores (C1 y C2), y como resultado de la corriente que circula en el suelo generará una diferencia de potencial. Este voltaje se mide entre los dos electrodos de en medio (P1 y P2), véase la Figura 22. A partir de los valores de la caída de tensión y la corriente, se puede calcular un valor para "Rt" (la mayoría de los equipos de medición de la resistividad dan una lectura directa de Rt).



**Figura 22** Esquema de conexionado para el método de Wenner

La resistividad de la tierra puede calcularse utilizando la fórmula simplificada<sup>2</sup>:

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot R_t$$

### Ecuación 6 Resistividad del terreno

Donde:

$\rho$  es la resistividad de la tierra en ohmios metros ( $\Omega m$ )

$a$  es la distancia entre los electrodos

$R_t$  es la resistencia (en ohmios) medida entre los electrodos

Esta medición da como resultado la resistividad del terreno a una profundidad equivalente al 75% de la distancia entre los electrodos.

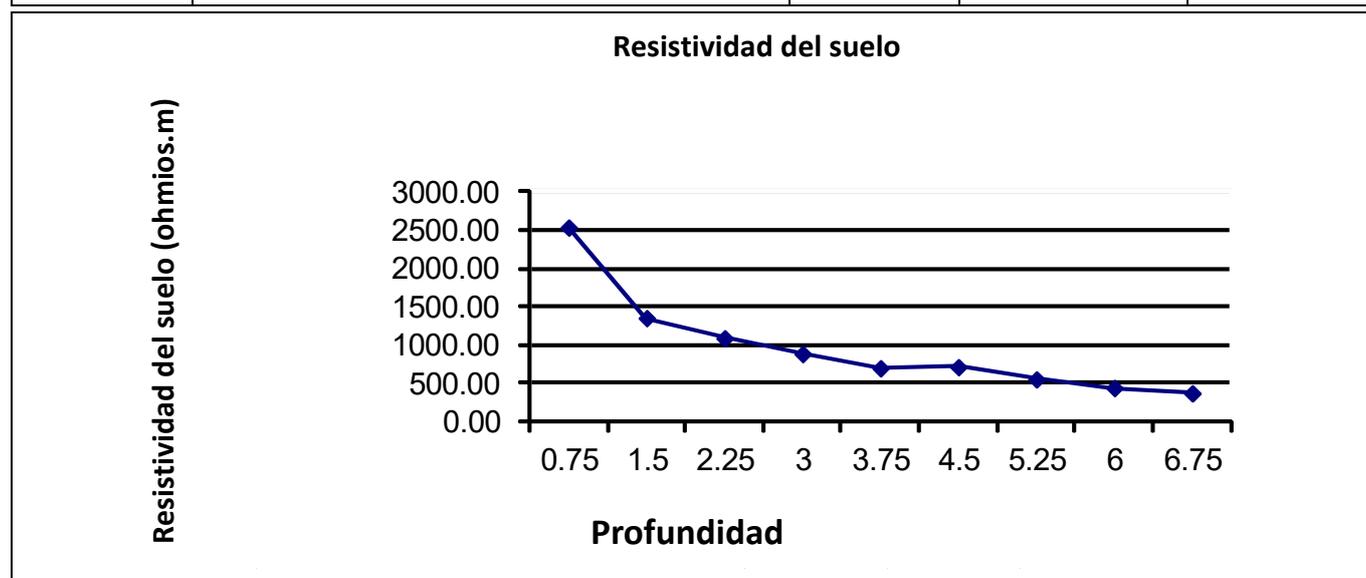
Si se varía la distancia entre los electrodos, se repite la medición y se registran los resultados, se obtendrá la resistencia de la tierra a varias profundidades.

<sup>2</sup> Véase la Norma Brasileña NBR 7117 para la fórmula completa.



## ANNEX D HOJA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA RESISTIVIDAD DE LA TIERRA (EJEMPLO)

Lugar	Faro de Vila Real de Santo António		Fecha:	12/11/2007
<b>Análisis de la resistividad del suelo utilizando el método de Wenner</b>				
	Profundidad de los electrodos de ensayo	0,3	Metros	
Profundidad estimada	Distancia entre electrodos (metros)	Valor medido ( $\Omega$ )	Resistividad del suelo ( $\Omega$ .m)	
			Fórmula simplificada	Fórmula completa
0,75	1	335	2230,54	2538,80
1,5	2	104	1306,91	1356,61
2,25	3	57	1074,43	1092,94
3	4	35	879,65	888,23
3,75	5	22,2	697,44	701,80
4,5	6	18,9		715,62
5,25	7	12,6	712,51	555,95
6	8	8,8	554,18	443,42
6,75	9	6,6	442,34	373,95



Perfiles de resistividad

Ascendente: Zona de superficie de arcilla y fondo húmedo y rocoso

Descendiente: Zona de superficie muy seca y zona de arena por debajo

Plano: Suelo rocoso y seco

Observaciones:

Se trata de una zona de dunas, donde la superficie es de arena seca y suelta.