

**SELECCIÓN DE DESCARGADORES DE SOBRETENSION DE  
OXIDO METALICO**

**Autores:**

**Efraim de Jesús Guerra Malo**

**Alex Alberto Andrade Arevalo**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Cartagena De Indias

**SELECCIÓN DE DESCARGADORES DE SOBRETENSION DE  
OXIDO METALICO**

**Autores:**

**Efraim de Jesús Guerra Malo**

**Alex Alberto Andrade Arevalo**

**Director:**

**Ing. Zeyn Oñate**

**Monografía Minor Sistemas de Potencia**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Cartagena De Indias

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Cartagena de Indias

## DEDICATORIA

*A mi Dios que todo se lo debo;*

*A mi madre Estrella Malo, y mi padre Efraim Guerra por su apoyo, amor y paciencia;*

*A mis hermanos Martín, Mariann, Claudia y Patricia;*

*A Mara Luz por darme su apoyo y confianza;*

*Efraim Guerra*

*Dedicado a todas aquellas personas que me brindaron el apoyo necesario para seguir adelante y no desfallecer por muy difícil que se pusiera el camino, y en especial a mis padres José Manuel Andrade y Yolanda Ester Arévalo de Andrade que siempre soñaron con verme triunfar.*

*Alex Andrade*

Cartagena de Indias, 28 de mayo de 2004

Doctores

COMITÉ PROYECTO DE GRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Ciudad

Apreciados Doctores

Cordialmente presentamos a ustedes para su consideración, estudio y aprobación del proyecto de monografía **SELECCIÓN DE DESCARGADORES DE OXIDO METALICO.**

Agradecemos la atención que se sirvan prestar a la presente, y nos suscribimos atentamente,

---

EFRAIM DE J. GUERRA MALO

C.C. 8'850'827 de Cartagena

---

ALEX ANDRADE

C.C. 72'095'845

## OBJETIVOS

### ***Objetivo General***

Producir un documento de consulta y estudio que contenga toda la información necesaria referente a los descargadores de óxido metálicos, conteniendo funciones y principios de operación, cálculos para la selección y cálculo para los datos de placa.

### ***Objetivos Específicos***

- Identificar las funciones y principios de operación de los descargadores de oxido metálico.
- Ejemplificar la selección de los descargadores de oxido metálico.
- Reconocer la construcción de los descargadores de oxido metálico

## JUSTIFICACIÓN

Para evitar fallas en los aislamientos de los aparatos eléctricos conectados a la red, es necesario limitar las sobre tensiones por debajo de los valores de las tensiones soportadas por dichos aislamientos. Los elementos encargados de esta misión son los pararrayos o descargadores. Estos deben actuar antes que se alcancen las tensiones soportada por los aislamientos de los aparatos que protegen, cualquiera que sea las sobre tensiones que puedan presentarse en el sistema.

Recientemente han aparecido en el mercado de la alta tensión un nuevo tipo de pararrayo constituido por bloques de oxido metálicos sintetizados, que presentan un nivel de protección mayor que los clásicos, con las ventajas de una construcción más sencilla y menos robusta.

El avance en la tecnología, y la necesidad de tener ingenieros electricistas actualizados en los adelantos de la carrera justifican dicha investigación.

## **RESUMEN**

Este documento abarca el funcionamiento, la construcción y la disposición de los descargadores de sobretensiones de óxido metálico, brindando una rápida visión de conjunto. La información se ha recopilado de tal manera que se han simplificado en beneficio de una mayor claridad. El documento contiene información referente a las funciones y los principios de operación, diseño constructivo configuraciones y algunos ejemplos de selección de descargadores de óxido metálicos. También se darán ejemplos de las aplicaciones más corrientes de los descargadores de sobretensiones, la protección de transformadores entre fase y tierra en una subestación exterior para varios sistemas de tensiones y diferentes métodos de puesta a tierra del neutro. Se dan en el apéndice, por orden alfabético, definiciones y explicaciones en la forma más concisa posible.



## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PAG</b>
Figura 1	Representación esquemática de la magnitud de las tensiones y las sobretensiones en un sistema de potencia eléctrica con respecto a su duración	13
Figura 2	Característica U-I de un descargador de OM típico en un sistema de 420 kV con neutro rígido a tierra	15
Figura 3	Tensión aplicada y corriente permanente del descargador de muestra de la Fig. 2 funcionando con una tensión fase- tierra	17
Figura 4	Tensión residual del descargador de muestra de la Fig. 2 a una corriente nominal de descarga	20
Figura 5	Disposición simplificada para ilustrar la zona de protección de un descargador	21
Figura 6	Disposición típica de un descargador en una subestación de 420Kv	24
Figura 7	Explicación de la estabilidad térmica	27
Figura 8	Plano de un corte de sección de una unidad de descargador de OM con envoltura de porcelana	30
Figura 9	Resistores de Óxido Metálico	31
Figura 10	Perfil de campanas alternadas de campanas normal	34
Figura 11	Sistema de sellado (hermeticidad o estanqueidad) de un descargador para alta tensión con envoltura de porcelana	36
Figura 12	Descargador de dos unidades para alta tensión	39
Figura 13	Brida inferior con la base aislante y el explosor de supervisión (klidonógrafo)	41
Figura 14	Terminal de varilla roscada y terminal de plano	42
Figura 15	Plano de un corte de sección de un descargador de OM para distribución con envoltura de porcelana	43
Figura 16	Construcción de un descargador de OM para distribución con envoltura polimétrica	46
Figura 17	Plano de un corte de sección de una unidad de descargador de OM con envoltura polimétrica para alta tensión	49
Figura 18	Ejemplo de una característica tensión de frecuencia industrial – tiempo	52
Figura 19	Ejemplo gráfico de una característica tensión de frecuencia industrial – tiempo	56
Figura 20	Energía específica en kJ/kV de la tensión nominal dependiente de la relación entre la tensión residual con impulso de maniobra	62
Figura 21	Descargador con envoltura polimérica para un sistema de 550 kV durante un ensayo sísmico sobre una mesa vibratoria	75
Figura 22	Descargador con envoltura de porcelana después del ensayo de alivio de presión con corriente nominal de corto circuito	76

**LISTA DE TABLAS**

<b>TABLA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PAG</b>
1	Corrientes nominales de descarga para diferentes tensiones nominales	58
2	Parámetros eléctricos para el generador de impulso	61
3	Clase de descarga en líneas asignados a sus valores de tensión	63
4	Clase de descarga de líneas para distintos diámetros de resistores de OM	64
5	Impulsos de corriente de maniobras	67
6	Requisitos de ensayos para envoltura del descargador	70
7	Esfuerzos en la cima del descargador	74
8a	Valores de corrientes de corto circuito de acuerdo a las normas <i>antiguas</i>	78
8b	Valores de corrientes de corto circuito nominales (resistidas) de acuerdo a las normas <i>Nuevas</i>	79

## INTRODUCCION

En las subestaciones eléctricas convencionales se presentan sobre voltajes transitorios originados por maniobras en el sistema, las cuales generalmente son controlables, y por descargas atmosféricas y condiciones anormales de la red, que son impredecibles.

La manera como se protege una subestación eléctrica contra sobre voltajes es realmente un asunto económico, sería costosísimo aislar los aparatos para que resistan cualquier clase de sobre voltajes, como también, sería poco práctico aislar las subestaciones para el voltaje nominal y aceptar las fallas por sobre tensiones, lo que acarrearía daños de los equipos, reparaciones e interrupciones del servicio.

El pararrayo es la protección mas completa y segura para limitar las sobre tensiones a que esta sometido los aparatos de la subestación.

Aunque todavía hay en uso una gran cantidad de descargadores de carburo de silicio, los descargadores instalados en la actualidad son casi todos de óxido metálico.

## 1. FUNCIONES Y PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE LOS DESCARGADORES DE ÓXIDO METÁLICO

Los descargadores de sobretensiones, o abreviadamente, descargadores - (también llamados pararrayos y apartarrayos) constituyen un auxilio indispensable para la coordinación del aislamiento en los sistemas de suministro de energía eléctrica- La figura 1 aclara esto. Allí, las tensiones que pueden aparecer en un sistema de energía eléctrica de alta tensión están expresadas en “por unidad” del valor de cresta de la máxima tensión permanente entre fase y tierra, dependiendo de su duración.

