



GROUNDING SYSTEMS CONSULTORES, S.L.

## **SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO**

### **MEMORIA DE DISEÑO**

### **RADAR METEOROLÓGICO - CREU DEL VENT CDV**



**Ref. 172712**  
**Julio 2025**

---

## ÍNDICE

|         |                                                                         |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.-     | OBJETO .....                                                            | 5  |
| 2.-     | ANTECEDENTES .....                                                      | 6  |
| 2.1.-   | DATOS EMPLAZAMIENTO.....                                                | 6  |
| 3.-     | ÁMBITO NORMATIVO.....                                                   | 7  |
| 3.1.-   | TÉCNICO .....                                                           | 7  |
| 3.2.-   | PREVENCIÓN Y SEGURIDAD.....                                             | 8  |
| 4.-     | SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO. ....                     | 9  |
| 4.1.-   | INTRODUCCIÓN .....                                                      | 9  |
| 4.2.-   | SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO .....                      | 10 |
| 4.2.1.- | MODELOS DE PROTECCIÓN.....                                              | 10 |
| 4.3.-   | SISTEMA INTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO .....                      | 17 |
| 4.3.1.- | EFFECTOS DE LAS DESCARGAS ELECTROATMOSFÉRICAS .....                     | 17 |
| 4.3.2.- | MEDIDAS BÁSICAS DE PROTECCIÓN .....                                     | 18 |
| 5.-     | REVISIÓN DE LAS INSTALACIONES EXISTENTES .....                          | 25 |
| 5.1.-   | SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO .....                      | 25 |
| 5.2.-   | SISTEMA INTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO .....                      | 25 |
| 5.3.-   | ESTUDIO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO .....                            | 29 |
| 5.3.1.- | METODO DE MEDIDA.....                                                   | 29 |
| 5.3.2.- | EQUIPO UTILIZADO.....                                                   | 29 |
| 5.3.3.- | RESULTADOS OBTENIDOS.....                                               | 30 |
| 5.3.4.- | MODELIZACIÓN DEL TERRENO .....                                          | 33 |
| 5.3.5.- | CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD EQUIVALENTE.....                             | 33 |
| 6.-     | DISEÑO DEL SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO.....           | 34 |
| 6.1.-   | SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO .....                      | 34 |
| 6.1.1.- | SISTEMA DE CAPTACIÓN .....                                              | 34 |
| 6.1.2.- | SISTEMA CONDUCTOR DE BAJADA.....                                        | 35 |
| 6.1.3.- | SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....                                        | 40 |
| 6.2.-   | SISTEMA INTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO .....                      | 44 |
| 6.2.1.- | ACTUACIONES RECOMENDADAS .....                                          | 44 |
| 7.-     | EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO Y CÁLCULO DEL NIVEL DE PROTECCIÓN ..... | 47 |
| 7.1.-   | CTE DB SUA-8 .....                                                      | 47 |
| 7.2.-   | UNE EN 62305-2:2012 .....                                               | 52 |
| 8.-     | PRESUPUESTO.....                                                        | 58 |
| 8.1.-   | PROTECCIÓN EXTERNA .....                                                | 58 |
| 8.2.-   | PROTECCIÓN INTERNA.....                                                 | 59 |

## ÍNDICE FIGURAS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Ubicación radar CDV .....                                                      | 6  |
| Figura 2 - Ejemplo del método del ángulo de protección .....                              | 11 |
| Figura 3 - Ángulo de protección en función de la diferencia de cota .....                 | 12 |
| Figura 4 - Método electrogeométrico de la esfera rodante .....                            | 12 |
| Figura 5 - Ejemplo método electrogeométrico de la esfera rodante .....                    | 13 |
| Figura 6 - Ejemplo método de la malla .....                                               | 14 |
| Figura 7 - Volumen protegido por un PDC .....                                             | 14 |
| Figura 8 - Puntos de impacto de las descargas electroatmosféricas .....                   | 17 |
| Figura 9 - Apantallamiento de las líneas internas.....                                    | 19 |
| Figura 10 - Trazado de las líneas internas.....                                           | 20 |
| Figura 11 - Red general de puesta a tierra.....                                           | 25 |
| Figura 12 - Valores resistencia de puesta a tierra en servicio i independiente .....      | 26 |
| Figura 13 - Conexiones equipotenciales .....                                              | 26 |
| Figura 14 - Conmutación de línea aérea a subterránea.....                                 | 27 |
| Figura 15 - Cuadro externo contador .....                                                 | 27 |
| Figura 16 - Protector contra sobretensiones .....                                         | 28 |
| Figura 17 - Método de Wenner.....                                                         | 29 |
| Figura 18 - Equipo utilizado en estudio resistividad .....                                | 30 |
| Figura 19 - Zona estudio resistividad .....                                               | 30 |
| Figura 20 - Valores estudio resistividad .....                                            | 31 |
| Figura 21 - Gráfico resistividad según la profundidad.....                                | 32 |
| Figura 22 - Mapa de calor resistividad según la profundidad.....                          | 32 |
| Figura 23 - Diseño protección externa del radomo .....                                    | 34 |
| Figura 24 - Ángulo de protección a 1,5 metros .....                                       | 35 |
| Figura 25 - Ángulo de protección a 3 metros.....                                          | 35 |
| Figura 26 - Ángulo de protección a 5,8 metros .....                                       | 35 |
| Figura 27 - Ángulo de protección en la base.....                                          | 35 |
| Figura 28 - Detalle pletina .....                                                         | 37 |
| Figura 29 - Detalle del conector con la pletina.....                                      | 37 |
| Figura 30 - Anillo metálico de la base del radomo.....                                    | 38 |
| Figura 31 - Distribución de las pletinas en el anillo metálico de la base del radomo..... | 38 |
| Figura 32 - Ubicación de las dos bajantes específicas .....                               | 39 |
| Figura 33 - Diseño de la puesta a tierra .....                                            | 41 |
| Figura 34 - Localización de la instalación de puesta a tierra.....                        | 42 |
| Figura 35 - Mapa nivel isoceraunico .....                                                 | 47 |
| Figura 36 - Ubicación estructura CDV .....                                                | 48 |

## ÍNDICE TABLAS

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 - Radio de la esfera rodante en función de la clase de SPCR .....                     | 13 |
| Tabla 2 - Tamaño de la malla en función de la clase de SPCR.....                              | 13 |
| Tabla 3 - Espesores de distintos materiales para ser considerados componentes naturales ..... | 15 |
| Tabla 4 - Secciones y dimensiones para diferentes materiales de las bajantes.....             | 16 |
| Tabla 5 - Nivel de tensión soportado en función de la tensión nominal de la instalación.....  | 22 |
| Tabla 6 - Resistividad del terreno en función de la profundidad.....                          | 31 |
| Tabla 7 - Resistividad y profundidad del terreno modelizado .....                             | 33 |
| Tabla 8 – Configuración conductores de bajada .....                                           | 36 |
| Tabla 9 - Sección mínima para una varilla de aluminio.....                                    | 36 |
| Tabla 10 - Sección mínima para una pletina de acero galvanizado en caliente.....              | 37 |
| Tabla 11 - Puntos de fijación sugeridos .....                                                 | 39 |

## 1.- OBJETO

El objeto de la presente memoria es evaluar el diseño e implantación del sistema integral de protección contra el rayo de las dependencias e instalaciones del radar meteorológico Creu Del Vent CDV, Montmaneu (Anoia).

Este documento pretende:

- Modelizar y diseñar el sistema de protección contra el rayo en función de las características de la instalación, asegurando que tanto el modelo a implantar como las posibles actuaciones a realizar son los correctos para el óptimo funcionamiento para el cual están destinados.
- Establecer una guía de actuación y determinar las medidas a adoptar con la finalidad de asegurar una protección estadísticamente eficaz y proporcionada de las instalaciones según los estándares normativos.

En Terrassa a 29 de Julio de 2025



## 2.- ANTECEDENTES

### 2.1.- DATOS EMPLAZAMIENTO

El radar meteorológico de la Creu del Vent se ubica en el municipio de Montmaneu cercano a la Panadella, Latitud 41,601800° Longitud 1,402755°



*Figura 1 - Ubicación radar CDV*

### 3.- ÁMBITO NORMATIVO

#### 3.1.- TÉCNICO

- **CTE DB SUA-08:** Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Seguridad y Utilización. Seguridad frente al riesgo derivado de la acción del rayo.

Documento normativo en el que se establecen, entre otras, las exigencias en materia de seguridad contra incendios para limitar los riesgos de electrocución e incendio por caída de rayo.

Contempla los modelos de protección proporcionados por varillas simples, mallas de conductores y pararrayos PDC's, así como las medidas a adoptar en el sistema interno

Obligatorio desde el 2006 para todas las obras de nueva construcción, ampliación, modificación, reforma, cambio de uso u obras que afecten a los elementos objeto de protección. No afecta a edificaciones anteriores a ese año.

- **UNE EN 62305-2:2012:** Protección contra el rayo. Parte 2: Evaluación del riesgo.

Evaluación del riesgo en una estructura o en un servicio por la acción de la descarga a tierra, seleccionando las medidas de protección adecuadas para reducir el límite de riesgo a valores tolerables.

- **UNE EN 62305-3:2011:** Protección contra el rayo. Parte 3: Daño físico a estructuras y riesgo humano

Trasposición de una norma europea, que contempla los modelos de protección proporcionados por varillas simples, mallas de conductores, catenarias y sus sistemas de instalación y que aplica al diseño, instalación, inspección, mantenimiento e implantación de medidas de protección contra los daños a seres vivos por tensiones de paso y contacto en las instalaciones de protección contra el rayo.

También contempla el uso de estructuras en función de su geometría, dimensiones y características materiales como componentes naturales de captación, conducción y dispersión a tierra de la corriente del rayo ante un impacto directo en la estructura.

- **UNE EN 62305-4:2011:** Protección contra el rayo: Parte 4: Sistema eléctricos y electrónicos en estructuras.

Proporciona información para el diseño, instalación, inspección, mantenimiento y ensayo de un conjunto de medidas de protección contra el impulso electromagnético del rayo en los sistemas eléctricos y electrónicos de las estructuras.

- **UNE EN 62561.** Componentes de protección contra el rayo (CPCR).

Serie de 7 normas en las que se establecen los requisitos y ensayos que deben justificar los diferentes componentes que conforman los sistemas de protección contra el rayo.

- ✓ **UNE EN 62561-1:** Componentes de protección contra el rayo (CPCR). Requisitos para los componentes de protección

- ✓ **UNE EN 62561-2:** Componentes de protección contra el rayo (CPCR). Requisitos para los conductores y electrodos de tierra.
- ✓ **UNE EN 62561-4:** Componentes de protección contra el rayo (CPCR). Requisitos para las fijaciones del conductor.
- **UNE-CLC/TS 61643-12.** Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias de baja tensión. Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias conectados a sistemas eléctricos de baja tensión.

Especificación técnica de los principios de selección, funcionamiento, ubicación y coordinación de los dispositivos de protección contra transitorios.

- **UNE-HD 60364-4-443.** Instalaciones eléctricas de baja tensión. Protección contra sobretensiones de origen atmosférico o debido a conmutación.

Especifica requisitos para la protección de instalaciones eléctricas contra las sobretensiones transitorias de origen atmosférico transmitidas por el sistema de distribución de alimentación.

- **Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.** Instrucción Técnica Complementaria ITC BT 23. Protección contra sobretensiones.

Instrucción que trata de la protección de las instalaciones eléctricas interiores contra las sobretensiones transitorias que se transmiten por las redes de distribución y que se originan fundamentalmente por descargas atmosféricas y conmutaciones de redes.

- **Guía de aplicación del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.** Instrucción Técnica Complementaria ITC BT 23. Protección contra sobretensiones.

Guía técnica, de carácter no vinculante, aprobada por la Dirección General de Política Tecnológica, cuyo objeto es facilitar la aplicación práctica de las exigencias que establece el Reglamento y sus instrucciones técnicas complementarias.

### 3.2.- PREVENCIÓN Y SEGURIDAD

- **R.D. 1215/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. Anexo 2. Artículo 16.**

Los equipos de trabajo que puedan ser alcanzados por los rayos durante su utilización, deberán estar protegidos contra sus efectos por dispositivos o medidas adecuadas

- **R.D. 1/1994 Ley General de la Seguridad Social:** Real Decreto 1/1994 de 20 de Junio de 1994. Capítulo III. Acción protectora. Sección 1ª. Contingencias comunes. Artículo 115. Concepto del accidente del trabajo

Se define el concepto accidente del trabajo como toda lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o por consecuencia del trabajo que ejecute por cuenta ajena y se establecen los casos considerados como accidente del trabajo

No se considera al rayo como fuerza mayor extraña al trabajo. Por tanto, sus efectos pueden tener consideración de accidente de trabajo.

- **LEY 31/1995 Prevención de Riesgos Laborales.**

Se establece que el empresario debe realizar una Evaluación Inicial de Riesgos en la que se determina que puede causar daños, que riesgos se pueden eliminar (reducir) y que medidas preventivas se deben adoptar.

#### **4.- SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO.**

##### **4.1.- INTRODUCCIÓN**

Un sistema de protección contra el rayo está formado por un sistema externo y un sistema interno de protección.

Un **sistema externo de protección contra el rayo** es la parte de la instalación destinada a reducir los riesgos de daños físicos debidos a los impactos directos de rayo contra las estructuras, y tiene como finalidad:

- interceptar las descargas de los rayos (mediante los dispositivos de captación que pueden estar formados por puntas, mallas, hilos de catenaria o elementos metálicos de la propia estructura siempre que reúnan unas condiciones mínimas exigibles.
- conducir, con seguridad, la corriente de los rayos desde el sistema de captación hasta el sistema de puesta a tierra (mediante los conductores de bajada o elementos metálicos de la propia estructura);
- garantizar la dispersión de la corriente de la descarga electroatmosférica a tierra (mediante la instalación de un sistema de puesta a tierra compuesto por un conjunto de electrodos que proporcionan un contacto eléctrico directo con el terreno).

Aunque documentos normativos a nivel internacional determinan:

- que no puede evitarse la formación y descarga del rayo
- que la ejecución de las instalaciones de protección no puede, como ocurre en todo proceso en el que intervienen fenómenos naturales, asegurar la protección absoluta de estructuras persona y objetos

una instalación compuesta por los componentes anteriormente citados y ejecutada según las prescripciones normativas, aumenta la probabilidad de realizar la descarga a tierra de una manera efectiva, reduciendo de forma significativa el riesgo de daño debido a impactos de rayo.

A su vez, para conseguir una protección efectiva ante los efectos secundarios asociados al fenómeno del rayo, debe preverse una serie de medidas complementarias que aseguren que, mientras se intercepta, conduce y dispersa la descarga, se mantiene el mismo potencial entre los diferentes elementos metálicos existentes en la estructura, con la finalidad de evitar la formación de arcos eléctricos.

Un sistema externo de protección contra el rayo puede estar diseñado como instalación o elemento integrado a la estructura a proteger. De esta idea parte el concepto de *componente natural* en una instalación de pararrayos, definiéndose como aquel elemento conductor que, no siendo instalado específicamente para la protección contra el rayo, puede utilizarse como complemento del sistema de protección, o podría cumplir las funciones de una o más partes del sistema de protección contra el rayo.

Los sistemas externos de protección contra el rayo se pueden clasificar en:

- Según el modelo de protección:
  - **Sistemas Activos** (Pararrayos con Dispositivo de Cebado): Sistemas de protección contra el rayo que fomentan la disrupción del arco eléctrico, favoreciendo la descarga del rayo en un punto previamente determinado (pararrayos).
  - **Sistemas Pasivos**: Sistemas de protección contra el rayo que no fomentan la disrupción del arco eléctrico y únicamente interceptarán el rayo si hubiera de impactar sobre ellos.
- Según su ubicación:
  - **Sistema de Protección contra el Rayo Aislado**: Sistema de protección con un sistema de captura y un sistema de conductores de bajada posicionados de tal manera que el trayecto de la corriente del rayo no está en contacto con la estructura a proteger
  - **Sistema de Protección contra el Rayo no Aislado**: Sistema de protección con un sistema de captura y un sistema de conductores de bajada posicionados de tal manera que el trayecto de la corriente del rayo puede estar en contacto con la estructura a proteger

Un **sistema interno de protección contra el rayo** es la parte de la instalación formada por conexiones equipotenciales y/o por aislamiento eléctrico del sistema de protección contra los efectos del impulso electromagnético del rayo. Está destinado a proteger de los efectos derivados de las descargas electroatmosféricas a los equipos eléctricos y electrónicos ante las corrientes inducidas o conducidas.

