



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

ANÁLISIS, ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DE  
LA INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN INTERNA Y  
EXTERNA FRENTE DESCARGAS ELÉCTRICAS EN  
GRANDES INFRAESTRUCTURAS. APLICACIÓN AL  
HOSPITAL PRINCESS ALEXANDRA, AUSTRALIA.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Domingo Merino, Laura

Tutor/a: Catalán Izquierdo, Saturnino

Cotutor/a: Cañas Peñuelas, César Santiago

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUOLA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

Curso Académico:

## **AGRADECIMIENTOS**

*Transmitir mi más sincero agradecimiento a todos los que me han acompañado durante esta etapa final del grado.*

*En primer lugar, a mi tutor, Saturnino Catalán Izquierdo, por la ayuda en la organización, planificación y estudio de este proyecto.*

*A mi familia, en especial a mis padres, por acompañarme con su pleno apoyo a lo largo de toda la etapa universitaria.*

*A Aplicaciones Tecnológicas S.A, por la oportunidad ofrecida y la ayuda durante la realización de este proyecto.*

## RESUMEN

El presente trabajo consiste en el análisis de una infraestructura en concreto, y la presentación y comparación de alternativas, para el diseño de su instalación de protección tanto interna como externa frente a descargas eléctricas, partiendo de la base teórica del rayo, puestas a tierra y sobretensiones, y sus correspondientes instalaciones.

Se incluyen cálculos justificativos, distintas alternativas de solución y la justificación de las soluciones propuestas. Se incluyen igualmente planos de la instalación y su presupuesto.

**Palabras clave:** Protecciones eléctricas; Descargas eléctricas; Descargas atmosféricas; Rayos; Puestas a tierra; Sobretensiones.



## RESUM

El treball consisteix a l'anàlisi d'una infraestructura en concret i la presentació i comparació d'alternatives, per al disseny de la seua instal·lació de protecció tant interna com externa davant descàrregues elèctriques, partint de la base teòrica del raig, posades a terra i sobretensions i les seues instal·lacions corresponents.

S' inclouen càlculs justificatius, distintes alternativeS de solucions i la justificacio de les solucions proposades. S' inclouen també els plans de la instal·lació i el seu pressupost.

**Paraules clau:** proteccions elèctriques; descàrregues elèctriques; raigs; posades a terra; sobretensions.

## **ABSTRACT**

The project envisages the analysis of a specific infrastructure, and the presentation and computation of alternatives, for the design of its protection installation for both internal and external protection against electric shock, all this taking the theoretical basis of lightning, grounding and surges, and their appropriate installations, as foundations. The work developed includes supporting calculations, alternative solutions and justification for the ones proposed. Also includes the installation maps and budget.

**Key words:** Electrical protection devices; Electrical discharge; Lightning; Grounding; Earthing; Overvoltage.

## DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Caso de aplicación
- Presupuesto
- Bibliografía
- Anexo
- Planos

## ÍNDICE

1.	MEMORIA.....	8
1.1.	OBJETO DEL TRABAJO Y TITULAR DE LA INSTALACIÓN. ....	8
1.2.	CONTEXTO NORMATIVO .....	8
1.3.	NATURALEZA DEL RAYO. ....	14
1.3.1.	DESCRIPCIÓN DEL RAYO.....	14
1.3.2.	TIPOS DE RAYOS. ....	14
1.3.3.	PROCESO DE FORMACIÓN DEL RAYO.....	15
1.3.4.	IMPACTO DEL RAYO. ....	16
1.3.4.1.	NIVELES DE PROTECCIÓN DEL RAYO. ....	18
1.3.5.	EFFECTOS DEL RAYO.....	20
1.4.	PROTECCIÓN EXTERNA CONTRA EL RAYO.....	21
1.4.1.	PARTES DEL SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO.....	21
1.4.1.1.	PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO. ....	21
1.4.1.2.	PARARRAYOS CON PUNTAS FRANKLIN .....	23
1.4.1.3.	BAJANTES .....	24
1.4.1.4.	TOMA DE TIERRA.....	28
1.4.1.4.1.	FACTORES PRINCIPALES DE LAS TOMAS DE TIERRA. ....	28
1.4.2.	MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS HABITUALMENTE PARA LA PROTECCIÓN EXTERNA	29
1.5.	PROTECCIÓN INTERNA CONTRA EL RAYO.....	33
1.5.1.	SOBRETENSIONES.....	33
1.5.1.1.	CAUSAS DE LAS SOBRETENSIONES.....	34
1.5.1.2.	PROPAGACIÓN DE LAS SOBRETENSIONES. ....	35
1.5.1.3.	CONSECUENCIAS DE LAS SOBRETENSIONES .....	35
1.5.2.	PROTECCIÓN FRENTE A SOBRETENSIONES .....	36
1.5.2.1.	ZONAS DE PROTECCIÓN .....	36

1.5.2.2.	TIPOS DE PROTECTORES FRENTE A SOBRETENSIONES. ....	37
1.5.2.3.	PROTECCIÓN DE EQUIPOS.....	38
1.5.2.3.1.	COMPONENTES DE LOS PROTECTORES CONTRA SOBRETENSIONES.....	38
1.6.	SOFTWARE UTILIZADO PARA EL ESTUDIO DE LA PROTECCIÓN. ....	39
1.6.1.	CDRISK .....	39
1.6.2.	AUTOCAD .....	40
2.	CASO DE APLICACIÓN: HOSPITAL PRINCESS ALEXANDRA, BRISBANE (AUSTRALIA) .....	42
2.1.	PRESENTACIÓN INFRAESTRUCTURA. ....	42
2.2.	ESTUDIO INFRAESTRUCTURA. ....	44
2.2.1.	ESTUDIO PROTECCIÓN EXTERNA. ....	44
2.2.1.1.	ESTUDIO PROTECCIÓN EXTERNA MEDIANTE PDC'S.....	44
2.2.1.2.	PROTECCIÓN EXTERNA MEDIANTE PUNTAS CAPTADORAS .....	54
2.2.2.	ESTUDIO PROTECCIÓN INTERNA.....	60
3.	CONCLUSIÓN.....	67
4.	PRESUPUESTO .....	69
5.	BIBLIOGRAFÍA E ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS .....	74
6.	ANEXO .....	79
7.	PLANOS .....	92



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

# CAPÍTULO 1. MEMORIA

ANÁLISIS, ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN INTERNA Y EXTERNA FRENTE DESCARGAS ELÉCTRICAS EN GRANDES INFRAESTRUCTURAS. APLICACIÓN AL HOSPITAL PRINCESS ALEXANDRA, AUSTRALIA.

## 1. MEMORIA

### 1.1. OBJETO DEL TRABAJO Y TITULAR DE LA INSTALACIÓN.

En el presente trabajo de fin de grado de índole académica se presenta: “el análisis, estudio de alternativas y diseño de la instalación de protección interna y externa frente a descargas eléctricas en grandes infraestructuras. Aplicación al hospital Princess Alexandra, Australia.”

Se recoge toda la información teórica sobre la física del rayo, sus efectos y la necesidad de la protección frente a éste junto con una detallada explicación de los sistemas de protección frente al rayo, externos e internos.

Todo esto aplicado a un emplazamiento de gran escala, con coordenadas de ubicación: -27.498829, 153.033229.

Asimismo, se detallan los estudios correspondientes para el diseño de las instalaciones de protección, sus desarrollos y sus resultados finales.

El estudio concluye con una definición de alternativas para la protección y la selección de la alternativa más eficiente.

Finalmente se incluyen los planos de la instalación final, mediciones y su presupuesto.

### 1.2. CONTEXTO NORMATIVO

De manera general, distinguimos los distintos organismos que elaboran la normativa de los distintos productos parte de la instalación.

En el ámbito normativo internacional, opera la Comisión Electrotécnica Internacional. Esta comisión publica las normas IEC. Está integrada por más de 150 países, los representados en color verde oscuro en la ilustración 1.

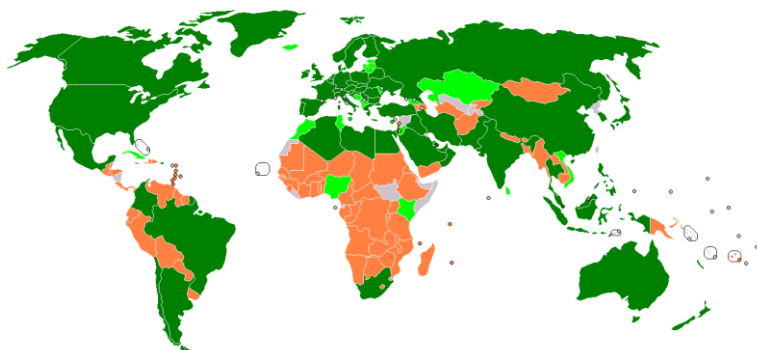


Ilustración 1: Países miembros de la IEC. Fuente: Wikipedia

Estos países disponen de sus propias normativas nacionales, de forma que la IEC no posee el poder de anular ni inhabilitar ninguna de las normas establecidas por el organismo regulador de cada país. En todo caso, el objetivo es que estos países sigan las mismas directrices que establece la norma IEC, intentando que adopten la normativa IEC como propia o que, en cualquier caso, adapten su propia normativa a la IEC para que las disposiciones de aplicación sean homogéneas y equivalentes.

Las distintas normas publicadas por la IEC, relacionadas con la protección frente a descargas eléctricas son las siguientes:

- IEC 62305: Norma de protección contra rayos.
- IEC 62561: Componentes del sistema de protección contra rayos.
- IEC TR 62066: Sobretensiones y protección contra sobretensiones en sistemas de alimentación de CA de baja tensión.
- IEC 61643: Dispositivos de protección contra sobretensiones de bajo voltaje.
- IEC 61140: Protección contra descargas eléctricas-aspectos comunes para la instalación y el equipo.

La norma IEC 62305 es la norma básica aplicable a los sistemas de protección contra el rayo.

Esta norma se desarrolla en cuatro partes diferenciadas:

1. **Principios generales:** introducción de la normativa y descripción del diseño del sistema de protección contra el rayo (PSCR). En este primer apartado se abarcan diferentes aspectos acerca del esquema de protección frente al rayo: los parámetros de la corriente del rayo, las zonas de protección contra rayos, la distancia de separación, los niveles de protección, los riesgos frente al impacto, etc.

En resumen, recoge los distintos requisitos y criterios para el correcto y eficiente diseño de la instalación de protección frente a descargas eléctricas.

2. **Gestión de riesgos:** se refiere a los riesgos de pérdidas humanas, de servicio al público, de patrimonio cultural o económicas; no está orientada al riesgo estructural.

En este apartado se aborda la evaluación de los riesgos previamente mencionados para la definición del nivel de protección necesario en la instalación objeto de estudio.

Mediante una serie de cálculos determinamos el valor de cada tipo de riesgo ( $R_n$ ), de forma que, si este valor es menor igual al riesgo tolerable ( $R_t$ ), no se precisará de protección. De lo contrario, se deberán instalar las correspondientes medidas de protección.

Para determinar el nivel y las medidas de protección idóneos se lleva a cabo un sistema iterativo, que se repite hasta conseguir un valor de  $R_n$  menor o igual al del riesgo tolerable.

3. **Daños físicos a estructuras y peligro para la vida:** este apartado reúne todas las medidas de protección que se precisan en una estructura internas y externas, y de mantenimiento e inspección.

En este punto se puede encontrar información relativa a:

- Niveles de protección.
- Clases de sistemas de protección frente al rayo (SPCR), tanto externos como internos.

TFG Laura Domingo Merino

- Métodos que determinan la posición de los sistemas de captación (esfera rodante, ángulo protector, mallas).
- Sistemas de puesta a tierra.
- Conexión equipotencial de rayos.

4. **Sistemas eléctricos y electrónicos dentro de estructuras:** referido en su totalidad al diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de protección frente a sobretensiones para sistemas eléctricos y electrónicos dentro de estructuras.

Con el paso del tiempo el número de sistemas eléctricos y electrónicos presentes en nuestras vidas cotidianas ha aumentado considerablemente. Por otro lado, se ha reducido el tamaño físico de estos sistemas. Todo ello pone de manifiesto la creciente importancia de estos sistemas de protección interna. Este apartado de la norma resume los parámetros y requisitos determinantes para el diseño de instalaciones de protección interna:

- Zonas de protección contra rayos.
- Medidas de protección contra sobretensiones.
- Distintos tipos de sistemas de protección frente a sobretensiones.

La norma concluye con la mención de la trascendencia que supone la amenaza creciente que presentan los rayos, y la necesidad de protección de los sistemas frente a éstos, así como de la importancia de incluir siempre la protección interna frente a sobretensiones en los estudios de protección frente a descargas eléctricas.

La norma IEC 61643: Dispositivos de protección contra sobretensiones de bajo voltaje, es la norma en la que se establecen los criterios para la selección de protectores frente a sobretensiones transitorias.

También hay que tener en cuenta que estas normas son exigidas en la gran mayoría de proyectos, sirviendo de guía para completar las normas y leyes de obligado cumplimiento.

En el ámbito normativo europeo, opera el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC), organismo encargado de la elaboración de la normativa europea en el ámbito de la ingeniería eléctrica.

Sigue la normativa publicada por la IEC, si bien, elaboran normas propias. sus propis medias técnicos.

Este comité publica las normas EN (Norma europea), las cuales se conforman una vez existe un acuerdo unánime entre los países europeos que componen el CENELEC.

Los países miembros del comité son treinta y tres, entre los que podemos encontrar a España, Portugal, Francia, Alemania, etc. Hay, además, trece países afiliados al organismo, entre los que se encuentran Albania y Bielorrusia.

Una vez publicada la normativa EN, todos los países miembros de la Unión Europea deberán adaptar su normativa a la publicada.



Y en el caso de que una norma IEC sea adoptada por el CENELEC, estos países deberán, igualmente, adaptarla a su normativa nacional.

En el caso de la protección contra el rayo, CENELEC ha adoptado las normas IEC, elaborando la normativa BS EN / IEC 62305 que se configura en cuatro partes equivalentes a las de la norma IEC 62305.

En el ámbito normativo nacional, cada país adopta su propia normativa, que podrá regirse o no por la normativa del IEC.

En el caso de España, el organismo encargado de la elaboración de la normativa técnica es la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

Estas normas son denominadas UNE y regulan la normalización española según lo establecido en el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial<sup>1</sup> y el Reglamento (UE) sobre normalización europea<sup>2</sup>.

En el ámbito de la protección contra el rayo, la normativa UNE ha adoptado la normativa europea en la materia, configurando la norma UNE EN 62305 en cuatro apartados, al igual que la normativa de origen:

- UNE-EN 62305-1:2011. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales.
- UNE-EN 62305-2:2012. Protección contra el rayo. Parte 2: Evaluación del riesgo.
- UNE-EN 62305-3:2011. Protección contra el rayo. Parte 3: Daño físico a estructuras y riesgo humano.
- UNE-EN 62305-4:2011. Protección contra el rayo. Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras.

Otra norma referente a la protección frente a descargas eléctricas, en concreto relativa a la protección contra el rayo mediante pararrayos con dispositivos de cebado, publicada o adoptada por la normativa UNE es la siguiente:

- UNE 21186:2011. Protección contra el rayo: pararrayos con dispositivo de cebado.

Por otra parte, la normativa nacional específica, se verá afectada por las distintas normativas propias del país referentes al ámbito eléctrico, o a criterios normativos establecidos para el estudio de las instalaciones.

En el caso de España, por ejemplo, debemos tener en cuenta el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y el Código Técnico de Edificación.

---

Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial. BOE nº 32 de 06/02/1996

<sup>2</sup> Reglamento (UE) n.º 1025/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, sobre la normalización europea, por el que se modifican las Directivas 89/686/CEE y 93/15/CEE del Consejo y las Directivas 94/9/CE, 94/25/CE, 95/16/CE, 97/23/CE, 98/34/CE, 2004/22/CE, 2007/23/CE, 2009/23/CE y 2009/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y por el que se deroga la Decisión 87/95/CEE del Consejo y la Decisión n.º 1673/2006/CE del Parlamento Europeo y del Consejo Texto pertinente a efectos del EEE

Reglamento electrotécnico para baja tensión. El Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto establece en el artículo 1 que:

*“El presente Reglamento tiene por objeto establecer las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro en los límites de baja tensión, con la finalidad de: a) Preservar la seguridad de las personas y los bienes. b) Asegurar el normal funcionamiento de dichas instalaciones y prevenir las perturbaciones en otras instalaciones y servicios. c) Contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones.”<sup>3</sup>*

Este reglamento, basándose en la normativa IEC 61643, establece como obligatoria la protección contra sobretensiones según el Artículo 16.3: *“Los sistemas de protección para las instalaciones interiores o receptoras para baja tensión impedirán los efectos de las sobreintensidades y sobretensiones que por distintas causas cabe prever en las mismas y resguardarán a sus materiales y equipos de las acciones y efectos de los agentes externos”.*

#### Código Técnico de Edificación.

Por su parte, el Código Técnico de la Edificación<sup>4</sup> es el marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).

La sección SUA 8 "Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo" del Código Técnico de Edificación (CTE) define el procedimiento para el cálculo del índice de riesgo de impacto de rayo, y la selección del nivel de protección.

Se propone una evaluación de los riesgos teniendo en cuenta el riesgo de impacto y los siguientes factores:

- Entorno del edificio.
- Naturaleza de la estructura.
- Valor de su contenido.
- Ocupación humana y riesgo de pánico.
- Consecuencias que tendrían sobre el entorno los daños en el edificio.

Dado que la aplicación práctica de la protección contra el rayo que se desarrolla en este trabajo se realiza sobre una infraestructura ubicada en Australia, se profundiza a continuación en la normativa que para este tipo de instalaciones está vigente en ese País.

En el caso de Australia, para el estudio de protección frente al rayo es de aplicación la normativa AS/NZS 1768.

#### AS/NZ 1768:2021

---

<sup>3</sup> Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. BOE nº 224 de 18/09/2002.

<sup>4</sup> Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE nº 74, de 28/03/2006

Resumidamente se pueden recoger los siguientes requisitos para cada parte integrante de la instalación:

#### **Normas para terminales aéreos (puntas captadoras o PDC's)**

- Los terminales aéreos deben proteger principalmente las partes más vulnerables.
- Se ha de estudiar la instalación de puntas captadoras mediante el método de la esfera rodante.
- En caso de que los terminales definidos no cubran las partes más vulnerables, se deben añadir más terminales para su protección total.

#### **Normas para protección de cubiertas**

- Los conductores horizontales y objetos metálicos, como pueden ser raíles metálicos, elementos arquitectónicos o escaleras de acceso, podrán servir de terminales aéreos para la protección de la superficie de la cubierta. Siempre y cuando estos elementos no se sitúen a más de 500 mm por encima de la superficie a proteger.

#### **Normas para bajantes**

- Los conductores de bajada principales deben tener cada uno su propia puesta a tierra y el espacio entre bajantes no debe exceder los 20 metros.
- Cada terminal debe tener su propia bajante. En caso de salientes de tejados, el conductor de bajada podrá actuar de terminal aéreo sobre esa zona.

#### **Normas para el camino de los conductores de bajada**

- Los conductores de bajada se distribuyen exteriormente por las fachadas de los edificios.
- En caso de fachadas inviables para bajantes, el camino de bajada puede realizarse por conductos interiores. Siempre y cuando estos conductos no alberguen instalaciones eléctricas o metálicas.

#### **Normas para terminales de puesta a tierra**

- La resistencia para una correcta puesta a tierra no debe exceder los 10  $\Omega$
- Debe existir una conexión equipotencial entre todos los elementos metálicos a nivel del suelo.
- Debe instalarse un terminal de puesta a tierra por cada conductor de bajada.

Para realizar el estudio de protección frente al rayo en el emplazamiento seleccionado debemos seguir una normativa definida.

El proyecto tiene lugar en Brisbane, Australia, de manera que se debe considerar la normativa aplicable en dicho país.

En Australia no se cuenta con una normativa aplicable para la protección frente al rayo mediante la instalación de pararrayos con dispositivo de cebado.

Esto ligado a que los productos que conforman la instalación completa siguen esta normativa y es una instalación solicitada según ese criterio.

Es por ello por lo que, en este caso, se tendrá en cuenta para el estudio, la normativa española UNE 21186:2011 para el estudio de protección mediante PDC's.

Para el estudio de la instalación de la protección mediante puntas captadoras se seguirá la normativa IEC 62305 y la normativa propia del país, AS 1768:2021

Y finalmente, la selección de protectores frente a sobretensiones transitorias seguirá la norma IEC 61643: Dispositivos de protección contra sobretensiones de bajo voltaje.

Se concluye este apartado definiendo las normativas aplicadas para cada tipo de protección:

- Instalación de protección frente al rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado: UNE 21186:2011.
- Instalación de protección frente al rayo mediante puntas captadoras y mallas (Jaula de Faraday): IEC 62305 y AS 1768:2021.
- Instalación de protección interna frente al rayo mediante protectores de sobretensiones: IEC 62305-2 y IEC 61643 Parte 12: Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias conectados a sistemas eléctricos de baja tensión. Selección y principios de aplicación

### 1.3. NATURALEZA DEL RAYO.

#### 1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL RAYO.

El rayo es un fenómeno físico consistente en una descarga eléctrica desde la atmósfera a la superficie terrestre. La descarga tiene lugar al existir una diferencia de cargas entre ambas.

La definición técnica según normativa es la siguiente: *“Descarga eléctrica simple en una descarga a tierra”*<sup>5</sup>

Existen ciertos mecanismos para que una nube adquiera la carga eléctrica suficiente para que se produzca su descarga, estos son los siguientes:

- Mecanismo convectivo: durante la formación de la nube existen unas corrientes ascendentes que desplazan los iones positivos, quedando éstos dentro de partículas de agua. Mientras que los iones negativos son atraídos por las partículas superficiales, siendo transportadas hacia zonas bajas por las corrientes descendentes. De forma que exista una variación de carga en la propia nube.
- Mecanismo inductivo: consiste en la existencia de un campo eléctrico externo, el cual induce carga en las partículas existentes en la nube. De forma que éstas colisionan generando una transferencia de carga.
- Mecanismos no inductivos: estos mecanismos no funcionan con campos eléctricos, sino que se dan por la carga generada por la adhesión de partículas de agua a la superficie de pequeños cristales de hielo.

#### 1.3.2. TIPOS DE RAYOS.

Atendiendo a diversas clasificaciones podemos encontrar varios tipos de rayos. La clasificación principal, es en función de los puntos entre los que ocurre el rayo. Éstos son los siguientes:

- Rayos nube-nube (CC): entre una nube y otra

---

<sup>5</sup> IEC 62305-1. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales.

- Rayos intra-nube (IC): entre regiones de carga de una misma nube
- Rayos nube aire (CA): de una nube hacia la atmósfera (poco comunes).
- Rayos nube-tierra (CG): de una nube hacia la superficie terrestre.

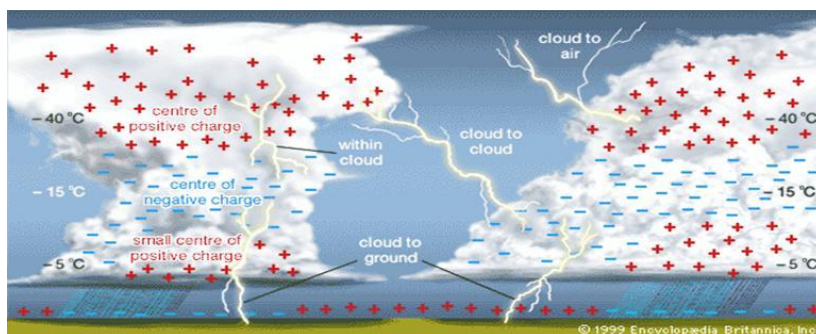


Ilustración 2: Tipos de rayos en función de los puntos entre los que se da el fenómeno. Fuente: Encyclopædia Britannica, Inc.

Los rayos entre nube y superficie terrestre son los de mayor relevancia frente a la protección frente a descargas. No sólo porque presentan un impacto directo en la superficie, sino también por el daño que puedan ocasionar de manera indirecta.

De este tipo de rayo existen a su vez cuatro tipos de rayo nube-tierra, según si son ascendentes o descendentes y positivos o negativos. En el 90% de los casos estos rayos son descendentes negativos.

### 1.3.3. PROCESO DE FORMACIÓN DEL RAYO.

El proceso de formación de este tipo de rayos comienza con la agrupación de cargas mediante los mecanismos comentados anteriormente. De forma que la nube queda cargada negativamente en su parte baja, induciendo carga positiva sobre la superficie terrestre y elementos que existan en ella. Dando lugar a campos eléctricos a nivel del suelo de decenas de kilovoltios.

Se define el Líder descendente como un canal ionizado negativamente que avanza buscando conectar con la tierra, la cual se encuentra con polaridad positiva por inducción.

El líder descendente avanza desde la nube hacia la superficie a pasos discretos. De forma que el campo eléctrico ambiental aumenta considerablemente su valor, existiendo un valor de campo eléctrico suficiente para que aparezcan los primeros puntos precursores de descarga.

Una vez que el rayo se sitúa lo suficientemente cerca del suelo y se cumple la condición de campo eléctrico ambiental suficiente para la auto propagación (500kV/m), los puntos de descarga lanzarán dicha descarga hacia el líder descendente. El punto que lo alcance pasará a ser el líder ascendente y será el responsable de crear el camino de descarga entre nube y tierra. Según se observa en ilustración 3, existen trazadores ascendentes que no llegan a alcanzar al líder descendente y no consiguen completar el recorrido de la descarga.



Ilustración 3: Trazadores ascendentes que no alcanzan al líder descendente. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo.

Una vez ambos trazadores se unan comenzará la transferencia de carga por medio de ondas ionizantes que se propagan a lo largo del canal. Esta primera descarga se conoce como descarga de retorno (*return stroke*), con un tiempo de propagación del orden de  $70\mu\text{s}$  y produciendo un pico de corriente con valor promedio de  $30\text{kA}$ .

Una vez finalizada la descarga aún pueden aparecer nuevos arcos debido a la carga adicional que posee la nube, denominados subsiguientes (*sub-sequent strokes*).

El pulso de corriente de esta transferencia se caracteriza por tener un tiempo de subida muy rápido seguido de un tiempo de bajada largo. El pulso de mayor magnitud es el primer arco de retorno.

Esta evolución del rayo se puede observar en la siguiente ilustración:

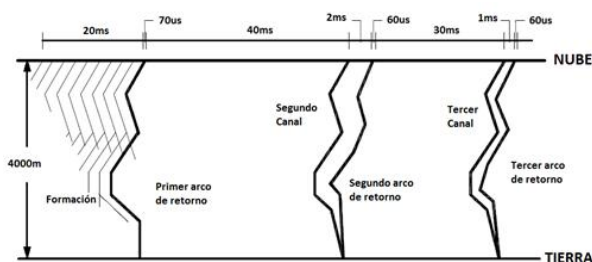


Ilustración 4: Evolución temporal de un rayo. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo.

