PROYECTO	
SSFV Edificio Municipal Cáqueza	
Cliente	Consultant
ENERGECOL SAS	Mauricio Trujillo
TITULO	
EVALUACIÓN DEL RIESGO SEGÚN IEC 62305-2 / NF C 17-102 Y UNE 21186 MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN CONTRA EL RAYO	

Ciudad: Cáqueza	País: Colombia	Fecha: 13-Feb-2025
Realizado por:	Cod. Obra: ------	Versión: 0.1

Este documento es propiedad de Dena Desarrollos SL. Está estrictamente prohibido modificar este documento, en su totalidad o en parte.

0. Índice

0. Índice 2

1. Memoria descriptiva 3

1.1. Responsabilidad 3

1.2. Datos del emplazamiento 3

1.4. Normativa de referencia 3

1.4. Introducción 5

1.4.1. Protección externa contra el rayo 6

1.4.2. Protección interna 6

1.4.3. Protección preventiva 6

2. Evaluación del índice de riesgo y cálculo del nivel de eficiencia 8

2.1. Parámetros de cálculo 8

2.2. Áreas de captura y frecuencia de eventos peligrosos al año 10

2.3. Cálculo de riesgo 11

2.3.1. Tabla resumen de riesgos 12

2.4. Medidas de protección implementadas 13

2.5. Determinación de las medidas de protección 14

2.5.1. Protección Externa contra el Rayo 14

2.5.2. Protección Interna contra Sobretensiones 14

2.5.3. Protección contra Incendios. 14

2.5.4. Medidas complementarias. 14

3. Diseño de la instalación 15

3.1. Sistema de protección externa contra el rayo 15

3.1.1. Sistema de captación 15

3.1.2. Red conductora 16

3.1.3. Sistema de control de rayos 17

3.1.4. Sistema de puesta a tierra 17

3.1.4.1. Sistema de equipotencialización basado en mallado de tierras 19

3.2. Sistema de protección interna contra el rayo 19

3.2.1. Origen de las sobretensiones 20

3.2.2.1 Sobretensiones originadas por acoplamiento electromagnético 21

3.3. Sistema de protección preventiva 20

3.3.1. Sistemas de aviso de tormentas para plantas solares 20

4. Descripción de materiales 21

1. Memoria descriptiva

1.1. INGESCO Calculus

El software INGESCO Calculus es una herramienta que tiene por finalidad calcular el índice de riesgo de daños producidos por el rayo y sus efectos, para determinar el nivel de protección necesario y las medidas de protección a implementar para disminuir el riesgo a niveles de acuerdo con la normativa.

El contenido del informe del proyecto ha sido generado a partir de la información aportada por el usuario o proveedor de los datos.

INGESCO Lightning Solutions les ofrece su asesoramiento técnico para completar el informe resultante.

1.2. Datos del emplazamiento

El SSFV Edificio Municipal Cáqueza se encuentra ubicado en Cáqueza (Colombia) con coordenadas: Latitud: 4.4056369 Longitud: -73.946686,

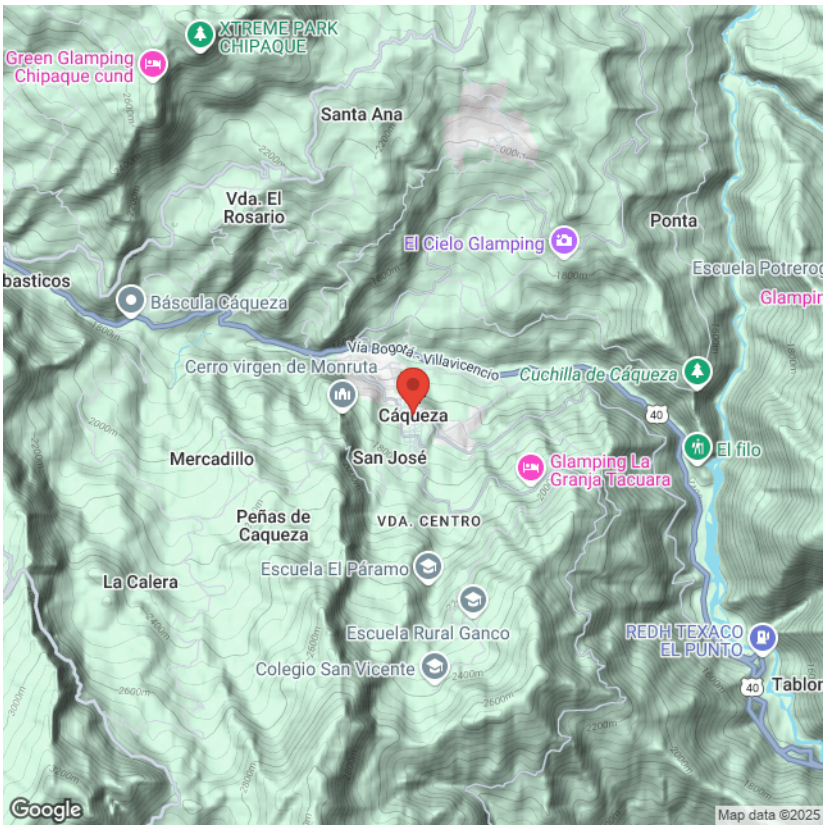


Imagen 1: Ubicación del edificio o estructura

1.3. Normativa de referencia

Normas internacionales:

- **IEC 62305-1:2010**: Protection against lightning – Part 1: General principles.
- **IEC 62305-2:2010**: Protection against lightning – Part 2: Risk management.
- **IEC 62305-3:2010**: Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard.
- **IEC 62305-4:2010**: Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures.
- **IEC 62561-1:2017**: Requirements for connection components.
- **IEC 62561-2:2018**: Requirements for conductors and earth electrodes.
- **IEC 62561-3:2017**: Requirements for spark gaps.
- **IEC 62561-4:2017**: Requirements for conductor fasteners.
- **IEC 62561-5:2017**: Requirements for earth electrode inspection housings and earth electrode seals.
- **IEC 62561-6:2018**: Requirements for lightning strike counters.
- **IEC 62561-7:2018**: Requirements for earthing enhancing compounds.
- **IEC TS 62561-8:2018**: Requirements for components for isolated LPS.
- **IEC 62793:2020**: Protection against lightning -Thunderstorm warning systems.
- **IEC 61643-11:2011**: Low-voltage surge protective devices - Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Requirements and test methods
- **IEC 61643-22:2015**: Low-voltage surge protective devices - Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Selection and application principles.
- **IEC 61643-31:2017**: Low-voltage surge protective devices - Part 31: Surge protective devices connected to the D.C. side of photovoltaic installations - Requirements and test methods.
- **IEC 61643-32:2017**: Low-voltage surge protective devices - Part 32: Surge protective devices connected to the D.C. side of photovoltaic installations - Selection and application principles.
- **IEC TR 63227:2020:** Lightning and surge voltage protection for photovoltaic (PV) power supply systems.

Otras normas de aplicación:

- **NFPA 780:2020**: Standard for the installation of Lightning Protection Systems.
- **NF C 17-102:2011**: Protection des structures et de zones ouvertes contre la foudre, paratonnerres à dispositif d´amorçage.
- **NP 4426 :2013:** Proteçao contra descargas atmosféricas – sistemas com dispositivo de ionização não radioactivo.

Normas Españolas:

- **UNE 21.186:2011**: Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado.
- **CTE DB SUA-08:2010**: Código Técnico de la Edificación (Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo) con comentarios del 2018.
- **UNE-EN IEC 62793:2020:** Protección contra el rayo. Sistemas de avisos de tormentas.
- **BOE:** Prevención de Riesgos Laborales - **Real Decreto 1215/1997:** por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- **BOE:** Prevención de Riesgos Laborales **Real Decreto 614/2001** de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico
- **REBT-2002:** Reglamento electrotécnico de baja tensión
- **UNE-EN 62305-1:2011**: Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales
- **UNE-EN 62305-2:2012:** Evaluación del riesgo
- **UNE-EN 62305-3:2011:** Daño físico a estructuras y riesgo humano.
- **UNE-EN 62305-4:2011:** Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras
- **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
- **UNE-EN IEC 62561-2:2018:** Requisitos para los conductores y electrodos de puesta a tierra.
- **UNE-EN 62561-3:2017:** Requisitos para vías de chispas de aislamiento
- **UNE-EN 62561-4:2018:** Requisitos para las fijaciones del conductor
- **UNE-EN 62561-5:2018:** Requisitos para las arquetas de inspección de los electrodos de tierra y para el sellado de los electrodos de tierra
- **UNE-EN IEC 62561-6:2018:** Requisitos para los contadores de impactos de rayos (CIR)
- **UNE-EN IEC 62561-7:2018:** Requisitos para los compuestos que mejoran las puestas a tierra.

