

Capítulo J

Protección contra las sobretensiones

Índice

	Prólogo	J2
1	General	J3
	1.1 ¿Qué es una sobretensión?	J3
	1.2 Los cuatro tipos de sobretensiones	J3
	1.3 Principales características de las sobretensiones	J5
	1.4 Diferentes modos de propagación	J6
2	Dispositivos de protección contra sobretensión	J7
	2.1 Dispositivos de protección principales (protección de las instalaciones contra rayos)	J7
	2.2 Dispositivos de protección secundarios (protección de las instalaciones internas contra rayos)	J9
3	Normas	J12
	3.1 Descripción del limitador de sobretensiones	J12
	3.2 Normas sobre los productos	J12
	3.3 Datos de los limitadores de sobretensiones según la norma IEC 61643-11	J12
	3.4 Normas de instalación de los limitadores de sobretensiones	J14
4	Elección de un dispositivo de protección	J15
	4.1 Evaluación del riesgo de la sobretensión en la instalación a proteger	J15
	4.2 Elección de la corriente máxima de descarga del limitador de sobretensiones (red de BT)	J17
	4.3 Elección del limitador de sobretensiones en función del sistema de conexión a tierra	J17
	4.4 Elección del interruptor automático de desconexión	J18

J1

Con la publicación en el BOE, el 18 de septiembre de 2002, del nuevo Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT)^(*), toma especial relevancia el concepto de protección contra sobretensiones transitorias.

En el nuevo REBT se han añadido artículos e instrucciones técnicas (ITC-BT-23) que tratan sobre la problemática de las sobretensiones transitorias y sus protecciones, y que serán de obligado cumplimiento al año de la fecha de su publicación.

Por primera vez, en el REBT se definen y especifican las situaciones en las cuales se precisa la instalación de limitadores para proteger los receptores de los destructivos efectos de las sobretensiones transitorias.

Asimismo el nuevo REBT, en su artículo 16, capítulo 3, menciona:

“Los sistemas de protección para las instalaciones interiores o receptoras para baja tensión impedirán los efectos de las sobreintensidades y sobretensiones, que por distintas causas cabe prever en las mismas, y resguardarán a sus materiales y equipos de las acciones y efectos de los agentes externos.”

(*) Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el REBT.

1.1 ¿Qué es una sobretensión?

Una sobretensión es una onda o impulso de tensión que se superpone a la tensión nominal de la red (ver **Figura J2**).



Fig. J1: Limitador de sobretensiones PPD clase II.

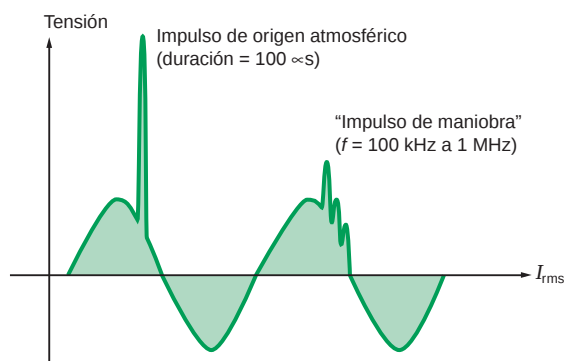


Fig. J2: Ejemplos de sobretensión.

Este tipo de sobretensión se caracteriza por lo siguiente (ver **Figura J4**):

- El tiempo de subida (t_i) se mide en μ s.
- El gradiente S se mide en kA/ μ s.

Estos dos parámetros afectan al equipo y producen radiaciones electromagnéticas. Además, la duración de la sobretensión (T) produce un aumento de energía en los circuitos eléctricos que puede destruir el equipo.



Fig. J3: Limitador de sobretensiones PRF1 clase I.

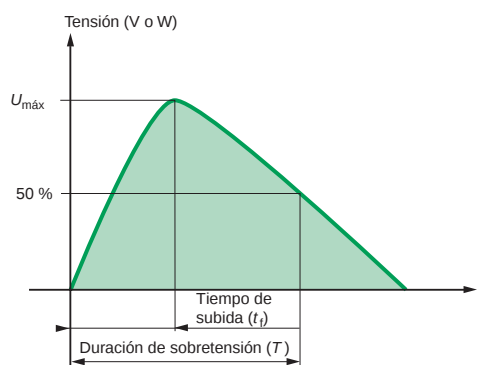


Fig. J4: Principales características de la sobretensión.

1.2 Los cuatro tipos de sobretensiones

Existen cuatro tipos de sobretensiones que pueden afectar a las cargas y a las instalaciones eléctricas:

- Sobretensiones de origen atmosférico.
- Sobretensiones de funcionamiento o maniobra.
- Sobretensiones de transitorios de frecuencia industrial.
- Sobretensiones producidas por descargas electrostáticas.

Sobretensiones de origen atmosférico

El riesgo de las caídas de rayos: algunas cifras

Alrededor de la tierra se forman constantemente entre 2.000 y 5.000 tormentas. Estas tormentas van acompañadas de rayos, lo que constituye un riesgo grave tanto para las personas como para los equipos. Las caídas de rayos se producen a una velocidad de 30 a 100 caídas por segundo. Cada año, en la tierra caen alrededor de 3.000 millones de rayos.

- Todos los años, en todo el mundo, miles de personas sufren caídas de rayos e infinidad de animales mueren por este motivo.

- Los rayos también producen un gran número de incendios, la mayoría de los cuales se producen en granjas, de modo que destruyen edificios y los dejan inutilizables.
- Los rayos afectan también a los transformadores, a los dispositivos de medida, a los electrodomésticos y a todas las instalaciones eléctricas y electrónicas en el sector residencial e industrial.
- Los edificios altos son los que sufren más a menudo caídas de rayos.
- El coste de las reparaciones de los daños producidos por los rayos es muy alto.
- Es difícil evaluar las consecuencias de las interrupciones producidas en las redes informáticas y de telecomunicaciones, los defectos en los ciclos de los autómatas y los defectos en los sistemas de regulación.

Además, las pérdidas que se producen por las paradas de maquinarias pueden tener consecuencias financieras que superen el coste del equipamiento destruido por la caída de rayos.

Características de las descargas producidas por rayos

La **Figura J5** muestra los valores facilitados por el comité de protección contra rayos (comité técnico 81 de IEC). Como se puede observar, la mitad de las caídas de rayos presentan una fuerza superior a 33 kA y el 5% son superiores a 85 kA. Por consiguiente, las fuerzas de energía son muy altas.