#### 1.3.4. IMPACTO DEL RAYO.

Para el dimensionado del Sistema de Protección frente al Rayo (SPCR), siguiendo la IEC 62305-1, debemos primero plantear el tipo de impacto producido por el rayo. Se distinguen los siguientes puntos de impacto, que se muestran en la Ilustración 5:

- S1: Impacto directo sobre la estructura.
- S2: Impacto cercano a la estructura.
- S3: Impacto directo en una línea de servicio.
- S4: Impacto cercano a una línea de servicio.

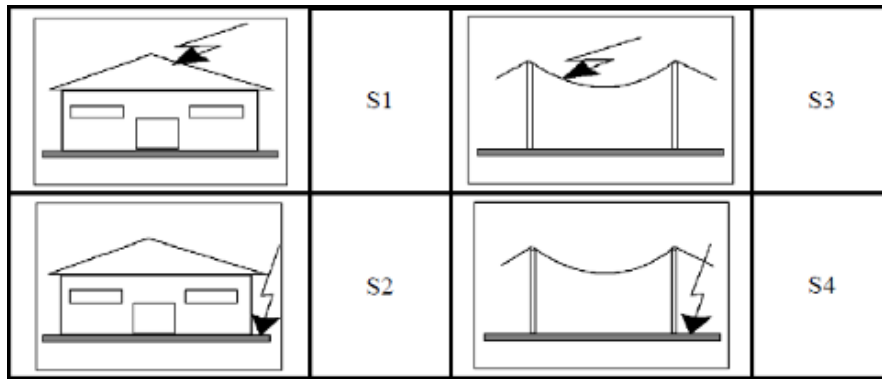


Ilustración 5: Puntos de impactos del rayo. Fuente: IEC 62305-1. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales.

Según el lugar de impacto del rayo, pueden aparecer problemas eléctricos. Estos problemas se generan a través de unos mecanismos de acoplamiento por los cuales la corriente del rayo puede circular por el lugar a proteger. Existen así mecanismos de acoplamiento resistivo, inductivo y capacitivo.

- Acoplamiento resistivo (por contacto): tiene lugar cuando un elemento pone en contacto a dos o más partes. Este elemento se comporta como una resistencia, recibiendo el impacto en la parte principal y desviando parte de esa descarga hacia la parte secundaria. Los más comunes se dan por contacto por red de tierras y por la línea de servicio.

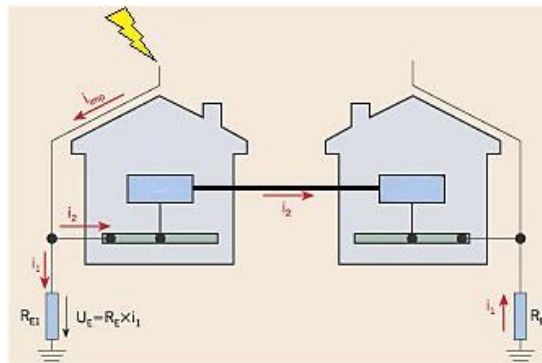


Ilustración 6: Acoplamiento resistivo por red de tierras y por la línea de servicio. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo.

- Acoplamiento inductivo (por campo magnético): este tipo de acoplamiento se basa en la inducción de flujo de corriente en un conductor secundario por el contacto con una fuente principal campo magnético. Gran importancia en bucles inductivos, de modo diferencial (bucle formado por dos conductores) o de modo común (bucle formado entre conductor y tierra).



Ilustración 7: Acoplamiento inductivo por campo magnético. Fuente: Artículo técnico “Acoplamiento inductivo y cómo minimizar sus efectos en la industria (Smar Technology)”.

- Acoplamiento capacitivo (por campo eléctrico): es el generado entre dos conductores separados por un aislante, trabajando éste como un condensador. De manera que, al existir una perturbación en el conductor principal ésta se trasladará al conductor secundario. Esta perturbación será directamente proporcional al valor que tenga el condensador que une ambos elementos. Puede darse en modo común (entre tierra y conductor) o en modo diferencial (entre dos o más conductores).

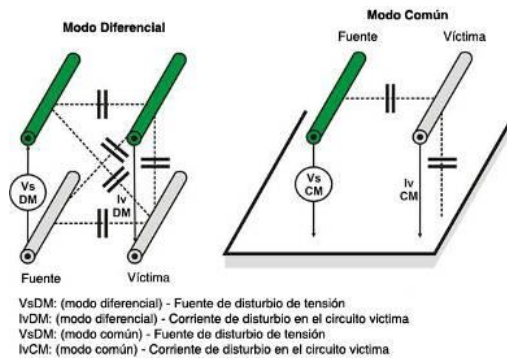


Ilustración 8: Acoplamiento capacitivo por campo eléctrico. Fuente: Artículo técnico “Acoplamiento inductivo y cómo minimizar sus efectos en la industria (Smar Technology)”.

Estos acoplamientos comentados resultan muy comunes, lo que deriva en la necesidad de instalación de dispositivos de protección frente a sobretensiones, aspecto que se tratará posteriormente.

#### 1.3.4.1. NIVELES DE PROTECCIÓN DEL RAYO.

Se definen los niveles de protección frente al rayo como: “Cifra relacionada con un conjunto de parámetros de la corriente del rayo y relativa a la probabilidad de que los valores máximos y mínimos previstos no se sobrepasarán cuando aparezcan tormentas naturales.”<sup>6</sup>

Existen cuatro niveles de protección de más a menos restrictivo, siendo así el nivel 4 el menos restrictivo.

<sup>6</sup> UNE-EN 62305-1. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales.



Se establecen unos parámetros máximos y mínimos de la corriente del rayo para cada uno de estos niveles, que se indican en las tablas siguientes:

Tabla 1: Límites de los parámetros de la corriente del rayo según IEC 62305-1. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales.

Probabilidad para que los parámetros del rayo sean:	Nivel de protección			
	I	II	III	IV
Inferiores a los valores máximos definidos en la tabla 2	0,99	0,98	0,97	0,97
Superiores a los valores mínimos definidos en la tabla 3	0,99	0,97	0,91	0,84

Tabla 2: Valores máximos según IEC 62305-1. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales.

Parámetros de corriente	Símbolo	Unidad	Nivel de protección			
			I	II	III	IV
Primer impulso positivo						
Valor de cresta de la corriente	I	kA	200	150	100	
Carga del impulso	$Q_{CORTA}$	C	100	75	50	
Energía específica	W/R	MJ/ $\Omega$	10	5,6	2,5	
Parámetros de tiempo	T1/T2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	10 / 350			
Primer impulso negativo						
Valor de cresta de la corriente	I	kA	100	75	50	
Pendiente media	di/ dt	kA/ $\mu\text{s}$	100	75	50	
Parámetros de tiempo	T1/T2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	1 / 200			

Impulso subsiguiente						
Valor de cresta de la corriente	I	kA	50	37,5	25	
Pendiente media	di/ dt	kA/ $\mu\text{s}$	200	150	100	
Parámetros de tiempo	T1/T2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	0,25 / 100			
Impulso largo						
Carga del impulso largo	$Q_{LARGA}$	C	200	150	100	
Parámetros de tiempo	$T_{LARGO}$	s	0,5			
Descarga						
Carga de la descarga	$Q_{DESCARGA}$	C	300	225	150	

Tabla 3: Valores mínimos según IEC 62305-1. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales.

			Niveles de protección			
	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Valor de cresta mínimo de la corriente	I	kA	3	5	10	16

Los valores máximos (tabla 2) se definen para el dimensionado de los elementos que componen el SPCR, pueden ser las características dimensionales de conductores, los tipos de protectores contra sobretensiones, distancias de protección, etc.

De la misma forma, se utilizan para establecer los parámetros de ensayo que simulen en estos componentes el efecto del rayo.

Los valores mínimos (tabla 3) se utilizan para conocer el posicionamiento de los terminales aéreos del SPCR.

#### 1.3.5. EFECTOS DEL RAYO.

Un rayo que impacta en la superficie terrestre se expande a través de ella de forma radial desde su punto de impacto. Esto provocará la existencia de un gradiente de potencial, definido por la resistividad y distintas características del terreno.

Los efectos de este gradiente de potencial se definen en la UNE EN 62305-3: Daño físico a estructuras y riesgo como tensiones de paso y de contacto.

La tensión de paso es la producida entre dos puntos en contacto con el terreno, siempre y cuando cada punto se encuentre a un distinto valor de potencial.

La tensión de contacto sucede cuando una parte de la persona se encuentra en contacto con un punto por el que circula corriente y con un punto de tierra. De forma que se produce la circulación de parte del rayo por el cuerpo de la persona en contacto.



Ilustración 9: Tensiones de paso y de contacto. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo.

#### 1.4. PROTECCIÓN EXTERNA CONTRA EL RAYO.

El sistema externo de protección contra el rayo consiste en la captación del rayo y su posterior conducción de forma segura hasta la toma de tierra para disipar así su energía.

Existen diferentes alternativas para la protección externa: pararrayos con dispositivo de cebado o Jaula Faraday (puntas captadoras y mallas).

La principal ventaja de los pararrayos con dispositivo de cebado (PDC's) frente a las puntas captadoras (Franklin), es su aprovechamiento de los efectos dinámicos de un rayo mediante el dispositivo de cebado.

Esto resulta en una descarga de mayor seguridad, un mayor radio de cobertura y una instalación más sencilla y ligera.

Debido a que este tipo de instalación de protección frente al rayo no ha sido aceptado por gran parte de los países, los distintos comités normativos no han llegado a un consenso referente a su la normativa a seguir.

Aun así, existen una serie de normas que sustentan y defienden este tipo de protección: la NFC 17102-2011, UNE-21186-2011 y NP 4426.

A nivel nacional cada país posee su propia norma referente a la protección frente al rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado.

Para el desarrollo de la protección externa se siguen las normas:

- UNE 21186: Protección contra el rayo: Pararrayos con dispositivo de cebado.
- IEC 62305: Protección contra el rayo.

##### 1.4.1. PARTES DEL SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO.

El sistema externo de protección contra el rayo se compone de: uno o más captadores, conductores de bajada y el sistema de toma de tierra.

###### 1.4.1.1. PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO.

El pararrayos con dispositivo de cebado (PDC) consiste en un sistema de captación del rayo mediante un dispositivo que permite precisar el punto de impacto del rayo.

Este dispositivo es capaz de crear un líder ascendente que contacte con el líder descendente, convirtiéndose en el punto de impacto del rayo.

El radio de protección del PDC ( $R_p$ ) se obtiene teniendo) mediante la siguiente fórmula:

$$R_p = \sqrt{2Dh - h^2 + \Delta \cdot (2D + \Delta)} \text{ para } h > 5m$$
$$R_p = h \cdot R_p(h = 5) \text{ para } 2m \leq h \leq 5m$$

*Ilustración 10: Cálculo radio de protección para PDC. Fuente: UNE 21186:2011 apartado 5.2.3.2. Radio de protección.*

Donde, según norma UNE 21186:2011 apartado 5.2.3.2. Radio de protección, se consideran los siguientes parámetros:

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

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

$r$  (m)

20 m para nivel de protección I,

30 m para nivel de protección II,

45 m para nivel de protección III,

60 m para nivel de protección IV;

$\Delta(m) \Delta = \Delta T \times 106$

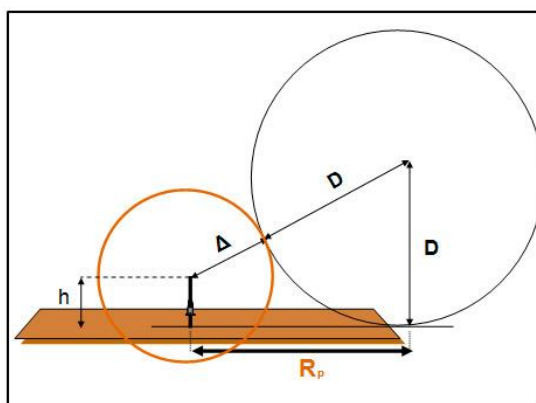


Ilustración 11: Conexión de la esfera rodante y el trazador descendente. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo.

Para proceder a la colocación de los pararrayos se deben tener en cuenta varias consideraciones,

- 1) Se coloca el pararrayos seleccionado según radio de protección, en función del nivel de riesgo.
- 2) Se deberá situar el pararrayos principal (en caso de necesitar más de uno para cubrir la superficie) en el lugar más elevado y al menos 2 metros por encima de cualquier elemento del área a proteger.
- 3) Se trata de ubicar los pararrayos lo más próximos posibles a las esquinas, puntos preferenciales de impacto de rayo.
- 4) Se coloca el menor número de pararrayos para cubrir la mayor área posible, para conseguir una instalación lo más eficiente posible.

#### 1.4.1.2. PARARRAYOS CON PUNTAS FRANKLIN

Las puntas franklin son un tipo de terminal aéreo para la protección externa frente al rayo. Consisten en una barra metálica de bronce, cobre o acero inoxidable con la parte superior afilada.

Este tipo de instalación capta las descargas eléctricas mediante el efecto denominado: “efecto de puntas”. De forma que la región de las puntas dispone de la mayor concentración de cargas, con un mayor campo eléctrico.

Esta punta una vez alcance la intensidad suficiente podrá superar la tensión de ionización del aire, y comenzará a circular corriente a través de ella.

Al avanzar el líder descendente, la inducción aumenta junto con el campo y se incrementa la corriente que circula por la punta.

Esto da lugar a la formación del líder ascendente, lo que no siempre ocurre. En ocasiones el líder descendente no es lo suficientemente rápido y esto da lugar a la acumulación de cargas en el volumen alrededor de la punta. Este efecto se conoce como el efecto de cargas en volumen y evita la formación del líder ascendente.

Esto resulta en que las puntas sean pasivas, de forma que funcionan según el avance del líder descendente.

Se debe tener en cuenta que la existencia de elementos metálicos puntiagudos alrededor de la instalación de las puntas franklin hace que todos ellos puedan generar el líder ascendente.

Para el estudio de la ubicación de las puntas de la instalación existen tres métodos de estudio:

- Método del ángulo de protección.
- Método de la esfera rodante.
- Método de la malla.

El método del ángulo de protección es adecuado para edificios simples, limitado para grandes alturas.

El método de la malla es adecuado para la protección de superficies planas.

Y el método de la esfera rodante sin embargo es adecuado para todos los casos, es por ello que es el método más utilizado. Se define a continuación:

Según este modelo, establecido según la IEC 62305-3: Daño físico a estructuras y riesgo humano, el líder descendente se propaga hacia la superficie mediante impulsos. Estos impulsos tendrán una distancia de alcance en función de la carga que transporta, relacionada a su vez con el valor cresta del primer impulso de corriente. De esta forma:

$$R = 10 \cdot I^{0.65}$$

Donde,  $r$  es la distancia que recorre el trazador (medida en m) y  $I$  es el valor de cresta de la corriente del primer impulso (medida en kA).

Según este modelo, el líder descendente podrá alcanzar en un salto la distancia calculada  $r$ .

Cuando el trazador se acerca a la superficie se produce el último salto del rayo (final jump), salto del cual se desconoce su dirección. De forma que se aplica el método de la esfera rodante, que abarca el volumen que comprende el conjunto total de direcciones del trazador para una distancia  $r$ .

Por tanto, para determinar los diferentes puntos de impacto se hace rodar una esfera de radio  $r$  sobre la estructura a proteger, tal y como se muestra en la Ilustración 12. Dicho radio  $r$ , determina el nivel de protección a establecer. Este nivel se establece aproximadamente según la siguiente tabla:

Tabla 4: Radios de la esfera rodante en función del nivel de protección. Fuente: Anexo B.1.1.1.2. Método de la esfera rodante del DBSUA

Nivel de protección	Radio de la esfera rodante m
1	20
2	30
3	45
4	60

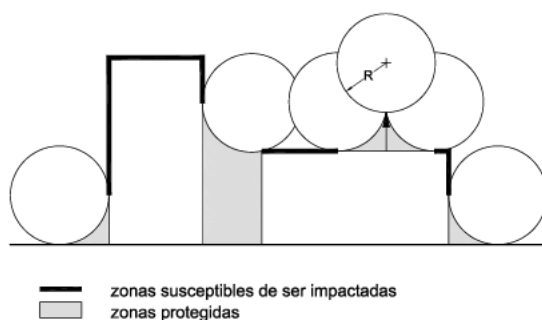


Ilustración 12: Esfera rodante en estructuras. Fuente: Anexo B.1.1.1.2. Método de la esfera rodante del DBSUA

#### 1.4.1.3. BAJANTES

La siguiente parte de la instalación es la del conductor de bajada, cuya función es la de conducir la corriente captada por el pararrayos hasta la toma de tierra.

Para su instalación se siguen los criterios establecidos por la UNE 21186:2011 y la IEC 62305-3, son los siguientes:

##### 1) Número de conductores necesarios

Siguiendo la normativa mencionada, por cada pararrayos se instalan dos bajantes.

Es preferible que ambas vayan por fachadas distintas del edificio a proteger, a ser posible por fachadas contrarias. Estas dos bajantes deben estar separadas al menos dos metros para considerarse independientes, y no deben compartir más de un 5% de la longitud de la bajante más corta.

En caso de que la estructura a proteger sea metálica, dicha estructura podrá ser considerada como una bajante. Esto siempre y cuando esté conectada al pararrayos, garantice continuidad de bajada hasta la toma de tierras, y, sobre todo, que la otra bajante esté compuesta por un conductor específico del SPCR.

## 2) Dimensiones y materiales

Teniendo en cuenta la corriente del rayo a controlar, es preferible un conductor plano a uno redondo y se recomienda el cobre estañado. Priorizando así, el uso de pletina de cobre estañado.

La normativa aplicable presenta en una tabla los materiales y dimensiones mínimas de los conductores de bajada:

*Tabla 5: Materiales y dimensiones mínimas de los conductores de bajada. Fuente: UNE EN 62561-2. Componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 2: Requisitos para los conductores y los electrodos de puesta a tierra.*

Material	Configuración	Sección (mm <sup>2</sup> )	Dimensiones recomendadas
Cobre, Cobre estañado	Pletina	≥ 50	2 mm de espesor
	Redondo	≥ 50	8 mm de diámetro
	Trenzado	≥ 50	cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm
Aluminio	Pletina	≥ 70	3 mm de espesor
	Redondo	≥ 50	8 mm de diámetro
	Trenzado	≥ 50	cada hilo un diámetro mínimo de 1,63mm
Cobre con revestimiento de aleación de aluminio	Redondo	≥ 50	8 mm de diámetro
Aleación de aluminio	Pletina	≥ 50	2,5 mm de espesor
	Redondo	≥ 50	8 mm de diámetro
	Trenzado	≥ 50	cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm
Acero galvanizado en caliente	Pletina	≥ 50	2,5 mm de espesor
	Redondo	≥ 50	8 mm de diámetro
	Trenzado	≥ 50	cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm
Cobre con revestimiento de acero	Redondo	≥ 50	8 mm de diámetro
	Pletina	≥ 50	2,5 mm de espesor
Acero inoxidable	Pletina	≥ 50	2 mm de espesor
	Redondo	≥ 50	8 mm de diámetro
	Trenzado	≥ 70	cada hilo un diámetro mínimo de 1,7 mm

### 3) Trayectoria y dirección

La trayectoria de la bajante debe ser lo más corta y recta posible, evitando el contacto con conducciones eléctricas y el contorno de cornisas o elevaciones.

Existe un criterio de aceptación de curvaturas, dependiendo de la longitud del bucle ( $l$ ) y de la anchura del bucle ( $d$ ). Según la desigualdad:  $d > l/20$

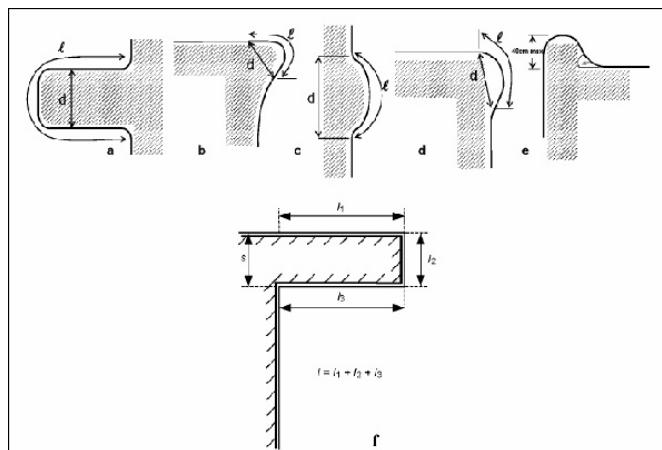


Ilustración 13: Formas de acodamiento de una bajante de pararrayos. Fuente: UNE 21186:2011 apartado 5.3.3. Trayectoria.

### 4) Fijaciones

Se deberán instalar 3 fijaciones por metro de conductor.

### 5) Continuidad y juntas de control

Los componentes de conexión de una bajante deben cumplir una serie de requisitos establecidos en la norma. Estos requisitos son los siguientes:

- Correcta funcionalidad tras derivar corrientes de rayo.
- No dañar los componentes de la estructura ni del sistema de protección.
- Las conexiones, especialmente las uniones de prueba deben poder abrirse con las herramientas adecuadas tras soportar la corriente del rayo.
- Conexión segura.
- Marcado completo, legible y perdurable.

Para preservar la continuidad entre bajante y toma de tierra de la instalación se implementa una conexión del tipo manguito seccionador. Mediante este manguito seccionador, se podrá desconectar la bajante de la toma de tierra para poder realizar su comprobación periódica.

### 6) Elementos auxiliares

Los elementos auxiliares principales son, el tubo de protección y el contador de rayos.



El tubo de protección se instala a una altura superior de 2 metros sobre lugares accesibles.

El contador de rayos, indica el número de impactos y su momento de impacto. Según normativa se debe realizar dicha inspección. El propio contador puede ser electromecánico, que recoge la cantidad de impactos recibidos. Puede ser inteligente, recoge más información sobre el impacto del rayo, como puede ser la fecha y hora del impacto, la intensidad de corriente o la polaridad del rayo.

## 7) Distancias de separación

La normativa aplicable establece una distancia de separación mínima entre elementos conductores para evitar formación de chispas peligrosas. Esta distancia sigue la expresión:

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

Donde,

Ki depende del nivel de protección;

Km depende del aislamiento eléctrico de los materiales;

Kc depende de la corriente que circula por el pararrayos y las bajantes;

L es la longitud entre el punto desde el que se considera la distancia de seguridad y el punto en que se encuentra el punto equipotencial más próximo.

Estos parámetros se obtienen de una serie de tablas que se muestran a continuación:

*Tabla 6: Parámetro ki en función del nivel de protección. Fuente: UNE EN 62561-2. Componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 2: Requisitos para los conductores y los electrodos de puesta a tierra.*

Nivel de protección	ki
I	0,08
II	0,06
III y IV	0,04

*Tabla 7: Parámetro km en función de los materiales. Fuente: UNE EN 62561-2. Componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 2: Requisitos para los conductores y los electrodos de puesta a tierra.*

Materiales	km
Aire	1
Hormigón, ladrillo	0,5

Tabla 8: Parámetro  $k_c$  en función del número de bajantes. Fuente: UNE EN 62561-2. Componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 2: Requisitos para los conductores y los electrodos de puesta a tierra.

Número de bajantes	$k_c$
1	1
2	0,66
3 o mas	0,44

Cuando dicha distancia de seguridad no se cumpla, se deberá realizar una unión equipotencial mediante vía de chispas o directa.

De esta forma, todos los equipos y antenas que se sitúen en el mismo tejado que el pararrayos deberán unirse equipotencialmente.

Como excepción, en estructuras metálicas o de hormigón con armaduras metálicas, no se requiere de distancia de seguridad.

#### 1.4.1.4. TOMA DE TIERRA

##### 1.4.1.4.1. FACTORES PRINCIPALES DE LAS TOMAS DE TIERRA.

La toma de tierra es parte indispensable del sistema de protección contra el rayo, ya que disipa toda la corriente descargada por este.

Según la IEC 62305-4, para considerar una toma de tierra como correcta ésta debe cumplir con una serie de requisitos; una resistencia menor a 10 ohmios, una buena resistencia a corrosión, capacidad de soportar y disipar las corrientes de las descargas recibidas y la capacidad de realizar su función durante un largo período de tiempo.

Se establecen dos tipos de puesta a tierra: puesta a tierra formada por un conjunto de electrodos horizontales (patas de ganso) o verticales (preferentemente en triángulo), o bien, una puesta a tierra formada por un anillo de tierra al que se unen las distintas bajantes, donde cada bajante deberá estar conectada a un electrodo (horizontal o vertical).

En caso de que la resistencia supere los 10 ohmios se procederá de distintas maneras para su corrección.

Añadiendo un mejorador de la conductividad del terreno, añadiendo electrodos en horizontal o conectando con picas ya existentes, multiplicando el número de tomas de tierra, o aplicando un tratamiento de disminución de la impedancia.

La toma de tierra preferente se realiza mediante tres picas de longitud de 2 metros conectadas en triángulo y separadas 2 metros entre ellas, unidas por un cable de 50m<sup>2</sup> de sección y enterrado al menos 50 cm.

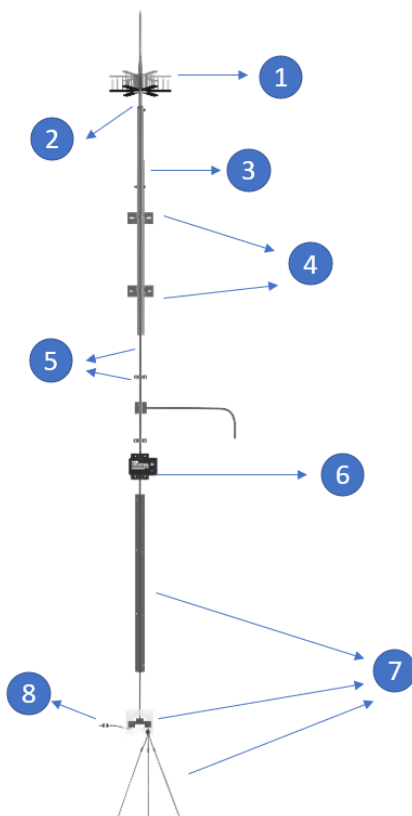
#### 1.4.2. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS HABITUALMENTE PARA LA PROTECCIÓN EXTERNA

Una vez contextualizada la teoría de la instalación, se definen a continuación cada uno de los elementos que la conforman.

Siguiendo el orden descendente de instalación del sistema de protección externa frente al rayo, podemos listar los distintos elementos que conforman esta instalación:

1. Pararrayos con dispositivo de cebado
2. Pieza de adaptación.
3. Mástil.
4. Anclajes.
5. Conductor para la bajante junto con sujeciones.
6. Contador de rayos.
7. Elementos de la puesta a tierra (tubo de protección, arqueta, puente de comprobación, electrodos y mejoradores del terreno).
8. Vías de chispas.
9. Elementos de conexión.

Estos elementos aparecen referenciados en el esquema de la ilustración 14 y se describen a continuación.



*Ilustración 14: Elementos de la instalación de protección externa frente al rayo mediante dispositivo de cebado.*

##### 1) Terminal aéreo.

Existen varios sistemas de captación del rayo, mediante puntas franklin y mediante pararrayos con dispositivo de cebado.

