

# GUÍA DE APLICACIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE

# SISTEMAS FOTOVOLTAICOS



**DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN  
CONTRA PICOS ELÉCTRICOS**

# ÍNDICE

	PÁGINA
<b>CLAMPER</b> .....	<b>02</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>03</b>
<b>SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</b> .....	<b>04</b>
<i>SISTEMA ON-GRID</i>	
<i>SISTEMAS OFF-GRID</i>	
SISTEMA HÍBRIDO	
SISTEMA DE PEQUEÑO PORTE	
SISTEMA DE GRAN PORTE	
<b>SOBRETENSIÓN TRANSITORIA: PICO ELÉCTRICO</b> .....	<b>06</b>
FORMA DE INCIDENCIA DE PICOS ELÉCTRICOS	
Interferencia en modo diferencial	
Interferencia en modo común	
DESCARGA ATMOSFÉRICA	
Índice cerámico y densidad de rayos	
Interacción entre los rayos y los sistemas fotovoltaicos	
» Descarga atmosférica directa	
» Descarga atmosférica indirecta	
» Dominio del tiempo vs Dominio de la frecuencia	
» Maniobras en red y conmutaciones de maquinas inductivas	
<b>SOBRETENSIÓN TRANSITORIA: PICO ELÉCTRICO</b> .....	<b>15</b>
<b>PUESTA A TIERRA Y EQUIPOTENCIALIZACIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>PROTECCIÓN CONTRA PICOS ELÉCTRICOS</b> .....	<b>15</b>
DPS – DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES	
Formas de conexión – Línea CC	
» Sistemas con polos aislados de tierra	
» Sistemas con uno de sus polos conectado a tierra	
Formas de conexión – Línea AC	
» Sistemas TN-C	
» Sistemas TN-S e TT	
Alertas de instalación	
Final de vida útil	
Coordinación entre dispositivos – DPS e inversor	
PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS INDIRECTAS	
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN EDIFICACIONES CON SPDA EXTERNO Y NO CONECTADOS AL SPDA.	
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN EDIFICACIONES CON SPDA EXTERNO Y CONECTADOS AL SPDA.	
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GRAN PORTE – USINAS FOTOVOLTAICAS (UFV)	
STRING BOX – CAJA DE CONEXIONES	
<b>NORMAS ABNT, IEC Y EN</b> .....	<b>31</b>



## CLAMPER

Con sede en Lagoa Santa - MG, CLAMPER es una empresa innovadora, especializada en soluciones técnicas para protección de equipos y sistemas contra sobretensiones eléctricas. Con más de 30 años dedicados exclusivamente a la investigación, desarrollo y fabricación de DPS, Dispositivo de protección contra sobretensiones - CLAMPER se ha convertido en líder latinoamericano en el segmento superando

más de 45 millones de productos vendidos en más de 23 países. En el mercado, ganó gran notoriedad por su amplia estructura, completo equipo de I&D - formado por ingenieros especializados - además de contar con laboratorio propio capaz de emular efectos de rayos y picos eléctricos.

Nuestra trayectoria de éxito está apoyada en nuestro compromiso con la adecuación y la seguridad de nuestros productos con máxima transparencia y respeto a nuestros clientes.

## INTRODUCCIÓN

En el mercado de generación de energía eléctrica y soluciones sostenibles, de todos los tamaños están ganando espacio a un ritmo acelerado. A lo largo de las últimas décadas, estos sistemas han evolucionado y han logrado alcanzar un nivel satisfactorio de madurez en términos de confiabilidad y vida útil. Los sistemas fotovoltaicos, convertidores de energía solar en energía eléctrica, también evolucionaron y, actualmente, representan una gran parte de este mercado.

Debido a las características de la instalación y amplia exposición, el sistema fotovoltaico, consecuentemente, como todo sistema eléctrico, está sujeto a picos eléctricos, que pueden ser provocados por descargas atmosféricas o conmutación de cargas en el sistema de distribución de la concesionaria de energía, que dañan parte del mismo, (módulos fotovoltaicos, inversores, controladores de carga, etc.) o, incluso, fallas en el sistema completo.

Los daños, además de reducir la capacidad de producción del sistema, tienen valores significativos de reparación e interfieren directamente en el retorno de inversión del proyecto. Para minimizar los impactos de los picos eléctricos a los sistemas y asegurar el retorno de la inversión, es necesario utilizar dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS). La Figura 1 muestra la dilatación del payback.

Para asegurar que el retorno de la inversión se vuelva sólido, surge la necesidad de utilizar dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS).

Esta Guía aborda, de forma resumida, aspectos de la protección contra sobretensiones eléctricas en sistemas de pequeño y gran porte (UFV - Usinas Fotovoltaicas). Más información podrá ser obtenida en la literatura "Protección de Equipos Eléctricos y Electrónicos contra Picos Eléctricos en Instalaciones" disponible para su descarga en el sitio [www.clamper.com.mx](http://www.clamper.com.mx)

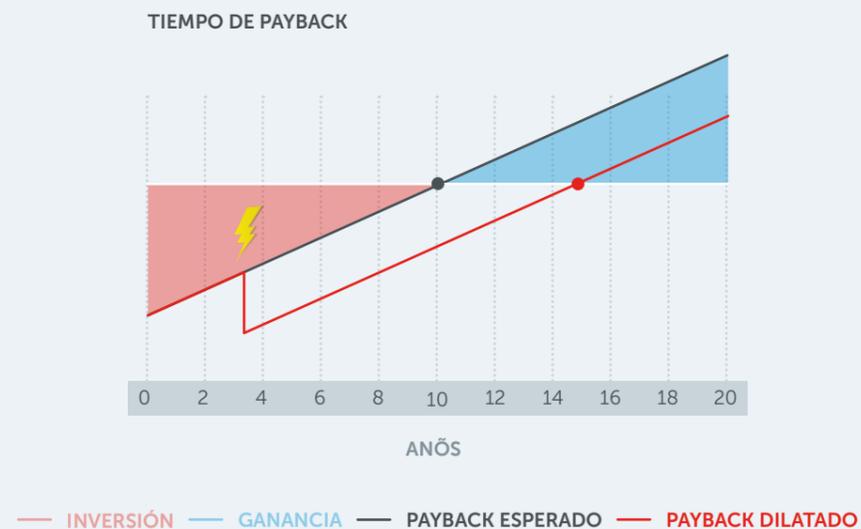


Figura 1 - Tiempo de payback

## SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

México, país privilegiado en incidencia solar, tiene índices aproximados de 5,4kWh/m<sup>2</sup>, valor suficiente para estar en mejor posición que los Estados Unidos, China y Alemania. Con respecto al aprovechamiento de estos índices, es decir, capacidad instalada, estamos desfasados generando un poco más que 2.03GW. Sin embargo, ese sector está en constante crecimiento, generando más oportunidades de mercado día a día.

En resumen, los sistemas fotovoltaicos tienen el objetivo de convertir energía solar en energía eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos on-grid, sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFVCR) se forman básicamente por módulos fotovoltaicos y un inversor. Los sistemas off-grid, a su vez, son sistemas aislados de la red eléctrica de la concesionaria, siendo comúnmente utilizados en locales donde no hay red pública de distribución de energía eléctrica. Posee, además de los módulos e inversor, el controlador de carga y baterías. Cada elemento del sistema se puede caracterizar de la siguiente manera:

**Módulos fotovoltaicos:** Son responsables de transformar energía solar en energía eléctrica. Los paneles fotovoltaicos se pueden combinar en serie y/o en paralelo para aumentar la tensión y/o corriente suministrada al inversor del sistema.

**Inversor:** Es el elemento responsable de la conversión de la corriente continua (CC), originada en los módulos fotovoltaicos (o en las baterías), en corriente alterna (CA) sincronizada con las características de la red eléctrica.

**Controlador de carga:** Tiene como función evitar sobrecarga o descarga excesiva de las baterías, preservando la vida útil y rendimiento de las mismas.

**Baterías:** Son responsables de almacenar la energía eléctrica, generada por los módulos fotovoltaicos, para que el sistema pueda suministrar energía aun cuando no haya sol.

México tiene más de 270,000 instalaciones conectadas a la red de energía generando más de 160MWp, siendo el 42% del acumulado se dedica a los sistemas residenciales, seguidos por los sistemas comerciales, que representan el 39%. Minas Gerais lidera este ranking con 4.161 instalaciones conectadas a la red, São Paulo está en segundo lugar, con 3.744 y, posteriormente, en tercer lugar, Rio Grande do Sul con, aproximadamente, 2.314 instalaciones.

## SISTEMA ON-GRID

El sistema de generación de energía fotovoltaica on-grid, o Sistema Fotovoltaico Conectado a la red (SFVCR), tiene la salida de la generación de energía alternada conectada al sistema de distribución de energía de la Concesionaria. La forma de concepción del sistema es similar a una "mini usina" interconectada a la red, siendo que la energía no consumida por el sistema puede ser cedida a la concesionaria de energía. Los componentes utilizados en los sistemas on-grid son:

- PV – Paneles fotovoltaicos
- Inversor(es)
- Caja(s) de unión
- Protección para la red AC (DPS, disyuntores, fusibles, entre otros).

## SISTEMA OFF-GRID

El sistema off-grid o Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA), en la condición de generación de energía, funciona de la misma forma que el sistema on-grid, teniendo como divergencia la no interconexión al sistema de energía de la concesionaria, además de baterías que almacenan la energía producida para su posterior utilización en períodos con baja incidencia solar, por ejemplo, por la noche. La utilización de este sistema es común en regiones que no hay cobertura de red de energía, como en las regiones rurales. El sistema off-grid, por ser desconectado de la red de energía de la concesionaria, debe ser capaz de suplir plenamente la necesidad de energía del sistema o carga conectada a él. Comúnmente, en este sistema, se encuentran los siguientes elementos:

- PV – Paneles fotovoltaicos;
- Inversor(es);

- Caja (s) de unión;
- Protección en la red AC (DPS, disyuntores, fusibles, entre otros);
- Baterías.

## SISTEMA HÍBRIDO

Es un sistema mixto que posee almacenamiento de la energía generada por los paneles fotovoltaicos (PV's) y al mismo tiempo está conectado a la red de energía de la concesionaria, o sea, es un sistema on-grid con posibilidad de almacenamiento de energía por baterías. Este sistema se utiliza normalmente en situaciones en las que la carga o el sistema alimentado no puede tener su suministro de energía interrumpido.

## SISTEMA DE PEQUEÑO PORTE

El principio de funcionamiento del sistema de pequeño tamaño no es diferente del sistema de gran tamaño, teniendo básicamente como diferencia el nivel de tensión eléctrica

y, consecuentemente, los niveles de potencia generada. Estos sistemas se utilizan ampliamente, principalmente, en grandes centros urbanos. Los sistemas on-grid, de pequeño tamaño, son usualmente conectados a las redes de baja tensión, mientras que sistemas de gran tamaño (grandes plantas), están conectados a los sistemas de media tensión.

La Figura 2 ilustra, de forma simplificada, un sistema de generación de energía fotovoltaica de pequeño tamaño.

### » SISTEMA DE GRAN PORTE

Cuando hay necesidad de grandes potencias procesadas, un sistema de pequeño tamaño es, básicamente, aplicado con un número mayor de PV's e inversores, convirtiéndose así en un sistema de gran tamaño, usina solar o parque solar. Este sistema comúnmente está compuesto por varios "módulos" de algunos kW, "concepto: inversores en cadena" - concepto que permite alcanzar varios MW.

En este momento, la mayor planta solar del mundo está ubicada en la India. Este sistema es capaz de producir increíbles 648MW y ocupa un área de aproximadamente 10km<sup>2</sup>. Otra gran planta solar está instalada cerca de Rosamond en California y posee una potencia instalada de casi 600MW con aproximadamente 1.700.000 PV cubriendo un área de 13km<sup>2</sup>.

Brasil, no diferente de las grandes potencias, ha desarrollado en los últimos años la utilización de las energías renovables. Un ejemplo de ello es el Parque Solar Nova Olinda, en Piauí, que posee casi un millón de paneles fotovoltaicos con capacidad de generar 290MW.

## SOBRETENSIÓN TRANSITORIA: PICO ELÉCTRICO

Pico eléctrico - sobretensión transitoria - es un evento de corto período de tiempo, caracterizado por una elevación brusca de la tensión nominal del sistema, seguida de un descenso más lento, lo que ocasiona un flujo de corriente eléctrica que se propaga a lo largo de una línea o circuito, ya sea en la red eléctrica o en la red de datos. Mientras que la tensión nominal opera en 50 o 60Hz, es decir, ciclos de milisegundos, los picos ocurren en microsegundos y son del orden de cientos de kHz.

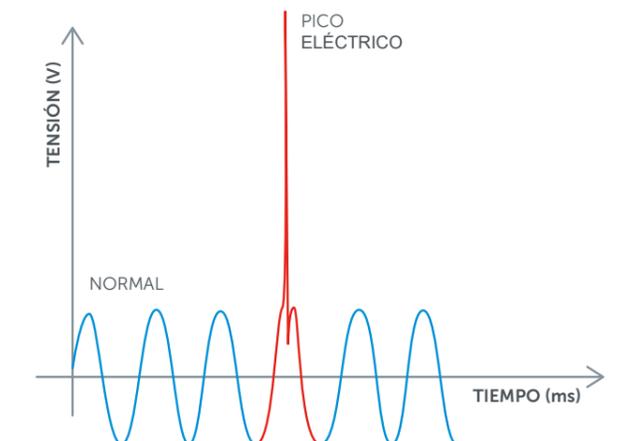


Figura 3 - Sobretensión transitoria – Pico eléctrico

Los equipos eléctricos y electrónicos poseen soportabilidad a los impulsos transitorios - picos eléctricos. Las normas aplicables al contexto se utilizan para validar y estipular valores para estas compatibilidades de acuerdo con el lugar de aplicación del equipo eléctrico o electrónico.