Las medidas a adoptar pueden circunscribirse en la equipotencialidad a través de la conexión directa o mediante vía de chispas entre los diferentes elementos metálicos de la estructura y/con el sistema de protección o a la implantación de dispositivos de protección contra transitorios, que protejan las líneas de energía de los equipos (o de señal o datos), de las descargas directas o las

Las uniones equipotenciales pueden estar realizadas mediante:

- Conductores equipotenciales
- Dispositivos de Protección contra Sobretensiones, cuando no se pueden realizar conexiones directas.

## **4.2.- SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO**

### **4.2.1.- MODELOS DE PROTECCIÓN**

La finalidad de un Sistema Externo de Protección contra el Rayo es la protección satisfactoria contra la descarga electroatmosférica directa tanto en estructuras (edificios, instalaciones fijas) como en zonas abiertas (zona de almacenamiento ...).

El procedimiento para la modelización del sistema de protección se inicia con la evaluación del índice de riesgo y el cálculo del nivel de protección necesario, en función de las características específicas de la estructura a proteger, determinado, a posteriori, si el resultado del cálculo exige la necesidad de implantar un sistema de protección o adoptar medidas complementarias.

El diseño de un Sistema Externo de Protección contra el Rayo y el modelo a implantar dependerá del volumen a proteger, geometría y dimensiones de la estructura y la ubicación de los dispositivos.

Se pueden aplicar diversos modelos de protección, que vendrán determinados por las características de los edificios o estructuras, y que definirán la tipología de los sistemas de captación, el número y ubicación de los componentes del sistema de protección.

Los modelos de protección aceptados y normalizados son:

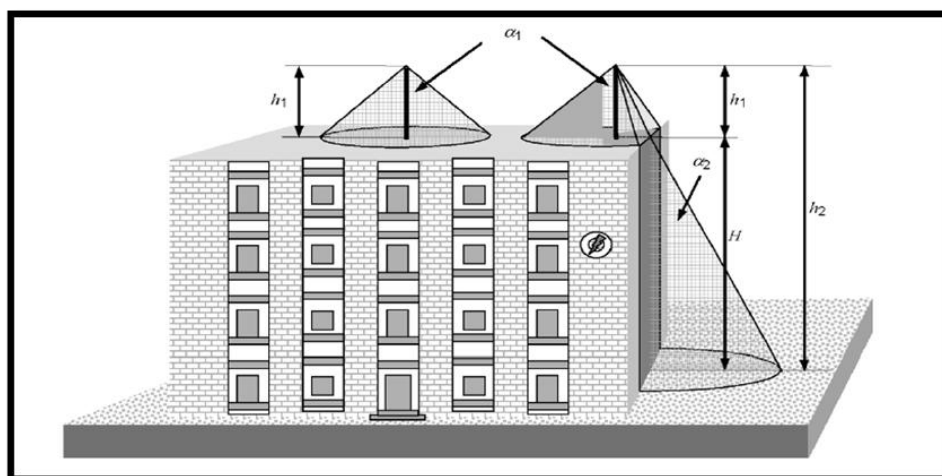
- Modelo del ángulo de protección
- Modelo electrogeométrico de la esfera rodante
- Modelo de la malla conductora
- Modelo de la Protección Activa

Y determinan los diferentes sistemas de captación que proporcionan la modelización en la protección:

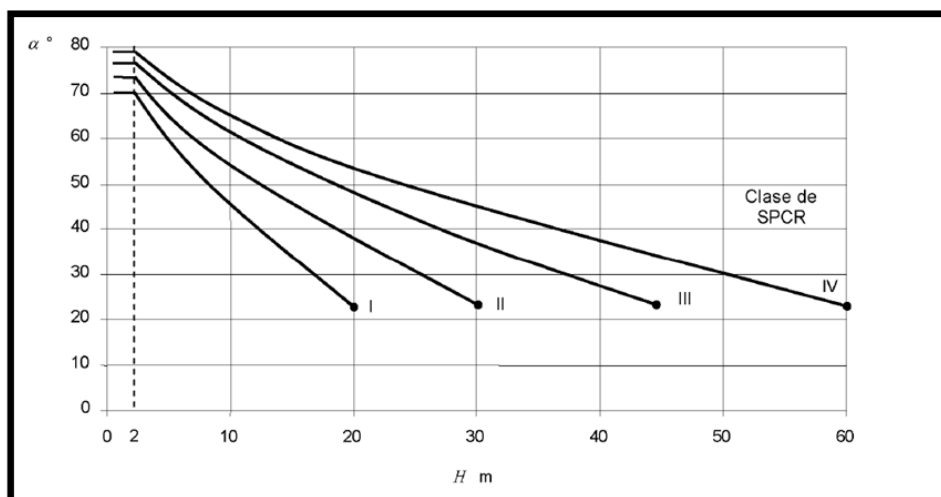
- Puntas Franklin o varillas simples
- Cables de catenaria
- Conductores mallados
- Pararrayos con Dispositivo de Cebado

#### 4.2.1.1.- MÉTODO DEL ÁNGULO DE PROTECCIÓN

Adecuado para los edificios con formas simples o para partes de estructuras grandes; pero está sometido a limitaciones, (no es apropiado para estructuras cuya altura sea superior al radio de la esfera ficticia que le corresponda en función de su nivel de protección).



**Figura 2 - Ejemplo del método del ángulo de protección**



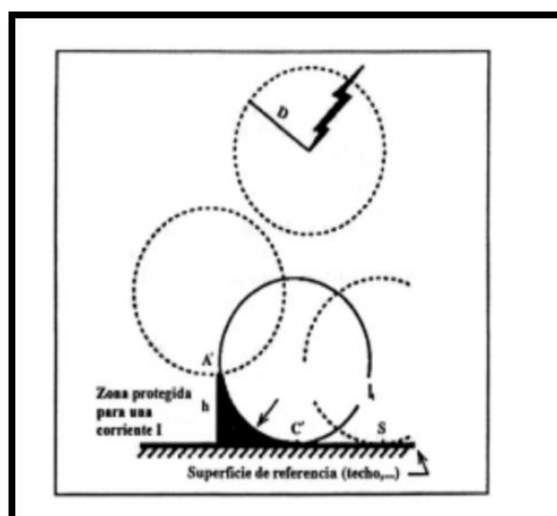
**Figura 3 - Ángulo de protección en función de la diferencia de cota**

El volumen protegido está formado por la superficie de referencia y la superficie generada por una línea que, pasando por el extremo del dispositivo captador, gire formando un ángulo  $\alpha$  con él.

#### 4.2.1.2.- MÉTODO ELECTROGEOMÉTRICO DE LA ESFERA RODANTE

Apropiado para estructuras de formas complejas. Método desarrollado por la industria de distribución eléctrica.

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



**Figura 4 - Método electrogeométrico de la esfera rodante**

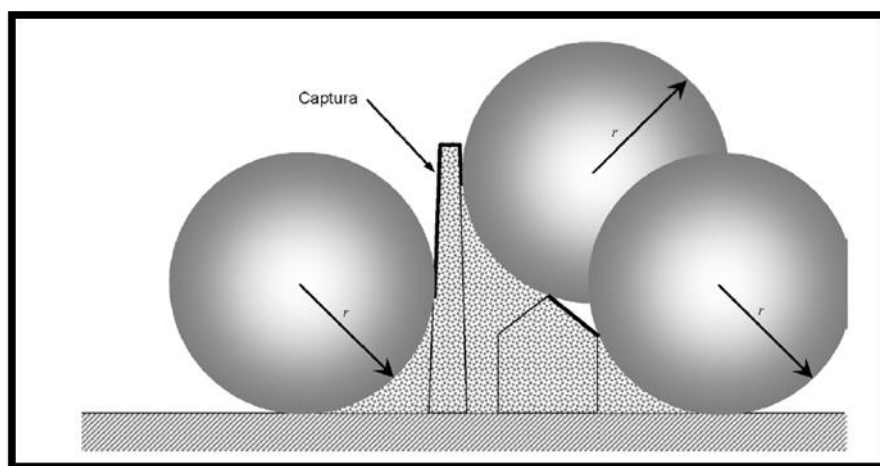
El radio de la esfera rodante, en función del Nivel de Protección requerido, queda determinado por la siguiente tabla:

| CLASE SPCR | RADIO ESFERA RODANTE (m) |
|------------|--------------------------|
| I          | 20                       |
| II         | 30                       |
| III        | 45                       |
| IV         | 60                       |

**Tabla 1 - Radio de la esfera rodante en función de la clase de SPCR**

El volumen protegido queda definido al hacer rodar una esfera de radio  $R$  sobre el edificio. Las zonas que puedan ser tocadas por la esfera, son susceptibles de ser alcanzados por la descarga, las zonas que no lleguen a ser tangentes con la esfera quedarán protegidas.

El emplazamiento del sistema de captura es adecuado si ningún punto de la estructura protegida está en contacto con una esfera " $r$ ", rodando alrededor y en la parte superior de la estructura en todas las direcciones posibles. De esta manera, la esfera solamente toca el sistema de captura.



**Figura 5 - Ejemplo método electrogeométrico de la esfera rodante**

#### 4.2.1.3.- MÉTODO DE LA MALLA

Apropiado para superficies planas.

El volumen protegido queda definido por una malla rectangular de dimensiones indicadas en la siguiente tabla:

| CLASE SPCR | RADIO ESFERA RODANTE | TAMAÑO DE MALLA |
|------------|----------------------|-----------------|
| I          | 20                   | 5x5             |
| II         | 30                   | 10x10           |
| III        | 45                   | 15x15           |
| IV         | 60                   | 20x20           |

**Tabla 2 - Tamaño de la malla en función de la clase de SPCR**



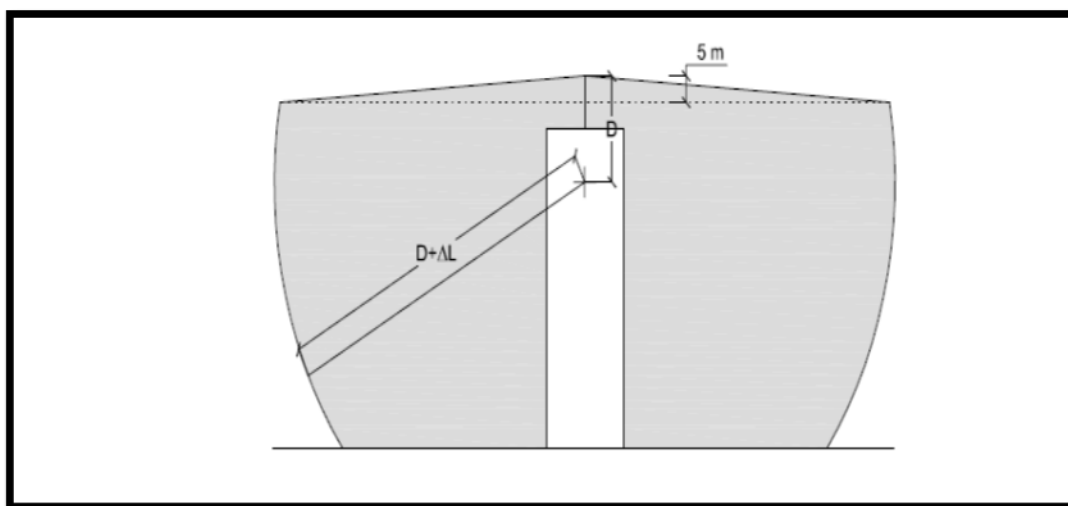
**Figura 6 - Ejemplo método de la malla**

#### **4.2.1.4.- PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO (PDC)**

Un PDC se caracteriza por su avance en el cebado. Está diseñado para reducir el tiempo medio estadístico asociado al trazador ascendente, presentando una ganancia en el instante de cebado respecto al pararrayos normal.

El volumen protegido por un PDC queda definido por:

- Bajo el plano horizontal situado a 5 m por debajo de la punta, el volumen protegido es el de una esfera cuyo centro se sitúa en la vertical de la punta a una distancia  $D$  y radio en función de las características del dispositivo captador.
- Por encima, del plano, el volumen protegido es el de un cono definido por la punta de captación y el círculo de intersección entre el plano y la esfera.



**Figura 7 - Volumen protegido por un PDC**

Siendo:

R: Es el radio de la esfera en m, que define la zona protegida

D: Es la distancia en m, del nivel de protección

20 m. Para un nivel de protección I.

30 m. Para un nivel de protección II.

45 m. Para un nivel de protección III.

60 m. Para un nivel de protección IV.

$\Delta L$ : Distancia en m, en función del tiempo de avance en el cebado de  $\Delta t$  del pararrayos en  $\mu s$ . Se adoptará

$\Delta L = \Delta t$  para valores de  $\Delta t$  inferiores o iguales a 60  $\mu s$ , y  $\Delta L = 60 \mu s$  para valores de  $\Delta t$  superiores.

#### 4.2.1.5.- COMPONENTES NATURALES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO

Los documentos normativos introducen el concepto de componente natural para denominar a aquellos componentes conductores no instalados específicamente para la protección contra el rayo, pero que pueden utilizarse como complemento del sistema de protección y en algunos casos, pueden cumplir las funciones de una o más partes del sistema.

- Pueden considerarse como componentes naturales de un sistema de captación:
  - Las chapas metálicas que cubren la estructura a proteger siempre y cuando:
    - ✓ La continuidad entre las diferentes partes esté realizada de forma duradera (mediante soldadura, prensado, cosido, atornillado o bulonado)
    - ✓ No estén recubiertas de material aislante
    - ✓ El espesor de la chapa metálica no sea inferior a "t".

| Clase de SPCR                                                                                                                            | Material                        | Espesor <sup>a</sup><br>t<br>mm | Espesor <sup>b</sup><br>t'<br>mm |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| I a IV                                                                                                                                   | Plomo                           | —                               | 2,0                              |
|                                                                                                                                          | Acero (inoxidable, galvanizado) | 4                               | 0,5                              |
|                                                                                                                                          | Titano                          | 4                               | 0,5                              |
|                                                                                                                                          | Cobre                           | 5                               | 0,5                              |
|                                                                                                                                          | Aluminio                        | 7                               | 0,65                             |
|                                                                                                                                          | Cinc                            | —                               | 0,7                              |
| <sup>a</sup> t previene de las perforaciones, puntos calientes o inflamaciones.                                                          |                                 |                                 |                                  |
| <sup>b</sup> t' sólo para chapas metálicas si no es importante prevenir perforaciones, problemas de puntos calientes o de inflamaciones. |                                 |                                 |                                  |

**Tabla 3 - Espesores de distintos materiales para ser considerados componentes naturales**

- Los componentes metálicos de construcción situados por debajo de los tejados no metálicos, siempre que sea aceptable el daño a esta parte no metálica del tejado.
- Partes metálicas tales como ornamentaciones, reja, tuberías... de secciones no inferiores a las que se especifican en las normas para sistemas de captación

- Tuberías metálicas y depósitos situados en el tejado, siempre y cuando estén contruidos con materiales de secciones y espesores según la tabla anterior.
- Tuberías metálicas y depósitos que contengan mezclas combustibles o explosivas, siempre y cuando estén contruidos con materiales de espesores no inferiores a los valores apropiados de “t” de la tabla anterior y que el calentamiento de la superficie interior en el punto de impacto no constituya un peligro.
- Las tuberías que transportan mezclas combustibles o explosivas no deben considerarse como componentes naturales de un sistema de captación si, en las bridas, las juntas no son metálicas o si las bridas no están conectadas equipotencialmente de manera apropiada.
- Pueden considerarse como componentes naturales de un sistema de conductores de bajada:
  - Las instalaciones metálicas siempre y cuando:
    - ✓ La continuidad eléctrica está realizada de forma duradera, realizando conexiones directas mediante soldadura, prensado, sujeción con abrazaderas, cosido, atornillado o bulonado.
    - ✓ Las dimensiones son iguales, al menos, a las indicadas en la siguiente tabla para los conductores de bajada y los espesores no sean inferiores a 0,5 mm.

| Material                                                              | Configuración           | Sección <sup>a</sup><br>mm <sup>2</sup> | Dimensiones recomendadas                            |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Cobre,<br>Cobre bañado en<br>estaño <sup>b</sup>                      | Pletina                 | ≥ 50                                    | 2 mm de espesor                                     |
|                                                                       | Redondo <sup>d</sup>    | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Trenzado <sup>d,e</sup> | ≥ 50                                    | cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm <sup>f</sup> |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 176                                   | 15 mm de diámetro                                   |
| Aluminio                                                              | Pletina                 | ≥ 70                                    | 3 mm de espesor                                     |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Trenzado <sup>e</sup>   | ≥ 50                                    | cada hilo un diámetro mínimo de 1,63 mm             |
| Cobre con<br>revestimiento de<br>aleación de<br>aluminio <sup>g</sup> | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
| Aleación de<br>aluminio                                               | Pletina                 | ≥ 50                                    | 2,5 mm de espesor                                   |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Trenzado <sup>e</sup>   | ≥ 50                                    | cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm              |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 176                                   | 16 mm diámetro                                      |
| Acero galvanizado<br>en caliente                                      | Pletina                 | ≥ 50                                    | 2,5 mm de espesor                                   |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Trenzado <sup>e</sup>   | ≥ 50                                    | cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm              |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 176                                   | 15 mm diámetro                                      |
| Cobre con<br>revestimiento de<br>acero <sup>g</sup>                   | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Pletina                 | ≥ 50                                    | 2,5 mm de espesor                                   |
| Acero inoxidable <sup>c</sup>                                         | Pletina                 | ≥ 50                                    | 2 mm de espesor                                     |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Trenzado <sup>e</sup>   | ≥ 70                                    | cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm              |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 176                                   | 15 mm diámetro                                      |

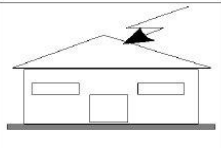
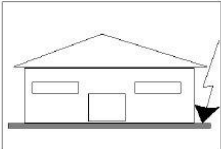
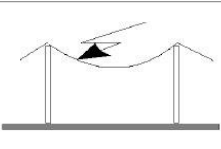
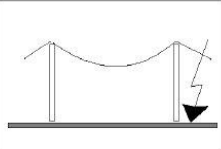
**Tabla 4 - Secciones y dimensiones para diferentes materiales de las bajantes**

### 4.3.- SISTEMA INTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO

Un sistema interno de protección contra el rayo es la parte de la instalación destinada a proteger de los efectos derivados de las descargas electroatmosféricas a los equipos eléctricos y electrónicos.