1.4.Introducción

La actividad eléctrica atmosférica y en particular los rayos nube-tierra, representan una seria amenaza para las personas, estructuras y equipos. La norma IEC 62305-2 establece el cálculo de riesgo en función de si el rayo impacta de forma directa o indirecta sobre la estructura, distinguiendo 4 posibles fuentes de daños (ver imagen 2):

- S1: descargas en la estructura
- S2: descargas cerca de la estructura
- S3: descargas en una línea conectada a la estructura
- S4: descargas cerca de una línea conectada a la estructura

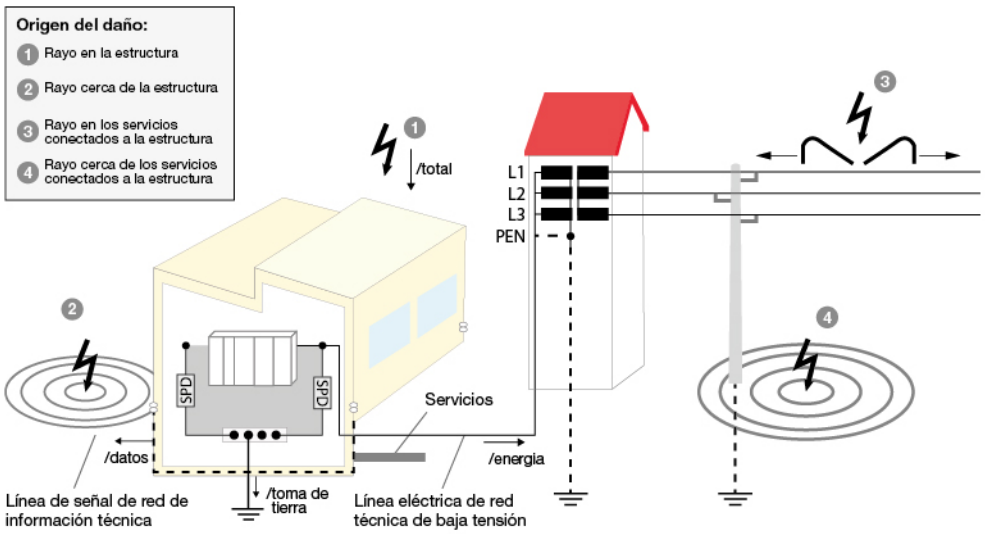


Imagen 2: Fuentes de daños

Dichas fuentes (S1, S2, S3 y S4) pueden producir 3 tipos de daños:

- D1: daños en los seres vivos
- D2: daños físicos
- D3: fallos en los sistemas eléctricos y electrónicos

En función de los tipos de daños se evalúan los siguientes tipos de pérdidas:

- L1: pérdidas de vidas humanas
- L2: pérdidas de servicio público
- L3: pérdidas de servicio cultural
- L4: pérdidas de valor económico

Las pérdidas anuales medias probables en una estructura o servicio, varían en función de:

- El número anual de descargas atmosféricas que afectan a la estructura o al servicio
- La probabilidad de daños debidos a una descarga atmosférica.
- El coste medio de las pérdidas correspondientes.

Siendo el riesgo R el valor de las pérdidas anuales medias probables.

- R_1: Riesgo de pérdida de vidas humanas
- R_2: Riesgo de pérdida de servicio público
- R_3: Riesgo de pérdida de patrimonio cultural
- R_4: Riesgo de pérdida de valor económico

Al evaluar el índice de riesgo, y con la finalidad de reducir el riesgo de daños por descarga de rayo, se pueden implementar 3 tipos de medidas de protección:

- Protección externa
- Protección interna
- Protección preventiva

1.4.1.Protección externa contra el rayo

La protección externa tiene por finalidad captar y canalizar los impactos directos de rayos, derivando la descarga de forma segura al sistema de puesta a tierra, protegiendo así edificios, estructuras o personas. Dicha protección puede estar formada por diferentes sistemas de captación.

La protección mediante PDC's (pararrayos con dispositivo de cebado), emiten un flujo de iones dirigidos hacia la nube, generando un líder ascendente cuya finalidad es captar la corriente proveniente de la descarga del rayo. Su avance en el cebado permite proteger, además de las estructuras, amplias zonas abiertas a diferencia de las puntas captadoras convencionales.

1.4.2.Protección interna

Los DPS tienen como objeto salvaguardar a los equipos eléctricos y/o electrónicos conectados a la red eléctrica o de telecomunicaciones, así como a las personas que se encuentran en el edificio, de las sobretensiones transitorias que puedan aparecer en caso de impactos de rayos.

Las sobretensiones transitorias son picos de tensión de muy corta duración y de gran amplitud que pueden producir daños graves a los equipos sensibles, cortes en las líneas y envejecimiento prematuro de los componentes.

La magnitud de la sobretensión transitoria que puede aparecer dependerá de numerosos factores, entre ellos:

- las características de la línea (apantallada o no, enterrada o aérea)
- la proximidad del impacto del rayo
- la existencia de transformador
- el valor de la corriente del impacto del rayo, etc.

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

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

1.4.3 Protección preventiva

Esta protección preventiva es una medida complementaria que permite reducir el riego de daños físicos. Dicha protección preventiva se consigue gracias a los sistemas de detección de tormentas eléctricas. Estos sistemas permiten realizar acciones preventivas, incluso con antelación a la caída de rayos, y avisan o actúan sobre dispositivos o personas, siguiendo el plan de emergencia establecido en caso de tormenta eléctrica.

La combinación de un diseño de protecciones externa e interna junto con un sistema preventivo de tormentas, permiten disponer de un sistema de protección global y completo.

Según la normativa internacional IEC 62793:2020, los detectores de tormentas se pueden clasificar según la tecnología íntegra de cada detector y el tipo de valor de medición que realizan. Se clasifican en:

- **Detector local (Sensor de campo eléctrico)**: Detecta la tormenta en todo su ciclo de vida, desde la fase 1 a la 4. En la normativa de 2016 era conocido como detector de clase A.
- **Sistema de localización de rayos (Detector de pulsos electromagnéticos):** Detecta Rayos Nube-Tierra y Nube-

Nube, desde la fase 2 a la fase 4. En la normativa de 2016 era conocido como detector de clase B.

Las 4 fases de una tormenta son:

- **Fase 1 (fase inicial):** Fase de electrificación de la nube. Se produce campo eléctrico medible a nivel del terreno.
- **Fase 2 (fase de crecimiento)**: se produce la primera actividad de rayos en el interior de la nube IC o entre nube y tierra CG.
- **Fase 3 (fase de maduración):** presencia tanto de rayos nube tierra CG como de rayos dentro de la nube IC
- **Fase 4 (fase de disipación):** se caracteriza por la disminución de las descargas IC y CG, así como la reducción del valor de campo electrostático a un valor correspondiente a buen tiempo.

Los sistemas preventivos actúan directamente sobre el cálculo del nivel de protección, reduciendo el riesgo y minimizando la probabilidad (P_{TA}) de que una descarga produzca daños sobre los seres vivos (Tabla B.1 del Anexo B de la norma IEC 62305-2).

2. Evaluación del índice de riesgo y cálculo del nivel de eficiencia

2.1.Parámetros de cálculo

Dimensiones de la estructura
Longitud de la estructura L (m): **25.00**
Anchura de la estructura W (m): **8.00**
Altura del plano del tejado h (m): **15.00**
Altura del mayor saliente del tejado h' (m):

Características de la estructura
Riesgo de incendio y daños físicos r_f: **Bajo**
Tipo de edificio: **Hormigón armado**
Ubicación de la persona: **Interior**
Riesgos medioambientales: **No**

Influencias ambientales
Situación estructura C_d: **Rodeado de objetos de altura similar o menor**
Ciudad: **Cáqueza**
Nº de días de tormenta t_d: **10.00 (días tormenta/año)**
Factor ambiental C_E: **Urbano**
Tipo de suelo o superficie:

Líneas de conducción eléctrica
Factor de instalación de la línea C_l: **Enterrado**
Existencia de transformador MT/BT C_t: **Líneas BT y telecomunicaciones o líneas de datos**
Tipo de cableado interno K_{S3}: **Cable no apantallado - sin precauciones de cableado para evitar bucles**

Tipos de las pérdidas

Tipo 1 - Pérdidas de vidas humanas
Riesgos especiales para la vida h_{z1}: **Nivel bajo de pánico**
Por incendios L_{f1}: **Propiedades públicas, iglesia, museo**
Por sobretensiones L_{o1}: **Otros**

Tipo 2 - Pérdidas de servicios esenciales
Por incendios L_{f2}: **Suministro de gas, agua y electricidad**
Por sobretensiones L_{o2}: **Gas, agua, suministro eléctrico**

Tipo 3 - Pérdidas de patrimonio cultural
Por incendios L_{f3}: **Museo, galerías**