Los equipos con mayor soporte tienden a tener una vida útil mayor, sin embargo, los equipos con bajos niveles de soportabilidad

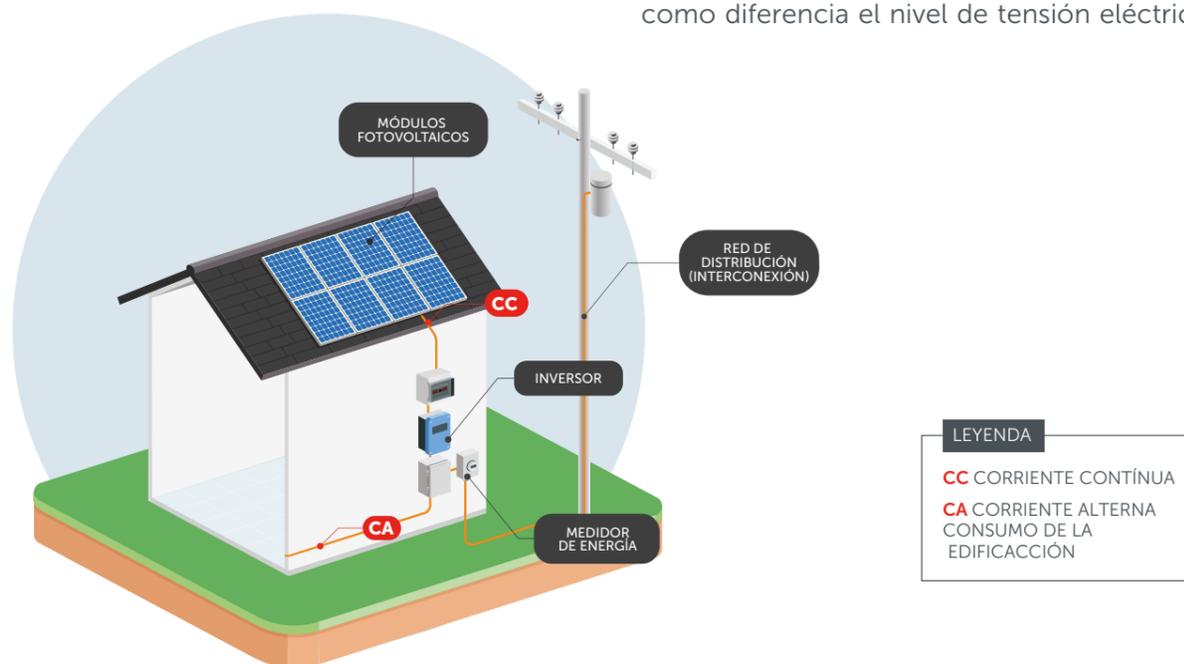


Figura 2 - Ilustración simplificada de los componentes de un SFVCR instalado en una edificación.

tienen un alto riesgo de ser dañados.

En la Tabla 1, muestra valores de soportabilidad a tensiones impulsivas para equipos que componen el sistema de generación fotovoltaica, donde  $U_{ocmax}$  representa la máxima tensión del sistema fotovoltaico en corriente continua y  $U_w$  representa la soportabilidad de los equipos a sobretensiones impulsivas.

Las fuentes generadoras de picos eléctricos son:

- Descargas atmosféricas;
- Sobretensiones industriales:
  - » Maniobras de red;
  - » Conmutación de máquinas inductivas;
  - » Encendido de lámparas Neón o de sodio;

» Operaciones de disyuntores y fusibles.

- Descargas electrostáticas (ESD);
- Pulsos electromagnéticos nucleares (NEMP).

Estos eventos pueden causar picos del orden de kV, sin embargo, entre todos los eventos, la descarga atmosférica es el evento que más genera estudios y daños visibles.

### FORMAS DE ACOPLAMIENTO

Los picos eléctricos pueden acoplarse a los sistemas de forma resistiva, inductiva o capacitiva. Los acoplamientos más comunes son los de la forma simétrica - modo diferencial - o de la forma asimétrica - modo común.

$U_{ocmax}$ (V)	Soportabilidad a tensiones impulsivas – $U_w$ (kV)			
	Módulo Clase B Aislamiento básico	Inversor	Otros equipamientos	Módulo Clase A Aislamiento reforzado
100	0,8	2,5 (mínimo)	0,8	1,5
150	1,5		1,5	2,5
300	2,5		2,5	4
424	4		4	4
600	4	4	4	6
800	5		5	6
849	6		6	8
1000	6		6	8
1500	8	8	8	12

Tabla 1 - Soportabilidad a tensiones impulsivas de equipos que componen un sistema fotovoltaico.

### » INTERFERENCIA EN MODO DIFERENCIAL

Se produce entre el conductor de suministro de energía y el conductor de retorno, según la Figura 4. La diferencia de potencial generada por el brote eléctrico se percibe directamente en las puertas de entrada / salida de los equipos eléctricos y electrónicos.

### » INTERFERENCIA EN MODO COMÚN

Interferencia que ocurre entre el conductor y el punto de referencia - tierra, conforme a la Figura 5. Normalmente, este evento es generado por acoplamiento inductivo (sistema

expuesto a campos electromagnéticos). El modo común también expone los puertos de entrada/salida del sistema a valores altos de tensión, siendo que el equipo instalado deberá tener soportabilidad suficiente para no perder el aislamiento entre las partes.

### DESCARGA ATMOSFÉRICA

Las tormentas pueden ser fácilmente identificadas por nubes *Cumulonimbus* - formaciones nebulosas con gran desarrollo vertical. Estas tempestades son más comunes en meses cálidos y, generalmente, ocurren en la tarde, generando más de 100 descargas

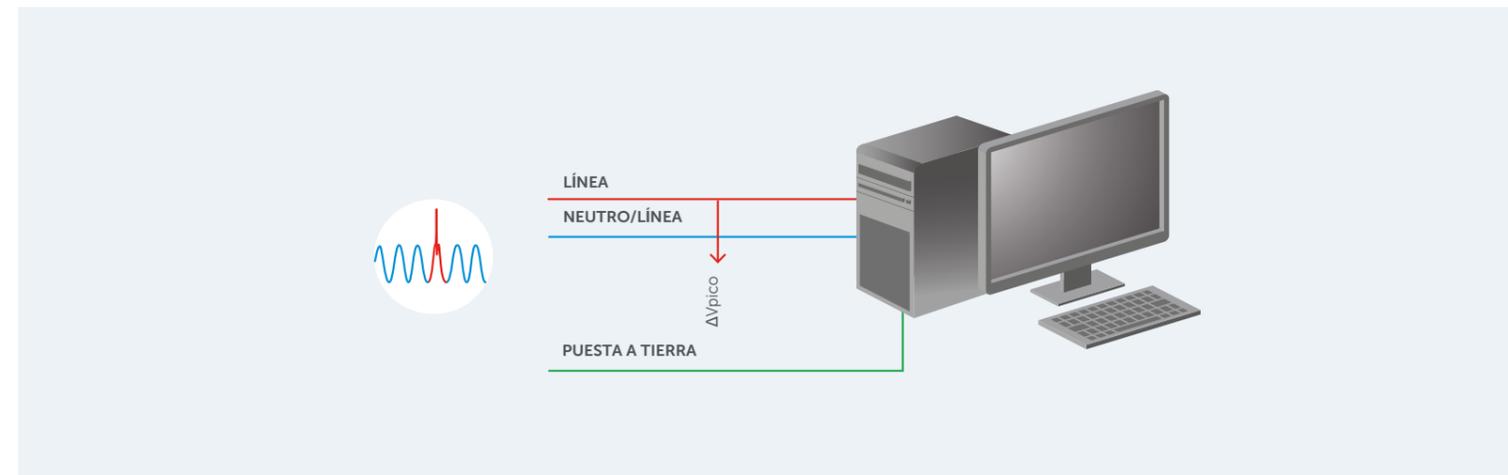


Figura 4 - Pico eléctrico en modo diferencial.

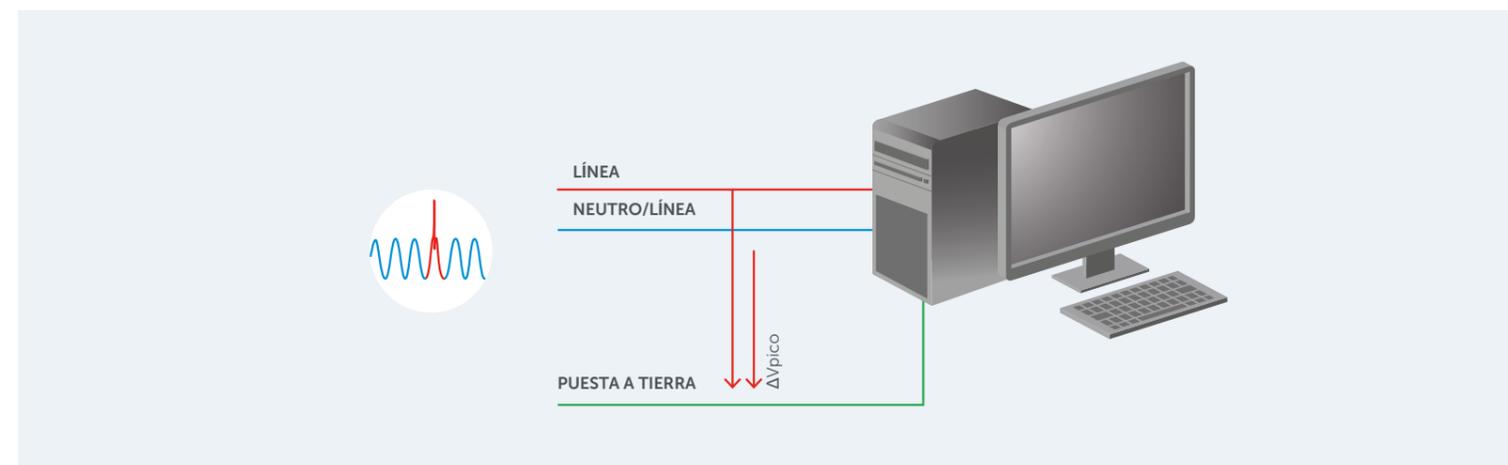


Figura 5 - Pico eléctrico en modo común.

atmosféricas cada segundo en el planeta.

La descarga atmosférica o rayo es un fenómeno natural de corriente eléctrica generada entre dos masas de polaridades opuestas, (nube-suelo). El choque entre las masas de aire caliente y las masas de aire frío electrifica la nube que, a través de campos eléctricos, induce en el suelo una polaridad opuesta a la base de la nube. Cuando los campos eléctricos son lo suficientemente fuertes para ionizar el aire a punto de romper su rigidez dieléctrica - valores entre 0,5 y 10kV/m - ocurre la descarga atmosférica, es decir, la equalización de las cargas entre nube-suelo.

Gran parte de las conexiones, más del 98%, ocurren entre nube-suelo, siendo raras las conexiones entre suelo-nube. Las conexiones negativas transportan cargas de la nube al suelo, cerca del 90% de los eventos, y las positivas del suelo a la nube. Sin embargo, el porcentaje entre descargas negativas o positivas puede ser alterado de acuerdo con la región o la tempestad.

La descarga atmosférica genera dos efectos que se identifican fácilmente en el acto de su ocurrencia, el brillo de luz y el sonido. El relámpago es la luz generada por la corriente eléctrica del rayo al calentar el aire en su entorno, cerca de 27.000°C, cinco veces la temperatura de la superficie del sol. Este calentamiento expande el aire rápidamente y, después del término de la corriente, el aire es enfriado. Este movimiento, de rápida expansión y contracción, produce una onda de sonido, generalmente llamada trueno.

Las descargas atmosféricas representan un gran potencial de riesgo, no sólo a los seres humanos, sino también a las edificaciones y



Figura 6 - Descarga nube-suelo

equipos eléctricos y electrónicos instalados en ellos. El sistema de protección contra descargas atmosféricas (SPDA) tiene la finalidad de proteger la edificación, los seres vivos y los equipos eléctricos y electrónicos en ella contenidos, conduciendo la corriente del rayo entre nube-suelo de forma segura. Sin embargo, cuando la descarga atmosférica impacta al SPDA, potenciales de tensión pueden ser percibidos a lo largo de los materiales metálicos conectados al SPDA. Estos valores, en su mayor parte, son potenciales suficientes para causar la muerte de un ser humano adulto. En el momento de conducción de las corrientes del rayo, gradientes de tensión son percibidos en el entorno de los conductores de bajada del SPDA. La Figura 7 representa gráficamente algunas situaciones de diferencia de potencial que pueden ser percibidas en el suelo cerca de la caída del rayo.

La letra "C" representa una diferencia de

potencial sentida entre las dos piernas en un paso ancho, paso de caminata. La medida en que la distancia entre los pies es reducida, la diferencia de potencial percibida es menor. La letra "A" indica la mejor posición contra esos efectos, donde los pies se conservan juntos con la intención de disminuir el área entre ellos. Cuanto más lejos del punto de impacto de la descarga atmosférica, menor es el potencial percibido en el suelo.