#### 4.3.1.- EFECTOS DE LAS DESCARGAS ELECTROATMOSFÉRICAS

Como indica la norma UNE EN 62305-1:2011 “Protección contra el rayo: Principios generales”, una descarga electroatmosférica a tierra puede producir diferentes efectos, en función del punto de impacto.

| Punto de impacto                |                                                                                      |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| En la estructura                |    |
| Cerca de la estructura          |   |
| Línea conectada a la estructura |  |
| Cerca de una línea              |  |

**Figura 8 - Puntos de impacto de las descargas electroatmosféricas**

Tales efectos pueden ser:

- **Sobretensión conducida:** Cuando se produce un impacto directo de rayo bien sobre la propia estructura o bien sobre una línea aérea, generando una onda de corriente que se propaga a ambas partes del punto, pudiendo extenderse a varios kilómetros.
- **Sobretensión inducida:** El campo electromagnético generado por un impacto indirecto de rayo (próximo), induce corrientes transitorias que son transmitidas al interior de las instalaciones.

Como referencia, indicar que el valor de intensidad media de un rayo en la península es de 35 kA que supondría un campo electromagnético de  $60.25 \times 10^{-3} \text{ T}$  a una distancia de 10m y de  $60.25 \times 10^{-5} \text{ T}$  para una distancia de 100 m. Para una intensidad de 100 kA (5% de los rayos), el campo magnético generado a 10 m sería de 2,02 T y a 100 m de  $2 \times 10^{-2} \text{ T}$ .

- Aumento de potencial del terreno: En el impacto de un rayo sobre el terreno o sobre la propia estructura conlleva la elevación del potencial de tierra. La Guía de Aplicación del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión estima que para separaciones de hasta 50 m de distancia se pueden producir afectaciones sobre las canalizaciones subterráneas o las puestas a tierra, elevando la tensión sobre las conexiones a tierra de las instalaciones.

Los rayos pueden producir fallos en los sistemas eléctricos y electrónicos debidos a sus efectos electromagnéticos, por las siguientes vías:

- Ondas tipo impulso, conducidas o inducidas, transmitidas a los aparatos a través de los cables de conexión
- Efectos directos de los campos radiados sobre los aparatos, despreciables si los equipos cumplen con los ensayos establecidos en las normas CEM

Las ondas tipo impulso pueden producirse en una estructura, externa o internamente:

- Las ondas tipo impulso externas a la estructura son producidas por las descargas de rayos que impactan en las líneas entrantes o en el terreno cerca de las líneas, y son transmitidas por medio de estas líneas a los sistemas eléctricos y electrónicos
- Las ondas tipo impulso internas a la estructura están producidas por impactos directos en la estructura o en el terreno próximo

El acoplamiento puede producirse por diferentes mecanismos:

- Acoplamiento resistivo. Por ejemplo, la impedancia de puesta a tierra del sistema de puesta a tierra o la resistencia de la pantalla de los cables
- Acoplamiento inductivo o por campo magnético, producido por los bucles de los cables en los sistemas eléctricos y electrónicos o por inductancias de los conductores equipotenciales.
- Acoplamiento por campo eléctrico, despreciable comparado con el campo magnético

#### **4.3.2.- MEDIDAS BÁSICAS DE PROTECCIÓN**

Las medidas básicas para un sistema de protección contra las ondas tipo impulso y los campos electromagnéticos englobarían:

- Puesta a tierra y equipotencialidad. Conducción y dispersión de la corriente del rayo a tierra y equipotencialidad para reducir las diferencias de potencial y reducir el campo magnético
- Apantallamiento de las líneas internas, mediante cables o conductos apantallados, minimizando las ondas tipo impulso internas inducidas
- Trazado de las líneas internas, minimizando los bucles inductivos y reduciendo las ondas tipo impulso internas
- La protección coordinada de dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias, limitando los efectos de las ondas tipo impulso interiores y exteriores.
- Protección mediante interfases aislantes

#### 4.3.2.1.- PUESTA A TIERRA Y EQUIPOTENCIALIDAD

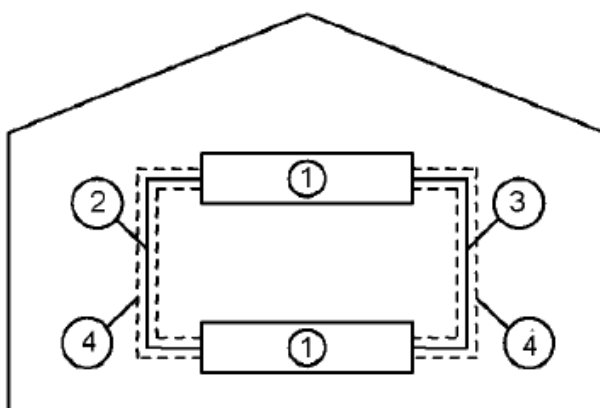
En el ámbito de los sistemas de protección contra el rayo:

- A fin de minimizar cualquier sobretensión peligrosa cuando se dispersa en el terreno la corriente del rayo (comportamiento a alta frecuencia), la forma y las dimensiones de los electrodos de puesta a tierra son los criterios de importancia.
- Los sistemas de puesta a tierra deben:
  - ✓ Conducir la corriente del rayo a tierra
  - ✓ Realizar la conexión equipotencial entre los conductores de bajada
  - ✓ Controlar la tensión en las proximidades de las paredes conductoras de los edificios
- En general, se recomienda una resistencia de tierra de valor bajo (si es posible inferior a  $10 \Omega$  cuando se mide a baja frecuencia).
- Cuando no se pueda conseguir un valor de resistencia bajo, se debe justificar una mínima longitud de electrodo enterrado que garantice un paso aceptable a la corriente del rayo.
- Es preferible y adecuada, en todos los casos, una sola puesta a tierra integrada en la estructura.

Se necesita una red de baja impedancia para evitar diferencias de potencial peligrosas entre los equipos y reducir el campo magnético.

#### 4.3.2.2.- APANTALLAMIENTO Y TRAZADO DE LAS LÍNEAS INTERNAS

Los cables que circulan entre estructuras separadas necesitan protección, y para ello se emplean bandejas o canalizaciones metálicas cerradas. Estos conductos deberían estar conectados a ambos extremos a tierra.

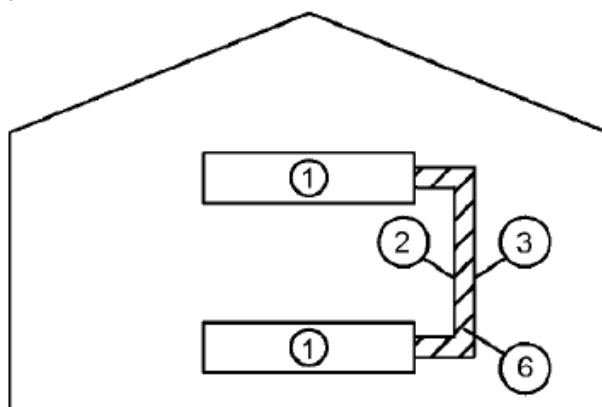


Leyenda

- |   |                                    |   |                                  |
|---|------------------------------------|---|----------------------------------|
| 1 | Dispositivo en envolvente metálica | 4 | Bucle de inducción               |
| 2 | Línea de potencia                  | 5 | Apantallamiento espacial externo |
| 3 | Línea de datos                     | 6 | Pantalla metálica de la línea    |

**Figura 9 - Apantallamiento de las líneas internas**

El trazado apropiado de las líneas internas minimiza los bucles inductivos y reduce la formación de sobretensiones internas tipo impulso. La superficie de los bucles puede minimizarse haciendo que el trazado de los cables esté próximo a los componentes que han sido puestos a tierra y o trazando las líneas de potencia y de señal juntas.



#### Leyenda

|   |                                   |   |                                  |
|---|-----------------------------------|---|----------------------------------|
| 1 | Dispositivo en envoltura metálica | 4 | Bucle de inducción               |
| 2 | Línea de potencia                 | 5 | Apantallamiento espacial externo |
| 3 | Línea de datos                    | 6 | Pantalla metálica de la línea    |

**Figura 10 - Trazado de las líneas internas**

#### 4.3.2.4.- PROTECCIÓN MEDIANTE DISPOSITIVOS CONTRA SOBRETENSIONES

Cuando no existan medidas de protección primarias, tales como el trazado y apantallamiento de las líneas y la equipotencialidad, se deben instalar protectores contra transitorios en la entrada de los edificios/instalaciones, y en función de la distancia con ellos, en los equipos.

Las corrientes tipo rayo son las sobretensiones que llevan asociada mayor cantidad de energía, siendo la base para la selección de las clases y parametrización de los ensayos. Generalmente las mayores sobrecargas se producen en la instalación eléctrica externa a la estructura. Dentro, las sobrecargas disminuyen cuando se desplaza desde la entrada hacia los circuitos internos.

Las causas más frecuentes de aparición de sobretensiones transitorias de origen atmosférico son las siguientes:

- La caída de un rayo sobre la línea de distribución o en sus proximidades
- El funcionamiento de un sistema de protección externa contra descargas atmosféricas (pararrayos, puntas Franklin, jaulas de Faraday, etc.), situado en el propio edificio o en sus proximidades.
- La incidencia directa de una descarga atmosférica en el propio edificio, tanto más probable cuanto más alto sea éste, o en sus proximidades.

A estos efectos se considera proximidad una distancia de aproximadamente 50 m.

Los dispositivos contra transitorios se instalan en cascada (en coordinación energética), con el fin de que la parte de energía a la que esté sometido cada protector sea inferior o igual al nivel que es capaz de soportar.

En función de la ubicación de la instalación/equipo y del riesgo de incidencia de los efectos directos o indirectos de las descargas electroatmosféricas, tanto por impacto de rayos como por inducción electromagnética, se determina el protector/protectores a instalar, sus características y coordinación.

La necesidad de implantar dispositivos dependerá, según los documentos normativos, de:

- La densidad local de descargas a tierra o Nivel Isoceraunico (descargas por km<sup>2</sup> y año) correspondiente a la zona en la que se encuentra la estructura.
- Las características constructivas del edificio (dimensiones, materiales) y su relación con el entorno.
- Característica resistivimétrica del terreno.
- La exposición de la instalación eléctrica, incluyendo los servicios de entrada, en función, sobre todo, de la existencia de sistemas enterrados o aéreos (más expuestos y sensibles a los impactos directos e inducciones). Líneas subterráneas pueden contar con una longitud tal que amortigüe o atenúe las sobretensiones conducidas.
- La existencia de protección externa contra el rayo en los alrededores aumenta el riesgo
- La proximidad del transformador de MT/BT.

La incidencia que la sobretensión puede tener en la seguridad de las personas, instalaciones y equipos, así como su repercusión en la continuidad del servicio es función de:

- La coordinación del aislamiento de los equipos
- Las características de los dispositivos de protección contra sobretensiones, su instalación y su ubicación.
- La existencia de una adecuada red de tierras.

El valor medio del nivel isoceraunico puede extraerse de la información proporcionada por AEMET para el documento básico DB SUA-8 del Código Técnico de la Edificación, por la cual obtenemos un valor para la zona de Anoia es de **5 rayos/km<sup>2</sup>año**.

#### **4.3.2.4.1.- CATEGORÍA DE LAS SOBRETENSIONES.**

Las categorías de sobretensiones permiten distinguir los diversos grados de tensión soportada a las sobretensiones en cada una de las partes de la instalación, equipos y receptores. Mediante una adecuada selección de la categoría, se puede lograr la coordinación energética en el aislamiento necesario en el conjunto de la instalación, reduciendo el riesgo de fallo a un nivel aceptable y proporcionando una base para el control de la sobretensión.

Las categorías indican los valores de tensión soportada a la onda de choque de sobretensión que deben de tener los equipos, determinando, a su vez, el valor límite máximo de tensión residual que deben permitir los diferentes dispositivos de protección de cada zona para evitar el posible daño de dichos equipos.

La reducción de las sobretensiones de entrada a valores inferiores a los indicados en cada categoría se consigue con una estrategia de protección en cascada que integra tres niveles de protección: basta, media y fina, logrando de esta forma un nivel de tensión residual no peligroso para los equipos y una capacidad de derivación de energía que prolonga la vida y efectividad de los dispositivos de protección.

En la tabla siguiente se distinguen las cuatro 4 categorías de las sobretensiones, indicando en cada caso el nivel de tensión soportada a impulsos, en kV, según la tensión nominal de la instalación.

| TENSIÓN NOMINAL DE LA INSTALACIÓN |                      | TENSIÓN SOPORTADA A IMPULSOS 1,2/50 (kV) |               |              |             |
|-----------------------------------|----------------------|------------------------------------------|---------------|--------------|-------------|
| SISTEMAS TRIFÁSICOS               | SISTEMAS MONOFÁSICOS | CATEGORÍA IV                             | CATEGORÍA III | CATEGORÍA II | CATEGORÍA I |
| 230/400                           | 230                  | 6                                        | 4             | 2,5          | 1,5         |
| 400/690<br>1000                   | --<br>--             | 8                                        | 6             | 4            | 2,5         |

**Tabla 5 - Nivel de tensión soportado en función de la tensión nominal de la instalación**

- Categoría I**  
 Se aplica a los equipos muy sensibles a las sobretensiones y que están destinados a ser conectados a la instalación eléctrica fija. En este caso, las medidas de protección se toman fuera de los equipos a proteger, ya sea en la instalación fija o entre la instalación fija y los equipos, con objeto de limitar las sobretensiones a un nivel específico.
- Categoría II**  
 Se aplica a los equipos destinados a conectarse a una instalación eléctrica fija.
- Categoría III**  
 Se aplica a los equipos y materiales que forman parte de la instalación eléctrica fija y a otros equipos para los cuales se requiere un alto nivel de fiabilidad.
- Categoría IV**  
 Se aplica a los equipos y materiales que se conectan en el origen o muy próximos al origen de la instalación, aguas arriba del cuadro de distribución.

#### **4.3.2.4.2.- MODO DE FUNCIONAMIENTO**

Para instalaciones eléctricas, la filosofía general de funcionamiento de este tipo de dispositivos supresores situados en paralelo con el equipo que van a proteger es la siguiente: en estado normal, los elementos presentarán una impedancia lo más elevada posible de modo que su presencia no altere el funcionamiento de la línea.