Superior a la probabilidad máx. P%	Pico de corriente I (kA)	Gradiente s (kA/μs)	Total duración T (s)	Número de descargas n
95	7	9,1	0,001	1
50	33	24	0,01	2
5	85	65	1,1	6

Fig. J5: Valores de caídas de rayos facilitados por el comité de protección contra rayos.

Es importante definir la probabilidad de la protección adecuada a la hora de proteger un lugar.

Además, la corriente de un rayo es una corriente de impulso de alta frecuencia (HF) que alcanza aproximadamente un megahercio.

Los efectos de los rayos

La corriente de un rayo es por lo tanto una corriente eléctrica de alta frecuencia. Además de una inducción importante y efectos de sobretensión, produce los mismos efectos que cualquier otra corriente de baja frecuencia en un conductor:

- Efectos térmicos: fusión en los puntos de impacto del rayo y efecto Joule, debido a la circulación de la corriente, lo que produce incendios.
- Efectos electrodinámicos: cuando las corrientes de los rayos circulan en conductores paralelos, provocan fuerzas de atracción o repulsión entre los cables, lo que produce roturas o deformaciones mecánicas (cables aplastados).
- Efectos de combustión: los rayos pueden producir que el aire se expanda y se cree una sobrepresión que se dispersa en una distancia de varias decenas de metros. Un efecto de explosión rompe ventanas o divisiones que pueden proyectarse en animales o personas a varios metros de su posición original. Esta onda de choque al mismo tiempo se convierte en una onda de sonido: el trueno.
- Sobretensiones conducidas tras un impacto en las líneas telefónicas o en las líneas aéreas eléctricas.
- Sobretensiones inducidas por el efecto de radiación electromagnética del canal del rayo que actúa como antena en varios kilómetros y lo cruza una corriente de impulso considerable.
- El aumento del potencial de tierra por la circulación de la corriente del rayo por la tierra. Esto explica las caídas de rayos indirectas por tensión de paso y los defectos de los equipos.

Sobretensiones de funcionamiento o maniobra

Un cambio brusco en las condiciones de funcionamiento establecidas de una red eléctrica provoca los fenómenos transitorios. Se trata por lo general de ondas de sobretensión de oscilación amortiguadas o de alta frecuencia (ver **Figura J2** pág. J3).

Se dice que presentan un frente lento: su frecuencia varía de varias decenas a varios cientos de kilohercios.

Las sobretensiones de funcionamiento o maniobra pueden estar producidas por lo siguiente:

- Sobretensiones de dispositivos de desconexión debido a la apertura de los dispositivos de protección (fusibles, interruptor automático), y la apertura o el cierre de los dispositivos de control (relés, contactores, etc.).
- Las sobretensiones de los circuitos inductivos debidas a arranques o paradas de motores, o la apertura de transformadores, como los centros de transformación de MT/BT.
- Las sobretensiones de circuitos capacitivos debidas a la conexión de baterías de condensadores a la red.

Los rayos proceden de la descarga de cargas eléctricas acumuladas en las nubes de tipo cúmulo nimbus, formando un condensador con la tierra. Las tormentas producen daños graves. Los rayos son un fenómeno eléctrico de alta frecuencia que produce sobretensiones en todos los elementos conductivos y especialmente en los cables y en las cargas eléctricas.

- Todos los dispositivos que contienen una bobina, un condensador o un transformador en la entrada de alimentación: relés, contactores, televisores, impresoras, ordenadores, hornos eléctricos, filtros, etc.
- Sobretensiones transitorias de frecuencia industrial** (ver **Figura J6**)
- Estas sobretensiones presentan las mismas frecuencias que la red (50, 60 o 400 Hz):
- Sobretensiones producidas por defectos de aislamiento de fase/masa o fase/tierra en una red con un neutro aislado, o por el defecto del conductor neutro. Cuando ocurre esto, los dispositivos de fase única recibirán una alimentación de 400 V en lugar de 230 V, o en una tensión media: $U_s \cdot e = U_s \cdot 1,7$.
 - Sobretensiones debidas a un defecto en el cable. Por ejemplo, un cable de media tensión que cae en una línea de baja tensión.

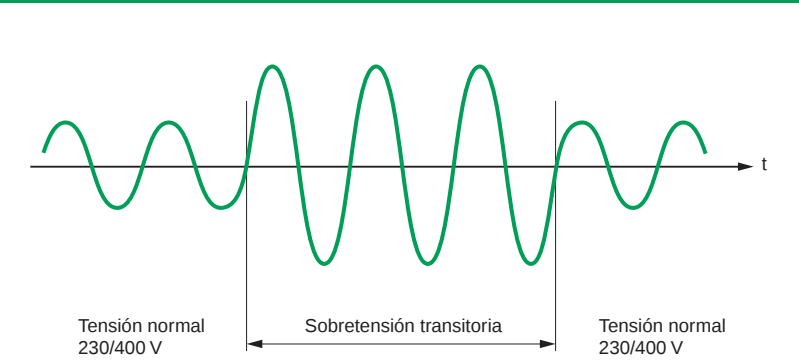


Fig. J6: Sobretensión transitoria de frecuencia industrial.

- El arco de un spark-gap de protección de media o alta tensión produce un aumento del potencial de tierra durante la acción de los dispositivos de protección. Estos dispositivos de protección siguen ciclos de conmutación automática, lo que recreará un defecto si persiste.

Sobretensiones producidas por descargas electrostáticas

En un entorno seco, se acumulan cargas eléctricas y crean un campo electrostático muy fuerte. Por ejemplo, una persona que camine sobre moqueta con suelas aislantes se cargará eléctricamente con una tensión de varios kilovoltios. Si la persona camina cerca de una estructura conductora, desprenderá una descarga eléctrica de varios amperios en un periodo de tiempo de pocos nanosegundos. Si la estructura contiene elementos electrónicos sensibles, como un ordenador, se pueden destruir sus componentes o placas de circuitos.

Deben tenerse en cuenta tres aspectos:

- La caída directa o indirecta de un rayo puede tener consecuencias destructivas en instalaciones eléctricas a varios kilómetros del lugar en el que cae.
- Las sobretensiones de funcionamiento o industriales también pueden producir daños considerables.
- El hecho de que la instalación de un lugar se encuentre bajo tierra no la protege de ningún modo, aunque limita el riesgo de caída de un rayo directo.

1.3 Principales características de las sobretensiones

La **Figura J7** que aparece a continuación resume las principales características de las sobretensiones.