### » ÍNDICE CERAÚNICO Y DENSIDAD DE RAYOS

La cantidad de tormentas con rayos en un año define el índice ceráunico de la región. La densidad de descargas atmosféricas puede ser definida como la cantidad de rayos que alcanzan un km<sup>2</sup> en el período de un año - descargas/km<sup>2</sup>/año. Ambos valores pueden cambiar significativamente de región a región, siendo estos parámetros fundamentales en

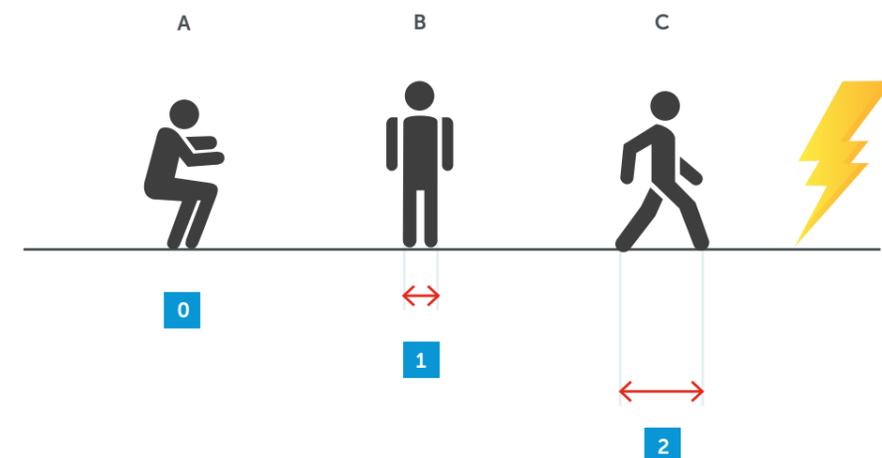


Figura 7 - Potencial de paso

la evaluación de la necesidad de medidas de protección de los equipos eléctricos y electrónicos.

Brasil, por ser un país tropical, con cerca de 8.516.000km<sup>2</sup>, es el campeón mundial con respecto a descargas atmosféricas. Cada año, cerca de 78 millones de rayos caen en el suelo brasileño, de esta forma, el promedio nacional de descargas/km<sup>2</sup>/año alcanza valores próximos a los 9,16. Este valor es muy superior al promedio de otros países, Alemania, por ejemplo, tiene un índice de 4,2 descargas/km<sup>2</sup>/año.

### » INTERACCIÓN ENTRE EL RAYO Y LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Las descargas atmosféricas causan daños irreversibles o el envejecimiento prematuro de los elementos semiconductores en los módulos FV, canales de comunicación y elementos eléctricos y electrónicos del sistema. Este efecto causa un aumento sustancial en los valores de mantenimiento y, en la mayoría de los casos, inviabiliza la inversión. Los rayos pueden interactuar de dos formas con el sistema FV, por medio de descargas directas en el sistema o en las líneas de alimentación y comunicación, al cual el sistema FV forma parte o, aún, en la interacción por descarga indirecta, a través de acoplamientos capacitivos o inductivos.

o

#### » Descarga Atmosférica Directa

Conocida como rayo, la descarga atmosférica directa es la corriente eléctrica que circula por el circuito establecido entre nube-tierra. Se puede tomar como ejemplo la corriente eléctrica que circula por el sistema de pararrayos cuando hay una caída de rayo directamente en el mismo.



Figura 8 - Descargas atmosféricas

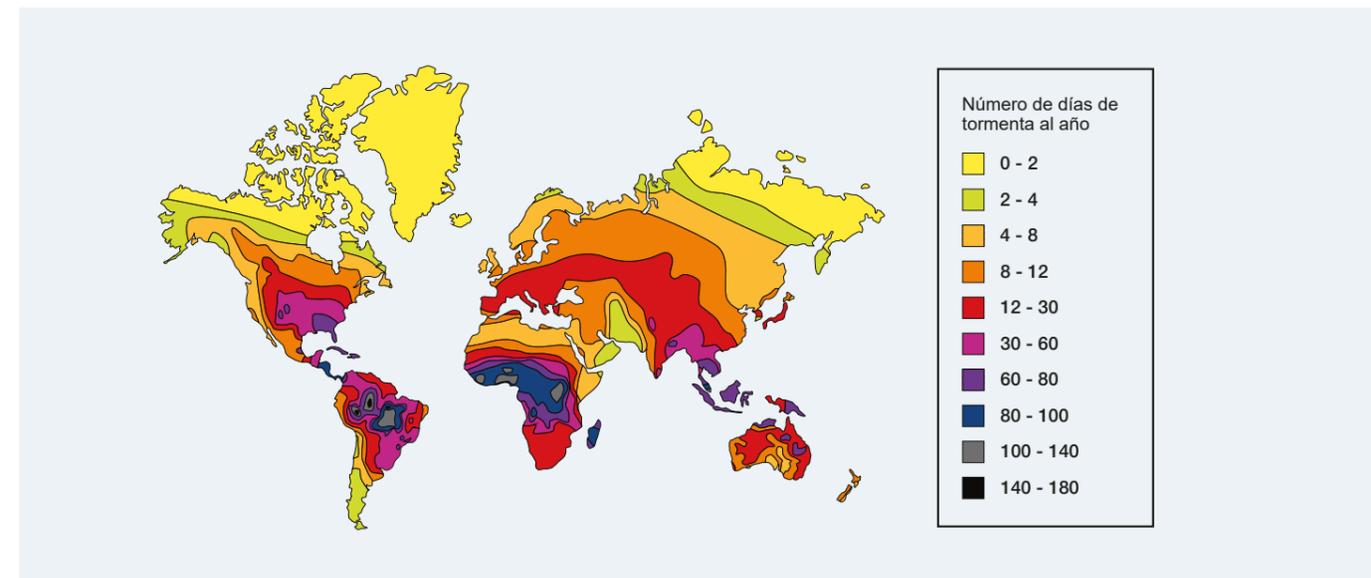


Figura 9 - Mapa cerámico mundial

En el fenómeno de intercambio de cargas, la descarga atmosférica directa, posee decenas de Coulombs, lo que genera cientos de millones de amperios de pico - 1kA a 200kA.

La "corriente generada" en el evento está compuesta por uno o más componentes diferentes: Impulsos con una duración inferior a 2ms (Figura 7).

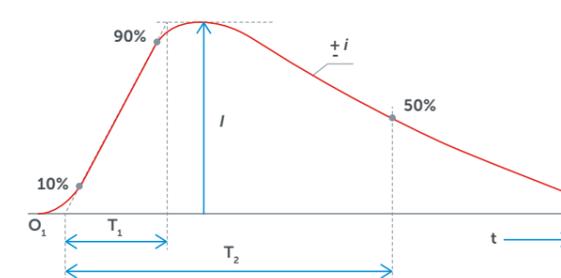


Figura 10 - Impulso de duración < 2ms.

#### Leyenda

- $O_1$  origen virtual
- $I$  corriente de pico
- $T_1$  tiempo de frente
- $T_2$  tiempo hasta el medio valor de caída

Componentes largos con una duración superior a 2 ms (Figura 11).

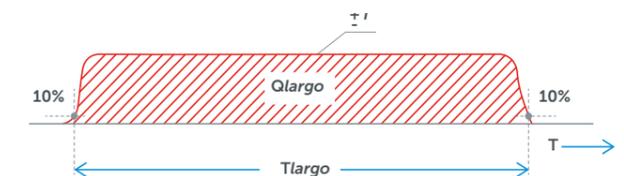


Figura 11 - Componentes de larga duración

#### Leyenda

- $T_{largo}$  tiempo de duración
- $Q_{largo}$  carga de componente de la descarga atmosférica

Típicamente las descargas descendentes positivas poseen la forma de corriente presentada en la Figura 12. La Figura 13 apunta una estimación de los valores de la corriente de la descarga

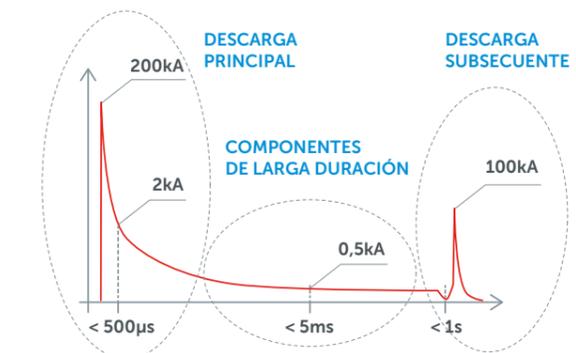


Figura 12 - Componentes de una descarga atmosférica descendente positiva.

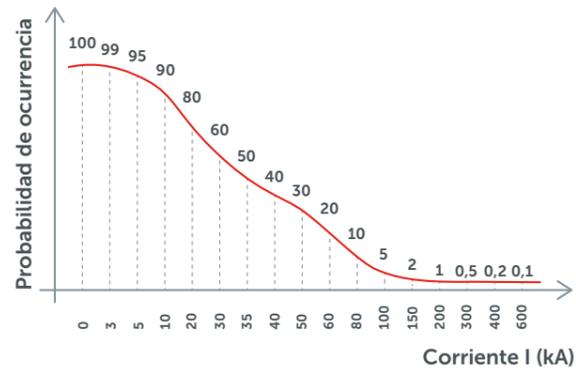


Figura 13 - Corriente de descarga atmosférica (I) x probabilidad (P)

atmosférica frente al porcentaje de probabilidad de ocurrencia. Esta corriente está directamente ligada al valor de carga entre nube-suelo, pudiendo variar de región.

Aproximadamente el 80% de las descargas atmosféricas tendrán sus valores de corriente entre 30 y 40kA. La Figura 14 muestra una estimación de estos valores.

» Descarga Atmosférica Indirecta

Los efectos destructivos de las descargas atmosféricas indirectas son causados por tensiones de picos generadas por los acoplamientos de campos electromagnéticos

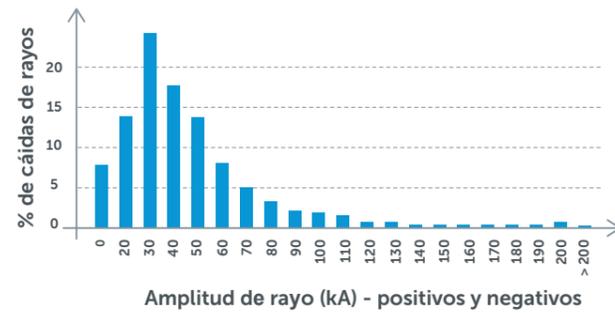


Figura 14 - Amplitud (kA) x porcentual de ocurrencia (descargas positivas y negativas).

en circuitos - lazos metálicos.

En los principios sobre inducción electromagnética, los campos electromagnéticos generados por descargas atmosféricas, pueden ser descritos, básicamente, por las teorías de Michael Faraday y Heinrich Henry. La ecuación Eq. 1 tiene buena precisión al calcular valores de tensiones inducidas en lazos metálicos.

$$V(t) = 2 \cdot 10^{-7} \ln(b/a) \cdot di/dt$$

Para ejemplificar la utilización de la Ec. 1, tomaremos el circuito ilustrado en la Figura 16, con los siguientes parámetros:

a = 20 m;

b = 24 m;

h = 2 m.

di/dt = 100 kA ((valor predeterminado para la descarga atmosférica negativa).

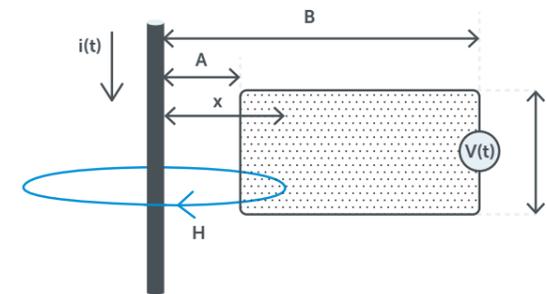


Figura 16 - Cálculo de tensión inducida en un lazo metálico.

Desarrollando la Ec. 1, el valor de pico de la tensión inducida en el lazo es de 7,3kV. La tensión de circuito abierto generada en el evento de interacción entre los campos electromagnéticos y los lazos metálicos de los sistemas fotovoltaicos, según lo visto, pueden dañar los componentes de este sistema o reducir sustancialmente el tiempo de vida útil de los mismos.

Se pueden adoptar medidas de protección para reducir las sobretensiones inducidas, tales como:

- Uso de dispositivos de protección contra sobretensiones eléctricas en el circuito
- Reducción de los lazos metálicos de inducción

» Dominio del tiempo vs dominio de frecuencia.

Hay dos posibilidades de trabajar con fenómenos electromagnéticos: en el dominio del tiempo o en el dominio de la

frecuencia. En el dominio del tiempo, las magnitudes (tensiones, corrientes, campos electromagnéticos) se expresan por sus valores instantáneos, determinados por la variable tiempo (tiempo continuo). En el dominio de la frecuencia, las magnitudes se expresan por una notación compleja (fasor), teniendo la frecuencia angular como variable. Ambas formas de evaluación son permutables y no hay pérdida de información en la mutación entre las mismas. El valor de la corriente de pico que el DPS debe soportar tiene forma de onda identificada en el dominio del tiempo.