Llegado un cierto nivel de tensión superior a la tensión nominal de la red, el protector pasa a ser de baja impedancia y deriva a tierra protegiendo así los equipos de la instalación.

Dos de los parámetros que determinarán los elementos que se van a colocar en la instalación son la Intensidad máxima de descarga ( $I_{m\acute{a}x}$ ) y la Tensión residual ( $U_p$ ). El primero de ellos,  $I_{m\acute{a}x}$ , es el valor de la corriente en Amperios que es capaz de descargar a tierra un protector sin resultar averiado, mientras que el segundo,  $U_p$ , es el valor máximo de la tensión en los bornes del descargador cuando fluye la corriente de descarga.

#### **4.3.2.4.3.- IMPLANTACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES TRANSITORIAS.**

Las características de las protecciones contra sobretensiones transitorias de origen atmosférico dependen de factores como:

- La naturaleza del sistema de distribución de la alimentación (enterrado o aéreo)
- La posible existencia de protección contra sobretensiones aguas arriba del origen de la instalación
- El nivel de tensión de alimentación

Debe proporcionarse protección contra sobretensiones transitorias cuando las consecuencias causadas por la sobretensión afecten a las siguientes situaciones controladas:

- La vida humana (servicios de seguridad, médicos...)
- Los servicios públicos
- La actividad comercial o industrial
- Los locales de pública concurrencia

Cuando una estructura esté equipada con un **sistema externo de protección contra el rayo**, se **protegerán** las instalaciones mediante **DPS de Tipo 1** en el origen de las mismas.

Será **recomendable** la implantación de protección en aquellas zonas con al menos 20 días de tormenta al año (Nivel isoceraunico de **2 rayos/km²año**); instalaciones exteriores expuestas (alumbrado exterior o fotovoltaicas); instalaciones con equipos sensibles e instalaciones ubicadas en un radio aproximado de 50 m alrededor de un sistema exterior de protección contra el rayo

Para los casos no incluidos en las situaciones controladas, debe realizarse un análisis de riesgos mediante el cual se determinará si se requiere protección contra sobretensiones transitorias de origen atmosférico

Mediante el método de análisis se evalúa el Nivel de Riesgo Calculado (NRC) a través del siguiente procedimiento:

$$NRC = \frac{f_{amb}}{L_p * N_g}$$

donde  $f_{amb}$  es un factor ambiental cuyos valores pueden ser:

- ✓ Entorno rural o suburbano:  $f_{amb} = 85 \times F$
- ✓ Entorno urbano:  $f_{amb} = 850 \times F$

tomándose

- ✓  $F$  como 1 para todas las instalaciones
- ✓  $N_g$  como la frecuencia de rayos a tierra (rayos por km² y año) correspondiente al emplazamiento de la línea de potencia o a la estructura conectada

y siendo

$$L_p = 2L_{pal} + L_{pci} + 0,4L_{pah} + 0,2 L_{pch}$$

tomando

- ✓  $L_{pal}$  como la longitud, en km, de la línea de baja tensión aérea
- ✓  $L_{pci}$  como la longitud, en km, de la línea de baja tensión enterrada
- ✓  $L_{pah}$  como la longitud, en km, de la línea de alta tensión aérea
- ✓  $L_{pch}$  como la longitud, en km, de la línea de alta tensión enterrada

Limitándose la longitud total a 1 km. Si se desconocen las longitudes de las redes de distribución, se tomará como L<sub>pal</sub> la distancia restante para alcanzar la longitud de 1 km.

Los días de tormenta

Finalmente,

$$L_p = (2 \times 0) + (0,02) + (0,4 \times 0,87) + (0,2 \times 0,11) = 0,39$$

$$NRC = \frac{85}{0,39 \times 5} = 43,58$$

Como  $NRC < 1000$ , se requiere protección contra sobretensiones transitorias de origen atmosférico

#### **4.3.2.5.- PROTECCION MEDIANTE INTERFASES AISLANTES**

Las interferencias por corrientes a frecuencia industrial a través de los equipos y de las líneas de señal conectadas pueden estar motivadas por grandes bucles o por la ausencia de una impedancia suficientemente baja en la red equipotencial. Para impedir estas interferencias (principalmente en redes TN-C), debe haber separación adecuada que se puede conseguir mediante:

- Transformadores de aislamiento
- Cables no metálicos de fibra óptica
- Acopladores ópticos

## 5.- REVISIÓN DE LAS INSTALACIONES EXISTENTES

### 5.1.- SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO

Actualmente el radomo no dispone de ningún dispositivo de protección externa contra el rayo.

### 5.2.- SISTEMA INTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO

Es la parte del sistema de protección contra el rayo formado por las conexiones equipotenciales y/o el aislamiento eléctrico del sistema externo de protección contra el rayo.

Según visita efectuada a las instalaciones e información proporcionada por la propiedad, detallamos las medidas de protección contra las sobretensiones transitorias ya implantadas:

- Puesta a tierra y equipotencialidad:
  - ✓ La instalación cuenta con una red general de puesta a tierra.



**Figura 11 - Red general de puesta a tierra**

Se realizaron las medidas del valor de resistencia de la puesta a tierra tanto en servicio como en independiente, con los resultados obtenidos a continuación:

- Valor de la resistencia de puesta a tierra en **servicio**: 0,542  $\Omega$
- Valor de la resistencia de puesta a tierra en **independiente**: 9,13  $\Omega$



**Figura 12 - Valores resistencia de puesta a tierra en servicio i independiente**

Se observan las conexiones equipotenciales realizadas con los elementos metálicos de la estructura, tales como las puertas y la escalera.



**Figura 13 - Conexiones equipotenciales**

- Protección coordinada de Dispositivos de Protección contra Sobretensiones transitorias

- ✓ Instalación eléctrica:

Las líneas aéreas tendidas en campo abierto suponen un alto riesgo de afectación ante descargas electroatmosféricas directas o indirectas (conducidas o inducidas). Las longitudes de cable enterrado cercanas a un kilómetro atenúan y reducen las sobretensiones conducidas.

- En este caso, se contempla una conversión de la línea aérea de alta tensión a línea subterránea de alta tensión hasta el centro de transformación. Desde dicho centro de transformación, ubicado a una distancia aproximada de 20 metros del radar, se distribuye mediante línea subterránea de baja tensión hasta el propio radar.



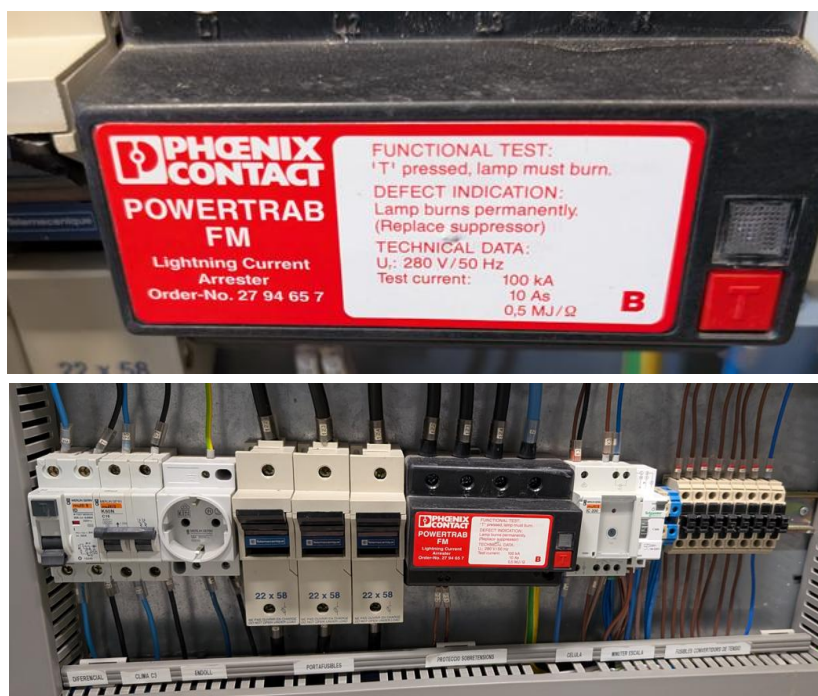
**Figura 14 - Conmutación de línea aérea a subterránea**

- El cuadro situado al lado del centro de transformación donde se ubica el contador no dispone de ningún protector contra sobretensiones transitorias.



**Figura 15 - Cuadro externo contador**

- La instalación está provista con protección para Cuadro General, con características:
- Ur: 280 V / 50 Hz
  - Test current: 100 kA  
10 As  
0,5 MJ /  $\Omega$



**Figura 16 - Protector contra sobretensiones**

### 5.3.- ESTUDIO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

#### 5.3.1.- METODO DE MEDIDA

Para medir la resistividad se ha aplicado el método de las 4 picas de Wenner. Se disponen de 4 sondas alineadas con una separación “a”, simétricas respecto a un punto en el cual se quiere medir la resistividad del suelo.

Esquema de medición del método de Wenner utilizado donde se muestra a la profundidad que se realiza la medida según la separación “a”.

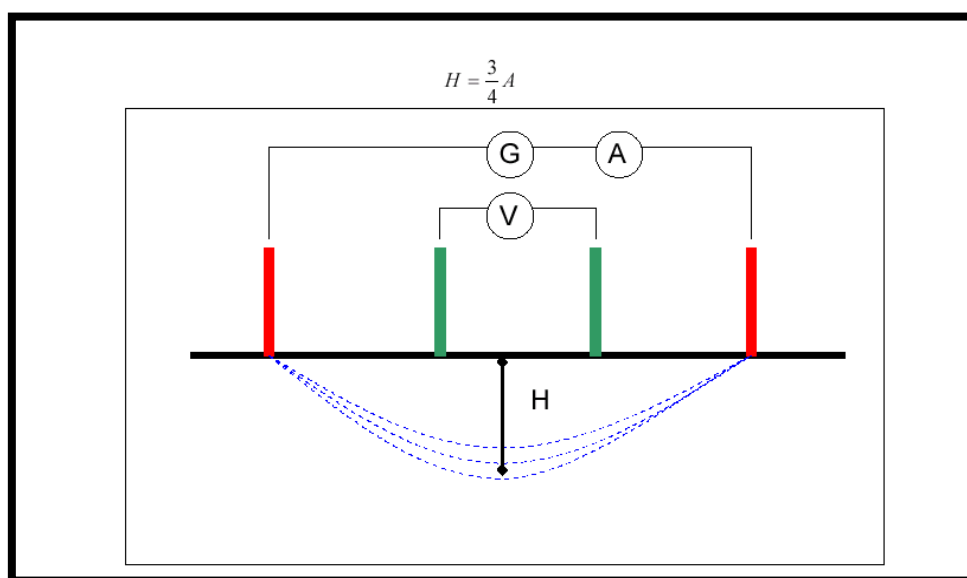


Figura 17 - Método de Wenner

#### 5.3.2.- EQUIPO UTILIZADO

**Marca:** Metrel

**Modelo:** Earth-Insulation tester

**Identificación:** 13201163 (IPC/M10)

**Fecha de calibración:** 29/01/2025

**Certificado:** C-11760.00042

**Estado de calibración:** Correcto.



**Figura 18 - Equipo utilizado en estudio resistividad**

### **5.3.3.- RESULTADOS OBTENIDOS**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en las mediciones efectuadas en campo. De acuerdo con lo establecido por la norma IEEE Std 80-2000: Guide for Safety in AC Substation Grounding, se considerará que un terreno presenta un comportamiento homogéneo cuando los valores de resistividad obtenidos no superen una desviación máxima del 30% entre el máximo y el mínimo. Por tanto, los valores de resistividad serán evaluados conforme a este criterio para determinar la homogeneidad del terreno.

En caso de que dicha condición no se cumpla, y por lo tanto no sea posible considerar el terreno como homogéneo, en función de las necesidades se deberá modelar el terreno como heterogéneo, bicapa o multicapa, a fin de representar adecuadamente su comportamiento eléctrico.

Se realizaron las mediciones de resistividad en la base de radar.



**Figura 19 - Zona estudio resistividad**

En la tabla a continuación se muestran los valores obtenidos para las diferentes profundidades:

| LONGITUD a [m] | PROFUNDIDAD [m] | RESISTIVIDAD [ $\Omega$ m] |
|----------------|-----------------|----------------------------|
| 1              | 0,75            | 647                        |
| 2              | 1.5             | 440                        |
| 4              | 3               | 324                        |
| 6              | 4.5             | 181.9                      |
| 8              | 6               | 148.6                      |
| 10             | 7.5             | 119.9                      |
| 12             | 9               | 119.8                      |
| 14             | 10.5            | 125.5                      |

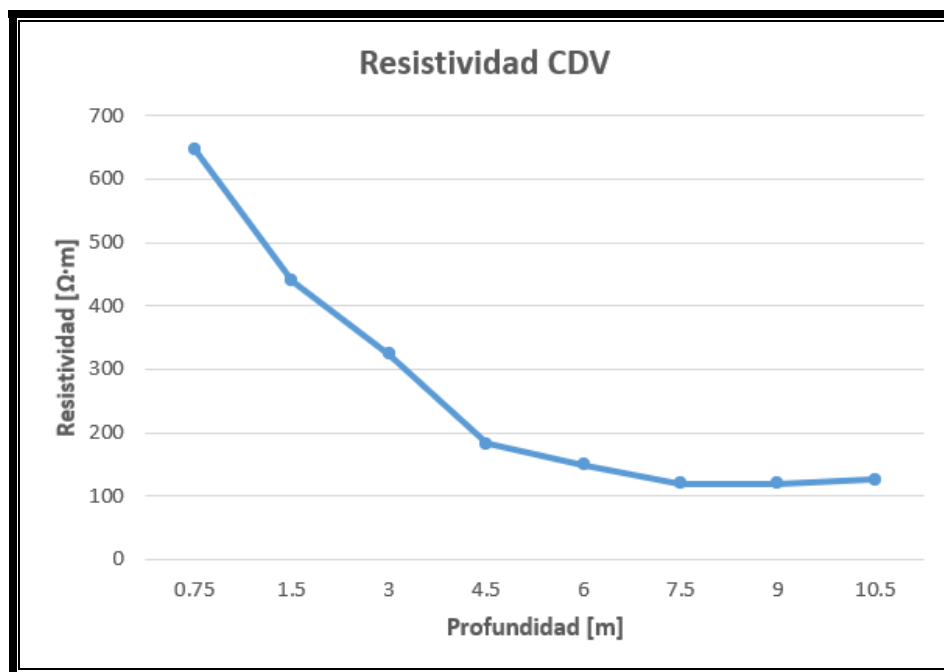
**Tabla 6 - Resistividad del terreno en función de la profundidad**

Se adjuntan imágenes de algunas de las medidas que se observarán en la tabla.



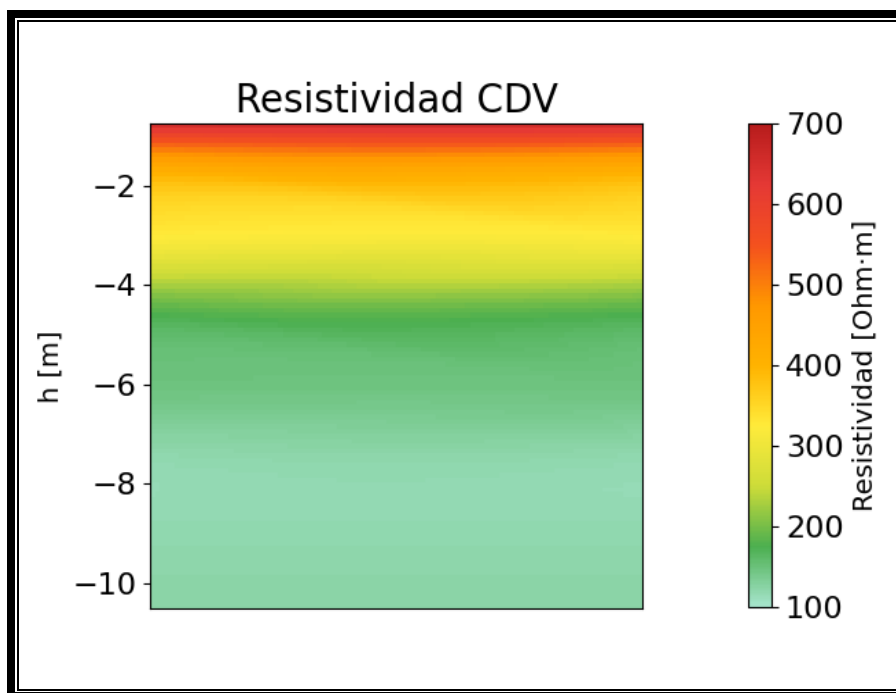
**Figura 20 - Valores estudio resistividad**

Se ha elaborado una gráfica en la que se representan los valores obtenidos en función de la profundidad.