El PDC puede incorporar un dispositivo de control remoto, para poder comprobar en todo momento el estado del pararrayos.

Según se establece en la normativa, sobre el pararrayos deben realizarse una serie de ensayos:

- Ensayos medioambientales para asegurar su funcionamiento en ambientes corrosivos.
- Ensayos de corriente aplicando 3 impulsos de 100 kA con onda 10/350micros, asegurando la continuidad de servicio frente a sucesivas descargas de rayo.
- Ensayo de tiempo de avance para calcular el factor delta que determina el radio de protección.

La selección del pararrayos concreto para la mejor protección se realiza en función del radio de protección necesario y del nivel de protección necesario para el emplazamiento a proteger.

Habitualmente se trabaja con cuatro tipos de PDC en función del tiempo de avance estudiado: 15ms, 30ms, 45ms y 60ms.

Cada uno cubrirá un radio distinto en función del nivel de protección necesario y la altura del mástil seleccionado.

En la Ilustración 15 se contemplan estos radios para proceder con la selección más adecuada.

Radios de protección (m.) del pararrayos según la norma UNE 21186, NP 4426, NFC 17102, UNC 1185, etc.					
UNE 21186 NP 4426 NFC 17102 UNC 1185	h/mt	DAT CONTROLER® PLUS			
		AT-1515	AT-1530	AT-1545	AT-1560
		DAT CONTROLER® REMOTE			
		AT-2515	AT-2530	AT-2545	AT-2560
Nivel IV	2	20	28	36	43
	4	41	57	72	85
	6	52	72	90	107
	8	54	73	91	108
	10	56	75	92	109
Nivel III	2	18	25	32	39
	4	36	51	64	78
	6	46	64	81	97
	8	47	65	82	98
	10	49	66	83	99
Nivel II	2	15	22	28	35
	4	30	44	57	69
	6	38	55	71	87
	8	39	56	72	87
	10	40	57	72	88
Nivel I	2	13	19	25	31
	4	25	38	51	63
	6	32	48	63	79
	8	33	49	64	79
	10	34	49	64	79

Ilustración 15: Radios de protección de los PDC's según la UNE 21186:2011.

Las puntas franklin se instalan en cubierta unidas mediante una malla de conductor, la cual actúa igualmente como continuación de la protección, y se determina el número necesario y su ubicación mediante el modelo electro-geométrico (método de la esfera rodante).

Las puntas franklin pueden ser de cobre o de aluminio, y su altura no supera los 2 metros.

Existe la punta franklin denominada multipunta, que cuenta con varias puntas para una captación más eficaz de las descargas eléctricas.

## 2) Pieza de adaptación

El siguiente elemento de la instalación es la denominada **pieza de adaptación**.

La pieza de adaptación tiene la función de unir el cabezal del pararrayos al mástil seleccionado.

El material de la pieza de adaptación dependerá principalmente del tipo de conductor elegido para la instalación, siendo de latón, aluminio o acero inoxidable.

La pieza de adaptación de latón se puede utilizar tanto para cable como para pletina de cobre.

La de aluminio se utiliza en caso de instalación con cable de aluminio, para evitar la aparición de corrosión por par galvánico al poner en contacto dos metales de distintas propiedades.

La pieza de acero inoxidable es adecuada para cualquiera de los tipos de conductor mencionados, recomendándose para su uso en ambientes agresivos, y en el caso de que el mástil sea también de acero inoxidable.

La pieza de adaptación sirve también como primera sujeción del conductor de bajada, que posteriormente sigue su recorrido por el interior del mástil.

En caso de una bajante por el exterior del mástil, se deberán tener en consideración otro tipo de piezas de adaptación.

## 3) Mástil

El mástil es un elemento primordial en la instalación del pararrayos, ya que conforma el cuerpo del cabezal escogido.

Para la correcta instalación del mástil, su punto más elevado debe estar siempre al menos 2 metros por encima de cualquier elemento a proteger. No obstante, teniendo en cuenta que el radio de protección del PDC permanece bastante uniforme a partir de los 5 metros, se recomienda instalar siempre sobre un mástil de al menos 6 metros.

Habitualmente, el tamaño de los mástiles varía desde 1 metro hasta 8 metros, tanto en acero inoxidable como en galvanizado.

Como ya se ha comentado anteriormente, se recomienda siempre la instalación de mástiles de 6 metros o más, pero encontramos excepciones a esta recomendación.

En el caso de existir alguna restricción de altura o si el lugar de la instalación del pararrayos está visiblemente por encima de todos los elementos sobre la cubierta del edificio, se podrá proceder a la instalación de mástiles de menor altura.

Se diferencian varios métodos de sujeción del mástil:

- Fijación a muro o estructura.
- Torretas de celosía:

La instalación de mástiles mediante torreta de celosía se realiza con el principal objetivo de conseguir alturas mucho mayores a las ofrecidas por el propio mástil.

Precisan de sujeción de vientos a partir del segundo tramo. Esta sujeción consta de 3 vientos por sección, anclados en un ángulo de alrededor de 120 grados.

- Torres cuadradas auto soportadas:

Este tipo de anclaje permite ganar altura, en este caso, a nivel del suelo.

Las torretas auto soportadas son una alternativa a los mástiles autónomos que se explica a continuación.

- Mástil Autónomo

El mástil autónomo, al igual que las torretas auto soportadas, se instalan a nivel del suelo.

#### 4) Anclajes

Para evitar perforaciones en cubierta y facilitar la instalación, se procede a la utilización de anclajes a muro o a estructura mediante anclajes.

En función de la estructura a la que anclar el mástil se distinguen varios tipos de anclaje:

- Anclaje a muro o viga: estos anclajes pueden atornillarse, embeberse a la pared o soldarse en caso de muro o elemento metálico.
- Anclaje a tubo: sirven para la fijación a barandilla o similar.
- Anclajes a farola o a columna: el anclaje a farola únicamente sirve para estructuras cónicas, mientras que el de columna sirve tanto para columna cuadrada como para columna redonda.
- Anclajes a superficie plana: en caso de instalación en cubierta con superficie plana y para evitar perforarla, se dispone de un dado de hormigón al que arraigar el anclaje.

#### 5) Conductor para la bajante junto con sujeciones.

Atendiendo a la normativa, se admite una amplia selección de materiales y dimensiones para los conductores de bajada. Preferentemente se instalan conductores de cobre.

La pletina de cobre destaca entre los conductores por su mayor superficie, esto permite una menor resistencia e inductancia.

La principal ventaja de la pletina frente al cable de cobre es su menor probabilidad de aparición de corrosión.

Existen distintas fijaciones a través de las cuales se instala el conductor a lo largo de la bajante de la instalación. Como ya se ha mencionado, según la normativa, se deben instalar un total de 3 fijaciones por cada metro de conductor.

Habitualmente se utilizan dos tipos de fijaciones, las necesarias para la trayectoria vertical de la bajante (grapas de distintos materiales) y para la trayectoria horizontal de la bajante (conos rellenos de cementos o huecos).

#### 6) Contador de rayos.

El contador de rayos es el siguiente elemento para instalar tras el conductor de bajada y antes del tubo de protección de la toma de tierra.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, existe también un contador digital, el cual dispone de control remoto y permite recibir gran cantidad de información sobre las descargas recibidas. En caso de instalar este contador, únicamente deberá estar lateralmente en contacto con el conductor de bajada.

#### 7) Toma de tierra.

Los elementos que componen la toma de tierra son; el tubo de protección, la arqueta, el puente de comprobación y las picas junto con sus conexiones.

El tubo de protección, situado justo antes de la arqueta, protege el conductor de bajada en su parte más accesible por altura.

La arqueta de registro sirve de unión entre la bajante y la toma de tierra. Y en su interior se instala el puente de comprobación.

Los electrodos varían según el tipo de terreno sobre el que se realiza la toma de tierra.

Para terrenos de baja resistividad se recomienda la instalación de tres electrodos de acero cobreado con el diseño en triángulo.

En el caso de terreno con resistividad alta, se instalarán los electrodos con el mismo sistema, pero con electrodos dinámicos.

#### 8) Vías de chispas

Elemento recomendable para la instalación, su función es facilitar la equipotencialidad de las partes de la instalación a las que une.

Hay dos tipos de vías de chispas, para unir a toma de tierra o para unir a antena.

Se pueden utilizar también para la unión de otros elementos, como paneles solares, equipos de aire acondicionado o calderas.

#### 9) Elementos de conexión

Para reforzar la instalación se dispone de una serie de elementos mecánicos para la conexión de los distintos conductores, asegurando así también la continuidad eléctrica.

### 1.5. PROTECCIÓN INTERNA CONTRA EL RAYO.

#### 1.5.1. SOBRETENSIONES

Se produce una sobretensión cuando existe un aumento de voltaje en la red eléctrica medido entre dos conductores. Esta sobretensión produce daños en los sistemas y equipos eléctricos donde tiene lugar.

Existen dos tipos de sobretensiones,

**Sobretensiones permanentes**, aquellas de una duración considerablemente elevada y que constituyen varios ciclos.

**Sobretensiones transitorias**, de corta duración. Producidas entre conductores o entre conductor y tierra. Tiene lugar debido a, descargas eléctricas atmosféricas o a procesos de conmutación (tensiones de paso y de contacto).

Este trabajo se centra en el efecto de las sobretensiones transitorias en equipos eléctricos, así como su la protección frente a estas.

Como ya hemos comentado, las descargas atmosféricas pueden ser devastadoras, alcanzando en algunos casos corrientes de más de 100kA.

Las medidas de seguridad de las que están dotados la mayor parte de los sistemas eléctricos no resultan suficientes para proteger de corrientes con picos tan elevados.

Los dispositivos de protección frente a sobretensiones complementan a los ya instalados, respondiendo ante los picos de tensiones transitorias y conduciendo la corriente descargada a tierra.

#### 1.5.1.1. CAUSAS DE LAS SOBRETENSIONES

Existen dos causas de sobretensiones transitorias, por descargas eléctricas atmosféricas y por conmutación de equipos de potencia.

##### 1) Sobretensiones por descargas eléctricas atmosféricas

Como ya se ha indicado anteriormente, los efectos de una descarga eléctrica atmosférica pueden ser devastadores y, en sistemas eléctricos pueden dar lugar a incendios y destrucción de maquinaria.

##### 2) Sobretensiones por conmutación

Pueden ser de tres tipos:

- **Conmutación** en instalaciones de alta tensión, repercutiendo **capacitivamente** sobre las de baja tensión.

Este tipo de sobretensiones se pueden generar debido a una desconexión de una línea de alta tensión o a la desconexión de un transformador.

En el primer caso, la apertura de un interruptor puede producir una variación muy elevada de tensión, formando un arco eléctrico entre los contactos de conmutación.

En el segundo caso, el transformador cuenta con un bobinado que lo dota de una inductancia considerable y al producirse la desconexión, la tensión comienza a oscilar transformando la energía en calor.

- **Conmutación** por variaciones de intensidad en instalaciones de alta tensión, que dan lugar a sobretensiones en las de baja tensión **por acoplamiento inductivo**.

Estas alteraciones tienen diferentes causas; por conexión o desconexión de una carga elevada, presencia de un cortocircuito o derivación a tierra o por la supresión de un cortocircuito o de derivación a tierra.



- Por último, **la conmutación originada en las instalaciones de baja tensión**. Producidas por desconexión de cargas inductivas, las cuales tratan de mantener el flujo de corriente, a pesar de la interrupción, y esto desencadena una sobretensión.

#### 1.5.1.2. PROPAGACIÓN DE LAS SOBRETENSIONES.

Las distintas líneas de conexión, suministro eléctrico, telefonía, televisión o datos, recorren grandes distancias y hacen de conexión de equipos eléctricos muy sensibles. Esto hace que sean muy sensibles a las sobretensiones, transmitiéndolas por conducción a todos los equipos a los que estén conectadas.

Para la protección de estos sistemas, es necesario instalar elementos de protección de sobretensiones en todas las líneas que entren o salgan de un edificio, así como en los circuitos que conectan los distintos equipos eléctricos.

Existen varios mecanismos de propagación de sobretensiones: conducidas y por aumentos del potencial en las tomas de tierra, inducidas o por acoplamiento capacitivo.

##### 1) Conducidas

Son las producidas por el impacto del rayo sobre las líneas aéreas, de esta forma la sobretensión se deriva a tierra a través de equipos eléctricos, generando, en la mayoría de los casos, averías de importancia.

Dentro de este tipo de propagación se distingue un tipo específico de propagación, **la propagación del potencial en las tomas de tierra**.

Consiste en el aumento de potencial alrededor del punto de impacto, debido a la dispersión en tierra de la corriente descargada.

Esto se traduce en una diferencia de tensión existente entre cualquier objeto sobre el terreno y otros puntos de la instalación.

##### 2) Inducidas

Las descargas eléctricas forman un campo electromagnético que induce corrientes en los equipos eléctricos más próximos, dañándolos.

Pueden generarse sobretensiones inducidas en líneas aéreas de suministro y telefónicas, o en líneas de alimentación y líneas de datos en el interior de edificios.

##### 3) Por acoplamiento capacitivo

Este tipo de acoplamiento se genera a través de la descarga de una tensión, de un conductor a otro, ocasionada por diferencias de potencial grandes. Siempre se produce entre parejas de conductores.

#### 1.5.1.3. CONSECUENCIAS DE LAS SOBRETENSIONES

Las sobretensiones debidas a descargas eléctricas atmosféricas, dada la magnitud de estas, son las más dañinas para los equipos eléctricos.

Los efectos de las sobretensiones pueden ser, desde interrupciones, que interrumpen operaciones de sistemas o producen distintos fallos en ordenadores, hasta degradaciones de los diferentes componentes electrónicos y circuitos, imperceptibles a la vista, que pueden provocar fallo de estos y reducción de su vida útil.

#### 1.5.2. PROTECCIÓN FRENTE A SOBRETENSIONES

La protección frente a sobretensiones tiene como objetivo mantener la continuidad del servicio de los diferentes equipos, la seguridad de las personas y bienes y la reducción de los efectos acarreados por elevadas sobretensiones.

Las sobretensiones generan altas corrientes en muy cortos períodos de tiempo, de forma que los protectores contra sobretensiones deben tener un tiempo de actuación muy bajo. Generalmente, estos tiempos de actuación varían entre los 20 y 100 nanosegundos.

Mientras el funcionamiento de los equipos e instalaciones protegidos sea normal, los protectores contra sobretensiones permanecerán inactivos. Una vez se produzca la sobretensión, el protector entra en funcionamiento y conduce la corriente del rayo a tierra. Una vez desaparece la sobretensión, el protector vuelve a estar inactivo sin afectar al funcionamiento de la señal.

Estos dispositivos suelen estar provistos de un avisador visual o por control remoto, que avisa de su mal funcionamiento para su reemplazo.

El objetivo principal de los protectores contra sobretensiones es el de proteger los equipos.

##### 1.5.2.1. ZONAS DE PROTECCIÓN

Para la instalación de una protección eficaz es importante determinar dónde se encuentran los equipos en peligro y por qué influencias se ven en peligro.

La norma IEC 62305-4 diferencia varias zonas de protección (Ilustración 16) según el daño que puedan causar las sobretensiones en los equipos e instalaciones ubicadas en dichas zonas:

- **Zona externa y con peligro de impactos de rayo (ZPROA)**, puede recibir toda la corriente del rayo, así como su campo electromagnético.
- **Zona externa dentro del radio de protección del SPCR (ZPROB)**, protegida frente a impactos directos. Puede verse afectada por parte de la corriente del rayo y por el total de su campo electromagnético.
- **Zona interna con sobretensiones limitadas medianamente (ZPR1)**, zonas limitadas por el reparto de la corriente y por protectores en la entrada, con apantallamientos en algunos casos. Afectadas por corrientes bajas y campos electromagnéticos atenuados.
- **Zona interna son sobretensiones todavía más limitadas (ZPR2...n)**, limitadas por protectores de entrada y reparto de corriente. Se ven afectadas levemente por corrientes mínimas y campos muy atenuados.

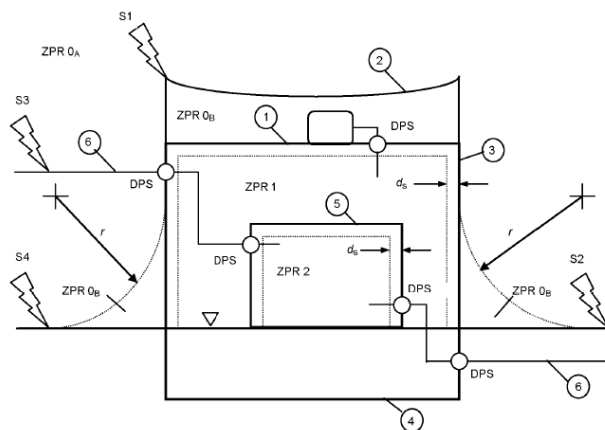


Ilustración 16: ZPR definidas por un SMPI. Fuente: IEC 62305-4. Protección contra el rayo. Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras.

**Leyenda:**

1. Estructura.
  2. Sistema de captadores.
  3. Sistema de conductores de bajada.
  4. Sistema de toma de tierra.
  5. Sala.
  6. Líneas conectadas a la estructura.
- S1: Impacto sobre la estructura.  
 S2: Impacto cerca de la estructura.  
 S3: Impacto sobre una línea conectada a la estructura.  
 S4: Descarga sobre una línea conectada a la estructura.  
 r: Radio de la esfera rodante.  
 ds: Distancia de seguridad contra campos magnéticos muy altos.

1.5.2.2. TIPOS DE PROTECTORES FRENTE A SOBRETENSIONES.

Según función de protección y aplicación se distinguen los dispositivos de protección frente a sobretensiones para instalaciones de baja tensión (hasta 1000 V de tensión nominal) y para redes de telecomunicaciones y señales.

Siguiendo la norma IEC 61643-11. Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias de baja tensión. Parte 11: Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias conectados a sistemas eléctricos de baja tensión. Requisitos y métodos de ensayo.

Se consideran los protectores frente a sobretensiones para instalaciones de baja tensión.

Estos se dividen en tres tipos (Ilustración 17), según su zona de ubicación y capacidad de derivación de la corriente.

- **Protectores tipo 1:** protectores de mayor potencia para la derivación de la corriente producida por impactos directos. Recomendados para la instalación en edificios que posean un sistema de protección externa frente al rayo.

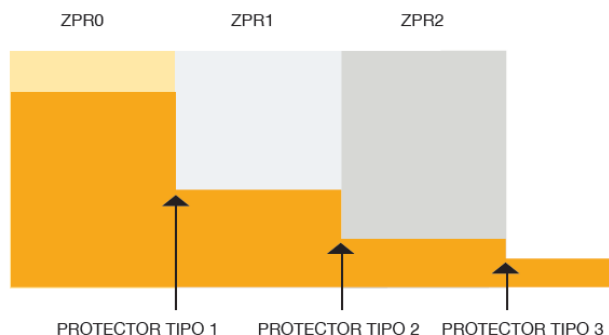
Ubicados en el límite entre las zonas ZPR0 y ZPR1, en cuadros principales.

- **Protectores tipo 2:** protectores para la derivación de corriente por impactos a distancia, acoplamiento inductivos o capacitivos y por conmutación. Normalmente instalados en cuadros principales o secundarios.

Ubicados en el límite entre las zonas ZPR0 y ZPR1, al igual que los de tipo1, y en los límites entre las zonas ZPR1 y ZPR2.

- **Protectores tipo 3:** protectores para equipos terminales sensibles frente a sobretensiones adicionales.

Se sitúan en el límite entre las zonas ZPR2 y ZPR3.



*Ilustración 17: Tipos de protector en función de la zona de protección. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo.*

### 1.5.2.3. PROTECCIÓN DE EQUIPOS

#### 1.5.2.3.1. COMPONENTES DE LOS PROTECTORES CONTRA SOBRETENSIONES

Los protectores contra sobretensiones pueden ser: por vías de chispas, descargadores de gas, varistores o diodos supresores.

##### Vías de chispas o descargadores de gas

Son elementos en los que el flujo de corriente entre electrodos se produce mediante una chispa controlada.

En un descargador de gas, los electrodos forman un espacio de descarga entre ellos dónde existe un gas noble, generalmente argón. Normalmente los electrodos y la pared del aislamiento están recubiertos de revestimientos emisores de gas.

Caracterizados por una capacidad de descarga en onda 8/20 que alcanza las decenas de kA, largos tiempos de respuesta y por la existencia de una tensión de arco.

##### Varistores

Son resistencias inversas, bipolares, no lineales, realizadas en óxido de cinc. Sus valores de resistencia disminuyen al aumentar la tensión.

Se caracterizan por, una tensión residual entre 4 y 8 veces la máxima del protector, una capacidad de descarga en onda 8/20 de hasta decenas de kA, y por tener tiempos de respuesta muy cortos.

#### Diodos supresores

Diodos Zener rápidos con capacidad para soportar corrientes transitorias.

Se caracterizan por, tensión residual entre 1,5 y 2 veces la tensión máxima del protector, una capacidad de descarga en onda 8/20 de hasta decenas de kA, y con tiempos de respuesta muy cortos.

### 1.6. SOFTWARE UTILIZADO PARA EL ESTUDIO DE LA PROTECCIÓN.

#### 1.6.1. CDRISK

El programa CD RISK, utilizado en este trabajo, es un programa interno desarrollado por la empresa Aplicaciones Tecnológicas para el cálculo de riesgo de la instalación de protección frente al rayo.

Sigue los criterios establecidos en la norma UNE 21186:2011 para el estudio de protección mediante pararrayos con dispositivo de cebado.

Su funcionamiento requiere la introducción de varios datos relacionados con el emplazamiento en diferentes apartados:

#### **PROYECTO**

En este primer apartado los principales datos a completar son: el nombre del proyecto, el número de edificios a proteger, la norma precisada para su estudio y los datos del cliente.

#### **DATOS GENERALES**

En este apartado se introducen todos los datos necesarios para el cálculo de riesgo según UNE 21186:2011.

Se divide en 6 subapartados: Dimensiones, características de la estructura, influencias ambientales, pérdidas, líneas de servicios y, por último, la solución propuesta.

- Dimensiones: se introducen los datos de altura, longitud y anchura del edificio, y se calcula el área de colección automáticamente.
- Características de la estructura: únicamente solicita el tipo de estructura (hormigón, madera, metálica, etc) y el riesgo de incendio de esta.
- Influencias ambientales: este apartado hace referencia a la ubicación del edificio. Su situación respecto a su entorno (aislado, rodeado de edificios de mayor altura o de menor, etc), su factor ambiental (urbano, rural, residencial, etc), su tipo de terreno y la densidad anual de impactos de su ubicación.

La densidad anual de impactos por km<sup>2</sup> varía según la ubicación del edificio, y se establece en un mapa que se incluye en el programa y se selecciona en función del país definido en el primer apartado.

- Líneas de servicios: hace referencia a líneas de suministro eléctrico y a servicios aéreos y enterrados.
- Pérdidas: se distinguen cuatro tipos de pérdidas, cada una de ellas lleva asociado un valor de riesgo según sean mayores o menores.

Tipo 1: Pérdidas de vidas humanas (R1)

Estas pérdidas se clasifican en; por incendios, por riesgo de pánico, por consecuencia de los daños y por sobretensiones.

Tipo 2: Pérdidas de servicios esenciales (R2)

Tipo 3: Pérdidas de patrimonio cultural (R3)

Tipo 4: Pérdidas económicas (R4)

Riesgos especiales, por incendios, por sobretensiones, por tensión de paso/contacto y riesgo tolerable de pérdidas.

Una vez completados todos los datos mencionados, el programa realiza el cálculo automático de coeficientes, y calcula el nivel de riesgo propuesto para la protección y el tipo de sistema de protección recomendado.

#### 1.6.2. AUTOCAD

Una vez determinado el nivel de riesgo de cada uno de los edificios, procedemos a la ubicación de los pararrayos para su cobertura.

Para ello se utiliza el programa gráfico AUTOCAD, y se ubicarán los pararrayos necesarios para cubrir por completo el emplazamiento a proteger.

Para la ubicación más eficiente de cada uno de los pararrayos se sigue una serie de criterios, ya mencionados anteriormente, que son los siguientes:

- 1) Se coloca el pararrayos seleccionado según radio de protección, en función del nivel de riesgo.
- 2) Se deberá situar el pararrayos principal (en caso de necesitar más de uno para cubrir la superficie) en el lugar más elevado y al menos 2 metros por encima de cualquier elemento del área a proteger.
- 3) Se trata de ubicar los pararrayos lo más próximos posibles a las esquinas, puntos preferenciales de impacto de rayo.
- 4) Se coloca el menor número de pararrayos para cubrir la mayor área posible, para conseguir una instalación lo más eficiente posible.

Mediante este software se insertan los bloques que representan los diferentes modelos de PDC's, en función de su nivel de protección calculado y radio de cobertura necesario.

Se van insertando los bloques, siguiendo los criterios establecidos para su posición, hasta conseguir la cobertura completa de todo el emplazamiento a proteger.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

# **CAPÍTULO 2. CASO DE APLICACIÓN: HOSPITAL PRINCESS ALEXANDRA, BRISBANE (AUSTRALIA)**

ANÁLISIS, ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN INTERNA Y EXTERNA FRENTE DESCARGAS ELÉCTRICAS EN GRANDES INFRAESTRUCTURAS. APLICACIÓN AL HOSPITAL PRINCESS ALEXANDRA, AUSTRALIA.

## 2. CASO DE APLICACIÓN: HOSPITAL PRINCESS ALEXANDRA, BRISBANE (AUSTRALIA)

### 2.1. PRESENTACIÓN INFRAESTRUCTURA.

El emplazamiento por estudiar es el **Hospital Princess Alexandra en Brisbane, Australia**. Con coordenadas de ubicación: -27.4988, 153.0332.

Situado en la zona residencial de la ciudad de Brisbane, este hospital cuenta con varios edificios con distintas funciones y características.



*Ilustración 18: Ubicación Hospital Princess Alexandra. Fuente: Google Maps.*



*Ilustración 19: Vista 3D Hospital Princess Alexandra, Brisbane. Fuente: Google Maps.*

Para el cálculo de la protección a instalar, se divide el emplazamiento en 10 edificios distintos. Esta división se ha efectuado teniendo en cuenta la estructura, dimensiones y funcionalidad de cada edificio dentro del propio hospital.



Se ha obtenido de esta forma la siguiente división:

Edificio 1: Edificio principal

Edificio 2: Centro de rehabilitación

Edificio 3: Laboratorio de investigación

Edificio 4: Centro de artes

Edificio 5: Clínica respiratoria

Edificio 6: Psiquiatría

Edificio 7: Oficinas

Edificio 8: Aparcamiento

Edificio 9: Almacenes

Edificio 10: Zona de chimeneas

Se puede apreciar esta división en la ilustración 20.



*Ilustración 20: División edificios Hospital Princess Alexandra, Brisbane. Fuente: Google Maps.*

Para la protección global del emplazamiento se estudia cada uno de los edificios mencionados y se procede a su protección mediante pararrayos con dispositivo de cebado.