» MANIOBRAS DE RED Y CONMUTACIONES DE MÁQUINAS INDUCTIVAS

Las sobretensiones generadas por maniobra y/o conmutaciones son frecuentes y llegan a representar más del 88% de los picos eléctricos de la red. Básicamente, los picos en las redes alternas son ocasionados por la falta de sincronización del cierre en relación al ángulo de la tensión de la fuente, es decir, cuando la conmutación ocurre en valores de tensión fuera de 0V (corriente interrumpida repentinamente), hace que, el valor de la corriente vaya a cero en poco tiempo, teniendo de esta forma una alta di/dt.

**SOBRETENSIÓN TEMPORAL**

Las fallas en el sistema eléctrico pueden someter los componentes de éste a sobretensiones por encima de la tensión nominal del sistema. La regulación de tensión puede oscilar hasta el 10% de la tensión nominal, conforme a las normas vigentes. Por ejemplo, en los esquemas TN-C y TN-S,

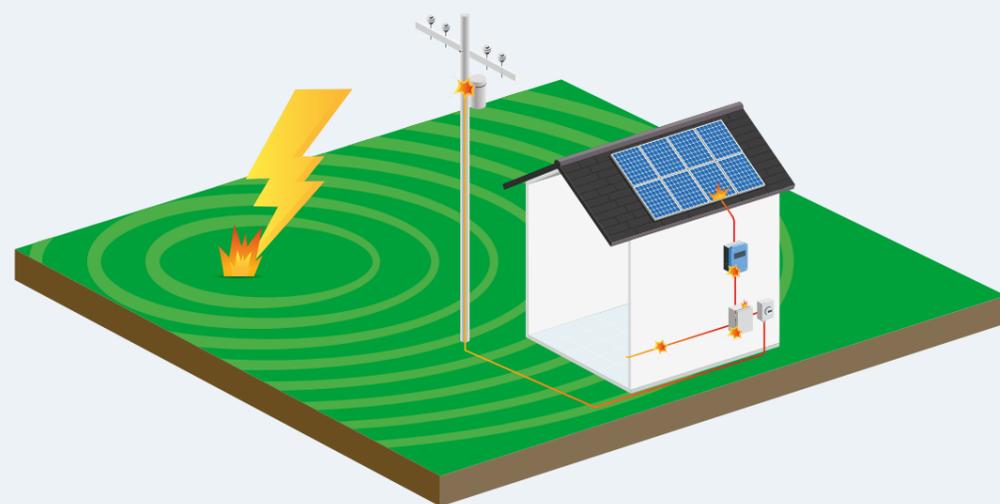


Figura 15 - Descarga atmosférica indirecta

los mayores valores ocurrirá en los casos de ruptura del neutro y pueden alcanzar el valor de la tensión fase-fase, con posibilidad de aumento del 10% debido a la regulación de la red, ver Figura 17.

En los sistemas TT e IT, los mayores valores se deben a las faltas en la red de media o alta tensión, donde la circulación de corriente de cortocircuito por el sistema de puesta a tierra del transformador puede llevar a una sobretensión temporal de hasta 1200V, que es añadida a la tensión de servicio.

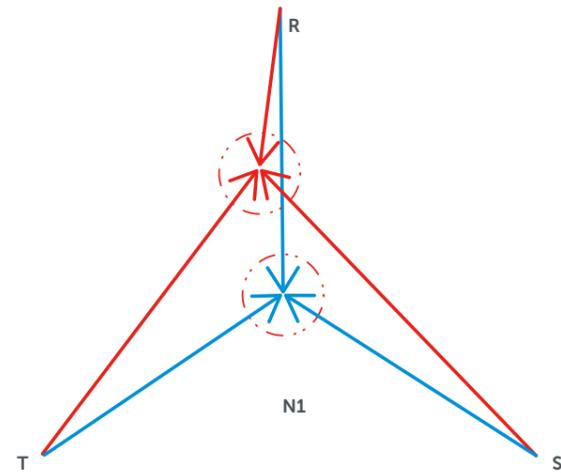


Figura 17- Desequilibrio en un sistema trifásico causado por el rompimiento de neutro.

## PUESTA A TIERRA Y EQUIPOTENCIALIZACIÓN

En la práctica, la equipotencialización busca reducir las diferencias de potencial que pueden ocurrir en un sistema de energía. Principalmente en plantas FV mayores, donde se utilizan varios módulos fotovoltaicos, la equipotencialización es de suma importancia, pues, arcos eléctricos pueden ser generados y mantenidos con cierta facilidad debido a los

altos valores de tensión continua. Para evitar las chispas entre las estructuras del sistema fotovoltaico y el SPDA, se debe mantener la distancia de seguridad "S", o, si es impracticable, equipotencializar las estructuras. En la esfera de equipotencialización, es de suma importancia que la puesta a tierra del sistema FV sea interconectada al sistema de puesta a tierra principal de la edificación.

Además de la equipotencialización, un sistema de puesta a tierra eficiente es importante para que las medidas de protección contra sobretensiones generadas por descargas atmosféricas directas sean eficaces en sistemas fotovoltaicos. La correcta aplicación de las normas vigentes alineada a las buenas prácticas garantiza que el sistema esté dotado de baja impedancia a la tierra.

## PROTECCIÓN CONTRA PICOS ELÉCTRICOS

### DPS – DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN CONTRA PICOS

Diariamente, miles de picos eléctricos se disparan contra los equipos conectados a las redes de distribución de energía, causando reducción del tiempo de vida útil o incluso la quema instantánea de estos equipos.

Entre las más comunes anomalías de la red de distribución de energía eléctrica están los picos eléctricos, que representan más del 88% del total de anomalías, siendo las descargas atmosféricas los eventos capaces de dañar con cierta facilidad los equipos eléctricos y electrónicos.

Los equipos que utilizan energía, ya sea en la

alimentación o comunicación, poseen un nivel de soportabilidad a los impulsos transitorios. Las normas pertinentes a este caso dictan la compatibilidad mínima necesaria que cada equipo debe tener, siendo esta soportabilidad ligada directamente al ambiente al cual el equipo está instalado, es decir, a qué tipos de brotes este equipo está expuesto. Como sabemos, las sobretensiones transitorias, principalmente generadas por descargas atmosféricas, no poseen un valor único, exacto, y sí, pueden asumir valores bajos, soportados por los equipos eléctricos y electrónicos, o valores extremadamente altos que son capaces de dañar los equipos instantáneamente.

En esta óptica entra el DPS, con la función de limitar las sobretensiones y desviar las corrientes generadas por los brotes eléctricos.

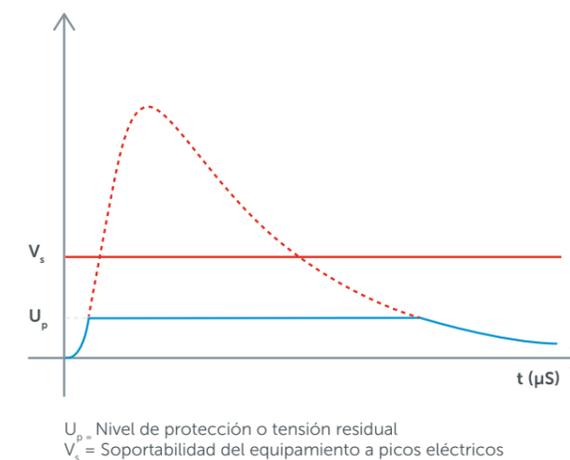


Figura 18 - Compatibilidad en la protección contra sobretensiones

Una relación entre la protección del DPS y el equipo protegido es necesaria para que la medida de protección sea eficaz, es decir, el DPS debe limitar la sobretensión a valores soportados por los equipos protegidos. La Figura 18 ilustra, en el color rojo una línea discontinua que sugiere el pico eléctrico, la línea en el color verde representa

la soportabilidad del equipo, siendo este por ejemplo un variador, y la línea púrpura el nivel de protección provisto por el DPS.

Algunos parámetros de rendimiento deben ser informados en la etiqueta del producto, conforme la Figura 19.

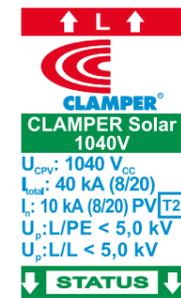


Figura 19 - Etiqueta del Clamper Solar 1040V.

Los parámetros presentados son:

- $U_{cpv}$  – Tensión máxima de operación continua, es la tensión que el DPS soporta en régimen continuo;
- $I_{m\acute{a}x}$  – Corriente máxima soportada por el DPS en forma de onda 8/20 $\mu$ s;
- $I_n$  – Corriente nominal soportada por el DPS en la forma de onda 8/20 $\mu$ s.
- $U_p$  – Nivel de protección, tensión máxima en la que el DPS limita el pico.

El valor  $U_p$  es de extrema importancia en la especificación del DPS correcto para proteger los sistemas fotovoltaicos. Este valor debe ser inferior a la compatibilidad del equipo protegido, es decir, el DPS limitará la sobretensión a un valor soportado por el equipo.

Los dispositivos de protección contra sobretensiones eléctricas, dedicados a la protección en redes de energía eléctrica, se clasifican en tres categorías, según su aplicación. Los picos en forma de onda 10/350 $\mu$ s requieren protectores clase I, es decir, DPS con capacidad

de drenar parte de la corriente generada entre nube-suelo, descarga atmosférica directa.

La protección de clase I se utiliza habitualmente en tableros primarios, conectados al sistema principal de puesta a tierra.



Figura 20 - DPS Clase I - Línea SCL.

Los DPS clase II se aplican para la protección contra sobretensiones eléctricas de menor energía, picos inducidos por descargas atmosféricas indirectas o incluso picos generados por conmutaciones de grandes máquinas inductivas - picos con forma de onda de 8/20µs.



Figura 21 - DPS Clase II - Línea CLAMPER Solar

La clase III de DPS se aplica en una protección fina, hecha cerca del equipo eléctrico o electrónico. El valor de tensión residual generado por el DPS debe ser menor

que la soportabilidad del equipo protegido. Formas de conexión - línea DC.



Figura 22- DPS Clase III - Línea Serie 700

### FORMAS DE CONEXIÓN - LÍNEA DC

La protección contra sobretensiones eléctricas en sistemas FV puede aplicarse de diferentes maneras. Actualmente, están dispuestos tres tipos básicos de conexión de los DPS a los sistemas aislados: conexión tipo estrella, delta o en modo común. La combinación entre los modos puede ser aplicada, dependiendo de la ocasión analizada.

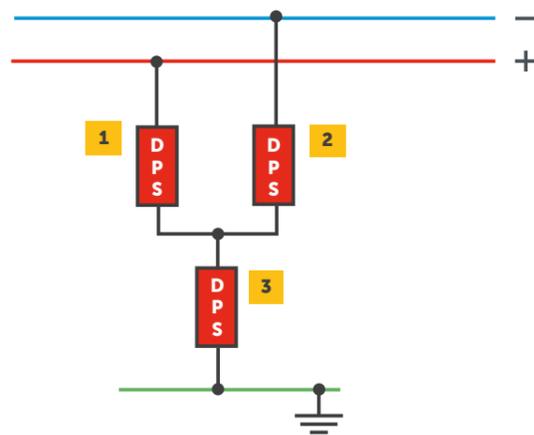


Figura 23 - Conexión tipo estrella.

### » Sistema con Polos Aislados de Tierra

La conexión tipo estrella en sistemas FV con polos no conectados a tierra es hecha por tres DPS, como muestra la Figura 23.

La suma de los valores de  $U_{cpv}$  de los DPS1 con 3, 1 con 2 y 2 con 3 debe ser superior al valor  $U_{ocmax}$ , tensión entre los polos positivo y negativo del arreglo. Esta conducta garantizará que los DPS no conduzcan corrientes innecesarias y, consecuentemente, no compromete la operatividad de los mismos.

La Figura 24 muestra un ejemplo de producto adecuado para la instalación en sistema fotovoltaico, preparado para conexión tipo estrella.

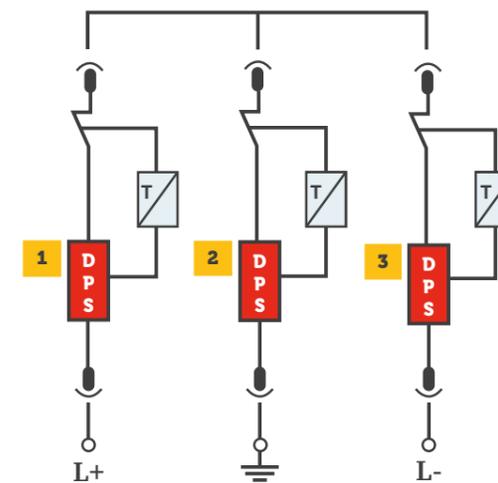


Figura 24 - DPS en conexión estrella

En la conexión en modo común detallado en la Figura 25, debe tenerse en cuenta la soportabilidad de los equipos a las sobretensiones entre el polo positivo y negativo, una vez que la tensión residual a ser establecida entre los polos positivo y negativo, en la operación de los DPS, será la suma de las tensiones residuales de los DPS1 y DPS2.

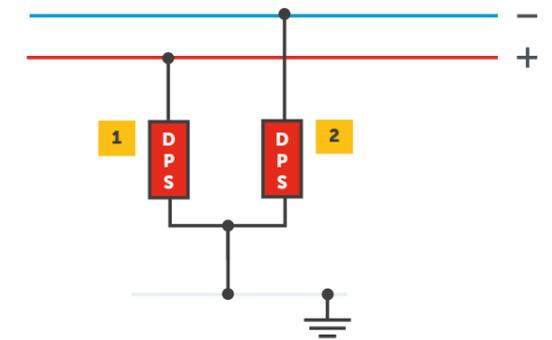


Figura 25 - Conexión en modo común

La clásica conexión delta, que se muestra en la Figura 26, utiliza dos modos de conexión directa, modo común - conexión del DPS entre el polo y la puesta a tierra - y el modo diferencial - conexión entre los polos.