Tipo de sobretensión	Coefficiente de sobretensión	Duración	Gradiente frontal o frecuencia
Frecuencia industrial (defecto de aislamiento)	≤ 1,7	Larga 30 a 1.000 ms	Frecuencia industrial (50-60-400 Hz)
Descarga electrostática y de funcionamiento	2 a 4	Corta 1 a 100 ms	Media 1 a 200 kHz
Atmosférica	> 4	Muy corta 1 a 100 ns	Muy alta 1 a 1.000 kV/ns

Fig. J7: Principales características de las sobretensiones.

1.4 Diferentes modos de propagación

Modo común

Las sobretensiones en modo común se producen entre las partes activas y la tierra: fase/tierra o neutro/tierra (véase la **Figura J8**). Resultan especialmente peligrosas para los dispositivos cuyas estructuras (masa) se encuentren conectadas a tierra, debido al riesgo de defecto dieléctrico.

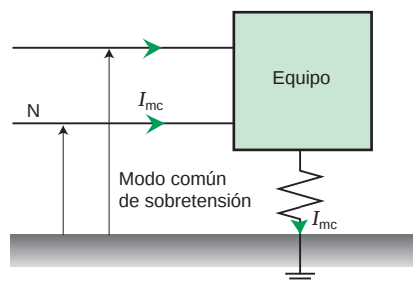


Fig. J8: Modo común.

Modo diferencial

Las sobretensiones en modo diferencial circulan entre los conductores activos de fase/fase o fase/neutro (véase la **Figura J9**). Resultan especialmente peligrosas para los equipos electrónicos, los equipos informáticos sensibles, etc.

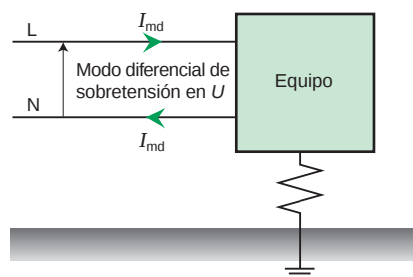


Fig. J9: Modo diferencial.

2 Dispositivos de protección contra sobretensión

Existen dos tipos principales de dispositivos de protección que se utilizan para eliminar o limitar las sobretensiones: se denominan dispositivos de protección principales y dispositivos de protección secundarios.

2.1 Dispositivos de protección principales (protección de las instalaciones contra rayos)

La finalidad de los dispositivos de protección principales es proteger las instalaciones contra las caídas directas de rayos. Atrapan la corriente del rayo y la dirigen a la tierra. El principio se basa en un área de protección determinado por una estructura que es más alta que el resto.

Este mismo principio se aplica a cualquier efecto de pico producido por un poste, un edificio o una estructura metálica muy alta.

Existen tres tipos de protección principal:

- Pararrayos, que constituyen los dispositivos de protección contra rayos más antiguos y más conocidos.
- Cables de guarda.
- La jaula mallada o jaula Faraday.

El pararrayos

El pararrayos es una vara cónica que se coloca en la parte superior del edificio. Está conectado a tierra mediante uno o varios conductores (a menudo, pletinas de cobre) (véase la **Figura J10**).

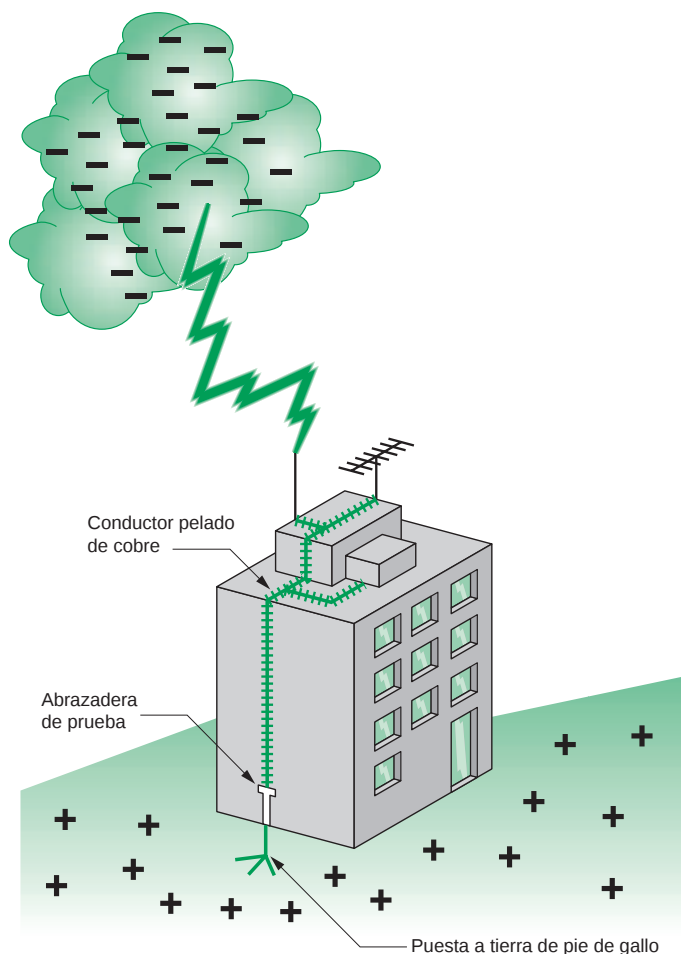


Fig. J10: Ejemplo de protección IEPF mediante un pararrayos.

2 Dispositivos de protección contra sobretensión

El diseño y la instalación de un pararrayos corre a cargo del especialista.

Deben tenerse en cuenta el recorrido de las tiras de cobre, las abrazaderas de prueba, la puesta a tierra de pie de gallo para evitar que las corrientes del rayo de alta frecuencia se dispersen por la tierra, y las distancias con respecto al sistema de cableado (gas, agua, etc).

Además, el flujo de la corriente de los rayos a la tierra inducirá sobretensiones, por radiación electromagnética, en los circuitos eléctricos y en los edificios que se van a proteger. Pueden alcanzar varias decenas de kilovoltios. Por lo tanto, es necesario dividir simétricamente las corrientes del conductor inferior en dos, cuatro o más, para reducir al mínimo los efectos electromagnéticos.

Cables de guarda

Estos cables se extienden sobre la estructura que va a protegerse (véase la **Figura J11**). Se utilizan para estructuras especiales: plataformas de lanzamiento de cohetes, aplicaciones militares y cables de protección contra rayos para líneas eléctricas aéreas de alta tensión (véase la **Figura J12**).

