



Guía para el uso de los protectores contra sobretensiones

2013



**Guía para el uso
de los protectores
contra sobretensiones
2013**

Prefacio

Este texto se escribió a 4, 8, ... 1 132 manos, es decir, junto con los clientes con los que Finder se ha reunido, para proveer información sobre el funcionamiento y la instalación correcta de un SPD en una instalación industrial, civil o fotovoltaica. El lenguaje empleado es intencionalmente discursivo, pues pretende transmitir conceptos complicados de la forma más sencilla posible. Hay algunos paréntesis técnicos para profundizar ciertos temas, incluyendo algo de matemáticas, pero nada a lo que se deba temer...

Aunque se presenta la Variante 3 de la norma CEI 64/8 y la prEN 50539-11 para el sector fotovoltaico, este texto no pretende constituir una guía normativa. Para ello y para profundizar ulteriormente sobre ciertos temas, se remite a la lectura de los textos indicados en la bibliografía.

1 - El origen del rayo	página 1
Rayo descendente negativo	página 1
Rayo descendente positivo	página 3
Rayos ascendentes	página 3
¿Por qué hay que protegerse contra las sobretensiones?	página 3
2 - Tipos de impacto	página 4
Principios generales	página 5
Nivel de inmunidad, tensión soportada a impulso y daño económico	página 8
Las sobretensiones	página 8
Las sobretensiones de maniobra	página 9
Las sobretensiones de origen atmosférico	página 9
Impacto directo e indirecto	página 9
Sobretensiones inducidas	página 10
Impacto directo	página 11
3 - Funcionamiento de un SPD	página 12
Tipologías de SPD	página 14
El descargador de chispas	página 14
Principio de funcionamiento	página 15
Corriente subsiguiente	página 16
El varistor	página 17
4 - Datos de la placa y aplicaciones prácticas de los SPD	página 20
Surge Protective Device.... SPD en la práctica	página 22
5 - Técnicas de instalación	página 24
Distancia de protección	página 28
El sistema de SPD y la coordinación energética	página 30
Sistemas de seguridad: fusibles, interruptores magnetotérmicos y magnetotérmicos diferenciales	página 32
6 - Aplicaciones industriales	página 35
Sistema TN	página 35
Sistema IT	página 37
Sistema TT	página 39
Modos de protección de los SPD	página 42
7 - Aplicaciones civiles	página 43
SPD de MT	página 43
¿SPD antes o después del diferencial?	página 44
CEI 64-8/3	página 45
8 - Instalaciones fotovoltaicas: protección contra rayos y sobretensiones	página 49
Impacto directo	página 49
Impacto directo para instalación FV a tierra:	página 50
Instalación fotovoltaica en el techo de un edificio:	página 50
Impacto indirecto	página 50
Medidas de protección contra sobretensiones. Protección LADO AC	página 51
Medidas de protección contra sobretensiones. Protección LADO DC	página 53
Medidas preventivas	página 55
Protección de los SPD: ¿fusibles o magnetotérmicos? prEN 50539-1 1	página 56
Ejemplos de aplicación - Instalación fotovoltaica doméstica, inversor en el desván	página 58
Ejemplos de aplicación - Instalación fotovoltaica doméstica, inversor en el semisótano	página 59
Ejemplos de aplicación - Instalación fotovoltaica de potencia pequeña en el tejado	página 60
Ejemplos de aplicación - Instalación fotovoltaica a tierra	página 61
Ejemplos de aplicación - Instalación fotovoltaica de potencia mediana/grande en el tejado	página 62

1 - El origen del rayo

Los rayos son descargas eléctricas que pueden producirse durante las tormentas. Durante las tormentas, en el interior de las nubes, generalmente cumulonimbos, se produce una separación de cargas de polaridad opuesta: las cargas negativas se ubican en la parte inferior de la nube y las positivas en la parte superior.

La formación de cargas en el extremo de la nube se debe a la fricción de partículas de hielo y de agua puestas en movimiento por las corrientes ascendentes de aire caliente en el interior de la nube.

Si quisiéramos representar gráficamente la distribución de cargas, podríamos imaginar un enorme dipolo cuyo campo eléctrico termina en el suelo (Figura 1).

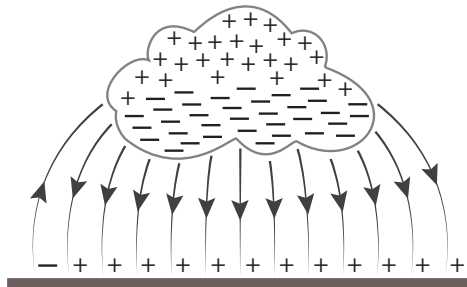


Figura 1:
distribución de cargas eléctricas en el interior
de la nube y curso del campo eléctrico

La descarga ocurre cuando la intensidad del campo eléctrico supera el valor de rigidez dieléctrica del aire que, en el caso de aire limpio y seco, equivale a 30 kV/cm. Durante las tormentas, debido a la humedad y al polvo atmosférico presente, la rigidez dieléctrica del aire se reduce a pocos kV/cm, facilitando así la descarga.

Podemos identificar tres familias de rayos:

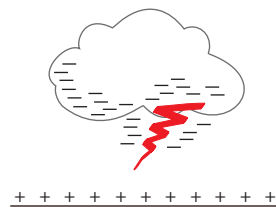
- 1) Rayo nube-nube: cuando la descarga ocurre entre dos nubes cercanas
- 2) Rayo intranube: cuando la descarga ocurre dentro de la misma nube
- 3) Rayo nube-tierra: cuando la descarga ocurre entre el suelo y la nube, independientemente del origen.

Con respecto a la clasificación de los rayos, podemos definir como "rayo descendente" al rayo que se inicia en la nube y como "ascendente" al rayo que se inicia en el suelo. También podemos clasificar los rayos por su polaridad, definida, por convención, como equivalente a la carga de la nube: así, distinguimos entre rayos positivos y rayos negativos.

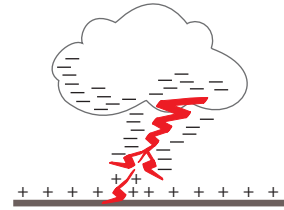
Rayo descendente negativo

Describamos el recorrido de un rayo negativo nube-tierra durante su formación. Esta tipología de rayo es la que nos resulta más interesante por ser la más frecuente. Distingamos las siguientes fases:

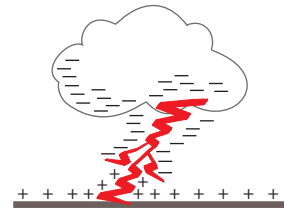
Fase 1: las cargas eléctricas se acumulan en una zona de la nube, el campo eléctrico local crece hasta superar la rigidez dieléctrica del aire y en ese momento, ocurre la primera descarga, cuya longitud es de pocos centímetros. En esta fase inicial, las corrientes asociadas asumen valores cuyo promedio no supera los 500 A (ocasionalmente, llegan a unos kiloamperios) y se caracterizan por un desarrollo irregularmente horizontal. Por eso, se habla de "corriente continua".



Fase 2: la descarga se propaga hasta que la rigidez dieléctrica del aire es inferior a la de las cargas eléctricas; si es superior, la descarga se detiene. Al haberse abierto un canal ionizado, otras cargas fluyen de la nube, intensificando el campo en el punto de detención. El campo eléctrico vuelve a aumentar hasta generar una descarga nueva, en otra dirección, al coincidir con una rigidez dieléctrica del aire inferior a la del campo eléctrico. El canal del rayo se propaga en la dirección nube-tierra, llevando parte de la carga eléctrica de la nube según el método descrito, con constantes cambios de dirección que dependen de la rigidez dieléctrica del aire. Esto genera el típico recorrido en zigzag que caracteriza al rayo. Igual que ocurre en la nube, en el suelo también se produce una distribución de cargas de signo opuesto al de la carga eléctrica del canal del rayo.



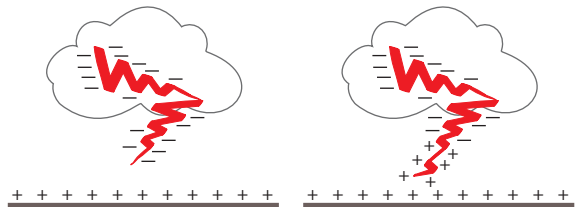
Fase 3: del suelo surge un canal ascendente (contradescarga) que fluye hacia arriba hasta encontrarse con el canal descendente. Al coincidir ambos canales, se establece una corriente conocida como corriente de rayo. La zona del suelo que será impactada por el rayo es aquella de donde parte la contradescarga. Así, se produce el primer impacto caracterizado por una corriente con valores comprendidos entre 2 y 200 kA, y por frentes de onda muy empinados: de 0.5 a 100 kA/μs. En este caso, se habla de "corriente de impulso".



Fase 4: el relámpago. El relámpago no es más que el efecto térmico y luminoso asociado al paso de la corriente del rayo. El calentamiento y enfriamiento del aire afectado por la corriente del rayo determina fenómenos de expansión y compresión que generan los truenos.



Fase 5: descargas sucesivas. Con frecuencia, después de la primera descarga se producen descargas sucesivas debido a que el canal ionizado ya está "abierto". Estas descargas se caracterizan por tener un aporte de energía menor, puesto que el canal ya está formado.



Tomando en consideración las 5 fases descritas, podemos concluir que el primer rayo está asociado a una intensidad de corriente muy elevada, debido a los constantes "arranques y paros" caracterizados por "acumulaciones energéticas" que definen el típico desarrollo en zigzag de los rayos hacia la tierra. De esto se deduce que la forma de onda asociada se caracteriza por tener frentes de onda de subida y bajada "largos": cientos de microsegundos. En cambio, los rayos siguientes al primero se caracterizan por tener frentes de onda empinados, puesto que el canal de descarga ya está ionizado y las cargas eléctricas no hacen ningún esfuerzo por avanzar. En este caso, se habla de decenas de microsegundos. La rapidez del movimiento y la ausencia de "obstáculos" para el avance de la corriente determinan un aporte de energía inferior al de las primeras descargas: se habla de decenas de kiloamperios contra los cientos de kiloamperios asociados al impacto del primer rayo.

Rayo descendente positivo

Los rayos positivos se originan de las cargas positivas ubicadas en la parte superior de la nube. Los cumulonimbos se caracterizan por su gran altura y por tanto, los rayos positivos se caracterizan por tener un canal de descarga muy largo. Esto se traduce en dos efectos:

- Las corrientes asociadas al rayo positivo son muy elevadas, mayores que el primer impacto de rayo negativo.
- La elevada longitud que caracteriza el canal de descarga puede alcanzar los 10 km, por lo que después de la primera descarga, es muy probable que la parte de canal "más vieja" se haya enfriado y desionizado, imposibilitando así el paso de otra corriente y por consiguiente, la generación de descargas sucesivas.

Rayos ascendentes

Durante las tormentas, el canal del rayo puede originarse en estructuras naturales o artificiales como árboles, torres, etc., caracterizadas por tener una cierta altura.

Esto se debe a la intensificación del campo eléctrico en las partes que terminan en forma de punta.

El canal del rayo ascendente se origina y se propaga hacia arriba siguiendo el mismo esquema que los rayos descendentes. En este caso, la contradescarga saldrá de la nube. Al igual que ocurre con los rayos descendentes negativos, una vez que se ioniza el canal, será posible que se produzcan descargas de la misma intensidad.

¿Por qué hay que protegerse contra las sobretensiones?

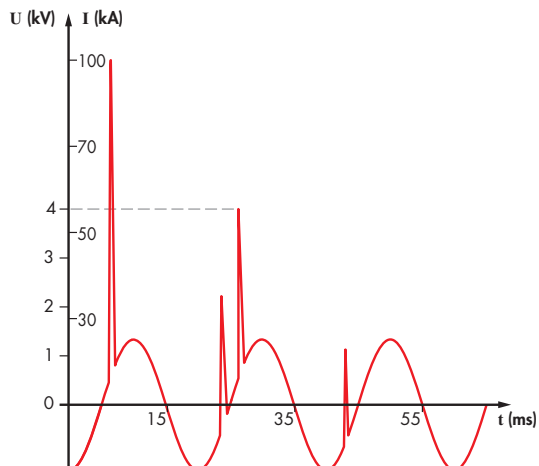
En los últimos años, la protección contra las sobretensiones se está convirtiendo en una necesidad debido al uso cada vez más difundido de componentes electrónicos - como los Mosfet - que, "por naturaleza", son muy sensibles a las sobretensiones.

En el pasado, las instalaciones eléctricas contaban con productos electromecánicos, como motores, transformadores, etc., que de por sí eran muy resistentes a estos fenómenos de sobretensión.

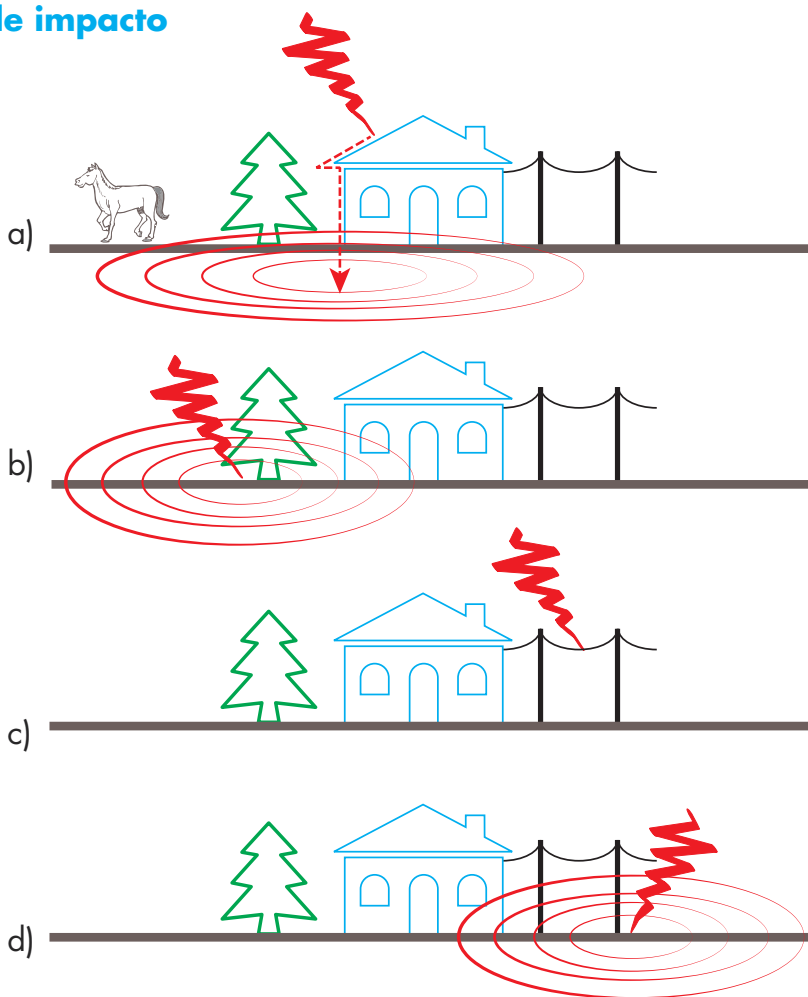
Por consiguiente, aunque no han aumentado los sucesos causantes de daños, nuestras viviendas e industrias se están llenando de dispositivos más sensibles; tanto es así que, como veremos, incluso la variante 3 de la norma CEI 64/8, que entró en vigor el 1 de septiembre de 2011, prevé la instalación de SPD en el cuadro principal de las viviendas.

Los SPD encuentran una rápida aplicación y difusión no por representar una propuesta comercial novedosa para el mercado, sino porque, con respecto a otros sistemas de protección contra sobretensiones, son económicos, pueden integrarse en instalaciones existentes y funcionan perfectamente si se eligen e instalan correctamente.

Representación de los valores de amplitud de la sobretensión en función de la causa



2 - Tipos de impacto



Los tipos de impacto pueden agruparse en los 4 casos representados.

- a) **Impacto directo del edificio.** Si el edificio está provisto de una instalación de pararrayos, el rayo se descarga a tierra, poniendo bajo tensión la instalación de puesta a tierra y todo lo que esté conectado a ella. Con el impacto directo se produce tanto el acoplamiento inductivo, por ejemplo, entre la bajada a tierra y un conducto que corra paralelo a ella, como el acoplamiento resistivo, por ejemplo, entre la bajada a tierra y la tubería de gas. Las sobretensiones que nacen por acoplamiento resistivo pueden generar descargas peligrosas porque contienen la energía suficiente para provocar un incendio o destruir los equipos. El acoplamiento resistivo entre las partes conductoras también determina la generación de tensiones peligrosas de paso y de contacto. Las tensiones de paso tienen un desarrollo decreciente y son peligrosas tanto para los humanos como para los animales.
- b) **Impacto indirecto del edificio.** En este caso, se habla solamente de acoplamiento inductivo. Las sobretensiones son generadas por el campo magnético asociado a la corriente de rayo que se concatena con las partes metálicas conductoras del edificio.
- c) **Impacto directo de la línea.** La corriente de rayo se divide en partes iguales en ambos sentidos, pasa a través del transformador MT/BT y genera sobretensiones en todo lo que esté conectado a tierra.
- d) **Impacto indirecto de la línea (acoplamiento inductivo).** Las sobretensiones inducidas, cuya amplitud varía de 3 a 5 kV, no tienen la energía suficiente para provocar un incendio, pero pueden destruir los equipos.

Principios generales

Antes de adentrarnos en el complejo discurso que regula los aspectos ingenieriles, la elección de la instalación y la aplicación de los SPD, es conveniente presentar los tipos de SPD existentes, la subdivisión en zonas de los ambientes y el valor de tensión soportada a impulso de los equipos electrónicos. Información útil para comprender mejor el mundo de los SPD.

De acuerdo con el papel que deben desempeñar, los SPD se definen de la siguiente manera: Clase I, si están destinados a limitar sobretensiones asociadas a toda o una parte de la corriente de rayo; Clase II, si están destinados a proteger los equipos contra sobretensiones inducidas; y Clase III, si desempeñan un papel de terminación, imponiendo una baja "tensión residual" (nivel de protección) soportada por los equipos electrónicos finales.

Existen las siguientes equivalencias de nomenclatura indicadas en la tabla:

IEC	Clase I	Clase II	Clase III
Europa	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
VDE	B	C	D

En el texto se emplearán indistintamente los términos "Clase" y "Tipo".

Como ya se ha dicho, de acuerdo con el tipo de protección que deben ofrecer, los SPD se agrupan por clases: la clase de pertenencia identifica la prueba a la que se ha sometido el SPD en términos de corriente de descarga.

Clase (de prueba) I: pertenecen a esta clase los SPD ensayados por el fabricante con un generador de forma de onda 10/350 μ s. Esta forma de onda es la que se utiliza para simular el primer impacto y define las prestaciones del SPD en términos de corriente de choque: I_{imp} . Además, los SPD de Clase I se ensayan en términos de corriente nominal I_n con una forma de onda 8/20 μ s típica de las sobretensiones inducidas. Los SPD de Clase I son obligatorios en edificios provistos de pararrayos.

Se instalan en el cuadro principal, en el punto de conexión con la red eléctrica.

Clase II: los SPD que pertenecen a este clase se ensayan con un generador de forma de onda 8/20 μ s (típica de las sobretensiones inducidas) para definir las prestaciones en términos de corriente nominal y corriente máxima, respectivamente I_n e I_{max} .

Se instalan en los cuadros de distribución.

Clase III: pertenecen a esta clase los dispositivos que desempeñan un papel de terminación, donde los SPD instalados aguas arriba ya han eliminado el grueso de la energía. Los SPD de Tipo 3 son los más rápidos y eliminan las sobretensiones residuales.

Estos SPD se ensayan con un generador de tipo combinado que genera una tensión en vacío U_{oc} con forma de onda 1.2/50 μ s, capaz de imprimir el valor de corriente nominal I_n con forma de onda 8/20 μ s.

Se instalan cerca de los equipos eléctricos/electrónicos finales.

A continuación se representan las formas de onda características de los SPD.

Mirando la *Figura 2* se observa cómo el aporte de energía, representado por el área subtendida por las curvas, es mayor para la forma de onda 10/350 (típica del primer impacto de rayo).

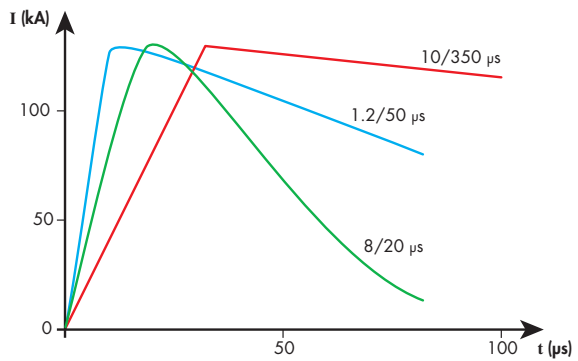


Figura 2: formas de onda normalizadas

Haciendo referencia a la 62305-1, podemos dividir el ambiente electromagnético asociado a una descarga de rayo en varias zonas: LPZ (Lightning Protection Zone).

Medidas de protección como LPS, cables blindados, SPD, etc. definen una zona de protección. Las zonas se caracterizan por variaciones electromagnéticas significativas (por ejemplo, intensidad del campo electromagnético, valores de la corriente de rayo, valores de sobretensión, etc.) que dependen de la presencia de medidas de protección.

A un LPZ se asocia un número entre 0 y 3, como LPZ 1, LPZ 2, etc. Por tanto, cuanto mayor sea el número, más se atenuarán los efectos del rayo.

LPZ 0_A: zonas libres. No está prevista ninguna protección; por tanto, estamos fuera del campo de protección de un pararrayos. En este caso, estamos sujetos a impactos directos y por consiguiente, la corriente de rayo es alta y no se atenúa el campo electromagnético.

LPZ 0_B: por debajo del dispositivo captador.

La corriente de rayo es pequeña y no se atenúa el campo electromagnético.

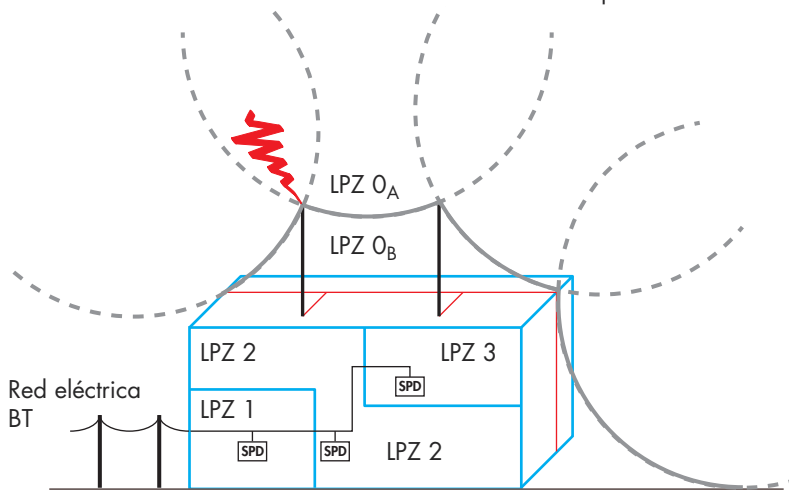
LPZ 1: dentro del edificio, después del primer SPD; la corriente de rayo es limitada y se atenúa el campo electromagnético.

LPZ 2: zona caracterizada por la incorporación de otro SPD.

La corriente de rayo se limita ulteriormente y el campo electromagnético se atenúa notablemente.

LPZ 3: añadimos otro SPD.

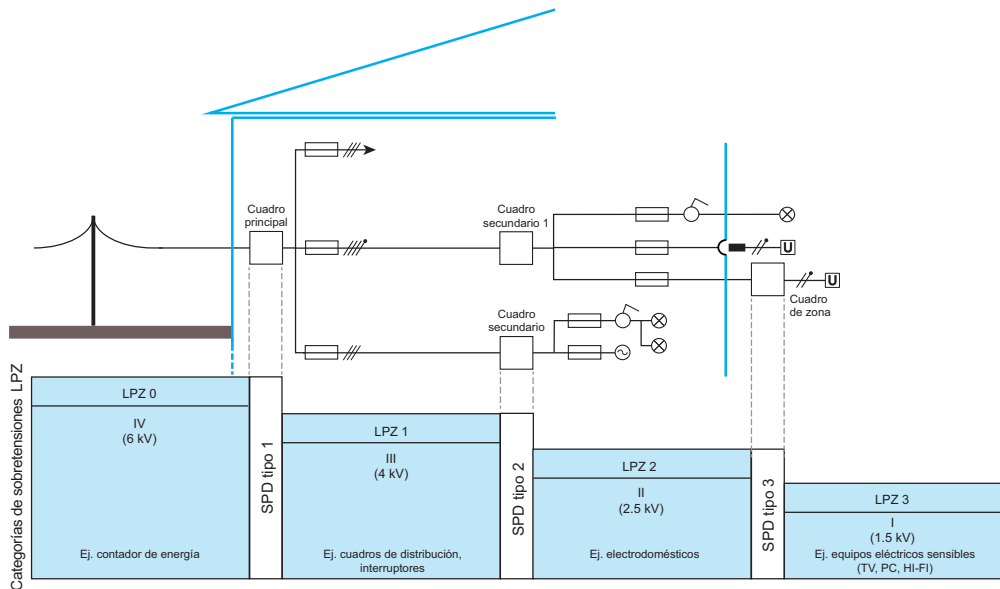
Instalado en un enchufe o en el interior de un dispositivo electrónico.



Aunque no existe ningún vínculo entre ellas, la subdivisión de los edificios en zonas concluye con la introducción del concepto de “categorías de sobretensiones”. En este caso, no se trata de una subdivisión en zonas propiamente dicha, pero es una forma sencilla de comprender el concepto: la subdivisión se produce automáticamente, ya que los dispositivos destinados a aplicaciones “cerca” de la acometida eléctrica deben ser garantizados por el fabricante para soportar valores mínimos de sobretensión mayores que los dispositivos que suelen instalarse “lejos”.