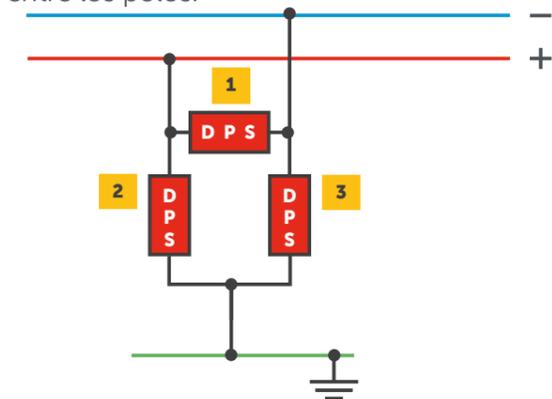


Figura 26 - Conexión delta.

En esta forma de conexión, en delta, la tensión  $U_{cpv}$  de los DPS deberá ser superior a la tensión  $U_{ocmax}$ .

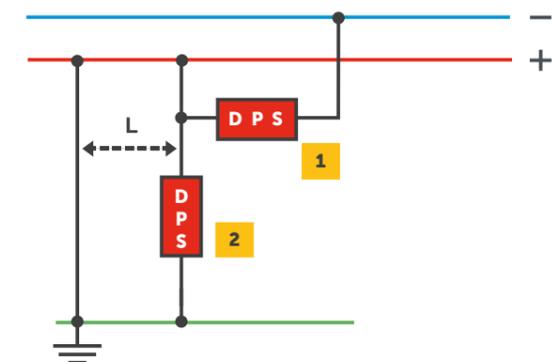


Figura 27 - Conexión en un sistema con un polo conectado a tierra

» Sistema con uno de los polos conectados a tierra

En un sistema donde uno de los polos es conectado a tierra, el uso de DPS entre el polo positivo y el negativo y otro DPS entre el polo conectado a tierra y la barra de tierra local se hace necesaria (Figura 27).

El DPS2 puede suprimirse si la conexión del DPS1 se ejecuta en la misma barra de puesta a tierra del polo, o si la distancia (L) es inferior a 1m. El DPS1, conectado en modo transversal, debe tener una tensión nominal superior a la tensión máxima del sistema, tensión entre el polo positivo y negativo.

» FORMAS DE CONEXIÓN - LÍNEA AC

Los DPS deben instalarse en todos los cables y servicios metálicos que no se conecta directamente a los límites entre zonas de protección. Este principio vale para fases, neutro, cables de telecomunicación y blindajes de cables.

» Sistemas TN-C

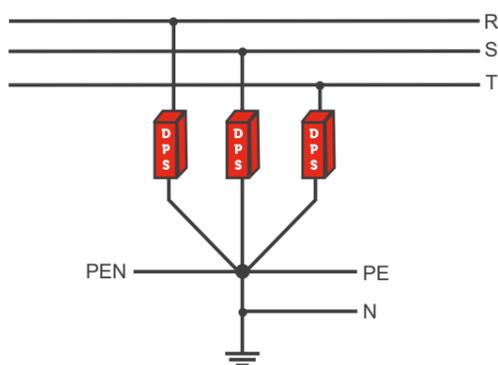


Figura 28 - Conexión de DPS en sistemas TN-C.

Para sistemas TN-C, la Figura 28 demuestra la forma de conexión del DPS donde adentra la instalación tres fases y el conductor PEN -

combinación entre conductor de protección y conductor de neutro.

» Sistemas TN-S e TT

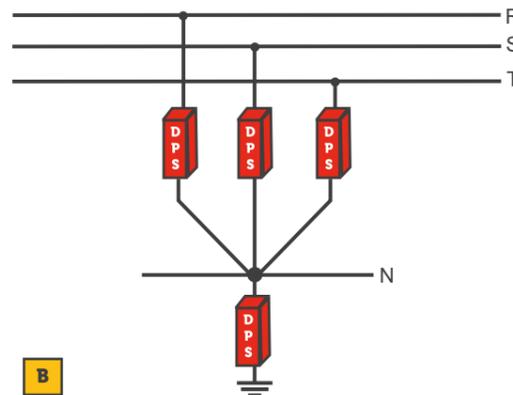


Figura 29 - Conexión de DPS en sistemas TN-S y TT

Los sistemas TN-S y TT poseen distintos conductores de neutro y tierra. La Figura 29 ilustra la forma adecuada de instalación.

Se debe resaltar que el DPS instalado entre neutro y PE (Figura 29), debe poseer capacidad para drenar la corriente de pico total, suma de las capacidades de los DPS instalados en las fases y la del propio neutro. Tensiones de hasta 1,2kV pueden ser percibidas entre el conductor neutro y el conductor tierra para este tipo de aplicación, de esta forma, es importante que el DPS entre el conductor neutro y puesta a tierra posea tecnología a base de centelleador.

» ALERTAS DE INSTALACIÓN

Aunque la instalación del dispositivo de protección es relativamente simple, algunos cuidados deben ser seguidos para que la protección alcance el desempeño esperado. El evento de pico eléctrico ocurre en alta frecuencia, algunos cientos de kHz. Un conductor eléctrico, cuando se utiliza en redes de corriente alterna de baja frecuencia, 50-60 Hz, tiene baja impedancia. Sin embargo,

cuando este mismo conductor es sometido a una corriente de sobretensión eléctrica, corriente en alta frecuencia, la impedancia Z del conductor que era baja empieza a ser relevante, o sea, en otras palabras, tendrá una elevada caída de tensión sobre el mismo. Para efectos de cálculo, cuando no hay datos, se puede asumir 1kV/m de cable.

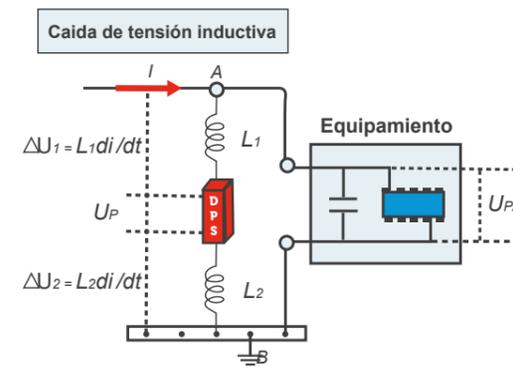


Figura 30 - Resto de tensión sobre conductores eléctricos

La tensión, a la cual el equipo será sometido en el instante del evento de pico, es la suma de las caídas de tensiones del circuito del DPS, o sea,  $\Delta U_{TOTAL} = \Delta U_{L1} + \Delta U_{L2} + U_p$ . De esta forma,

se asume que la suma de la longitud de L1 + L2 no debe exceder de 0,5m. Los conductores L1 y L2 deben aplicarse lo más rectilíneo posible para evitar un aumento de la impedancia del circuito. Los conductores para aplicación en DPS clase I deben poseer, por supuesto, sección transversal de al menos 16mm<sup>2</sup> y 4mm<sup>2</sup> para aplicación en clase II.

» FINAL DE VIDA ÚTIL

Los dispositivos de protección contra sobretensiones, que poseen tecnología de protección basada en elementos que tienden al cortocircuito cuando alcanzan el final de vida útil, como por ejemplo el Varistor, deben poseer protección que garantice la desconexión segura del DPS, independiente de la condición

de operación del arreglo fotovoltaico.

El apagador del DPS desarrollado para actuación en redes de corriente alterna puede no ser eficaz en redes de corriente continua, de esta forma, puede causar daños a los equipos o incluso la destrucción total del sistema por incendio. Esta situación ocurre porque los arcos voltaicos generados por corriente continua poseen comportamiento diferente de los arcos producidos por corriente alterna. El arco voltaico generado por la corriente alterna necesita pequeños espaciamientos para ser extinguido, sin embargo, arcos generados por corriente continua tienden a la necesidad de mayores distancias para ser extinguidos. Por ejemplo, para extinción de arcos con 400Vca la distancia básica es de aproximadamente 5mm, sin embargo, para extinción de arcos en corriente continua de 600V son necesarios 100mm. Por lo tanto, surge la necesidad de utilizar DPS desarrollados especialmente para aplicación en redes fotovoltaicas. Los dispositivos de protección contra sobretensiones fabricados de acuerdo con las normas EN50539-11 o IEC61643-31 poseen elementos que garantizan la desconexión del DPS incluso en corrientes bajas, elevando así el nivel de seguridad de las instalaciones fotovoltaicas.

» COORDINACIÓN ENTRE LOS DISPOSITIVOS - DPS E INVERSOR

Tecnologías de protección contra sobretensiones eléctricas, centelleadores, diodos TVS (Transient Voltage Suppressor o Transorb) y Varistores poseen tiempos de respuesta diferentes. Aún dentro de la tolerancia del tiempo de actuación de los DPS, especificado por los fabricantes, puede haber una conducción indebida de la protección

aguas abajo - protección intrínseca al inversor - al DPS primario.

Siendo el pico eléctrico un evento que ocurre en alta frecuencia, en el orden de algunos cientos de kHz, impedancias entre las protecciones pueden ser agregadas a fin de coordinar el tiempo de actuación de éstas. Generalmente la inductancia inherente de los propios conductores de conexión entre las partes ya es suficiente para realizar la coordinación entre las protecciones, pero si la situación anterior no es suficiente, la inserción de un módulo de coordinación entre las protecciones puede ser requerida.

### PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS INDIRECTAS

En el caso de sistemas donde la probabilidad de incidencia de una descarga directa es baja, sólo se puede instalar protección contra los picos inducidos por las descargas que inciden en las proximidades de los paneles y también de las líneas de alimentación.

La ubicación y tipo de los DPS para protección contra sobretensiones provocadas por descargas atmosféricas cercanas debe ser conforme a lo detallado en la Figura 33.

Item	Modelo	Clase	Máxima tensión de operación continua $U_{cpv} / U_c$	Corriente de descarga total $I_{Total} (8/20\mu s)$	Corriente de descarga nominal $I_n (8/20 \mu s)$	Nivel de protección $U_p L+/L-$
1 e 4	CLAMPER Solar 150 V <sub>cc</sub> 40kA	II	150 V <sub>cc</sub>	40 kA	10 kA	0,8 kV
	CLAMPER Solar 300 V <sub>cc</sub> 40kA	II	300 V <sub>cc</sub>	40 kA	10 kA	1,6 kV
	CLAMPER Solar 600 V <sub>cc</sub> 40kA	II	600 V <sub>cc</sub>	40 kA	10 kA	2,4 kV
	CLAMPER Solar 1000 V <sub>cc</sub> 40kA	II	1000 V <sub>cc</sub>	40 kA	10 kA	4,0 kV
2	FRONT 275 V 20kA	II	275 V <sub>RMS</sub>	20 kA	10 kA	1,2 kV
3	FRONT 275 V 20kA	II	275 V <sub>RMS</sub>	20 kA	10 kA	1,2 kV

Tabla 2 - Modelos y especificaciones de DPS sugeridos para protección contra descargas atmosféricas indirectas

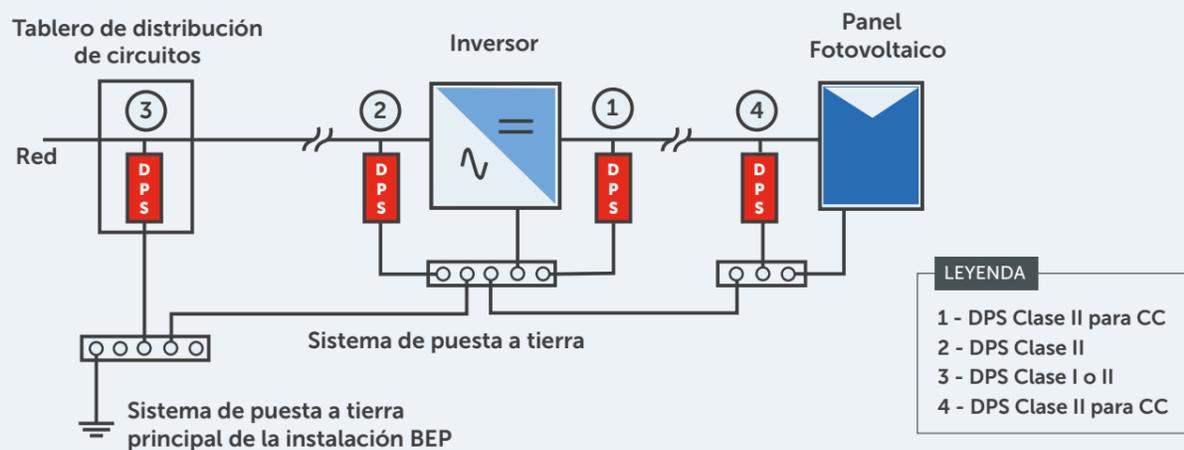


Figura 31 - Esquema de localización de DPS sin SPDA.