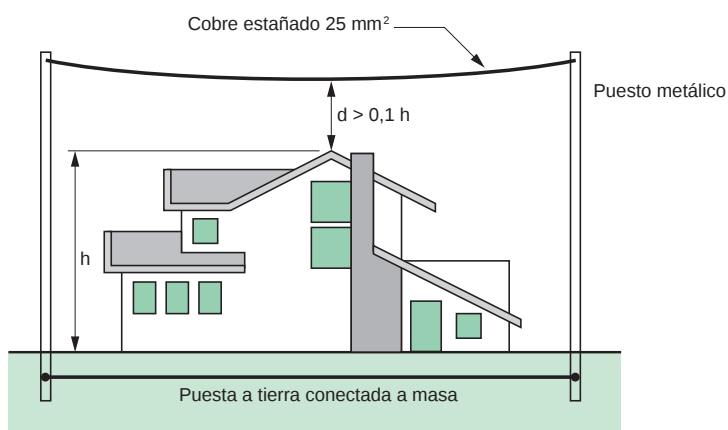


Fig. J11: Ejemplo de protección IEPF con el método de conductor con cables de guarda.

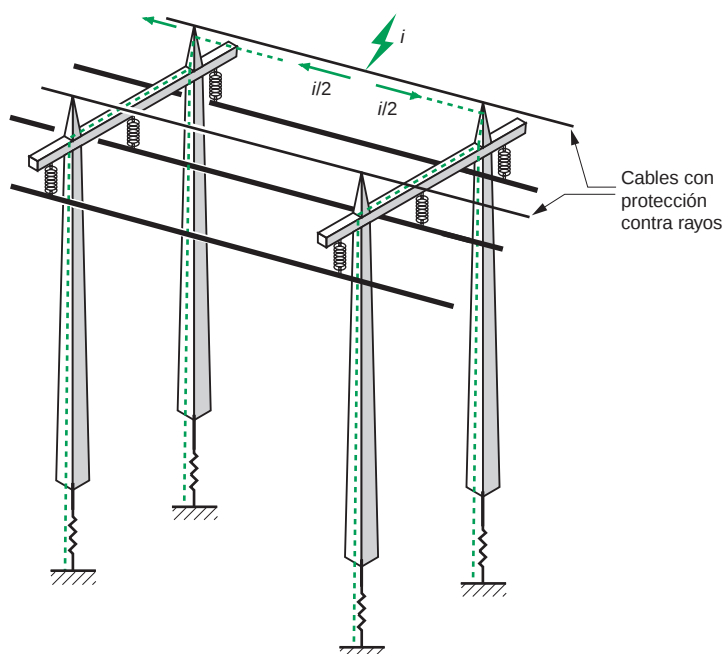


Fig. J12: Cables de protección contra rayos.

2 Dispositivos de protección contra sobretensión

Los dispositivos principales de protección de conductores de rayos (IEPF) como la jaula mallada o los cables de guarda se utilizan para protegerse contra caídas directas de rayos.

Estos dispositivos de protección no evitan que se produzcan efectos secundarios destructivos en los equipos.

Por ejemplo, los aumentos en el potencial de tierra y en la inducción electromagnética que se deben a las corrientes que fluyen a la tierra. Para reducir los efectos secundarios, deben añadirse disipadores de sobretensiones de BT en las redes de alimentación eléctrica y telefónicas.

La jaula mallada (jaula Faraday)

Este principio se utiliza para edificios sensibles que alberguen ordenadores o equipos de producción con circuitos integrados. Consiste en la multiplicación simétrica del número de pletinas descendentes fuera del edificio. Se añaden enlaces horizontales si el edificio es alto, por ejemplo, cada dos pisos (véase la **Figura J13**). Los dos conductores se conectan a tierra mediante conexiones a tierra en cruce. El resultado es una serie de mallas de 15×15 m o 10×10 m. Esto produce una conexión equipotencial mejor del edificio y divide las corrientes de los rayos, de modo que se reducen en gran medida los campos y la inducción electromagnética.

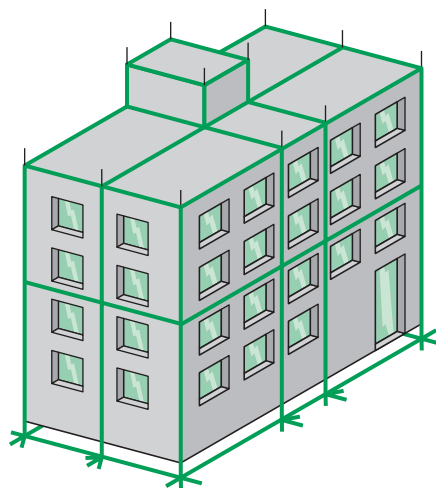


Fig. J13: Ejemplo de protección IEPF con el principio de la jaula mallada (jaula Faraday).

J9

Todos estos dispositivos de protección en serie son específicos para un dispositivo o una aplicación.

El tamaño debe ser acorde a la potencia de la instalación que se va a proteger. La mayoría de ellos requiere la protección adicional de un limitador de sobretensiones.

2.2 Dispositivos de protección secundarios (protección de las instalaciones internas contra rayos)

Estos dispositivos tratan los efectos de las sobretensiones de frecuencia atmosférica, de funcionamiento o industrial. Se pueden clasificar según el modo en el que están conectados en una instalación: protección en serie o paralela.

Dispositivo de protección en serie

Se conecta en serie a los cables de alimentación eléctrica del sistema que se va a proteger (véase la **Figura J14**).

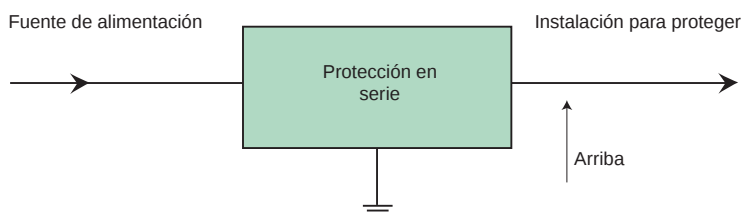


Fig. J14: Principio de protección serie.

Transformadores

Reducen las sobretensiones inducidas y hacen que desaparezcan ciertos armónicos por acoplamiento. Esta protección no es muy eficaz.

Filtros

Se basan en componentes como resistencias, bobinas de inductancia y condensadores y se aplican a sobretensiones producidas por perturbaciones industriales y de funcionamiento correspondientes a una banda de frecuencia claramente definida.