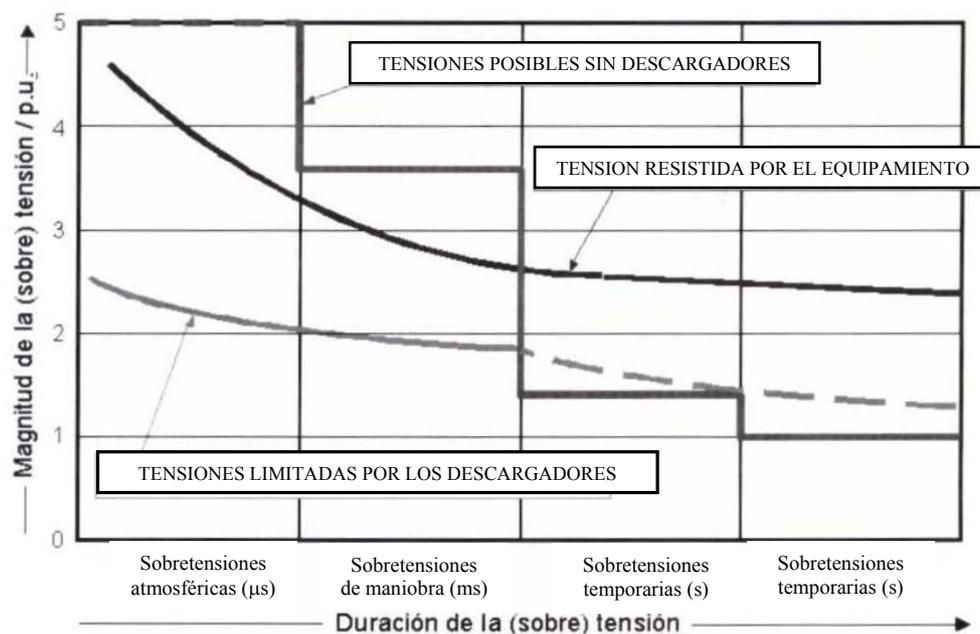


Fig. 1: Representación esquemática de la magnitud de las tensiones y las sobretensiones en un sistema de potencia eléctrica con respecto a su duración ( $1 p.u. = \frac{\sqrt{2} \cdot U_s}{\sqrt{3}}$ )

Se divide en forma aproximada el eje del tiempo en la gama de las sobretensiones atmosféricas (microsegundos), sobretensiones de maniobra

(milisegundos), sobretensiones temporarias (segundos), citadas comúnmente mediante la abreviación “TOV”, y por último la máxima tensión permanente de operación del sistema, ilimitada en el tiempo. La tensión o sobretensión que puede alcanzarse sin el uso de descargadores es de una magnitud de varios p.u.

Si, en cambio, se considera la curva de la tensión resistida del aislamiento del equipamiento (en este caso equipamiento significa equipos eléctricos tales como transformadores de potencia), se observa que comenzando por la gama de las sobretensiones de maniobra, y especialmente para las sobretensiones atmosféricas, el aislamiento del equipamiento no puede resistir los esfuerzos dieléctricos que se producen. En este punto es donde intervienen los descargadores, mientras que en servicio normal, lo cierto es que la tensión que aparece en los terminales del equipo - manteniendo siempre un adecuado margen de seguridad - estará por debajo de la tensión resistida. Por lo tanto, el efecto de los descargadores involucra las sobretensiones atmosféricas y de maniobra.

Aunque todavía hay en uso una gran cantidad de descargadores con explosores con resistores hechos de carburo de silicio (SiC), los descargadores instalados en la actualidad son casi todos descargadores de óxido metálico (OM) sin explosores, lo que significa con resistores hechos de óxido metálico (resistores de óxido metálico o resistores de OM). La característica distintiva de un resistor de OM es su característica tensión-corriente o característica U-I extremadamente alineal, haciendo innecesaria la desconexión de los resistores de la línea mediante explosores en serie, como sucede en los descargadores con resistores de SiC. Las corrientes que atraviesan el descargador, dentro de la gama de las posibles tensiones aplicadas de frecuencia industrial, son tan pequeñas, que el descargador

prácticamente se comporta como un aislador. Si, no obstante, se inyectan en el descargador corrientes de impulso en el orden de los kiloamperios, tales como las que aparecen con sobretensiones atmosféricas o de maniobra, la tensión resultante en sus terminales permanecerá lo suficientemente baja, como para proteger el aislamiento del aparato asociado, de los efectos de la sobretensión.