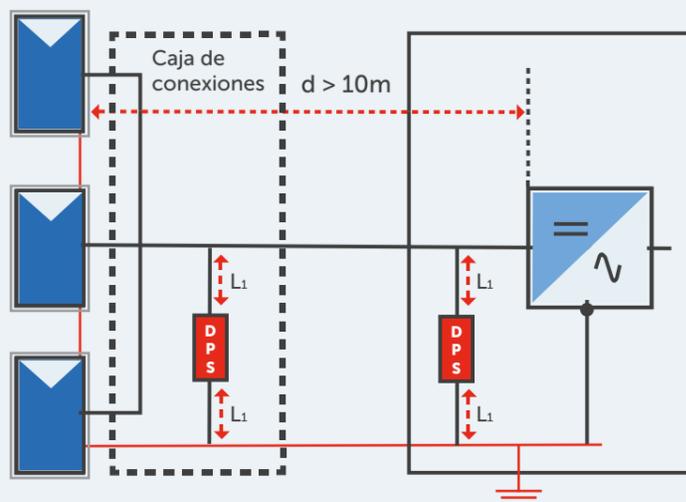


Figura 32 - Esquema de conexión de DPS del lado de CC del sistema de generación

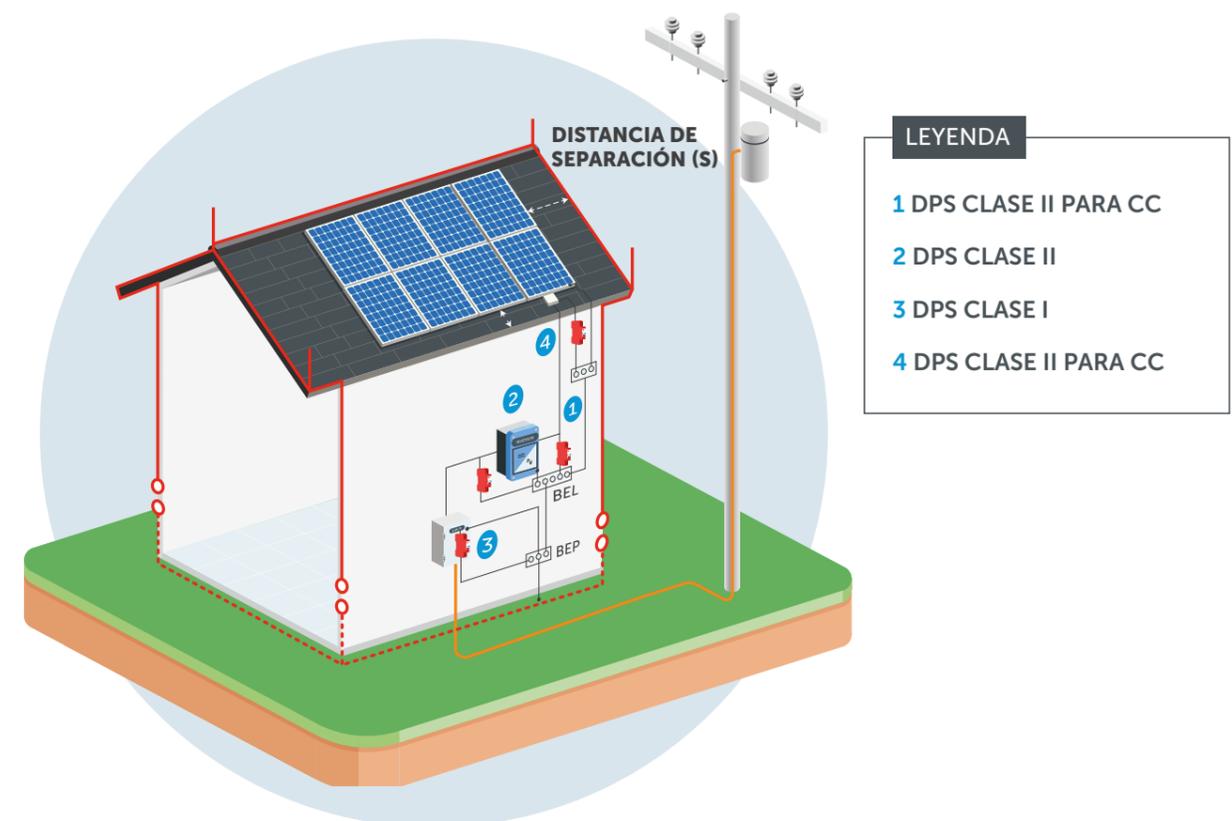


Figura 33 - Esquema de conexión de los DPS en un SFV y no conectado al SPDA

En este ejemplo se consideró que la edificación no posee SPDA.

El DPS4 no será necesario si la distancia entre el inversor y el panel fotovoltaico es inferior a 10m y el nivel de protección  $U_p$  del DPS1 es menor o igual a  $0,8U_w$  o si el nivel de protección  $U_p$  del DPS1 es menor o igual a  $0,5U_w$ .

La Tabla 2 sugiere modelos de DPS a ser utilizados en esa aplicación.

### MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN EDIFICACIÓN CON SPDA EXTERNO Y NO CONECTADOS AL SPDA

La Figura 33 ilustra un sistema con módulos fotovoltaicos instalados en una edificación con SPDA y la ubicación y tipo de DPS indicados para este caso, en el cual los módulos fotovoltaicos no están conectados al SPDA.

Incluso con la separación eléctrica entre los componentes del SPDA y los módulos del sistema fotovoltaico, una porción de la corriente de la descarga será inducida y conducida vía líneas de alimentación eléctrica. En este caso, el DPS3 deberá ser Clase I, es decir, con capacidad para drenar una parte de la corriente de la descarga. El DPS2 no será necesario si el inversor se encuentra junto al tablero de distribución de circuitos conectado a la misma barra de tierra (PE) del tablero, con una longitud de cable inferior a 0,5m y si el DPS1 es Clase I/II, nivel de protección adecuado para la protección del inversor.

La Tabla 3 sugiere modelos de DPS a ser utilizados en esa aplicación.

Item	Modelo	Clase	Máxima tensión de operación continua $U_{cpv} / U_c$	Corriente de descarga total $I_{Total} (8/20\mu s)$	Corriente de descarga nominal $I_n (8/20 \mu s)$	Nivel de protección $U_p$ L+/L-
1 y 4	CLAMPER Solar 150 V <sub>cc</sub> 40kA	II	150 V <sub>cc</sub>	40 kA	10 kA	0,8 kV
	CLAMPER Solar 300 V <sub>cc</sub> 40kA	II	300 V <sub>cc</sub>	40 kA	10 kA	1,6 kV
	CLAMPER Solar 600 V <sub>cc</sub> 40kA	II	600 V <sub>cc</sub>	40 kA	10 kA	2,4 kV
	CLAMPER Solar 1000 V <sub>cc</sub> 40kA	II	1000 V <sub>cc</sub>	40 kA	10 kA	5,0 kV
2	FRONT 275 V 40kA	II	275 V <sub>RMS</sub>	20 kA	10 kA	1,2 kV
3	FRONT 275 V 12,5/60 kA	I/II	275 V <sub>RMS</sub>	60 kA	30 kA	1,3 kV

Tabla 3 - Modelos y especificaciones de DPS indicados para protección en el caso de módulos fotovoltaicos no conectados al SPDA.

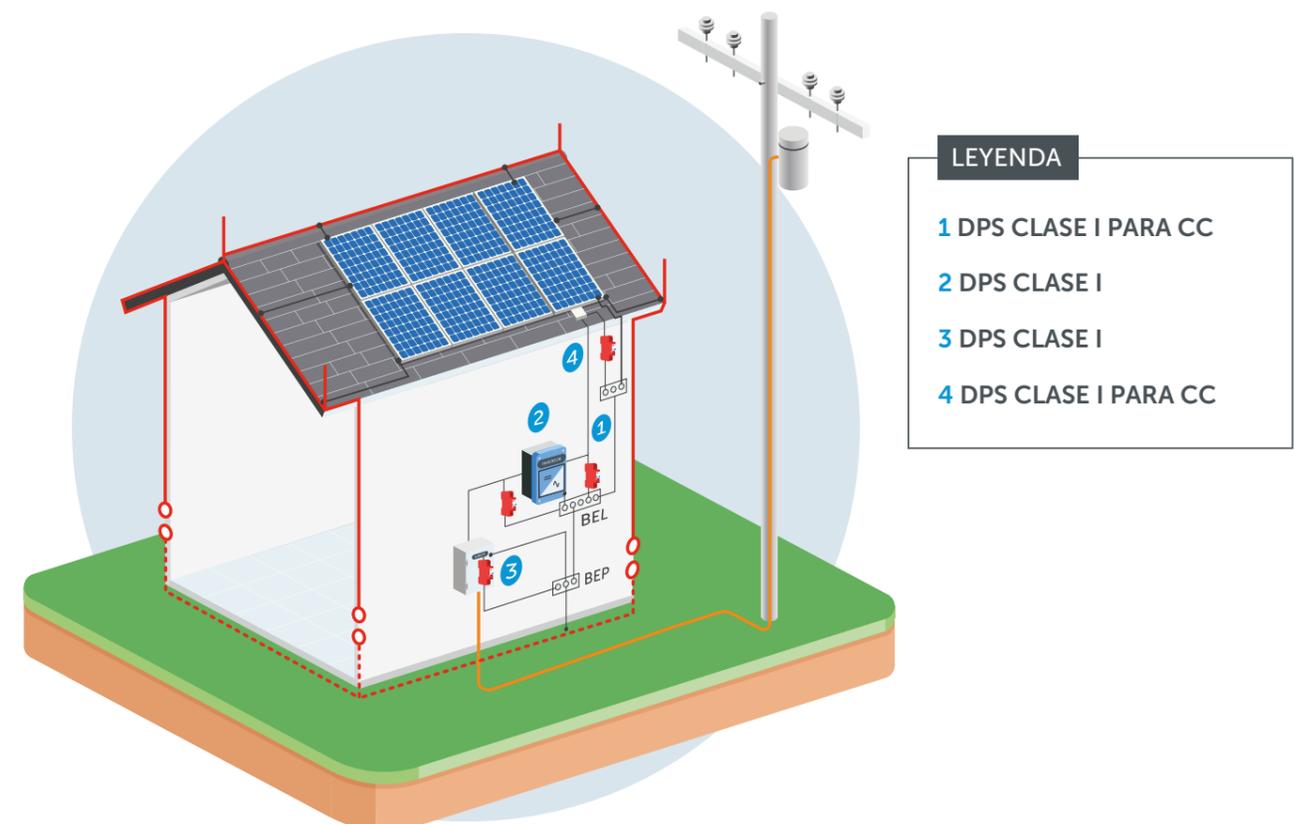


Figura 34 - Esquema de conexión de DPS en un sistema fotovoltaico con módulos conectados al SPDA.

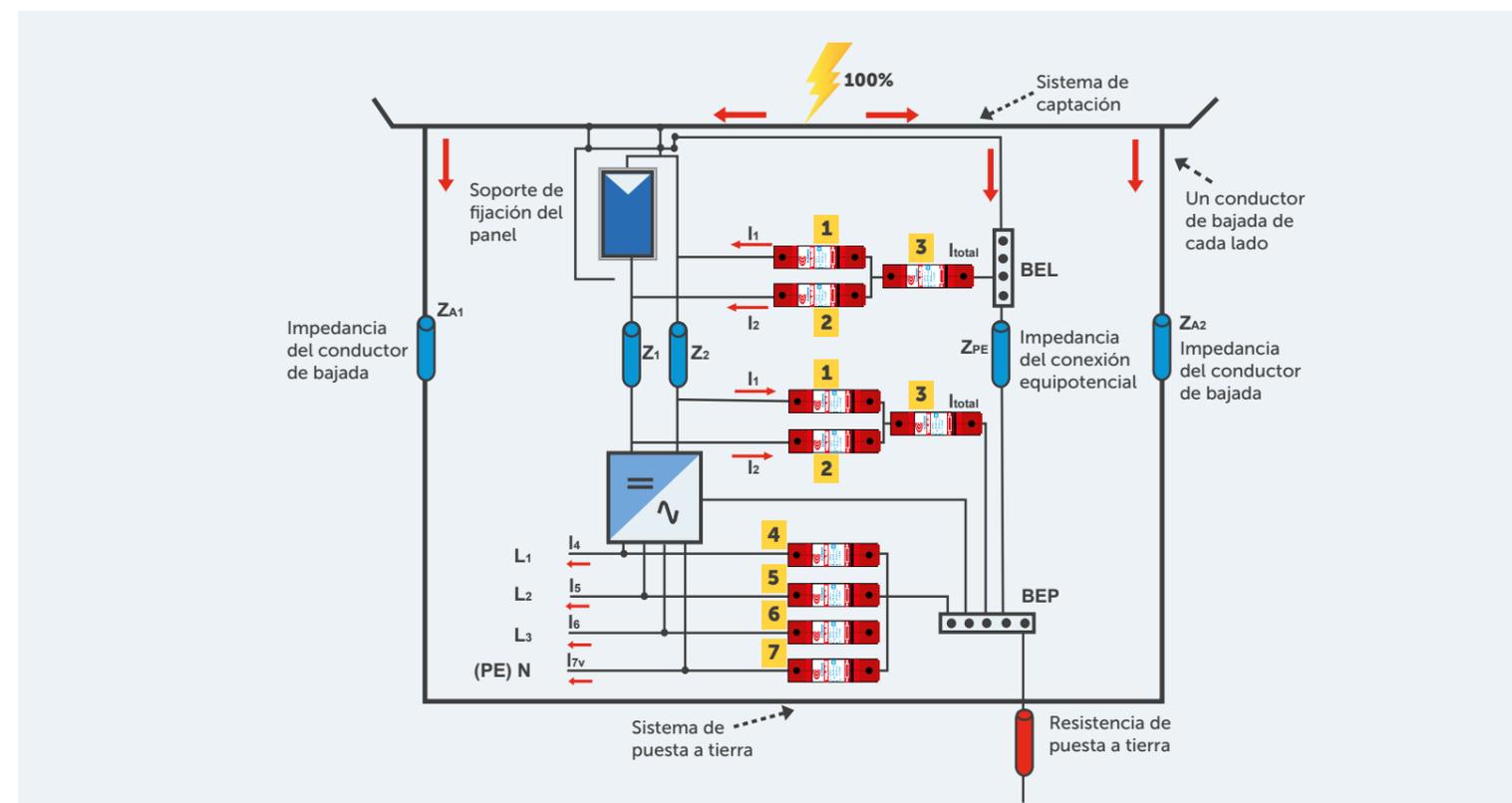


Figura 35 - Diagrama de instalación de los DPS en una estructura con dos cables de bajada del SPDA.