Este dispositivo de protección no es adecuado para las perturbaciones de origen atmosférico.

2 Dispositivos de protección contra sobretensión

Dispositivos de absorción de ondas

Se trata esencialmente de dispositivos compuestos por bobinas de inductancia de aire que limitan las sobretensiones y limitadores de sobretensiones que absorben las corrientes. Están especialmente indicados para proteger equipos informáticos y electrónicos sensibles. Sólo actúan contra sobretensiones. Sin embargo, son extremadamente voluminosos y costosos. No pueden sustituir por completo a los inversores que protegen las cargas contra cortes de alimentación.

Acondicionadores de red y fuentes de alimentación ininterrumpida estáticas (SAI)

Estos dispositivos se utilizan principalmente para proteger equipos extremadamente sensibles, como equipos informáticos, que necesitan una fuente de alimentación eléctrica de alta calidad. Se pueden utilizar para regular la tensión y la frecuencia, detener las interferencias y garantizar un suministro eléctrico continuo, incluso en el caso de que se produzca un corte del suministro eléctrico (para el SAI). Por otro lado, no están protegidos contra grandes sobretensiones de tipo atmosférico, para las cuales siguen siendo necesarios los limitadores de sobretensión.

Dispositivo de protección paralela

El principio

El dispositivo de protección paralela se puede adaptar a la instalación que se va a proteger (véase la **Figura J15**).

Es el tipo de dispositivo de protección contra la sobretensión que se utiliza más a menudo.

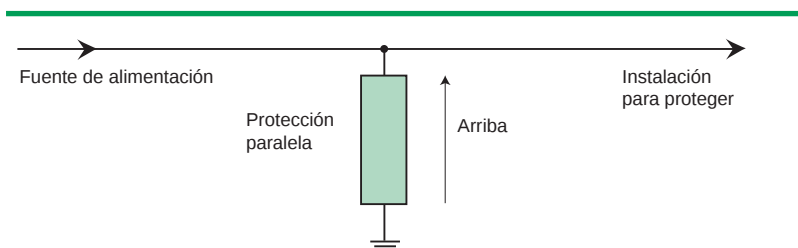


Fig. J15: Principio de protección paralela.

Características principales

- La tensión nominal del dispositivo de protección debe corresponder a la tensión de la red en los terminales de la instalación: 230/400 V.
- Cuando no se produce ninguna sobretensión, ninguna corriente de fuga debe introducirse en el dispositivo de protección, que está en modo de espera.
- Cuando se produce una sobretensión por encima del umbral de tensión admisible de la instalación que se va a proteger, el dispositivo de protección conduce de forma violenta la corriente de sobretensión a la tierra limitando la tensión al nivel de protección U_p deseado (véase la **Figura J16**).

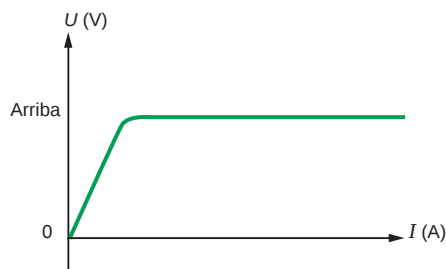


Fig. J16: Curva U/I típica del dispositivo de protección ideal.

Cuando desaparece la sobretensión, el dispositivo de protección deja de conducir la tensión y vuelve al modo de espera sin mantener corriente. Esta es la curva ideal característica de U/I :

- El tiempo de respuesta (t_r) del dispositivo de protección debe ser lo más corto posible para proteger la instalación con la mayor rapidez posible.
- El dispositivo de protección debe tener la capacidad de poder conducir la energía producida por la sobretensión predecible en el lugar que se va a proteger.
- El dispositivo de protección contra las sobretensiones debe poder resistir a la corriente nominal I_n .

2 Dispositivos de protección contra sobretensión

Existe un gran número de tipos de dispositivos de protección secundarios que se utilizan contra las sobretensiones. Se dividen en dos categorías: protección en serie y protección paralela.

Los dispositivos de protección en serie se diseñan para una necesidad muy específica. Sea cual sea la necesidad, la mayoría de las veces se trata de dispositivos de protección paralela o adicional.

Los dispositivos de protección paralela son los que se utilizan con más frecuencia, independientemente de la instalación que se protege: red de alimentación, red telefónica, red de comunicación (bus).

Los productos utilizados

■ Limitadores de tensión.

Se utilizan en centros de transformación de MT/BT en la toma del transformador. Como se utilizan únicamente en distribuciones con neutro aislado, pueden dirigir sobretensiones a la tierra, especialmente sobretensiones de frecuencia industrial (véase la **Figura J17**).

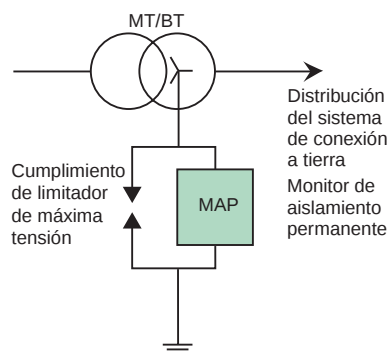


Fig. J17: Limitador de tensión.

■ Limitadores de sobretensiones de BT.

Este término designa dispositivos muy diferentes en lo que respecta a tecnología y a utilización. Los limitadores de sobretensiones de BT se presentan en forma de módulos que se instalan dentro del cuadro de BT. También existen tipos de conexión y los que protegen puntos de corriente. Garantizan la protección secundaria de elementos cercanos, pero disponen de poca capacidad de flujo. Algunos incluso se integran en cargas, aunque no pueden proteger contra sobretensiones fuertes.

■ Limitadores de sobretensiones.

Protegen las redes telefónicas o de comunicación contra sobretensiones del exterior (rayos), así como del interior (equipo contaminante, de conmutación, etc.). Los limitadores de sobretensiones de BT también se instalan en cajas de distribución o se integran en las cargas.

3.1 Descripción del limitador de sobretensiones

Un limitador de sobretensiones es un dispositivo que limita las sobretensiones transitorias y dispersa las ondas de corriente a la tierra para reducir la fuerza de la sobretensión y hacerla segura para las instalaciones y los equipos eléctricos.

El limitador de sobretensiones dispone de varios componentes no lineales, por ejemplo, varistores.

El limitador elimina las sobretensiones:

- En modo común: entre fase/tierra o entre neutro/tierra.
- En modo diferencial: entre fase/neutro.

Cuando se produce una sobretensión que supera el umbral de U_c , el limitador de sobretensiones conduce la energía a tierra en modo diferencial.