Tipo 4 - Pérdidas económicas
Por incendios L_{f4}: **Hotel, escuela, oficina, iglesia**
Por sobretensiones L_{o4}: **Hospital, industrial, oficina, hotel, comercios**
Por tensión de paso/contacto L_{t4}: **Ninguno**

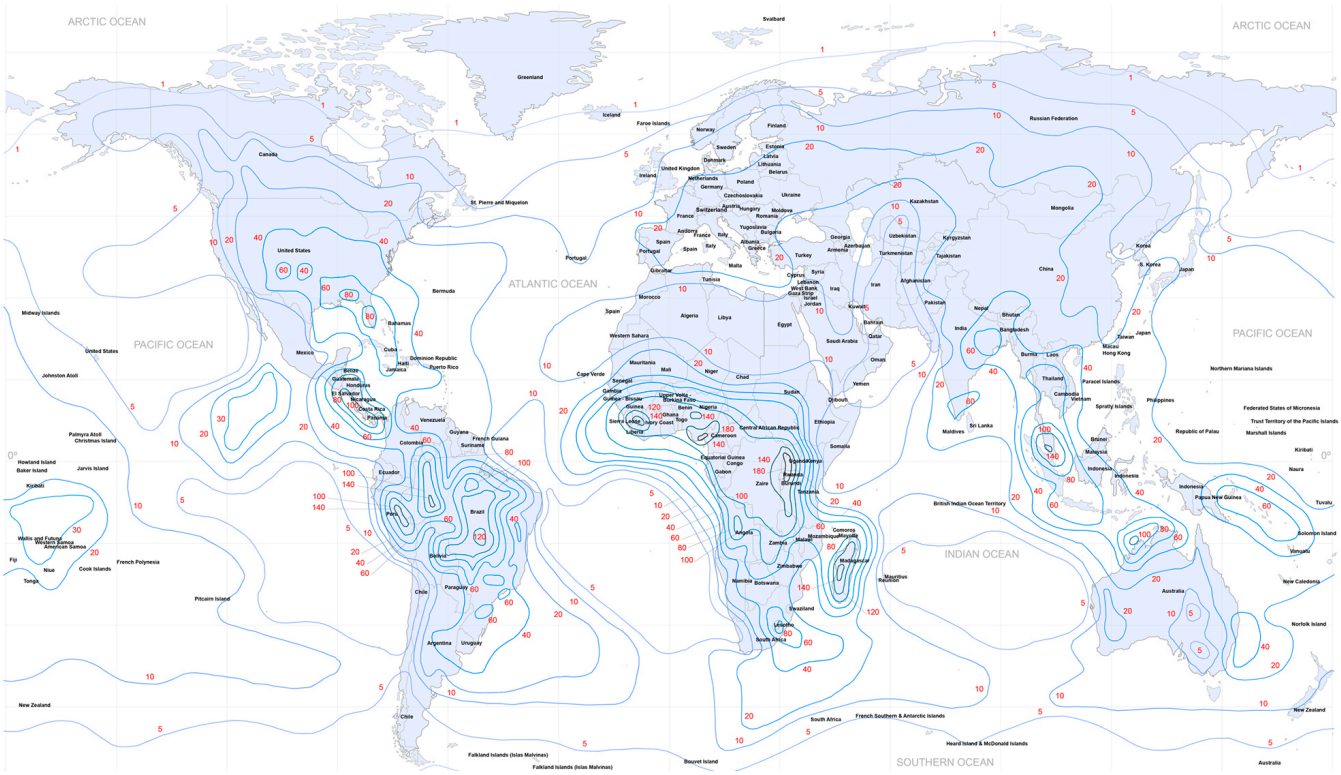


Imagen 3: Mapa Isoceraunico (Nº de días de tormenta/año)

2.2.Áreas de captura y frecuencia de eventos peligrosos al año

- Área de captura equivalente de la estructura (A_D): 9531.72512351933 m^2
- Área de captura cercana a la estructura (A_M): 818398.1633974483 m^2
- Área de captura de la línea (A_L): 40000 m^2
- Área de captura cercana a la línea (A_l): 4000000 m^2

- Número de eventos peligrosos en la estructura (N_D): 0.004765862561759665 eventos/año
- Número de eventos peligrosos cercanos a la estructura (N_M): 0.8183981633974482 eventos/año
- Número de eventos peligrosos en la línea (N_L): 0.002 eventos/año
- Número de eventos peligrosos cercanos a la línea (N_l): 0.19999999999999998 eventos/año

2.3.Cálculo de riesgo:

Tipo 1 - Pérdidas de vidas humanas

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

R_{A1}	$N_D \times P_A \times L_A$	Riesgo de daños en seres vivos, dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.000000000095317261
R_{B1}	$N_D \times P_B \times L_{B1}$	Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.000000004765862562
R_{C1}	$N_D \times P_C \times L_{C1}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0
R_{M1}	$N_M \times P_M \times L_{M1}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo sobre la estructura:	0
R_{U1}	$N_L \times P_U \times L_{U1}$	Riesgo de daños en seres vivos dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.000000002
R_{V1}	$N_L \times P_V \times L_{V1}$	Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.0000001
R_{W1}	$N_L \times P_W \times L_{W1}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0
R_{Z1}	$N_L \times P_Z \times L_{Z1}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo en las líneas de servicio:	0

Tipo 2 - Pérdidas de servicios esenciales

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

R_{B2}	$N_D \times P_B \times L_{B2}$	Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.000000004765862562
R_{C2}	$N_D \times P_c \times L_{B2}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.000047658625617597
R_{M2}	$N_M \times P_M \times L_{M2}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo sobre la estructura:	0.000511498852123405
R_{V2}	$N_L \times P_V \times L_{V2}$	Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.0000001
R_{W2}	$N_L \times P_W \times L_{W2}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.00002
R_{Z2}	$N_I \times P_W \times L_{Z2}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo en las líneas de servicio:	0.00016

Tipo 3 - Pérdidas de patrimonio cultural

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

R_{B3}	$N_D \times P_B \times L_{B3}$	Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.000000004765862562

$\mathbf{R_{V3}}$	N_D x P_V x L_{V3}	Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.0000001

Tipo 4 - Pérdidas económicas

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

$\mathbf{R_{A4}}$	N_D x P_A x L_{A4}	Riesgo de daños en seres vivos, dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo sobre la estructura:	0
$\mathbf{R_{B4}}$	N_D x P_B x L_{B4}	Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.000000009531725124
$\mathbf{R_{C4}}$	N_D x Pc x L_{B4}	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.000047658625617597
$\mathbf{R_{M4}}$	N_M x P_M x L_{M4}	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo sobre la estructura:	0.000511498852123405
$\mathbf{R_{U4}}$	N_L x P_U x L_{U4}	Riesgo de daños en seres vivos dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0
$\mathbf{R_{V4}}$	N_L x P_V x L_{V4}	Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.0000002
$\mathbf{R_{W4}}$	N_L x P_W x L_{W4}	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.00002
$\mathbf{R_{Z4}}$	N_L x P_Z x L_{Z4}	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo en las líneas de servicio:	0.00016

2.3.1. Tabla resumen de riesgos

	Riesgo tolerable R_t	Riesgo $R_{TOTAL} = R_D + R_I$
Tipo 1 - Pérdidas de vidas humanas	1.0e-05	1.068612e-7
Tipo 2 - Pérdidas de servicios esenciales	0.001	7.392622e-4
Tipo 3 - Pérdidas de patrimonio cultural	0.0001	1.047659e-7
Tipo 4 - Pérdidas económicas	0.001	7.393670e-4

El riesgo máximo tolerable se encuentra descrito en la tabla 4 de la norma IEC 62305 – 2, en el capítulo 5.3. Cualquier valor de riesgo total calculado debe ser inferior a los valores establecidos por la norma, de lo contrario, se deberán aplicar medidas mayores o incluso complementarias, que reduzcan este valor a un nivel inferior al tolerable.