Los términos “cerca” y “lejos” se refieren a distancias eléctricas, no métricas.

Esto significa, por ejemplo, que el nivel de tensión soportada a impulso del cuadro eléctrico principal debe ser, como mínimo, de 4 kV, mientras que la tensión soportada a impulso de un ordenador, un televisor, etc. debe ser, como mínimo, de 1.5 kV.

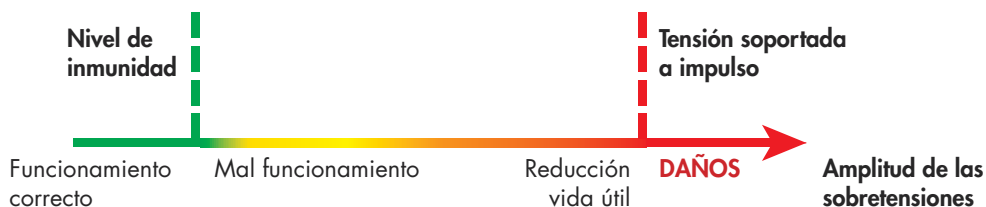


En la imagen anterior se agrupan los LPZ y las categorías de sobretensiones para resumir lo que se ha discutido hasta ahora. ¡Pero atención! ¡No existe ninguna relación entre ellos! La categoría de sobretensión ofrece una idea de la tensión soportada a impulso del equipo, mientras que el LPZ indica aproximadamente las magnitudes electromagnéticas asociadas a la descarga del rayo.

- **Categoría de sobretensión I:** pertenecen a esta categoría los equipos que son muy sensibles a las sobretensiones, como los equipos electrónicos (TV, Hi-Fi, módem, PC, PLC, etc.). Para estos dispositivos, el fabricante debe garantizar una tensión soportada a impulso de 1.5 kV.
- **Categoría de sobretensión II:** pertenecen a esta categoría los equipos con una tensión soportada a impulso de 2.5 kV, como las herramientas portátiles o los electrodomésticos.
- **Categoría de sobretensión III:** relativa a los equipos que forman parte de la instalación, como interruptores, enchufes, cuadros, etc., cuya tensión soportada a impulso corresponde a 4 kV.
- **Categoría de sobretensión IV:** pertenecen a esta categoría los dispositivos que se instalan aguas arriba del cuadro de distribución como, por ejemplo, los contadores. La tensión soportada a impulso corresponde a 6 kV.

Nivel de inmunidad, tensión soportada a impulso y daño económico

Podemos concluir diciendo que todos los equipos eléctricos y electrónicos se caracterizan por un valor de tensión que indica el nivel de inmunidad a las sobretensiones: mientras la sobretensión se mantenga por debajo del nivel de inmunidad del equipo, no hay problema. Si la sobretensión supera ligeramente este valor, puede llevar a un mal funcionamiento del equipo; para valores superiores o repetitivos, los aislantes de los componentes se someten a fatigas excesivas y se reduce su vida útil. Con un nivel de sobretensión muy alto, se puede producir un fallo permanente.



Con frecuencia, las sobretensiones pueden ser de una magnitud que no dañe inmediatamente los equipos, por lo que ni siquiera advertimos su presencia. Cuando se producen repetidamente, las sobretensiones de amplitud modesta afectan la rigidez dieléctrica de los aislantes, reduciendo así su vida útil y también la tensión soportada a impulso del dispositivo. Si la sobretensión supera la tensión soportada a impulso del aislante sólido (fatigado), el aislante se deteriora y el dispositivo se rompe permanentemente.

Ahora, imaginemos que hay un inversor conectado a una línea y expuesto a sobretensiones continuas cuyo valor nunca causan su ruptura, pero producen fatigas en los aislantes. Decidimos añadir otro inversor en paralelo. A la primera tormenta, el inversor viejo se daña, pero el nuevo sigue funcionando... ¿Por qué? Debido a las sobretensiones repetidas, el aislante del primer inversor se ha debilitado hasta permitir la ruptura permanente del equipo en el instante en el que el impulso procedente de la red provoca su degradación. El segundo, que es más nuevo, sigue funcionando porque el nivel de la sobretensión no era tan alto como para dañarlo de una sola vez.

Concluimos esta introducción tomando en cuenta también el aspecto económico: la ruptura de equipos no solo conlleva el costo de su sustitución, que suele ser el daño económico menor, ya que hay que considerar el daño económico causado por la falta de servicio. Por ejemplo, si se daña el servidor de reservas de una agencia de viajes, hay un daño causado por el trabajo que no puede realizarse. ¡Pensemos en un aeropuerto! En otras palabras, el SPD siempre es conveniente desde el punto de vista económico.

No debemos olvidar que una sobretensión puede causar daños mucho más graves, como la muerte de personas, el incendio de edificios con pérdida de obras de valor o la parada de máquinas en una línea de montaje; todos estos son aspectos que no podemos descuidar durante la fase de diseño de una instalación eléctrica.

Las sobretensiones

Las sobretensiones en un sistema eléctrico pueden ser endógenas o exógenas: las primeras se refieren a las sobretensiones de maniobra, sobretensiones que existen normalmente en la red eléctrica y que surgen durante el funcionamiento normal de la instalación. Las segundas, en cambio, identifican las sobretensiones de origen atmosférico.

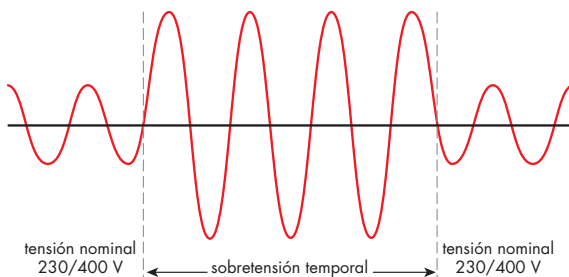
Las sobretensiones de maniobra

Las sobretensiones de maniobra surgen durante el funcionamiento normal de las líneas eléctricas, por ejemplo, de la maniobra de interruptores (abertura o cierre) y son causadas por variaciones bruscas de carga (inserción de cargas grandes), por el arranque o paro de motores, o bien por variaciones repentinas en la red, como cortocircuitos. El desarrollo de la sobretensión es oscilatorio amortiguado, con tensiones transitorias muy empinadas cuya duración puede ser del orden de μ s.

En esta categoría podemos incluir las sobretensiones a frecuencia industrial debidas a fallos en cabina o a lo largo de la línea. Estas se diferencian de las primeras por la duración, que es mucho mayor y por la frecuencia: 50-60 Hz.

Estas sobretensiones se caracterizan por amplitudes que varían de 2.5 a 4 kV. Siempre están presentes en las líneas de distribución.

Figura 3:
sobretensión temporal a
frecuencia industrial



Las sobretensiones de origen atmosférico

Las sobretensiones de origen atmosférico surgen cuando se genera un rayo durante una tormenta. El rayo se genera debido a la acumulación de cargas negativas en la nube y cargas positivas en la tierra, entre las cuales se establece un campo magnético mayor que la rigidez dieléctrica del aire y que permite la descarga. Por lo general, después del primer rayo se producen 3 o 4 descargas sucesivas (véase el cap. 1).

Las sobretensiones pueden ser "conducidas", cuando los rayos impactan directamente en una línea eléctrica, o bien "inducidas", cuando los rayos impactan cerca de un edificio o de una línea. El campo eléctrico generado por el rayo alcanza los conductores y crea sobretensiones dañinas para los equipos conectados a estos.

Impacto directo e indirecto

- de la estructura
- cerca de la estructura



- de la línea eléctrica
- cerca de la línea eléctrica

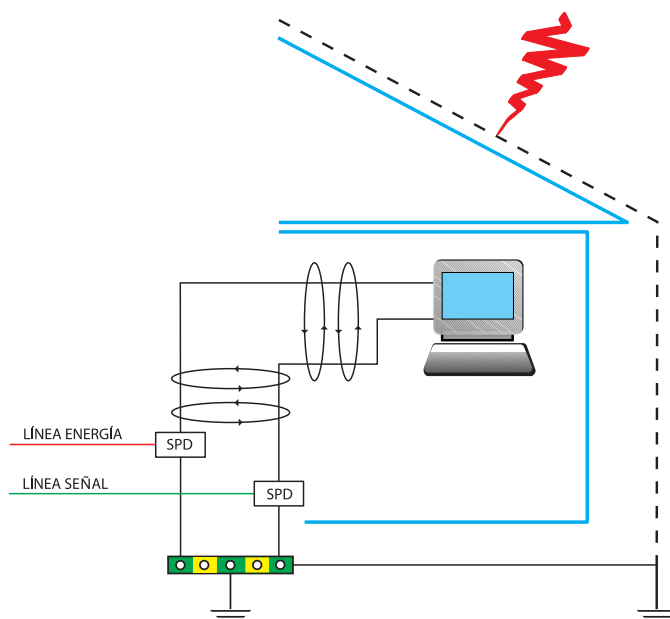


Sobretensiones inducidas

Como sabemos, un campo magnético variable induce una corriente en un circuito... Cuando se produce un rayo, existe un gran campo electromagnético fuertemente variable y los conductores eléctricos de un edificio son un circuito (espira) de dimensiones relevantes. El campo electromagnético del rayo crea efectos desastrosos si se concatena a una espira de gran diámetro. Imaginar la existencia de una espira grande no es difícil; basta pensar en la línea de alimentación de un ordenador y la línea del teléfono que se conecta al módem, conectado a su vez al ordenador. En caso de impacto directo de la estructura, la corriente de rayo descargada a tierra a través de la bajada genera por acoplamiento inductivo, en la espira antes descrita, una sobretensión de $U = L_m \cdot di/dt$

donde L_m : inductancia mutua de la espira
 di/dt : pendiente de la forma de onda

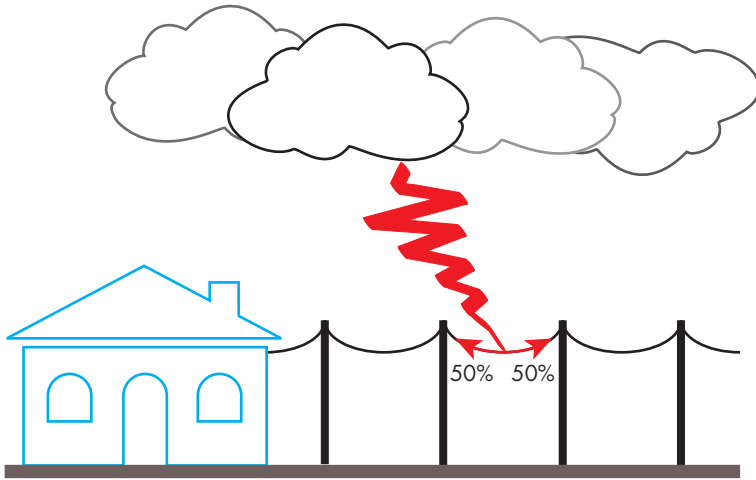
Según la extensión de la espira, ¡las sobretensiones pueden superar los 10 kV!



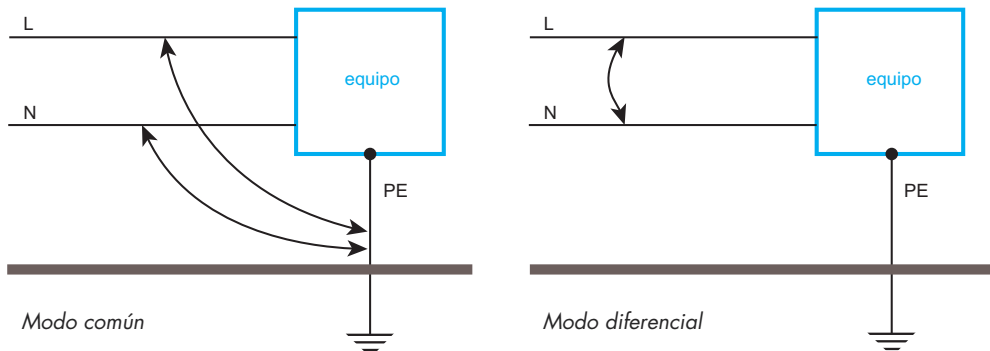
El fenómeno de la inducción también ocurre con conductores rectilíneos que no necesariamente están dispuestos de modo tal que constituyan una espira, por ejemplo, entre un conductor y la tierra. Imaginemos una línea eléctrica: si un rayo impacta cerca de una línea de distribución, su campo electromagnético variable induce en esta sobretensiones que se propagan a lo largo de la línea, similarmente a lo que veremos a continuación para el impacto directo.

Impacto directo

Si un rayo impacta en una línea eléctrica, la corriente de rayo (y la sobretensión asociada) se propaga en los dos sentidos de la línea, dividiéndose en partes iguales. Al propagarse, modifica su forma y amplitud, afectando a los equipos que encuentra a su paso.



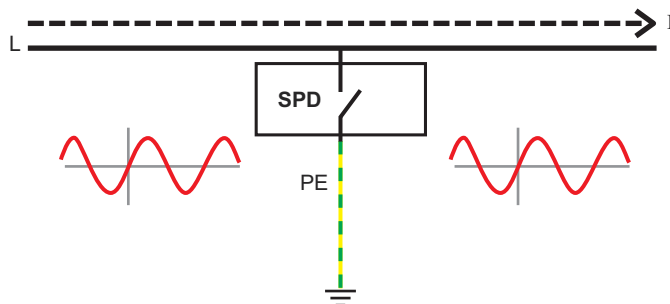
Las sobretensiones pueden ser de modo común, si ocurren entre el conductor de fase y la tierra, o de modo diferencial, si ocurren entre los conductores activos.



3 - Funcionamiento de un SPD

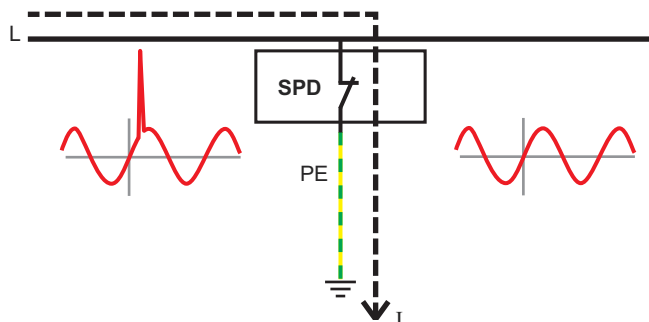
Para comprender el funcionamiento del SPD, supongamos que disponemos de un SPD ideal cuyo funcionamiento describiremos. Luego, compararemos el funcionamiento del SPD ideal con el del real.

El SPD ideal puede ser descrito como una caja de contenido desconocido conectada por ejemplo, entre L-PE, que tiene impedancia (Z) infinita para no alterar el funcionamiento de la instalación.



La llegada de una sobretensión provoca que la impedancia en los extremos de la caja descienda rápidamente a 0Ω , permitiendo "absorber" la corriente asociada a la sobretensión. Cuanto más alta sea la sobretensión, menor será la impedancia y mayor será la corriente derivada. Imaginemos un interruptor abierto, dentro de la caja, que con presencia de sobretensión se cierra y cortocircuita el circuito aguas abajo para protegerlo.

Durante el derivado de la sobrecorriente se mantiene constante la tensión en los extremos de la caja. Si esta tensión es compatible con el nivel de inmunidad y de aislamiento del equipo, este último no se dañará.



Podemos identificar tres fases de funcionamiento del SPD, en las que las magnitudes que entran en juego constituyen los parámetros de selección de los componentes del catálogo.

1) Fase inicial. Supongamos que la caja está instalada entre un conductor activo y la tierra (aunque también puede instalarse entre dos fases o entre fase y neutro). En sus extremos está presente la tensión nominal del sistema (U_n) que, con el tiempo, puede variar dentro de un rango de tolerancia que depende del suministrador (en muchos países es +10% -15%); por eso está prevista una tensión máxima de servicio U_c que, respetando el rango de tolerancia, garantiza que el SPD no intervenga.

Hablemos un momento sobre el concepto de “tensión máxima de servicio” U_c . Se trata del valor de tensión que puede aplicarse al SPD por un tiempo indefinido y que, seguramente, no causa la intervención del SPD.

Para los sistemas TT y TN $U_c \geq 1.1 U_n$

Para los sistemas IT $U_c \geq \sqrt{3} U_n$

En estas fase, el dispositivo ideal tiene una impedancia infinita, mientras que el real tiene una impedancia de valor altísimo. Esto significa que el SPD ideal no es atravesado por una corriente hacia tierra, mientras que el real es atravesado constantemente por una corriente de fuga (depende de los componentes empleados para realizar el SPD) hacia tierra, indicada con I_c : corriente de régimen permanente. Esta corriente está en el orden de μA .

En esta fase también tenemos que considerar las U_T ($T = \text{TOV Temporary Transient Overvoltage}$), es decir, las sobretensiones temporales (permanentes) presentes en la línea debido a fallos en la red del distribuidor (sobretensiones de maniobra). Estas sobretensiones deben ser soportadas por el SPD.

2) Durante la sobretensión. El SPD reduce su propia impedancia para derivar la corriente y mantiene constante la tensión en los extremos.

En esta fase es importante el valor de tensión residual (U_{res}) que se mide en los extremos del SPD durante la intervención. Este valor se identifica como U_p : nivel de protección.

El U_p es un valor de tensión, elegido en una escala de valores normalizados, inmediatamente superior a la U_{res} (ej.: $U_{res} = 970 \text{ V}$, $U_p = 1000 \text{ V}$). Es importante que el U_p sea inferior a la tensión soportada a impulso de los aislantes del equipo que se quiere proteger.

Este valor de tensión es relativo a la corriente de descarga nominal que, por el tipo de prueba, asume una forma de onda 8/20 μs .

En esta fase es importante el dato relativo a la corriente nominal de descarga: I_n .

I_n : valor de pico de corriente que el SPD puede soportar normalmente.

Se define probando el SPD con forma de onda de corriente 8/20 μs .

Otro dato importante es I_{max} , que corresponde al valor de pico de la corriente máxima que el SPD puede ejecutar al menos una vez sin dañarse.

Por lo general, es válida la siguiente relación: $I_{max} / I_n = 2$

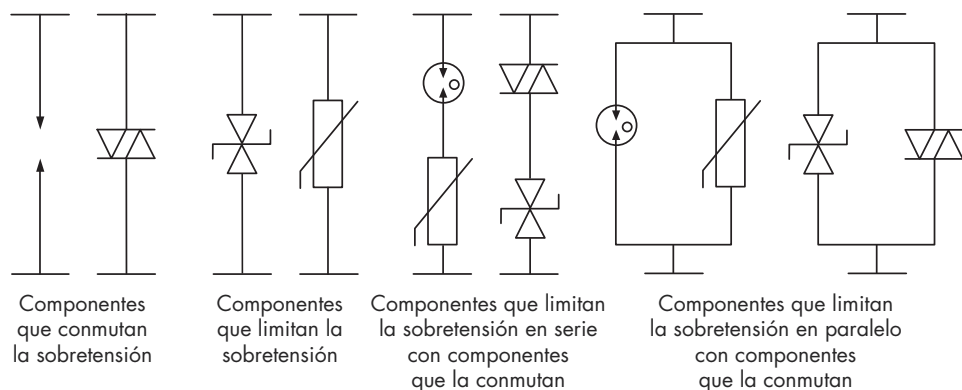
3) Fase de extinción del fenómeno. Al finalizar su intervención, el SPD es atravesado por la corriente de 50 Hz alimentada por el circuito en el que está integrado: corriente subsiguiente. Puede suceder que el SPD no logre reabrirse (característica típica de los SPD de cebado). La normativa del producto ha definido la I_{sx} , que representa la corriente máxima que el dispositivo puede soportar y extinguir por sí solo al primer paso por el cero de la semionda. Este valor de corriente, típico para los descargadores de chispas que suelen aplicarse en la conexión entre N-PE, debe ser igual a 100 A. La I_{sx} es una corriente que el SPD puede gestionar y apagar autónomamente: si la corriente de cortocircuito de la instalación donde está montado el SPD es mayor que la I_{sx} , el SPD debe protegerse con dispositivos idóneos (como fusibles) para garantizar la extinción del arco. Si la $I_{cc} < I_{sx}$, no se tiene que proteger el SPD, pero como es imposible conocer exactamente la duración de la I_{sx} , el diferencial podría intervenir desconectando toda la instalación. Por tanto, siempre conviene utilizar los fusibles de protección.

Tipologías de SPD

Existen tres familias de SPD:

- De conmutación o cebado. En este caso, el elemento principal es el descargador de chispas. También existen de tiristor.
- De limitación. Es la tecnología más empleada: varistor o diodos Zener (o Transil).
- De tipo combinado. Se obtiene de la conexión en serie o en paralelo de los primeros dos.

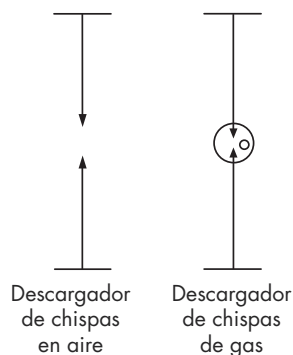
Abajo se muestran los símbolos técnicos de los distintos tipos de SPD existentes:



Sin tomar en consideración las tecnologías "de silicio" Transil, Triac, etc., los SPD para las líneas de energía se realizan conectando adecuadamente varistores y descargadores de chispas. Analicemos detalladamente estos dos componentes para comprender su funcionamiento y entender las características de los SPD realizados con dichos componentes.

El descargador

El descargador de chispas es un dispositivo que, en su configuración más simple, se realiza con dos electrodos distanciados adecuadamente en el aire. Cuando existe una sobretensión entre los dos electrodos, se ceban un arco eléctrico. El valor de la tensión de cebado depende, además de la distancia entre los electrodos, de las condiciones ambientales: temperatura, presión y contaminación del aire. Esto significa que la tensión de cebado del arco depende fuertemente, con las mismas condiciones de distancia, de las otras tres variables.

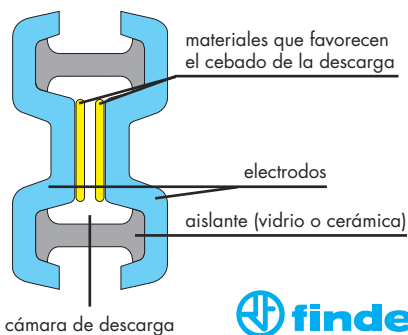


El descargador de chispas utilizado en los SPD se define como "de gas", ya que los electrodos están contenidos en una ampolla cerrada que contiene gases nobles, como argón y neón, que mantienen la tensión de cebado a valores constantes. Generalmente, debido a esta característica de su construcción, el descargador de chispas de gas es llamado "GDT": Gas Discharge Tube.

Representación de construcción de un GDT.

Los descargadores de gas se caracterizan por:

- dimensiones pequeñas
- capacidad de descarga elevada
- tiempos de intervención elevados y alta repetitividad (el tiempo que transcurre entre apagado y reencendido del dispositivo puede ser muy breve y esta operación puede repetirse muchas veces)
- vida útil particularmente larga



Principio de funcionamiento

Un descargador de chispas de gas, o GDT, puede describirse como una resistencia variable que, dentro de 100 ns, modifica el valor pasando de varios $G\Omega$ en estado inactivo, a valores inferiores al ohmio durante una sobretensión.

El descargador vuelve a su estado original de alta impedancia una vez inactiva la sobretensión.

Con referencia a la *Figura 4a*, podemos observar que la tensión en los extremos del descargador de chispas sube hasta la tensión de caída V_1 para luego pasar a la tensión de cebado, que corresponde al valor V_2 . Al alcanzar este valor, típicamente comprendido entre 70 y 200 V, se enciende el GDT; la corriente en cuestión puede variar entre 10 mA y aproximadamente 1.5 A. Este fenómeno, de duración A, termina al pasar al modo de arco, de duración B, al que corresponde un incremento de corriente frente a una tensión muy baja, equivalente a la tensión de arco, variable entre 10 y 35 V.

Con la disminución de la sobretensión, se reduce la corriente que fluye por el descargador hasta el valor necesario para mantener activo el "modo de arco".

Coincidiendo con la extinción de la corriente que fluye por el descargador de chispas, aumenta la tensión en los extremos, equivalente al valor de la tensión de extinción V_4 .

La *Figura 4a* muestra el desarrollo de la tensión durante la fase de descarga del GDT, la *Figura 4b* muestra el desarrollo de la corriente en función del tiempo, cuando el GDT limita una sobretensión de tipo sinusoidal y la *Figura 4c* se obtiene combinando las gráficas de tensión y corriente en función del tiempo.