**Figura 21 - Gráfico resistividad según la profundidad**

Además, se ha generado un mapa de calor del terreno con el objetivo de visualizar la distribución espacial de dichos valores, lo que permite analizar su evolución a lo largo del perfil vertical del terreno.



**Figura 22 - Mapa de calor resistividad según la profundidad**

### 5.3.4.- MODELIZACIÓN DEL TERRENO

Con estos datos, se puede considerar y modelar que el terreno en el cual se debe diseñar los nuevos sistemas de puesta a tierra es un terreno compuesto por 3 capas desde el punto de vista resistivimétrico.

Se observa que, en la primera capa, que va desde la cota 0 a la -1.5, encontramos un terreno que dispone de una resistividad elevada (recuperando los valores numéricos, situada en 647  $\Omega\text{m}$ ).

La segunda capa del terreno, compuesta entre la cota -1.5 y -4.5, el valor de resistividad es prácticamente la mitad respecto a la primera, y va bajando gradualmente (los valores se sitúan entre los 324 y 440  $\Omega\text{m}$ ).

Por último, existe una tercera capa, que es la más favorable desde el punto de vista resistivimétrico. Esta se encuentra a partir de la cota -4.5 m y los valores recogidos se sitúan entre los 120 y 180  $\Omega\text{m}$ .

Para poder modelizar de manera analítica el terreno, se realiza inicialmente una aproximación de los valores de  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  y sus respectivas profundidades  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ .

Para  $\rho_1$  se utilizará el primer valor medido de 647  $\Omega\text{m}$  y la profundidad  $h_1$  se establece a 1.5 m.

Para  $\rho_2$  se selecciona el valor obtenido mediante aplicar el método Box-Cox a los valores situados entre los valores que van de 1.5 hasta 4.5 m de profundidad.

El valor final obtenido es de 409  $\Omega\text{m}$  y dado que donde se realiza el cambio de capa a partir de los 4.5 m de profundidad, siendo este equivalente a considerar  $h_1+h_2$ , se puede establecer que  $h_2 = 4.5 - 1.5 = 3$  m.

Para  $\rho_3$  se selecciona el valor obtenido mediante aplicar el método Box-Cox a los últimos valores medidos.

El valor final obtenido es de 149  $\Omega\text{m}$  y la profundidad  $h_3$  se considera de valor infinito.

En resumen, el modelo propuesto es:

|          |          |
|----------|----------|
| $\rho_1$ | 647      |
| $h_1$    | 1.5      |
| $\rho_2$ | 409      |
| $h_2$    | 3        |
| $\rho_3$ | 149      |
| $h_3$    | $\infty$ |

**Tabla 7 - Resistividad y profundidad del terreno modelizado**

### 5.3.5.- CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD EQUIVALENTE

Con la modelización del terreno debidamente definida y los valores correspondientes obtenidos, se establece que se descartarán los electrodos superficiales, centrando el desarrollo exclusivamente en electrodos de tipo profundo. En consecuencia, las zonas de trabajo se limitarán a aquellas comprendidas dentro de la capa 3 del perfil del terreno.

Por tal motivo, se adopta como valor de resistividad equivalente del terreno el correspondiente a dicha capa, siendo este de **149  $\Omega\cdot\text{m}$** , al no considerarse las demás capas en el diseño del sistema de puesta a tierra.

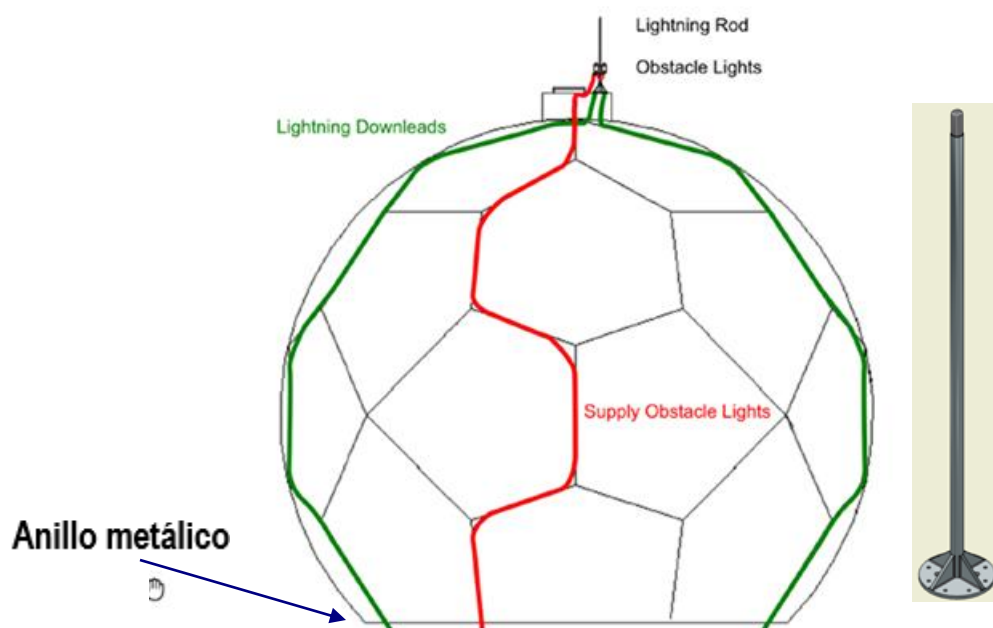
## 6.- DISEÑO DEL SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO.

### 6.1.- SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO

#### 6.1.1.- SISTEMA DE CAPTACIÓN

Conforme a la información proporcionada por la propiedad el sistema externo de protección contra el rayo diseñado por el fabricante del radomo dispondrá de un sistema pasivo no aislado mediante una punta Franklin de 1,5 metros de longitud ubicada en el punto más elevado, y de la cual partirán 2 bajantes conductoras interiores que descenderán hasta el anillo metálico de la base del radomo.

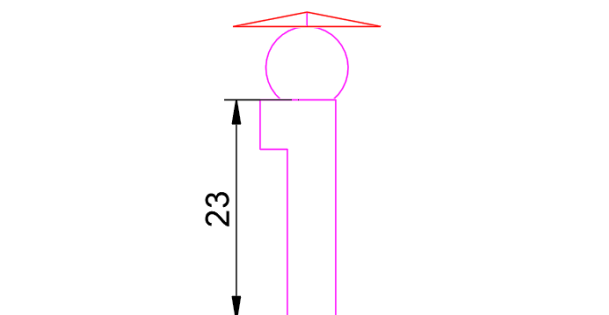
El diseño de dicha instalación viene dado por el fabricante del radomo.



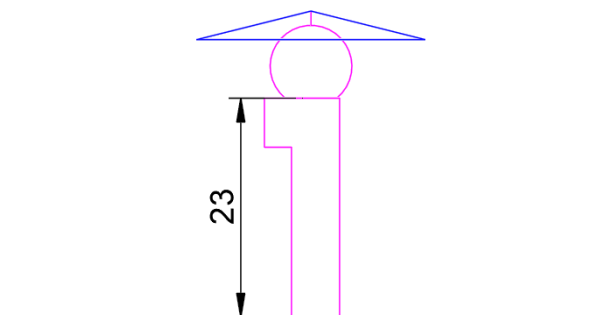
**Figura 23 - Diseño protección externa del radomo**

La protección proporcionada por el **sistema pasivo** no fomenta la disrupción del arco eléctrico y únicamente interceptará el rayo si hubiera de impactar sobre el sistema captador. Este modelo se basa en la instalación de una protección puntual, y cuyo alcance en su actuación son las estructuras/edificios en los que se encuentran ubicados y sus alrededores más próximos.

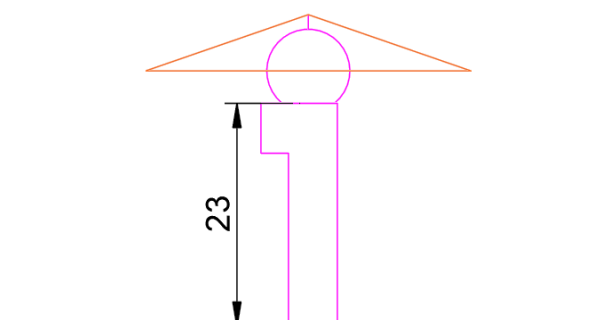
A continuación, se presenta el ángulo de protección proporcionado por la punta Franklin instalada, correspondiente a cuatro cotas diferentes, con el fin de garantizar la adecuada protección del radomo.



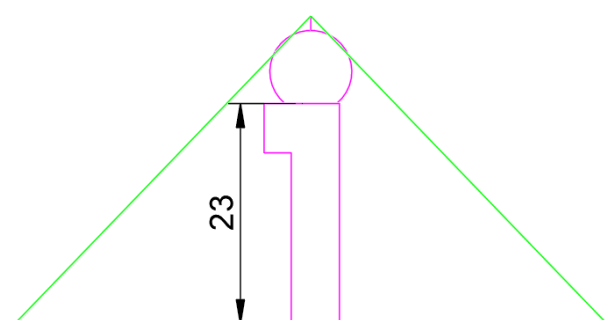
**Figura 24 - Ángulo de protección a 1,5 metros**



**Figura 25 - Ángulo de protección a 3 metros**



**Figura 26 - Ángulo de protección a 5,8 metros**



**Figura 27 - Ángulo de protección en la base**

En la **Figura 24** se muestra el volumen de protección generado desde la punta captadora hasta la cota más alta del radomo (base de la punta captadora), correspondiente a 1,5 metros de altura. La **Figura 25** representa la zona de protección que alcanza hasta el arco del radomo más expuesto, ubicada a 3 metros desde la punta. En la **Figura 26** se observa la extensión del área protegida hasta los 5,8 metros desde la punta, en el punto más amplio del radomo, evidenciando que, hasta dicha altura, toda la estructura del radomo se encuentra dentro del volumen de protección. Por último, la **Figura 27** ilustra la cobertura a nivel del suelo, donde se aprecia que la totalidad del edificio permanece protegida. Aunque los bordes del radomo no se visualizan bajo el cono de protección en esta vista, se ha demostrado en las figuras anteriores que están dentro del área resguardada por la punta captadora. Cabe destacar que dicha punta proporciona diferentes niveles de protección según la altura en que se realice la evaluación.

### **6.1.2.- SISTEMA CONDUCTOR DE BAJADA**

Según lo ilustrado en la **Figura 23**, el sistema contará con dos bajantes internas que descienden desde la punta captadora hasta la base del radomo.

El conductor interior diseñado y que viene implementado en la estructura del radomo debería ajustarse a las prescripciones de la norma UNE 62305:3, referenciadas sobre la norma UNE EN 62561-2:2018.

| Material                                                              | Configuración           | Sección <sup>a</sup><br>mm <sup>2</sup> | Dimensiones recomendadas                            |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Cobre,<br>Cobre bañado en<br>estaño <sup>b</sup>                      | Pletina                 | ≥ 50                                    | 2 mm de espesor                                     |
|                                                                       | Redondo <sup>d</sup>    | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Trenzado <sup>d,g</sup> | ≥ 50                                    | cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm <sup>f</sup> |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 176                                   | 15 mm de diámetro                                   |
| Aluminio                                                              | Pletina                 | ≥ 70                                    | 3 mm de espesor                                     |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Trenzado <sup>e</sup>   | ≥ 50                                    | cada hilo un diámetro mínimo de 1,63 mm             |
| Cobre con<br>revestimiento de<br>aleación de<br>aluminio <sup>e</sup> | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
| Aleación de<br>aluminio                                               | Pletina                 | ≥ 50                                    | 2,5 mm de espesor                                   |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Trenzado <sup>e</sup>   | ≥ 50                                    | cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm              |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 176                                   | 16 mm diámetro                                      |
| Acero galvanizado<br>en caliente                                      | Pletina                 | ≥ 50                                    | 2,5 mm de espesor                                   |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Trenzado <sup>e</sup>   | ≥ 50                                    | cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm              |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 176                                   | 15 mm diámetro                                      |
| Cobre con<br>revestimiento de<br>acero <sup>e</sup>                   | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Pletina                 | ≥ 50                                    | 2,5 mm de espesor                                   |
| Acero inoxidable <sup>c</sup>                                         | Pletina                 | ≥ 50                                    | 2 mm de espesor                                     |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 50                                    | 8 mm de diámetro                                    |
|                                                                       | Trenzado <sup>e</sup>   | ≥ 70                                    | cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm              |
|                                                                       | Redondo                 | ≥ 176                                   | 15 mm diámetro                                      |

NOTA Para la aplicación de los conductores, véase la Norma EN 62305-3.

<sup>a</sup> Tolerancia admisible: -3%.

<sup>b</sup> Revestimiento en caliente o por electrolisis: espesor mínimo de la capa 1 µm. El baño de estaño es solo por razones estéticas.

<sup>c</sup> Cromo ≥ 16%; Níquel ≥ 8%; Carbono ≤ 0,07%.

<sup>d</sup> En algunas aplicaciones puede reducirse la sección de 50 mm<sup>2</sup> (8 mm de diámetro) a 25 mm<sup>2</sup> (6 mm de diámetro), cuando el esfuerzo mecánico no es el requisito esencial.

<sup>e</sup> Capa radial de cobre con un espesor mínimo de 70 µm. y un contenido de cobre del 99,9%.

<sup>f</sup> En algunos países puede emplearse cable trenzado con una dimensión mínima de los hilos de 1,14 mm.

<sup>g</sup> La sección de los conductores trenzados se determina por la resistencia del conductor según la Norma EN 60228.

**Tabla 8 – Configuración conductores de bajada**

A partir del anillo metálico que conforma dicha base, deberán instalarse dos pletinas de acero galvanizado en caliente que aseguren la continuidad eléctrica del anillo metálico de la base del radomo a las dos bajantes específicas a instalar mediante varilla de aluminio normalizado con una sección de 50 mm<sup>2</sup> (8 mm de diámetro). Estos conductores deberán descender hasta su conexión al sistema de puesta a tierra donde mediante una conexión bimetalica se realizará la unión, en conformidad con las especificaciones detalladas en la tabla que se presenta a continuación.

|                         |                       |       |                                        |
|-------------------------|-----------------------|-------|----------------------------------------|
| Aleación de<br>aluminio | Pletina               | ≥ 50  | 2,5 mm de espesor                      |
|                         | Redondo               | ≥ 50  | 8 mm de diámetro                       |
|                         | Trenzado <sup>e</sup> | ≥ 50  | cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm |
|                         | Redondo               | ≥ 176 | 16 mm diámetro                         |

**Tabla 9 - Sección mínima para una varilla de aluminio**

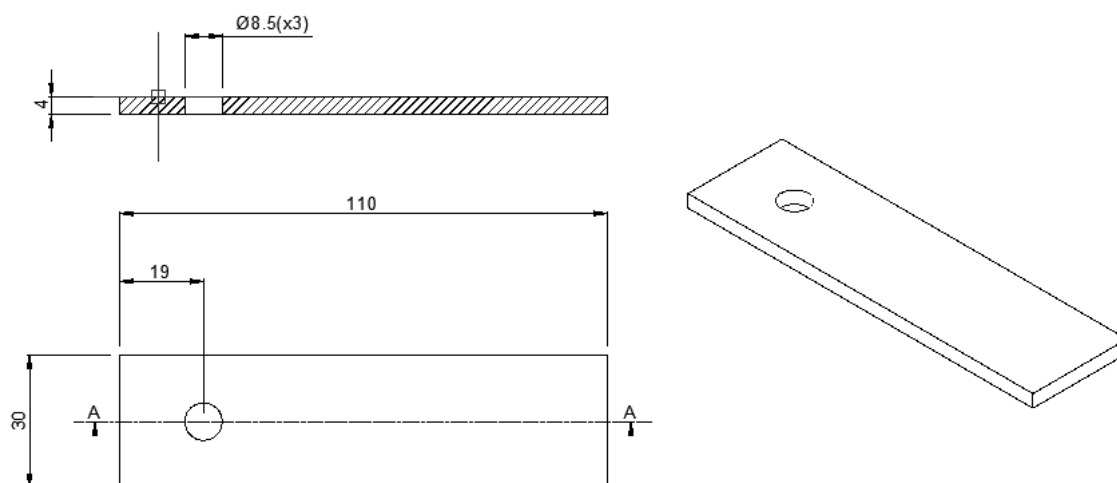
El material seleccionado ha sido elegido con el objetivo de prevenir actos vandálicos (robos) que podrían presentarse en caso de instalarse elementos de cobre. No obstante, esta elección deberá mantenerse en conformidad con los materiales que la propiedad decida utilizar, siempre que estos cumplan con la normativa vigente y respeten sus especificaciones y preferencias.