2.4. Medidas de protección implementadas

Medidas de protección

Clase de SPCR P_B: Nivel de protección I

Probabilidad de que una descarga en la estructura produzca daños físicos	**P_B**
Estructura no protegida por un SPCR	1
Nivel IV de protección	0,2
Nivel III de protección	0,1
Nivel II de protección	0,05
Nivel I de protección	0,02

Protección contra incendios r_p: Sistemas manuales (Extintores, hidrantes, compartimientos corta-fuegos, etc)

Protección contra sobretensiones PSPD: LPL No provisions

Medidas de protección complementarias P_A: Equipotencialización efectiva del suelo con sistema de malla de puesta a tierra

Una vez se ha calculado el nivel de protección acorde a la normativa IEC 62305-2, UNE 21186 y NFC 17102, se concluye que es preciso dotar al SSFV Edificio Municipal Cáqueza con las medidas de protección siguientes:

Edificio:	**Sistema de Protección Externo contra el Rayo**	**Sistema de Protección Interno contra las sobretensiones**	**Sistema de Protección contra incendios**	**Medidas de protección adicionales**
1	Nivel I	LPL No provisions	Sistemas manuales (Extintores, hidrantes, compartimientos corta-fuegos, etc)	Equipotencialización efectiva del suelo con sistema de malla de puesta a tierra

2.5.Determinación de las medidas de protección

2.5.1. Protección Externa contra el Rayo

Importante: Debido a las grandes dimensiones de las plantas solares, es posible que en muchos casos si se realiza el cálculo se requiera de un nivel de protección I, I+, I++ o incluso que ningún nivel de protección sea suficiente. El cálculo de la normativa IEC 62305-2, UNE 21186 y NFC 17102 es viable para edificaciones o pequeñas plantas de paneles fotovoltaicos, pero cuando se trata de plantas de grandes dimensiones puede el cálculo puede resultar ineficiente.

No obstante, las normativas IEC 61643-32:2017 e IEC TR 63227:2020 citan textualmente:

"Para instalaciones fotovoltaicas montadas en suelo, el ***nivel de protección contra el rayo III*** *es considerado suficiente"*

En consecuencia, el nivel de protección III será el mínimo en el caso de las plantas fotovoltaicas. De todas formas, INGESCO recomienda hacer el cálculo para la integración de todas las medidas de protección.

Para reducir la probabilidad de que una descarga directa de rayo produzca daños físicos sobre la estructura o las personas, es preciso la implantación de un **Sistema de Protección contra el rayo de de nivel I**.

2.5.2. Protección Interna contra Sobretensiones

Para el estudio que nos ocupa **no se ha previsto realizar la instalaciónde sistemas de protección interna contra sobretensiones** . Aun así, dependiendo del tipo de equipos, puede ser recomendable su instalación.

2.5.3. Protección contra Incendios.

Para reducir las pérdidas por daños físicos en función de las medidas tomadas para reducir los efectos del fuego (R_P), es prioritario **instalar medidas de prevención manuales**, tales como: extintores, tomas de agua, instalaciones fijas de extinción manuales, etc...

2.5.4. Medidas complementarias.

Para reducir la probabilidad P_{TA} de que una descarga sobre la estructura produzca daños, se instalará como medida de protección complementaria, una **equipotencialización mediante mallado de los sistemas de puesta a tierra**.

3.Diseño de la instalación

3.1. Sistema de protección externa contra el rayo

La instalación de un sistema de protección contra el rayo (SPCR), constará de tres partes diferenciadas:

- **Sistema de captación:** estará formado por uno o varios terminales aéreos del tipo PDC (acorde a las normas NF C 17-102:2011 / UNE 21186:2011) que será el responsable de captar la descarga del rayo.
  Estos elementos son utilizados como sistemas de captación, cuya función es recibir y soportar el impacto del rayo.
- **Conductores de bajada:** tienen como objetivo interconectar el sistema de captación con el sistema de puestas a tierra, para que en caso de una descarga, la corriente del rayo pueda circular de forma segura y fiable, sin producir chispas ni incendios.
  Es recomendable que se conecten a la red conductora, las antenas y masas metálicas existentes en la cubierta del edificio, con la finalidad de obtener una correcta equipotencialización del sistema, tal y como recomiendan las normativas vigentes.
- **Puesta a tierra:** en esta parte del SPCR, se disipará y neutralizará la descarga de la corriente del rayo sin producir elevaciones de voltaje en el terreno que sean peligrosas. Es de suma importancia el diseño de las puestas a tierra, dado el carácter de alta frecuencia de la corriente de los rayos, la cual puede producir que estas presenten valores de alta impedancia.

3.1.1.Sistema de captación

Estará formado por terminales aéreos con dispositivos de cebado (INGESCO PDC), que se ubicarán en el exterior del edificio, y en las partes que predominan con mayor altura, superando por 2 metros cualquier estructura o elemento al que den protección.En el caso de las plantas solares, se deberán superar por 2 metros los strings de paneles solares, inversores y centros de transformación.

El cabezal PDC irá roscado mediante una pieza de adaptación, que servirá para el conexionado del cable y su fijación al mástil. Dicha pieza será de latón y su fijación se realizará mediante tornillos.

El mástil será de acero galvanizado y deberá fijarse con soportes/anclajes horizontales en suelo.

La zona protegida por un PDC está delimitada por una superficie de revolución que está definida por los radios de protección correspondientes a las diferentes alturas h consideradas y cuyo eje es el mismo que el del PDC (ver imagen 4)

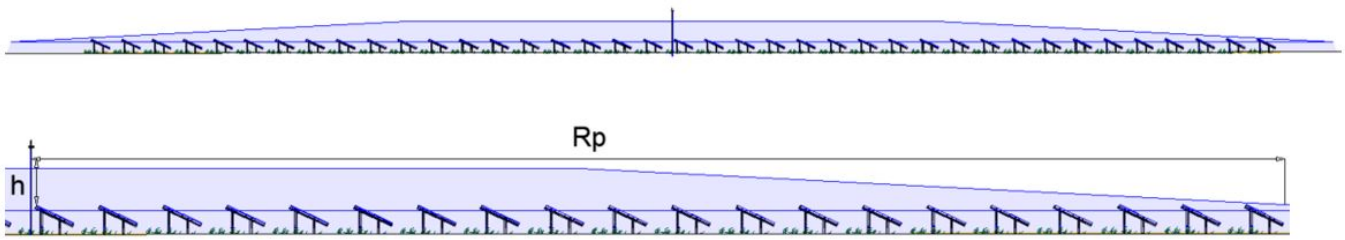


Imagen 4 radio de protección de un PDC para plantas solares

Donde:

- *Rp*: Radio de protección
- *h*: Altura sobre las estructuras

En una vista 3D, el volumen de protección de un PDC será el que se observa en la Imagen 5

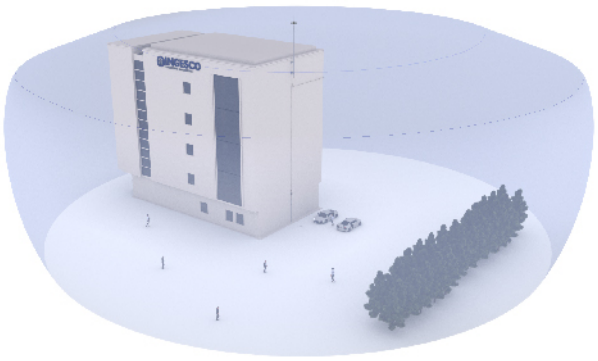


*Imagen 5 Cobertura de un pararrayos tipo PDC según **UNE 21186:2011***

Para calcular el volumen de protección de un pararrayos PDC, la normativa utiliza 2 fórmulas diferentes en función de la altura (h) en la que queramos calcular el radio de protección:

- 0 m ≤ h < 2 m — No hay cobertura.

a) 2 m ≤ h ≤ 5 m $Rp = \frac{h * Rp(5)}{5}$

b) h ≥ 5 $Rp = \sqrt{[(2*r*h)-(h^2)] + [\Delta*(2*r+\Delta)]}$

Donde:

- h: es la altura de la estructura hasta el cabezal.
- r: es el radio de la esfera ficticia, este valor esta predeterminado por la norma variando en función del nivel de protección) (Ver tabla 1).
- Δ: Es el avance de cebado que tiene el cabezal, la norma nos define 60 µs como valor máximo

Nivel de protection	Radio de la esfera rodante
I	20 m
II	30 m
III	45 m
IV	60 m

Tabla 1 Radio de la esfera ficticia en función del nivel de protección

3.1.2. Red conductora

Los materiales, configuraciones y secciones de los conductores de bajada de los pararrayos, deberán estar acordes a lo indicado en la tabla 1 de la Norma IEC 62561-2:2018, siendo recomendado el **cable de cobre** desnudo multifilar de **50 mm²** de sección, o bien la **pletina** de cobre de **30x2mm**.

El conductor de bajada circulará a través del mástil hasta llegar directamente a la arqueta de puesta a tierra, donde se conectará a una barra equipotencial, desde la cual se realizará la conexión con los electrodos de tierra la interconexión con la red de tierras.