En la Figura 2 se da un ejemplo de la característica U-I de un descargador típico de OM conectado entre fase y tierra en un sistema 420 kV con neutro rígido a tierra. Sobre el eje de ordenadas se representan linealmente los valores de cresta de las tensiones, mientras que sobre el eje de abscisas se presentan los valores de cresta de las corrientes en una escala logarítmica. En la figura, la característica se prolonga por una gama de corrientes desde 50  $\mu$ A hasta 50 kA, es decir, más de nueve décadas de magnitud.

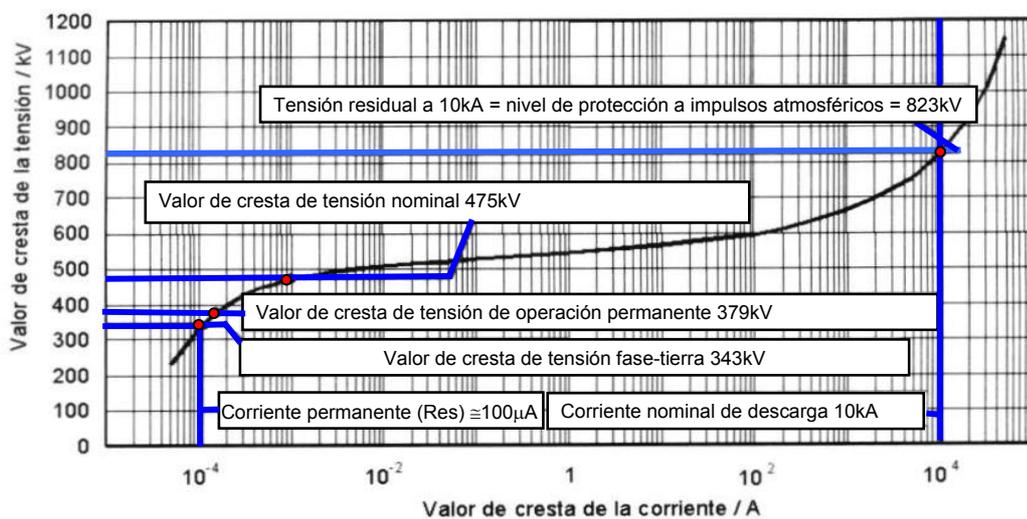


Fig. 2: Característica U-I de un descargador de OM típico en un sistema de 420 kV con neutro rígido a tierra

La tensión de frecuencia industrial que se aplica permanentemente al descargador es la máxima tensión fase-tierra del sistema. En este caso el valor de cresta es:

$$\hat{u} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_s}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 420kV}{\sqrt{3}} = 343kV$$

Al mismo tiempo, la llamada corriente permanente circula a través del descargador, esta componente está formada de una gran componente capacitiva y de una componente resistiva considerablemente menor. Por lo general, la corriente permanente es - como también puede verse en la Figura 3 - en su mayor parte capacitiva. Sin embargo, en la característica U-I sólo se representa la componente resistiva. En este ejemplo es  $\hat{I} \approx 100\mu A$ , mientras que la corriente total tiene un valor de cresta de alrededor de 0,75 mA.

El próximo punto característico significativo es la tensión de operación permanente del descargador. Para éste, formalmente se usa el símbolo  $U_c$  de acuerdo a las normas IEC; en los circuitos angloamericanos el término usual es MCOV (Maximum Continuous Operating Voltage - Tensión Máxima de Operación Permanente). Esta es la tensión de frecuencia industrial a la que puede operar el descargador sin restricción alguna. Asumiendo que se energiza al descargador con un voltaje equivalente a su tensión de operación permanente, son válidas todas las propiedades de los descargadores que se hayan demostrado en los ensayos de tipo.

Como se aprecia en la Figura 2, la tensión de operación permanente es mayor que la máxima tensión permanente que aparece entre fase y tierra. Se recomienda una tolerancia de al menos un 5% (IEC 60099-5, cláusula 3.2.1). Con ella se toman en cuenta posibles armónicas en la tensión del sistema.