El limitador de sobretensiones dispone de un dispositivo de protección térmico interno que evita que se queme al final de su vida útil. Gradualmente, con el uso normal y tras soportar varias sobretensiones, el limitador de sobretensiones envejece y se convierte en un dispositivo conductor. Un indicador visual informa al usuario de la proximidad del fin de su vida útil.

Algunos limitadores de sobretensiones incluyen una señalización a distancia.

La protección contra cortocircuitos se garantiza cuando el limitador de sobretensiones es desconectado por el automático externo.

3.2 Normas sobre los productos

Norma internacional IEC 61643-11

Dispositivo de protección contra sobretensiones conectado a las redes de distribución.

Esta norma reciente (marzo de 1998) se basa en 3 normas de productos VDE 0675, NF C 61740/95, y UL1449, y se definen tres clases de ensayos tipo:

- Ensayos de clase I: se realizan utilizando corriente de descarga nominal (I_n), tensión de choque a los impulsos 1,2/50 y corriente máxima limp.
- Ensayos de clase II: se realizan utilizando corriente de descarga nominal (I_n), tensión de choque a los impulsos 1,2/50 y corriente de descarga máxima $I_{máx}$.
- Ensayos de clase III: se realizan utilizando la forma de onda combinada (1,2/50; 8/20).

Estas 3 clases de pruebas no se pueden comparar, porque cada una tiene su origen en un país y cada una presenta sus propias características. Además, cada fabricante se puede referir a una de las 3 clases de ensayos tipo.

3.3 Datos de los limitadores de sobretensiones según la norma IEC 61643-11

■ **Clases de ensayo:** Clasificación de los ensayos de los limitadores de sobretensiones.

■ **I_n :** Corriente nominal de descarga; valor de cresta de una corriente de forma de onda 8/20 μs que circula por el interior del limitador. Se utiliza para la clasificación de los limitadores para ensayo de clase II, y para el acondicionamiento de limitadores en el ensayo de clases I y II.

■ **$I_{máx}$:** Corriente máxima de descarga para el ensayo de clase II; valor de cresta de la corriente de forma de onda 8/20 μs que circula por el interior del limitador, y de amplitud conforme a la secuencia de ensayo de funcionamiento para la clase II. $I_{máx}$ es superior a I_n .

■ **I_c :** Corriente de funcionamiento permanente o corriente de fuga; circula por el limitador que está alimentado a una tensión máxima de servicio permanente U_c para cada modo.

■ **I_{imp} :** Corriente de choque para el ensayo de clase I; valor de cresta de la corriente de forma de onda 10/350; se define por sus parámetros de corriente de cresta I_{peak} y de carga Q .

■ **U_n :** Tensión de red nominal; es el valor de tensión de referencia que designa la red, por ejemplo: 230/400 V para una red trifásica.

Es común utilizar la tensión fase/neutro denominada U_o ; este valor U_o es necesario para elegir la U_c .

■ **U_c :** Tensión máxima de servicio permanente; valor máximo de la tensión eficaz o continua que se puede aplicar de manera continua para el modo de protección de un limitador. Es igual a la tensión asignada.

■ U_p : Nivel de protección en tensión: parámetro que caracteriza el funcionamiento del limitador para la limitación de la tensión entre sus bornes y que se escoge de entre la lista de valores predefinidos. Este valor es superior al más elevado obtenido por la medida de la tensión de limitación. Los valores más comunes para una red de 230/400 V son: 1 kV - 1,2 kV - 1,5 kV - 1,8 kV - 2 kV - 2,5 kV.

■ U_r : Tensión residual; se trata del valor máximo de cresta de la tensión que aparece en los bornes de un limitador debido al paso de una corriente de descarga.

■ El limitador de sobretensiones se caracteriza por U_c , U_p , I_n y $I_{m\acute{a}x}$ (véase la **Figura J18**).

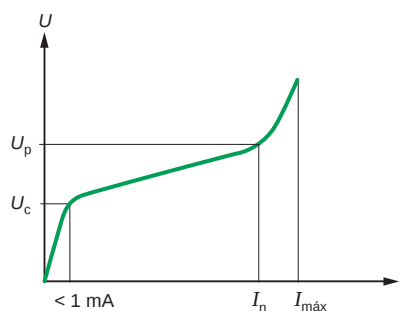


Fig. J18: Tensión residual U_c .

■ Para probar el limitador de sobretensiones, se han definido organizaciones de estandarización específicas para cada país:

□ Onda de tensión

por ejemplo, 1,2/50 μs (véase la **Figura J19**).

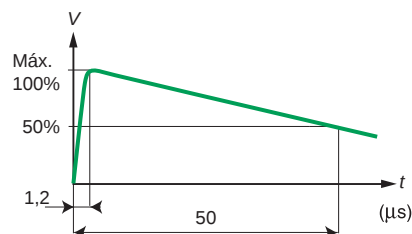


Fig. J19: Onda 1,2/50 μs .

□ Onda de corriente

Ejemplo 8/20 μs (véase **Figura J20**).

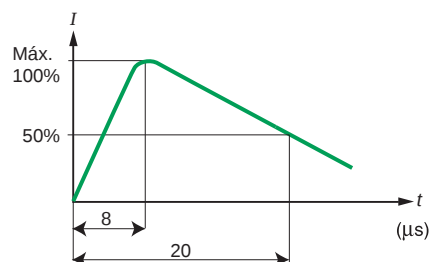


Fig. J20: Onda 8/20 μs .

□ Otros valores de onda

4/10 μ s, 10/1000 μ s, 30/60 μ s, 10/350 μ s...

Es importante que las pruebas de los limitadores de sobretensiones se realicen utilizando el mismo valor de onda, de modo que puedan compararse.

3.4 Normas de instalación de los limitadores de sobretensiones

■ **Internacional:** La guía de la IEC 61643-12 se encuentra en preparación.

■ **Internacional:** IEC 60364 instalación eléctrica en edificios.

□ IEC 60364-4-443: Protección para garantizar la seguridad.

Cuando una instalación incluye una línea aérea, o bien está alimentada por una de estas líneas, debe utilizarse un dispositivo de protección contra sobretensiones atmosféricas si el nivel cerámico del lugar corresponde a la condición de influencias externas AQ 1 ($>N_k = 25$ días al año, es decir $N_g = N_k/20 = 1,25$).

□ IEC 60364-4-443-4: Elección del equipo para la instalación.