Sin embargo, es necesario hacer una excepción a este tipo de protección en uno de los edificios.

En el edificio nominado como número 10 (Zona de chimeneas), hay una chimenea de 50 metros de altura.

Esto obliga a la instalación de un pararrayos que sea capaz de cubrir dicha altura por lo que deberá ser colocado en la misma chimenea.

Debido a que el pararrayos con dispositivo de cebado no está diseñado para soportar gases y sustancias químicas emitidas por la chimenea, se procederá a su protección mediante puntas captadoras.

Para optimizar el diseño de la instalación de la protección de la chimenea se trabajará con el método de la esfera rodante (desarrollado en el punto MODELO ELECTRO-GEOMÉTRICO), diseño cuyo procedimiento se detallará más adelante.

## 2.2. ESTUDIO INFRAESTRUCTURA.

Para el estudio de la totalidad de la infraestructura se analiza y se determina la protección para cada uno de los edificios por separado según la división efectuada en el apartado 2.1. PRESENTACIÓN INFRAESTRUCTURA.

### 2.2.1. ESTUDIO PROTECCIÓN EXTERNA.

Tomando como base la división de los edificios del emplazamiento, se analiza cada uno de ellos con el programa CDRISK definido en el apartado 1.6.1, introduciendo los datos requeridos por el mismo.

Según se ha definido a lo largo del documento, se dividirá el estudio en dos partes.

La primera parte conforma el estudio del emplazamiento (10 edificios) para una instalación de protección frente al rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado, este estudio sigue la norma UNE 21186:2011.

La segunda parte es el estudio de protección de la chimenea del emplazamiento, que cómo ya ha sido mencionado, se realiza su protección mediante instalación de puntas captadoras. Este estudio seguirá la normativa acorde a este tipo de instalación, la UNE EN / IEC 62305.

#### 2.2.1.1. ESTUDIO PROTECCIÓN EXTERNA MEDIANTE PDC'S.

Para este estudio, según normativa UNE 21186:2011, se completan los datos solicitados por el CDRISK para cada edificio.

Así, el programa calcula según los parámetros definidos según las características del edificio el nivel de protección necesario para cada uno.

El cálculo completo de cada uno de los edificios se ubica en el anexo A.

A continuación, mediante la tabla 9, se presenta el ejemplo de introducción de datos en el CDRISK para el edificio 1.

Tabla 9: Datos introducidos en el programa CDRISK.

<b>DATOS INTRODUCIDOS EN CDRISK</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	<b>EDIFICIO 1: EDIFICIO PRINCIPAL</b>
L (m)	297,62m
b (m)	161,98m
H (m)	18,00m
Ac (m <sup>2</sup> )	107.006,20m <sup>2</sup>
<b>INFLUENCIAS AMBIENTALES</b>	
Densidad anual rayos	3 rayos/km <sup>21</sup>
Situación	Rodeado de edificios más bajos
Factor ambiental	Urbano
<b>CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURA</b>	
Material estructura	Hormigón
Riesgo de incendio y daños	Medio
<b>PÉRDIDAS VIDAS HUMANAS</b>	
Por incendios	Muy alto. Siempre ocupadas
Por sobretensiones	Alto. Equipos vitales
Por pánico	Medio (entre 100 y 1000 personas)
Consecuencias fuera estructura	Sin consecuencias
<b>PÉRDIDAS SERVICIOS ESENCIALES</b>	Alto. Pérdida de servicios
<b>PÉRDIDAS PATRIMONIO CULTURAL</b>	No aplica
<b>PÉRDIDAS ECONÓMICAS</b>	
Por incendios	Valor muy alto
Por sobretensiones	Valor muy alto
Riesgos especiales	Sin consecuencias
Tensión de paso y contacto	Sin riesgo de shock
<b>LÍNEAS CONDUCCIÓN ELÉCTRICA</b>	
Situación del cable alimentación	Enterrado
Tipo de cable externo	No apantallado*
Existencia de transformador MT/BT	Con transformador
<b>OTROS SERVICIOS AÉREOS</b>	
Número	1
Tipo de cable	No apantallado
<b>OTROS SERVICIO ENTERRADOS</b>	
Número	1
Tipo de cable	No apantallado

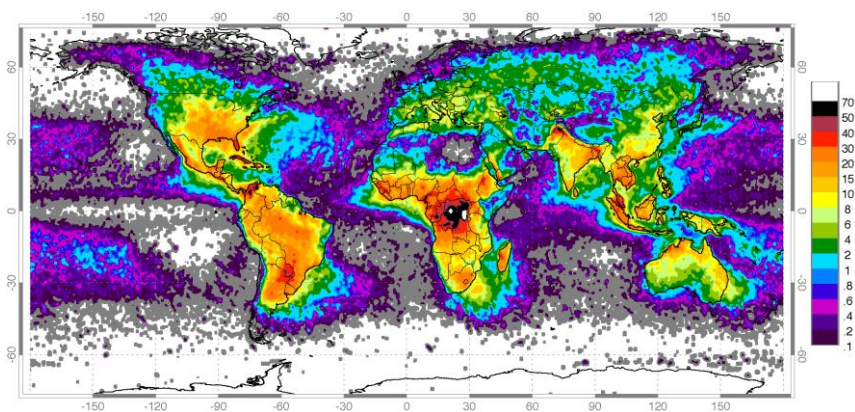


Ilustración 21: Mapa mundial de densidad de impacto de rayos.

Una vez introducidos los datos solicitados por el programa para cada uno de los edificios, se obtienen, como resultado, los siguientes parámetros:

- Valores de riesgo tolerable (Rt1, Rt2, Rt3, Rt4): indican el máximo valor de riesgo para cada uno de los tipos de pérdidas.

Tabla 10: Valores de riesgo tolerable.<sup>7</sup>

EDIFICIO	TÍTULO EDIFICIO	RIESGO TOLERABLE			
		Rt1	Rt2	Rt3	Rt4
1	EDIFICIO PRINCIPAL	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03
2	EDIFICIO REHABILITACIÓN	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03
3	INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03
4	EDIFICIO DE ARTES	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03
5	CLINICA RESPIRATORIA	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03
6	EDIFICIO DE PSIQUIATRIA	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03
7	EDIFICIO EJECUTIVO	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03
8	APARCAMIENTO	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03
9	ALMACÉN	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03
10	ZONA DE CHIMENEAS	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-03

- Valor de riesgo calculado sin protección (R1, R2, R3, R4): indican el valor de riesgo existente para cada uno de los tipos de pérdidas. El nivel de protección necesario para cada edificio dependerá de cómo de elevados sean estos valores respecto a los máximos tolerables.

<sup>7</sup> Anexo A.2.3. Riesgo tolerable – UNE 21186:2011

Tabla 11: Valores de riesgo sin protección y nivel de protección.

EDIFICIO	TÍTULO EDIFICIO	RIESGO CALCULADO SIN PROTECCIÓN				NIVEL DE PROTECCIÓN
		R1	R2	R3	R4	
1	EDIFICIO PRINCIPAL	2,99·10 <sup>-3</sup>	1,85·10 <sup>-2</sup>	0	1,94·10 <sup>-2</sup>	I
2	EDIFICIO REHABILITACIÓN	6,88·10 <sup>-4</sup>	4,28·10 <sup>-3</sup>	0	4,49·10 <sup>-3</sup>	II
3	INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN	3,65·10 <sup>-4</sup>	4,75·10 <sup>-3</sup>	0	5,26·10 <sup>-3</sup>	I
4	EDIFICIO DE ARTES	3,97·10 <sup>-5</sup>	0	0	6,30·10 <sup>-4</sup>	IV
5	CLINICA RESPIRATORIA	1,44·10 <sup>-3</sup>	1,33·10 <sup>-2</sup>	0	1,38·10 <sup>-2</sup>	III
6	EDIFICIO DE PSIQUIATRIA	1,47·10 <sup>-3</sup>	1,24·10 <sup>-2</sup>	0	1,28·10 <sup>-2</sup>	III
7	EDIFICIO EJECUTIVO	3,62·10 <sup>-4</sup>	0	0	1,35·10 <sup>-3</sup>	I
8	APARCAMIENTO	5,79·10 <sup>-5</sup>	0	0	1,57·10 <sup>-3</sup>	IV
9	ALMACÉN	9,49·10 <sup>-6</sup>	4,21·10 <sup>-3</sup>	0	4,40·10 <sup>-3</sup>	IV
10	ZONA DE CHIMENEAS	2,21·10 <sup>-4</sup>	1,30·10 <sup>-2</sup>	0	1,75·10 <sup>-2</sup>	I

- Valor de riesgo con solución propuesta (R1, R2, R3, R4): indican el valor de riesgo para cada uno de los tipos de pérdidas una vez aplicada la protección necesaria acorde al nivel de protección calculado.

Tabla 12: Valores de riesgo calculado con la solución propuesta.

EDIFICIO	TÍTULO EDIFICIO	RIESGO CALCULADO CON SOLUCIÓN PROPUESTA			
		R1	R2	R3	R4
1	EDIFICIO PRINCIPAL	1,84·10 <sup>-5</sup>	2,16·10 <sup>-5</sup>	0	3,47·10 <sup>-5</sup>
2	EDIFICIO REHABILITACIÓN	7,80·10 <sup>-6</sup>	4,38·10 <sup>-5</sup>	0	4,66·10 <sup>-5</sup>
3	INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN	5,11·10 <sup>-6</sup>	4,89·10 <sup>-5</sup>	0	5,62·10 <sup>-5</sup>
4	EDIFICIO DE ARTES	3,55·10 <sup>-6</sup>	0	0	3,93·10 <sup>-5</sup>
5	CLINICA RESPIRATORIA	6,19·10 <sup>-6</sup>	1,80·10 <sup>-5</sup>	0	3,73·10 <sup>-5</sup>
6	EDIFICIO DE PSIQUIATRIA	7,28·10 <sup>-6</sup>	1,47·10 <sup>-5</sup>	0	2,44·10 <sup>-5</sup>
7	EDIFICIO EJECUTIVO	9,29·10 <sup>-6</sup>	0	0	2,87·10 <sup>-5</sup>
8	APARCAMIENTO	6,17·10 <sup>-6</sup>	0	0	9,13·10 <sup>-5</sup>
9	ALMACÉN	7,95·10 <sup>-7</sup>	2,13·10 <sup>-4</sup>	0	2,29·10 <sup>-4</sup>
10	ZONA DE CHIMENEAS	6,76·10 <sup>-6</sup>	2,72·10 <sup>-4</sup>	0	4,06·10 <sup>-4</sup>

En la tabla 11 se encuentran los valores de riesgo calculados para cada uno de los tipos de pérdidas para cada uno de los edificios, así como el nivel de protección necesario para proteger cada edificio.

Esta tabla se compara con los valores de la tabla 10, valores de riesgo tolerables, y se observan en rojo los valores de riesgo que superan los tolerables y en verde los que cumplen dicho límite.

Según esta comparación el programa concluye el nivel de protección necesario para cada edificio, y procede al cálculo de estos valores con la protección debida aplicada.

Estos valores obtenidos se reflejan en la tabla 12, donde los valores anteriormente representados en rojo disminuyen su valor de riesgo y pasan a cumplir los valores de riesgo tolerables.

Una vez recopilados todos los resultados referentes a la protección externa, que se obtienen mediante el programa CDRISK, se puede concluir lo siguiente:

Cuando el estudio de protección cuenta con más de un edificio, 10 en este caso, y se obtienen niveles de protección diferentes para cada uno de los edificios, se concreta el nivel de protección global a considerar como el más restrictivo de todos los resultantes en cada edificio.

En este caso, más de un edificio precisa de protección de nivel I, siendo por tanto éste el nivel necesario para proteger la totalidad del emplazamiento.

Se presentan los distintos modelos para la protección de nivel I que siguen la tabla 13.

En esta tabla vienen indicados los radios de cobertura de los distintos modelos en función de la altura de su mástil.

De manera general se trabaja con mástiles de 6 metros (columna subrayada), aunque esta altura podría variar según las dimensiones y estructura del edificio a proteger.

Tabla 13: modelos PDC's para nivel I de protección. Fuente: Aplicaciones tecnológicas S.A.

		NIVEL I (R=20)										
h		2	3	4	5	<u>6</u>	8	10	15	20	45	60
DAT CONTROLLER PLUS 15	15	13	19	25	32	32	33	34	35	35	35	35
DAT CONTROLLER PLUS 30	30	19	29	38	48	48	49	49	50	50	50	50
DAT CONTROLLER PLUS 45	45	25	38	51	63	63	64	64	65	65	65	65
DAT CONTROLLER PLUS 60	60	31	47	63	79	79	79	79	80	80	80	80

Al tratarse de una infraestructura de grandes dimensiones se procurará seleccionar el máximo radio posible para su protección. Por ello se selecciona el modelo DAT CONTROLLER PLUS 60, con un radio de protección de 79 metros para el nivel de protección 1.

Siguiendo todos los criterios definidos para la correcta cobertura de un edificio en el punto 1.6.2. AUTOCAD, concluimos un total de 12 pararrayos distribuidos según la ilustración 22.

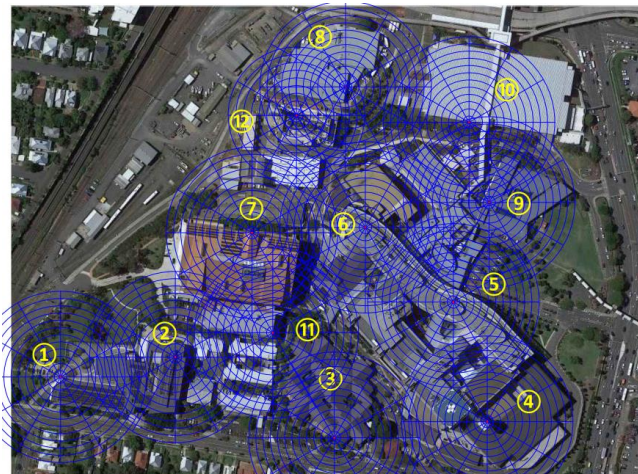


Ilustración 22: Cobertura inicial del emplazamiento en dos dimensiones.



Con esta visión de la ubicación de los pararrayos en dos dimensiones se limita la visión real de la cobertura de cada uno de ellos.

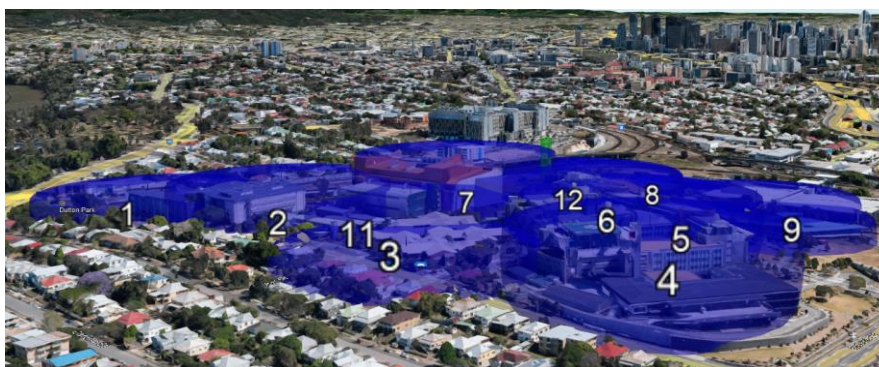
Para poder apreciar con mayor detalle la cobertura de cada uno de los edificios se utiliza una herramienta gráfica que ofrece un efecto en tres dimensiones, en este caso, la aplicación GOOGLE EARTH. Mediante esta herramienta se realiza una primera aproximación, las imágenes tratan de dar una impresión real de la zona protegida. Para su posterior instalación se debe disponer de medidas reales.

Para ello, se determinan las coordenadas iniciales de ubicación de los pararrayos en el modelo en dos dimensiones, coordenadas que se identifican en la tabla siguiente:

*Tabla 14: Ubicación inicial pararrayos.*

PARARRAYOS	EDIFICIO	COORDENADAS
1	5	-27.499977, 153.029960
2	5	-27.499725, 153.031098
3	2	-27.500438, 153.032662
4	1	-27.500296, 153.034084
5	1	-27.499345, 153.033664
6	1	-27.498666, 153.032842
7	3	-27.498734, 153.031746
8	9	-27.497445, 153.032751
9	6	-27.498389, 153.034176
10	8	-27.497735, 153.033953
11	3	-27.499536, 153.032009
12	10	-27.497626, 153.032222

Posteriormente se trasladan estos datos de ubicación al modelo en tres dimensiones obteniéndose inicialmente la cobertura que se muestra en la figura siguiente:



*Ilustración 23: Cobertura inicial del emplazamiento en tres dimensiones.*

En el modelo en tres dimensiones se puede apreciar la cobertura real con la ubicación inicial de los pararrayos introducida.

En el caso que nos ocupa, se observan zonas en las que la cobertura del edificio no es completa. Esto sucede en varios edificios:

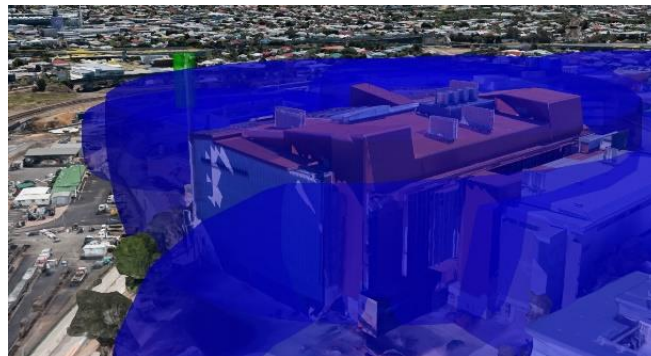
1. En el edificio número 3, en el que se sitúa el pararrayos 7, se observa una esquina del edificio desprotegida, tal y como se muestra en la ilustración 24.

Hay que tener en cuenta que las esquinas de los edificios son las zonas de mayor probabilidad de impacto del rayo por lo que deben estar debidamente protegidas.

Para poder subsanar este problema, de manera que todo el edificio esté protegido, se reubica el pararrayos en unas nuevas coordenadas, -27.498701, 153.031873, de forma que se consigue cobertura para el edificio completo, tal y como se puede observar en la ilustración 25.



*Ilustración 24: Ubicación inicial del pararrayos 7 sobre el edificio 3.*

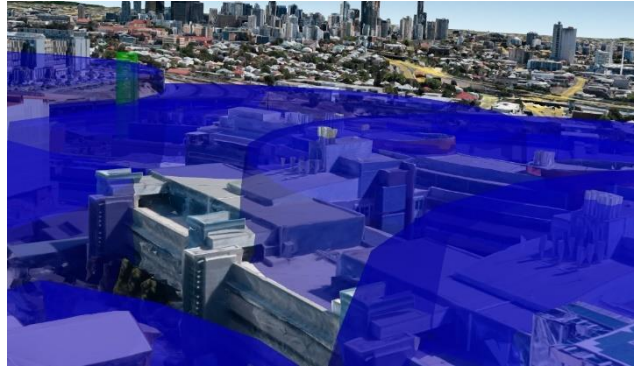


*Ilustración 25: Ubicación final del pararrayos 7 sobre el edificio 3.*

2. Se puede comprobar también como el edificio 1, ilustración 26, zonas desprotegidas.

En este caso, se requiere la instalación de otro pararrayos que cubra las partes descubiertas del edificio.



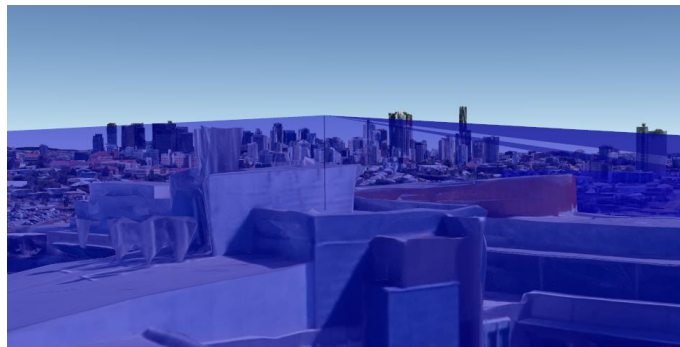


*Ilustración 26: Zona desprotegida edificio 1.*

Se añade un pararrayos número 13 a la instalación, con coordenadas -27.499377, 153.033258, situado en la parte más alta de la cubierta del edificio 1.

Este pararrayos sirve también para poder cubrir los elementos metálicos de mayor altura que sobresalen de la cubierta, los cuales quedaban desprotegidos.

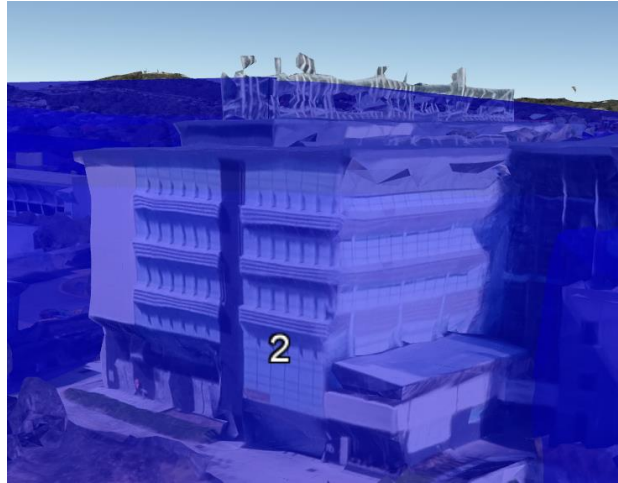
Se puede comprobar en la ilustración siguiente:



*Ilustración 27: cobertura pararrayos 13 sobre el edificio 1.*

3. Un gran problema que se presenta a la hora de cubrir por completo los edificios es la existencia de elementos metálicos que sobresalen de la cubierta en algunos de ellos.

Es el caso del pararrayos 2, ubicado sobre el edificio 3, dónde se pueden observar varios elementos salientes en su cubierta. (Ilustración 28)



*Ilustración 28: Ubicación inicial del pararrayos 2 sobre el edificio 3.*

Para poder solucionar esto, se cambia el anclaje a pared (en fachada) por un anclaje a cubierta. Y para darle una mayor altura de protección, se instala mediante una torreta de 8,5 metros de altura.

Mediante estas modificaciones se consigue salvar una altura de 4 metros y cubrir por completo todas las partes del edificio. (Ilustración 29)



*Ilustración 29: Ubicación final del pararrayos 2 sobre el edificio 3.*

4. Algo similar sucede con el pararrayos 9, ubicado en la cubierta del edificio 6, según se comprueba en la ilustración 30.

Este pararrayos no llega a cubrir por completo el edificio, con más de una esquina descubierta. Es por ello por lo que se necesita elevar el terminal, y se lleva a cabo con la instalación de una torreta de 8,5 metros. Se protege así el edificio por completo. (Ilustración 31)



Ilustración 30: Ubicación inicial del pararrayos 9 sobre el edificio 6.



Ilustración 31: Ubicación final del pararrayos 2 sobre el edificio 3.

5. Por otra parte, según se observa en la ilustración 22, el pararrayos ubicado en el edificio 8 (aparcamiento) no ofrece una cobertura completa del mismo.

Ante esto, se pueden plantear dos soluciones:

- 1) Instalación de otro pararrayos situado en la fachada contraria del edificio, cubriendo así el edificio por completo.
- 2) Considerar el nivel de riesgo calculado del edificio e indicado en la tabla 11, en este caso el nivel de protección IV, y verificar si el mismo modelo, en esa ubicación, protege el edificio para ese nivel de protección.

En este caso se puede seleccionar la segunda opción, ya que al tratarse de un edificio sin ocupación de personas no es necesario aplicar el nivel de protección I.

Y de esta forma, se consigue la mayor protección del emplazamiento con el menor número de pararrayos. Una instalación eficiente.

Al igual que la tabla 14, para el nivel de protección 4 también se pueden definir los radios de cobertura para cada uno de los modelos. Según la tabla 15:

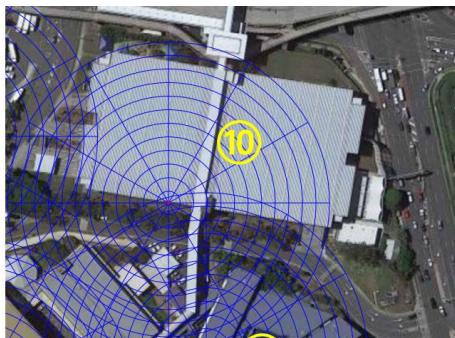
Tabla 15: modelos PDC's para nivel IV de protección. Fuente: Aplicaciones Tecnológicas S.A.

NIVEL IV (R=20)												
h		2	3	4	5	6	8	10	15	20	45	60
DAT CONTROLER PLUS 15	15	20	31	41	51	52	54	56	60	63	73	75
DAT CONTROLER PLUS 30	30	28	43	57	71	72	73	75	78	81	89	90
DAT CONTROLER PLUS 45	45	36	54	72	89	90	91	92	95	97	104	105
DAT CONTROLER PLUS 60	60	43	64	85	107	107	108	109	111	113	119	120

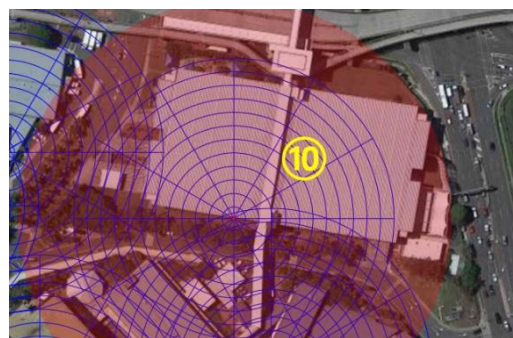
Observando la tabla 15 se puede comprobar como el radio de protección de un modelo DAT CONTROLER PLUS 60 para nivel de protección 4 y para un mástil de 6 m de altura es de 107 m.



Finalmente, se comprueba gráficamente como para ese radio de protección el edificio 8 estaría completamente protegido, tal y como se muestra en las siguientes ilustraciones:

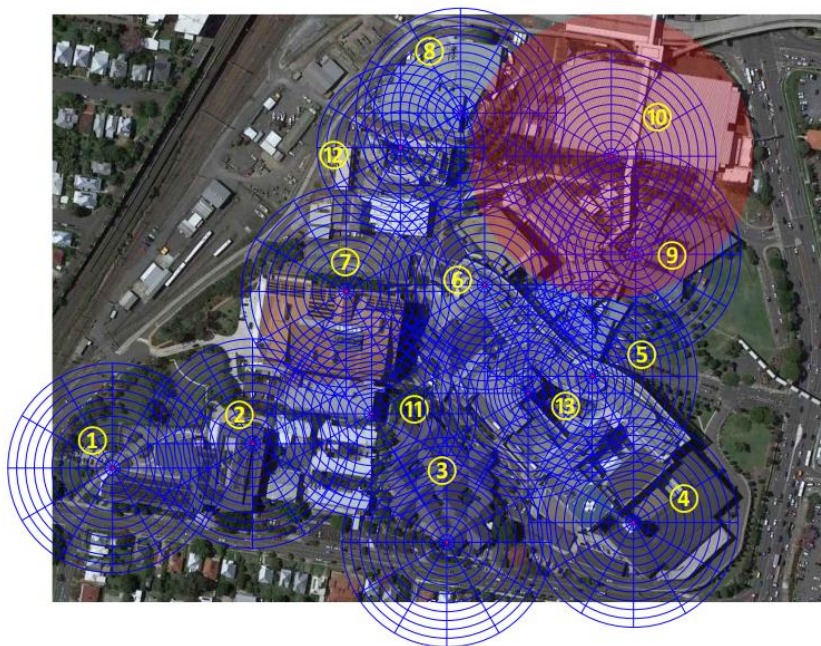


*Ilustración 33: Cobertura del pararrayos 10 para nivel de protección I.*



*Ilustración 32: Cobertura del pararrayos 10 para nivel de protección IV.*

Se puede apreciar, mediante las siguientes ilustraciones, la cobertura final del emplazamiento mediante los 13 pararrayos.