En el ejemplo elegido el descargador tiene una tensión de operación permanente de  $U_c = 268$  kV, lo que es casi un 11% por arriba de la máxima tensión permanente fase-tierra posible.

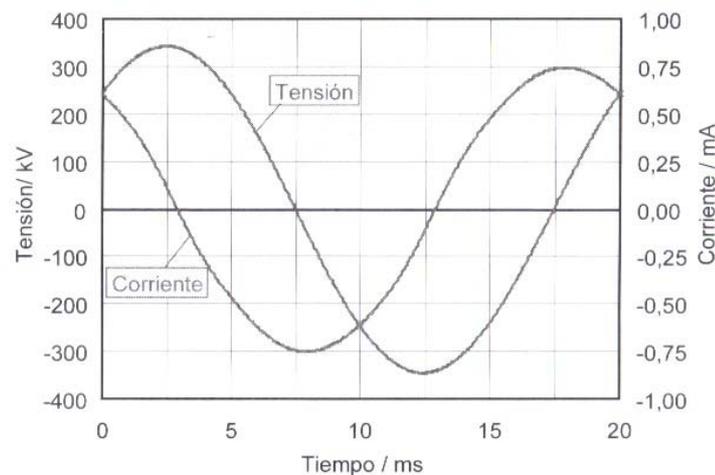


Fig. 3: Tensión aplicada y corriente permanente del descargador de muestra de la Fig. 2 funcionando con una tensión fase- tierra ( $U_s = 420$  kV,  $U_r = 336$  kV)

El nombre del próximo punto característico es algo engañoso. La tensión nominal (símbolo:  $U_r$ ) de un descargador de óxido metálico no es, como en principio se podría asumir, una tensión que puede aplicarse ilimitadamente (como la ya mencionada tensión de operación permanente). En lugar de ello ésta caracteriza la capacidad de un descargador de operar frente a las sobretensiones temporarias del sistema, y sólo puede aplicarse temporariamente - un período de tiempo de 10 segundos. Algunos fabricantes permiten un tiempo de 100 segundos. La característica muestra que bajo estas condiciones existe una corriente permanente (más precisamente, su componente resistiva) de aproximadamente 1mA, lo cual, por otra parte, conduciría a un significativo incremento de la temperatura del

descargador, pero no dentro de un lapso de diez o hasta de cien segundos. La causa real de este límite de tiempo es el repentino elevado incremento en la temperatura y la frecuente elevación de la corriente permanente (en la representación simplificada de la Figura 2 no se muestra la dependencia respecto de la temperatura de la característica U-I), luego de que, por ejemplo, el descargador ha derivado un impulso de corriente a tierra (es decir, luego de “operar o actuar”). En este caso una aplicación prolongada de la tensión nominal podría tornar al descargador incapaz de refrigerarse; en su lugar, lo volvería térmicamente inestable y seguiría calentándose continuamente hasta llegar a la autodestrucción (llamada avalancha térmica).

La tensión de operación permanente y la nominal de un descargador se relacionan directamente entre sí. El valor de esta relación es casi siempre 1,25, con sólo unas pocas excepciones, y además, no depende del fabricante. Resulta entonces en el ejemplo elegido una tensión nominal de  $U_r = 1.25 \cdot U_c \approx 336 \text{ kV}$ .

Con esto concluye la descripción del tramo de la característica U-I correspondiente a la tensión de frecuencia industrial. Continúa luego la curva dentro de un área en la cual incrementos mínimos de tensión llevan a un significativo incremento de la corriente. Se reserva ésta para eventos transitorios dentro de la gama de los milisegundos y los microsegundos, en otras palabras, para sobretensiones de maniobra y atmosféricas. La aplicación de tensión de frecuencia industrial en esta área de la característica destruiría al descargador en una fracción de segundo.