Nivel de protección con SPDA - Corriente de descarga		Número de conductores de bajada							
		< 4				≥ 4			
		Valores mínimos de $I_n$ para @8/20μs e $I_{imp}$ para @10/350μs para selección del DPS							
		$I_{DPS1} = I_{DPS2}$		$I_{DPS3} = I_{DPS1} + I_{DPS2} = I_{Total}$		$I_{DPS1} = I_{DPS2}$		$I_{DPS3} = I_{DPS1} + I_{DPS2} = I_{Total}$	
I	200 kA	17	10	34	20	10	5	20	10
II	150 kA	12,5	7,5	25	15	7,5	3,75	15	7,5
III y IV	100 kA	8,5	5	17	10	5	2,5	10	5

Tabla 4 - Modelos y especificaciones de DPS indicados para protección en el caso de módulos fotovoltaicos no conectados al SPDA.

### MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN EDIFICACIÓN CON SPDA EXTERNO Y CONECTADOS AL SPDA

La Figura 34 ilustra un sistema fotovoltaico instalado en una edificación con SPDA, cuyos módulos están conectados al SPDA. En esta situación, los conductores de alimentación, tanto de corriente alterna como de corriente continua, estarán en paralelo con los conductores de puesta a tierra, por lo tanto, sujetos a recibir una parte de la corriente de descarga.

La parte de la corriente que será drenada vía DPS dependerá:

- Del nivel de protección del sistema de protección de descargas atmosféricas;
- De la resistencia de puesta a tierra de la edificación;
- Del número de conductores de descenso del SPDA;
- De la distancia entre los módulos y el inversor y la barra de tierra local;
- De la impedancia del DPS (cortocircuito o limitador de tensión).

La Figura 35 muestra un ejemplo de distribución de corriente en una instalación de SPDA con dos cables de descenso.

La Tabla 4 muestra valores mínimos para corriente nominal ( $I_n$ ) y corriente de impulso ( $I_{imp}$ ), para DPS del tipo limitador de tensión, a ser instalados en las líneas de corriente continua.

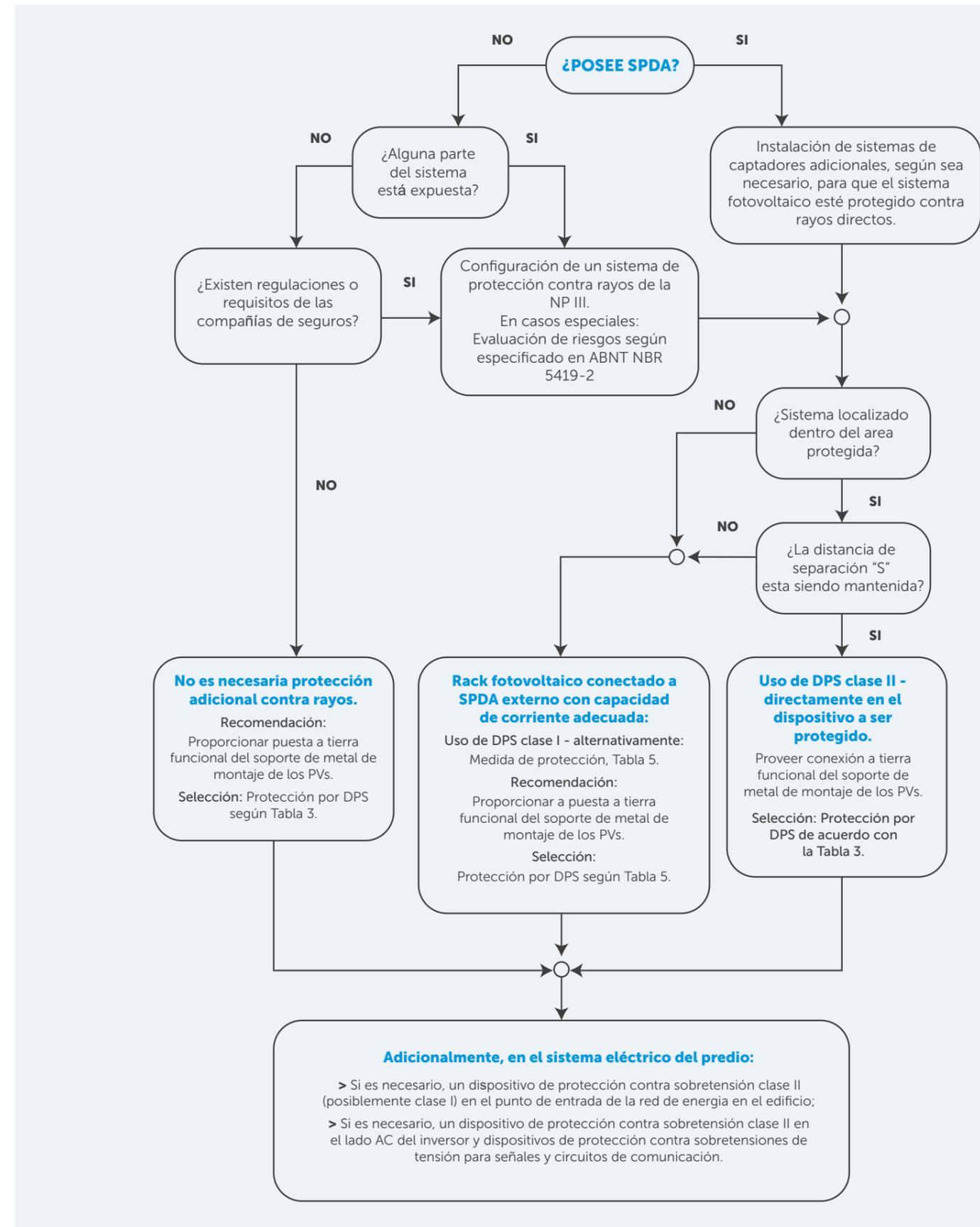
El número de cables de descenso influirá en la parte de la corriente que será desviada a través de conductores del sistema fotovoltaico.

Por ejemplo, para una instalación con SPDA Nivel de protección III, se debe utilizar DPS en los cables de corriente continua con corriente de impulso  $I_{imp}$  mínima de 5kA y corriente nominal de descarga  $I_n$  de 8,5 kA.

Como los conductores estarán en paralelo con los conductores de puesta a tierra, los DPS deben ser Clase I.

El DPS2 de la Figura 34 no será necesario si el inversor se encuentra junto al tablero de distribución de circuitos conectado a la misma barra de tierra del tablero con una longitud de cable inferior a 0,5m y si el DPS 1 es Clase I/II, nivel de protección adecuado para la protección del inversor.

La Tabla 5 presenta sugerencias de modelos de DPS a ser aplicados, considerando Nivel de Protección III e instalación de SPDA con hasta 4 bajadas.



Flujograma - Clase DPS en línea CC

Item	Modelo	Clase	Máxima tensión de operación continua $U_{cpv} / U_c$	Corriente de descarga total $I_{Total} (8/20\mu s)$	Corriente de descarga nominal $I_n (8/20 \mu s)$	Nivel de protección $U_p$ L+/L-
1 y 4	CLAMPER Solar 150 V <sub>cc</sub> 5/60 kA	I/II	150 V <sub>cc</sub>	60 kA	20 kA	1,2 kV
	CLAMPER Solar 300 V <sub>cc</sub> 5/60 kA	I/II	300 V <sub>cc</sub>	60 kA	20 kA	3,0 kV
	CLAMPER Solar 600 V <sub>cc</sub> 5/60 kA	I/II	600 V <sub>cc</sub>	60 kA	20 kA	2,5 kV
	CLAMPER Solar 1000 V <sub>cc</sub> 5/60 kA	I/II	1000 V <sub>cc</sub>	60 kA	20 kA	5,0 kV
2	FRONT 275 V 20 kA	I/II	275 V <sub>RMS</sub>	60 kA	30 kA	0,8 kV
3	FRONT 275 V 12,5/60 kA	I/II	275 V <sub>RMS</sub>	60 kA	30 kA	0,8 kV

Tabla 5 - Modelos indicados y especificaciones de DPS para protección contra descargas directas, en el caso de la estructura de los módulos fotovoltaicos conectada al SPDA.

### SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GRAN PORTE - USINAS FOTOVOLTAICAS (UFV)

Los sistemas fotovoltaicos de gran tamaño - Usinas Fotovoltaicas (UFV) - normalmente poseen SPDA y malla de puesta a tierra, lo que reduce los valores de la corriente de descarga a ser drenadas por los DPS.

La parte de la corriente de descarga que circula por el DPS depende:

- Del nivel de protección del SPDA;
- De la resistencia de puesta a tierra (resistencia de puesta a tierra de alto valor resultará en corrientes más altas para los DPS instalados en las líneas de corriente continua);
- Del reticulado de la malla de puesta a tierra;
- De la impedancia del DPS;
- Del tipo de inversor utilizado,

centralizado o distribuido.

En el caso de sistema centralizado, la corriente parcial de descarga será drenada por el DPS instalado en la línea de corriente continua. En el caso de sistema con inversores distribuidos, la corriente parcial será drenada por los DPS instalados en las líneas de corriente alterna.

La Figura 35 muestra, de forma simplificada, una usina fotovoltaica (UFV) con varios arreglos fotovoltaicos, cuyas estructuras están conectadas a la malla de puesta a tierra.

La Tabla 6 muestra valores mínimos para corriente nominal ( $I_n$ ) y corriente de impulso ( $I_{imp}$ ), tanto para DPS tipo limitador de tensión como para tipo conmutador de tensión, a ser instalados en las líneas de corriente continua.

La Tabla 7 sugiere los modelos a ser aplicados, considerando un SPDA con Nivel de Protección III-IV e instalación con hasta 4 bajadas.

Nivel de protección del SPDA - Corriente de descarga, @10/350µs	DPS conectado en las líneas de corriente continua $I_{imp}$ en kA @10/350µs, $I_n$ en kA @8/20µs						
	DPS tipo limitador de tensión				DPS tipo conmutador de tensión (Spark Gap)		
	@10/350		@8/20		@10/350		
	Cada modo* (kA)	$I_{Total}$ (kA)	Cada modo (kA)	$I_{Total}$ (kA)	Cada modo (kA)	$I_{Total}$ (kA)	
III y IV	100kA	5	10	15	30	10	20

Tabla 6 - Especificación y modelos indicados para protección contra descargas directas, SPDA conectado a la estructura de los módulos fotovoltaicos.

Item	Modelo	Clase	Máxima tensión de operación continua $U_{cpv} / U_c$	Corriente de descarga total $I_{Total} (8/20\mu s)$	Corriente de descarga nominal $I_n (8/20 \mu s)$	Nivel de protección $U_p$ L+/L-
1 e 4	CLAMPER Solar 150 V <sub>cc</sub> 5/60 kA	I/II	150 V <sub>cc</sub>	60 kA	20 kA	1,2 kV
	CLAMPER Solar 300 V <sub>cc</sub> 5/60 kA	I/II	300 V <sub>cc</sub>	60 kA	20 kA	3,0 kV
	CLAMPER Solar 600 V <sub>cc</sub> 5/60 kA	I/II	600 V <sub>cc</sub>	60 kA	20 kA	2,5 kV
	CLAMPER Solar 1000 V <sub>cc</sub> 5/60 kA	I/II	1000 V <sub>cc</sub>	60 kA	20 kA	5,0 kV
2	FRONT 275 V 20 kA	I/II	275 V <sub>RMS</sub>	60 kA	30 kA	0,8 kV
3	FRONT 275 V 12,5/60 kA	I/II	275 V <sub>RMS</sub>	60 kA	30 kA	0,8 kV

Tabla 7 - Modelos indicados y especificaciones para protección de sistemas fotovoltaicos de gran porte (Usinas Fotovoltaicas, UFV).