*Ilustración 34: Cobertura final del emplazamiento en dos dimensiones.*

#### 2.2.1.2. PROTECCIÓN EXTERNA MEDIANTE PUNTAS CAPTADORAS

Como se ha comentado con anterioridad, la protección de la chimenea se llevará a cabo con puntas captadoras por lo que, para realizar el estudio de dicha protección se procede siguiendo lo establecido en la normativa IEC 62305.

Para ello, y tal y como se establece en la normativa de aplicación, IEC 62305 y AS el cálculo de esta protección se utiliza un software numérico que realiza el estudio de protección mediante el método electro-geométrico (método de la esfera rodante), explicado con anterioridad.

El procedimiento de cálculo de la protección sigue los pasos siguientes:

- 1) Se genera un modelo aproximado de la chimenea mediante un software de diseño gráfico, en este caso, AUTOCAD. Se muestra en la siguiente ilustración el modelo generado:

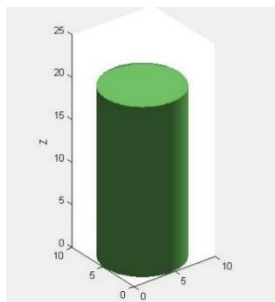


Ilustración 35: modelo aproximado chimenea.

- 2) Se introduce el modelo generado en el programa de cálculo de la protección, incluyendo los datos siguientes: nivel de protección necesario (nivel 1) y el tipo de terminal a instalar (Punta Franklin).

Para un nivel 1 de protección, según normativa SUA8 (Anexo B), se determinan los puntos críticos de impacto de rayo mediante el método de la esfera rodante con un radio de 20 metros.

- 3) Inicialmente el programa mostrará los puntos críticos de impacto de rayo, representados en color rojo sobre el modelo introducido. Ilustraciones 37 y 38.

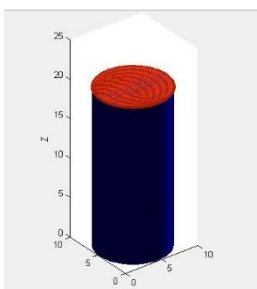


Ilustración 37: modelo chimenea (vista alzada).

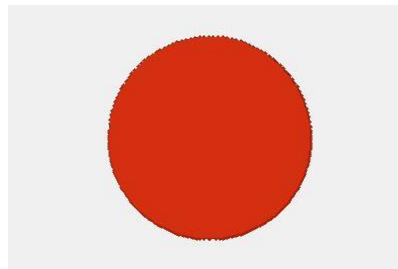


Ilustración 36: modelo chimenea inicial (vista planta).

- 4) Se indica la posición requerida para las puntas captadoras necesarias a instalar y se simula la protección.

Las puntas se posicionan en la perimetral de la chimenea, en nuestro caso se trata de cuatro pequeñas chimeneas unidas entre sí.

Por ello ubicamos una punta en la perimetral de cada chimenea, puntas que se interconectarán mediante un anillo.

Al simular la protección, el modelo cambiará de color rojo a azul en los puntos protegidos por las puntas. Ilustraciones 39 y 40.

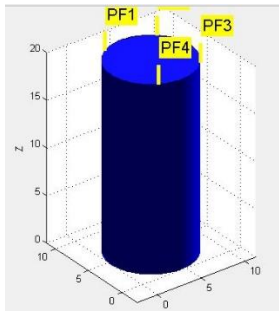


Ilustración 39: ubicación puntas captadoras (vista alzada).

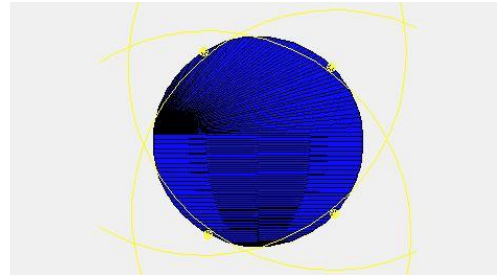


Ilustración 38: ubicación puntas captadoras (vista planta).

Para una comprobación más clara, se obtiene una vista de mayor resolución del modelo protegido.

Y se comprueba, mediante la ilustración 41, como las puntas protegen por completo frente a descargas eléctricas. La esfera rodante incide en las puntas y éstas protegen la chimenea de su impacto.

Las zonas tangentes al volumen de la esfera son zonas de probabilidad de impacto de descargas, se puede comprobar como el volumen del modelo queda fuera de contacto con el volumen de la esfera.

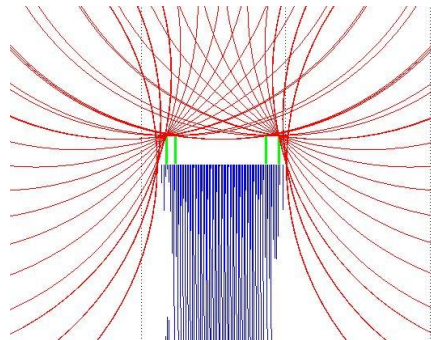


Ilustración 40: comprobación protección método esfera rodante.

Una vez seleccionados todos los terminales aéreos a instalar, se definen sus modelos y coordenadas de ubicación en la siguiente tabla:

Tabla 16: Ubicación final de los pararrayos y sus modelos.

PARARRAYOS	EDIFICIO	TERMINAL AÉREO	COORDENADAS
1	5	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.499977, 153.029960
2	5	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.499725, 153.031098
3	2	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.500438, 153.032662
4	1	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.500296, 153.034084
5	1	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.499345, 153.033823
6	1	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.498666, 153.032842
7	3	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.498701, 153.031873
8	9	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.497445, 153.032751
9	6	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.498389, 153.034176
10	8	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.497735, 153.033953
11	3	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.499536, 153.032009
12	10	DAT CONTROLER PLUS 45	-27.497626, 153.032222
13	1	DAT CONTROLER PLUS 60	-27.499377, 153.033258
14	10	PUNTA FRANKLIN	-27.497627, 153.032009

Se definen a continuación los elementos que componen los sistemas de protección externa.

Elementos instalación final:

El terminal es un pararrayos con dispositivo de cebado de 45 o 60  $\mu$ s, o en el caso de la chimenea, una punta Franklin.



Ilustración 42: Pararrayos con dispositivo de cebado.



Ilustración 41: Punta Franklin.

Ambas unidas a mástil de 6 metros mediante pieza de adaptación.

En el caso de las puntas franklin, la pieza de adaptación y anclaje a estructura se componen una misma pieza. (ilustración 44)



Ilustración 45: Pieza de adaptación.



Ilustración 44: Pieza adaptación y anclaje punta franklin.



Ilustración 43: Mástil.

El sistema de anclaje, como ya se ha comentado, varía en dos de los pararrayos. Los cuales se instalan mediante anclaje a cubierta mediante torreta. Los demás se instalarán mediante anclaje a fachada.



Ilustración 47: Anclaje a pared.



Ilustración 46: Anclaje a cubierta mediante torreta.

Para el sistema de bajada y puesta a tierra se siguen los criterios de la norma UNE 21186:2011. Dos bajantes por pararrayos separadas mínimo 2 metros, en nuestro caso las separamos 5 metros.

En este caso se instalará mediante cable de cobre, ya que es la opción más económica frente a pletina, con 3 sujeciones por metro de conductor.



Ilustración 49: Cable trenzado de acero cobreado.



Ilustración 48: Grapa de sujeción para cable de cobre.



Para la sujeción de conductor en distancias horizontales, se instalan conos para superficie plana.

Se debe instalar un contador de rayos por cada pararrayos existente, para su seguimiento y comprobación.

Para la toma de tierra, se protege el conductor a la altura accesible mediante un tubo de protección de 3 metros.

Seguidamente se instala la arqueta y el puente de comprobación, para la desconexión de la instalación a la hora de comprobar su funcionamiento.

Por último, tres picas de 2 metros separadas 2 metros entre ellas y unidas a cable de cobre mediante manguitos de conexión.



Ilustración 50: Sistema de puesta a tierra.

Una vez definidos todos los elementos necesarios para completar la instalación de protección externa frente al rayo, se calculan los elementos correspondientes a las bajantes, en función del número de estas y de la altura del edificio donde se ubica el terminal aéreo. Presentados en la siguiente tabla:

Tabla 17: Material instalación protección externa.

PYOS	Terminal (Tipo)	Mástil (m)	Anclaje (tipo)	Nº Bajantes	Altura (m)	Horizontal (m)	Conductor tierras (m)	Conductor total (m)	Grapas (ud)	Conos (ud)
1	DAT CONTROLLER PLUS	6	Pared	2	14	5	20	59	48	10
2	DAT CONTROLLER PLUS	6	Torreta	2	14	5	20	59	48	10
3	DAT CONTROLLER PLUS	6	Pared	2	8	5	20	47	24	10
4	DAT CONTROLLER PLUS	6	Pared	2	18	5	20	67	64	10
5	DAT CONTROLLER PLUS	6	Pared	2	18	5	20	67	64	10
6	DAT CONTROLLER PLUS	6	Pared	2	18	5	20	67	64	10
7	DAT CONTROLLER PLUS	6	Pared	2	15	5	20	61	52	10
8	DAT CONTROLLER PLUS	6	Pared	2	6,5	5	20	44	18	10
9	DAT CONTROLLER PLUS	6	Torreta	2	9	5	20	49	28	10
10	DAT CONTROLLER PLUS	6	Pared	2	12	5	20	55	40	10
11	DAT CONTROLLER PLUS	6	Pared	2	15	5	20	61	52	10
12	DAT CONTROLLER PLUS	6	Pared	2	25	5	20	81	92	10
13	DAT CONTROLLER PLUS	6	Pared	2	18	5	20	67	64	10
14	PUNTAS FRANKLIN	6	Pared	4	50	0	40	246	384	0
<b>TOTAL</b>								<b>1030</b>	<b>1042</b>	<b>130</b>

## 2.2.2. ESTUDIO PROTECCIÓN INTERNA.

Según se ha definido en el punto 1.5.2.2. TIPOS DE PROTECTORES FRENTE A SOBRETENSIONES, se diferencian de manera general los tipos 1, 2 y 3 según su ubicación a lo largo de la línea a proteger.

La definición del sistema de protección interna se establecerá siguiendo la normativa aplicable sobre protección interna IEC 61643-12. Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias de baja tensión. Parte 12: Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias conectados a sistemas eléctricos de baja tensión. Selección y principios de aplicación

Para establecer los protectores necesarios se estudian los esquemas unifilares de la instalación (Anexo B) siguiendo los pasos siguientes:

### **1) Determinar si se trata de un cuadro principal o secundario, y en caso de ser secundario, determinar de qué cuadro principal proviene.**

Para la protección de cuadros principales se instala el protector del tipo 1+2, con una corriente máxima de cortocircuito de 50 kA.

Para la protección de cuadros secundarios normalmente se instala un protector del tipo 2, con corriente máxima de cortocircuito de 40 kA.

En caso de que las líneas del secundario, que provienen del cuadro principal, salgan para pasar de un edificio a otro, se protegen dichas líneas con un protector del tipo 1+2, con una corriente máxima de cortocircuito de 65kA, con el fin de proteger ante posibles impactos directos en la línea que sale del edificio.

Para la protección de equipos e instalaciones finales sensibles a sobretensiones adicionales, se instalan los protectores del tipo 2+3, con una corriente máxima de cortocircuito de 15 kA.

En el caso de que en alguno de los edificios haya instalado UPS (Uninterruptable Power Supply), estos se protegen mediante la instalación de un protector del tipo 2+3 con una corriente máxima de 30 kA.

### **2) Comprobar si la línea a proteger es trifásica o monofásica.**

Según la línea a proteger sea monofásica o trifásica, se instalará el protector del tipo correspondiente a la línea de tres fases más el neutro o de una sola fase.

### **3) Determinar el valor de la corriente nominal de la línea.**

Según el valor de la intensidad nominal del interruptor principal del cuadro se determina la necesidad de instalar fusibles para la protección del propio sistema frente a cortocircuitos.

Para cuadros principales, se instalan fusibles para corrientes del interruptor principal del cuadro iguales o mayores de 125 A.

Para cuadros secundarios, se instalan fusibles para corrientes del interruptor principal del cuadro iguales o mayores de 63 A.

**4) Estudiar las líneas que salen de dicho cuadro y seguir los mismos con cada una de ellas.**

Se van siguiendo los mismos pasos para cada línea, siguiendo el orden de los esquemas unifilares precisos.

Se estudian los esquemas unifilares y se determina lo siguiente:

El valor de tensión nominal de la red de baja tensión es de 400 voltios.

En cuanto al régimen de protección, el cuadro principal sigue un esquema TN-S con neutro aislado y con distribución de línea y de tierra.

A partir del cuadro principal, el esquema seguido no se puede determinar. Puede tratarse tanto de un esquema TN-C como de un IT, ya que no se conoce la distribución de las tomas de tierra (si son conjuntas o independientes).

No obstante, la selección de protectores adecuados será equivalente para ambos esquemas. De forma que no es necesaria su determinación.

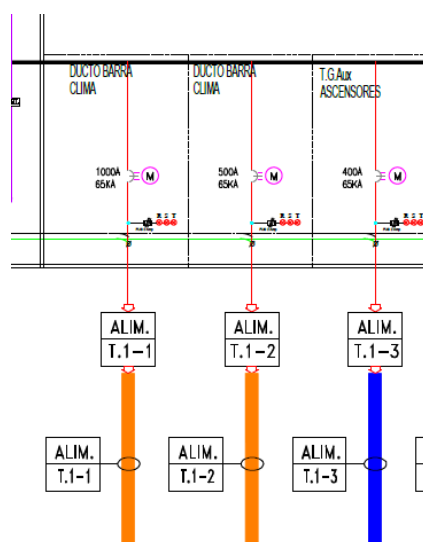
Se distinguen tres cuadros principales, de los que derivan múltiples líneas hacia cuadros secundarios e instalaciones y equipos.

Cuadro general 1:

El cuadro general parte de una línea trifásica con corriente de 4kA, por tanto, se protegerá con un protector del tipo 1+2 para una corriente máxima de 50kA.

Se deben añadir fusibles junto con sus portafusibles correspondientes, ya que la corriente de la línea es de 5kA y supera los 160A.

De este cuadro parten varias líneas: ALIM T.1-1, ALIM T.1-2 (líneas naranjas) y ALIM T.1-3 (línea azul). Se puede apreciar esta división en la siguiente captura ampliada del esquema unifilar (Anexo).



*Ilustración 51: Alimentaciones procedentes del cuadro principal 1.*

Las líneas ALIM T.1-1 y ALIM T.1-2, corresponden a los equipos de las instalaciones de control de climatización de cada edificio.

De cada una de ellas derivan varias líneas, que pertenecen a otros cuadros secundarios o a instalaciones y equipos finales. En este caso, se considera que todas las líneas son trifásicas.

En cambio, la línea ALIM T.1-3 corresponde a la alimentación de los equipos de ascensores y montacargas. Estos equipos no precisan de instalación de protectores frente a sobretensiones, debido que ya se protegen aguas arriba mediante el protector de la línea principal.

Se establece la selección total de protectores para la alimentación T.1, en función del esquema unifilar CLIMA (Anexo):

Tabla 18: Selección protectores cuadro general 1.

TIPO DE PROTECTOR	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD
Tipo 1+2	I <sub>max</sub> : 50 kA 3P+N	1
Tipo 1+2	I <sub>max</sub> : 65 kA 3P+N	11
Tipo 2	I <sub>max</sub> : 40 kA 3P+N	0
Tipo 2+3	I <sub>max</sub> : 15 kA 3P+N	0
Fusible cuadro principal	Fusible 80A	3
Portafusibles cuadro principal	Portafusible	1
Fusible cuadro secundario	Fusible 50A	33
Portafusibles cuadro secundario	Portafusible	11

### Cuadro general 2:

El cuadro general 2 parte de una línea trifásica con corriente 4 kA, y se protegerá con un protector del tipo 1 para una corriente máxima de 50 kA. Se deben añadir fusibles junto con sus portafusibles correspondientes, ya que la corriente de la línea es de 5kA y supera los 160A.

De este cuadro se derivan varias líneas, de la ALIM T.2-1 hasta la ALIM T.2-8 (líneas moradas, verdes y azules).

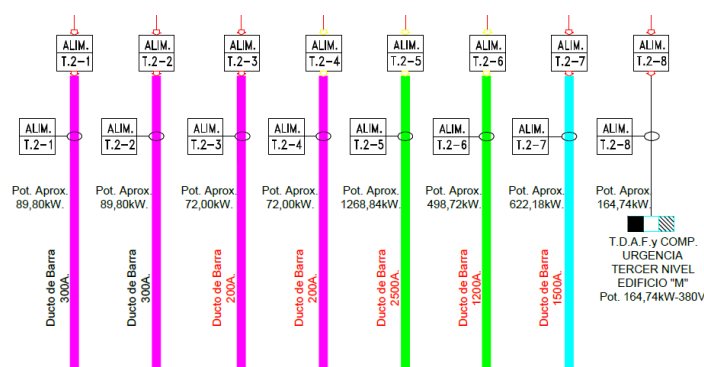


Ilustración 52: Alimentaciones procedentes del cuadro principal 2.

Estas líneas corresponden a diferentes salas y zonas de cada edificio. Como pueden ser los quirófanos, salas de espera o laboratorios.

Se estudia detalladamente, a modo de ejemplo, el denominado edificio A. Su esquema unifilar se incluye en el anexo B.

La línea de alimentación que conduce al cuadro del edificio A, es la denominada ALIM T.2-5.1.

La línea principal del edificio A, trifásica con corriente de 1,5 kA, se protege mediante la instalación de un protector del tipo 1+2, con corriente máxima de 65 kA.

Se deben añadir fusibles junto con sus portafusibles correspondientes, ya que la corriente de la línea es de 1,5kA y supera los 80A.

De la línea principal derivan cuatro líneas:

- Sector hemodiálisis: línea trifásica de 200 A de corriente.
- Administración hospital: línea trifásica de 200 A de corriente.
- Hospitalización pediatría y obstetricia: línea trifásica de 300 A de corriente.
- Hospitalización: línea trifásica de 350 A de corriente.

Se protegen las cuatro líneas de igual forma, mediante la instalación de un protector del tipo 2, debido a que son líneas situadas en el interior del mismo edificio. Se añaden los fusibles y portafusibles correspondientes, ya que la corriente de las cuatro líneas supera los 80A.

Ante la existencia de UPS en todas las líneas, se deben añadir a la protección cuatro protectores del tipo 2+3 con corriente máxima de 30 kA.

Realizando el mismo estudio para todos los esquemas unifilares que provienen del cuadro general 2, se obtiene la siguiente selección de protectores:

*Tabla 19: Selección protectores cuadro general 2.*

TIPO DE PROTECTOR	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD
Tipo 1+2	I <sub>max</sub> : 50 kA 3P+N	1
Tipo 1+2	I <sub>max</sub> : 65 kA 3P+N	30
Tipo 2	I <sub>max</sub> : 40 kA 3P+N	0
Tipo 2+3	I <sub>max</sub> : 15 kA 3P+N	2
Tipo 2+3	I <sub>max</sub> =30 kA. U <sub>p</sub> =900 V.4P	32
Fusible cuadro principal	Fusible 80 A	21
Portafusibles cuadro principal	Portafusible	7
Fusible cuadro secundario	Fusible 50 A	132
Portafusibles cuadro secundario	Portafusible	44

### Cuadro general 3:

El cuadro general parte de una línea trifásica con corriente de 2,5kA, por tanto, se protegerá con un protector del tipo 1 para una corriente máxima de 50 kA. Se deben añadir fusibles junto con sus portafusibles correspondientes. ya que la corriente de la línea es de 5kA y supera los 160A.

De este cuadro parten dos alimentaciones, ALIM T.3-1 y ALIM T.3-2. Ambas convergen en la alimentación de la zona de imagen médica de uno de los edificios, mediante una línea trifásica de 2 kA.

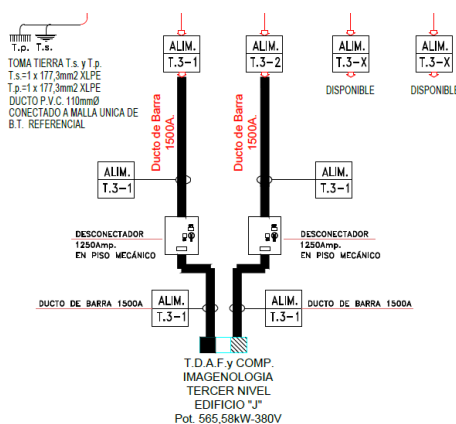


Ilustración 53: Alimentaciones procedentes del cuadro general 3.

Esta línea se protege mediante un protector del tipo 1+2, corriente máxima 65 kA, y se añaden fusibles junto con sus portafusibles correspondientes. ya que la corriente de la línea es de 2kA y supera los 80A.

De la línea principal derivan otras cuatro líneas trifásicas, de 400 A. En cada una de ellas se instala un protector del tipo 2, corriente máxima de 40 kA, junto con fusibles y sus portafusibles correspondientes, ya que la línea conduce una corriente de 400 A mayor a los 80 A.

De la misma forma, colgando de la línea principal, existe un UPS. Se protegerá mediante un protector del tipo 2+3 con corriente máxima 30 kA.

Se recoge a continuación, la selección de los protectores necesarios para el cuadro general 3:

Tabla 20: Selección protectores cuadro general 3.

TIPO DE PROTECTOR	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD
Tipo 1+2	I <sub>max</sub> : 50kA 3P+N	1
Tipo 1+2	I <sub>max</sub> : 65kA 3P+N	1
Tipo 2	I <sub>max</sub> : 40kA 3P+N	4
Tipo 2+3	I <sub>max</sub> : 15kA 3P+N	0
Tipo 2+3	I <sub>max</sub> =30kA. U <sub>p</sub> =900V.4P	1
Fusible cuadro principal	Fusible 80A	3
Portafusibles cuadro principal	Portafusible	1
Fusible cuadro secundario	Fusible 50A	12
Portafusibles cuadro secundario	Portafusible	4

Finalmente, se recogen en la tabla siguiente el número total de protectores necesarios para proteger la instalación completa.

Tabla 21: Selección protectores final.

TIPO DE PROTECTOR	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD
Tipo 1+2	I <sub>max</sub> : 50kA 3P+N	3
Tipo 1+2	I <sub>max</sub> : 65kA 3P+N	42
Tipo 2	I <sub>max</sub> : 40kA 3P+N	26
Tipo 2+3	I <sub>max</sub> : 15kA 3P+N	2
Tipo 2+3	I <sub>max</sub> =30kA. U <sub>p</sub> =900V.4P	33
Fusible cuadro principal	Fusible 80A	9
Portafusibles cuadro principal	Portafusible	3
Fusible cuadro secundario	Fusible 50A	147
Portafusibles cuadro secundario	Portafusible	49



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

## CAPÍTULO 3. CONCLUSIÓN

ANÁLISIS, ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN INTERNA Y EXTERNA FRENTE DESCARGAS ELÉCTRICAS EN GRANDES INFRAESTRUCTURAS. APLICACIÓN AL HOSPITAL PRINCESS ALEXANDRA, AUSTRALIA.



### 3. CONCLUSIÓN

Una vez analizado el fenómeno del rayo, sus efectos, sus sistemas de protección y el estudio correspondiente de protección interna y externa aplicado a un caso real, se puede concluir lo siguiente:

- 1) El rayo es un fenómeno incontrolable por el ser humano, con efectos devastadores en estructuras, equipos y personas.
- 2) Existen una serie de métodos para la protección externa e interna de las infraestructuras, frente a descargas eléctricas directas e indirectas, que se han desarrollado en la primera parte del trabajo.
- 3) Para el estudio de protección y su instalación se aplican una serie de normativas, establecidas por organismos nacionales e internacionales. Las principales normas que se han tenido en cuenta en el trabajo para la instalación de protección interna y externa frente al rayo son las siguientes:
  - IEC 62305. Protección contra el rayo.
  - UNE 21186. Protección contra el rayo: Pararrayos con dispositivo de cebado.
  - IEC 61643. Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias de baja tensión.
- 4) Como aplicación práctica de los métodos de protección frente al rayo que se han explicado en el trabajo, se ha realizado el estudio de la protección de una gran infraestructura: El Hospital Princess Alexandra, ubicado en Brisbane, Australia”.
- 5) Para el estudio de la protección externa se han utilizado herramientas informáticas de cálculo y gráficas utilizadas en ingeniería para determinar el nivel de protección necesario en la infraestructura en estudio y determinar los elementos e instalaciones necesarias para su implementación.
- 6) Para el estudio e implementación de la protección interna se han analizado los esquemas unifilares de la instalación, determinando en cada caso, los equipos de protección a instalar en cada una de las líneas e instalaciones a proteger.
- 7) Finalmente, se incluye un presupuesto de la instalación global de protección en el que se contemplan los costes unitarios de los diferentes elementos a instalar.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

## **CAPÍTULO 4. PRESUPUESTO**

ANÁLISIS, ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN INTERNA Y EXTERNA FRENTE DESCARGAS ELÉCTRICAS EN GRANDES INFRAESTRUCTURAS. APLICACIÓN AL HOSPITAL PRINCESS ALEXANDRA, AUSTRALIA.