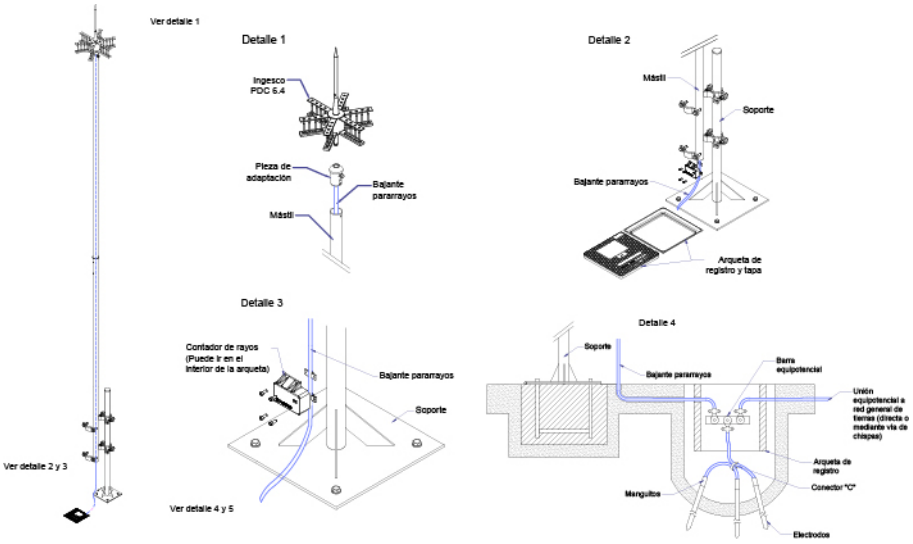


Imagen 6 Detalle de de los componentes y accesorios que conforma la instalación de pararrayos.

3.1.3. Sistema de control de rayos

Se recomienda también la instalación de sistemas de control de rayos compuestos por contadores del tipo INGESCO :

- CDR-11: indicado para instalaciones de conductores de bajada tipo redondo o cable.
- CDR UNIVERSAL: contador reseteable, sirve tanto para conductor redondo como conductor plano.
- CDR-HS: recomendable para mallas reticulares o estructuras metálicas.

Para poder establecer un control, así como realizar los mantenimientos preventivos oportunos después de cada descarga, tal y como indica la Normativa vigente es recomendable la instalación de dicho contador.

Se colocará un contador de rayos por instalación, independientemente del número de bajantes que disponga. Dicho contador se colocará en un lugar visible por encima del tubo de protección, o en su defecto dentro de una caja de registro o arqueta.

3.1.4. Sistema de puesta a tierra

Las puestas a tierra se establecen con el objeto principal de limitar la tensión que con respecto a tierra, pueden presentar en un momento dado las masas metálicas, y evitar diferencias de potencial peligrosas permitiendo el paso a tierra de las corrientes de falta o de descarga de origen atmosférico.

El sistema de puesta a tierra de una instalación de pararrayos es una de las partes más importantes de la instalación, por ser esta la encargada de disipar las corrientes del rayo y toda su energía.

Las recomendaciones marcadas por normativas como IEC 62305- 3, NF C 17-102:2011 o UNE 21186:2011, indican que las puestas a tierra han de tener un valor óhmico bajo (inferior a 10 Ω cuando se realiza la medición a baja frecuencia aislada de cualquier elemento conductor). Las dimensiones de la puesta a tierra dependerán de la resistividad ρ= (Ω*m) del terreno. Debe realizarse una puesta a tierra por cada conductor de bajada y existen 2 tipos:

Puesta a tierra tipo A:

- Tipo A1
- Tipo A2

TIPO A1: Está formada por una configuración de Pata de ganso (ver imagen 7)

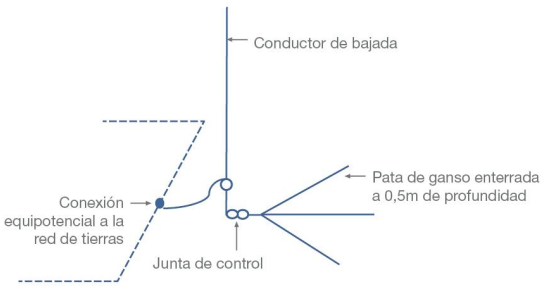


Imagen 7 Ejemplo de puesta a tierra del tipo A1: 3 conductores horizontales, a 50cm de profundidad y de una longitud de 7 a 8m.

TIPO A2: Está formada por la unión de muchas piquetas verticales en línea o triangulo y separadas una distancia al menos igual a su longitud (ver imagen 7);

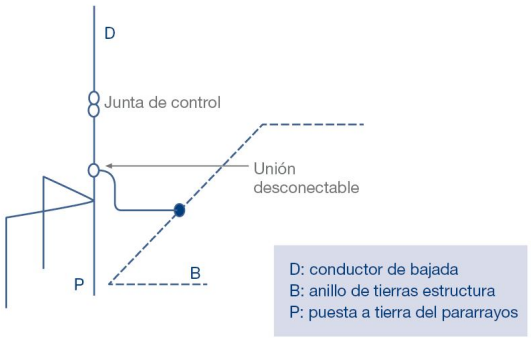


Imagen 8 Ejemplo de puesta a tierra del tipo A2.
Las piquetas estarán unidas por un conductor de las mismas características y sección que el conductor de bajada

Puesta a tierra tipo B:

Electrodo en anillo, esta disposición es un anillo conductor en contacto con el suelo en un 80% de su longitud, puede ser exterior a la estructura o electrodo de cimentación. Cada conductor de bajada, además de estar conectado al anillo, debe conectarse adicionalmente a un electrodo horizontal de un mínimo de 4m o bien a un electrodo vertical de una longitud mínima de 2m.

Los sistemas recomendados para las puestas a tierra de pararrayos PDC serían los de tipo A1 o bien de tipo A2, dependiendo de las características del terreno.

3.1.4.1 Sistema de equipotencialización basado en mallado de tierras

Existen muchos documentos donde se habla de recomendaciones en cuanto equipotencialización y sistemas de puesta a tierra en lo que se llaman “Free-Field PV Power Plants”. Estos documentos son la IEC 61643-32, IEC 61643-31 entre otros, incluso la Technical Specification IEC 62738-2018 o la IEC TR 63227:2020. En los estándares comentados hay anexos donde se menciona la protección contra los efectos del rayo en este tipo de plantas solares.

Los cables de tierra enterrados a ambos lados de las matrices deben hacer contacto (individualmente o alternando) con filas para lograr por ejemplo una malla de 20 m por 20 m de conexiones de componentes a tierra. Una malla de 20 m x 20 m es solo una recomendación que se indica en la normativa. Un estudio de resistividad del suelo en toda el área de la planta proporcionará la información para determinar el ancho de la malla. No obstante, una malla de dichas dimensiones siempre es recomendable.

Los componentes metálicos de las estructuras como los marcos o rastreadores también deben tener continuidad para asegurar caminos desde dichas estructuras hasta la conexión a tierra más cercana. El metal envolvente de cajas de conexiones y el conector de tierra interno de protección contra sobretensiones también deben estar conectados a los racks o los cables subterráneos, que continúan en las zanjas para unir a los anillos de tierra y terminales del inversor.

Respecto al material y tipo, aislamiento, identificación, instalación y conexiones, conductores de unión de protección deberán cumplir con las disposiciones aplicables especificadas en IEC 60364-5-54.

Este tipo de configuración reduce el potencial de daño a los módulos y cajas de combinación debido a impactos que sucedan cerca de la planta solar, que tienen mayor probabilidad que las descargas directas. Este método no podrá proteger áreas localizadas en caso de un impacto directo, para eso se utiliza la protección externa.

A continuación, se muestra un ejemplo de una correcta equipotencialización y sistema de puesta a tierra, para una malla de 20x20 metros (ver imagen 9).

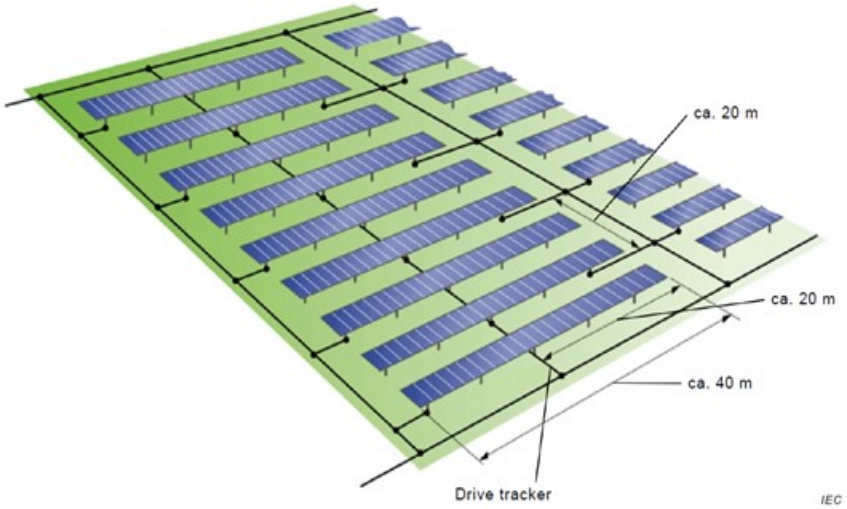


Imagen 9. Ejemplo de equipotencialización para "Free-field" Solar Plants

En IEC 63227:2020 para sistemas extensos de planta fotovoltaicas, se indica que un tamaño de malla de 20 m × 20 m a 40 m × 40 m ha demostrado ser eficiente.