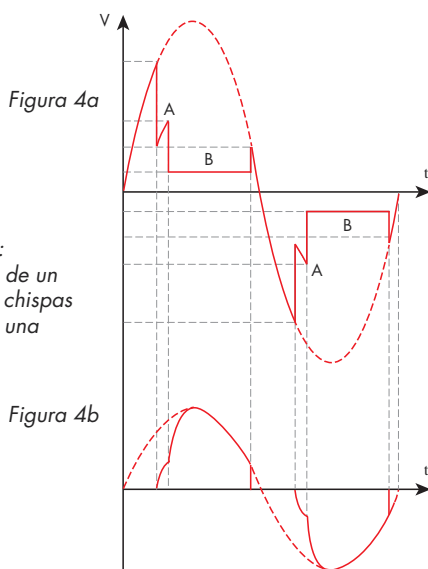
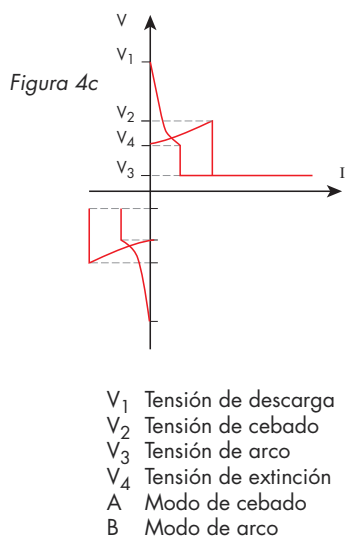


Figura 4a - b - c:
comportamiento de un
descargador de chispas
en presencia de una
sobretensión



Para comprender por qué los descargadores de chispas se definen como dispositivos de “conmutación” y entender las diferencias de funcionamiento con respecto a los varistores, simplificaremos la *Figura 4a* en la *Figura 5*, donde solo se distinguen 3 fases:

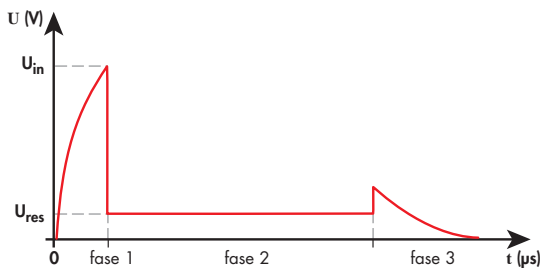


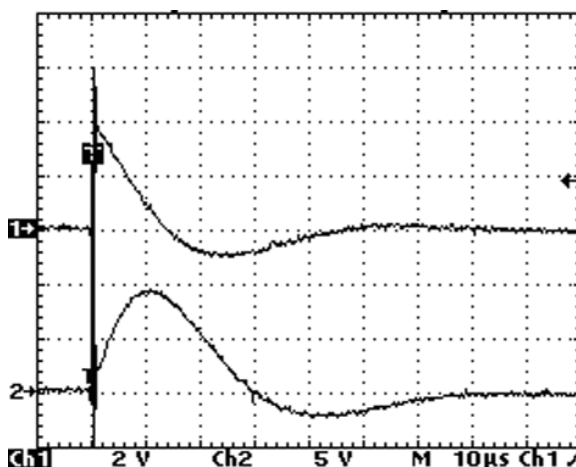
Figura 5: funcionamiento simplificado del GDT

Fase 1: No se ceba la descarga (circuito abierto)

Fase 2: Se produce la descarga y la corriente pasa a través del SPD. Al alcanzar la tensión de cebado (U_{in}), a la que corresponde el nivel de protección U_p del protector, la tensión en los extremos del SPD desciende hasta la U_{res} que coincide con la tensión de arco. Por consiguiente, el equipo protegido por un SPD de conmutación estará sujeto a una tensión que corresponde a U_{in} .

Fase 3: Extinción del arco.

Al lado podemos observar la forma de onda real, detectada en los extremos de un GDT durante algunas pruebas de laboratorio.



*Figura 6:
intervención de un GDT*

Desarrollo de la tensión (curva superior) y de la corriente (curva inferior) medidas durante la intervención del GDT y obtenidas con un generador de tipo combinado en los laboratorios Finder. En este caso, el valor máximo de tensión es de unos 3600 V, mientras que el de corriente es de unos 3000 A.

Corriente subsiguiente

Como ya adelantamos, durante la intervención, la tensión en los extremos del GDT es muy baja y corresponde a la tensión de arco, mientras que la corriente es muy elevada.

Durante la descarga, la tensión en los extremos del GDT (U_{res}) alcanza valores muy bajos y existe el riesgo de que la tensión de red, al ser mayor que la U_{res} , mantenga el dispositivo encendido y dificulte o incluso imposibilite la extinción del arco. De hecho, el arco puede permanecer al cesar la sobretensión, siendo sostenido por la tensión del circuito y la corriente a tierra, definida corriente subsiguiente, puede durar mucho tiempo. La corriente subsiguiente coincide con la corriente de cortocircuito de la instalación en el punto donde se ha montado el descargador de chispas, excluida la reducción de tensión causada por la presencia del arco.

Los SPD conectados entre neutro y PE en los sistemas TT o TN deben permitir, tras su intervención, una corriente subsiguiente a frecuencia industrial, mayor que o igual a 100 A.

Para valores elevados de corriente de cortocircuito en el punto de instalación del descargador de chispas (SPD), hay que introducir protecciones de corriente máxima que intervengan cuando el arco no se extingue espontáneamente, o bien utilizar SPD característicos por la conexión interna en serie entre varistor y GDT (ver página 22, ejemplo SPD: 7P.01.8.260.1025).

El varistor

Los varistores son dispositivos de protección contra sobretensiones que se realizan con material cerámico y partículas de óxido de zinc (MOV) u óxido de magnesio sinterizado.

Pueden verse como una resistencia que cambia de valor en función de la tensión aplicada en los extremos: al aumentar la tensión disminuye la resistencia.

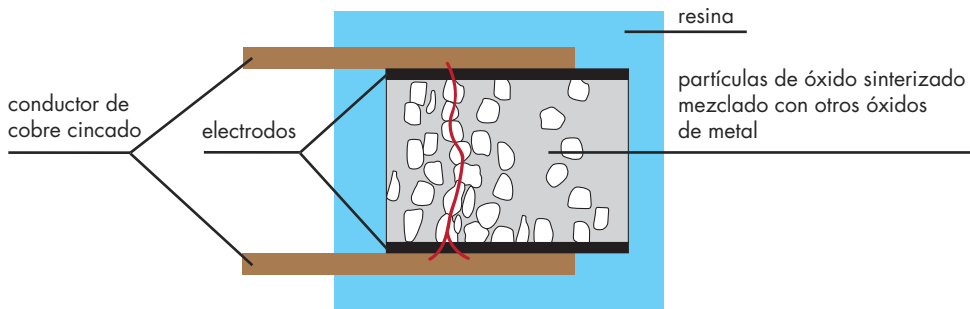
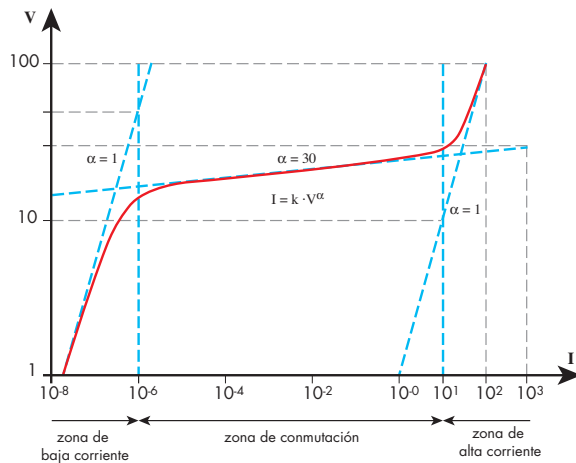


Figura 7:
tensión-corriente típica que
caracteriza el funcionamiento
de los varistores



Al estar hechos de partículas de metal, los varistores siempre son atravesados por una pequeña corriente de fuga cuando se someten a una tensión. Por eso se dice que el varistor siempre está "ON" y trabaja frecuentemente, incluso con pequeñas variaciones de tensión (zona de baja corriente). Con el paso del tiempo, las partículas de metal se sueldan entre sí, creando nuevas rutas para la corriente de fuga I_c que, aumentando en valor, provoca el sobrecalentamiento y la ruptura del varistor.

En condiciones de funcionamiento normales, con pocas intervenciones de protección del varistor, el aumento de la I_c ocurre después de muchos años de funcionamiento.

Siempre con referencia a la *Figura 7*, la característica V/I de los varistores puede describirse a través de funciones exponenciales en la siguiente fórmula:

$$I = K \cdot V^\alpha \quad (\alpha > 1)$$

Ecuación 1

donde: I = corriente que circula en el varistor

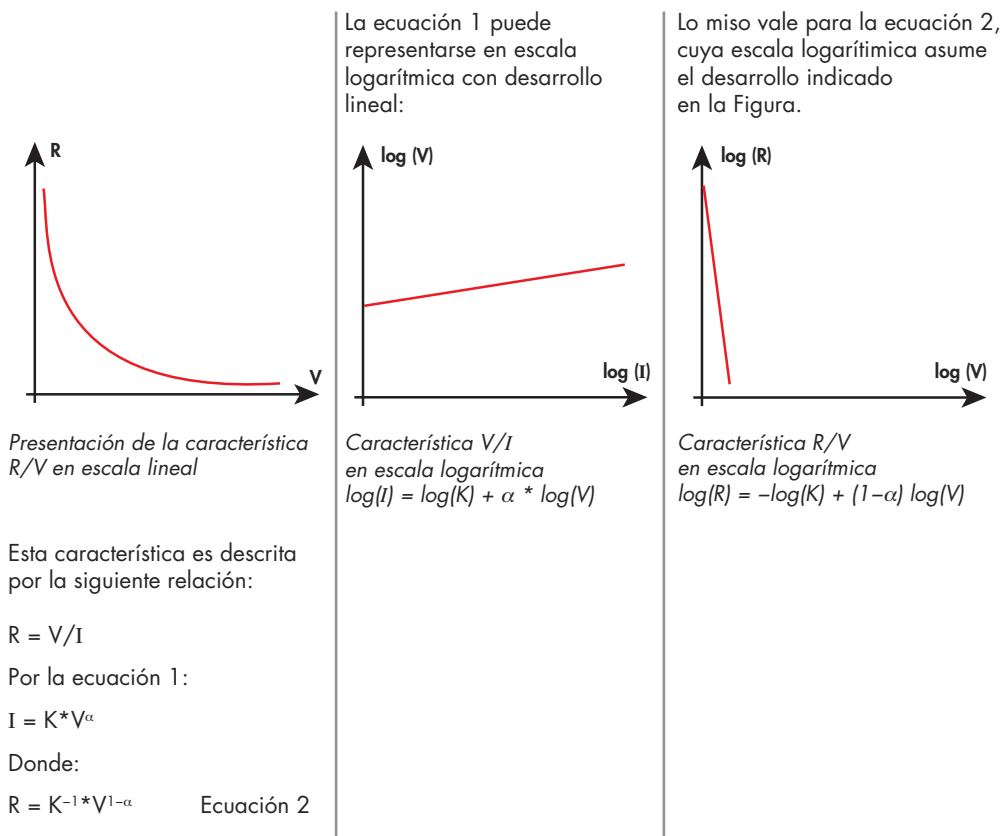
V = tensión aplicada al varistor

K = constante del elemento

(en función de la geometría)

α = exponente de no linealidad

Podemos representar el desarrollo de la resistencia del varistor en función de la tensión y en particular, su rápido cambio en correspondencia de un valor predeterminado.



Los SPD realizados con varistores se definen como de "limitación" porque tienen la característica de mantener constante la tensión en los bornes durante la absorción de la sobretensión, característica peculiar de los varistores.

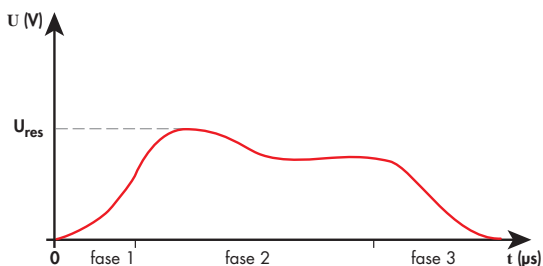
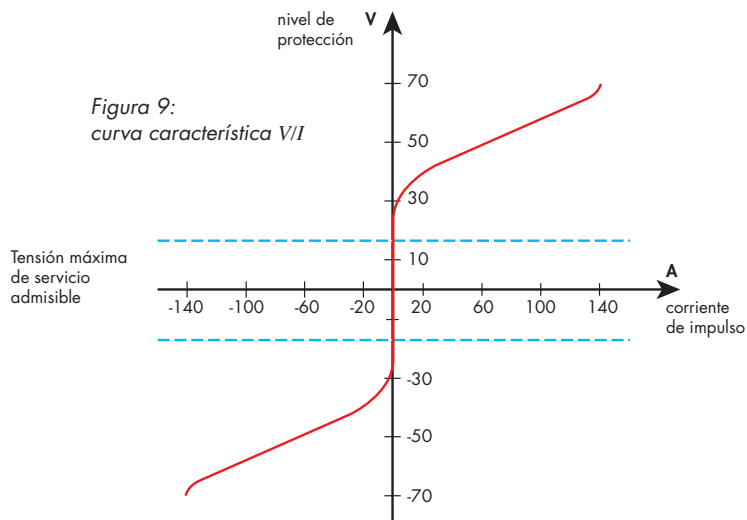


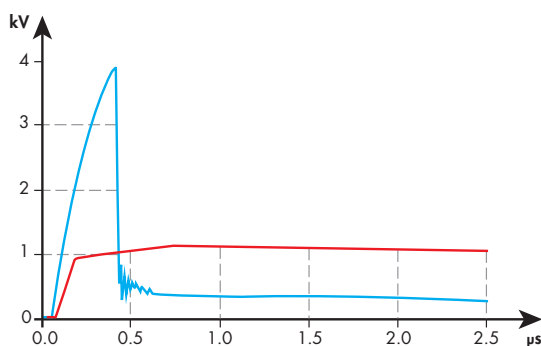
Figura 8: comportamiento de un varistor en presencia de una sobretensión

Comparando la *Figura 8* con la *Figura 5*, se observan diversos comportamientos de funcionamiento con respecto al descargador de chispas: en la *Figura 5* se observa el funcionamiento "ON-OFF", es decir, con una cierta tensión U_{in} , el GDT interviene cortando bruscamente. En la *Figura 8* se observa una limitación gradual, ya que el varistor varía su propia resistencia proporcionalmente a la tensión que hay en los extremos. La tensión en los extremos permanece constante, aunque la corriente aumente, y el paso a la zona de conducción ocurre en pocos ns. En la *Figura 9* se indica el desarrollo de la tensión residual en los extremos del varistor al variar la corriente que lo atraviesa. La tensión residual en los extremos del varistor depende de la geometría y del grosor de la pastilla, que al tener un tamaño adecuado permiten diseñar un SPD de diversas prestaciones y aplicaciones.



En la siguiente imagen se comparan las características de los componentes de conmutación y limitación medidas durante algunas pruebas de laboratorio, los valores del GDT son de color azul y los del varistor son de color rojo. Como se observa, este último comienza a trabajar con tensiones bajas, por lo que se instala entre fase y neutro.

Figura 10:
comparación entre
un varistor y un GDT



4 - Datos de la placa y aplicaciones prácticas de los SPD

Para poder elegir el tipo de SPD que se debe montar en una instalación, hay que conocer los datos de placa que lo caracterizan.

Tensión nominal [U_n]: Tensión nominal del sistema de alimentación (Ej.: 230 V). Aunque este no sea un dato de placa de un SPD, hay que conocer el valor de la tensión nominal del sistema que se va a proteger y asegurarse de que $U_n < U_c$.

Tensión máxima de servicio [U_c]: Es el valor de tensión por debajo del cual el SPD seguramente no interviene, y debe ser al menos equivalente al 110% de la tensión nominal de la instalación (U_n). Por ejemplo, los SPD Finder de Clase II tiene una U_c igual a 275 V (250 V + 10%). Este parámetro es el primer criterio de selección del SPD y está vinculado a la tensión nominal de la red, como se indica en la siguiente tabla (CEI 64-8/2), que provee el valor mínimo de U_c en función del sistema de distribución.

SPD conectados entre:	Sistema de distribución			
	TN	TT	IT con neutro	IT sin neutro
Cada conductor de fase y el neutro	1.1 U_0	1.1 U_0	1.1 U_0	NA
Cada conductor de fase y el PE	1.1 U_0	1.1 U_0	U	U
Neutro y PE	U_0^*	U_0^*	U_0^*	NA
Cada conductor de fase y el PEN	1.1 U_0	NA	NA	NA
Conductores de fase	1.1 U	1.1 U	1.1 U	1.1 U

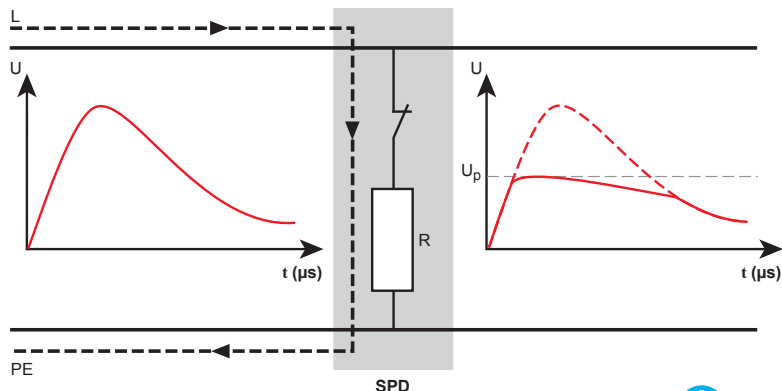
NA - no aplica
 U_0 - tensión fase-neutro del sistema de baja tensión
 U - tensión fase-fase del sistema de baja tensión
 * - estos valores son relativos a las condiciones de fallo más graves, por lo que la tolerancia del 10% no se toma en cuenta

Nivel de protección [U_p]: Representa el valor máximo de tensión que permanece en los extremos del SPD durante su intervención. Si un SPD se caracteriza por un valor de $U_p < 1.2$ kV, significa, por ejemplo, que una sobrecorriente de 20 kA será limitada por el protector a un valor máximo de 1.2 kV. Para valores inferiores, el U_p será inferior.

Del valor asociado a U_p se puede deducir la calidad del SPD y de los componentes empleados para su construcción: cuanto más bajo sea el U_p , mejor será la calidad del SPD.

Para comprender mejor este dato, podemos imaginar, aunque no sea así, que el U_p es el valor de sobretensión que se le escapa al SPD antes de que este intervenga y que puede propagarse a lo largo de la línea.

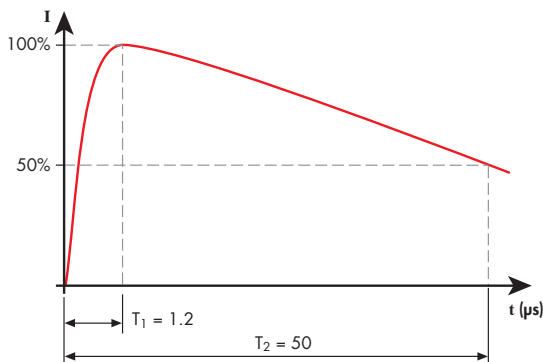
O bien, haciendo referencia al SPD-interruptor, podemos esquematizar al SPD como un interruptor con una resistencia en serie: al pasar una corriente a través de esta, por la ley de Ohm, habrá una tensión que corresponde precisamente a U_p .



Tensión en vacío [U_{oc}]: Este parámetro es característico de los SPD de Clase III y corresponde al valor de pico de la tensión en vacío del generador de prueba de tipo combinado, con forma de onda 1.2/50 μs (Figura 11), capaz de suministrar simultáneamente una corriente con forma de onda 8/20 μs (Figura 12).

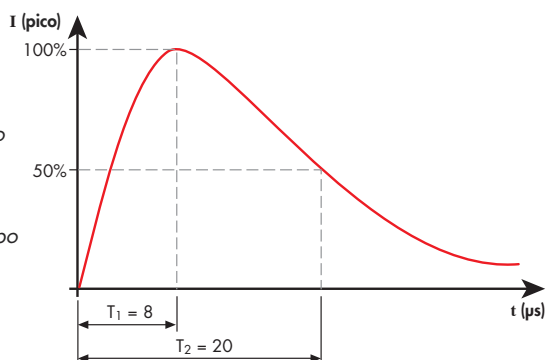
El generador de prueba de tipo combinado se utiliza para clasificar las prestaciones de los SPD de Clase III.

Figura 11:
forma de onda
de tensión 1.2/50 μs



Corriente nominal [I_n 8/20]: Representa el valor de pico de la corriente que circula en el SPD cuando este se ensaya con una forma de onda 8/20 μs . Las normas de la serie EN 62305 establecen esta forma de onda para simular las corrientes inducidas por los rayos en las líneas eléctricas y es la prueba característica para los SPD de Clase II.

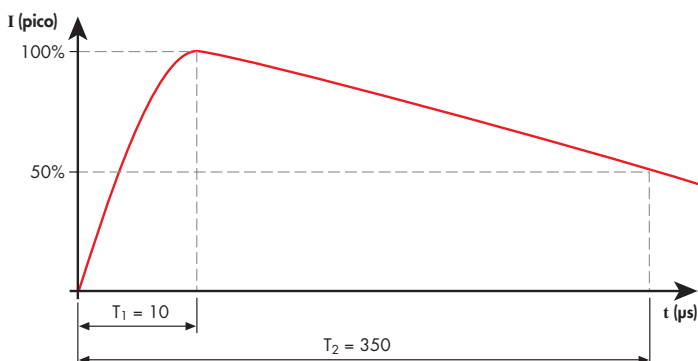
Figura 12:
forma de onda
de corriente 8/20 μs
 $T_1 = 8 \mu s$ representa el tiempo
necesario para pasar
del 10 al 90% de la
pendiente de subida
 $T_2 = 20 \mu s$ representa el tiempo
necesario para pasar
al 50 % del valor de la
pendiente de bajada



Intensidad máxima de descarga [I_{max} 8/20]: Valor de pico de la corriente máxima con forma de onda 8/20 μs que el SPD puede descargar al menos una vez sin romperse.

Corriente de impulso [I_{imp} 10/350]: Corresponde al valor de pico del impulso de forma de onda 10/350 μs con el que se ensaya el SPD de Clase I. Esta forma de onda se utiliza para simular el primer impacto de rayo.

Figura 13:
forma de onda de
corriente 10/350 μs



Fusible de protección: para afrontar este tema, se remite al párrafo correspondiente (*Sistemas de seguridad: fusibles, interruptores magnetotérmicos y magnetotérmicos diferenciales, página 32*). Comenzaremos diciendo que incluso del tamaño máximo admitido **se obtiene información sobre la calidad del SPD**: cuanto más alto sea este valor, mayor será la calidad del varistor empleado, ya que logra gestionar y disipar energía con mayor facilidad. Obviamente, esto se traduce en un aumento de la vida útil del producto.

Disyuntor térmico

El disyuntor térmico tiene la función de desconectar el SPD de la red eléctrica cuando este llega al fin de su vida útil e interviene cuando la corriente de fuga característica de los varistores alcanza un valor demasiado alto debido al envejecimiento del componente, o bien a una sobretensión excesiva.

La intervención de la protección térmica se indica mediante una ventanilla ubicada en la parte frontal del descargador, la cual cambia de color pasando, por lo general, de verde (dispositivo OK) a rojo (dispositivo dañado); simultáneamente, se puede activar un contacto inversor para la señalización remota, por ejemplo, de una señal luminosa o acústica.

El dispositivo de protección térmica también puede intervenir después de la descarga de una corriente de rayo elevada, superior a I_n , para indicar que el SPD ya no es capaz de proteger el sistema.

Surge Protective Device.... SPD en la práctica

Hemos visto que, según el modo de construcción, los SPD puede clasificarse como de "limitación", de "conmutación" y "combinados"; a continuación esquematizamos las características de los SPD de limitación y conmutación, ampliamente descritas anteriormente y profundizaremos en el análisis de los SPD de tipo combinado:

SPD de cebado o conmutación

Ventajas:

- Dimensiones y altas corrientes de descarga
- Fiabilidad
- Aislamiento galvánico

Desventajas:

- Tensión de cebado elevada (U_p alto)
- Corriente subsiguiente

SPD de limitación

Ventajas:

- Tiempos de intervención reducidos (25 ns)
- Precisión en la repetibilidad de los encendidos
- Bajo nivel de protección U_p
- Ausencia de la corriente subsiguiente

Desventajas:

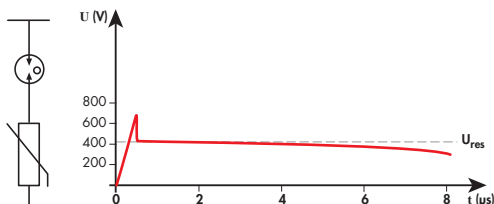
- No garantizan el aislamiento galvánico, por lo que la corriente de fuga no es nula
- Capacidad de descarga reducida

SPD de tipo combinado

Según el tipo de conexión, en serie o paralelo, actuará primero el GDT o el varistor.

Conexión en serie:

El varistor y el GDT están en serie, tensión residual alta, corriente subsiguiente nula.



En la conexión en serie interviene primero el descargador de chispas: se alcanza la tensión de cebado, en el descargador de chispas se dispara el arco y la tensión residual, que antes descendía hasta la tensión de arco, permanece en valores más altos. Esto ocurre gracias al varistor en serie que, al imponer su tensión residual (mucho mayor que la tensión de arco), ayuda al descargador de chispas a extinguir el arco y anula la corriente subsiguiente.

Ventajas:

- Aislamiento galvánico garantizado: ausencia de corriente de fuga
- No hay corriente subsiguiente gracias a la alta tensión residual

Desventajas:

- Nivel de protección elevado (U_p alto por la alta tensión de cebado)
- Capacidad de descarga reducida
- Tolerancia de cebado amplia (mayor que en el varistor)

Profundizando

Esta tipología de SPD se caracteriza por la presencia de 2 componentes conectados en serie y caracterizados por dos niveles de protección muy distintos: ¿a qué valor de tensión se expone realmente el equipo que se quiere proteger?

Basando el razonamiento en fundamentos teóricos, el fabricante del SPD suministra un dispositivo del que solo declara el U_p que, según la tecnología, puede coincidir con:

- $U_p = U_{in}$ (tensión de cebado del GDT)
- $U_p = U_{res}$ (tensión residual del varistor)

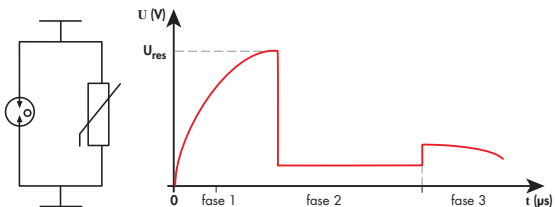
Cabe recordar que es importante conocer el valor de U_p que, en igualdad de corriente de descarga, será más bajo cuanto mejor sea la calidad del componente.