## 4. PRESUPUESTO

<b>PROTECCION EXTERNA</b>					
It.	PARARRAYOS		Cant.	Precio Neto	Importe
	AT-1560	DAT CONTROLER® PLUS 60 - PDC	12	2.442,31	29.307,72
	AT-1545	DAT CONTROLER® PLUS 45 - PDC	1	2.007,25	2.007,25
	AT-076A	Varilla captadora ø16x3000mm inoxidable	4	190,28	761,12
It.	<b>MATERIAL ACCESORIO</b>		Cant.	Precio Neto	Importe
	AT-117B	Anclaje inox para puntas ø16-34mm	4	234,41	937,64
	AT-010A	Pieza adap.latón M20, mast 1½" p. cable	13	62,29	809,77
	AT-057A	Mástil 6m x 1½" galvanizado (3 x 2m)	13	310,46	4.035,98
	AT-042B	Anclaje ligero 30 cm (2sop) atornillable	11	128,47	1.413,17
	AT-031C	Torreta triangular 8,5m. Incluye mástil	2	1.302,83	2.605,66
	AT-038C	Juego de vientos	2	235,72	471,44
	AT-050D	Cable Cu electrolítico trenzado 50mm²(m)	1050	29,30	30.765,00
	AT-041E	Soporte cónico cable o pletina(vacío)	130	5,58	725,40
	AT-034E	Grapa nylon fijacn rápidaø10mm+18mm elev	1042	2,10	2.188,20
	AT-034G	Contador electromecánico de rayos	14	451,48	6.320,72
	AT-060G	Tubo protección para plet 2m galva	30	49,04	1.471,20
	AT-010H	Arqueta de polipropileno 250x250x250mm	30	113,37	3.401,10
	AT-020H	Puente comprobación latón para arqueta	30	85,96	2.578,80
	AT-041H	Pica ø16x2m rosca 5/8",cobrizada 254µ	90	44,52	4.006,80
	AT-090H	Manguito múltiple latón cble/plet +pica	90	18,28	1.645,20
	AT-010L	CONDUCTIVER PLUS (Gel)	30	85,84	2.575,20
	AT-020F	Manguito cuadrado latón, cable o pletina	15	27,94	419,10
	AT-015F	Manguito lineal latón para cable	30	13,97	419,10

<b>PROTECCION INTERNA</b>					
It.	PROTECTORES CONTRA SOBRETENSIONES		Cant.	Precio Neto	Importe
	AT-8089	ATSHOCK T 25: 3 ATSHOCK 25 + ATSHOCK N	3	699,62	2.098,86
	AT-S0119	Portafusible 3+N 22x58.Con Fus Neut.8DIN	3	227,15	681,45
	AT-S0120	Fusible 80A gG 22x58	9	8,27	74,43
	AT-8287	ATSUB-4P 65 TT.Imax=65kA.Up=900V	42	544,94	22.887,48
	AT-S0117	Portafusible 3+N 14x51.Con Fus Neut.6DIN	49	141,84	6.950,16
	AT-S0118	Fusible 50A gG 14x51	147	4,50	661,50
	AT-8285	ATSUB-4P 40 TT.Imax=40kA.Up=700V	26	311,38	8.095,88
	AT-8282	ATSUB-4P 15 TT.Imax=15kA.Up=700V	2	259,47	518,94
	AT-8133	ATCOVER 400T. Imax=30kA. Up=900V.4P	33	664,96	21.943,68

<b>INSTALACION</b>		<b>Importe</b>
1	Mano de Obra especializada, seguros sociales, seguro RC, dietas, locomoción y portes y coordinación de actividades empresariales PRL	50.494,00














Ejecución material	213.272,79 €
<b>TOTAL</b>	<b>213.272,79 €</b>




El presupuesto de ejecución material del proyecto asciende a **DOSCIENTOS TRECE MIL DOSCIENTOS SETENTA Y DOS EUROS CON SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS DE EURO (213.272,79 €)**.

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MATERIAL PRESUPUESTADO

<b>PROTECCION EXTERNA</b>		
<b>PARARRAYOS</b>		
AT-1560	<p>DAT CONTROLLER® PLUS 60 - PDC. Peso aproximado: 4635 g.</p> <p><b>1.- Certificación de Producto AENOR No 058/000003</b> de conformidad con norma UNE 21186, que comprende:</p> <p><b>1.1.- Corriente soportada certificada: 100 kA</b> Ensayo previo al de tiempo de avance en el cebado, para garantizar el funcionamiento de pararrayos después de haber sufrido 10 descargas repetitivas.</p> <p><b>1.2.- Tiempo de avance en el cebado certificado: 60 us.</b> Con doble factor de seguridad.</p> <p><b>2.- Certificado de funcionamiento inalterable con lluvia. Aislamiento superior al 95%.</b> 2.1.- Ensayo seco/lluvia con impulsos tipo maniobra. 2.2.- Ensayo seco/lluvia con tensión continua.</p> <p><b>3.- Certificado de radio de protección y cumplimiento de las normas UNE 21186 y NFC 17-102</b> Radio de protección de 79 m, calculado según normas UNE 21186 y NFC 17-102, considerando el tiempo de avance certificado con doble factor de seguridad, mástil de 6 m y NIVEL I de protección.</p>	
AT-1545	<p>DAT CONTROLLER® PLUS 45 - PDC. Peso aproximado: 4635 g.</p> <p><b>1.- Certificación de Producto AENOR No 058/000003</b> de conformidad con norma UNE 21186, que comprende:</p> <p><b>1.1.- Corriente sportada certificada: 100 kA.</b> Ensayo previo al de tiempo de avance en el cebado, para garantizar el funcionamiento de pararrayos después de haber sufrido 10 descargas repetitivas.</p> <p><b>1.2.- Tiempo de avance en el cebado certificado: 45 us.</b> Con doble factor de seguridad.</p> <p><b>2.- Certificado de funcionamiento inalterable con lluvia. Aislamiento superior al 95%.</b> 2.1.- Ensayo seco/lluvia con impulsos tipo maniobra. 2.2.- Ensayo seco/lluvia con tensión continua.</p> <p><b>3.- Certificado de radio de protección y cumplimiento de las normas UNE 21186 y nfc 17-102</b> Radio de protección de 63 m, calculado según normas UNE 21186 y NFC 17-102, considerando el tiempo de avance certificado con doble factor de seguridad, mástil de 6 m y NIVEL I de protección.</p>	
AT-076A	Varilla captadora para cuña de $\varnothing 16 \times 3000$ mm de acero inoxidable. Peso aproximado: 4740g.	
<b>MATERIAL ACCESORIO</b>		
AT-117B	Anclaje reducido inoxidable para puntas de $\varnothing 16$ a 34 mm. 2 soportes. Peso aproximado: 1 g.	
AT-010A	Pieza de adaptación de latón para unión entre pararrayos (M20), mástil de 1½" y bajante interior de cable de $\varnothing 8 - 10$ mm. Peso aproximado: 675 g.	






TFG Laura Domingo Merino

AT-057A	Mástil de 1½" de acero galvanizado de longitud 6 m (3 tramos de 2 m) para fijación a muroo estructura. Peso aproximado: 20070 g.	
AT-042B	Anclaje ligero 30 cm (2 soportes) atornillable en acero galvanizado. Peso aproximado: 4200g.	
AT-031C	Torreta triangular de celosía de 180 mm y 8,5 m de altura útil, incluyendo el mástil. Peso aproximado: 35000 g.	
AT-038C	Juego de vientos. Peso aproximado: 7500 g.	
AT-050D	Cable de cobre electrolítico trenzado de 50 mm². (en m). Peso aproximado: 416 g.	
AT-041E	Soporte cónico para cable ø8 - 10 mm o pletina 30 x 2 - 30 x 3,5 mm (vacío). Pesoaproximado: 80 g.	
AT-034E	Grapa de nylon para fijación rápida de cable de ø10 mm con 18 mm de elevación. Incluyetaco y tornillo. Peso aproximado: 9 g.	
AT-034G	Contador electromecánico de rayos. Peso aproximado: 730 g.	
AT-060G	Tubo de protección de acero galvanizado y 2 m de longitud para pletina de 30 x 2 - 30 x 3,5mm. Abrazaderas incluidas. Peso aproximado: 1090 g.	
AT-010H	Arqueta de registro de polipropileno de 250 x 250 x 250 mm. Peso aproximado: 1509 g.	
AT-020H	Puente de comprobación de latón de 235 x 40 x 25 mm con 4 conexiones para redondo (ø8 - 10 mm) y 3 para pletina (30 x 2 mm - 30 x 30,5 mm). Peso aproximado: 659 g.	
AT-041H	Pica de acero cobrizado, con recubrimiento electrolítico de cobre de un espesor de 254 µm,de ø16 x 2000 mm con dos roscas de 5/8". Peso aproximado: 2500 g.	
AT-090H	Manguito múltiple de latón para unión de cable (ø8 - 10 mm) o pletina (30 x 2 mm - 30 x 3,5mm) con pica de ø 14 - 19 mm. Peso aproximado: 235 g.	

AT-010L	CONDUCTIVER PLUS - Gel no corrosivo y ecológico que mejora la conductividad del terreno. Peso aproximado: 4405 g.	
AT-020F	Manguito cuadrado de latón para cable de $\varnothing 7 - 13$ mm y pletina de $30 \times 2 - 30 \times 3,5$ mm. Peso aproximado: 282 g.	
AT-015F	Manguito lineal de latón para cable de $\varnothing 8 - 10$ mm. Peso aproximado: 161 g.	

## PROTECCION INTERNA

### PROTECTORES CONTRA SOBRETENSIONES

AT-8089	Conjunto 3 ATSHOCK 25 + ATSHOCK N. limp 25kA. Up 1,5kV. Incluye peine de conexión. Peso aproximado: 1000 g.	
AT-S0119	Portafusible 3+N 22x58 carril DIN rearmable PM. Incluye fusible de neutro. Tamaño 8DIN. Peso aproximado: 21 g.	
AT-S0120	Fusible 80A gG 22x58. Poder de corte 120kA. Peso aproximado: 50 g.	
AT-8287	ATSUB-4P 65 TT - Protector para líneas de suministro eléctrico tipo TT. Con módulos enchufables. Conexión para aviso remoto. 4 polos. Tipo 1+2. Uc = 460 VAC (L-L). I <sub>max</sub> = 15 kA. I <sub>up</sub> (In) = 1600 V. Up(1,2/50) = 900 V. Tamaño 4DIN. Peso aproximado: 550 g.	
AT-S0117	Portafusible 3+N 14x51 carril DIN rearmable PM. Incluye fusible del neutro. Tamaño 6DIN. Peso aproximado: 21 g.	
AT-S0118	Fusible 50A gG 14x51. Poder de corte 100kA. Peso aproximado: 21 g.	
AT-8285	ATSUB-4P 40 TT - Protector para líneas de suministro eléctrico tipo TT. Con módulos enchufables. Conexión para aviso remoto. 4 polos. Tipo 2. Uc = 460 VAC (L-L). I <sub>max</sub> = 40 kA. Up(In) = 1400 V. Up(1,2/50) = 700 V. Tamaño 4DIN. Peso aproximado: 420 g.	
AT-8282	ATSUB-4P 15 TT - Protector para líneas de suministro eléctrico tipo TT. Con módulos enchufables. Conexión para aviso remoto. 4 polos. Tipo 2+3. Uc = 460 VAC (L-L). I <sub>max</sub> = 15 kA. Up(In) = 1200 V. Up(1,2/50) = 700 V. Tamaño 4DIN. Peso aproximado: 420 g.	
AT-8133	ATCOVER 400T - Protector de 3 fases, neutro y tierra para líneas trifásicas de 400V(L-L). I <sub>max</sub> (8/20) = 30kA. Up = 900V. Peso aproximado: 670 g.	



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

# **CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA E ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS**

ANÁLISIS, ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN INTERNA Y EXTERNA FRENTE DESCARGAS ELÉCTRICAS EN GRANDES INFRAESTRUCTURAS. APLICACIÓN AL HOSPITAL PRINCESS ALEXANDRA, AUSTRALIA.

## 5. BIBLIOGRAFÍA E ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

AENOR. (2011). *UNE 21186:2011 Protección contra el rayo: Pararrayos con dispositivo de cebado.*

AENOR. (s.f.). *UNE-EN 62561-1:2018 requisitos para los componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 1: Requisitos de los componentes de conexión.*

at3w-learning. (2018). *at3w-learning. Curso de formación: Protección Contra el Rayo.*

Acoplamiento inductivo y cómo minimizar sus efectos en la industria. *Nova Smar S/A.*

El Universo. (2020). ¿De dónde surgen los rayos? *El Universo.*

Fundación Wikimedia, Inc. (18 de Julio de 2020). *Wikipedia.* Obtenido de Wikipedia:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Comit%C3%A9\\_Europeo\\_de\\_Normalizaci%C3%B3n\\_Electrot%C3%A9cnica#Miembros\\_y\\_afiliados\\_\(2013\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Comit%C3%A9_Europeo_de_Normalizaci%C3%B3n_Electrot%C3%A9cnica#Miembros_y_afiliados_(2013))

IEC. (2011). *IEC 62305 Norma de protección contra el rayo.*

Lightning and Surge Protection. (Julio de 2018). *lsp-international.com.* Obtenido de lsp-international.com: <https://www.lsp-international.com/es/bs-en-iec-62305-lightning-protection-standard/>

LPD Argentina. (19 de Enero de 2018). *Información técnica LPD Argentina.* Obtenido de <https://www.lpdargentina.com.ar/caracteristicas-principales-del-proceso-de-descarga-de-un-rayo/#:~:text=El%20%ADder%20descendente%20es%20un,de%2050%20a%20200%20m.>

Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana. (17 de Marzo de 2006). *Código Técnico.* Obtenido de Código Técnico:  
[https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/QueEsEICTE.html#:~:text=El%20C%C3%B3digo%20T%C3%A9cnico%20de%20la,de%20la%20Edificaci%C3%B3n%20\(LOE\).](https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/QueEsEICTE.html#:~:text=El%20C%C3%B3digo%20T%C3%A9cnico%20de%20la,de%20la%20Edificaci%C3%B3n%20(LOE).)

PHOENIX CONTACT, S.A.U. (2022). *www.phoenixcontact.com.* Obtenido de [www.phoenixcontact.com](https://www.phoenixcontact.com/es-es/tecnologias/proteccion-sobretensiones-tecnologia/fundamentos-proteccion-sobretensiones): <https://www.phoenixcontact.com/es-es/tecnologias/proteccion-sobretensiones-tecnologia/fundamentos-proteccion-sobretensiones>

Real Decreto 842/2022 de 2 de agosto . (16 de Marzo de 2022). *BOE.es.* Obtenido de BOE.es:  
[https://www.boe.es/biblioteca\\_juridica/codigos/codigo.php?modo=2&id=326\\_Reglamento\\_electrotecnico\\_para\\_baja\\_tension\\_e\\_ITC](https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/codigo.php?modo=2&id=326_Reglamento_electrotecnico_para_baja_tension_e_ITC)

Rohit Narayan, B. E. (2007). *A Practical Guide to Lightning Protection in Australia and New Zealand.*



## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Países miembros de la IEC. Fuente: Wikipedia .....	8
Ilustración 2: Tipos de rayos en función de los puntos entre los que se da el fenómeno. Fuente: Encyclopedia Britannica, Inc. ....	15
Ilustración 3: Trazadores ascendentes que no alcanzan al líder descendente. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo. ....	16
Ilustración 4: Evolución temporal de un rayo. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo.....	16
Ilustración 5: Puntos de impactos del rayo. Fuente: IEC 62305-1. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales.....	17
Ilustración 6: Acoplamiento resistivo por red de tierras y por la línea de servicio. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo. ....	17
Ilustración 7: Acoplamiento inductivo por campo magnético. Fuente: Artículo técnico “Acoplamiento inductivo y cómo minimizar sus efectos en la industria (Smar Technology)” ..	18
Ilustración 8: Acoplamiento capacitivo por campo eléctrico. Fuente: Artículo técnico “Acoplamiento inductivo y cómo minimizar sus efectos en la industria (Smar Technology)” ..	18
Ilustración 9: Tensiones de paso y de contacto. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo.....	20
Ilustración 10: Cálculo radio de protección para PDC. Fuente: UNE 21186:2011 apartado 5.2.3.2. Radio de protección. ....	21
Ilustración 11: Conexión de la esfera rodante y el trazador descendente. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo. ....	22
Ilustración 12: Esfera rodante en estructuras. Fuente: Anexo B.1.1.1.2. Método de la esfera rodante del DBSUA.....	24
Ilustración 13: Formas de acodamiento de una bajante de pararrayos. Fuente: UNE 21186:2011 apartado 5.3.3. Trayectoria.....	26
Ilustración 14: Elementos de la instalación de protección externa frente al rayo mediante dispositivo de cebado.....	29
Ilustración 15: Radios de protección de los PDC’s según la UNE 21186:2011.....	30
Ilustración 16: ZPR definidas por un SMPI. Fuente: IEC 62305-4. Protección contra el rayo. Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras.....	37
Ilustración 17: Tipos de protector en función de la zona de protección. Fuente: at3w-learning Curso Protección Frente al Rayo. ....	38
Ilustración 18: Ubicación Hospital Princess Alexandra. Fuente: Google Maps.....	42
Ilustración 19: Vista 3D Hospital Princess Alexandra, Brisbane. Fuente: Google Maps. ....	42
Ilustración 20: División edificios Hospital Princess Alexandra, Brisbane. Fuente: Google Maps. ....	43
Ilustración 21: Mapa mundial de densidad de impacto de rayos. ....	46
Ilustración 22: Cobertura inicial del emplazamiento en dos dimensiones. ....	48
Ilustración 23: Cobertura inicial del emplazamiento en tres dimensiones.....	49
Ilustración 24:Ubicación inicial del pararrayos 7 sobre el edificio 3.....	50
Ilustración 25: Ubicación final del pararrayos 7 sobre el edificio 3. ....	50
Ilustración 26: Zona desprotegida edificio 1. ....	51
Ilustración 27: cobertura pararrayos 13 sobre el edificio 1. ....	51
Ilustración 28: Ubicación inicial del pararrayos 2 sobre el edificio 3. ....	52
Ilustración 29: Ubicación final del pararrayos 2 sobre el edificio 3. ....	52

Ilustración 30: Ubicación inicial del pararrayos 9 sobre el edificio 6. ....	53
Ilustración 31: Ubicación final del pararrayos 2 sobre el edificio 3. ....	53
Ilustración 33: Cobertura del pararrayos 10 para nivel de protección I. ....	54
Ilustración 32: Cobertura del pararrayos 10 para nivel de protección IV. ....	54
Ilustración 34: Cobertura final del emplazamiento en dos dimensiones. ....	54
Ilustración 35: modelo aproximado chimenea. ....	55
Ilustración 36: modelo chimenea inicial (vista planta). ....	55
Ilustración 37: modelo chimenea (vista alzada). ....	55
Ilustración 39: ubicación puntas captadoras (vista alzada). ....	56
Ilustración 38: ubicación puntas captadoras (vista planta). ....	56
Ilustración 40: comprobación protección método esfera rodante. ....	56
Ilustración 41: Punta Franklin. ....	57
Ilustración 42: Pararrayos con dispositivo de cebado. ....	57
Ilustración 43: Mástil. ....	58
Ilustración 44: Pieza adaptación y anclaje punta franklin. ....	58
Ilustración 45: Pieza de adaptación. ....	58
Ilustración 47: Anclaje a pared. ....	58
Ilustración 46: Anclaje a cubierta mediante torreta. ....	58
Ilustración 48: Grapa de sujeción para cable de cobre. ....	58
Ilustración 49: Cable trenzado de acero cobreado. ....	58
Ilustración 50: Sistema de puesta a tierra. ....	59
Ilustración 51: Alimentaciones procedentes del cuadro principal 1. ....	61
Ilustración 52: Alimentaciones procedentes del cuadro principal 2. ....	62
Ilustración 53: Alimentaciones procedentes del cuadro general 3. ....	64

## Índice de tablas

Tabla 1: Límites de los parámetros de la corriente del rayo según IEC 62305-1. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales. ....	19
Tabla 2: Valores máximos según IEC 62305-1. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales. ....	19
Tabla 3: Valores mínimos según IEC 62305-1. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales. ....	20
Tabla 4: Radios de la esfera rodante en función del nivel de protección. Fuente: Anexo B.1.1.1.2. Método de la esfera rodante del DBSUA. ....	24
Tabla 5: Materiales y dimensiones mínimas de los conductores de bajada. Fuente: UNE EN 62561-2. Componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 2: Requisitos para los conductores y los electrodos de puesta a tierra. ....	25
Tabla 6: Parámetro $k_i$ en función del nivel de protección. Fuente: UNE EN 62561-2. Componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 2: Requisitos para los conductores y los electrodos de puesta a tierra. ....	27
Tabla 7: Parámetro $k_m$ en función de los materiales. Fuente: UNE EN 62561-2. Componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 2: Requisitos para los conductores y los electrodos de puesta a tierra. ....	27
Tabla 8: Parámetro $k_c$ en función del número de bajantes. Fuente: UNE EN 62561-2. Componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 2: Requisitos para los conductores y los electrodos de puesta a tierra. ....	28
Tabla 9: Datos introducidos en el programa CDRISK. ....	45
Tabla 10: Valores de riesgo tolerable. ....	46
Tabla 11: Valores de riesgo sin protección y nivel de protección. ....	47
Tabla 12: Valores de riesgo calculado con la solución propuesta. ....	47
Tabla 13: modelos PDC's para nivel I de protección. Fuente: Aplicaciones tecnológicas S.A. ....	48
Tabla 14: Ubicación inicial pararrayos. ....	49
Tabla 15: modelos PDC's para nivel IV de protección. Fuente: Aplicaciones Tecnológicas S.A. ....	53
Tabla 16: Ubicación final de los pararrayos y sus modelos. ....	57
Tabla 17: Material instalación protección externa. ....	59
Tabla 18: Selección protectores cuadro general 1. ....	62
Tabla 19: Selección protectores cuadro general 2. ....	63
Tabla 20: Selección protectores cuadro general 3. ....	64
Tabla 21: Selección protectores final. ....	65



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

## CAPÍTULO 6. ANEXO

ANÁLISIS, ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN INTERNA Y EXTERNA FRENTE DESCARGAS ELÉCTRICAS EN GRANDES INFRAESTRUCTURAS. APLICACIÓN AL HOSPITAL PRINCESS ALEXANDRA, AUSTRALIA.

## 6. ANEXO

### ANEXO A: ESTUDIO DEL NIVEL DE PROTECCIÓN MEDIANTE EL PROGRAMA CD RISK.

#### Edificio 1: Edificio principal

Dimensiones de la estructura:	Pérdidas de servicios esenciales: Alto. Pérdida de servicios.
Longitud de la estructura: 297,62m.	Pérdidas de patrimonio cultural: No aplica.
Anchura de la estructura: 161,98m.	Pérdidas económicas:
Altura de la estructura: 18,00m.	Riesgo tolerable de pérdidas económicas seleccionado: $Rt4 = 10^{-3}$
Área de colección: 107.006,20m <sup>2</sup> .	- Por incendios: Valor muy alto.
Influencias ambientales:	- Por sobretensiones: Valor muy alto.
Densidad anual equivalente de rayos: 3, rayos/km <sup>2</sup> .	- Riesgos económicos especiales: Sin consecuencias.
Situación respecto a los alrededores: Rodeado de edificios más bajos.	- Por tensión de paso/contacto: Sin riesgo de shock.
Factor ambiental: Urbano.	Líneas de conducción eléctrica:
Características de la estructura:	Situación del cable eléctrico de alimentación: Enterrado.
Material de la estructura: Hormigón.	Tipo de cable externo: No apantallado.
Riesgo de incendio y daños físicos: Medio.	Existencia de transformador MT/BT: Sin transformador.
Tipos de las pérdidas que pueden sufrirse en la estructura:	Otros servicios aéreos:
Pérdidas de vidas humanas:	Número: 1
- Por incendios: Muy alto. Siempre ocupadas.	Tipo de cable: No apantallado.
- Por sobretensiones: Alto. Equipos vitales.	Otros servicios enterrados:
- Por pánico: Medio (entre 100 y 1000 personas).	Número: 1
- Por consecuencias fuera de la estructura: Sin consecuencias.	Tipo de cable: No apantallado.

Con estos datos se calculan los componentes de riesgo (RA, RB, RC, RM, RU, RV, RW, RZ) para cada uno de los tipos de riesgo existentes (pérdidas de vidas humanas, pérdidas de servicios esenciales, pérdidas de patrimonio cultural, y pérdidas económicas) según se define en las normativas. Para cada uno de los riesgos computan unos componentes Rx, y algunos sólo en ciertos casos, lo que se indica con un superíndice:

1) Sólo para estructuras con riesgo de explosión y para hospitales o estructuras en las que los fallos de los sistemas dan lugar a un riesgo inmediato para la vida humana.

2) Sólo para propiedades donde puedan producirse pérdidas de animales.

#### **Riesgo calculado sin protección:**

$$R1 = RA + RB + RC1 + RM1 + RU + RV + RW1 + RZ1 = 1,61 \cdot 10^{-7} + 8,03 \cdot 10^{-4} + 1,61 \cdot 10^{-4} + 1,26 \cdot 10^{-3} + 7,12 \cdot 10^{-8} + 3,56 \cdot 10^{-4} + 7,12 \cdot 10^{-5} + 3,35 \cdot 10^{-4} = 2,99 \cdot 10^{-3}$$

Por tanto,  $R1 > Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 1,61 \cdot 10^{-4} + 1,61 \cdot 10^{-3} + 1,26 \cdot 10^{-2} + 7,12 \cdot 10^{-5} + 7,12 \cdot 10^{-4} + 3,35 \cdot 10^{-3} = 1,85 \cdot 10^{-2}$$

Por tanto,  $R2 > Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2 + RB + RC + RM + RU2 + RV + RW + RZ = 0,00 + 8,03 \cdot 10^{-4} + 1,61 \cdot 10^{-3} + 1,26 \cdot 10^{-2} + 0,00 + 3,56 \cdot 10^{-4} + 7,12 \cdot 10^{-4} + 3,35 \cdot 10^{-3} = 1,94 \cdot 10^{-2}$$

Por tanto,  $R4 > Rt4$

## TFG Laura Domingo Merino

Para conseguir un riesgo menor al tolerable establecido en los cuatro tipos se deben tomar las siguientes medidas de protección:

- Sistema externo: Un sistema de protección contra el rayo de Nivel I.
- Sistema interno: Un sistema de coordinado de protección contra sobretensiones.

Para reducir las posibilidades de daños a los equipos se instalarán protectores de mejores características que las exigidas para Nivel de Protección I.

### Riesgo calculado con la solución propuesta:

$$R1 = RA + RB + RC1 + RM1 + RU + RV + RW1 + RZ1 = 1,61 \cdot 10^{-7} + 1,61 \cdot 10^{-5} + 1,61 \cdot 10^{-7} + 1,26 \cdot 10^{-6} + 7,12 \cdot 10^{-11} + 3,56 \cdot 10^{-7} + 7,12 \cdot 10^{-8} + 3,35 \cdot 10^{-7} = 1,84 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R1 > Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 3,21 \cdot 10^{-6} + 1,61 \cdot 10^{-6} + 1,26 \cdot 10^{-5} + 7,12 \cdot 10^{-8} + 7,12 \cdot 10^{-7} + 3,35 \cdot 10^{-6} = 2,16 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R2 < Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2 + RB + RC + RM + RU2 + RV + RW + RZ = 0,00 + 1,61 \cdot 10^{-5} + 1,61 \cdot 10^{-6} + 1,26 \cdot 10^{-5} + 0,00 + 3,56 \cdot 10^{-7} + 7,12 \cdot 10^{-7} + 3,35 \cdot 10^{-6} = 3,47 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R4 < Rt4$

### Edificio 2: Edificio rehabilitación

Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura: 116,88m.

Anchura de la estructura: 87,20m.

Altura de la estructura: 8,00m.

Área de colección: 21.797,33m<sup>2</sup>.

Influencias ambientales:

Densidad anual equivalente de rayos: 3, rayos/km<sup>2</sup>.