Esta sección sirve de ayuda en la elección del nivel de protección U_p del limitador de sobretensiones en función de las cargas que se van a proteger.

La tensión residual nominal de los dispositivos de protección no debe ser superior al valor en la categoría II de tensión máxima soportada a impulsos (véase la **Figura J21**):

Tensión nominal		Nivel presunto de sobretensiones transitorias (kV)			
Redes trifásicas	Redes monofásicas	Materiales en el origen de la instalación (categoría IV)	Materiales en distribución y circuitos terminales (categoría III)	Aparatos de utilización (categoría II)	Materiales específicamente protegidos (categoría I)
230/440	230	6	4	2,5	1,5
400/690	—	8	6	4	2,5
1.000	—	8	6	4	2,5

Fig. J21: Niveles de sobretensiones para diferentes materiales según IEC 60364.

□ IEC 60364-5-534: Elección e implementación de equipos eléctricos.

Esta sección describe las condiciones de instalación de los limitadores de sobretensión:

– **Según los sistemas de conexión a tierra:** La tensión máxima en régimen permanente U_c de un limitador de sobretensiones no debe ser inferior a la tensión de funcionamiento nominal de sus terminales.

Esquemas de regímenes de neutro	TT	TN-S	TN-C	IT
Valor de U_c en modo común	$\geq 1,5 U_0$	$\geq 1,1 U_0$	$\geq 1,1 U_0$	$\geq 1,732 U_0$
Valor de U_c en modo diferencial	$\geq 1,1 U_0$	$\geq 1,1 U_0$		$\geq 1,1 U_0$

U_0 : Tensión simple de la red entre fase y neutro (230/240 V).

U_c : Tensión máxima de régimen permanente.

Fig. J22: Valores de U_c .

– **En la cabecera de la instalación:** Si el limitador de sobretensión se instala en el origen de una instalación eléctrica que recibe la alimentación de la red de distribución, la corriente de descarga nominal debe ser inferior a 5 kA.

Si se instala un limitador de sobretensión aguas abajo desde un dispositivo de protección de fugas a tierra, debe utilizarse un interruptor diferencial de tipo s, con inmunidad a corrientes de impulso de menos de 3 kA (8/20 ms).

– **En presencia de pararrayos:** Si se instala un limitador de sobretensiones, deben aplicarse las especificaciones adicionales para limitadores de sobretensión (véase IEC 61024-1 e IEC 61312-1).

4 Elección de un dispositivo de protección

4.1 Evaluación del riesgo de la sobretensión en la instalación a proteger

Para determinar el tipo de protección contra sobretensiones necesaria en una instalación eléctrica, sugerimos el siguiente método de evaluación de riesgos. Por un lado, tener en cuenta los criterios específicos del lugar, y por otro, las características de las cargas o receptores en la instalación a proteger.

Principio general

Al evaluar los riesgos, deben tenerse en cuenta los siguientes elementos:

- El riesgo de caídas de rayos en el área.
- El tipo de la red de distribución eléctrica o de la red telefónica.
- La topografía del área.
- Si existe un pararrayos.
- El equipo a proteger.
- Las sobretensiones de maniobra.

Con estos elementos, se pueden establecer dos diagnósticos: un diagnóstico de las cargas que tienen que protegerse y un diagnóstico del lugar que va a protegerse.

Diagnóstico del material que se desea proteger

Se obtiene con la siguiente fórmula:

$$R = S + C + I \quad (\text{ver Figura J23})$$

Donde

R : riesgo de la carga.

S : sensibilidad del equipo.

C : coste del equipo.

I : consecuencias de la indisponibilidad del equipo.

■ Sensibilidad del equipo

Se debe a la tensión máxima soportada a los impulsos del equipo que va a protegerse (U_{choc}):

S = 1	S = 2	S = 3
$U > 2,5 \text{ kV}$ categoría III y IV Resistencia al choque elevada o normal	$1,5 \text{ kV} < U < 2,5 \text{ kV}$ Resistencia al choque media	$U < 1,5 \text{ kV}$ categoría I y II Resistencia al choque reducida
Armarios de distribución, aparataje fijo (interruptores automáticos, tomas de corriente...), material de uso industrial (motores, transformadores...), aparatos instalados aguas arriba del cuadro de distribución (contadores, protección de sobrecorrientes, telemedida...)	Los aparatos electrodomésticos (lavavajillas, nevera, horno microondas...)	Todos los aparatos sensibles: informática, telefonía, contestador, alarma, fax, cadena hi-fi, televisiones, reguladores, aparatos con circuitos integrados...

■ Coste del equipo

C = 1	C = 2	C = 3
Coste bajo < 1.500 €	Coste medio de 1.500 a 15.000 €	Coste elevado > 15.000 €

■ Consecuencias de la indisponibilidad del equipo

Acepta lo siguiente:

I = 1	I = 2	I = 3
Ninguna incidencia para la actividad	Interrupción parcial de la actividad	Interrupción total o muy importante de la actividad (consecuencias económicas inaceptables)

Fig. J23: Cálculo del riesgo de la carga, $R = S + C + I$.

4 Elección de un dispositivo de protección

Diagnóstico del lugar a proteger

Se obtiene con la siguiente fórmula:

$E = N_g (1 + L_{BT} + L_{MT} + d)$ (ver Figura J24)

Donde

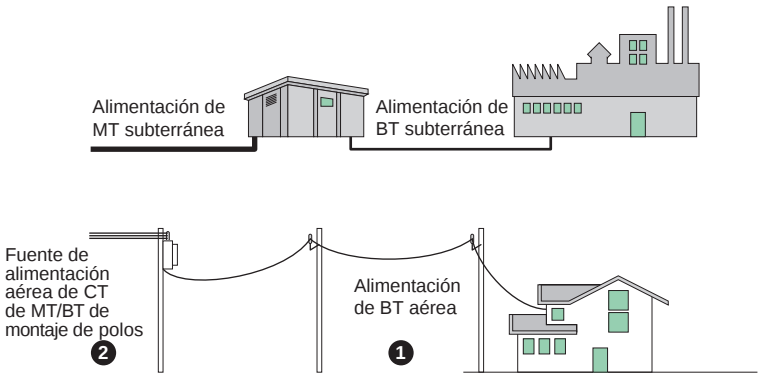
N_g : Densidad de las caídas de rayos (número de impactos/km²/año). Esto se puede obtener consultando un mapa que muestre la red del servicio meteorológico especializado. Si sólo encuentra la cifra del nivel cerámico (N_k) (número de días al año en los que son audibles los truenos), puede obtener el índice de densidad de caída de rayos $N_g = N_k/20$.