En este tipo de conexión, la corriente en régimen permanente es nula ($I_c = 0$), de modo que el varistor tiene una vida mayor por no estar siempre activado.

Defectos: en este caso, el GDT es pilotado por el varistor, cuyo rendimiento es menor en términos de energía disipada, puesto que disipa mediante su propia impedancia, por lo que la capacidad de descarga podría no ser muy alta. Sin embargo, con las tecnologías actuales es posible tener corrientes de descarga altas, vinculadas a una larga vida útil del varistor y corrientes de fuga nulas.

Conexión en paralelo:

El varistor y el GDT están en paralelo, tensión residual baja, nivel de protección bajo.



Al contrario del caso anterior, en esta configuración de circuito interviene primero el varistor por tener tiempos de intervención menores que los GDT, con una media de 20 ns. Está elaborado de forma que el aumento de la tensión en los extremos del varistor determine el cebado del GDT que, ponteando al varistor lo protege y garantiza altas corrientes de descarga.

Ventajas:

- Tiempos de intervención reducidos
- Altas corrientes de descarga
- Nivel de protección bajo (U_p bajo)
- Precisión de intervención

Desventajas:

- Corriente subsiguiente (U_{res} alta)
- Corriente fuga

5 - Técnicas de instalación

Finalizado el análisis de las características de construcción y funcionamiento de los SPD disponibles en el mercado, continuaremos analizando la metodología de la instalación, que desempeña un papel importante en la protección de los equipos: una instalación mal hecha puede comportar incluso la inutilidad de los SPD.

Veamos primer cómo y dónde conectar el SPD, introduciendo el concepto de **nivel de protección real** $U_{p/f}$. El nivel de protección real cuenta, además de la U_p del SPD, con la caída de tensión en los extremos de los conductores de conexión del SPD.

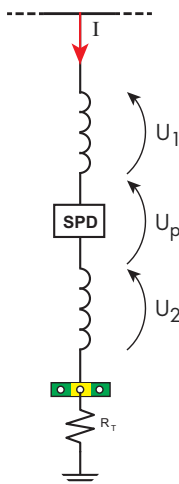
Como podemos observar, la inductancia parasitaria de los conductores juega un papel fundamental, especialmente si la forma de onda de tensión se caracteriza por una pendiente muy elevada. Conociendo la pendiente de la onda, podríamos calcular exactamente el valor de ΔU con la siguiente relación:

$$\Delta U = L \cdot di/dt$$

donde

L : inductancia del cable

di/dt : derivada de la corriente



Vale la relación:

$$U_{p/f} = U_p + U_1 + U_2$$

$$\text{Definimos } \Delta U = U_1 + U_2$$

$$U_{p/f} = U_p + \Delta U$$

La norma EN 62305 cuantifica $\Delta U = 1 \text{ kV/m}$ para SPD de Clase I, mientras que es irrelevante para las Clases II y III.

Por tanto, se deduce que realizar conexiones muy largas, ya sea hacia el SPD o hacia el equipo que se quiere proteger, introduce valores de tensión que no podemos conocer y que se suman al U_p del protector, alterando o incluso anulando la capacidad de protección ofrecida por el SPD.

La fórmula para calcular el valor de protección real que se indica arriba es válida para los SPD que utilizan varistor. De hecho, en este caso la caída ΔU se produce simultáneamente a U_p . Si la caída no se produce simultáneamente como con los descargadores de chispas, debemos elegir el valor mayor entre ΔU y U_p . En este caso, la caída inductiva en las conexiones se produce solo después del cebado del descargador de chispas y por tanto, no se suma a U_p . En los SPD combinados en serie, realizados con varistor y descargador de chispas, el U_p total es dado por el valor mayor entre U_{pGDT} y U_{pVAR} . Si se realizan con 2 varistores en serie, el U_p total es la suma de los U_p de los varistores.

Para garantizar la protección ofrecida por el SPD, se indican a continuación una serie de medidas que hay que tomar durante la fase de instalación.

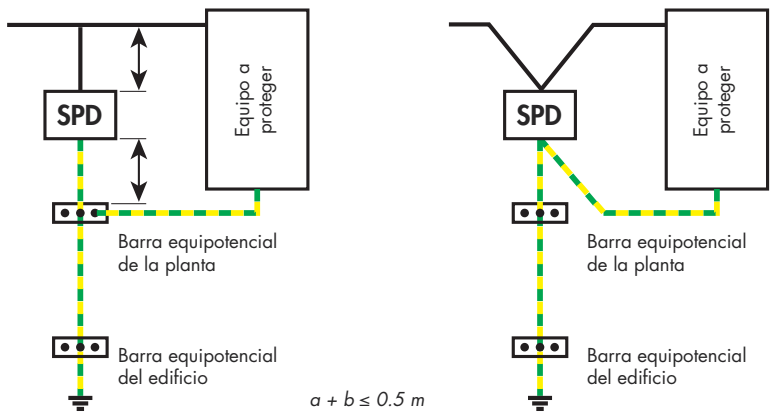
El equipo a proteger debe estar conectado a la barra equipotencial a la que se conecta el SPD y no a cualquier barra equipotencial presente en el edificio con el pretexto de que "al final todas se conectan a tierra" (Figura 16). Además, la longitud de los cables desde y hacia el SPD no debe superar los 50 cm.

Esto vale para los SPD de Tipo 1 cuando son afectados por la I_{imp} (10/350 μs).

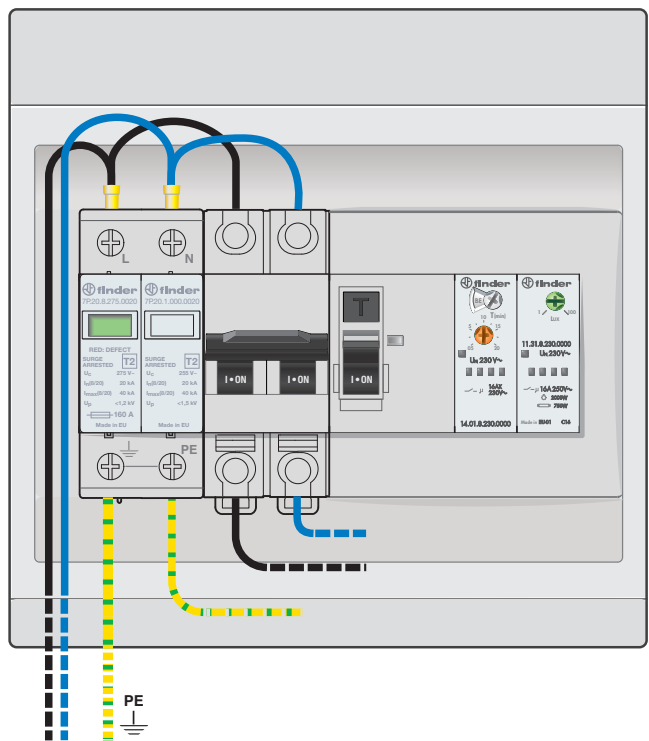
En caso de que las conexiones superen los 50 cm, hay que efectuar la conexión entrada-salida, que se recomienda en todo caso puesto que convierte en irrelevante la aportación ΔU .

En la conexión entrada-salida, los cables que entran y salen del SPD deben mantenerse lo más distantes posible.

Conexión entrada-salida



Instalación correcta



Algunas técnicas que ayudan a mejorar el nivel de protección consisten en reducir la inductancia entre los conductores. Esto puede hacerse trenzando los conductores (Figura 14), o bien utilizando cables blindados (Figura 15). La conexión ideal sigue siendo la entrada-salida.

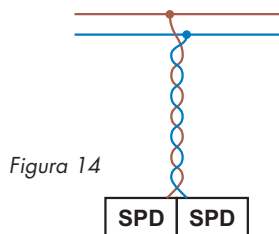


Figura 14

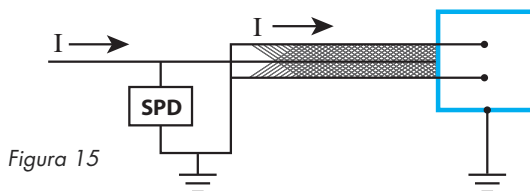


Figura 15

Ofrecemos algunos ejemplos de conexiones incorrectas: el error más común es realizar conexiones demasiado largas desde y hacia el SPD.

Al lado se representa la conexión del SPD a una barra equipotencial cualquiera. En este caso, se introduce la inductancia que conecta la barra equipotencial a la que está conectada el equipo a proteger con la barra equipotencial a la que se conecta el SPD.

En este caso, el valor ΔU se obtiene con la suma de 3 componentes y U_p/f alcanza valores seguramente muy altos.

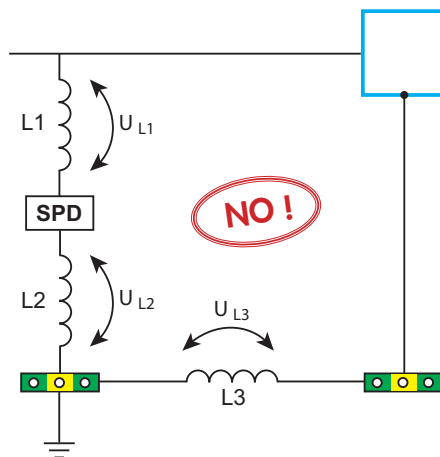


Figura 16:
conexión incorrecta a una barra
equipotencial cualquiera

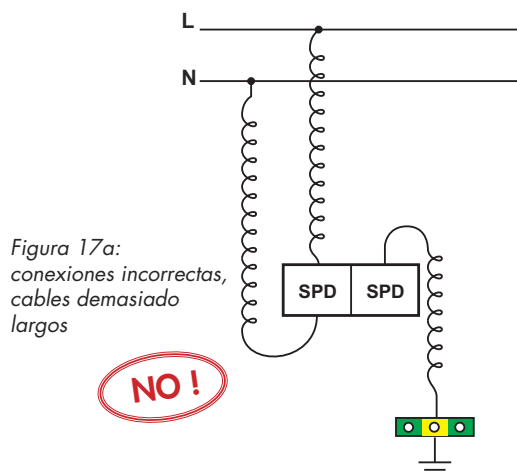


Figura 17a:
conexiones incorrectas,
cables demasiado
largos

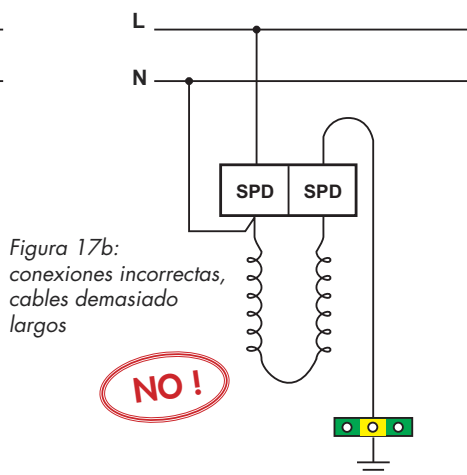
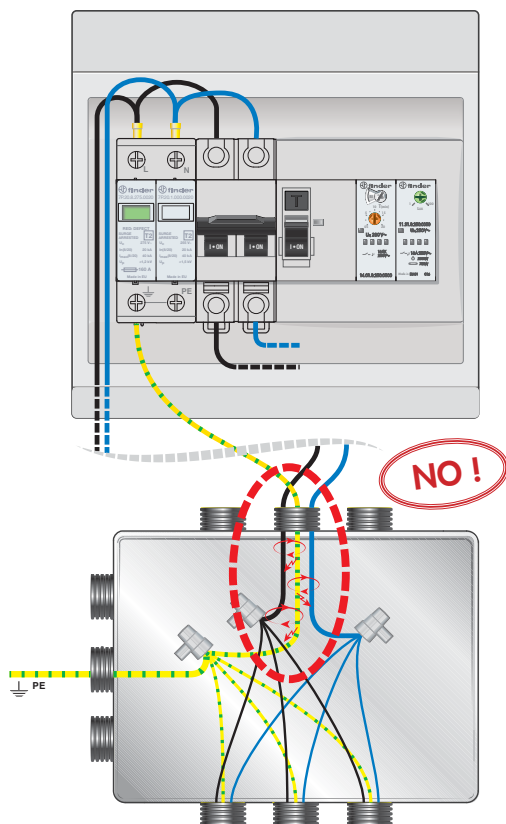


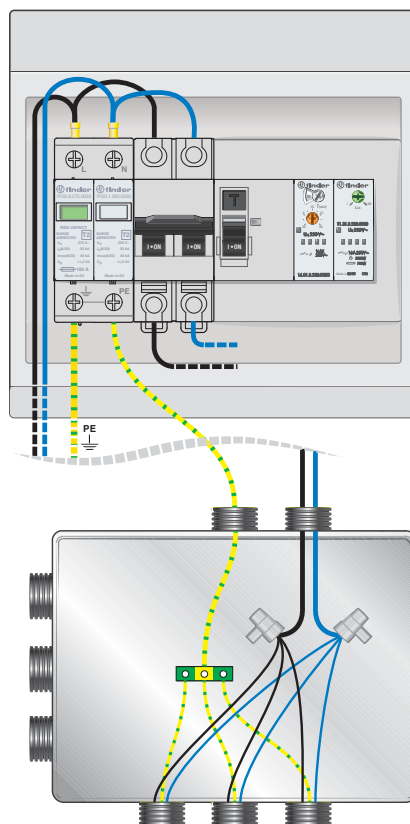
Figura 17b:
conexiones incorrectas,
cables demasiado
largos

Figura 18: instalación incorrecta.
El conductor de tierra corre junto con los conductores protegidos: es posible un acoplamiento inductivo que anule el efecto del SPD.



Otro error que debe evitarse es que el conductor de tierra conectado al SPD corra junto con los conductores protegidos. En este caso, es probable que se creen sobretensiones inducidas en los conductores protegidos.

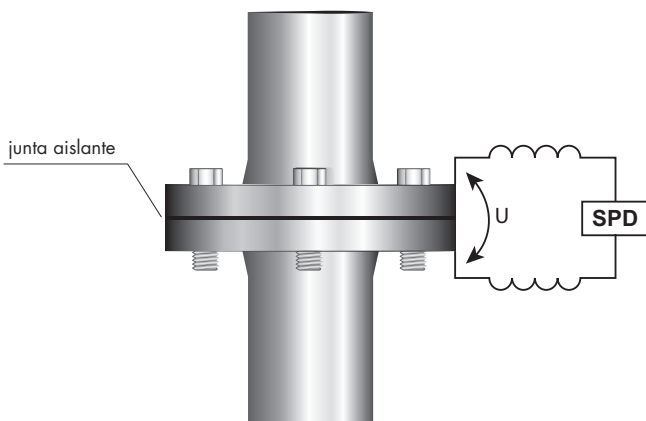
Figura 19: instalación correcta.
Conductor de tierra a la barra equipotencial, separado por fase neutro.



La instalación correcta prevé que el conductor de tierra que sale del SPD se conecte a una barra equipotencial y guiado por un tubo independiente.

Analicemos nuevamente cómo hay que comportarse en caso de que se interpongan juntas de material aislante con alta resistividad eléctrica en las tuberías de metal (masas extrañas), que crean serios problemas en caso de sobretensiones.

Por lo general, donde hay juntas es suficiente instalar puentes para garantizar la continuidad eléctrica no asegurada por los tornillos. En aplicaciones muy raras, podría ser necesario instalar un SPD y en este caso la **longitud máxima de las conexiones es de 40 cm**.



Distancia de protección

Cuando se pretende proteger un equipo, hay que decidir dónde instalar el SPD. Cuanto más cerca esté el SPD del equipo a proteger, mejor lo protegerá. Cuanto más se aleje el SPD, menos protegerá el equipo, pero será posible aumentar la protección de otros dispositivos.

Un SPD instalado en un cuadro no protege todo lo que queda aguas abajo, sino que protege hasta una cierta distancia, compatible con la tensión soportada a impulso (U_w) de los dispositivos conectados. Supongamos que el dispositivo a proteger tiene una tensión soportada a impulso de 2.5 kV. En este caso podemos protegerlo, por ejemplo, alejándonos hasta 20 m. En cambio, si U_w es igual a 4 kV podemos protegerlo, por ejemplo, alejándonos hasta 40 m. Estos valores son puramente indicativos y no tienen ningún fundamento práctico.

Actualmente, la norma no establece límites sobre la capacidad de protección de un SPD siempre y cuando esté ubicado dentro de 10 m con respecto al equipo a proteger, pero es posible que en el futuro la distancia de protección máxima no supere los 3 m. Para garantizar la protección ofrecida por el SPD instalado, siempre es mejor verificar la relación: $U_{p/f} < U_w/2$ (EN 62305).

Profundizando

La necesidad de establecer la distancia máxima de protección deriva de los complejos fenómenos asociados a las ondas reflejadas, ya que si una onda de tensión llega al fondo de la línea y encuentra una carga no adaptada, esta se refleja, regresa y se superpone a la onda de tensión que se está propagando.

Esto significa que si la sobretensión residual (U_{res}) que queda en los extremos del SPD se propaga a lo largo de la línea y encuentra en su fondo un circuito abierto, esta se refleja, regresa y por el fenómeno de las ondas estacionarias, la tensión en el fondo de la línea (y por tanto, en los extremos del equipo) puede incluso duplicarse alcanzando un valor de $2 U_{res}$.

Si la longitud de los cables es superior a 10 m, la distancia de instalación se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$L_{po} = [U_N - U_{p/f}]/K \text{ [m]}$$

con $K=25 \text{ V/m}$

Imaginemos que hay un aumento de tensión total por metro equivalente a:

$$\Delta U = 2 \cdot S \cdot \tau$$

donde

S: varía con la pendiente de la forma de onda: 0.8 - 0.9 representan valores cautelares y razonables

τ : es el tiempo necesario para recorrer el tramo de cable

$$\tau = L/v$$

donde

v = velocidad de propagación de la onda.

Entonces, podemos obtener K: $K = 2 \cdot S \cdot \tau$

De ahí, la caída por metro de cable $\Delta U = K \cdot L \text{ [V/m]}$

Entonces vale: $U_{p/f} + K \cdot L_{po} < U_W$ (esta fórmula no se aplica por debajo de los 10 m)

Con frecuencia, no es posible instalar un solo SPD para proteger todos los equipos sensibles, por lo que deben instalarse dos o más SPD para que los aparatos queden instalados dentro de la distancia de protección ofrecida por el SPD. Para ello, hay que instalar los SPD en cascada, de modo que estén coordinados energéticamente.

Dos o más SPD coordinados energéticamente constituyen un SISTEMA de SPD.

El sistema de SPD y la coordinación energética

Un sistema de SPD se obtiene conectando en sucesión al menos dos SPD coordinados energéticamente. Esto quiere decir que la energía que deja fluir el primer SPD es compatible con la energía que es capaz de soportar el próximo SPD.

La coordinación se efectúa “distanciando” correctamente los SPD, introduciendo una inductancia de valor adecuado. Tomando en cuenta las frecuencias que están en juego, los cables utilizados en la instalación eléctrica introducen automáticamente esta inductancia. Las normas cuantifican $1 \mu\text{H/m}$; esto significa que si distanciamos dos SPD en 5 m, introducimos entre ambos dispositivos una inductancia de $5 \mu\text{H}$.

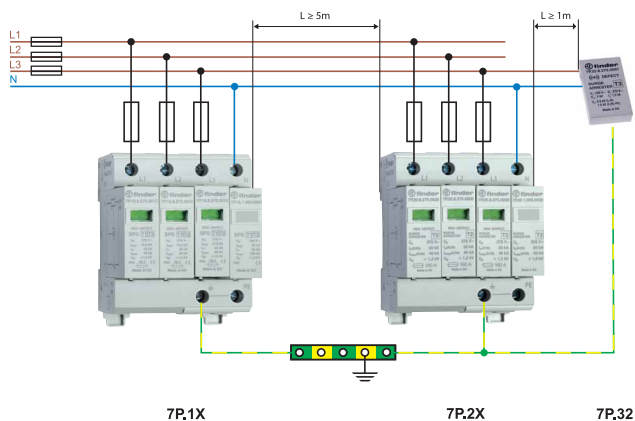
El valor mínimo de la inductancia que se ha de introducir o en otras palabras, la longitud en metros de cable útil para distanciar los componentes, está indicada por el fabricante. Por tanto, dicho valor es el mínimo requerido para garantizar un reparto de las sobretensiones, en términos energéticos, entre el SPD aguas arriba y el SPD aguas abajo. De esta manera, el primero absorbe la energía suficiente para no dañar al segundo (apéndice 4 de la norma EN 62305). Supongamos que hay que realizar la protección contra sobretensiones de un edificio instalando en el cuadro de distribución principal un SPD de Tipo 1 y en el cuadro aguas abajo, un SPD de Tipo 2. A menudo, con un solo SPD en la entrada de la línea no se protege nada. Esto sirve para disminuir las probabilidades de que se celebren descargas peligrosas y por tanto, incendios: el SPD de Clase I evita la muerte de las personas, pero no protege los equipos. Esta función la desempeña un sistema de SPD.

Por tanto, habrá que instalar un SPD de Clase II más cerca de los equipos que se quieren proteger. Cerca de los equipos electrónicos sensibles y costosos (PC, TV, etc.) habrá que instalar un SPD de Tipo 3.

En la siguiente figura se representa un sistema de protección contra sobretensiones para un sistema TT trifásico.

En este caso, se utiliza un SPD de Tipo 1 “Low U_p ”, instalando un SPD de Tipo 2 a una distancia mínima de 5 m y en correspondencia con los dispositivos finales (y a una distancia mínima de 1 m con respecto al T2), un SPD de Tipo 3.

Figura 20:
coordinación energética
entre SPD de Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3

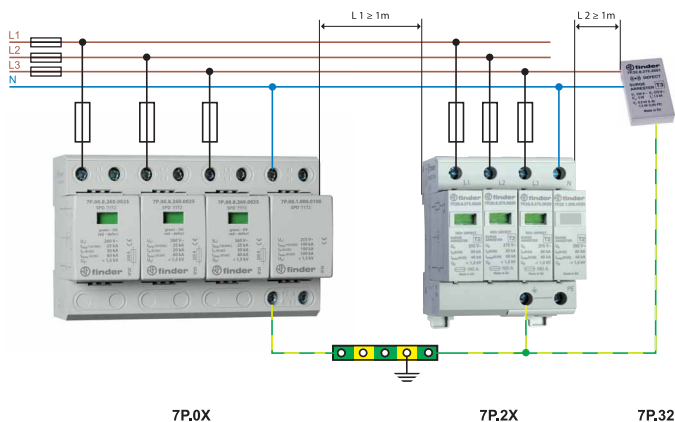


Los SPD Finder de Tipo 1 garantizan valores bajos de U_p , similares a los valores de los SPD Finder de Tipo 2.

Esto es posible gracias al uso de varistores de alta calidad.

Un sistema de protección análogo, pero con corrientes de descarga mayores, se obtiene utilizando los SPD combinados Tipo 1+2. Estos SPD desempeñan exactamente las mismas funciones que los SPD de Clase I y de Clase II instalados en cascada (cabe recordar que “Clase” y “Tipo” son sinónimos).

Figura 21:
coordinación energética
entre SPD de Tipo 1+2, Tipo 2
y Tipo 3



Los SPD Tipo 1+2, los "7P.0x", ofrecen, para todos los efectos, la misma protección que un SPD de Tipo 1 y un SPD de Tipo 2 perfectamente coordinados. En la Figura 21, el SPD de Clase II se ha introducido suponiendo que la instalación tienen una cierta extensión, pero en instalaciones pequeñas, que respetan la distancia de protección, el SPD de Tipo 2 no tiene que instalarse (Figura 22).

Figura 22:
coordinación energética entre
SPD de Tipo 1+2 y de Tipo 3

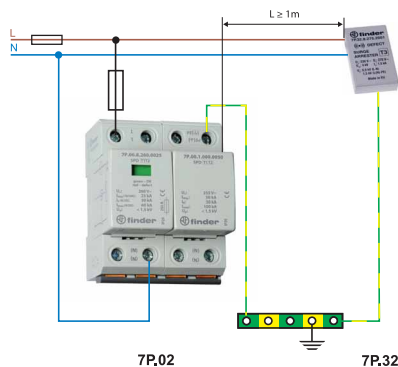
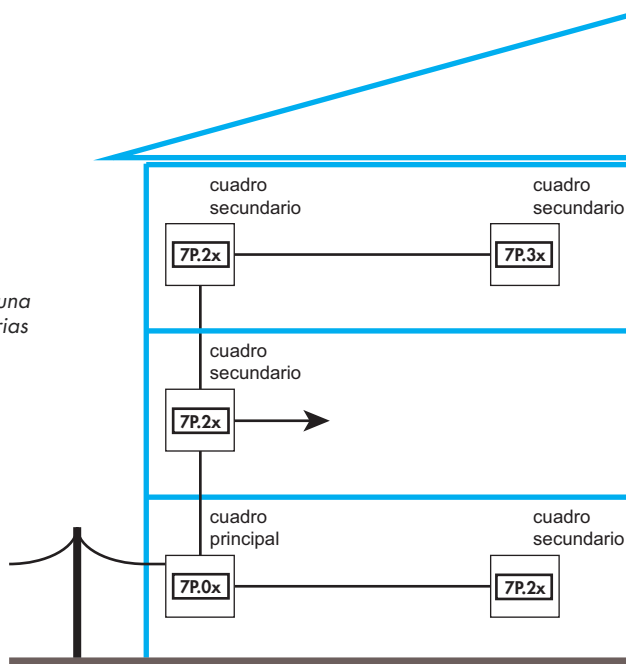


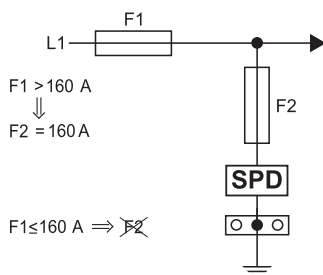
Figura 23:
coordinación energética de una
instalación distribuida en varias
plantas



Sistemas de seguridad: fusibles, interruptores magnetotérmicos y magnetotérmicos diferenciales

Los SPD pueden instalarse con o sin fusibles de protección.