Situación respecto a los alrededores: Rodeado de edificios de altura mayor o igual

Factor ambiental: Urbano.

Características de la estructura:

Material de la estructura: Metálica.

Riesgo de incendio y daños físicos: Medio.

Tipos de las pérdidas que pueden sufrirse en la estructura:

Pérdidas de vidas humanas:

- Por incendios: Muy alto. Siempre ocupadas.

- Por sobretensiones: Alto. Equipos vitales.

- Por pánico: Medio (entre 100 y 1000 personas).

- Por consecuencias fuera de la estructura: Sin consecuencias.

Pérdidas de servicios esenciales: Alto. Pérdida de servicios.

Pérdidas de patrimonio cultural: No aplica.

Pérdidas económicas:

Riesgo tolerable de pérdidas económicas seleccionado:  $Rt4 = 10^{-3}$

- Por incendios: Valor muy alto.

- Por sobretensiones: Valor muy alto.

- Riesgos económicos especiales: Sin consecuencias.

- Por tensión de paso/contacto: Sin riesgo de shock.

Líneas de conducción eléctrica:

Situación del cable eléctrico de alimentación: Enterrado.

Tipo de cable externo: No apantallado.

Existencia de transformador MT/BT: Sin transformador.

Otros servicios aéreos:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

Otros servicios enterrados:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

### Riesgo calculado sin protección:

$$R1 = RA + RB + RC1 + RM1 + RU + RV + RW1 + RZ1 = 1,63 \cdot 10^{-8} + 8,17 \cdot 10^{-5} + 1,63 \cdot 10^{-5} + 9,09 \cdot 10^{-8} + 3,67 \cdot 10^{-8} + 1,84 \cdot 10^{-4} + 3,67 \cdot 10^{-5} + 3,69 \cdot 10^{-4} = 6,88 \cdot 10^{-4}$$

Por tanto,  $R1 > Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 1,63 \cdot 10^{-5} + 1,63 \cdot 10^{-4} + 9,09 \cdot 10^{-7} + 3,67 \cdot 10^{-5} + 3,67 \cdot 10^{-4} + 3,69 \cdot 10^{-3} = 4,28 \cdot 10^{-3}$$

## TFG Laura Domingo Merino

Por tanto,  $R_2 > Rt_2$

$$R_3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R_3 < Rt_3$

$$R_4 = (RA_2) + RB + RC + RM + RU_2 + RV + RW + RZ = 0,00 + 8,17 \cdot 10^{-5} + 1,63 \cdot 10^{-4} + 9,09 \cdot 10^{-7} + 0,00 + 1,84 \cdot 10^{-4} + 3,67 \cdot 10^{-4} + 3,69 \cdot 10^{-3} = 4,49 \cdot 10^{-3}$$

Por tanto,  $R_4 > Rt_4$

Para conseguir un riesgo menor al tolerable establecido en los cuatro tipos se deben tomar las siguientes medidas de protección:

- Sistema externo: Un sistema de protección contra el rayo de Nivel I.
- Sistema interno: Un sistema de coordinado de protección contra sobretensiones.

### Riesgo calculado con la solución propuesta:

$$R_1 = RA + RB + RC_1 + RM_1 + RU + RV + RW_1 + RZ_1 = 1,63 \cdot 10^{-8} + 1,63 \cdot 10^{-6} + 1,63 \cdot 10^{-7} + 9,09 \cdot 10^{-8} + 3,67 \cdot 10^{-10} + 1,84 \cdot 10^{-6} + 3,67 \cdot 10^{-7} + 3,69 \cdot 10^{-6} = 7,80 \cdot 10^{-6}$$

Por tanto,  $R_1 < Rt_1$

$$R_2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 3,27 \cdot 10^{-7} + 1,63 \cdot 10^{-6} + 9,09 \cdot 10^{-7} + 3,67 \cdot 10^{-7} + 3,67 \cdot 10^{-6} + 3,69 \cdot 10^{-5} = 4,38 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R_2 < Rt_2$

$$R_3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R_3 < Rt_3$

$$R_4 = (RA_2) + RB + RC + RM + RU_2 + RV + RW + RZ = 0,00 + 1,63 \cdot 10^{-6} + 1,63 \cdot 10^{-6} + 9,09 \cdot 10^{-7} + 0,00 + 1,84 \cdot 10^{-6} + 3,67 \cdot 10^{-6} + 3,69 \cdot 10^{-5} = 4,66 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R_4 < Rt_4$

Con la protección propuesta el riesgo es menor que el definido como tolerable para todos los tipos de riesgo.

### Edificio 3: Instituto de investigación

Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura: 113,88m.

Anchura de la estructura: 100,65m.

Altura de la estructura: 15,00m.

Área de colección: 37.131,45m<sup>2</sup>.

Influencias ambientales:

Densidad anual equivalente de rayos: 3, rayos/km<sup>2</sup>.

Situación respecto a los alrededores: Rodeado de edificios más bajos.

Factor ambiental: Urbano.

Características de la estructura:

Material de la estructura: Metálica.

Riesgo de incendio y daños físicos: Medio.

Tipos de las pérdidas que pueden sufrirse en la estructura:

Pérdidas de vidas humanas:

- Por incendios: Alto. Ocupadas regularmente.
- Por sobretensiones: Medio. Equipos eléctricos de seguridad.
- Por pánico: Medio (entre 100 y 1000 personas).

- Por consecuencias fuera de la estructura: Sin consecuencias.

Pérdidas de servicios esenciales: Alto. Pérdida de servicios.

Pérdidas de patrimonio cultural: No aplica.

Pérdidas económicas:

Riesgo tolerable de pérdidas económicas seleccionado:  $Rt_4 = 10^{-3}$

- Por incendios: Valor muy alto.

- Por sobretensiones: Valor muy alto.

- Riesgos económicos especiales: Sin consecuencias.

- Por tensión de paso/contacto: Sin riesgo de shock.

Líneas de conducción eléctrica:

Situación del cable eléctrico de alimentación: Enterrado.

Tipo de cable externo: No apantallado.

Existencia de transformador MT/BT: Sin transformador.

Otros servicios aéreos:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

Otros servicios enterrados:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

## TFG Laura Domingo Merino

### Riesgo calculado sin protección:

$$R1 = RA + RB + RC1) + RM1) + RU + RV + RW1) + RZ1) = 5,57 \cdot 10^{-8} + 1,39 \cdot 10^{-4} + 5,57 \cdot 10^{-6} + 8,90 \cdot 10^{-9} + 7,18 \cdot 10^{-8} + 1,80 \cdot 10^{-4} + 7,18 \cdot 10^{-6} + 3,34 \cdot 10^{-5} = 3,65 \cdot 10^{-4}$$

Por tanto,  $R1 > Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 5,57 \cdot 10^{-5} + 5,57 \cdot 10^{-4} + 8,90 \cdot 10^{-7} + 7,18 \cdot 10^{-5} + 7,18 \cdot 10^{-4} + 3,34 \cdot 10^{-3} = 4,75 \cdot 10^{-3}$$

Por tanto,  $R2 > Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2) + RB + RC + RM + RU2) + RV + RW + RZ = 0,00 + 2,78 \cdot 10^{-4} + 5,57 \cdot 10^{-4} + 8,90 \cdot 10^{-7} + 0,00 + 3,59 \cdot 10^{-4} + 7,18 \cdot 10^{-4} + 3,34 \cdot 10^{-3} = 5,26 \cdot 10^{-3}$$

Por tanto,  $R4 > Rt4$

Para conseguir un riesgo menor al tolerable establecido en los cuatro tipos se deben tomar las siguientes medidas de protección:

- Sistema externo: Un sistema de protección contra el rayo de Nivel I.
- Sistema interno: Un sistema de coordinado de protección contra sobretensiones.

### Riesgo calculado con la solución propuesta:

$$R1 = RA + RB + RC1) + RM1) + RU + RV + RW1) + RZ1) = 5,57 \cdot 10^{-8} + 2,78 \cdot 10^{-6} + 5,57 \cdot 10^{-8} + 8,90 \cdot 10^{-9} + 7,18 \cdot 10^{-10} + 1,80 \cdot 10^{-6} + 7,18 \cdot 10^{-8} + 3,34 \cdot 10^{-7} = 5,11 \cdot 10^{-6}$$

Por tanto,  $R1 < Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 1,11 \cdot 10^{-6} + 5,57 \cdot 10^{-6} + 8,90 \cdot 10^{-7} + 7,18 \cdot 10^{-7} + 7,18 \cdot 10^{-6} + 3,34 \cdot 10^{-5} = 4,89 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R2 < Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2) + RB + RC + RM + RU2) + RV + RW + RZ = 0,00 + 5,57 \cdot 10^{-6} + 5,57 \cdot 10^{-6} + 8,90 \cdot 10^{-7} + 0,00 + 3,59 \cdot 10^{-6} + 7,18 \cdot 10^{-6} + 3,34 \cdot 10^{-5} = 5,62 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R4 < Rt4$

Con la protección propuesta el riesgo es menor que el definido como tolerable para todos los tipos de riesgo.

### Edificio 4: Edificio de artes

Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura: 82,30m.

Anchura de la estructura: 76,45m.

Altura de la estructura: 9,00m.

Área de colección: 17.154,56m<sup>2</sup>.

Influencias ambientales:

Densidad anual equivalente de rayos: 3, rayos/km<sup>2</sup>.

Situación respecto a los alrededores: Rodeado de edificios más bajos.

Factor ambiental: Urbano.

Características de la estructura:

Material de la estructura: Metálica.

Riesgo de incendio y daños físicos: Medio.

Tipos de las pérdidas que pueden sufrirse en la estructura:

Pérdidas de vidas humanas:

- Por incendios: Medio. Ocupadas ocasionalmente.

- Por sobretensiones: No aplica.

- Por pánico: Bajo (menos de 100 personas).

- Por consecuencias fuera de la estructura: Sin consecuencias.

Pérdidas de servicios esenciales: No aplica.

Pérdidas de patrimonio cultural: No aplica.

Pérdidas económicas:

Riesgo tolerable de pérdidas económicas seleccionado:  $Rt4 = 10^{-3}$

- Por incendios: Valor alto.

- Por sobretensiones: Valor alto.

- Riesgos económicos especiales: Sin consecuencias.

- Por tensión de paso/contacto: Sin riesgo de shock.



## TFG Laura Domingo Merino

Líneas de conducción eléctrica:	Número: 1
Situación del cable eléctrico de alimentación: Enterrado.	Tipo de cable: No apantallado.
Tipo de cable externo: No apantallado.	Otros servicios enterrados:
Existencia de transformador MT/BT: Sin transformador.	Número: 1
Otros servicios aéreos:	Tipo de cable: No apantallado

### Riesgo calculado sin protección:

$$R1 = RA + RB + RC1 + RM1 + RU + RV + RW1 + RZ1 = 2,57 \cdot 10^{-8} + 1,03 \cdot 10^{-5} + 0,00 + 0,00 + 7,32 \cdot 10^{-8} + 2,93 \cdot 10^{-5} + 0,00 + 0,00 = 3,97 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R1 > Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R2 < Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2 + RB + RC + RM + RU2 + RV + RW + RZ = 0,00 + 5,15 \cdot 10^{-5} + 2,57 \cdot 10^{-5} + 8,20 \cdot 10^{-8} + 0,00 + 1,46 \cdot 10^{-4} + 7,32 \cdot 10^{-5} + 3,33 \cdot 10^{-4} = 6,30 \cdot 10^{-4}$$

Por tanto,  $R4 < Rt4$

Para conseguir un riesgo menor al tolerable establecido en los cuatro tipos se deben tomar las siguientes medidas de protección:

- Sistema externo: Un sistema de protección contra el rayo de Nivel IV.
- Sistema interno: Un sistema de coordinado de protección contra sobretensiones.

Riesgo calculado con la solución propuesta:

$$R1 = RA + RB + RC1 + RM1 + RU + RV + RW1 + RZ1 = 2,57 \cdot 10^{-8} + 2,06 \cdot 10^{-6} + 0,00 + 0,00 + 3,66 \cdot 10^{-9} + 1,46 \cdot 10^{-6} + 0,00 + 0,00 = 3,55 \cdot 10^{-6}$$

Por tanto,  $R1 < Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R2 < Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2 + RB + RC + RM + RU2 + RV + RW + RZ = 0,00 + 1,03 \cdot 10^{-5} + 1,29 \cdot 10^{-6} + 8,20 \cdot 10^{-8} + 0,00 + 7,32 \cdot 10^{-6} + 3,66 \cdot 10^{-6} + 1,66 \cdot 10^{-5} = 3,93 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R4 < Rt4$

Con la protección propuesta el riesgo es menor que el definido como tolerable para todos los tipos de riesgo.

### Edificio 5: Clínica respiratoria

Dimensiones de la estructura:	Características de la estructura:
Longitud de la estructura: 123,00m.	Material de la estructura: Hormigón.
Anchura de la estructura: 76,16m.	Riesgo de incendio y daños físicos: Medio.
Altura de la estructura: 14,00m.	Tipos de las pérdidas que pueden sufrirse en la estructura:
Área de colección: 31.638,89m <sup>2</sup> .	Pérdidas de vidas humanas:
Influencias ambientales:	- Por incendios: Alto. Ocupadas regularmente.
Densidad anual equivalente de rayos: 3, rayos/km <sup>2</sup> .	- Por sobretensiones: Alto. Equipos vitales.
Situación respecto a los alrededores: Rodeado de edificios más bajos.	- Por pánico: Bajo (menos de 100 personas).
Factor ambiental: Urbano.	- Por consecuencias fuera de la estructura: Sin consecuencias.
	Pérdidas de servicios esenciales: Alto. Pérdida de servicios.

## TFG Laura Domingo Merino

Pérdidas de patrimonio cultural: No aplica.

Pérdidas económicas:

Riesgo tolerable de pérdidas económicas seleccionado:  $R_{t4} = 10^{-3}$

- Por incendios: Valor muy alto.

- Por sobretensiones: Valor muy alto.

- Riesgos económicos especiales: Sin consecuencias.

- Por tensión de paso/contacto: Sin riesgo de shock.

Líneas de conducción eléctrica:

### Riesgo calculado sin protección:

$$R1 = RA + RB + RC1 + RM1 + RU + RV + RW1 + RZ1 = 4,75 \cdot 10^{-8} + 4,75 \cdot 10^{-5} + 4,75 \cdot 10^{-5} + 8,68 \cdot 10^{-4} + 7,21 \cdot 10^{-8} + 7,21 \cdot 10^{-5} + 7,21 \cdot 10^{-5} + 3,34 \cdot 10^{-4} = 1,44 \cdot 10^{-3}$$

Por tanto,  $R1 > R_{t1}$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 4,75 \cdot 10^{-5} + 4,75 \cdot 10^{-4} + 8,68 \cdot 10^{-3} + 7,21 \cdot 10^{-5} + 7,21 \cdot 10^{-4} + 3,34 \cdot 10^{-3} = 1,33 \cdot 10^{-2}$$

Por tanto,  $R2 > R_{t2}$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < R_{t3}$

$$R4 = RA2 + RB + RC + RM + RU2 + RV + RW + RZ = 0,00 + 2,37 \cdot 10^{-4} + 4,75 \cdot 10^{-4} + 8,68 \cdot 10^{-3} + 0,00 + 3,60 \cdot 10^{-4} + 7,21 \cdot 10^{-4} + 3,34 \cdot 10^{-3} = 1,38 \cdot 10^{-2}$$

Por tanto,  $R4 > R_{t4}$

Para conseguir un riesgo menor al tolerable establecido en los cuatro tipos se deben tomar las siguientes medidas de protección:

- Sistema externo: Un sistema de protección contra el rayo de Nivel III.

- Sistema interno: Un sistema de coordinado de protección contra sobretensiones.

Para reducir las posibilidades de daños a los equipos se instalarán protectores de mejores características que las exigidas para Nivel de Protección I.

### Riesgo calculado con la solución propuesta:

$$R1 = RA + RB + RC1 + RM1 + RU + RV + RW1 + RZ1 = 4,75 \cdot 10^{-8} + 4,75 \cdot 10^{-6} + 4,75 \cdot 10^{-8} + 8,68 \cdot 10^{-7} + 7,21 \cdot 10^{-11} + 7,21 \cdot 10^{-8} + 7,21 \cdot 10^{-8} + 3,34 \cdot 10^{-7} = 6,19 \cdot 10^{-6}$$

Por tanto,  $R1 < R_{t1}$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 4,75 \cdot 10^{-6} + 4,75 \cdot 10^{-7} + 8,68 \cdot 10^{-6} + 7,21 \cdot 10^{-8} + 7,21 \cdot 10^{-7} + 3,34 \cdot 10^{-6} = 1,80 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R2 < R_{t2}$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < R_{t3}$

$$R4 = RA2 + RB + RC + RM + RU2 + RV + RW + RZ = 0,00 + 2,37 \cdot 10^{-5} + 4,75 \cdot 10^{-7} + 8,68 \cdot 10^{-6} + 0,00 + 3,60 \cdot 10^{-7} + 7,21 \cdot 10^{-7} + 3,34 \cdot 10^{-6} = 3,73 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R4 < R_{t4}$

Con la protección propuesta el riesgo es menor que el definido como tolerable para todos los tipos de riesgo.

### Edificio 6: Edificio de Psiquiatría

Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura: 74,71m.

Anchura de la estructura: 72,00m.

Altura de la estructura: 9,00m.

Situación del cable eléctrico de alimentación: Enterrado.

Tipo de cable externo: No apantallado.

Existencia de transformador MT/BT: Sin transformador.

Otros servicios aéreos:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

Otros servicios enterrados:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

Área de colección: 15.591,68m<sup>2</sup>.

Influencias ambientales:

Densidad anual equivalente de rayos: 3, rayos/km<sup>2</sup>.

Situación respecto a los alrededores: Rodeado de edificios más bajos.

## TFG Laura Domingo Merino

Factor ambiental: Urbano.	- Por incendios: Valor muy alto.
Características de la estructura:	- Por sobretensiones: Valor muy alto.
Material de la estructura: Hormigón.	- Riesgos económicos especiales: Sin consecuencias.
Riesgo de incendio y daños físicos: Medio.	- Por tensión de paso/contacto: Sin riesgo de shock.
Tipos de las pérdidas que pueden sufrirse en la estructura:	Líneas de conducción eléctrica:
Pérdidas de vidas humanas:	Situación del cable eléctrico de alimentación: Enterrado.
- Por incendios: Alto. Ocupadas regularmente.	Tipo de cable externo: No apantallado.
- Por sobretensiones: Alto. Equipos vitales.	Existencia de transformador MT/BT: Sin transformador.
- Por pánico: Medio (entre 100 y 1000 personas).	Otros servicios aéreos:
- Por consecuencias fuera de la estructura: Sin consecuencias.	Número: 1
Pérdidas de servicios esenciales: Alto. Pérdida de servicios.	Tipo de cable: No apantallado.
Pérdidas de patrimonio cultural: No aplica.	Otros servicios enterrados:
Pérdidas económicas:	Número: 1
Riesgo tolerable de pérdidas económicas seleccionado: $Rt4 = 10^{-3}$	Tipo de cable: No apantallado.

### Riesgo calculado sin protección:

$$R1 = RA + RB + RC1 + RM1 + RU + RV + RW1 + RZ1 = 2,34 \cdot 10^{-8} + 5,85 \cdot 10^{-5} + 2,34 \cdot 10^{-5} + 8,02 \cdot 10^{-4} + 7,32 \cdot 10^{-8} + 1,83 \cdot 10^{-4} + 7,32 \cdot 10^{-5} + 3,33 \cdot 10^{-4} = 1,47 \cdot 10^{-3}$$

Por tanto,  $R1 > Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 2,34 \cdot 10^{-5} + 2,34 \cdot 10^{-4} + 8,02 \cdot 10^{-3} + 7,32 \cdot 10^{-5} + 7,32 \cdot 10^{-4} + 3,33 \cdot 10^{-3} = 1,24 \cdot 10^{-2}$$

Por tanto,  $R2 > Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2 + RB + RC + RM + RU2 + RV + RW + RZ = 0,00 + 1,17 \cdot 10^{-4} + 2,34 \cdot 10^{-4} + 8,02 \cdot 10^{-3} + 0,00 + 3,66 \cdot 10^{-4} + 7,32 \cdot 10^{-4} + 3,33 \cdot 10^{-3} = 1,28 \cdot 10^{-2}$$

Por tanto,  $R4 > Rt4$

Para conseguir un riesgo menor al tolerable establecido en los cuatro tipos se deben tomar las siguientes medidas de protección:

- Sistema externo: Un sistema de protección contra el rayo de Nivel III.
- Sistema interno: Un sistema de coordinado de protección contra sobretensiones.

### Riesgo calculado con la solución propuesta:

$$R1 = RA + RB + RC1 + RM1 + RU + RV + RW1 + RZ1 = 2,34 \cdot 10^{-8} + 5,85 \cdot 10^{-6} + 2,34 \cdot 10^{-8} + 8,02 \cdot 10^{-7} + 7,32 \cdot 10^{-11} + 1,83 \cdot 10^{-7} + 7,32 \cdot 10^{-8} + 3,33 \cdot 10^{-7} = 7,28 \cdot 10^{-6}$$

Por tanto,  $R1 < Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 2,34 \cdot 10^{-6} + 2,34 \cdot 10^{-7} + 8,02 \cdot 10^{-6} + 7,32 \cdot 10^{-8} + 7,32 \cdot 10^{-7} + 3,33 \cdot 10^{-6} = 1,47 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R2 < Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2 + RB + RC + RM + RU2 + RV + RW + RZ = 0,00 + 1,17 \cdot 10^{-5} + 2,34 \cdot 10^{-7} + 8,02 \cdot 10^{-6} + 0,00 + 3,66 \cdot 10^{-7} + 7,32 \cdot 10^{-7} + 3,33 \cdot 10^{-6} = 2,44 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R4 < Rt4$

Con la protección propuesta el riesgo es menor que el definido como tolerable para todos los tipos de riesgo.

### **Edificio 7: Edificio ejecutivo**

Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura: 70,82m.

Anchura de la estructura: 32,20m.

Altura de la estructura: 15,00m.

Área de colección: 17.913,93m<sup>2</sup>.

Influencias ambientales:

Densidad anual equivalente de rayos: 3, rayos/km<sup>2</sup>.

Situación respecto a los alrededores: Rodeado de edificios más bajos.

Factor ambiental: Urbano.

Características de la estructura:

Material de la estructura: Hormigón.

Riesgo de incendio y daños físicos: Medio.

Tipos de las pérdidas que pueden sufrirse en la estructura:

Pérdidas de vidas humanas:

- Por incendios: Alto. Ocupadas regularmente.
- Por sobretensiones: Medio. Equipos eléctricos de seguridad.
- Por pánico: Medio (entre 100 y 1000 personas).
- Por consecuencias fuera de la estructura: Sin consecuencias.

#### **Riesgo calculado sin protección:**

$$R1 = RA + RB + RC1) + RM1) + RU + RV + RW1) + RZ1) = 2,69 \cdot 10^{-8} + 6,72 \cdot 10^{-5} + 2,69 \cdot 10^{-6} + 7,24 \cdot 10^{-5} + 7,18 \cdot 10^{-8} + 1,80 \cdot 10^{-4} + 7,18 \cdot 10^{-6} + 3,34 \cdot 10^{-5} = 3,62 \cdot 10^{-4}$$

Por tanto,  $R1 > Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R2 < Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2) + RB + RC + RM + RU2) + RV + RW + RZ = 0,00 + 5,37 \cdot 10^{-5} + 2,69 \cdot 10^{-5} + 7,24 \cdot 10^{-4} + 0,00 + 1,44 \cdot 10^{-4} + 7,18 \cdot 10^{-5} + 3,34 \cdot 10^{-4} = 1,35 \cdot 10^{-3}$$

Por tanto,  $R4 > Rt4$

Para conseguir un riesgo menor al tolerable establecido en los cuatro tipos se deben tomar las siguientes medidas de protección:

- Sistema externo: Un sistema de protección contra el rayo de Nivel II.
- Sistema interno: Un sistema de coordinado de protección contra sobretensiones.

#### **Riesgo calculado con la solución propuesta:**

$$R1 = RA + RB + RC1) + RM1) + RU + RV + RW1) + RZ1) = 2,69 \cdot 10^{-8} + 3,36 \cdot 10^{-6} + 5,37 \cdot 10^{-8} + 1,45 \cdot 10^{-6} + 1,44 \cdot 10^{-9} + 3,59 \cdot 10^{-6} + 1,44 \cdot 10^{-7} + 6,68 \cdot 10^{-7} = 9,29 \cdot 10^{-6}$$

Por tanto,  $R1 < Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R2 < Rt2$

Pérdidas de servicios esenciales: No aplica.

Pérdidas de patrimonio cultural: No aplica.

Pérdidas económicas:

Riesgo tolerable de pérdidas económicas seleccionado:  $Rt4 = 10^{-3}$

- Por incendios: Valor alto.
- Por sobretensiones: Valor alto.
- Riesgos económicos especiales: Sin consecuencias.
- Por tensión de paso/contacto: Sin riesgo de shock.

Líneas de conducción eléctrica:

Situación del cable eléctrico de alimentación: Enterrado.

Tipo de cable externo: No apantallado.

Existencia de transformador MT/BT: Sin transformador.

Otros servicios aéreos:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

Otros servicios enterrados:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

## TFG Laura Domingo Merino

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2) + RB + RC + RM + RU2) + RV + RW + RZ = 0,00 + 2,69 \cdot 10^{-6} + 5,37 \cdot 10^{-7} + 1,45 \cdot 10^{-5} + 0,00 + 2,87 \cdot 10^{-6} + 1,44 \cdot 10^{-6} + 6,68 \cdot 10^{-6} = 2,87 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R4 < Rt4$

Con la protección propuesta el riesgo es menor que el definido como tolerable para todos los tipos de riesgo.

### **Edificio 8: Aparcamiento**

Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura: 138,18m.

Anchura de la estructura: 69,94m.

Altura de la estructura: 12,00m.

Área de colección: 28.720,45m<sup>2</sup>.

Influencias ambientales:

Densidad anual equivalente de rayos: 3, rayos/km<sup>2</sup>.

Situación respecto a los alrededores: Rodeado de edificios más bajos.

Factor ambiental: Urbano.

Características de la estructura:

Material de la estructura: Hormigón.

Riesgo de incendio y daños físicos: Medio.

Tipos de las pérdidas que pueden sufrirse en la estructura:

Pérdidas de vidas humanas:

- Por incendios: Alto. Ocupadas regularmente.

- Por sobretensiones: No aplica.

- Por pánico: Sin riesgo.

- Por consecuencias fuera de la estructura: Sin consecuencias.