La característica en la región de corrientes superiores a aproximadamente 100A describe las características de protección del descargador, Su parámetro más importante es el nivel de protección a impulso atmosférico

representado en la Figura 2. Este representa la caída de tensión que se produce entre los terminales del descargador cuando circula la corriente nominal de descarga a través del mismo. La corriente mencionada es un impulso atmosférico de corriente de forma normalizada, cuya amplitud se asigna según las diferentes clases, de 1,5 kA a 20 kA, de acuerdo a la norma IEC 60099-4. Para descargadores de alta tensión (en sistemas con  $U_s \geq 123$  kV) son comunes solamente las clases 10 kA y 20 kA. La corriente nominal de descarga revela poco acerca de las propiedades del descargador. Dos “descargadores de 10 kA” pueden tener propiedades muy diferentes. Por lo tanto, al seleccionar un descargador, la corriente nominal de descarga no puede considerarse independientemente. Para el ejemplo en la Figura 2, se seleccionó un descargador de 10 kA. La afirmación “nivel de protección a impulso atmosférico = 823 kV” significa: una tensión con un máximo de 823 kV cae entre los terminales cuando se inyecta un impulso atmosférico de corriente de 8  $\mu$ s de tiempo virtual de frente. 20  $\mu$ s de tiempo virtual hasta la mitad en la cola y un valor de cresta de 10 kA. Asimismo estas relaciones se representan en la figura 4.

Un nivel de protección a impulso atmosférico de 823 kV significa que el valor de cresta de la tensión durante una descarga, comenzando desde la operación normal a tensión fase-tierra, se incrementa en un factor de aproximadamente 2,4 (823 kV dividido por 343 kV), mientras que al mismo tiempo la amplitud de la corriente lo hace en ocho décadas de magnitud (desde 100 $\mu$ A hasta 10kA). Ello corrobora la extrema alinealidad de la característica tensión-corriente del descargador.

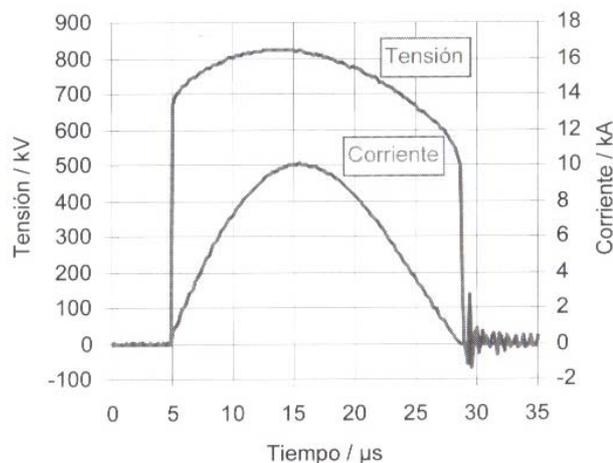


Fig. 4: Tensión residual del descargador de muestra de la Fig. 2 ( $U_r = 336$  kV) a una corriente nominal de descarga ( $I_n = 10$  kA)

Normalmente el equipamiento en el sistema de 420 kV tiene una tensión normalizada resistida a impulso atmosférico de 1425 kV. No obstante, no se admite que este valor (de tensión de ensayo) sea alcanzado alguna vez en la práctica. En conformidad con la guía de aplicación sobre coordinación del aislamiento IEC 60071-2, la máxima tensión que puede aparecer en operación, en el caso de un aislamiento no-autorregenerativo, debería estar por debajo de este valor en un factor de 1,15, es decir, no exceder los 1239 kV. Sin embargo, el nivel de protección a impulso atmosférico de 823 kV del descargador de muestra parece, en un principio, ofrecer una protección más que suficiente. No obstante, debería observarse que este valor representa una *tensión entre los terminales del descargador*, causada por la circulación de una corriente de ensayo normalizada ideal al mismo nivel que la corriente nominal de descarga del descargador. Tres causas significativas pueden hacer posible que la tensión en *los terminales del equipamiento a proteger* tome un valor considerablemente mayor:

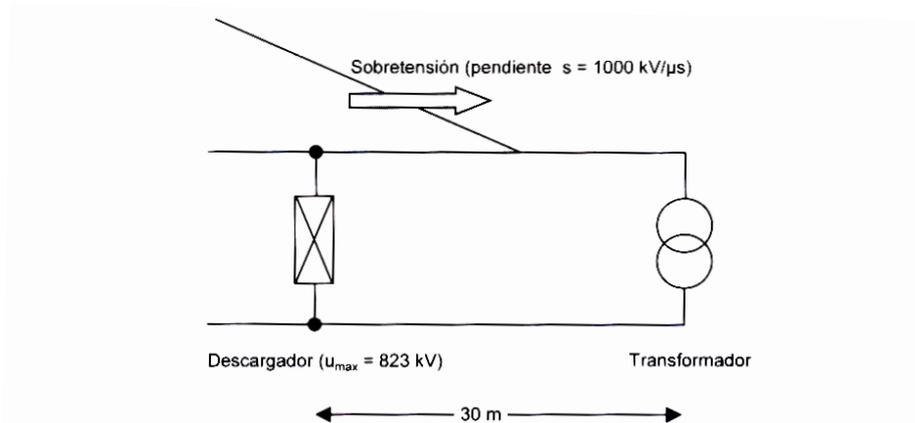


Fig. 5: Disposición simplificada para ilustrar la zona de protección de un descargador

a) **Procesos de ondas progresivas:** las sobretensiones rápidamente crecientes se propagan en forma de ondas progresivas por la línea. En aquellos lugares donde la impedancia de onda de la línea se modifica (puntos de discontinuidad), se producen refracciones y reflexiones. En especial, una onda de tensión se reflejará positivamente en su totalidad cuando alcance un extremo abierto de la línea (línea en vacío). El nivel de tensión en todo instante y en todo punto de la línea resulta de la suma de los diferentes valores instantáneos de cada onda individual de tensión. Así, en el extremo de la línea este valor se duplicará. Un transformador conectado se asemeja a un extremo abierto, dado que la inductividad de su arrollamiento presenta una gran impedancia a las frecuencias elevadas comparada con la impedancia de onda de la línea. Mediante el ejemplo simplificado (Figura 5) se explican las consecuencias de esto. Una onda de sobretensión con una pendiente de frente de  $1000 \text{ kV}/\mu\text{s}$  avanza hacia un transformador. La propagación de tal onda sobre una línea aérea, como en este ejemplo, se realiza a la velocidad de la luz, es decir a  $300,000 \text{ km/s}$  o  $300 \text{ m}/\mu\text{s}$ . Se asume que el descargador es ideal y se comporta como un aislador hasta un nivel de tensión de  $823 \text{ kV}$ , mientras que sobretensiones mayores estarán limitadas a exactamente  $823 \text{ kV}$ . La onda de sobretensión, en principio, pasa

por alto al descargador y alcanza al transformador  $0,1\mu\text{s}$  después, que es el tiempo de propagación a lo largo de los 30m entre el descargador y el transformador. En ese momento la tensión en el descargador ha alcanzado un valor de  $1000\text{ kV}/\mu\text{s} \times 0,1\mu\text{s} = 100\text{ kV}$ . De esta manera, todavía el descargador esta comportándose como un aislador. La onda que alcanza al transformador se refleja; motivo por el cual una onda adicional de tensión, con la misma forma y polaridad, desde allí se propaga en forma inversa. La superposición de ambas ondas provoca que la tensión en el transformador se incremente al doble de la velocidad, es decir a  $2000\text{ kV}/\mu\text{s}$ . Otro  $0,1\mu\text{s}$  significa una tensión aquí (en el descargador) de 200 kV. Al mismo tiempo la onda reflejada ha alcanzado al descargador, cuya tensión hasta este punto se ha incrementado en el tiempo con la tasa original de crecimiento y, por lo tanto, en el lapso transcurrido, también ha alcanzado un nivel de tensión de 200 kV. De ahora en adelante las ondas originales y las reflejadas se superponen en el descargador, y no solamente en el transformador la tensión se incrementa con una pendiente de  $2000\text{ kV}/\mu\text{s}$  sino también aquí. La situación en el descargador no se modificará hasta que la tensión en sus terminales haya alcanzado el valor límite de 823 kV. En conformidad con las premisas iniciales, no puede alcanzarse un valor mayor. De acuerdo a las leyes de los procesos de ondas progresivas, esto sólo puede suceder si una onda de tensión negativa con una pendiente de  $2000\text{ kV}/\mu\text{s}$  se despliega desde el descargador hacia ambos lados, entonces la superposición de la onda original sobre la que se reflejó en el transformador, y ahora reflejada nuevamente en el descargador, provoca que la tensión en el descargador permanezca en un valor constante de 823 kV. Ahora bien, transcurre otro  $0,1\mu\text{s}$  - tiempo necesario para propagarse por el tramo de 30m entre el descargador y el transformador - antes de que la onda negativa reflejada en el descargador alcance al transformador. Sin embargo, durante este tiempo,