Para establecer cuándo instalar los fusibles, podemos hacer referencia al esquema:



F1 representa el dispositivo de protección principal contra las sobrecorrientes. Si F1 es mayor que el valor de corriente indicado en el catálogo como "Protección máxima de sobrecorriente", entonces hay que proteger el SPD con un fusible del valor siguiente:

Para SPD Tipo 1+2 (7P.0x): 250 A

Para SPD Tipo 1+2 (7P.1x): 160 A

Para SPD Tipo 2 (7P.2x): 160 A

Utilizar fusibles de valores distintos a los que se indican es contraproducente, ya que esto determina una reducción de las características del SPD: de hecho, si son de valor inferior al requerido, los fusibles se funden con corrientes de rayo inferiores a las que se indican en la placa del SPD, reduciendo así sus prestaciones.

Lo mismo se aplica cuando se utilizan interruptores magnetotérmicos-diferenciales y magnetotérmicos puros: en el laboratorio se probaron varios magnetotérmicos curva C, con I_n de 25 A y 32 A: al pasar la sobrecorriente con forma de onda 8/20 μ s, estos intervenían abriendo los contactos, como si hubiera un fallo. Los valores en juego eran muy bajos: se habla de corrientes de 5 kA contra los 20 kA de corriente nominal del SPD. Se deduce por tanto, que introducir un interruptor de protección de seguridad comporta la reducción de las prestaciones del SPD que, en ese caso, solo funcionará correctamente con corrientes menores.

Esto significa que:

- solo se limita una parte de la sobrecorriente;
- el SPD no se daña, pero se desconecta de la instalación hasta que un operador restablece el interruptor;
- la norma no los prohíbe, pero precisa que los diferenciales aumentan el $U_{p/f}$ y por consiguiente, reducen la distancia de protección y aumentan la fatiga de los aislantes;
- los magnetotérmicos de diferentes fabricantes son muy distintos y por tanto, no se puede establecer de antemano su comportamiento con el SPD.

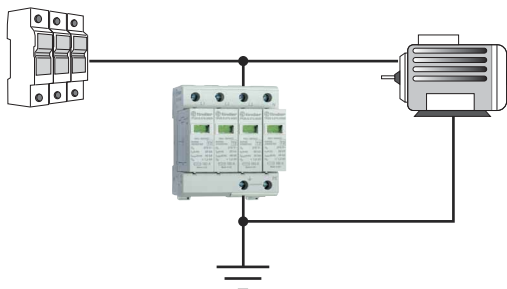
Concluyendo, de las pruebas se desprende que los magnetotérmicos de 63 A, curva C, permiten que el SPD trabaje hasta 38 kA, contra sus 40 kA de I_{max} y este valor no es suficiente para declarar su correspondencia perfecta con los datos de la placa. Por tanto, se recomienda utilizar siempre los fusibles, que no empeoran de ninguna forma el $U_{p/f}$ y cuyo funcionamiento es estándar, independientemente del fabricante.

Para un SPD con descargador de chispas, es importante verificar que el valor nominal de interrupción de la corriente subsiguiente sea superior al valor de la corriente de cortocircuito en el punto de instalación. Los SPD Finder, sin fusible, tienen una capacidad de extinción de la corriente subsiguiente equivalente a 100 A.

Con el uso del fusible, el valor de corriente de cortocircuito soportada aumenta hasta 35 kA.

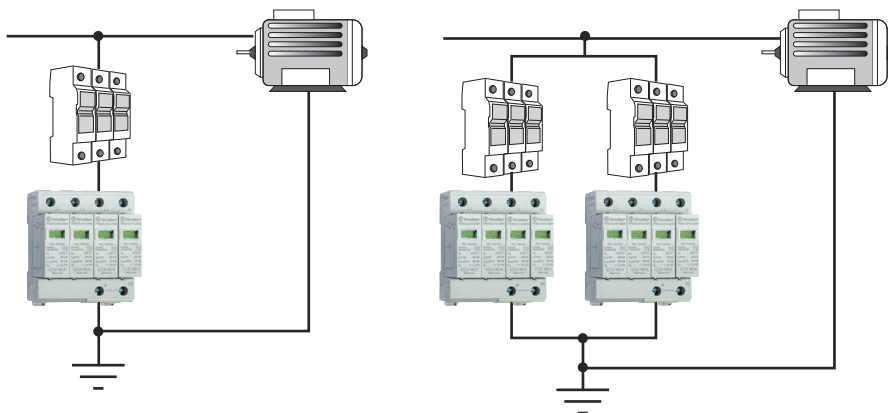
Las protecciones de seguridad pueden instalarse de modo que se anteponga la protección o la continuidad de la alimentación (y por tanto del servicio) del dispositivo a proteger.

Prioridad de la protección:



En este caso, el fusible protege tanto el SPD como el dispositivo que se quiere proteger. Si un fusible salta porque el SPD se ha dañado debido a una sobrecorriente elevada, se produce una parada de la máquina.

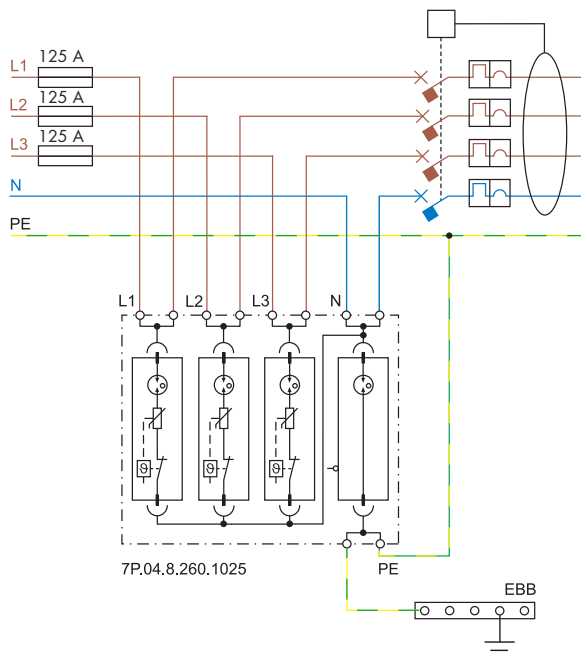
Prioridad de la alimentación



En la prioridad de la alimentación los fusibles protegen solamente el SPD. En este caso, si interviene un fusible porque el SPD se dañó debido a una sobrecorriente elevada, el equipo sigue funcionando; en otras palabras, no pierde el servicio, pero la máquina ya no está protegida. Si se considera oportuno, el sistema de protección contra sobretensiones puede repetirse dos veces.

Conexión en serie (V-shape)

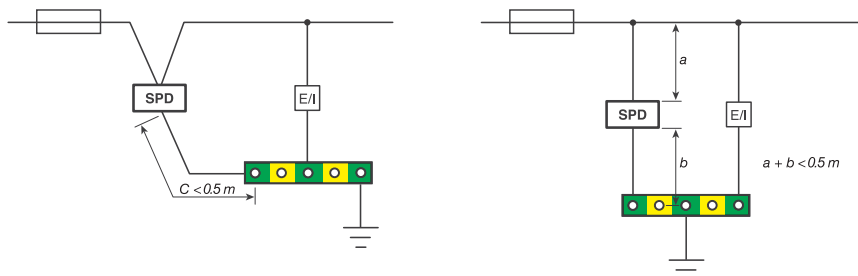
La conexión en serie (V-shape) permite aumentar la eficacia de la protección, eliminando el aporte de la tensión inductiva introducida por los conductores de conexión del SPD durante el drenaje de la sobrecorriente. El límite de esta instalación está dado por la corriente nominal del sistema que, al tener que atravesar el doble borne del SPD, no puede superar los 125 A.



Para sistemas con corriente nominal superior a 125 A, hay que proceder con la instalación clásica del SPD en paralelo al sistema (T-shape).

Conductores de conexión

Según el tipo de conexión, en serie (V-shape) o paralelo (T-shape), hay que prestar atención a que se respeten la longitud y la sección mínima de los conductores que alimentan los SPD:



Los conductores de conexión del SPD deben ser rectilíneos y lo más cortos posible. Las secciones de los conductores de conexión entre el SPD y los conductores activos de la línea eléctrica son las mismas que se utilizan en la instalación eléctrica, en el punto de instalación del SPD. Las secciones de los conductores de conexión hacia tierra deben tener secciones mínimas muy precisas, tal como se indica en la tabla (para conductores de cobre):

SPD	Sección mínima mm ²
Clase I	6
Clase II	4
Clase III	1.5

6 - Aplicaciones industriales

Premisa

En el campo industrial, los criterios de instalación son similares a los del sector civil; la diferencia estriba únicamente en el número de fases de la instalación. Las instalaciones industriales pueden ser TN, IT y TT; estas últimas también se utilizan en el sector civil.

Haciendo referencia a la norma EN 60364, de la que deriva la CEI 64-8, se definen tres tipos de sistemas de distribución que difieren en función de la conexión a tierra del sistema de los conductores activos y de la conexión a tierra de las masas:

Para su clasificación se utilizan dos letras que asumen el siguiente significado:

1º letra: T = neutro conectado a tierra

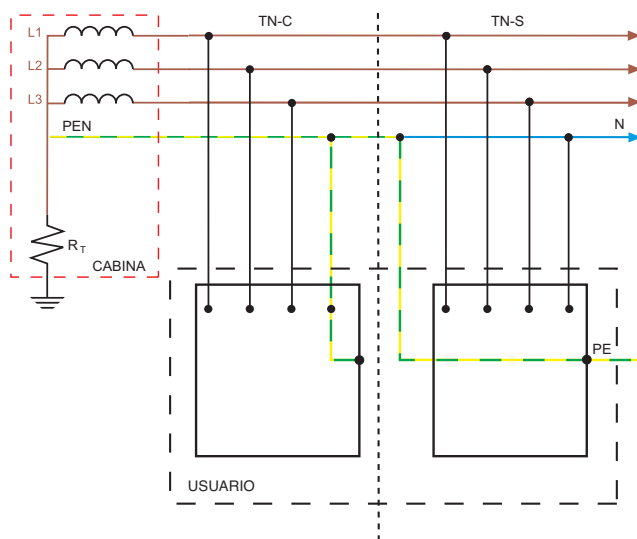
1º letra: I = neutro no conectado a tierra, o bien conectado a tierra mediante una impedancia

2º letra: T = masas conectadas a tierra

2º letra: N = masas conectadas al neutro del sistema

Comencemos a analizar los métodos de instalación de los SPD en el sector industrial, que es más complejo, estudiando en orden los sistemas TN, TT y por último el sistema TT, que servirá de puente de conexión para las instalaciones civiles.

Sistema TN



En el sistema TN, el neutro del sistema se conecta directamente a la instalación de tierra. Las masas se conectan al conductor de neutro directamente (TN-C) o mediante un conductor de protección (TN-S). Si el conductor de neutro sirve también como conductor de protección, este asume el nombre de PEN.

Haciendo referencia a la Variante 2 de la CEI 64-8, el modo correcto de instalación de los SPD requiere la conexión de "Tipo A", que prevé la instalación de los SPD entre los conductores activos y el conductor de protección principal o bien entre los conductores activos y el colector principal de tierra. Entre ambos debe elegirse el recorrido más corto.

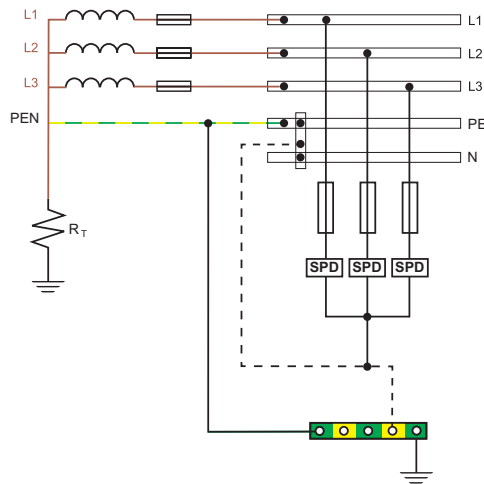


Figura 24: conexión de "Tipo A": SPD entre conductores activos y PEN

En correspondencia con el cuadro secundario, un sistema TN-C podría convertirse en TN-S y como dispositivos de protección contra los contactos indirectos se podrían utilizar los interruptores diferenciales (RCD), tal como se ilustra en la Figura 25.

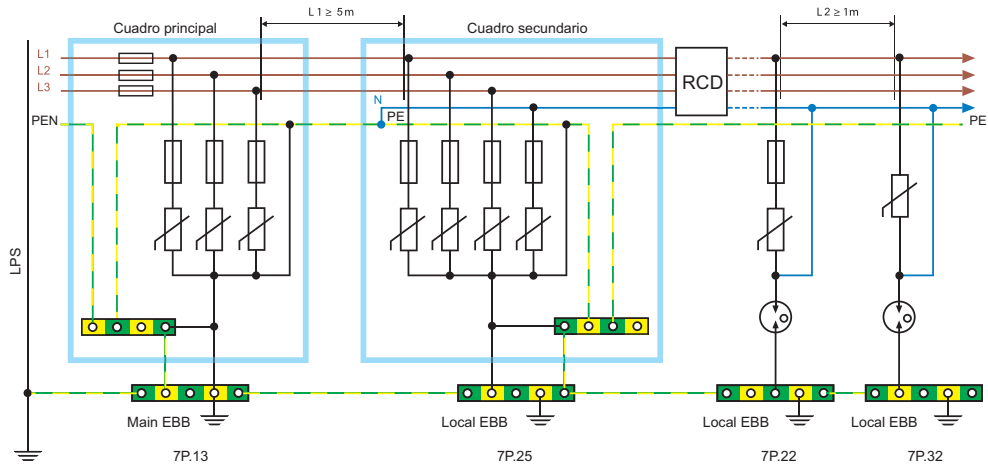
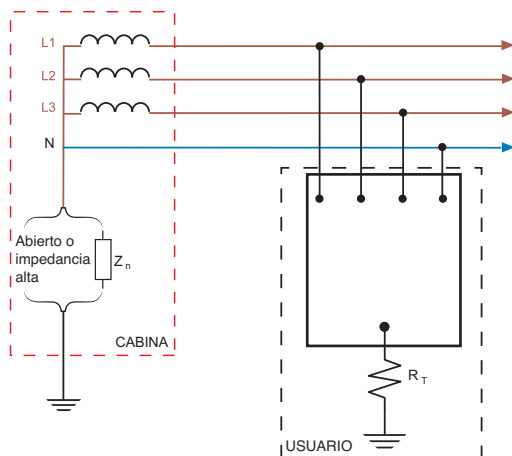


Figura 25: conexión de "Tipo A" y coordinación energética efectuada con SPD Finder

En el cuadro principal, aguas abajo de los dispositivos de máxima corriente se instala un SPD de Tipo 1, mientras que en el cuadro secundario aguas arriba del diferencial se instala un SPD de Tipo 2, que será de tipo "4+0" provisto de 4 varistores. Aguas abajo del diferencial se podrán utilizar SPD de Clase II con configuración 1+1.

Sistema IT



En el sistema IT, el neutro está aislado o conectado a tierra mediante una impedancia de alto valor (para 230/400 V, cientos de ohmios), mientras que las masas están conectadas a una tierra local. Este es un sistema utilizado para instalaciones con requisitos particulares de continuidad de funcionamiento.

Este tipo de instalación también requiere la conexión de "Tipo A".

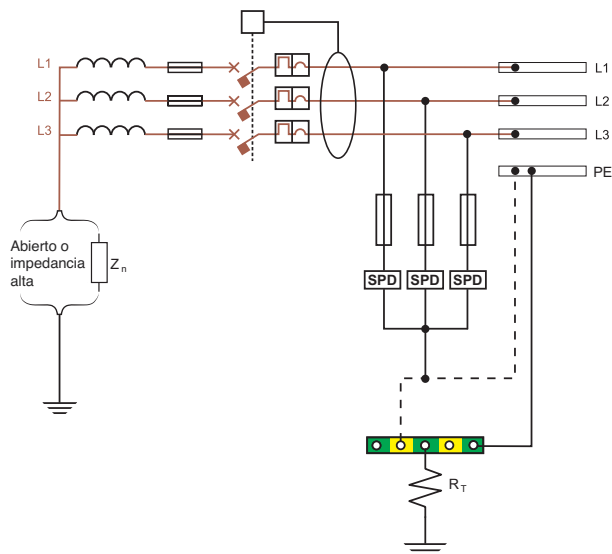


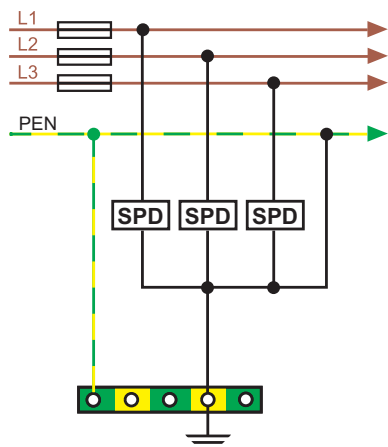
Figura 26: conexión de "Tipo A": SPD entre conductores activos y PE

Como adelantamos, el sistema IT se utiliza en condiciones particulares como, por ejemplo, en aquellas industrias en las que la producción no puede interrumpirse en ningún caso. Al primer fallo, un sistema IT se convierte en un TT o TN, por lo que el sistema sigue funcionando para no interrumpir la producción.

Al primer fallo, el PE asume el potencial de la fase defectuosa, pero esto no representa un problema porque el PE y todas las partes que pueden afectarse simultáneamente asumen el mismo potencial y por tanto, no puede haber diferencias de potencial peligrosas. Esto implica que en la fase de diseño de las protecciones contra sobretensiones en un sistema IT 230/400 V, en caso de que haya un SPD defectuoso, se producirá una tensión de 400 V en el SPD no defectuoso.

Según el tipo de IT, sea con neutro distribuido o no distribuido, habrá que elegir SPD idóneos tomando en cuenta la tensión que puede presentarse en caso de producirse un fallo en los SPD.

Sistema IT con Neutro NO distribuido



$$U_n \leq 400 \text{ V AC}$$

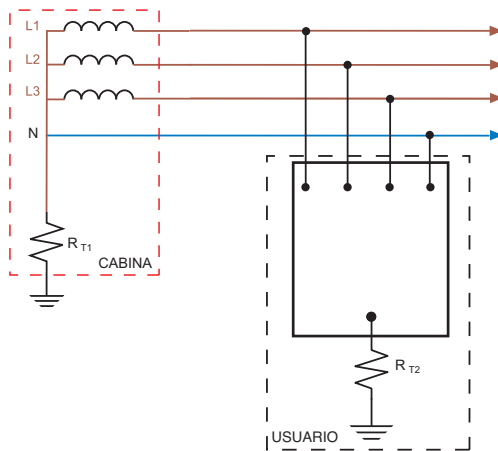
SPD L-PE:
 $U_c = 600 \text{ V AC}$

por tanto:

$$3 \times \text{SPD } U_c = 600 \text{ V AC}$$

Para los sistemas IT con neutro distribuido, el valor nominal de interrupción de la corriente subsiguiente para los SPD conectados entre neutro y PE debe ser el mismo que para los SPD conectados entre fase y neutro.

Sistema TT



En el sistema TT: el neutro se conecta directamente a tierra, mientras que las masas se conectan a una instalación de puesta a tierra local independiente de la del neutro.

Haciendo referencia a la Variante 2 de la CEI 64-8, en los sistemas TT los SPD pueden conectarse a la red eléctrica siguiendo la conexión "Tipo B" o "Tipo C". La conexión "Tipo B" prevé que los SPD se conecten entre cada uno de los conductores activos y el conductor de protección principal, o bien, si el recorrido es más corto, entre cada uno de los conductores activos y el colector principal de tierra.

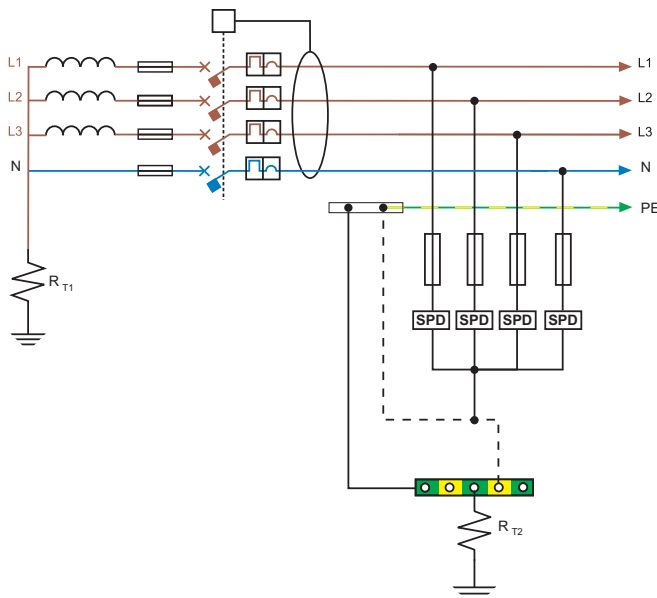


Figura 27: conexión de "Tipo B": los SPD conectados a las fases y al neutro se refieren a tierra

La conexión de "Tipo C" prevé la conexión de los SPD entre cada conductor de fase y el neutro y entre el conductor de neutro y el conductor de protección, o bien, si el recorrido es menor, entre el neutro y el colector principal de tierra.

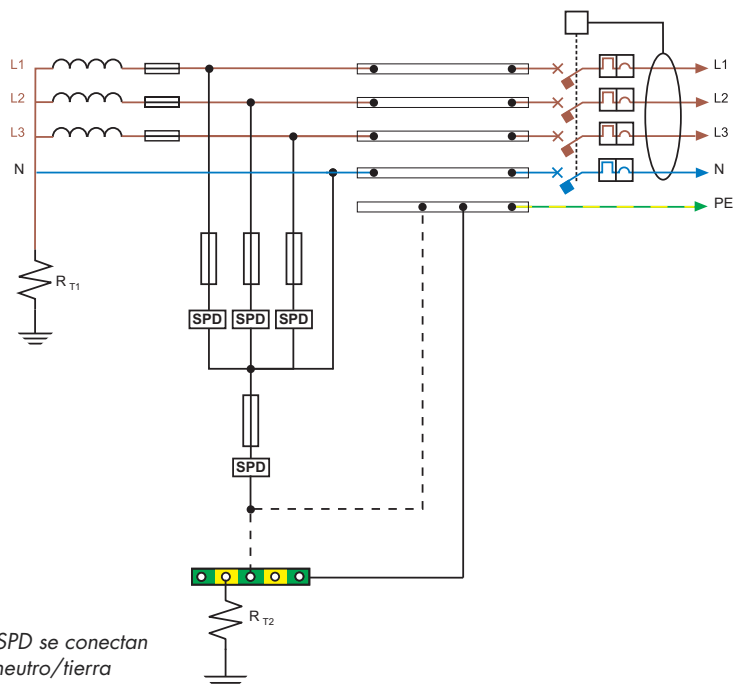


Figura 28:
conexión de "Tipo C": los SPD se conectan entre fases/neutro y entre neutro/tierra

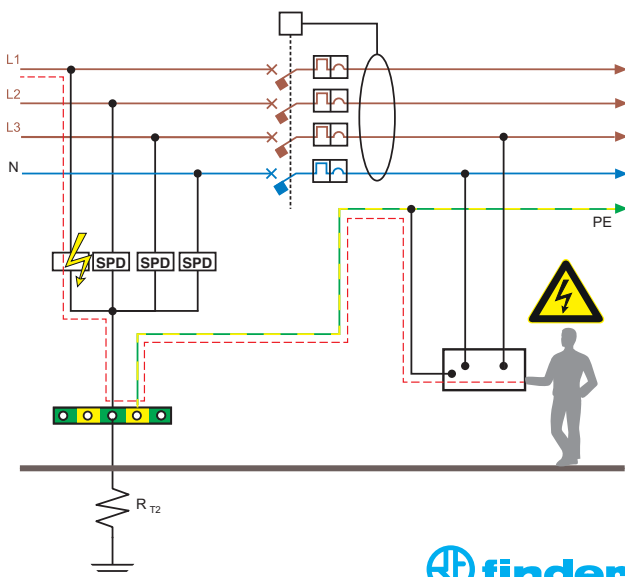
En la conexión de "Tipo B", los SPD se conectan aguas abajo del diferencial y por tanto, cualquier sobretensión atraviesa el diferencial antes de llegar al SPD. Esto significa que, a consecuencia de las fatigas electromecánicas asociadas a las sobrecorrientes, un diferencial normal puede explotar o simplemente abrirse, interrumpiendo el circuito. Los diferenciales de tipo S se ensayan, entre otras cosas, con 10 impulsos de sobretensión con forma de onda 8/20 μ s y amplitud de 3 kV, a fin de evitar la intervención inmediata y permitir que el SPD funcione correctamente. Esto sirve sólo para valores bajos de sobretensiones; pues si son muy altos también pueden destruirse. Por consiguiente, conviene instalar los SPD aguas arriba del diferencial, como se esquematiza en la conexión de "Tipo C". En este caso, los SPD deben tener una configuración "3+1": varistores entre fase y neutro, GDT entre neutro y tierra.