### **Riesgo calculado sin protección:**

$$R1 = RA + RB + RC1) + RM1) + RU + RV + RW1) + RZ1) = 4,31 \cdot 10^{-8} + 2,15 \cdot 10^{-5} + 0,00 + 0,00 + 7,25 \cdot 10^{-8} + 3,63 \cdot 10^{-5} + 0,00 + 0,00 = 5,79 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R1 > Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R2 < Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2) + RB + RC + RM + RU2) + RV + RW + RZ = 0,00 + 8,62 \cdot 10^{-5} + 4,31 \cdot 10^{-5} + 8,87 \cdot 10^{-4} + 0,00 + 1,45 \cdot 10^{-4} + 7,25 \cdot 10^{-5} + 3,34 \cdot 10^{-4} = 1,57 \cdot 10^{-3}$$

Por tanto,  $R4 > Rt4$

Para conseguir un riesgo menor al tolerable establecido en los cuatro tipos se deben tomar las siguientes medidas de protección:

- Sistema externo: Un sistema de protección contra el rayo de Nivel IV.

- Sistema interno: Un sistema de coordinado de protección contra sobretensiones.

### **Riesgo calculado con la solución propuesta:**

Pérdidas de servicios esenciales: No aplica.

Pérdidas de patrimonio cultural: No aplica.

Pérdidas económicas:

Riesgo tolerable de pérdidas económicas seleccionado:  $Rt4 = 10^{-3}$

- Por incendios: Valor alto.

- Por sobretensiones: Valor alto.

- Riesgos económicos especiales: Sin consecuencias.

- Por tensión de paso/contacto: Sin riesgo de shock.

Líneas de conducción eléctrica:

Situación del cable eléctrico de alimentación: Enterrado.

Tipo de cable externo: No apantallado.

Existencia de transformador MT/BT: Sin transformador.

Otros servicios aéreos:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

Otros servicios enterrados:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

## TFG Laura Domingo Merino

$$R1 = RA + RB + RC1) + RM1) + RU + RV + RW1) + RZ1) = 4,31 \cdot 10^{-8} + 4,31 \cdot 10^{-6} + 0,00 + 0,00 + 3,63 \cdot 10^{-9} + 1,81 \cdot 10^{-6} + 0,00 + 0,00 = 6,17 \cdot 10^{-6}$$

Por tanto,  $R1 < Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R2 < Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2) + RB + RC + RM + RU2) + RV + RW + RZ = 0,00 + 1,72 \cdot 10^{-5} + 2,15 \cdot 10^{-6} + 4,44 \cdot 10^{-5} + 0,00 + 7,25 \cdot 10^{-6} + 3,63 \cdot 10^{-6} + 1,67 \cdot 10^{-5} = 9,13 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto,  $R4 < Rt4$

Con la protección propuesta el riesgo es menor que el definido como tolerable para todos los tipos de riesgo.

### **Edificio 9: Almacén**

Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura: 73,48m.

Anchura de la estructura: 86,62m.

Altura de la estructura: 6,50m.

Área de colección: 13.803,33m<sup>2</sup>.

Influencias ambientales:

Densidad anual equivalente de rayos: 3, rayos/km<sup>2</sup>.

Situación respecto a los alrededores: Rodeado de edificios de altura mayor o igual

Factor ambiental: Urbano.

Características de la estructura:

Material de la estructura: Metálica.

Riesgo de incendio y daños físicos: Medio.

Tipos de las pérdidas que pueden sufrirse en la estructura:

Pérdidas de vidas humanas:

- Por incendios: Medio. Ocupadas ocasionalmente.

- Por sobretensiones: No aplica.

- Por pánico: Sin riesgo.

- Por consecuencias fuera de la estructura: Sin consecuencias.

### **Riesgo calculado sin protección:**

$$R1 = RA + RB + RC1) + RM1) + RU + RV + RW1) + RZ1) = 1,04 \cdot 10^{-8} + 2,07 \cdot 10^{-6} + 0,00 + 0,00 + 3,69 \cdot 10^{-8} + 7,37 \cdot 10^{-6} + 0,00 + 0,00 = 9,49 \cdot 10^{-6}$$

Por tanto,  $R1 < Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 1,04 \cdot 10^{-5} + 1,04 \cdot 10^{-4} + 8,38 \cdot 10^{-7} + 3,69 \cdot 10^{-5} + 3,69 \cdot 10^{-4} + 3,69 \cdot 10^{-3} = 4,21 \cdot 10^{-3}$$

Por tanto,  $R2 > Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2) + RB + RC + RM + RU2) + RV + RW + RZ = 0,00 + 5,18 \cdot 10^{-5} + 1,04 \cdot 10^{-4} + 8,38 \cdot 10^{-7} + 0,00 + 1,84 \cdot 10^{-4} + 3,69 \cdot 10^{-4} + 3,69 \cdot 10^{-3} = 4,40 \cdot 10^{-3}$$

Pérdidas de servicios esenciales: Alto. Pérdida de servicios.

Pérdidas de patrimonio cultural: No aplica.

Pérdidas económicas:

Riesgo tolerable de pérdidas económicas seleccionado:  $Rt4 = 10^{-3}$

- Por incendios: Valor muy alto.

- Por sobretensiones: Valor muy alto.

- Riesgos económicos especiales: Sin consecuencias.

- Por tensión de paso/contacto: Sin riesgo de shock.

Líneas de conducción eléctrica:

Situación del cable eléctrico de alimentación: Enterrado.

Tipo de cable externo: No apantallado.

Existencia de transformador MT/BT: Sin transformador.

Otros servicios aéreos:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

Otros servicios enterrados:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

## TFG Laura Domingo Merino

Por tanto,  $R4 > Rt4$

Para conseguir un riesgo menor al tolerable establecido en los cuatro tipos se deben tomar las siguientes medidas de protección:

- Sistema externo: Un sistema de protección contra el rayo de Nivel IV.
- Sistema interno: Un sistema de coordinado de protección contra sobretensiones.

### Riesgo calculado con la solución propuesta:

$$R1 = RA + RB + RC1 + RM1 + RU + RV + RW1 + RZ1 = 1,04 \cdot 10^{-8} + 4,14 \cdot 10^{-7} + 0,00 + 0,00 + 1,84 \cdot 10^{-9} + 3,69 \cdot 10^{-7} + 0,00 + 0,00 = 7,95 \cdot 10^{-7}$$

Por tanto,  $R1 < Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 2,07 \cdot 10^{-6} + 5,18 \cdot 10^{-6} + 8,38 \cdot 10^{-7} + 1,84 \cdot 10^{-6} + 1,84 \cdot 10^{-5} + 1,85 \cdot 10^{-4} = 2,13 \cdot 10^{-4}$$

Por tanto,  $R2 < Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = RA2 + RB + RC + RM + RU2 + RV + RW + RZ = 0,00 + 1,04 \cdot 10^{-5} + 5,18 \cdot 10^{-6} + 8,38 \cdot 10^{-7} + 0,00 + 9,22 \cdot 10^{-6} + 1,84 \cdot 10^{-5} + 1,85 \cdot 10^{-4} = 2,29 \cdot 10^{-4}$$

Por tanto,  $R4 < Rt4$

Con la protección propuesta el riesgo es menor que el definido como tolerable para todos los tipos de riesgo.

### Edificio 10: Zona chimeneas

Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura: 4,5m.

Anchura de la estructura: 4,5m.

Altura de la estructura: 50m.

Área de colección: 73.406,09 m<sup>2</sup>.

Influencias ambientales:

Densidad anual equivalente de rayos: 3, rayos/km<sup>2</sup>.

Situación respecto a los alrededores: Rodeado de edificios más bajos.

Factor ambiental: Urbano.

Características de la estructura:

Material de la estructura: Hormigón.

Riesgo de incendio y daños físicos: Alto.

Tipos de las pérdidas que pueden sufrirse en la estructura:

Pérdidas de vidas humanas:

- Por incendios: Medio. Ocupadas ocasionalmente.

- Por sobretensiones: No aplica.

- Por pánico: Sin riesgo.

- Por consecuencias fuera de la estructura: Sin consecuencias

Pérdidas de servicios esenciales: Alto. Pérdida de servicios.

Pérdidas de patrimonio cultural: No aplica.

Pérdidas económicas:

Riesgo tolerable de pérdidas económicas seleccionado:  $Rt4 = 10^{-3}$

- Por incendios: Valor muy alto.

- Por sobretensiones: Valor muy alto.

- Riesgos económicos especiales: Sin consecuencias.

- Por tensión de paso/contacto: Sin riesgo de shock.

Líneas de conducción eléctrica:

Situación del cable eléctrico de alimentación: Enterrado.

Tipo de cable externo: No apantallado.

Existencia de transformador MT/BT: Sin transformador.

Otros servicios aéreos:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

Otros servicios enterrados:

Número: 1

Tipo de cable: No apantallado.

### Riesgo calculado sin protección:

$$R1 = RA + RB + RC1 + RM1 + RU + RV + RW1 + RZ1 = 3,82 \cdot 10^{-8} + 7,63 \cdot 10^{-5} + 0,00 + 0,00 + 7,25 \cdot 10^{-8} + 1,45 \cdot 10^{-4} + 0,00 + 0,00 = 2,21 \cdot 10^{-4}$$

Por tanto,  $R1 > Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 3,82 \cdot 10^{-4} + 3,82 \cdot 10^{-4} + 7,48 \cdot 10^{-3} + 7,25 \cdot 10^{-4} + 7,25 \cdot 10^{-4} + 3,34 \cdot 10^{-3} = 1,30 \cdot 10^{-2}$$

## TFG Laura Domingo Merino

Por tanto,  $R2 > Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = (RA2) + RB + RC + RM + RU2) + RV + RW + RZ = 0,00 + 1,91 \cdot 10^{-3} + 3,82 \cdot 10^{-4} + 7,48 \cdot 10^{-3} + 0,00 + 3,63 \cdot 10^{-3} + 7,25 \cdot 10^{-4} + 3,34 \cdot 10^{-3} = 1,75 \cdot 10^{-2}$$

Por tanto,  $R4 > Rt4$

Para conseguir un riesgo menor al tolerable establecido en los cuatro tipos se deben tomar las siguientes medidas de protección:

- Sistema externo: Un sistema de protección contra el rayo de Nivel II.
- Sistema interno: Un sistema de coordinado de protección contra sobretensiones.

### Riesgo calculado con la solución propuesta:

$$R1 = RA + RB + RC1) + RM1) + RU + RV + RW1) + RZ1) = 3,82 \cdot 10^{-8} + 3,82 \cdot 10^{-6} + 0,00 + 0,00 + 1,45 \cdot 10^{-9} + 2,90 \cdot 10^{-6} + 0,00 + 0,00 = 6,76 \cdot 10^{-6}$$

Por tanto,  $R1 < Rt1$

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ = 1,91 \cdot 10^{-5} + 7,63 \cdot 10^{-6} + 1,50 \cdot 10^{-4} + 1,45 \cdot 10^{-5} + 1,45 \cdot 10^{-5} + 6,67 \cdot 10^{-5} = 2,72 \cdot 10^{-4}$$

Por tanto,  $R2 < Rt2$

$$R3 = RB + RV = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Por tanto,  $R3 < Rt3$

$$R4 = (RA2) + RB + RC + RM + RU2) + RV + RW + RZ = 0,00 + 9,54 \cdot 10^{-5} + 7,63 \cdot 10^{-6} + 1,50 \cdot 10^{-4} + 0,00 + 7,25 \cdot 10^{-5} + 1,45 \cdot 10^{-5} + 6,67 \cdot 10^{-5} = 4,06 \cdot 10^{-4}$$

Por tanto,  $R4 < Rt4$

Con la protección propuesta el riesgo es menor que el definido como tolerable para todos los tipos de riesgo.





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

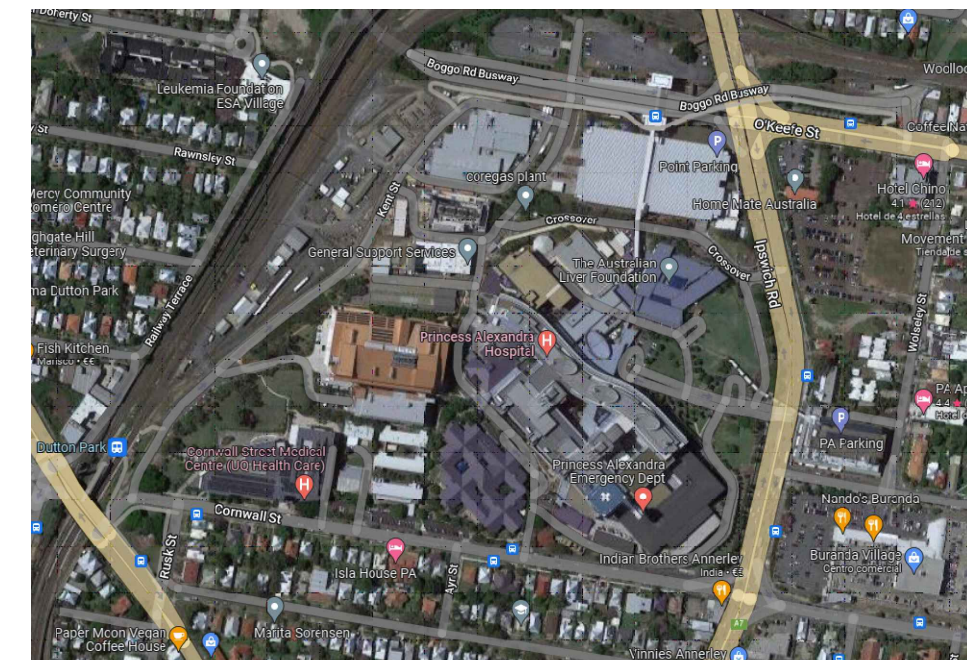
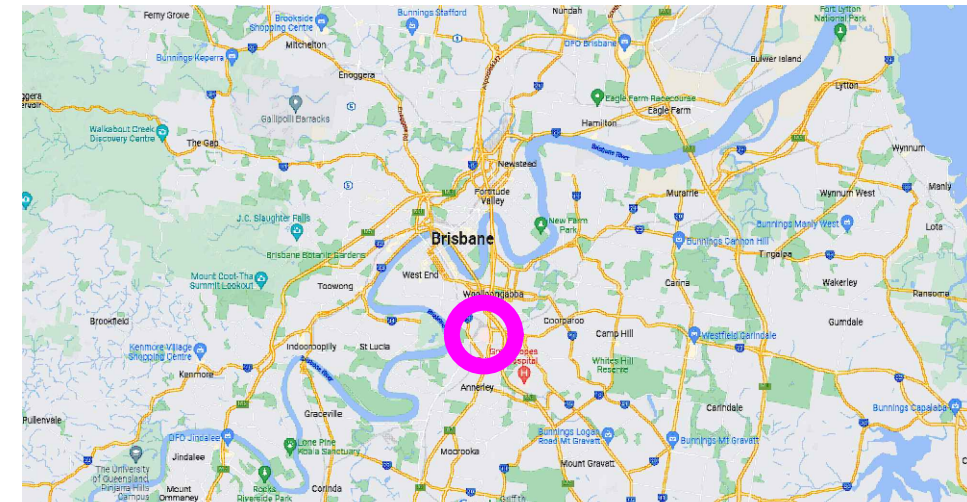
## CAPÍTULO 7. PLANOS

ANÁLISIS, ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN INTERNA Y EXTERNA FRENTE DESCARGAS ELÉCTRICAS EN GRANDES INFRAESTRUCTURAS. APLICACIÓN AL HOSPITAL PRINCESS ALEXANDRA, AUSTRALIA.

7. PLANOS

**ÍNDICE PLANOS**

1. PLANO DE SITUACIÓN
2. COBERTURA INFRAESTRUCTURA Y SISTEMA DE CAPTACIÓN
3. COBERTURA INFRAESTRUCTURA Y SISTEMA DE BAJADA
4. COBERTURA INFRAESTRUCTURA Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA
5. ESQUEMA UNIFILAR GENERAL
6. ESQUEMA UNIFILAR "CLIMA"
7. ESQUEMA UNIFILAR "EDIFICIO A"



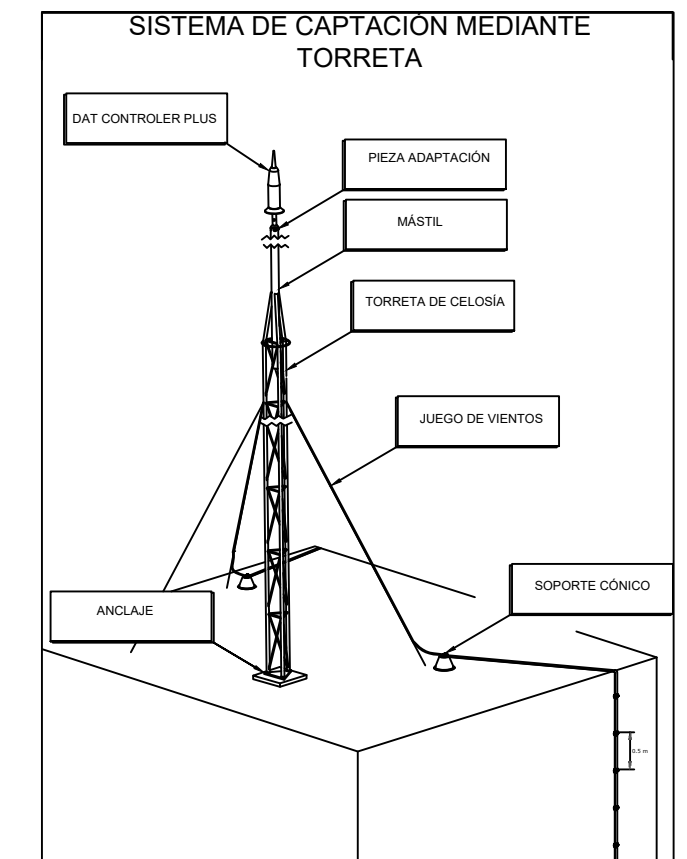
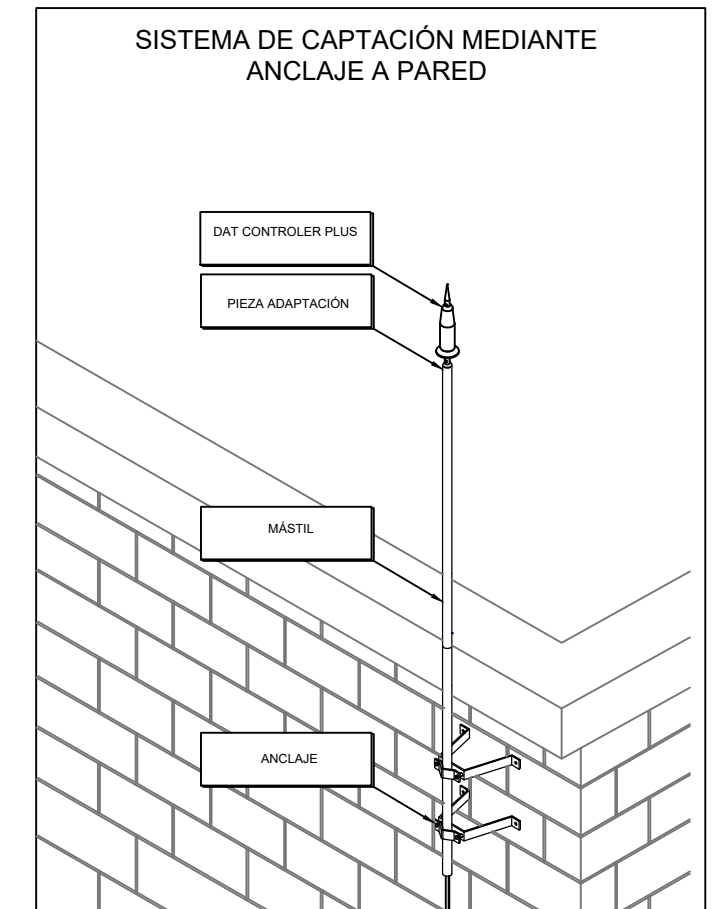


## SISTEMA DE CAPTACIÓN

Pararrayos con dispositivo de cebado electropulsante DAT CONTROLER PLUS, caracterizados por disponer de:

1. Certificación de Producto AENOR de conformidad con la Norma UNE 21186
2. Certificado de funcionamiento inalterable en condiciones de lluvia de acuerdo con la norma UNE 21308. Aislamiento superior al 95%.
3. Certificado de radio de protección y cumplimiento de la norma UNE 21186 y NFC 17-102.

Los pararrayos deben estar siempre al menos 2 metros por encima de cualquier otro objeto a proteger.





**SISTEMA DE BAJADA:**

Las bajantes se realizarán con cable y por la trayectoria más rectilínea posible.

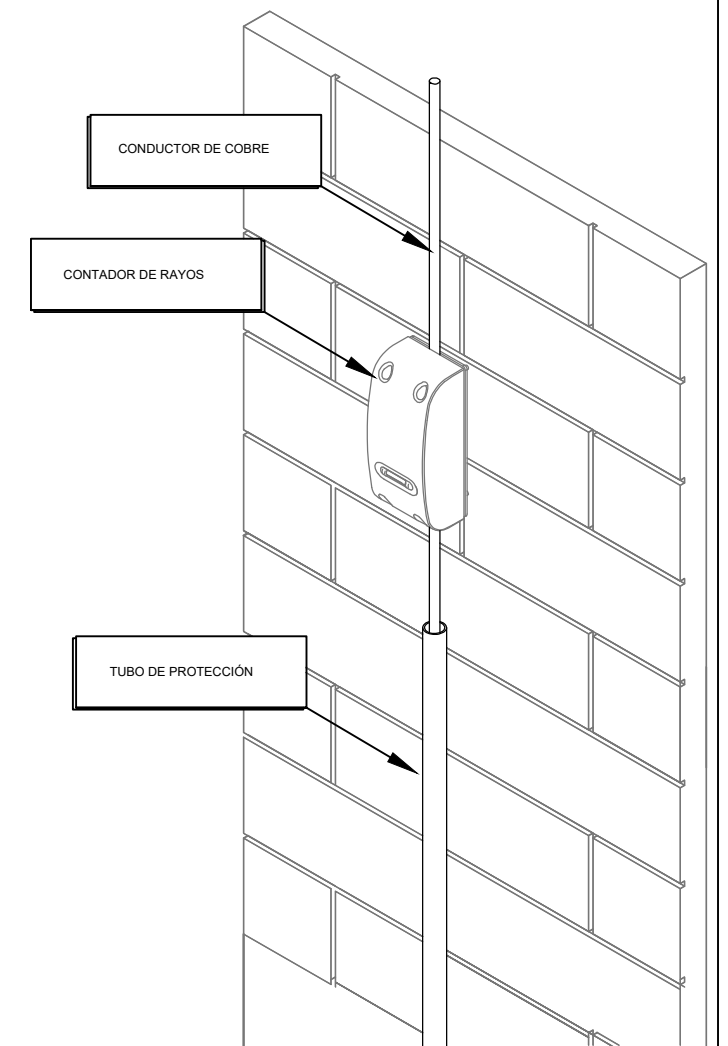
El cable se fijará al paramento mediante grapas apropiadas y distanciadas entre ellas 0,5m.

Las bajantes se protegerán contra choques mecánicos mediante un tubo de protección de una altura de 2 m a partir del suelo.

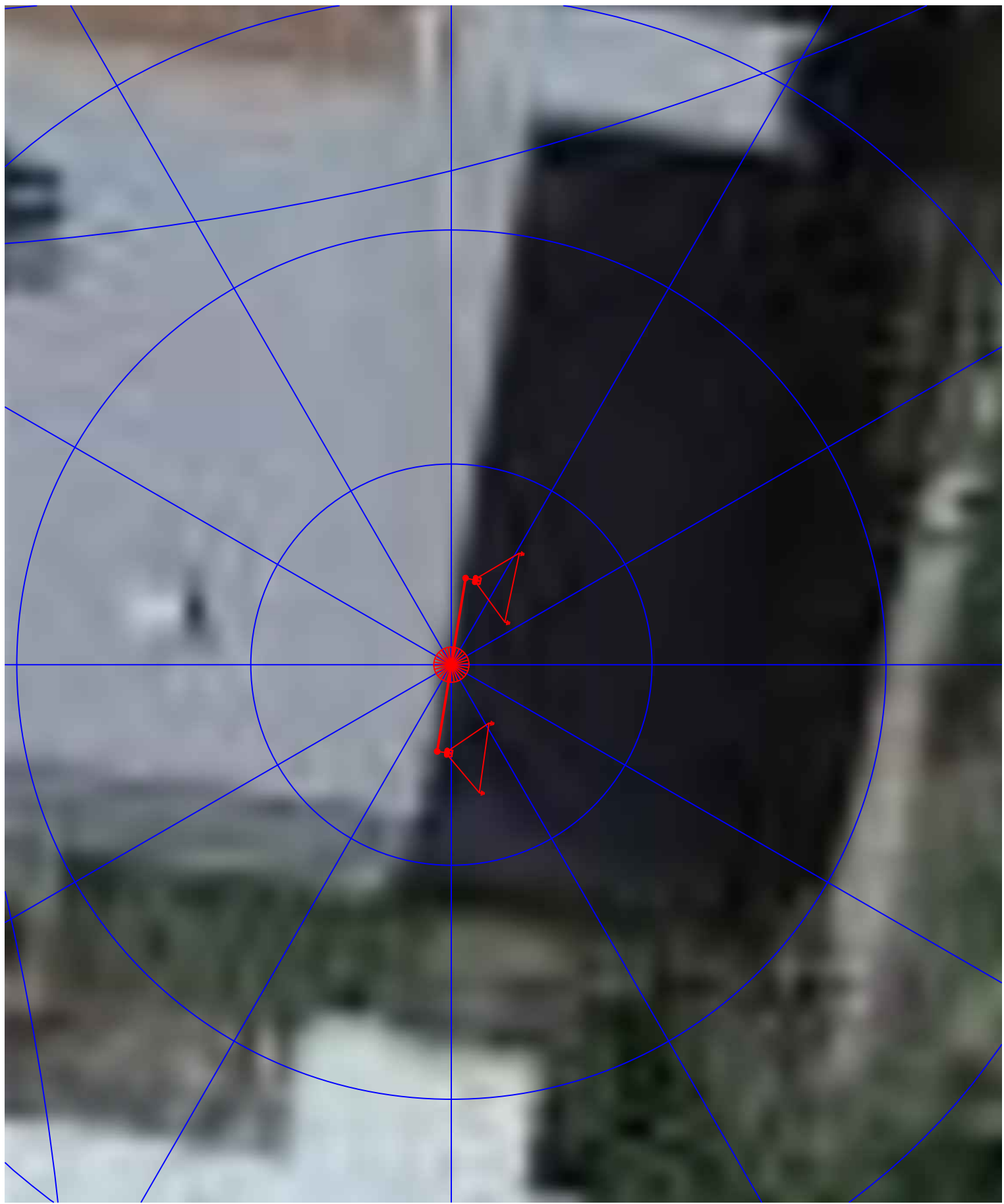
Se colocará un contador de impactos por cada pararrayos.



SISTEMA DE BAJADA MEDIANTE CABLE  
CONDUCTOR DE COBRE







**SISTEMA DE PUESTA A TIERRA:**

La toma de tierra del pararrayos aislada de cualquier otro elemento metálico deberá tener una resistencia máxima de 10 ohmios.  
 Cada toma de tierra tendrá una arqueta de registro y puente de comprobación para poder realizar posteriores mediciones.  
 Se representa el esquema del sistema de puesta a tierra del pararrayos nº11.