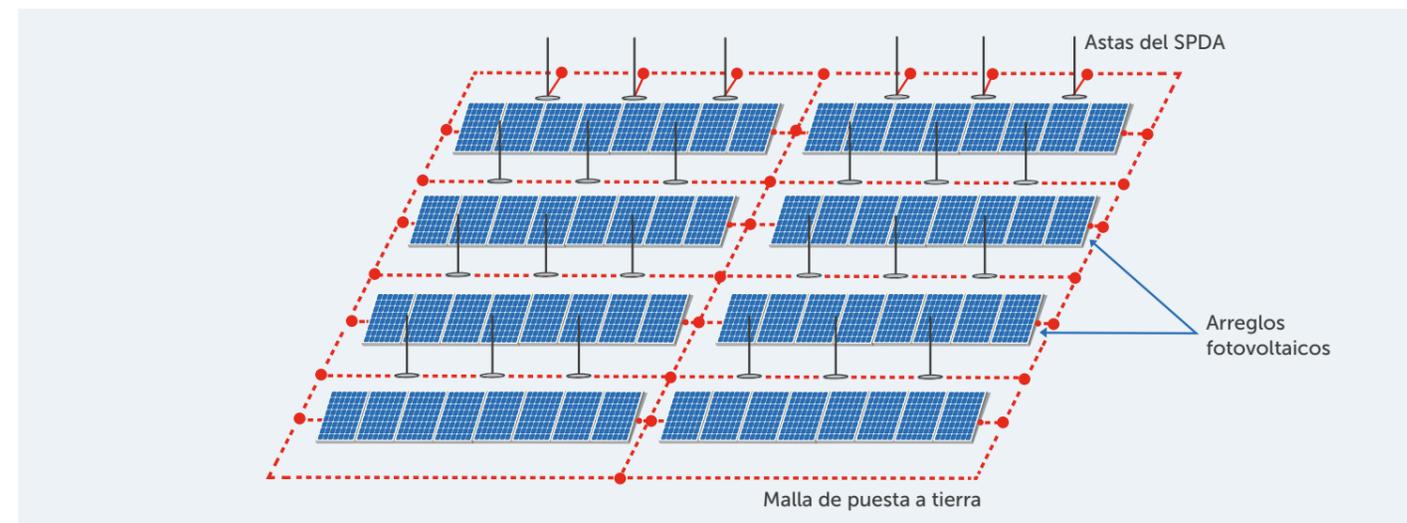


Figura 36 - Usina fotovoltaica con estructura de los arreglos conectados a la malla de puesta a tierra.

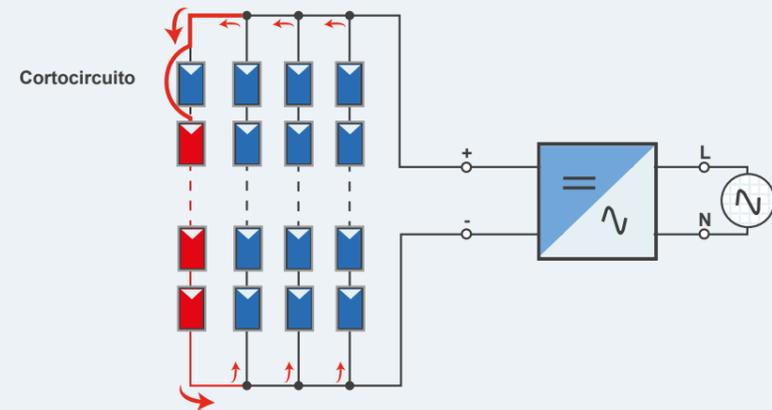


Figura 37 - Corriente inversa en SF

### STRING BOX – CAJA DE CONEXIÓN

La protección entre los módulos fotovoltaicos y el inversor está provista por la String Box (caja de unión o caja de desconexión). La String Box se puede definir como un envoltorio en el que sub-arreglos fotovoltaicos, series fotovoltaicas o módulos fotovoltaicos son conectados en paralelo, y que puede alojar dispositivos de protección y/o seccionamiento. De esta forma la función es proteger contra sobretensiones eléctricas y aislar, cuando sea necesario, el circuito para impedir accidentes eléctricos, tales como los cortocircuitos y picos eléctricos.

Los sistemas FV de mayor tamaño poseen varios módulos fotovoltaicos conectados en serie y, así, combinados en paralelo, para aumentar la potencia suministrada por el circuito.

Un evento de cortocircuito en una o varias celdas del panel fotovoltaico puede generar corrientes inversas en el circuito, propiciando un efecto en cadena de quema de fotocélulas y, consecuentemente, calentamiento excesivo, creando una situación de riesgo y potencial accidente. La Figura 37 muestra el flujo de corriente indebidamente generado.

El uso de fusibles en serie con cada serie de placas FV evita que las corrientes reversas circulen por la serie dañada. La corriente de ruptura del fusible debe ser superior a la corriente nominal de la serie e inferior a la corriente de cortocircuito de la misma. De esta forma, el uso de fusibles en la Strings Box debe ser efectivo cuando el circuito tiene más de 2 series en paralelo.

La CLAMPER solar SB 1000V tiene varias posibilidades en la cantidad de entradas y salidas, como una o dos entradas y una salida, una o dos entradas y dos salidas y tres o cuatro entradas y dos salidas. La opción de señalización remota hace que la String Box, principalmente cuando se aplica en grandes plantas, tenga sus DPS monitoreados remotamente, en cuanto al final de vida útil, a través de supervisión. La SR - señalización remota - es realizada por un contacto seco libre de potencial eléctrico, que puede ser aplicado en varias funciones. El grado de protección IP65, incluso con la fijación de la String Box hecha por tornillos, hace que la misma pueda ser aplicada en ambientes con la presencia de chorros de agua y alto contenido de polvo, además de poseer aditivo UV, facilitando su aplicación en entornos abiertos.

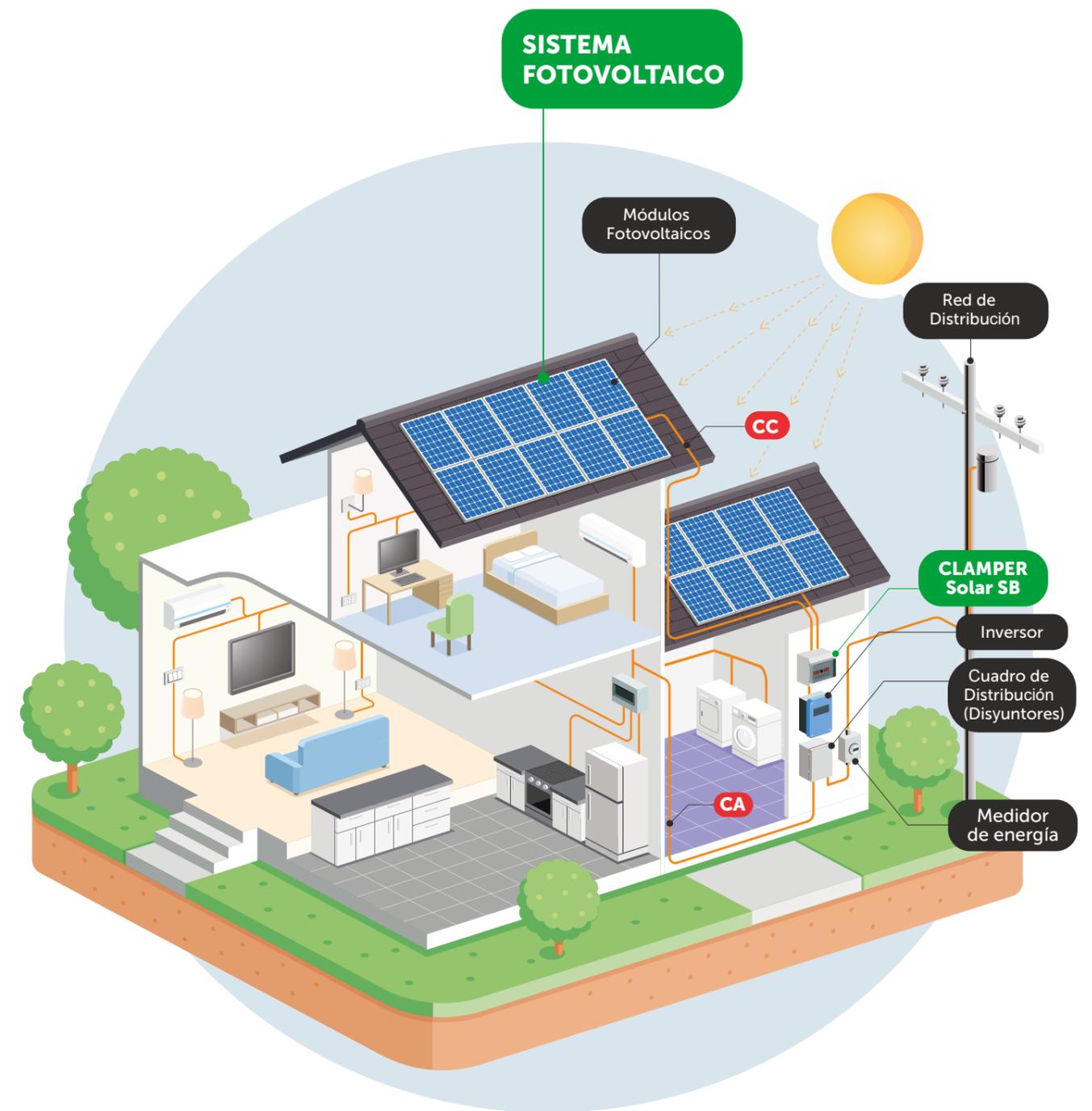


Figura 38 - Distribución básica de los elementos en un sistema FV.

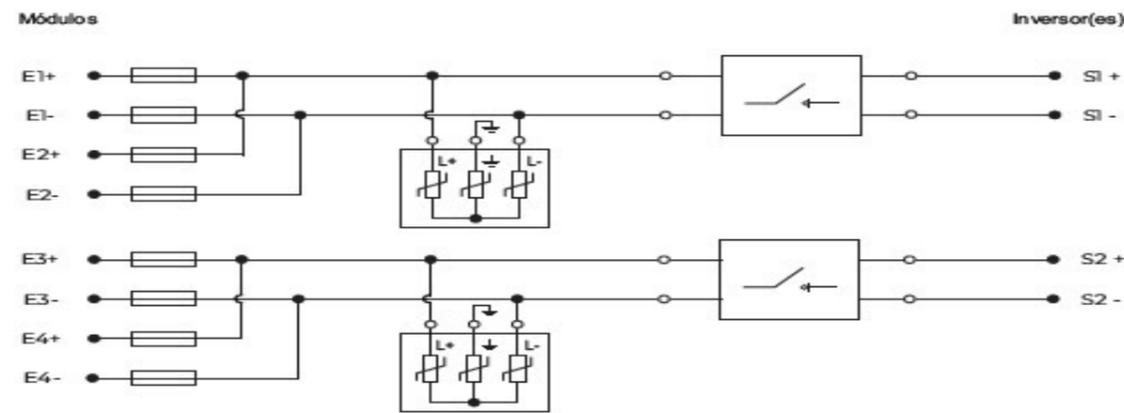


Figura 39 - Diagrama unifilar CLAMPER Solar SB 3-4E/2S

Los DPS utilizados son enchufables, posibilitan una sustitución simple, incluso con el sistema operativo. Los materiales que componen la caja de la String Box poseen características de no propagación y auto-extinción de las llamas.

Una de las situaciones facilitadoras de la CLAMPER Solar SB es poseer DPS preparados para conexión en "Y". La Figura 39 demuestra el diagrama unifilar entre DPS, fusible y llave seccionadora de la SB 3-4E/2S.

## NORMAS ABNT, IEC Y EN

Las normas y buenas prácticas que apuntan hacia la protección contra descargas atmosféricas y picos eléctricos contribuyen significativamente a la protección en sistemas fotovoltaicos. Podemos dividir las normas en varias partes, siendo algunas partes relativas a las aplicaciones de los elementos de protección en sistemas FV o requerimientos de desempeño y ensayo de estos elementos.

Para la aplicación de DPS en sistemas de energía alterna, actualmente poseemos la NBR 5410, que orienta en cuanto a las instalaciones en baja tensión, y la NBR 5419, que aborda sistemas de protección contra descargas atmosféricas. La futura norma NBR 16690

tratará de las instalaciones eléctricas de arreglos fotovoltaicos en la línea de requisitos de diseño.

Muchas empresas y proyectistas, están atentos a las normas IEC 61643-31 y EN 50539-11. La norma IEC 61643-31 es relativamente nueva, publicada en el primer semestre de 2018, sin embargo, la EN 50539-11 tiene más tiempo de mercado. Las dos normas tratan de la misma manera las pruebas y ensayos necesarios para el DPS aplicado en redes CC - sistemas fotovoltaicos. Cuando en comparación, la norma IEC 61643-31 indica una mayor cantidad de pruebas que la EN 50539-11.

Es de suma importancia subrayar que la atención a la norma ABNT IEC 61643-1 (Dispositivos de protección contra sobretensiones conectados a sistemas de distribución de energía de baja tensión) no necesariamente implica la atención a las normas para la aplicación de DPS en sistemas CC.

1 (Dispositivos de protección contra picos conectados a sistemas de distribución de energía de baja tensión) no necesariamente implica no atender a las normas para aplicación de DPS en sistemas CC.



### CLAMPER SOLAR SB 1000 V 1-2E/1S

- » Posibilidad de conexión de hasta dos series fotovoltaicas (string).
- » Salida para un inversor.



### CLAMPER SOLAR SB 1000 V 1-2E/2S

- » Posibilidad de conexión de hasta dos series fotovoltaicas (string).
- » Salida para hasta dos variadores.



### CLAMPER SOLAR SB 1000 V 3-4E/2S

- » Posibilidad de conexión de hasta cuatro series fotovoltaicas (string).
- » Salida para hasta dos variadores.



WWW.CLAMPER.COM.MX



CLAMPER MÉXICO

BLVD, MIGUEL DE CERVANTES SAAVEDRA 169-PISO12, GRANADA, MIGUEL  
HIDALGO, 11520 | CDMX | MÉXICO.