Es importante respetar la configuración "3+1" porque con 4 varistores (configuración "4+0"), se introduce un punto débil potencialmente peligroso en la instalación.

Imaginemos que hemos instalado en un sistema TT un SPD compuesto por 4 varistores conectados según la conexión de "Tipo B" aguas arriba del diferencial.

En caso de fallo de un varistor, una cierta cantidad de corriente se dirige a tierra, poniendo bajo tensión las masas.

El interruptor diferencial, que está aguas abajo del fallo, no lo percibe y no abre el circuito. De esta manera, las masas conectadas a la instalación de puesta a tierra se someten a una tensión peligrosa para las personas.



Interponiendo un GDT entre neutro y tierra, podemos obviar este problema:

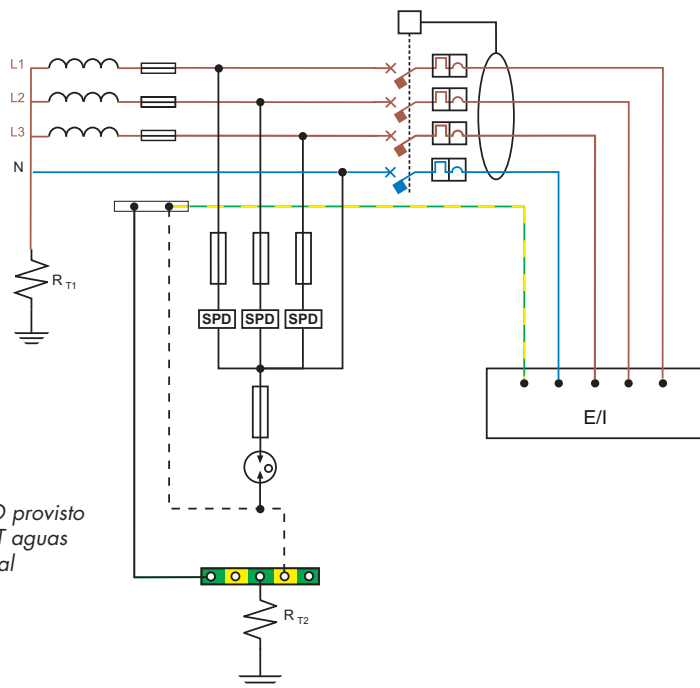


Figura 29:
conexión de un SPD provisto
de varistores + GDT aguas
arriba del diferencial

Con la configuración "3+1", las masas conectadas aguas abajo del diferencial no pueden ponerse en tensión en caso de fallo del varistor, ya que el GDT asegura una separación galvánica hacia tierra, garantizando la seguridad de las personas.

Si el edificio dispone de pararrayos (LPS), debe utilizarse la conexión de "Tipo C"; no se puede usar la conexión de "Tipo B".

Esto se debe a que, cuando se descarga un rayo a tierra a través de la bajada, la instalación de tierra se pone bajo tensión. El SPD interviene encerrando la sobretensión en la línea que tiene potencial 0.

Los dispositivos conectados a la instalación están expuestos a una sobretensión equivalente a la U_{res} del SPD.

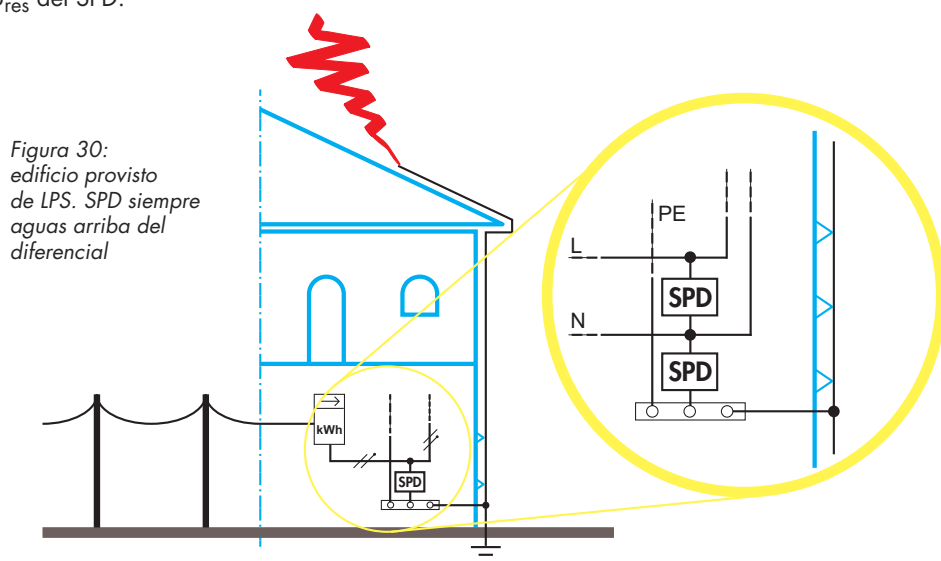


Figura 30:
edificio provisto
de LPS. SPD siempre
aguas arriba del
diferencial

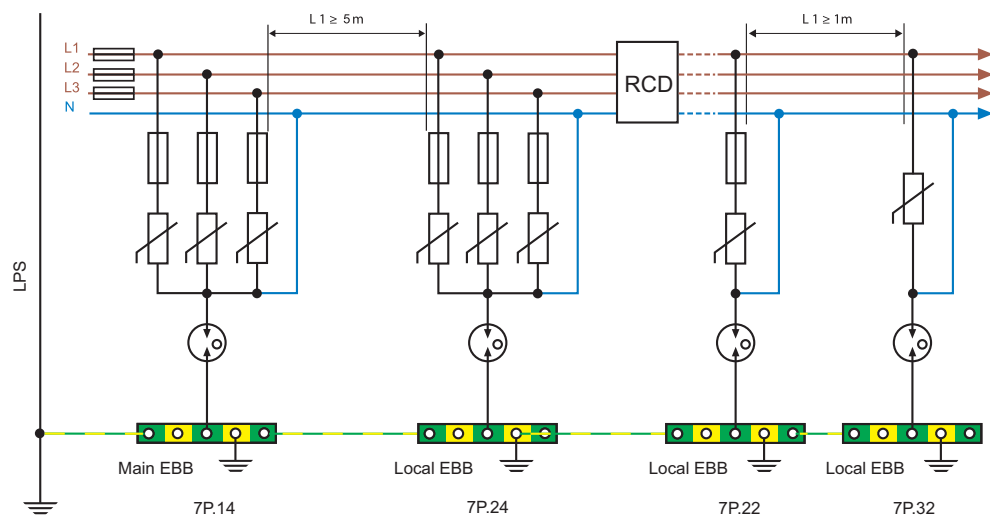


Figura 31: conexión de "Tipo C" y coordinación energética efectuada con SPD Finder

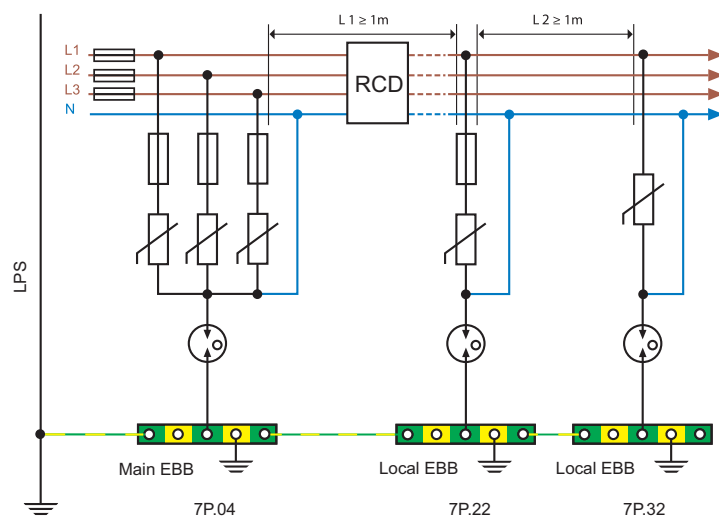


Figura 32: conexión de "Tipo C" y coordinación energética efectuada con SPD Finder de tipo combinado

Modos de protección de los SPD

Resumiendo, es posible decir que los SPD pueden conectarse de distintos modos, previamente descritos, según las conexiones de "Tipo A", "Tipo B" y "Tipo C", como se esquematiza en la siguiente tabla (CEI 64-8/2):

SPD conectados entre cada conductor de:	Configuración en el sistema en el punto de instalación del SPD		
	Conexión tipo A	Conexión tipo B	Conexión tipo C
Fase y el neutro	NA	NA	•
Fase y el PE	NA	•	NA
Neutro y el PE	NA	•	•
Fase y el PEN	•	NA	NA
Conductores de fase	+	+	+

• - Requerido
NA - No aplica
+ - Opcional

7 - Aplicaciones civiles

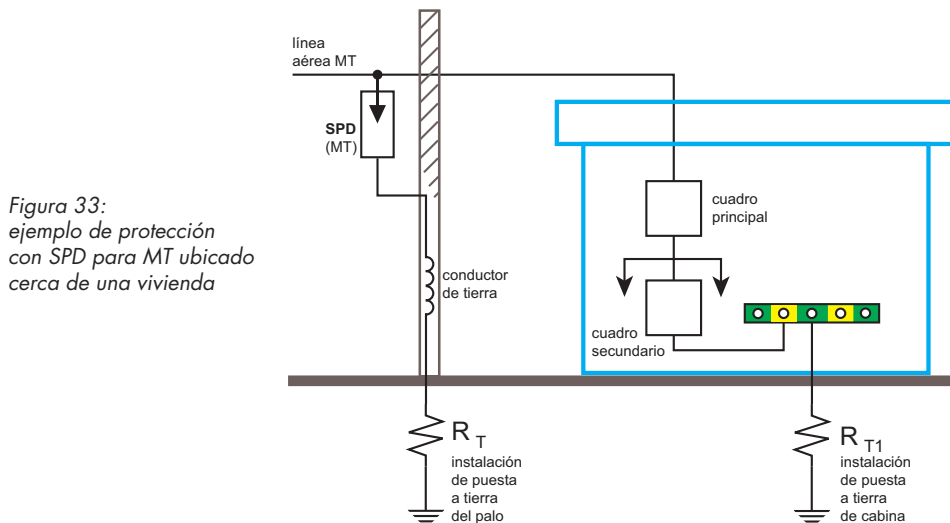
A menudo, se considera que en las instalaciones residenciales, como casas, villas o apartamentos, no hace falta instalar protectores contra sobretensiones, olvidando que estas instalaciones también están conectadas a una línea eléctrica de media tensión con una cierta extensión y sujeta a sobretensiones de maniobra e impactos directos e indirectos de rayos.

La protección ideal se obtiene instalando en el cuadro principal un SPD de Clase I, en correspondencia con la acometida eléctrica, después del contador. En el cuadro secundario se instala, según la coordinación energética, un SPD de Clase II. Como alternativa, se puede instalar en el cuadro principal un SPD de Tipo combinado 1+2, que desempeña ambas funciones (permitiendo ahorrar dinero y espacio).

SPD de MT

En la línea MT de distribución de la energía eléctrica se instalan SPD para proteger los dispositivos dedicados al funcionamiento normal de la línea y se pueden instalar SPD de MT en las cabinas de transformación para proteger los transformadores. En este caso, aumentan las probabilidades de que se dañen los equipos domésticos: durante la intervención del SPD, la instalación de puesta a tierra de la casa puede alcanzar tensiones del orden de decenas de kV, que encontramos en los electrodomésticos.

Veamos por qué: supongamos que tenemos un SPD para MT instalado cerca de una vivienda, como en la Figura 33.



El poste está provisto de instalación de puesta a tierra, al igual que la vivienda.

Supongamos que una sobrecorriente con forma de onda 8/20 μ s y amplitud de 2 kA se propaga a lo largo de la línea.

Cuando la sobrecorriente alcanza el SPD, este interviene y descarga la corriente a tierra.

Entre la línea y la tierra hay una diferencia de potencial dada por la suma de tres factores:

- La tensión residual del SPD. $U_{res}=1.5$ kV
- La caída de tensión a lo largo del conductor de tierra del poste $\Delta U = 2$ kV
- El valor de tensión que alcanza la instalación de puesta a tierra durante la descarga.

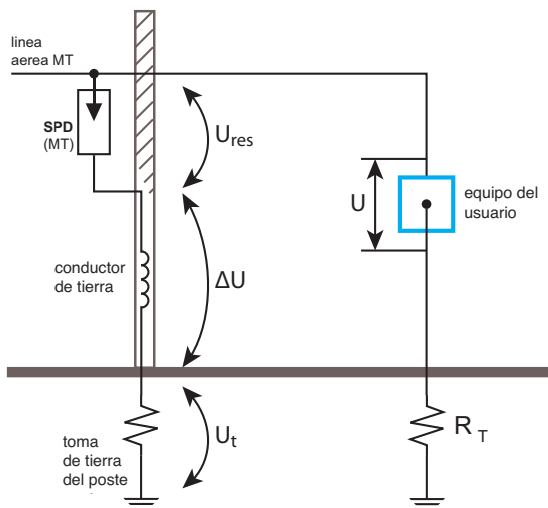
Suponiendo que la resistencia de tierra es de 5 Ω , $U_t = 10$ kV

En los extremos del equipo usuario habrá una sobretensión de:

$$U = U_{\text{res}} + \Delta U + U_t = 1.5 + 2 + 10 = 13.5 \text{ kV}$$

Observemos que la forma de onda considerada en este ejemplo es relativa a una sobretensión inducida y que no estamos hablando de un impacto directo; no obstante, el esfuerzo al que se someten los aislantes de los dispositivos conectados a tierra es muy grande y la probabilidad de daño irreversible es muy alta.

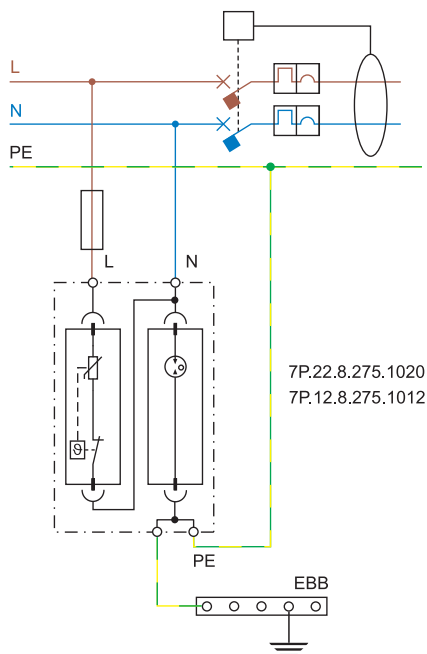
Con la introducción de un sistema de protección contra sobretensiones idóneo, realizable incluso con SPD de Tipo 1 +2, la sobretensión procedente de la instalación de puesta a tierra se contiene en la línea, protegiendo los dispositivos electrónicos conectados a la red y a la instalación de puesta a tierra.



¿SPD antes o después del diferencial?

Para los sistemas TT domésticos, conviene instalar los SPD aguas arriba del diferencial para protegerlo y no tener que utilizar diferenciales retardados (invitamos al lector a revisar las características de los diferenciales de Tipo S y sus vínculos normativos).

Figura 34:
aplicación de los SPD en
sistemas monofásicos



Como se representa en la Figura 34, el SPD debe tener la configuración "1+1" y por tanto, debe haber un GDT que garantice la separación galvánica entre neutro y tierra. Así, en caso de fallo, se garantiza que no haya tensiones peligrosas en las masas conectadas a la instalación de puesta a tierra. Aguas abajo del diferencial es posible instalar, indistintamente, SPD con varistor y GDT o dos varistores.

CEI 64-8/3

A continuación analizaremos la Variante 3 de la CEI 64-8, que prescribe el uso de SPD en ambientes residenciales: “Cabe recordar que un circuito eléctrico de una instalación es el conjunto de componentes de una instalación alimentados por un mismo punto y protegidos contra las sobrecorrientes por uno mismo dispositivo de protección”.

Es necesario precisar que, en estos casos, de haber un impacto, el riesgo mayor está asociado a la pérdida económica - (L4-R4) pérdida de bienes como televisores, lavavajillas, acondicionadores de aire, sistemas hi-fi, etc. - salvo en aquellos casos en que el componente R1 es alto. El análisis de la Variante 3 se realiza evidenciando solamente algunos aspectos ingenieriles, por lo que se recomienda al lector que lea por completo la Variante 3 de la norma CEI 64-8.

Aspectos generales

La nueva Variante 3 de la norma CEI 64-8 “Instalaciones eléctricas de utilizadores con tensión nominal no superior a 1000 V en corriente alterna y a 1500 V en corriente continua” entró en vigor el 01/09/2011 y se refiere a unidades inmobiliarias de uso residencial unifamiliares o multifamiliares, o bien ubicadas dentro de un condominio.

El grupo de normas pretende garantizar la seguridad de las personas y los bienes, así como mejorar la instalación doméstica en términos de prestaciones y fiabilidad.

La Variante 3 se aplica en las instalaciones nuevas y en la reconstrucción completa de instalaciones existentes cuando se realizan remodelaciones.

La Variante 3 introduce, por primera vez, el concepto de prestación de la instalación, que se expresa mediante tres niveles - L1, L2 y L3 - que se diferencian, fundamentalmente, por la estructura y la dotación mínima que caracteriza la instalación eléctrica.

Los tres niveles tienen en común:

- I. Potencias mínimas de 3 kW para unidades de vivienda <75 m² y 6 kW para superficies mayores.
- II. La instalación debe subdividirse al menos en 2 circuitos distintos y cada circuito debe disponer de su diferencial para reducir la falta de servicio en caso de fallo. Si hay un interruptor diferencial instalado aguas abajo del contador, este debe garantizar la selectividad total con los diferenciales aguas abajo. Si el interruptor general del sistema es de tipo diferencial, debe estar provisto de dispositivo de cierre automático.
La Variante prevé el uso de nuevos tipos de diferenciales en función de la carga instalada en la línea, como por ejemplo, diferenciales de tipo A para la protección de los circuitos que alimentan lavadoras y/o acondicionadores de aire fijos.
- III. El conductor de protección procedente de la instalación de puesta a tierra del edificio DEBE estar en el cuadro principal de la vivienda, a fin de permitir la correcta puesta a tierra del SPD.

Niveles de prestación

- L1: nivel mínimo previsto por la Variante 3 CEI 64-8: prevé al menos 2 interruptores diferenciales y un número mínimo de puntos de enchufe y puntos de luz en función de la cantidad de metros y la tipología de cada local.
- L2: con respecto a L1, prevé un número mayor de componentes de la instalación, además de los servicios auxiliares:
- Videoportero
 - Sistemas contra intrusiones
 - Sistemas de control de cargas
- L3: instalaciones con equipos amplios e innovadores: domótica que beneficia el ahorro energético en la vivienda.

Un sistema domótico debe gestionar al menos 4 de las siguientes funciones:

- Control de los ambientes (persianas, etc.)
- Sistemas contra intrusiones
- Gestión de control de luces
- Gestión de la temperatura, incluso en remoto
- Control de cargas
- Sistemas contra inundaciones y/o de detección de gas
- Difusión sonora
- Detección de incendios

Esta lista no es exhaustiva, sino simplemente un ejemplo; las funciones domóticas individuales pueden ubicarse en los niveles L1 y L2.

La Variante 3 en la práctica...

Cada vivienda debe estar provista de uno o varios cuadros de distribución. Los cuadros deben prever al menos 2 módulos libres para modificaciones posteriores de la instalación. Idealmente, deben prever un 15% más de módulos con respecto a los que realmente se utilizan.

El conductor de protección procedente de la instalación de puesta a tierra del edificio debe llegar directamente al cuadro principal, a fin de permitir la correcta puesta a tierra del SPD.

En el cuadro principal debe instalarse un interruptor general fácilmente accesible por el usuario. Si el interruptor general es un diferencial, este debe garantizar la selectividad total con respecto a las protecciones aguas abajo. Se recomienda el uso de interruptores diferenciales caracterizados por una alta resistencia contra disparos inoportunos.

En las aplicaciones civiles, el sistema de distribución utilizado es el TT y todavía prevé el uso de diferenciales de tipo AC que funcionan correctamente para corrientes diferenciales sinusoidales, pero son poco sensibles a las corrientes a tierra con componentes de continua.

Como dijimos, la Variante 3 prevé la instalación de diferenciales de tipo A o B en las líneas correspondientes, por ejemplo, para alimentar lavadoras o acondicionadores de aire. Esto se debe a la presencia de los convertidores estáticos utilizados para la alimentación DC y para el mando del motor.

Los diferenciales de tipo A son aptos para corrientes alternas sinusoidales como el tipo AC y están asegurados para componentes unidireccionales e impulsos unidireccionales que se superponen a componentes de continua.

Los diferenciales de tipo B tienen el desenganche asegurado, al igual que los diferenciales de tipo A e intervienen con corrientes alternas sinusoidales con frecuencia máxima de 1000 Hz, con corrientes diferenciales de impulsos unidireccionales rectificadas y con corrientes diferenciales de continua.

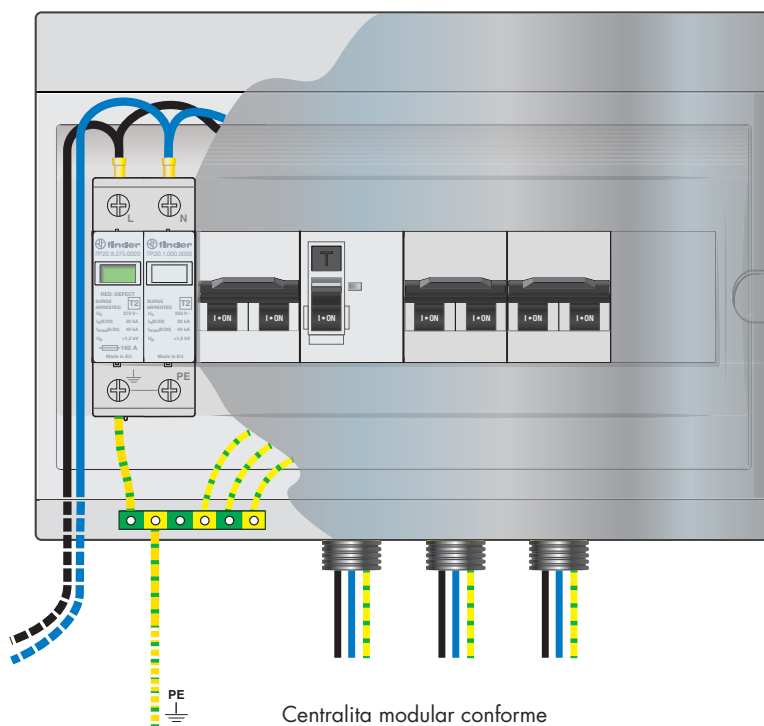
Puntos de toma eléctrica de energía y de mando

Junto a las tomas telefónicas y de líneas de datos hay que prever al menos una toma de energía. Las tomas de TV requeridas en la tabla A de la Variante 3 deben tener al lado la predisposición para 6 tomas de energía.

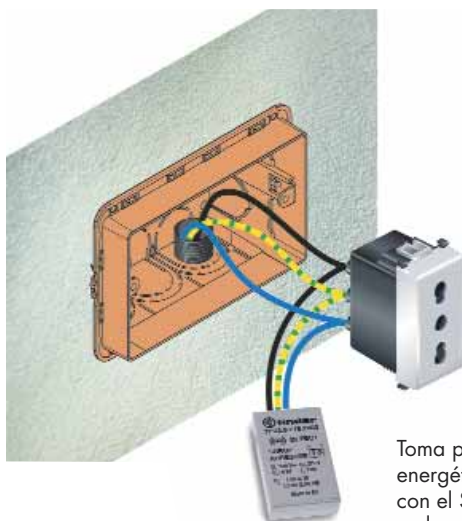
El interruptor de luz de un local debe ubicarse cerca de la puerta, dentro o fuera del local.

Si el control de luz es para puntos de luz externos, debe estar provisto de piloto de señalización de "encendido".