3.2. Sistema de protección interna contra el rayo

Las sobretensiones transitorias son bruscas elevaciones del potencial, de gran amplitud (picos de tensión de varios kV) y de muy corta duración en el tiempo (µs), que tienen formas de onda de frente escarpado, es decir son ondas de fuerte pendiente.

Estos picos de tensión pueden generar grandes averías en los dispositivos instalados, incluso podría producir la completa destrucción del sistema eléctrico del complejo en cuestión. Lo más relevante es la protección de las personas que se encuentran en la estructura en el momento del pico de tensión.

La actividad eléctrica atmosférica, y en particular los rayos nube-tierra, representan una seria amenaza para las personas, estructuras y servicios.

Basándose en las normativas IEC 61643-12 y en la IEC 62305, la selección y la instalación de los DPSs para la protección de sistemas fotovoltaicos depende de diversos factores, de los cuales los más importantes son los siguientes:

- El nivel isoceráunico (número de días de tormenta al año) del lugar deemplazamiento
- Características del sistema de bajo voltaje y del equipo aproteger
- La existencia de protección externa contra el rayo.

En un sistema fotovoltaico, el núcleo principal es el inversor, por lo que la protección contra rayos y sobretensiones deberá estar focalizada en dicho equipo. Si queremos conseguir una correcta protección del inversor, deberemos instalar DPS (dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias) tanto en el lado de DC como en el lado de AC como se observa en la imagen 10.

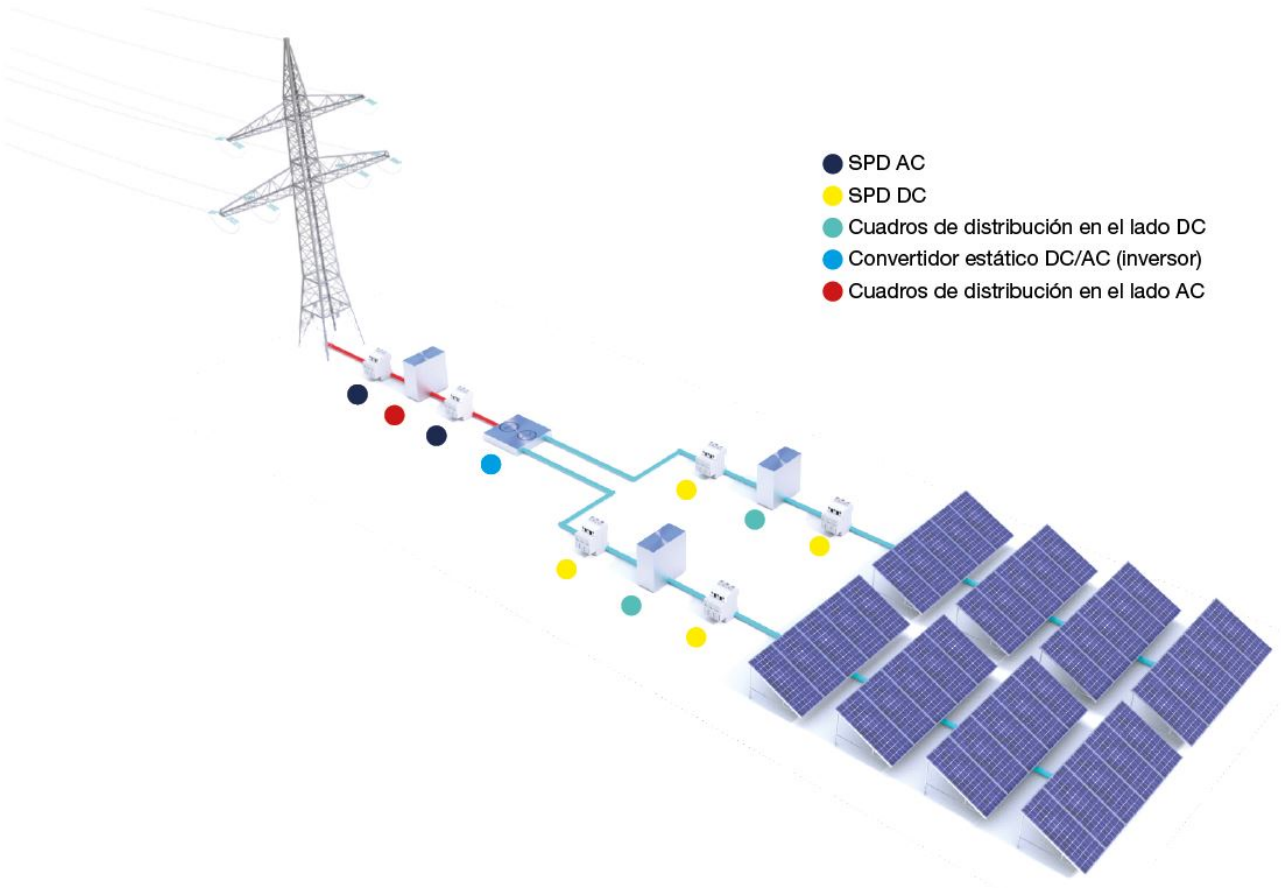
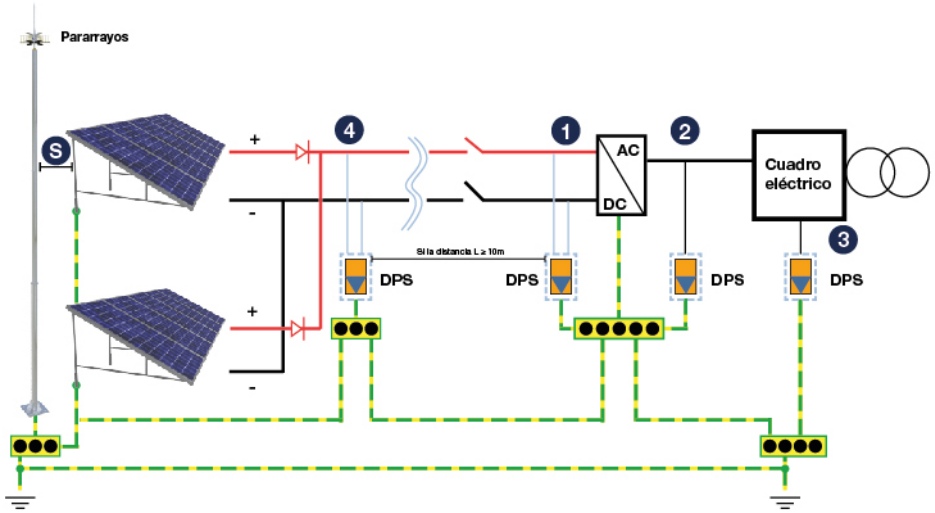


Imagen 10. Esquema protección interna en un sistema fotovoltaico

La selección del tipo de DPS se hará en función del lugar de instalación, del tipo de corriente (continua-alterna), de la

existencia de protección externa, y si la hubiera, de su distancia de separación respecto de las placas solares. En general, se colocarán dos DPS's en la parte de corriente continua (ubicaciones 1 y 4) y dos DPS's en la parte de corriente alterna del inversor (ubicaciones 3 y 2), como se muestra en la imagen 11.



Leyenda:

- *1. DPS Clase II acorde con IEC 61643-31*
- *2. DPS Clase II acorde con IEC 61643-11*
- *3. DPS Clase I acorde con IEC 61643-11*
- *4. DPS Clase II acorde con IEC 61643-31*

Imagen 11. Esquema de selección de DPS's en planta fotovoltaica protegida con pararrayos PDC, donde se cumple la distancia de separación S

El dispositivo de protección contra sobretensiones no será necesario en la ubicación 2 si:

- La distancia entre el en el cuadro de distribución principal y el inversor es menor de 10 metros y el voltaje de inducción de corriente del rayo en el conductor de bajada puede ser ignorado (ver IEC 62305-4).

O bien

- El inversor y el cuadro principal de distribución están conectados al mismo sistema de tierras con un cable de longitud igual o menor de 0,5m.

El dispositivo de protección contra sobretensiones no será necesario en la ubicación 4 si:

- La distancia entre el es menor de 10 metros y el voltaje (Up) del SPD instalado en la localización 1 es menor o igual a 0,8 Uw del voltaje soportado del string (ver IEC61643-32).

O bien

- El nivel de protección (Up) del SPD instalado en la localización 1 es menor o igual a 0,5 Uw de la tensión soportada del string y el conductor PE discurre cerca de los conductores de DC.