L_{BT} : La longitud en kilómetros de las líneas de alimentación de baja tensión aéreas trenzadas o desnudas que aportan el suministro eléctrico a la instalación.

L_{MT} : Parámetro que depende de la red de MT que aporta el suministro eléctrico al centro de transformación de MT/BT.

d : Coeficiente que tiene en cuenta la ubicación de la línea aérea y la instalación.

J16



L_{BT} : La longitud en kilómetros de las líneas de alimentación aéreas de baja tensión trenzadas o desnudas que aportan el suministro eléctrico a la instalación.

$L_{BT} = 0$	$L_{BT} = 0,2$	$L_{BT} = 0,4$	$L_{BT} = 0,6$	$L_{BT} = 0,8$	$L_{BT} = 1$
Cables subterráneos o trenzados	$L = 100$ a 199 m	$L = 200$ a 299 m	$L = 300$ a 399 m	$L = 400$ a 499 m	$L > 500$ m
Longitud de la línea aérea de baja tensión					1

L_{MT} : Parámetro que depende de la red de MT para el suministro eléctrico al centro de transformación de MT/BT.

$L_{MT} = 0$	$L_{MT} = 1$
Alimentación de centro de transformación de MT/BT subterránea	Alimentación de centro de transformación de MT/BT aérea o principalmente aérea
	2

d : Coeficiente que tiene en cuenta la ubicación de la línea aérea y la instalación.

d	$d = 0$	$d = 0,5$	$d = 0,75$	$d = 1$
Edificio, MT, BT o ubicación de la línea telefónica	Completamente rodeada por estructuras	Varias estructuras cercanas	Territorio abierto o llano	En una cumbre, cerca de agua en un área montañosa, junto a un pararrayos

Fig. J24: Estructura de la red de suministro de BT, $E = N_g (1 + L_{BT} + L_{MT} + d)$.

Sobretensiones de funcionamiento o maniobra

La instalación del limitador de sobretensiones diseñada para proteger contra sobretensiones atmosféricas también protege contra sobretensiones de funcionamiento.

Pararrayos

El riesgo de sobretensiones del lugar aumenta si existe un pararrayos hasta 50 metros de altura en un edificio o en el área circundante.

Nota: Una estructura de 20 metros de altura, como la chimenea de una fábrica, un árbol, un poste, tiene el mismo efecto que un pararrayos; la norma EN 61024-1 requiere la instalación de un limitador de sobretensiones en el sistema de energía principal si el lugar que va a protegerse incluye un pararrayos.

4 Elección de un dispositivo de protección

4.2 Elección de la corriente máxima de descarga del limitador de sobretensiones (red de BT)

Tras haber realizado estudios de riesgos de la carga (R) y del lugar (E), se determina la corriente máxima de descarga $I_{\text{máx}}$ (onda 8/20) para limitadores de sobretensiones de BT:

■ **Protección de entrada** (ver **Figura J25**)

■ **Protección secundaria**

En los dos casos siguientes, se necesita un limitador de sobretensiones de protección secundaria:

- Si el nivel de protección (U_p) es demasiado alto en relación a la tensión de resistencia a los impulsos (U_{choc}) del equipo de la instalación.
- Si el equipo sensible se encuentra demasiado alejado del limitador de sobretensiones entrante $d = 30$ m.

Un limitador de sobretensiones de 8 kA debe instalarse en otro cofre de subdistribución y junto a cargas sensibles.

	$I = 1$	$I = 2$	$I = 3$
$R = 8$ o 9	40 kA	65 kA	65 kA
$R = 6$ o 7	20 kA ⁽¹⁾	40 kA	65 kA
$R \leq 5$	20 kA ⁽¹⁾	20 kA ⁽¹⁾	40 kA

Fig. J25: Elección de la capacidad de flujo de un limitador de sobretensiones.

J17

4.3 Elección del limitador de sobretensiones en función del sistema de conexión a tierra (ver **Figura J26**)

Aparamento a tierra	TT	TN-S	TN-C	IT
Valor de U_c en el modo común (protec. fase a tierra, protec. neutro a tierra)	$\geq 1,5 U_0$	$\geq 1,1 U_0$	$\geq 1,1 U_0$	$\geq 1,732 U_0$
Valor de U_c en el modo diferencial (protección fase a neutro)	$\geq 1,1 U_0$ 15 kA ⁽¹⁾	$\geq 1,1 U_0$ 30-40 kA		$\geq 1,1 U_0$

U_0 : tensión de red simple entre fase y neutro (230/240 V).

U_c : tensión de resistencia completa de funcionamiento permanente.

Elección de limitadores de sobretensiones en función de la aparamenta a tierra.
Oferta: PRD-PF.

Aparamento a tierra	TT	TN-S	TN-C	Neutro distribuido IT	Neutro no distribuido IT
U_c (red) Tensión completa	345/360 V	345/264 V	253/264 V	398/415 V	398/415 V
Limitadores de clase II					
PRD					
MC $U_c = 340$ V			1P		
MC $U_c = 460$ V			3P		3P
MC/MD $U_c = 460/340$ V	1P + N 3P + N	1P + N 3P + N		1P + N 3P + N	

Complete su elección con los siguientes elementos:

- Transferencia remota del estado del limitador de sobretensiones, si fuera necesario.
- Interruptor automático de desconexión.

Fig. J26: Valor de U_c según la norma internacional IEC 60364-5-534.

(1) El riesgo es bajo, sin embargo, si se desea instalar un limitador de sobretensiones, se recomienda el modelo con una $I_{\text{máx}}$ de 20 kA.

4 Elección de un dispositivo de protección

4.4 Elección del interruptor automático de desconexión

(ver **Figura J27**)

Tras haber elegido el limitador o limitadores contra sobretensiones necesarios para proteger la instalación, debe elegirse el interruptor automático de desconexión adecuado en la siguiente tabla:

- Su poder de corte debe seleccionarse en función de la intensidad de cortocircuito del punto de la instalación.
- Deben protegerse todos los polos, por ejemplo: un limitador 1P+N debe asociarse con un automático de desconexión de 2 polos (2 polos protegidos).

Corriente máxima de descarga Imáx	Automático de desconexión	
	Especificac.	Curva
8 kA	20 A	C
20 kA	25 A	C
40 kA	40 A	C
65 kA	50 A	C

Fig. J27: Elección de un automático de desconexión.