Ejemplos de instalación para aplicaciones industriales

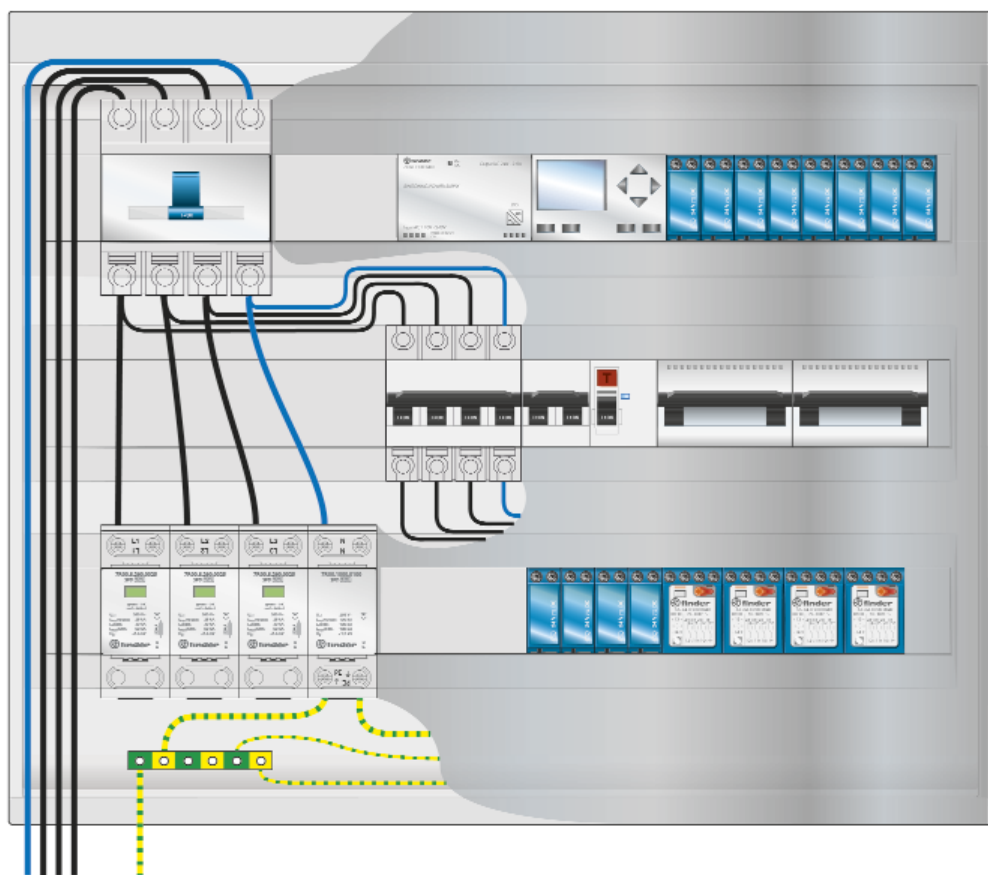


Centralita modular conforme
a la CEI 64-8 V3



Toma protegida por SPD
energéticamente coordinado
con el SPD instalado
en la centralita

Ejemplos de instalación para aplicaciones industriales



Cuadro para automatización industrial protegido por SPD de tipo combinado (Tipo 7P.04)

8 - Instalaciones fotovoltaicas: protección contra rayos y sobretensiones

Al diseñar una instalación fotovoltaica (FV), se presta mucha más atención a la protección contra impactos directos e indirectos que en el caso de una instalación eléctrica normal. Es posible que el motivo sea solamente psicológico, puesto que una instalación normal está expuesta a los efectos del rayo de la misma manera que una instalación FV, pero esta última se instala al aire libre, en tejados, a menudo en estructuras metálicas, áreas verdes con árboles o torres de distribución eléctrica, y todos estos elementos aumentan las probabilidades de que se produzcan impactos a tierra.

La instalación normal, por el contrario, se considera protegida contra los riesgos de impacto directo e indirecto porque está sumergida en el cemento. ¡Pero esto es un grave error! De hecho, el cemento no constituye un blindaje para los efectos del campo electromagnético de un rayo. Como sabemos, el blindaje se realiza únicamente con conductores metálicos muy cercanos entre sí; es decir que se logra, por ejemplo, con una densa malla metálica obtenida con las armaduras sumergidas en el cemento o con una jaula de Faraday.

Para establecer qué medidas de protección contra los rayos se necesitan, hay que llevar a cabo la "evaluación del riesgo", según la EN 62305-2 (CEI 81-10/2), de la estructura que se quiere proteger. Los daños que el rayo puede causar van desde la muerte de personas hasta la provocación de incendios o averías en los equipos electrónicos, con consecuentes pérdidas económicas por falta de producción.

Haciendo referencia a la EN 62305, los riesgos a considerar, según el uso previsto para la estructura, son:

- R₁: pérdida de vidas humanas
- R₂: pérdida del servicio público (TV, H₂O, gas, electricidad, etc.)
- R₃: pérdida de patrimonio cultural (ej.: museos)
- R₄: pérdida económicas (falta de producción de energía eléctrica, etc.)

Según el tipo de instalación, se realizarán distintas evaluaciones:

Instalación de puesta a tierra: la evaluación del riesgo se referirá a una parte del edificio o a un área específica.

Instalación en el techo: la evaluación del riesgo incluirá todo el edificio.

De la evaluación del riesgo se deduce el riesgo de impacto directo e indirecto de la instalación que se quiere proteger.

Se habla de impacto directo si un rayo impacta directamente una estructura y de impacto indirecto si este cae cerca de una estructura. En este caso, todos los conductores eléctricos, incluyendo los que provienen de paneles fotovoltaicos (lado DC), están expuestos a sobretensiones inducidas causadas por el campo electromagnético del rayo.

Lo mismo puede ocurrir en las líneas que entran y/o salen del campo fotovoltaico: en caso de impacto directo o indirecto de una línea MT conectada a la instalación FV, se inyecta la corriente de rayo en el lado AC del campo, destruyendo inevitablemente el lado AC del inversor.

Impacto directo

Antes de comenzar a diseñar un sistema de protección contra sobretensiones para una instalación fotovoltaica, hay que evaluar, sobre todo, el riesgo relativo a la pérdida de vidas humanas (R₁). Cabe recordar que el único sistema para proteger una estructura contra impactos directos es la jaula de Faraday o un pararrayos (LPS).

Incluso en el caso de instalaciones fotovoltaicas, ya sea en el suelo o en un edificio, hay que evaluar, ante todo, el riesgo relativo a la pérdida de vidas humanas (R₁).

En segundo lugar, hay que evaluar el punto de vista económico (R₄): ¿es necesario proteger el inversor y los paneles contra las sobretensiones? ¿Cuánto cuesta en asistencia una parada de producción (además de la pérdida de producción)? Para obtener la máxima seguridad, ¿instalo también un pararrayos (LPS)?

Respecto a las primeras preguntas, durante la fase de diseño hay que evaluar cuánto cuesta la asistencia para un daño causado por impactos de rayo, en cuánto tiempo se interviene y resuelve el problema (reparación del producto, instalación, etc.) y en el caso de una parada de la máquina, cuánto cuesta la falta de producción. Por tanto, hay que evaluar con el cliente el grado de riesgo que este está dispuesto a aceptar. En lo que respecta al LPS, por el contrario, no suele ser conveniente proteger una instalación FV con un LPS, ya que los gastos son tan altos que la relación gasto-beneficio no los justifica. Además, hay que considerar que el LPS se realiza con varillas captadoras y cables suspendidos que crean sombras del campo y por tanto, disminuyen el rendimiento. Por consiguiente, el LPS se instala solamente cuando es estrictamente necesario, al contrario de los SPD, que siempre constituyen el sistema de protección más económico y eficiente posible.

Impacto directo para instalación FV a tierra:

En el caso de instalaciones fotovoltaicas a tierra, se asume que siempre puede haber personas presentes (R1), por lo que siempre hay que considerar las tensiones de paso V_p y de contacto V_c , mientras que el riesgo de incendio es prácticamente insignificante.

En las instalaciones de puesta a tierra, el parámetro fundamental para un buen diseño es la resistividad del suelo ρ_0 : si $\rho_0 = 5 \text{ k}\Omega$ es como si hubiera una manta aislante y V_p es insignificante (5 cm de asfalto o 15 cm de gravilla deberían garantizar este valor en ohmios); si el campo fotovoltaico está en un terreno agrícola, entonces es necesario llevar a cabo la evaluación del riesgo.

Instalación fotovoltaica en el tejado de un edificio:

Si hay que realizar una instalación fotovoltaica en el tejado de un edificio, no se debe establecer de antemano que esta se autoprotege y siempre hay que llevar a cabo la evaluación del riesgo o solicitar al cliente que la haga. Si el edificio ya está provisto de LPS y realizamos una instalación fotovoltaica en el tejado, la frecuencia de impacto podría aumentar, ya que, por ejemplo, los paneles inclinados y no integrados aumentan la altura del edificio y lo exponen más a los impactos directos. En dicho caso, por ejemplo, podemos reducir la malla de 20 x 20 cm a 15 x 15 cm, a menos que el LPS no pertenezca a la clase más severa: la Clase I.

Si el edificio dispone de LPS, es necesario:

- asegurar la equipotencialidad para evitar descargas transversales;
- conectar SPD entre los captadores y las bajadas;
- evitar que las estructuras metálicas utilizadas para el campo fotovoltaico se conviertan en captadores naturales.

En práctica: la instalación FV se realiza en estrecha colaboración con el diseñador del LPS.

Impacto indirecto

Los impactos indirectos pueden dar lugar a sobretensiones y descargas peligrosas por acoplamiento inductivo y acoplamiento resistivo, respectivamente.

El acoplamiento resistivo se produce cuando un rayo cae sobre una línea eléctrica y la corriente, propagándose en la línea, entra en el edificio. Si los valores de la sobretensión son elevados y superan la tensión soportada a impulso de los aislantes de los componentes afectados (dispositivos electrónicos, cables, etc.), se pueden producir incendios.

Las sobretensiones que nacen por acoplamiento inductivo son generadas por el campo electromagnético que, al ser fuertemente variable, alcanza los conductores de la instalación FV (o AC estándar) y genera sobretensiones. Estas sobretensiones no son capaces de causar incendios, pero sí de destruir los equipos.

Para realizar un buen sistema de protección de un equipo, hay que hacer referencia a la tensión soportada a impulso del dispositivo y no al nivel de inmunidad (estos datos los provee el fabricante). El nivel de inmunidad es un valor de tensión que, si se supera, causa el mal funcionamiento del dispositivo. Cuanto más nos alejamos de este valor, más reducimos la vida útil del equipo, pero no se crean daños irreversibles.

La tensión soportada a impulso es el valor máximo de tensión que un equipo puede soportar y si se supera, puede causar daños irreversibles.

Tensión del sistema		Tensión soportada a impulso [V]			
[V]		Categoría de sobretensión			
AC	DC	I	II	III	IV
50	71	330	500	800	1500
100	141	500	800	1500	2500
150	213	800	1500	2500	4000
300	424	1500	2500	4000	6000
600	849	2500	4000	6000	8000
1000	1500	4000	6000	8000	12000

Tensión soportada a impulso (1.2/50 μ s) para sistemas de baja tensión (CEI EN 62109-1:2010-12)

Si analizamos un inversor, este tiene 2 conexiones con el exterior: lado DC para conectarse con los paneles y lado AC para conectarse con la red eléctrica; esto significa que debe protegerse mediante un SPD en ambos lados.

Medidas de protección contra sobretensiones

Protección LADO AC

Comencemos analizando las sobretensiones que se producen por acoplamiento resistivo, ya que son las más energéticas y por tanto, las más peligrosas.

Es importante recordar que las sobretensiones que nacen por acoplamiento resistivo pueden generar descargas peligrosas porque contienen la energía suficiente para provocar un incendio o destruir los equipos conectados a la red AC.

El acoplamiento resistivo entre las partes conductoras también determina el surgimiento de tensiones peligrosas de paso y de contacto. Las tensiones de paso tienen un desarrollo decreciente y son peligrosas tanto para los humanos como para los animales.

Un ejemplo típico de acoplamiento resistivo es un rayo que se descarga en la línea eléctrica y se propaga a lo largo de esta.

Las instalaciones fotovoltaicas se conectan a la red eléctrica y por tanto, están expuestas a este tipo de sobretensiones. Por tanto, el inversor debe protegerse tanto de las sobretensiones inducidas como de las sobretensiones conducidas por la línea eléctrica debido a impactos directos e indirectos.

El inversor podría estar provisto de un transformador de aislamiento, que constituye de por sí un excelente filtro para las sobretensiones; en este caso, el SPD protege al transformador. Si no hay un transformador, o bien si no se sabe si el transformador está provisto de un apantallamiento conectado a tierra, es necesario instalar uno o varios SPD en la acometida eléctrica.

Los SPD deben tener las siguientes características:

- Clase I caracterizados por una $I_{imp} \geq 10$ kA
- Para los sistemas TN y TT la $U_c \geq 1.1 U_o$.
Para los sistemas IT $U_c \geq \sqrt{3} U_o$. U_o es la tensión a tierra.
- Nivel de protección real, $U_{p/f} \leq k U_{w\text{inverter}}$.

Donde: k: coeficiente de seguridad que toma en cuenta el envejecimiento del SPD.

En este caso se asume $K = 0.9$

$U_{w\text{inverter}}$: valor de tensión soportada a impulso del inversor.

Considerando una caída ΔU de 1 kV/m causada por las inductancias parasitarias de los cables, $U_{p/f}$ debe calcularse adecuadamente según los SPD utilizados:

$U_{p/f} = U_c + \Delta U$ para SPD de limitación (varistores)

$U_{p/f} = \text{MAX}(U_c, \Delta U)$ es decir el valor máximo entre los dos, para SPD de conmutación, es decir, descargadores de chispas.

- Capacidad de extinguir la corriente de cortocircuito a 50 Hz con o sin fusible, superior a la corriente de cortocircuito en el punto de instalación.

Cabe recordar que la onda de sobretensión que pasa por el SPD de Clase I (de amplitud U_p/f) está sujeta a fenómenos de oscilación y reflexión que pueden duplicar el valor, exponiendo el inversor a valores que pueden requerir el aislamiento contra tierra. Igualmente, además de propagarse una sobretensión de amplitud $2 U_p/f$, se puede sumar en los conductores una sobretensión inducida que la CEI 64-8 identifica como de 40 V por cada metro de cable que separa el SPD T1 del inversor (40 V/m).

De esto se desprende, por tanto, que los SPD de clase I instalados en la acometida eléctrica son suficientes para proteger el inversor solamente si se cumple con la relación:

$$U_{p/f} \leq kU_w/2$$

Si no se respeta la regla anterior, hay que instalar SPD adicionales de Clase II. En este caso, es necesario seguir las prescripciones para la coordinación de los SPD provistas por el fabricante.

Los SPD de Clase II deben tener las siguientes características:

- $I_n \geq 5 \text{ kA}$
- Para los sistemas TN y TT la $U_c \geq 1.1 U_o$.
Para los sistemas IT $U_c \geq \sqrt{3} U_o$. U_o es la tensión a tierra.
- Capacidad de extinguir la corriente de cortocircuito a 50 Hz con o sin fusible, superior a la corriente de cortocircuito en el punto de instalación.

Para instalaciones interiores, la norma permite obviar los fenómenos de inducción, que también pueden obviarse cuando los conductores activos están blindados, contenidos en conductos metálicos cerrados, o bien cuando los conductores activos y PE están trenzados y la evaluación del riesgo excluye la necesidad de un LPS.

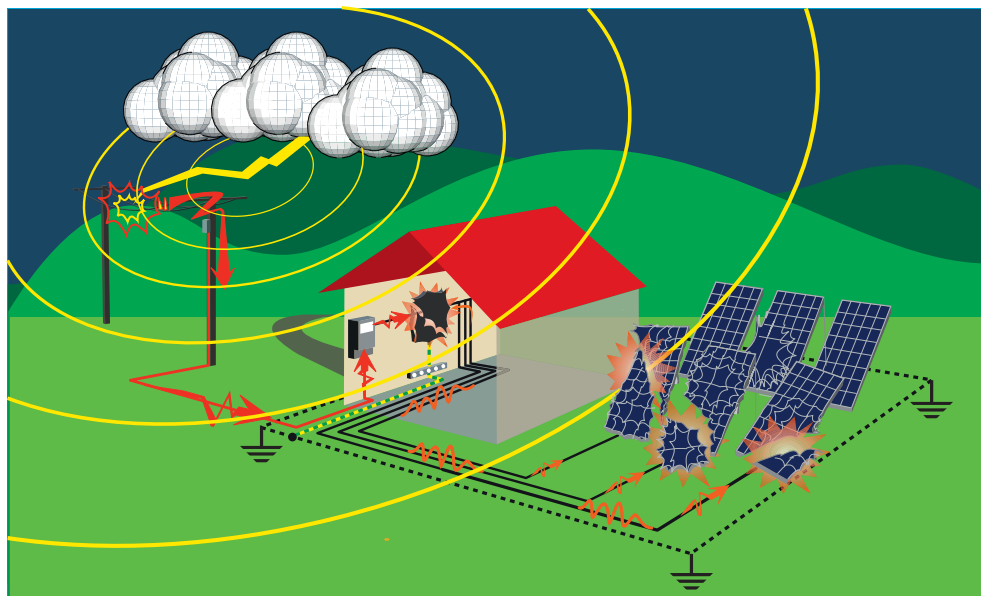


Figura 35: suma de los diversos efectos del rayo: acoplamiento resistivo e inductivo

Por consiguiente, para reducir el valor de las sobretensiones dentro de los límites soportados por el inversor, hay que instalar cerca de este un SPD de Clase II con las siguientes características:

- $I_n \geq 10 \text{ kA}$
- $U_c > 1.1 U_o$ para sistemas TT o TN (con U_o tensión a tierra)
- $U_c > 1.73 U_o$ para sistemas IT
- $U_p < (0.9 U_w)/2$
- Capacidad de extinguir la corriente de cortocircuito en el punto de instalación con o sin fusibles.

Si los SPD se instalan para proteger instalaciones internas, la norma permite obviar los fenómenos de inducción y por tanto, los SPD deben caracterizarse por $U_p < (0.9 U_w)/2$, a fin de asegurar que no se supere la U_w del dispositivo a proteger incluso con presencia de fenómenos de oscilación.

Desde el punto de vista normativo, se puede obviar la presencia de las sobretensiones inducidas si la evaluación del riesgo excluye la necesidad de instalar un LPS, o bien si los cables del sistema tiene una de las siguientes características:

- Cables apantallados
- Cables colocados en conducto metálico
- Cables trenzados

Estas características forman parte de las medidas preventivas que se analizarán a continuación.

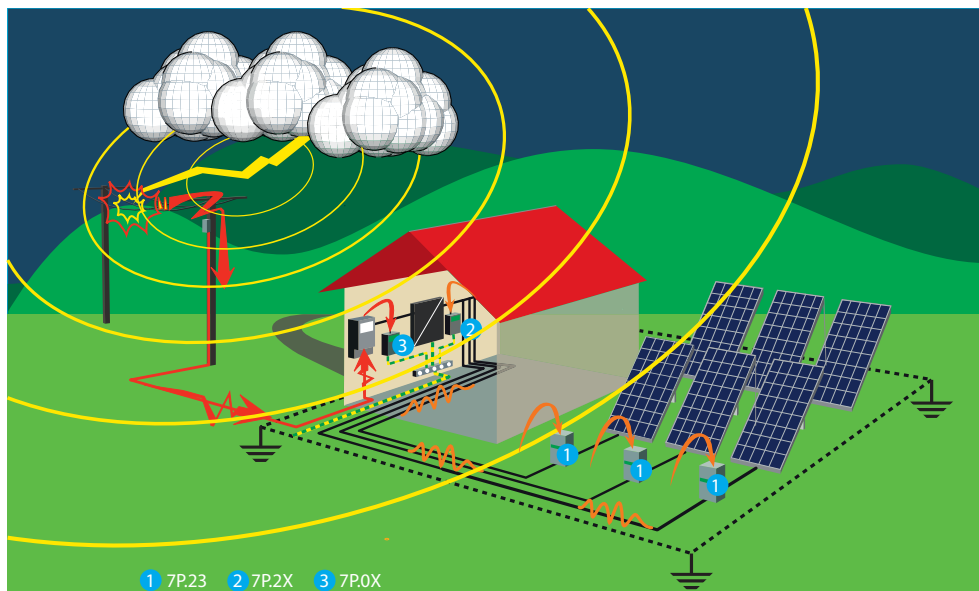


Figura 36: efecto de la presencia de los SPD energéticamente coordinados

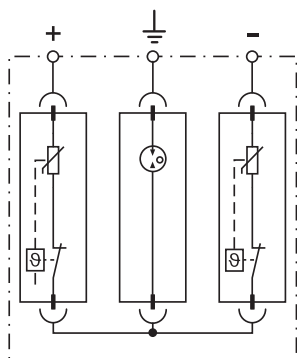
Protección LADO DC

Lo que se expone a continuación se refiere únicamente a instalaciones sin LPS, ya que, como dijimos anteriormente, el LPS se instala únicamente si la evaluación del riesgo lo exige, puesto que los costes de realización son elevados y el LPS disminuye el rendimiento del campo fotovoltaico.

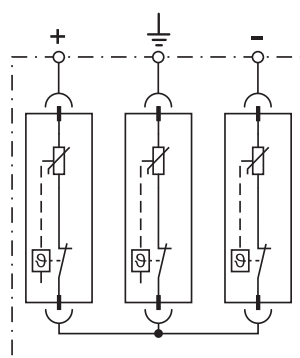
El "lado DC" de una instalación fotovoltaica está expuesto a las sobretensiones inducidas por los rayos al caer cerca de este.

Hay que anticipar que en corriente continua no se pueden instalar descargadores de chispas a menos que estén en serie con los varistores; esto se debe a que la corriente continua nunca pasa por el cero y por tanto, una vez cebado el arco en el descargador de chispas, este no se apaga sin la ayuda de los varistores que, al terminar la sobretensión, regresan a elevados valores de resistencia, limitando la corriente y permitiendo la extinción del arco en el descargador de chispas.

En la siguiente figura se ilustran los dos circuitos utilizables que representan la conexión en "Y". Como se observa, el descargador de chispas está conectado en serie a un varistor, uno por cada polo.



Conexión en Y
con el descargador de chispas hacia tierra.



Conexión en Y
realizado con 3 varistores.

La protección completa en el lado DC se obtiene instalando SPD de Clase II en los extremos de la línea, es decir, muy cerca del inversor y de los módulos fotovoltaicos. Para optimizar la obra, los cables deben introducirse en conductos de metal, como explicaremos más adelante al discutir las medidas preventivas.

La protección ideal se obtiene utilizando cables apantallados, conectados a tierra en ambos extremos y conectando a tierra los SPD adecuados. Sin embargo, en la práctica, es raro utilizar cables apantallados debido a su alto coste, por lo que se recurre solo al uso de SPD, incluso cuando el inversor está protegido por SPD internos, porque:

- 1) no se conocen los datos de placa de los SPD utilizados dentro del inversor;
- 2) en caso de dañarse los SPD internos (después de una intervención), hay que llamar al servicio de asistencia para darles mantenimiento (a fin de que no se invalide la garantía) y esto conlleva, inevitablemente, la parada de la máquina y de la producción.

Haciendo referencia al TS-62257-7-1, los valores mínimos que deben tener los SPD utilizados para proteger inversores y paneles son los siguientes:

- SPD Clase II
- $U_c \geq 1.2 N U_{ocstc}$
(1.2: coeficiente de seguridad que toma en cuenta las variaciones de tensión de los paneles debido a las variaciones de temperatura)
N = número de paneles que componen la rama (string)
 U_{ocstc} = valor de la tensión en vacío del panel en condiciones estándar
- $U_p < K U_w$ (K = 0.9 es un coeficiente de seguridad que toma en cuenta el envejecimiento del SPD)
 U_w = valor de tensión soportada a impulso del inversor
- $I_{max} = 5 \text{ kA}$ (valor mínimo aceptable)
- Capacidad de extinguir la corriente de cortocircuito en el punto de instalación con o sin fusibles.

La distancia a la que debe colocarse el SPD, con respecto al inversor, depende de U_w , de U_p , del área de la espira de los conductores fotovoltaicos y del recorrido seguido por el PE (mismo conducto o cable multipolar, PE separado de los conductores activos). Se recomienda colocar siempre el SPD lo más cerca posible del inversor.

El SPD debe instalarse aguas arriba del interruptor de sección y maniobra porque, si este se abre, se protege el inversor, pero no se protegen los módulos.

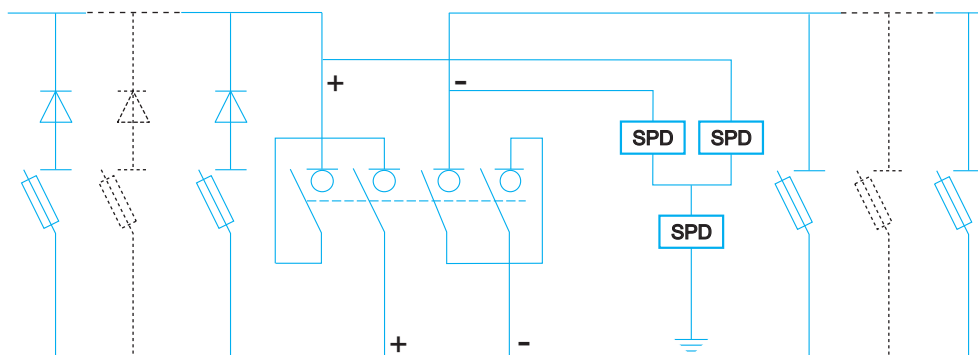
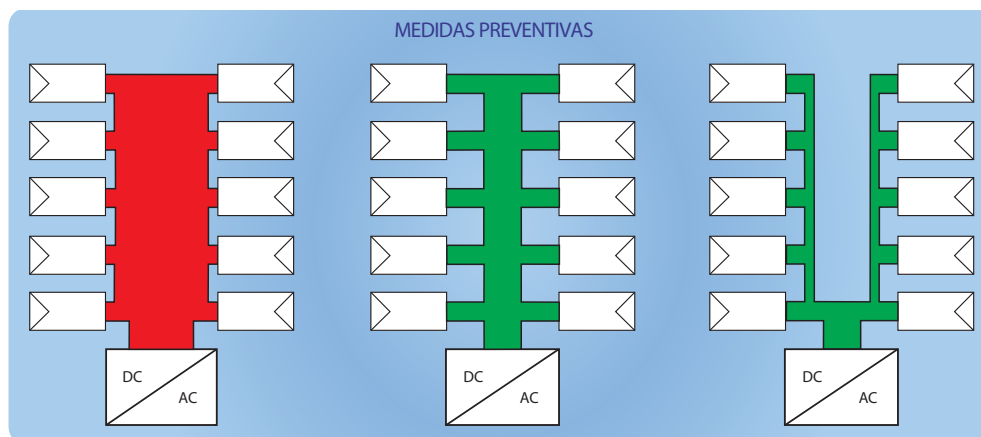


Figura 37: instalación del SPD aguas arriba del interruptor de maniobra y sección

Medidas preventivas

Se trata de las medidas que pueden adoptarse durante la fase de construcción de la instalación y que se basan sobre el uso de blindajes y la minimización de las espiras:

- 1) Cables apantallados, teóricamente trenzados, conductores metálicos, tubos, etc. son blindajes normalmente utilizados.
El mejor blindaje se obtiene con pantalla continua en lugar de malla.
A veces se usan envolturas sin revestimiento, caracterizadas por un blindaje limitado.
- 2) Una buena instalación se basa en la realización de espiras con la menor amplitud posible. Esto se debe a que el campo electromagnético del rayo se concatena con los conductores (fotovoltaicos o no), creando sobretensiones proporcionales a las dimensiones de la espira.