3.2.1 Orígenes de las sobretensiones

Se consideran las siguientes fuentes primarias que dan origen a las sobretensiones en la instalación de los paneles solares y del sistema de la planta fotovoltaica:

1. Impactos de rayo ocurridos sobre las estructuras metálicas de soporte: marcos de los paneles, mesas de soporte, etc.
2. Impactos de rayo ocurridos sobre los captadores distribuidos dentro del área ocupada por los paneles solares.
3. Impactos de rayo ocurridos sobre elementos de la instalación eléctrica que son exteriores al sistema de la planta fotovoltaica, pero que se acoplan a través de la línea de distribución de CA (corriente alterna).
4. Impactos de rayo ocurridos en otros elementos dentro del perímetro de la instalación de la planta fotovoltaica: mástiles de elementos de vigilancia, árboles, etc.
5. Impactos de rayo ocurridos en otros elementos fuera del perímetro de la instalación de la planta fotovoltaica que se acoplan debido a la subida del potencial de tierra.
6. Acoplamiento electromagnético entre distintas partes del circuito eléctrico de corriente directa (DC).

Durante las primeras fases de la descarga de la corriente de rayo la impedancia de las terminaciones del sistema de protección contra el rayo (LPS) tienen un comportamiento diferente del observado en regímenes de baja frecuencia. Este comportamiento es debido principalmente a la ionización del suelo y a la inductancia del sistema LPS, y da origen a una distribución altamente no uniforme de los potenciales durante la fase transitoria, o fase inicial de la descarga de corriente.

La no-uniformidad de la distribución de los potenciales se manifiesta en forma de grandes diferencias de voltaje entre las diferentes partes de las estructuras y elementos conectados al sistema de puestas a tierra.

Las diferencias de voltaje se observan tanto entre las puestas a tierra y los elementos anclados al suelo como entre los elementos conectados entre sí por los cables de conducción DC/AC y de conexión de tierra. El primer caso ocurre principalmente debido a la resistividad del suelo; el segundo, debido al comportamiento inductivo de la impedancia mostrada por los cables, pletinas y otros elementos conductores.

3.2.1.1 Sobretensiones originadas por acoplamiento electromagnético

Durante el período transitorio de los impulsos de corriente de rayo se generan impulsos de campo magnético que pueden generar corrientes eléctricas en los conductores eléctricos expuestos a dichos impulsos. Las sobretensiones generadas por los impulsos inducidos, sobretensiones inducidas, tienen una magnitud que es mayor cuanto mayor sea el área del lazo expuesto al impulso electromagnético.

Una manera efectiva de reducir la magnitud de las sobretensiones inducidas por los impulsos electromagnéticos es disminuir el área del circuito de lazo, especialmente en la estrategia seguida para el cableado de los paneles fotovoltaicos.

El trazado de conexiones que se muestra en la siguiente figura permite combinar dos objetivos: contribuir en la creación de la zona equipotencial asociada al circuito DC del inversor y reducir el área efectiva de lazo involucrada en la aparición de las sobretensiones inducidas por los impulsos electromagnéticos (ver imagen 12).

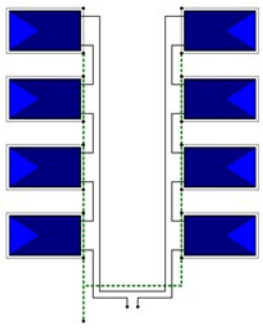


Imagen 12. Conexionado entre paneles

Llevando la explicación a un ejemplo de string formado por 28 paneles (14 X 2), siempre se debe conectar de manera que el área generada por el lazo de conexionado sea la mínima para reducir este tipo de sobretensiones. A continuación, se muestran unas imágenes mostrando el conexionado en particular, siguiendo las recomendaciones comentadas anteriormente (ver imagen 13).

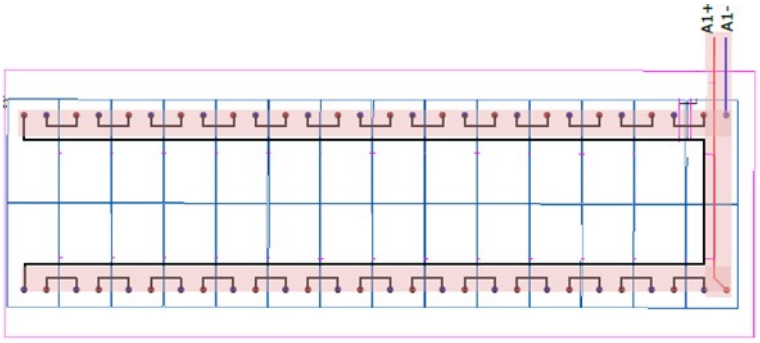


Imagen 13. Conexionado recomendado mesa completa

Se recomienda conectar usando la metodología anterior, aunque los strings están separados en diferentes mesas o módulos tal y como se muestra en la figura 14:

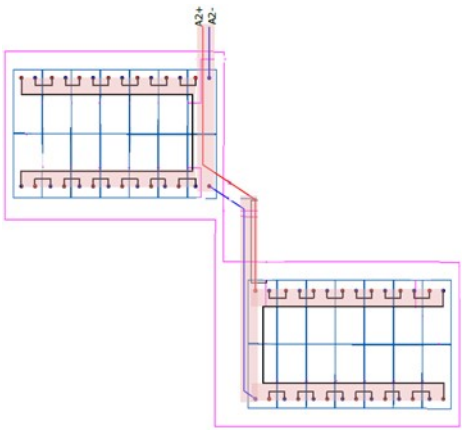


Imagen 14. Conexionado recomendado mesa completa

En cualquier caso, se intenta reducir el área del circuito de lazo para así minimizar el efecto de las sobretensiones originadas por acoplamiento magnético.

3.3. Sistema de protección preventiva

Para la disminución de los riesgos, es necesario utilizar medidas preventivas, puesto que los efectos de los rayos directos o indirectos, no solo se limitan a daños materiales y pueden afectar a los seres vivos.

Se recomienda la instalación de un sistema local de alerta temprana de tormentas, tipo **PREVISTORM de CLASE A**, capaz de detectar todas las fases de la tormenta, así como el aumento o disminución del campo electrostático y poder avisar así del riesgo próximo de rayos antes de que estos sucedan.

El sistema para la protección preventiva contra el rayo **PREVISTORM® Thunderstorm Warning System** realiza la medición y el análisis continuo de la evolución del campo eléctrico atmosférico. Este sistema permite la monitorización de los procesos de electrificación de las nubes de tormenta, la generación de alertas tempranas y la detección de la ocurrencia de impactos de rayo en un radio de hasta 20km.

Tal y como indica la norma **IEC 62793:2020**, se recomienda combinar los sistemas de detección de tormentas con sistemas de alarmas, las cuales nos avisen de los riesgos inmediatos por caída de rayos.

El sistema **PREVISTORM®** realiza un seguimiento del proceso de electrificación de las nubes. Las alarmas generadas por este sistema permiten conocer por adelantado sobre el incremento del riesgo de ocurrencia de descargas de rayos. Este conocimiento proporciona una ventaja de tiempo valiosa para la activación oportuna de las medidas de seguridad y protección de las personas y los bienes.

Para una mejor prevención, se recomienda la implantación de otros sistemas de monitoreo atmosférico, como son los detectores de pulsos electromagnéticos, de esta manera se podrá observar la evolución de la tormenta y evitar falsas alarmas.



Zona de detección del sistema Previstorm Thunderstorm warning system

3.3.1 Sistemas de avisos de tormentas para plantas solares

El sistema **PREVISTORM®** facilita la toma de decisiones cuando se debe determinar la peligrosidad de realizar ciertas tareas cuya seguridad se puede ver vulnerada en un periodo inminente y activo de tormenta eléctrica en la planta solar.