La pletina deberá cumplir con las dimensiones mínimas establecidas por la normativa vigente, las cuales se detallan en la tabla que se presenta a continuación. El diseño final puede apreciarse en la **Figura 28**.

|                               |                       |            |                                        |
|-------------------------------|-----------------------|------------|----------------------------------------|
| Acero galvanizado en caliente | Pletina               | $\geq 50$  | 2,5 mm de espesor                      |
|                               | Redondo               | $\geq 50$  | 8 mm de diámetro                       |
|                               | Trenzado <sup>§</sup> | $\geq 50$  | cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm |
|                               | Redondo               | $\geq 176$ | 15 mm diámetro                         |

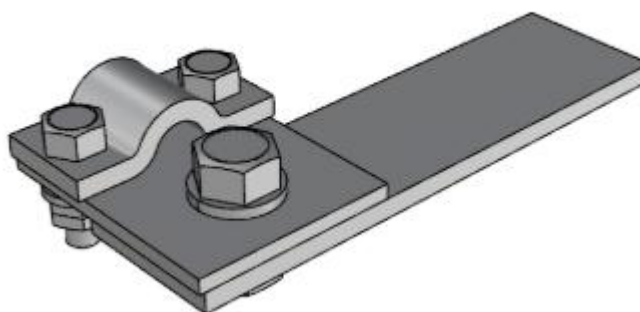
**Tabla 10 - Sección mínima para una pletina de acero galvanizado en caliente**

#### SECCIÓN A-A



**Figura 28 - Detalle pletina**

A las dos pletinas se deberán anclar las bajantes mediante el conector mostrado en la **Figura 29**, asegurando una unión firme, segura y conforme a los requisitos técnicos del sistema.



**Figura 29 - Detalle del conector con la pletina**

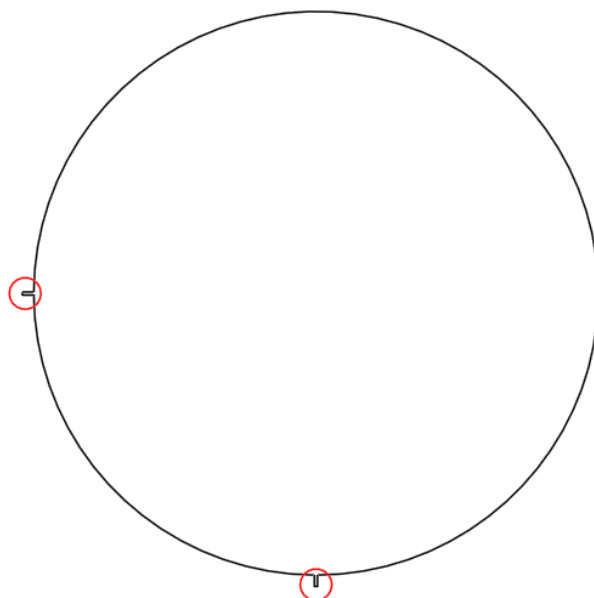
Las pletinas deberán colocarse en la parte exterior del anillo metálico que constituye la base del radomo. En la **Figura 30** se muestra el anillo; no se representa la conexión entre este y la pletina. Entre el anillo y la pletina no deberá existir ningún elemento de conexión aislante, garantizándose en todo momento la continuidad eléctrica a lo largo de todo el recorrido. Esta conexión representa la interfase entre el diseño estructural ya consolidado del radomo y el alcance definido en la presente memoria.



**Figura 30 - Anillo metálico de la base del radomo**

La distribución y colocación de ambas pletinas en el anillo metálico de la base del radomo se plantea según la **Figura 31** y su ubicación definitiva dependerá del recorrido de las bajantes.

Asimismo, deberá tenerse en cuenta que la conexión de la pletina con el anillo no genere par galvánico, por lo que será necesaria la utilización de una conexión bimetálica adecuada que garantice la compatibilidad entre los materiales involucrados y preserve la integridad del sistema a largo plazo.



**Figura 31 - Distribución de las pletinas en el anillo metálico de la base del radomo**

Las 2 bajantes específicas se ubicarán en las 2 caras continuas de la estructura que aseguran un recorrido lo más vertical y directo a tierra. En la **Figura 32** se observa cómo se ubicarían en la estructura del radar.



**Figura 32 - Ubicación de las dos bajantes específicas**

Las bajantes deberán estar provistas de puntos de anclaje a la estructura mediante abrazaderas, dispuestos a intervalos máximos de un metro. Dichos intervalos están determinados conforme a lo establecido en la **Tabla 11** de la norma **UNE-EN 62305-3:2011**, la cual especifica las distancias de separación entre puntos de fijación para conductores rígidos. En particular, se aplican los valores correspondientes a instalaciones con conductores en disposición vertical que superan los 20 metros de altura, tal como ocurre en el presente caso.

| Disposición                                                                                                                                                                                        | Puntos de fijación para cables o pletinas conductoras y conductos flexibles | Puntos de fijación para conductores rígidos |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                    | mm                                                                          | mm                                          |
| Conductores horizontales en superficies horizontales                                                                                                                                               | 1000                                                                        | 1 000                                       |
| Conductores horizontales en superficies verticales                                                                                                                                                 | 500                                                                         | 1 000                                       |
| Conductores verticales hasta 20 m del suelo                                                                                                                                                        | 1 000                                                                       | 1 000                                       |
| Conductores verticales por encima de los 20 m                                                                                                                                                      | 500                                                                         | 1 000                                       |
| NOTA 1 Esta tabla no se aplica a las fijaciones prefabricadas, que pueden requerir consideraciones especiales.                                                                                     |                                                                             |                                             |
| NOTA 2 La evaluación de las condiciones ambientales (es decir, la fuerza del viento esperada) debería tenerse en cuenta, pudiendo ser necesarios puntos de fijación diferentes a los recomendados. |                                                                             |                                             |

**Tabla 11 - Puntos de fijación sugeridos**

### 6.1.3.- SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

#### 6.1.3.1.- DISEÑO PROPUESTO

Con los resultados de las medidas de resistividad obtenidos en el apartado 5.3 y el modelo de terreno generado, queda descartada la aplicación de electrodos superficiales.

A fin de optimizar el material a instalar para obtener el menor valor de resistencia posible, se diseña un sistema compuesto por tres electrodos profundos de 25 metros de longitud con 5 metros de aislamiento en disposición de picas alineadas con una separación entre ellas de 5,5 metros.

El diseño planteado, además de reducir la interferencia en los terrenos que rodean las instalaciones del radomo (en la suposición de que pertenecen a otra propiedad) aporta una serie de ventajas con respecto a los electrodos superficiales o semi-superficiales:

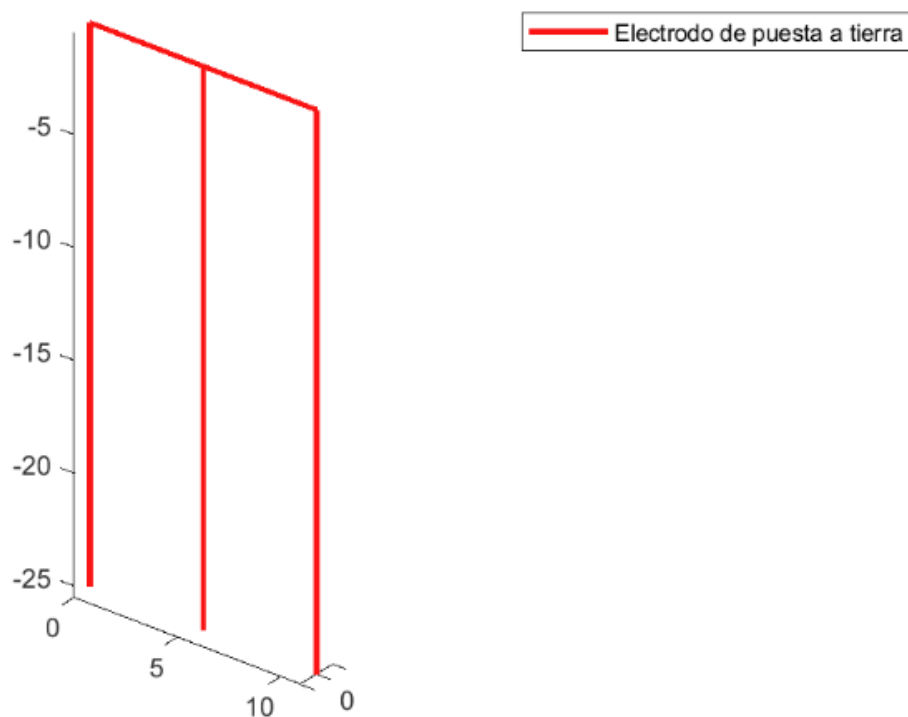
- ✓ Buen comportamiento ante las tensiones de paso y contacto. Caída de tensión y gradiente de potencial más suaves
- ✓ Menor fluctuación del valor de resistencia ante las variaciones estacionales
- ✓ Mayor influencia de la humedad, con mejoras resistivimétricas del 20 %
- ✓ Valores de resistencia estables en el tiempo
- ✓ Perfecta integración entre el conjunto terreno-electrodo, favoreciendo la dispersión del flujo de corriente y reduciendo la resistencia de disipación
- ✓ Menor afectación sobre el terreno en comparación a la distribución de la misma longitud de electrodo en el plano horizontal. No es necesario disponer de gran espacio físico para instalar grandes longitudes de electrodo
- ✓ El compuesto corrector de la resistividad que se implementa tiene un alto contenido en carbón, absorbe y mantiene la humedad, sus propiedades expansivas aseguran un perfecto contacto entre el electrodo y el terreno, no se degrada, no es corrosivo ni contamina.
- ✓ No se interfiere con otras instalaciones existentes
- ✓ La configuración proporciona una gran durabilidad del sistema de puesta a tierra
- ✓ La mayor parte de la corriente se dispersa en las capas inferiores del electrodo

Cabe indicar que normativas referentes a los sistemas de protección contra el rayo indican que la longitud máxima de cada elemento (vertical u horizontal) que configure los electrodos no debe exceder de 20-25 m, valor de longitud crítica relacionado con la longitud de onda de la corriente de alta frecuencia, a partir de la cual los efectos inductivos asociados al fenómeno producen un aumento de la impedancia del sistema, lo que dificulta la dispersión de la corriente de alta frecuencia.

Es por ello la limitación en la longitud que se ha dispuesto para los electrodos profundos.

Con este diseño, se obtiene un valor teórico inferior a los **5  $\Omega$** , cumpliendo así con el requisito establecido en la memoria.

A continuación, se muestra la disposición de los electrodos en el terreno.



**Figura 33 - Diseño de la puesta a tierra**

Para los cálculos se ha utilizado el software de Geatech soft y a continuación se muestra el valor teórico de la puesta a tierra.

|                                               |     |   |
|-----------------------------------------------|-----|---|
| Longitud de la pica (m)                       | 20  | ✓ |
| Diámetro de la pica (m)                       | 0.1 | ✓ |
| Numero de picas                               | 3   | ✓ |
| Distancia separación picas (m)                | 5.5 | ✓ |
| Resistividad del terreno ( $\Omega \cdot m$ ) | 149 | ✓ |

$$R_t = \frac{1}{n} \cdot \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \log_e \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 + \frac{\lambda L}{s} \right]$$

$L$  = Longitud de la pica (m)

$d$  = Diámetro de la pica (m)

$n$  = Número de picas

$D$  = Distancia entre picas (m)

$\rho$  = Resistividad del terreno ( $\Omega \cdot m$ )

$$\lambda = 2 \sum \left( \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} \right)$$

Para grandes valores de  $n$  ( $n \geq 8$ ),  $\lambda$  puede aproximarse a :

$$\lambda \approx 2 \log_e \frac{1.781n}{2.718}$$

Resistencia  $\Omega$

4.92

Calcular

Para alcanzar un valor de puesta a tierra inferior a los 5  $\Omega$  con el presente diseño, se contempla la instalación de un total de 86 metros de conductor de puesta a tierra, optimizando así la eficiencia del sistema.

#### **6.1.3.1.1.- LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA**

En la **Figura 34** se muestra la ubicación precisa de las tres perforaciones de 100 mm que se realizarán para la instalación. Asimismo, se indican las zanjas necesarias para la conexión entre dichas perforaciones, asegurando la correcta continuidad del sistema de puesta a tierra. Esta representación gráfica facilita la comprensión del trazado y la disposición de los elementos involucrados en la instalación.



**Figura 34 - Localización de la instalación de puesta a tierra**

#### **6.1.3.2.- COMPARATIVA CON ELECTRODOS SUPERFICIALES DE 1,5 Y 3 METROS DE LONGITUD**

Con el fin de visualizar la eficiencia del sistema de electrodos profundos se realiza una comparativa para obtener el mismo valor de resistencia de la puesta a tierra con una configuración de electrodos verticales de 1,5 y 3 metros de longitud en hilera.

La zona del terreno prevista para la instalación de las picas superficiales de 1,5 metros de longitud presenta la mayor resistividad del área de estudio, con un valor de  $440 \Omega \cdot m$ , lo que dificulta significativamente la obtención del valor de resistencia deseado. Tal como se muestra en la figura siguiente, se requeriría la instalación de un total de 140 picas de 1,5 metros de longitud y  $18 \text{ mm}^2$  de sección, dispuestas a una distancia de 1,5 metros entre sí. Esto implicaría la utilización de aproximadamente 420 metros de conductor de puesta a tierra enterrado, así como la ejecución de una zanja (rasa) de 210 metros de longitud.

|                                |       |   |
|--------------------------------|-------|---|
| Longitud de la pica (m)        | 1.5   | ✓ |
| Diámetro de la pica (m)        | 0.018 | ✓ |
| Numero de picas                | 140   | ✓ |
| Distancia separación picas (m) | 1.5   | ✓ |
| Resistividad del terreno (Ω·m) | 440   | ✓ |

$$R_t = \frac{1}{n} \cdot \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \log_e \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 + \frac{\lambda L}{s} \right]$$

L = Longitud de la pica (m)

d = Diametro de la pica (m)

n = Número de picas

D = Distancia entre picas (m)

ρ = Resistividad del terreno (Ω·m)

$$\lambda = 2 \sum \left( \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} \right)$$

Para grandes valores de n (n ≥ 8), lambda puede aproximarse a :

$$\lambda \approx 2 \log_e \frac{1.781n}{2.718}$$

Resistencia Ω

4.85

Calcular

La zona del terreno en la que se actuará para la configuración de picas superficiales de 3 metros presenta aún un valor elevado de resistividad, concretamente 350 Ω·m, lo que continúa dificultando la consecución del valor de resistencia requerido. Según se muestra en la figura siguiente, sería necesaria la instalación de un total de 50 picas de 3 metros de longitud y 18 mm<sup>2</sup> de sección, dispuestas a una distancia de 3 metros entre ellas. Esto supondría un total de 300 metros de conductor de puesta a tierra enterrado, así como la ejecución de una zanja (rasa) de 150 metros de longitud.

|                                |       |   |
|--------------------------------|-------|---|
| Longitud de la pica (m)        | 3     | ✓ |
| Diámetro de la pica (m)        | 0.018 | ✓ |
| Numero de picas                | 50    | ✓ |
| Distancia separación picas (m) | 3     | ✓ |
| Resistividad del terreno (Ω·m) | 350   | ✓ |

$$R_t = \frac{1}{n} \cdot \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \log_e \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 + \frac{\lambda L}{s} \right]$$

L = Longitud de la pica (m)

d = Diametro de la pica (m)

n = Número de picas

D = Distancia entre picas (m)

ρ = Resistividad del terreno (Ω·m)

$$\lambda = 2 \sum \left( \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} \right)$$

Para grandes valores de n (n ≥ 8), lambda puede aproximarse a :

$$\lambda \approx 2 \log_e \frac{1.781n}{2.718}$$

Resistencia Ω

4.89

Calcular

Por este motivo se diseña la instalación de puesta a tierra mediante electrodos profundos para obtener el valor de resistencia de puesta a tierra de la forma mas optima y eficiente.