La sobretensión inducida en el área roja es mayor que en las áreas verdes, por lo que se tiene a realizar las configuraciones de instalación esquematizadas en verde y caracterizadas por una espira menor que las del área roja.

Las medidas descritas suelen ser costosas y por tanto, rara vez se aplican. Así, los SPD siguen siendo el sistema más económico y eficaz para crear un sistema de protección contra sobretensiones, especialmente si se asocian a una instalación realizada adoptando todas las medidas necesarias para maximizar las prestaciones.

Protección de los SPD: ¿fusibles o magnetotérmicos? prEN 50539-11

Posiblemente, la pregunta más frecuente se refiera a la protección de seguridad de los SPD en aplicaciones fotovoltaicas. Por lo general, las corrientes de rama son bajas y esto nos lleva a pensar que podemos proteger el SPD con fusibles pequeños o magnetotérmicos con bajas corrientes nominales para asegurar su intervención. Pero nada se aleja más de la realidad, porque de esta forma se reduce la clase del SPD y se limita fuertemente la capacidad de protección.

En Europa e incluso a nivel del Comité Técnico Italiano, los fabricantes de SPD están trabajando según la norma de producto relativa a los SPD específicos para el sector fotovoltaico: EN50539-11. Actualmente, en el Cenelec, se está votando por el proyecto de norma prEN50539-11. Este proyecto normativo se centra en la realización de productos caracterizados por componentes de buena calidad, a fin de obtener un producto que, en su totalidad, sea sumamente fiable, más fácil de instalar y sobre todo, seguro.

La norma 50539-11 prevé pruebas de laboratorio del producto sumamente estrictas, especialmente en la simulación del comportamiento del SPD al final de su vida útil (por envejecimiento o sobretensión). Estas pruebas, que surgen de la experiencia práctica desarrollada durante varios años en sistemas fotovoltaicos grandes y pequeños, han implicado el desarrollo y la realización de varistores de mayor rendimiento, por parte de los fabricantes de componentes, y la realización de nuevos disyuntores térmicos, para los fabricantes de SPD.

Por tanto, la norma introduce nuevos conceptos y definiciones a los que los diseñadores de proyectos deben hacer referencia: cuando se respetan, dichos valores ayudan a resolver el viejo asunto de la protección de seguridad: tanto los fusibles como los magnetotérmicos se vuelven inútiles.

U_{cpv} : tensión máxima en régimen permanente (DC) que puede aplicarse al SPD: puede verse como la tensión máxima generada por la rama. Dato específico del sistema fotovoltaico.

I_{cpv} : corriente que pasa entre los conductores + y - de la rama cuando está presente la tensión U_{cpv} . Dato específico del sistema fotovoltaico.

I_{scpv} : corriente máxima de cortocircuito en el punto de instalación del SPD. Dato específico del sistema fotovoltaico.

I_{scwpv} : corriente máxima de cortocircuito del generador fotovoltaico que el SPD es capaz de soportar.

El disyuntor térmico interno es plenamente capaz de desconectar el SPD al fin de su vida útil hasta la I_{scwpv} .

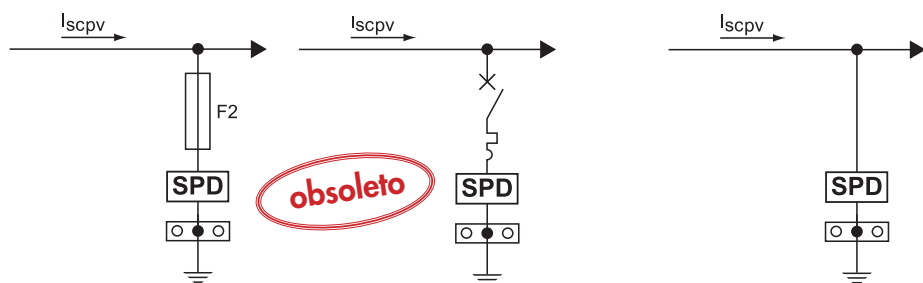
La norma exige que el SPD sea capaz de soportar los valores de corrientes de descarga declarados con la aplicación de la tensión máxima en régimen permanente U_{cpv} sin modificar sus propias características.

Además, en caso de fallo, el SPD debe poder soportar la I_{scpv} sin causar situaciones de peligro. Esto significa que, por su construcción, el SPD puede soportar y gestionar la corriente I_{scpv} .

Por tanto, podemos escribir la siguiente regla:

Si la corriente máxima de cortocircuito de rama (I_{scpv}) es menor o igual a I_{scwpv} , el SPD puede instalarse directamente entre los conductores de rama (+ y -) sin instalar ningún sistema de protección de seguridad, como fusibles o interruptores automáticos.

Generalmente, los valores I_{scwpv} son altos; por ejemplo, los SPD Finder tienen valores de I_{scwpv} comprendidos entre 63 y 125 A, según la tensión del sistema fotovoltaico.



Criterios obsoletos de protección de SPD

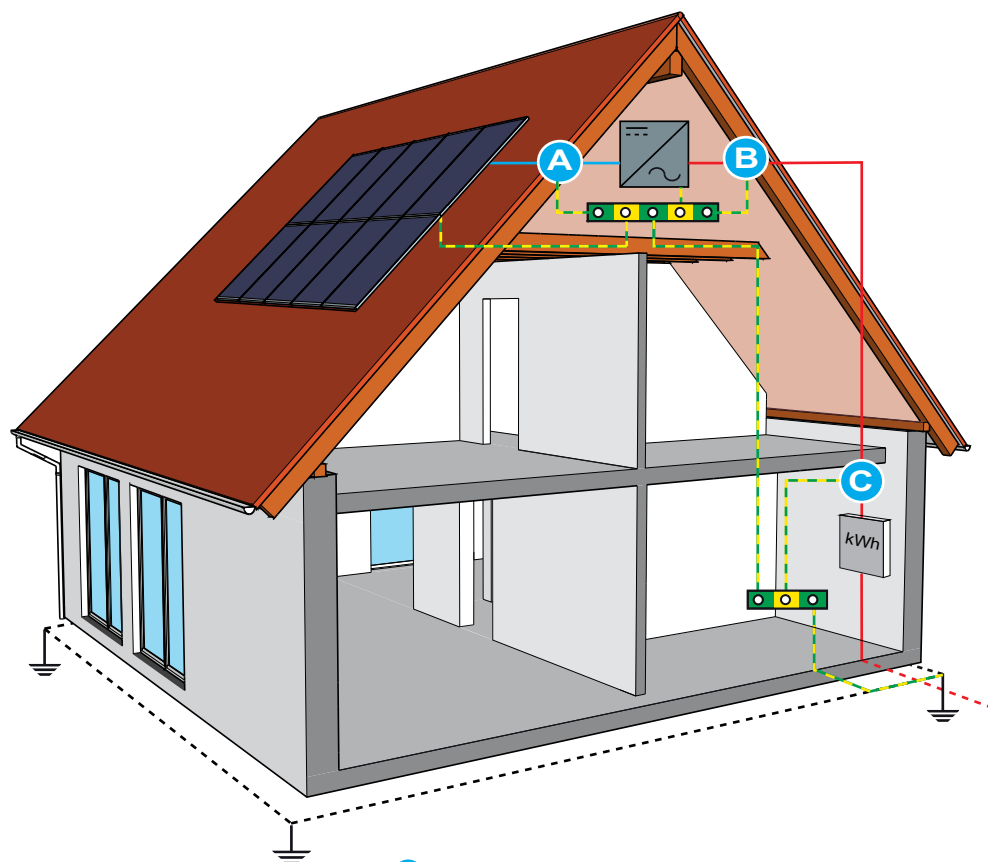
Nuevo criterio de instalación de SPD

Nota

Al redactarse este texto, la norma se hallaba en fase de proyecto, por lo que las definiciones podrían sufrir cambios. Invitamos al lector a efectuar comprobaciones técnicas.

Ejemplos de aplicación - Tabla 1

Instalación fotovoltaica doméstica, inversor en el desván



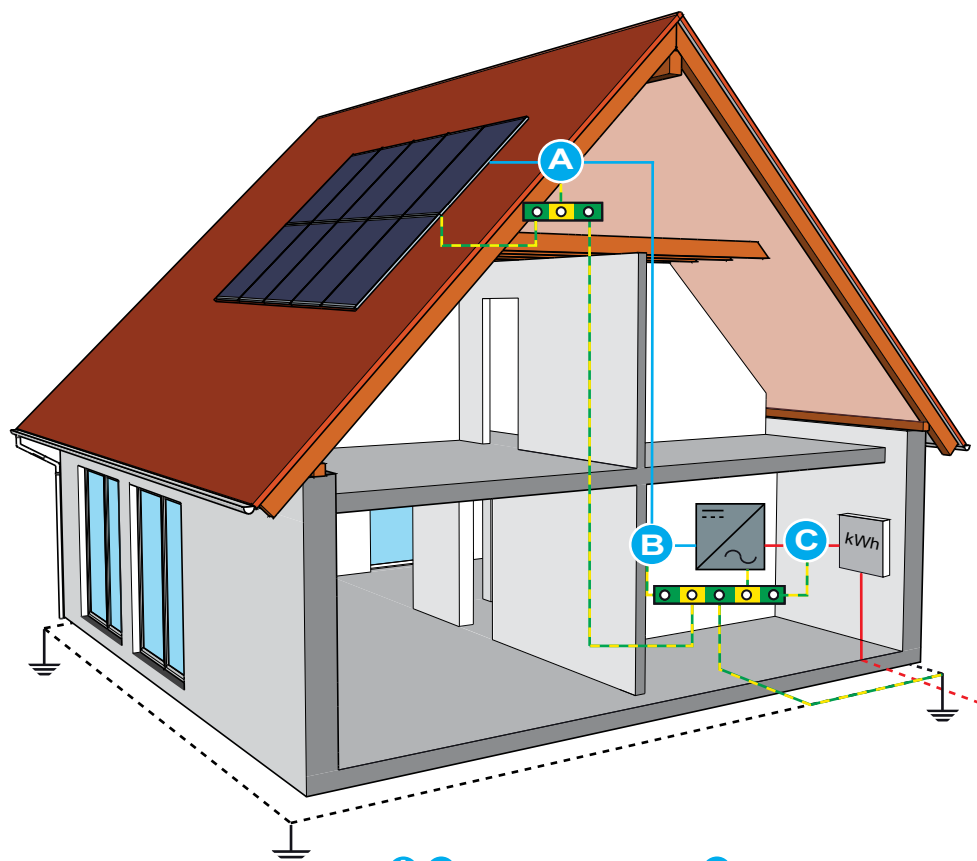
A 7P.26.9.420.1020
(420 V - Tipo 2)
7P.23.9.750.1020
(750 V - Tipo 2)
7P.23.9.000.1015
(1020 V - Tipo 2)
7P.26.9.000.1015
(1020 V - Tipo 2)
7P.23.9.200.1015
(1200 V - Tipo 2)

B 7P.22.8.275.1020
(monofásica - Tipo 2)

C 7P.12.8.275.1012
(monofásica - Tipo 1+2)
7P.02.8.260.1025
(monofásica - Tipo 1+2)

Ejemplos de aplicación - Tabla 2

Instalación fotovoltaica doméstica, inversor en el semisótano



A B 7P.26.9.420.1020
(420 V - Tipo 2)
7P.23.9.750.1020
(750 V - Tipo 2)
7P.23.9.000.1015
(1020 V - Tipo 2)
7P.26.9.000.1015
(1020 V - Tipo 2)
7P.23.9.200.1015
(1200 V - Tipo 2)

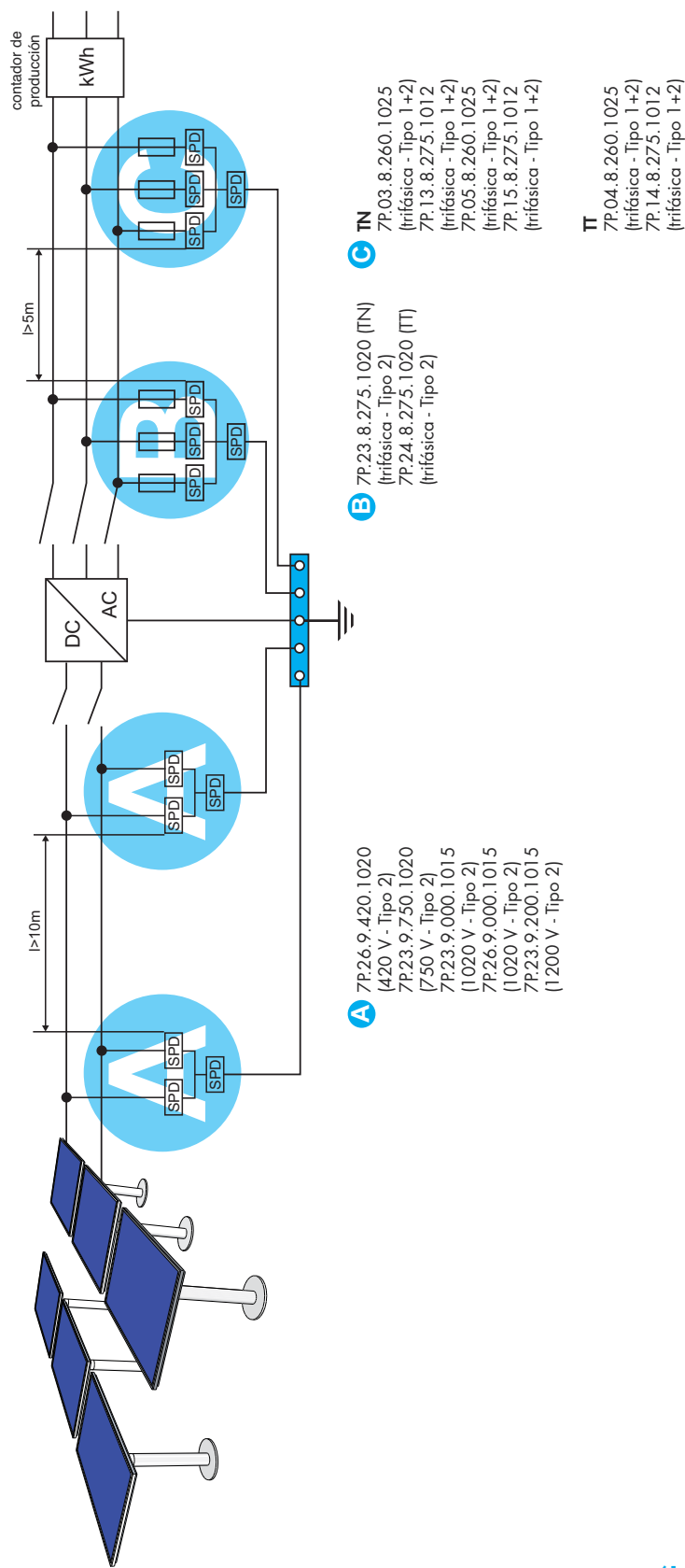
C 7P.12.8.275.1012
(monofásica - Tipo 1+2)
7P.02.8.260.1025
(monofásica - Tipo 1+2)

Instalación fotovoltaica de potencia pequeña en el tejado



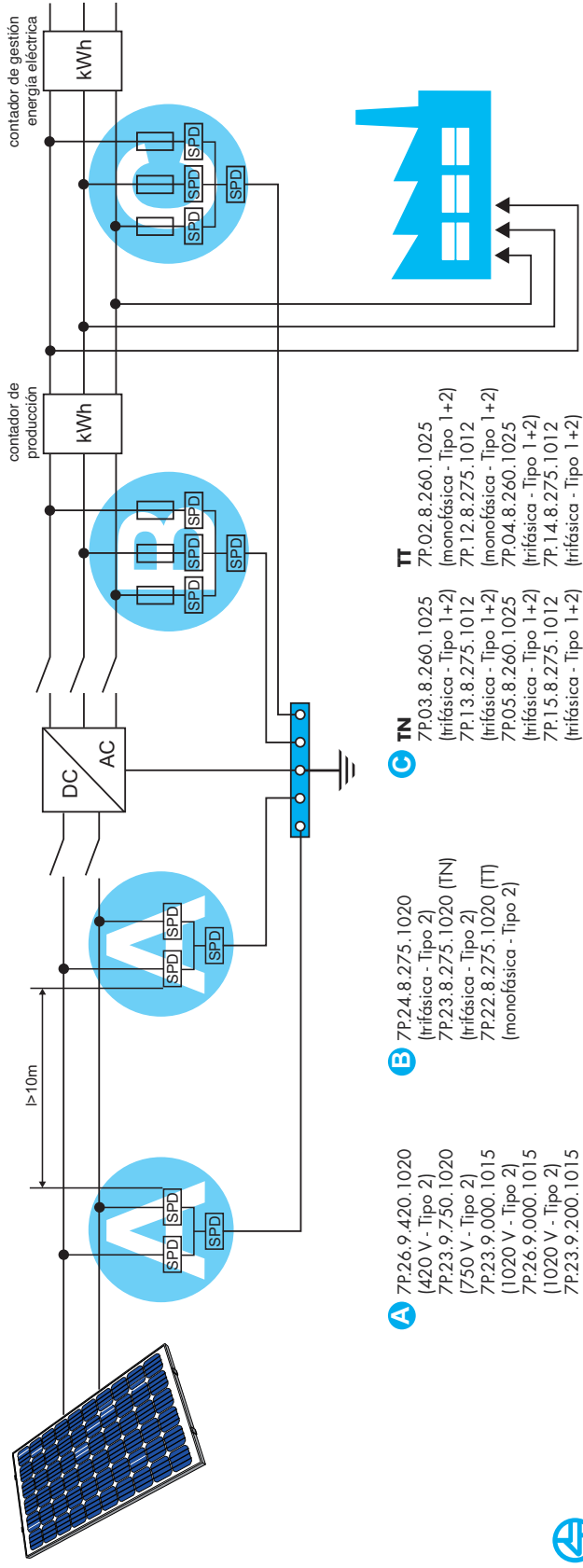
Ejemplos de aplicación - Tabla 4

Instalación fotovoltaica a tierra



Ejemplos de aplicación - Tabla 5

Instalación fotovoltaica de potencia mediana/grande en el tejado



Finder fabricante de relés y temporizadores desde 1954



En 1954 nace la empresa Finder en Almese (Turín). Desde el año de su fundación hasta hoy, la empresa ha concentrado su empeño en la producción de relés, temporizadores y componentes para uso civil y terciario con más de 12.000 productos distintos.

Hoy Finder es el productor de categoría con el mayor número de homologaciones.



El sistema calidad empresarial de Finder esta certificado según las normas ISO 9001 e ISO 14001.



Confirmando la propia atención al entorno y a las normativas vigentes, desde el año 2006 Finder puede certificar la conformidad con la Directiva RoHS de todos los productos en catálogo.

**Finder propone la gama 7P:
los descargadores de sobretensiones para su seguridad**

7P.01.8.260.1025



7P.02.8.260.1025



7P.03.8.260.1025



7P.04.8.260.1025



7P.05.8.260.1025



7P.12.8.275.1012



7P.13.8.275.1012



7P.14.8.275.1012



7P.15.8.275.1012



7P.21.8.275.1020



7P.22.8.275.1020



7P.23.8.275.1020



7P.24.8.275.1020



7P.25.8.275.1020



7P.26.9.420.1020



7P.23.9.750.1020



7P.23.9.000.1015



7P.26.9.000.1015



7P.23.9.200.1015



7P.09.1.255.0100



7P.03.9.000.1012



7P.32.8.275.2003



Bibliografia

Manuale degli impianti Elettrici - Editoriale Delfino - Novena Edición 2010

Le guide blu, impianti a Norme CEI - Vol. 15 Fotovoltaico - TuttoNormel - Edizioni TNE - Febrero de 2009

Protezione contro le sovratensioni - TuttoNormel - Edizioni TNE - Mayo de 2008

Corsi sulla normativa Elettrica "Impianti fotovoltaici" - TuttoNormel - Mayo de 2009

Corsi sulla normativa Elettrica "Protezione contro i fulmini e le sovratensioni" -
TuttoNormel - Noviembre de 2008

Atti dei Convegno "La più recente normativa CEI per la sicurezza e l'efficienza
energetica degli impianti elettrici" - Comitato Elettrotecnico Italiano - Octubre de 2010

www.epcos.com

www.elektro.it

Normas: CEI EN 62305-3 (81-10/3)
CEI EN 62305-4 (81-10/4)
CEI EN 61643-11
prEN 50539-11
CEI 64/8



FINDER FRANCE Sarl
Avenue d'Italie - BP 40
Zone Ind. du Pré de la Garde
F-73302 ST. JEAN DE MAURIENNE Cédex
Tel. +33/479/83 27 27
Fax +33/479/59 80 04
finder.fr@finder.fr



FINDER GmbH
Hans-Böckler-Straße 44
D - 65468 Trebur-Astheim
Tel. +49 / 6147/2033-0
Fax. +49 / 6147/2033-377
info@finder.de



FINDER RELAYS, INC.
4191 Capital View Drive
Suwanee, GA 30024 - U.S.A.
Tel. +1/770/271-4431
Fax +1/770/271-7530
finder.us@findernet.com



S.P.R.L. FINDER BELGIUM B.V.B.A.
Bloemendaal, 5
B - 1547 BEVER
Tel. +32/54/30 08 68
Fax +32/54/30 08 67
finder.be@findernet.com



FINDER RELAIS NEDERLAND B.V.
Dukdalfweg 51
NL - 1041 BC AMSTERDAM
Tel. +31/20/615 65 57
Fax +31/20/617 89 92
finder.nl@findernet.com



RELEVADORES FINDER, S.A. de C.V.
Calle 2 Sur 1003-C
Chipilo de Francisco Javier Mina
C.P. 74325 Chipilo, Puebla - MEXICO
Tel. +52/222/2832392 - 3
Fax +52/222/2832394
finder.mx@findernet.com



FINDER PLC
Opel Way - Stone Business Park
STONE, STAFFORDSHIRE,
ST15 0SS - UK
Tel. +44 (0)1785 818100
Fax +44 (0)1785 815500
finder.uk@findernet.com



FINDER RELAIS VERTRIEBS GmbH
Industriezentrum NÖ-Süd
Straße 2a, Objekt M40
A - 2351 WIENER NEUDORF
Tel. +43/2236/86 41 36 - 0
Fax +43/2236/86 41 36 - 36
finder.at@findernet.com



FINDER COMPONENTES LTDA.
Rua Olavo Bilac, 326
Bairro Santo Antonio
São Caetano do Sul - SÃO PAULO
CEP 09530-260 - BRASIL
Tel. +55/11/2147 1550
Tel. +55/11/4223 1550
Fax +55/11/2147 1590
finder.br@findernet.com



FINDER AB
Skruvgatan 5
SE - 211 24 Malmö
Tel. +46 40 93 77 77
Fax +46 40 93 78 78
finder.se@findernet.com




FINDER CZ, s.r.o.
Radiová 1567/2b
102 00 Praha 10
Tel. +420 286 889 504
Fax +420 286 889 505
finder.cz@findernet.com



FINDER ARGENTINA
Calle Martín Lezica, 3079
San Isidro - Buenos Aires
CP B1642GJA - ARGENTINA
Tel. +54/11/5648.6576
Fax +54/11/5648.6577
finder.ar@findernet.com



FINDER ApS
Postbox 26
DK - 2770 Kastrup
Tel. +45 60 22 44 77



FINDER-Hungary Kereskedelmi Kft.
HU - 1046 BUDAPEST
Kiss Ernő u. 1-3.
Tel. +36/1-369-30-54
Fax +36/1-369-34-54
finder.hu@findernet.com



FINDER OOO
Electrozavodskaya street 24-1
107023 MOSCOW
RUSSIAN FEDERATION
Tel. +7/495/229 4929
Fax +7/495/229 4942
finder.ru@findernet.com



FINDER ELÉCTRICA S.L.U.
C/ Severo Ochoa, 6
Pol. Ind. Cap de l'Horta
E - 46185 La Pobla de Vallbona (VALENCIA)
Aptdo. de correos 234
Tel. +34-96 272 52 62
Fax +34-96 275 02 50
finder.es@findernet.com



FINDER (SCHWEIZ) AG
Industriestrasse 1a, Postfach 23
CH - 8157 DIELSDORF (ZH)
Tel. +41 44 885 30 10
Fax +41 44 885 30 20
finder.ch@finder-relais.ch



FINDER ASIA Ltd.
Room 901 - 903, 9F, Premier Center,
20 Cheung Shun Street, Cheung Sha Wan,
Kowloon, Hong Kong
Tel. +852 3188 0212
Fax +852 3188 0263
finder.hk@finder-asia.com



FINDER PORTUGAL, LDA
Travessa Campo da Telheira, n° 56
Vila Nova da Telha,
P - 4470 - 828 - MAIA
Tel. +351/22 99 42 900 - 1 - 6 - 7 - 8
Fax +351/22 99 42 902
finder.pt@finder.pt



FINDER ECHIPAMENTE srl
Str. Clujului nr. 75 F,
401180 TURDA
jud. CLUJ - ROMANIA
Tel. +40 264 403 888
Fax +40 264 403 889
finder.ro@finder.ro



FINDER INDIA PVT. LTD.
Unit No.902 - R.G. Trade Tower,
Netaji Subhash Place,
Wazirpur District Centre,
Pitampura - Delhi - 110034 - India
Tel. +91-11-47564343
Fax +91-11-47564344
finder.in@findernet.com