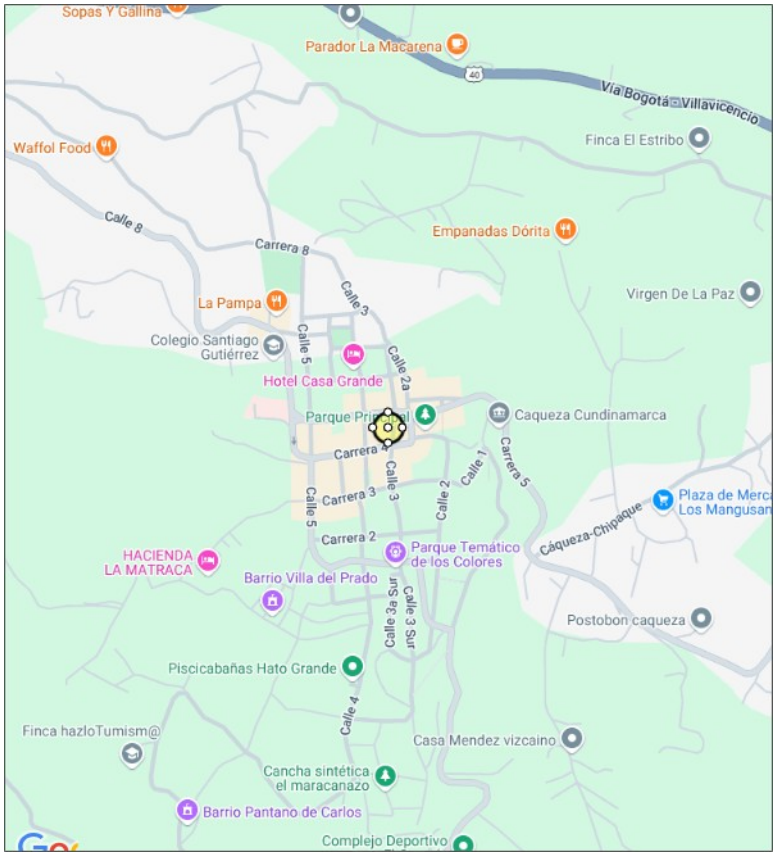
Los trabajos de mantenimiento, instalación, reparación u otras actividades en las que el personal necesita salir a zonas abiertas, deben realizarse de forma segura y teniendo la certeza de que no hay ningún riesgo de caída de rayo. Las descargas atmosféricas pueden dañar a cualquier persona ya sea por impacto directo o indirecto que esté realizando dichas tareas. El sistema **PREVISTORM®** avisará de una elevación del campo eléctrico local, lo que indicará que el riesgo de impacto de rayo será mayor. En ese periodo, se puede determinar si pausar las tareas a campo abierto hasta que el valor de intensidad de campo eléctrico vuelva a unos valores seguros, habilitando el restablecimiento de dichas actividades de forma segura.

El sistema **PREVISTORM®** puede utilizarse para la activación de un sistema de seccionamiento automático:

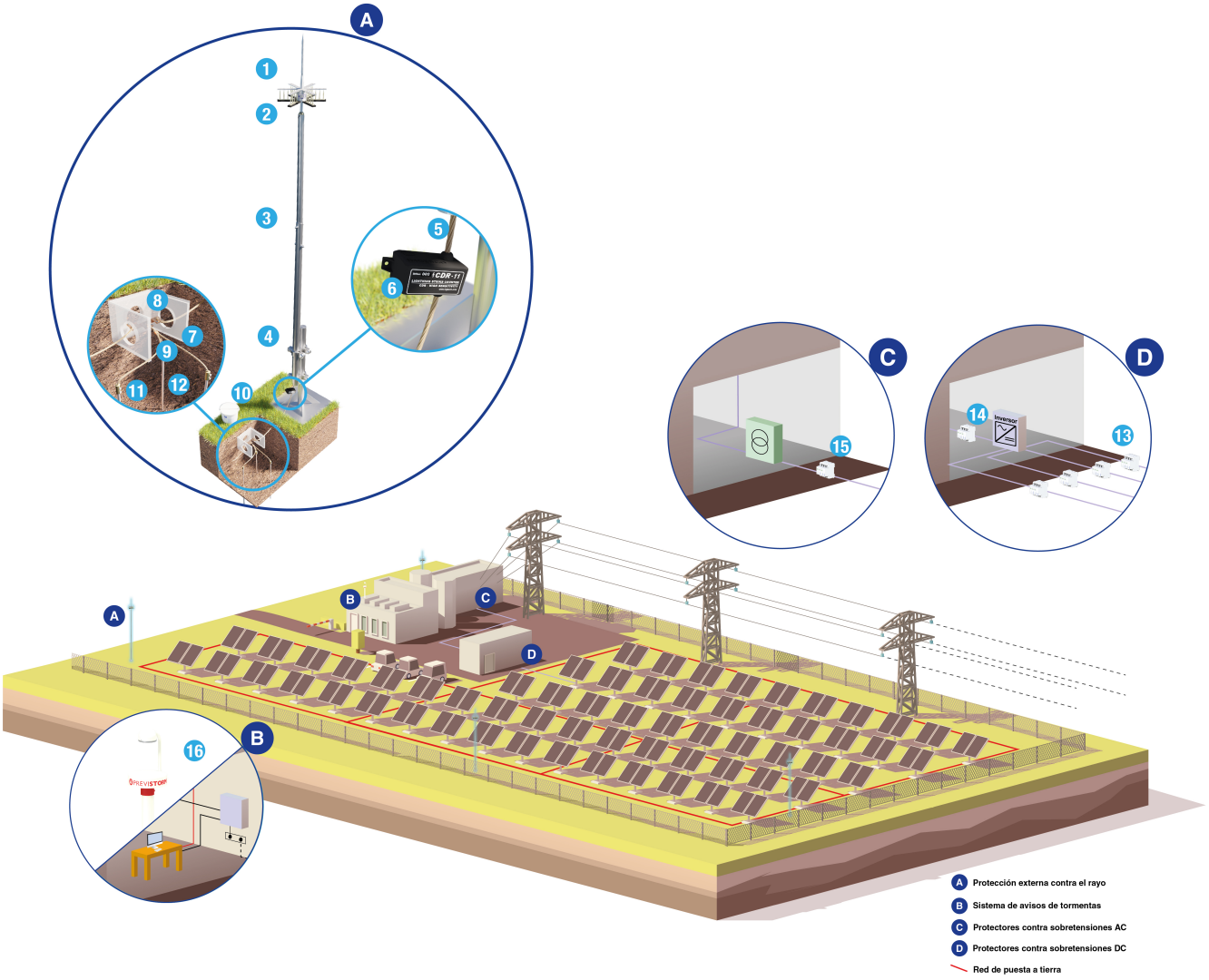
Un sistema de seccionamiento automático permite realizar una desconexión de los elementos importantes como inversores y centros de transformación de un conexionado eléctrico. En el caso de las plantas solares, se utilizaría para aislar los inversores o centros de transformación de la red eléctrica y de los grandes bucles de cableado que circulan entre los strings y módulos de paneles solares. En periodo tormentoso, el cielo está nublado y no se perdería tanta energía al activar este sistema de seccionamiento automático. Utilizando este método se protegería de sobretensiones provocadas por los diferentes casos mencionados en los apartados anteriores del documento (3.2.1 Orígenes de sobretensiones).

El sistema de avisos de tormenta clase A PREVISTORM dispone de relés de salida que actúan según el nivel de alarma configurado en el software, permitiendo activar un seccionador para aislar los elementos importantes de la planta solar mientras el riesgo de caída de rayo sea elevado. Cuando el valor de campo eléctrico sea considerado “No peligroso”, el sistema seccionamiento automático se desactivaría ya que indicaría que la probabilidad de recepción de descargas atmosféricas es “baja”. El sensor puede ayudar a la toma de decisiones, pero la configuración de los niveles de alarma que activarán los relés de salida siempre dependerá de las necesidades del usuario.

Plano de cobertura



4. Descripción de los materiales



Producto	Imagen	Ref.	Descripción	Total
1		102004	PDC.E 15	1
2		111011	Pieza de adaptación 1'1/4" Ø20 redondo	1

3		114065	Mástil 5,8m Ø 1'1/2"+ Ø 1'1/4 ac.	1
4		113083	Soporte placa base para mástil de 6m y Ø1'1/2"	1
5		117072	Cable Cu 50mm²	ml
6		430019	Contador de rayos CDR-11	1
7		253058	Arqueta cuadrada PP con tapa	2
8		250027	Barra equipotencial 3 bornes para arqueta	2
9		115104	Conexión tipo "C"	2
10		254041	Compuesto mineral Quibacsol 10kg	2
11		115001	Manguito pica Ø14-cable 50-70mm²	6

12		252124	Pica lisa Ac. Cu. de 2000 Ø14,2mm (254µm)	6
13		252029	SLS-PV1500 V/Y Protector contra sobretensiones DC	s/u
14		252029	SLS-B+C100/3+1 Protector contra sobretensiones Tipo 1+2	6
15		252029	SLS-B+C20/3+1 Protector contra sobretensiones Tipo 2	6
16		700501	PREVISTORM Sistema de aviso de tormentas	1

5. Aviso legal

Dena Desarrollos S.L. no se hace responsable bajo ningún concepto de los daños directos e indirectos, materiales o inmateriales producidos al usuario o terceros como resultado de la aplicación de la solución de protección propuesta, que será responsabilidad exclusiva del usuario o proveedor de los datos.

El usuario o proveedor de los datos renuncia a cualquier reclamación contra de Dena Desarrollos S.L. y/o sus compañías de seguros y garantías de Dena Desarrollos S.L. y a sus reclamos sobre cualquier otra compañía de seguros de terceros.