## **6.2.- SISTEMA INTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO**

Las medidas básicas en la protección contra los efectos derivados del rayo, tal como se especifica en el apartado 4.3.2 son, en este orden:

- Puesta a tierra y equipotencialidad entre los diferentes sistemas, con la finalidad de conducir y dispersar las corrientes del rayo, reduciendo las diferencias de potencial que se pueden dar entre las instalaciones
- Apantallamiento de las líneas internas.
- Trazado de las líneas internas, minimizando los bucles inductivos.
- La protección coordinada de Dispositivos de Protección contra Sobretensiones transitorias, limitando los efectos de las ondas tipo impulso interiores y exteriores, cuando no se disponen de los anteriores escalones de protección.

### **6.2.1.- ACTUACIONES RECOMENDADAS**

En el presente apartado se expondrán en detalle las distintas adecuaciones sugeridas para ser implementadas en el sistema interno de la instalación. Estas recomendaciones comprenden un conjunto de directrices orientadas a mitigar los posibles daños derivados de las descargas eléctricas, con el fin de preservar la integridad de los componentes eléctricos y electrónicos, así como garantizar la continuidad operativa del sistema.

#### **6.2.1.1.- PUESTA A TIERRA Y EQUIPOTENCIALIDAD**

El aspecto fundamental para la protección de los equipos radica en la correcta implementación de un sistema de puesta a tierra adecuado, así como en la correcta equipotencialidad de las instalaciones.

El valor de puesta a tierra eléctrica general del radar se considera correcto según las medidas realizadas en la visita y conforme a los valores del apartado **Figura 12**; valor de la resistencia de puesta a tierra en servicio:  $0,542 \Omega$  y valor de la resistencia de puesta a tierra independiente:  $9,13 \Omega$ .

Para garantizar el cumplimiento de este requisito, se recomienda conectar la puesta a tierra eléctrica de la estructura con la nueva instalación de puesta a tierra del pararrayos a través de una vía de chispas, con el fin de lograr la equipotencialidad necesaria que permita mantener las instalaciones en óptimas condiciones de funcionamiento.

#### **6.2.1.2.- DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES**

El concepto de equipotencialidad también engloba la conexión de las líneas eléctricas (a través de vías de chispas i dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias).

Se propone la implementación de un diseño de protección escalonada que garantice la seguridad del sistema frente a sobretensiones en sus distintos niveles. Este diseño contempla, en primera instancia, la instalación de un dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS) en el cuadro del contador ubicado junto al centro de transformación (CT), con el objetivo de interceptar y desviar las sobretensiones originadas en el exterior antes de que alcancen las instalaciones del radar.

Posteriormente, se recomienda la sustitución del dispositivo de protección contra sobretensiones instalado en el cuadro general por un modelo actualizado, ya que el equipo actualmente en servicio se encuentra descatalogado. Dado que no se dispone de información técnica sobre las características del dispositivo existente, se sugiere la instalación de un nuevo protector que garantice un nivel de protección conforme a las categorías III-IV establecidas en la norma UNE-EN 62305, asegurando así una protección adecuada frente a posibles sobretensiones residuales.

Los protectores por instalar tendrán las propiedades de los descargadores de corriente de rayo y de los descargadores de sobretensiones, estando ensayados para las ondas 10/350 y 8/20  $\mu$ s y con características:

El protector por instalar en el cuadro del contador, ubicado junto al centro de transformación, deberá ser un dispositivo de protección contra sobretensiones Tipo 1 + 2, con características técnicas iguales o superiores al modelo MCF100-3+NPE+FS de la marca OBO Bettermann. Este dispositivo deberá cumplir, como mínimo, con las siguientes especificaciones técnicas:

- Tipo 1+2
- Clase I+II
- Tensión Nominal: 230 V
- Intensidad nominal de descarga (8/20  $\mu$ s): 35 kA
- Intensidad máxima de descarga (8/20  $\mu$ s): 50 Ka
- Intensidad Impulso de rayo: (10/350  $\mu$ s): 25 kA
- Intensidad Impulso de rayo total: (10/350  $\mu$ s): 100 kA
- Nivel de protección: 1,5 kV

Para la sustitución del protector en el cuadro general de baja tensión, deberá instalarse un dispositivo de protección contra sobretensiones Tipo 1 + 2, con características técnicas iguales o superiores al modelo V50-3+NPE-280 de la marca OBO Bettermann. Dicho dispositivo deberá cumplir, como mínimo, con las siguientes especificaciones técnicas:

- Tipo 1+2
- Clase I+II
- Tensión Nominal: 230 V
- Intensidad nominal de descarga (8/20  $\mu$ s): 30 kA
- Intensidad máxima de descarga (8/20  $\mu$ s): 50 Ka
- Intensidad Impulso de rayo: (10/350  $\mu$ s): 12.5 kA
- Intensidad Impulso de rayo total: (10/350  $\mu$ s): 50 kA
- Nivel de protección: 1,3 kV
- Conexionado modo diferencial

### 6.2.1.3.- MEDIDAS COMPLEMENTARIAS

Algunas de las medidas complementarias al diseño implementado son las siguientes:

- Apantallamiento de las líneas internas.

El apantallamiento de las líneas internas es una medida complementaria esencial para garantizar la seguridad de las instalaciones.

La trayectoria de los conductores de bajada por el exterior garantiza un apantallamiento inicial que reduce los efectos asociados al rayo.

El trazado de las líneas exteriores no genera problemas con el apantallamiento de las líneas internas.

- Trazado de las líneas internas, minimizando los bucles inductivos.

El trazado de las líneas internas se realiza con el objetivo de minimizar la formación de bucles inductivos, lo cual es fundamental para reducir las interferencias electromagnéticas y mejorar la inmunidad del sistema.

El trazado de las líneas internas del radomo no se evalúa ni forma parte del alcance el recorrido de las bajantes del radomo.

## 7.- EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO Y CÁLCULO DEL NIVEL DE PROTECCIÓN

### 7.1.- CTE DB SUA-8

Se procede a la evaluación del Índice de Riesgo y al cálculo del Nivel de Protección para los edificios/estructuras de la planta, según procedimiento descrito en el Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad del Código Técnico de la Edificación CTE DB SUA-8: Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo.

Para realizar el análisis, además de las características propias de la estructura, se tiene en cuenta el índice de impactos de rayo por km<sup>2</sup> de la zona o nivel isoceraunico según datos proporcionados por AEMET:

$N_g$  Añoia: 5 Impactos/año/km<sup>2</sup>

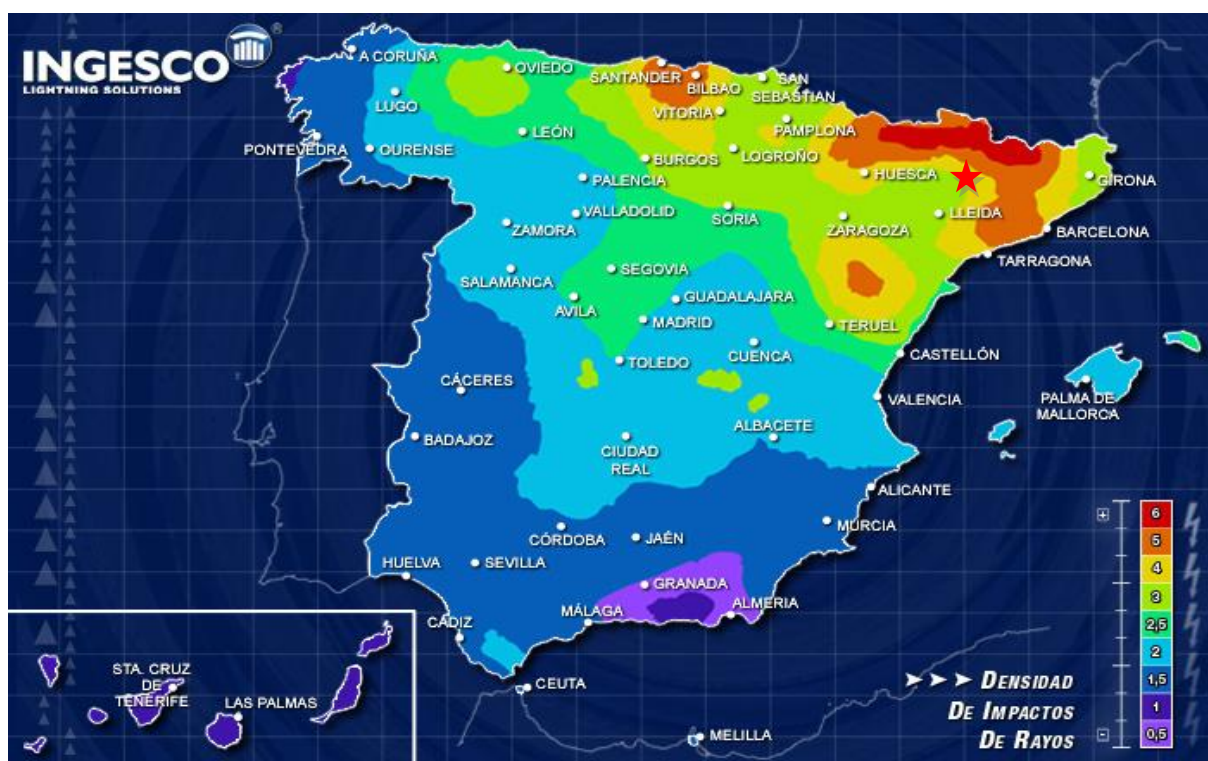


Figura 35 - Mapa nivel isoceraunico

La instalación de un sistema de protección es necesaria cuando la frecuencia esperada de impactos de rayos  $N_e$ , sea mayor que el riesgo admisible  $N_a$ .

Se ha realizado el análisis de riesgo para la Cafetería Cota 2000, el centro médico y el edificio adyacente.



**Figura 36 - Ubicación estructura CDV**

### **DATOS DE LA ESTRUCTURA CDV**

En función de una serie de parámetros, que detallamos a continuación, se determinan los coeficientes relativos a la estructura a proteger.

**$N_g$ :** Densidad de impactos de rayos sobre el terreno, define la media de en impactos de rayo por  $\text{km}^2$  durante un año.

**$C_1$ : Situación estructura:** Elegimos un coeficiente de entre los de la siguiente tabla, en función de la ubicación de la estructura a proteger con respecto a su entorno.

| <b>Tabla 1.1. Coeficiente <math>C_1</math></b>                                                        |                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>Situación relativa de la estructura</b>                                                            | <b><math>C_1</math></b> |
| Estructura situada en un espacio donde hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más altas | 0,5                     |
| Estructura rodeada de estructuras más bajas                                                           | 0,75                    |
| <b>Estructura aislada</b>                                                                             | <b>1</b>                |
| Estructura aislada situada sobre una colina o promontorio                                             | 2                       |

*Estructura aislada:  $C_1: 1$*

**$C_2$ : Coeficiente según tipo de estructura:** Se determina a partir del tipo de estructura del que está compuesto el edificio.

**Tabla 1.2. Coeficiente C<sub>2</sub>**

| <b>C2 Coeficiente de estructura</b> |              |              |               |
|-------------------------------------|--------------|--------------|---------------|
| <b>Tejado</b><br><b>Estructura</b>  | <b>Metal</b> | <b>Común</b> | <b>Madera</b> |
| <b>Metal</b>                        | 0,5          | 1            | 2             |
| <b>Común</b>                        | 1            | 1            | 2,5           |
| <b>Madera</b>                       | 2            | 2,5          | 2             |

*Estructura obra y cubierta obra: C<sub>2</sub>: 1*

**C<sub>3</sub>: Contenido de la estructura:** Según el tipo de sustancias que se manipulen por la actividad que se desempeñe en el edificio.

**Tabla 1.3. Coeficiente C<sub>3</sub>**

| <b>C3 Contenido de la estructura</b> |   |
|--------------------------------------|---|
| Edificio con contenido inflamable    | 3 |
| Otros contenidos                     | 1 |

*Otros contenidos C<sub>3</sub>: 1*

**C<sub>4</sub>: Ocupación de la estructura:** En función del tipo de ocupación que, por su actividad, tenga el edificio.

**Tabla 1.4. Coeficiente C<sub>4</sub>**

| <b>C4 Ocupación de la estructura</b>                     |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| No ocupada                                               | 0,5 |
| Usos pública concurrencia, sanitario, comercial, docente | 3   |
| Resto de edificios                                       | 1   |

*Uso pública concurrencia: C<sub>4</sub>: 0,5*

**C<sub>5</sub>: Consecuencias para el entorno:** Según las consecuencias que pueda generar el cese de la actividad desarrollada en el edificio.

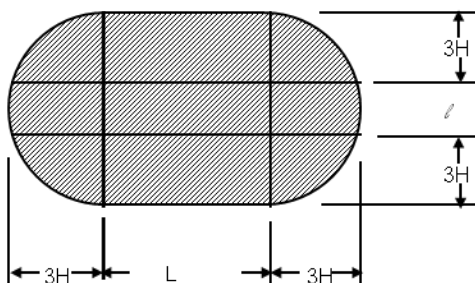
**Tabla 1.5. Coeficiente C<sub>5</sub>**

| <b>C5 Contenido sobre el entorno</b>                                                                       |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Edificios cuyo deterioro pueda interrumpir un servicio imprescindible o puede suponer un impacto ambiental | 5 |
| Resto de edificios                                                                                         | 1 |

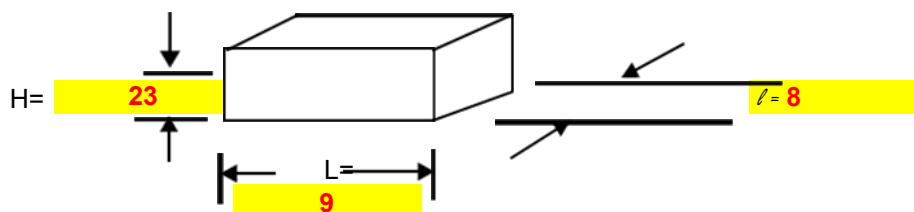
*Resto de edificios: C<sub>5</sub>: 5*

## DETERMINACIÓN DE EFICACIA REQUERIDA

**A<sub>e</sub>: Superficie de captura de la estructura:** Superficie de captura equivalente del edificio aislado en m<sup>2</sup>, que es la delimitada por una línea trazada a una distancia 3H de cada uno de los puntos del perímetro del edificio, siendo H la altura del edificio en el punto del perímetro considerado, según imagen adjunta.



En el caso que nos ocupa, las dimensiones son:



$$A_e = L \cdot I + 6H(L + I) + 9\pi H^2 = 17375.1226 \text{ m}^2$$

**N<sub>e</sub>: Frecuencia esperada de rayos en la estructura:** Se determina mediante la expresión:

$$N_e = N_g \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} [\text{n}^\circ \text{ impactos/año}]$$

Siendo:

- N<sub>g</sub> Densidad de impactos de rayos sobre el terreno, define la media de en impactos de rayo por km<sup>2</sup> durante un año.
- A<sub>e</sub> Superficie de captura equivalente del edificio aislado en m<sup>2</sup>.
- C<sub>1</sub> Coeficiente en función de la situación del edificio, según tabla 1.1.

**N<sub>e</sub> estructura a proteger: 0,0869 impactos/año.**

**N<sub>a</sub>: Riesgo admisible de rayos sobre la estructura:** Calculado a partir de la fórmula:

$$N_a = \frac{5,5}{C_2 C_3 C_4 C_5} 10^{-3}$$

Siendo:

- C<sub>2</sub> coeficiente en función del tipo de construcción, conforme a la tabla 1.2
- C<sub>3</sub> coeficiente en función del contenido del edificio, según la tabla 1.3
- C<sub>4</sub> coeficiente en función del uso del edificio, conforme a la tabla 1.4
- C<sub>5</sub> coeficiente en función de la necesidad de continuidad en las actividades que se desarrollan en el edificio, conforme a la tabla 1.5

**N<sub>a</sub> estructura a proteger: 0,0022 impactos/año.**

### **NIVEL DE PROTECCION EXIGIDO**

Cuando, conforme a lo establecido en el apartado anterior, sea necesario disponer una instalación de protección contra el rayo, está tendrá al menos la *eficiencia E* (probabilidad de que un sistema de protección contra el rayo intercepte las descargas sin riesgo para las estructuras e instalaciones) que determina la siguiente fórmula:

$$E = 1 - \frac{N_a}{N_e}$$

Siendo:

- N<sub>a</sub> riesgo admisible de rayos sobre la estructura.
- N<sub>e</sub> frecuencia esperada de rayos en la estructura.

$$E = 0,9747$$

| Eficiencia requerida | Nivel de protección |
|----------------------|---------------------|
| $E \geq 0,98$        | 1                   |
| $0,95 \leq E < 0,98$ | 2                   |
| $0,80 \leq E < 0,95$ | 3                   |
| $0 \leq E < 0,80$    | 4                   |

Nivel de protección requerido para la protección de las estructuras:

#### **Nivel II**

Al ser la frecuencia esperada de impactos de rayos N<sub>e</sub> (0.0869) mayor que la frecuencia aceptable N<sub>a</sub> (0.0022), **es necesario y obligatorio** disponer de un sistema de protección externo contra el rayo, y dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias instalados en el origen de la instalación del edificio de Tipo 1.

## 7.2.- UNE EN 62305-2:2012

### DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA

---

Longitud de la estructura  $L$  (m): 9  
Anchura de la estructura  $W$  (m): 8  
Altura del plano del tejado  $h'$  (m): 23  
Altura del mayor saliente del tejado  $h'$  (m): 0.0  
Área de captura equivalente  $A_d$  (m<sup>2</sup>): 17.375,12

### CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

---

Riesgo de incendio y daños físicos: Riesgo de fuego bajo  
Eficacia del apantallamiento de la estructura: No tiene o se desconoce

### INFLUENCIAS AMBIENTALES

---

Situación estructura  $C_d$ : Estructura aislada: sin otros objetos en las proximidades  
Nº de días de tormenta  $t_d$ : 26 \*  
Densidad anual equivalente de rayos  $N_g$ : 2,6

\* Dado que se dispone del análisis realizado a través de la **Xarxa de Detecció de Descàrregues Elèctriques Atmosfèriques (XDDE)** del **Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)**, es posible utilizar el dato proporcionado relativo al número de días de tormenta al año, obtenido por el conjunto de radares del SMC, correspondiente al promedio del período 2011-2020.

### LÍNEAS DE CONDUCCIÓN ELÉCTRICA

---

Línea que llega a la estructura: Enterrada 220 m  
Factor ambiental  $C_e$ : Rural  
Existencia de transformador MT/BT  $C_t$ : BT  
Tipo de cable externo  $P_{LD0}$ : No apantallado  
Tipo de cableado interno  $K_{53}$ : No apantallado

### OTROS SERVICIOS

---

Tipo de cable externo  $P_{LD1}$ : No aplica  
Tipo de cable externo  $P_{LD2}$ : No aplica

## TIPOS DE LAS PÉRDIDAS

---

### Tipo 1 – Pérdidas de vidas humanas

Riesgos especiales para la vida  $h_{z1}$ : Sin daño especial

Por incendios  $L_{f1}$ : Otros

Por sobretensiones  $L_{o1}$ : Otros

### Tipo 2 – Pérdidas de servicios esenciales

Por incendios  $L_{f2}$ : TV, líneas de comunicación

Por sobretensiones  $L_{o2}$ : TV, líneas de comunicación

### Tipo 3 – Pérdidas de patrimonio cultural

Por incendios  $L_{f3}$ : Ninguno

### Tipo 4 – Pérdidas económicas

Por incendios  $L_{T4}$ : Otros

Por sobretensiones  $L_{o4}$ : Otros

Por tensión de paso/contacto  $L_{t4}$ : Ninguno

## RESULTADOS DE LAS ÁREAS DE CAPTURA Y FRECUENCIA ANUAL DE SUCESOS PELIGROSOS

---

Área de captura equivalente  $A_d$  ( $m^2$ ): 17.375,12  $m^2$

Valor medio anual de sucesos peligrosos en una estructura: 0,0452 eventos/año

Superficie de captura de descargas cercanas a la estructura: 802.398,16  $m^2$

Valor medio anual de sucesos cercanos a la estructura: 2,086 eventos/año

Superficie de captura de las descargas que impactan en las líneas de servicio: 8800  $m^2$

Superficie de captura de las descargas que impactan cerca del servicio: 880000  $m^2$

Valor medio anual de descargas en una línea de servicio: 0,01144 eventos/año

Valor medio anual de descargas cercanos a una línea de servicio: 1,144 eventos/año

## CÁLCULO DE RIESGO

### Tipo 1 – Pérdidas de vidas humanas

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1}$$

|          |                                                                                                                                      |             |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| $R_{A1}$ | Riesgo de daños en seres vivos, dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo sobre la estructura:      | 4,51753e-06 |
| $R_{B1}$ | Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:                   | 2,25876e-07 |
| $R_{C1}$ | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:                                  | 0,0         |
| $R_{M1}$ | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo sobre la estructura:                                | 0,0         |
| $R_{U1}$ | Riesgo de daños en seres vivos dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo en las líneas de servicio: | 1,14399e-05 |
| $R_{V1}$ | Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:                                 | 5,71999e-08 |
| $R_{W1}$ | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayos en las líneas de servicio:                           | 0,0         |
| $R_{Z1}$ | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayos en las líneas de servicio:                         | 0,0         |

### Tipo 2 – Pérdidas de servicios esenciales

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2}$$

|          |                                                                                                                    |     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| $R_{B2}$ | Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura: | 0,0 |
| $R_{C2}$ | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:                | 0,0 |
| $R_{M2}$ | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo sobre la estructura:              | 0,0 |
| $R_{V2}$ | Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:               | 0,0 |
| $R_{W2}$ | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayos en las líneas de servicio:         | 0,0 |
| $R_{Z2}$ | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayos en las líneas de servicio:       | 0,0 |

### Tipo 3 – Pérdidas de patrimonio cultural

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3}$$

|                 |                                                                                                                    |     |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| R <sub>B3</sub> | Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura: | 0,0 |
| R <sub>V3</sub> | Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:               | 0,0 |

### Tipo 4 – Pérdidas económicas

$$R_4 = R_{A4} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}$$

|                 |                                                                                                                                      |             |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| R <sub>A4</sub> | Riesgo de daños en seres vivos, dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo sobre la estructura:      | 0,0         |
| R <sub>B4</sub> | Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:                   | 2,25876e-06 |
| R <sub>C4</sub> | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:                                  | 3,38814e-08 |
| R <sub>M4</sub> | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo sobre la estructura:                                | 3,12935e-05 |
| R <sub>U4</sub> | Riesgo de daños en seres vivos dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo en las líneas de servicio: | 1,71599e-07 |
| R <sub>V4</sub> | Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:                                 | 5,72e-07    |
| R <sub>W4</sub> | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayos en las líneas de servicio:                           | 8,58e-09    |
| R <sub>Z4</sub> | Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayos en las líneas de servicio:                         | 8,58e-07    |

El riesgo máximo tolerable se encuentra descrito en la tabla 4 de la Norma UNE-EN 62305-3, capítulo 5.3. Cualquier valor de riesgo total calculado debe ser inferior a los valores establecidos por la norma. En caso contrario, se deberán aplicar medidas complementarias que reduzcan este valor a un nivel inferior tolerable.

#### Medidas de protección

**Clase de SPCR PB:** Nivel IV

**Protección contra incendios Rp:** Extintores, instalaciones fijas de extinción manuales; instalaciones manuales de alarma; tomas de agua; compartimentos a prueba de fuego; vías de evacuación.

**Protección contra sobretensiones PSD:** III-IV

**Otras actuaciones:** Sin medidas

El Nivel de Protección proporcionado por un pararrayos hace referencia a la probabilidad de que una descarga en la estructura produzca daños físicos, siendo

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

La probabilidad  $P_C$  de que una descarga en la estructura produzca fallos en los sistemas internos en función de la coordinación adoptada en los dispositivos de protección contra transitorios, viene dada por:

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

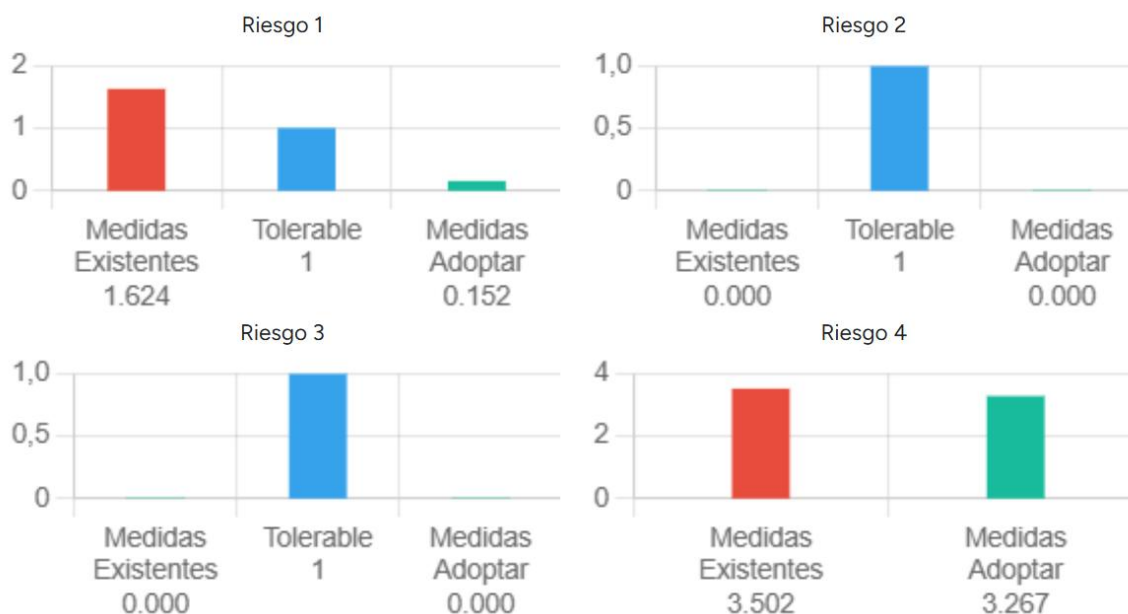
La probabilidad  $P_A$  de que una descarga en la estructura produzca daños a los seres vivos por tensiones de paso y contacto, viene dada por:

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

El factor reductor en función de las medidas adoptadas para reducir los efectos del fuego es:

| Medidas                                                                                                                                                                                     | $r_p$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Sin medidas                                                                                                                                                                                 | 1     |
| Una de las siguientes medidas: extintores; instalaciones fijas de extinción manuales; instalaciones manuales de alarma; tomas de agua; compartimentos a prueba de fuego; vías de evacuación | 0,5   |
| Una de las siguientes medidas: instalaciones fijas de extinción automáticas; instalaciones automáticas de alarma <sup>1)</sup>                                                              | 0,2   |
| 1) Solo si está protegido contra sobretensiones y otros daños y si los bomberos pueden llegar en menos de 10 min.                                                                           |       |

Dados los resultados obtenidos en la instalación, se determina que **es necesario** disponer de un **sistema externo de protección** contra el rayo para un **Nivel IV** y un **sistema interno de protección** para un **Nivel III-IV**.



Las características de un **sistema de protección interno contra el rayo de Nivel III-IV** para sistemas de baja tensión deben justificar una Intensidad de impulso (Iimp) mínima de 5 kA para un ensayo con tipo de onda de 10/350  $\mu$ s para el caso de una descarga directa en el servicio y una Intensidad nominal de descarga (In) mínima de 5 kA para un ensayo con tipo de onda 8/20  $\mu$ s para el caso de corrientes inducidas por descarga directa en la estructura.

## 8.- PRESUPUESTO

### 8.1.- PROTECCIÓN EXTERNA

| Descripción: <b>INSTALACIÓN DE CONDUCTORES DE BAJADA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Importe            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <p>■ Partida referente al suministro e instalación de dos conductores de bajada normalizados en configuración de varilla de aluminio de 8 mm. De diámetro, conectadas a dos pletinas solidarias al anillo metálico que soporta la estructura superior del radomo. Incluye sistema de fijación, tubo de protección en los dos últimos metros, contador de rayos y conexión al sistema de puesta a tierra en arqueta de registro.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 60 m de varilla de aluminio de 8 mm de diámetro (50 mm<sup>2</sup>)</li> <li>- 60 abrazaderas</li> <li>- 2 tubos de protección mecánica de 2 metros</li> <li>- 1 contador de rayos</li> <li>- 4 terminales bimetalicos</li> <li>- Pequeño material, uniones, conectores, terminales</li> <li>- Elementos de elevación y acceso/Técnicas de trabajo vertical protección</li> <li>- Pequeño material, uniones, conectores, terminales...</li> </ul> | 4.692,78 €         |
| Descripción: <b>SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DEL PARARRAYOS DE PUESTA A TIERRA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Importe            |
| <p>■ Partida referente a los trabajos de instalación de un sistema de puesta a tierra mediante 3 electrodos profundos de 25 m de longitud, con aislamiento los 5 primeros metros, interconectados entre sí a 5 metros cada uno y compuesto cada electrodo por cable de cobre trenzado desnudo de 50 mm<sup>2</sup> o electrodo rígido de barra de 300 mm<sup>2</sup> con punta perforante (según estratificación del terreno), uniones con manguitos roscados y aportación de compuesto corrector de la resistividad y estabilizador del terreno, en arqueta de registro con puente de comprobación.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 6.450,00 €         |
| Descripción: <b>INTERCONEXIÓN ELECTRODOS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Importe            |
| <p>■ Partida referente a los trabajos de interconexión de los 3 electrodos ubicados en arquetas mediante cable de cobre de 50 mm<sup>2</sup>. Incluye apertura y tapado de zanja de 11 m x 0,4 m. en pavimento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 12 m cobre electrolítico trenzado desnudo de 50 mm<sup>2</sup></li> <li>- 4 terminales de conexión</li> <li>- Apertura y tapado de 11 m de zanja en pavimento</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2.136,17 €         |
| <b>IMPORTE TOTAL:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>13.278,78 €</b> |

## 8.2.- PROTECCIÓN INTERNA

| Descripción: INTERCONEXIÓN ELECTRODOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Importe    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <p>■ Partida referente a los trabajos relativos a la conexión equipotencial entre puesta a tierra existente (puente de comprobación junto cuadro general) y sistema de puesta a tierra del pararrayos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 15 m cobre electrolítico trenzado desnudo de 50 mm<sup>2</sup></li> <li>- 15 m canalización PVC</li> <li>- 1 vía de chispas en caja</li> <li>- 2 terminales de conexión</li> <li>- Apertura de agujero pasante</li> <li>- Pequeño material, fijaciones...</li> </ul> | 1.041,83 € |

| Descripción: SUMINISTRO DE PROTECTOR CONTRA TRANSITORIOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Importe    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <p>■ Partida referente al suministro de descargador de corriente de rayos y sobretensiones, en el cuadro de contadores.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dispositivo de protección contra sobretensiones de Tipo 1+2, Clase I+II Tensión Nominal: 230 V Intensidad nominal de descarga (8/20 µs): 35 kA Intensidad máxima de descarga (8/20 µs): 50 kA Intensidad Impulso de rayo: (10/350 µs): 25 kA Intensidad Impulso de rayo total: (10/350 µs): 100 kA Nivel de protección: 1,5 kV Conexionado modo diferencial</li> </ul> | 1.799,62 € |

| Descripción: SUMINISTRO DE PROTECTOR CONTRA TRANSITORIOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Importe     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <p>■ Partida referente al suministro de descargador de corriente de rayos y sobretensiones, en el cuadro general de baja tensión.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dispositivo de protección contra sobretensiones de Tipo 1+2, Clase I+II Tensión Nominal: 230 V Intensidad nominal de descarga (8/20 µs): 30 kA Intensidad máxima de descarga (8/20 µs): 50 kA Intensidad Impulso de rayo: (10/350 µs): 12.5 kA Intensidad Impulso de rayo total: (10/350 µs): 50 kA Nivel de protección: 1,3 kV Conexionado modo diferencial</li> </ul> | 1.076,85. € |

|                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| <b>IMPORTE TOTAL UNITARIO:</b> | <b>3.918,30 €</b> |
|--------------------------------|-------------------|

|                          |                                                 |
|--------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>TOTAL PRESUPUESTO</b> | <b>17.197,08 €</b><br>(IVA vigente no incluido) |
|--------------------------|-------------------------------------------------|