la tensión allí ya se ha incrementado en 200 kV. Por lo tanto, ya tiene un valor de 1023 kV. Sólo ahora la influencia del descargador se hace “notar” en bornes del transformador y reduce la tensión allí alcanzada. El ejemplo muestra que la tensión en el equipamiento a proteger puede ser considerablemente mayor que la que aparece en el descargador. Exactamente cuánto más, depende mayormente de la distancia entre el descargador y el aparato a proteger y de la pendiente del frente de la onda de tensión (el mismo ejemplo con el doble de distancia y sólo un 10% más de tasa de incremento de la tensión permitiría que se excediera la tensión máxima soportada por el transformador de 1239 kV). Este ejemplo deja en claro lo siguiente: *¡el descargador tiene solamente una limitada zona de protección local!*

b) **Caídas de tensión inductivas:** se ve en la Figura 6 que la trayectoria de la comente de descarga, desde la línea aérea, pasando por el descargador hasta llegar a la tierra efectiva, tiene una longitud de diez metros. Con un valor específico de  $1\mu\text{H}$  por metro (inductancia típica de un conductor tendido a gran distancia de otras partes energizadas o a tierra) su inductividad es  $10\mu\text{H}$ . En casos extremos puede esperarse una pendiente de  $10\text{ kA}/\mu\text{s}$  en un impulso atmosférico de corriente. Bajo estas condiciones en la disposición mostrada la caída de tensión inductiva es

$$u = L \cdot \frac{di}{dt} = 10\mu\text{H} \cdot 10\text{kA} / \mu\text{s} = 100\text{kV}$$

Esta no necesariamente aparece simultáneamente con el valor de cresta de la tensión residual del descargador. No obstante, este valor de 100 kV demuestra el orden de magnitud de las posibles caídas de tensión inductivas que pueden superponerse a la tensión residual del descargador.

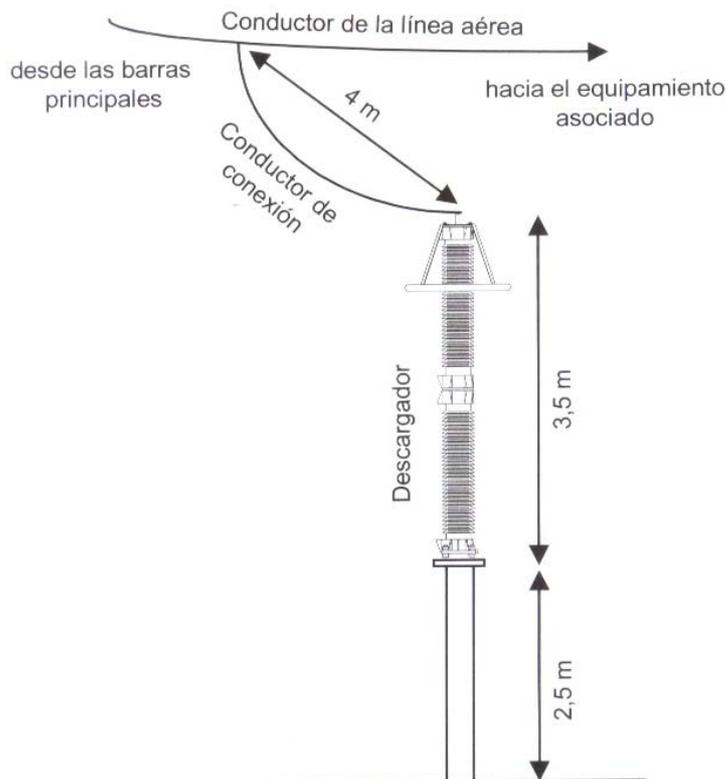


Fig. 6: Disposición típica de un descargador en una subestación de 420kV

c) **corrientes de descarga mayores que la corriente nominal de descarga del descargador:** se define el nivel de protección del descargador como su tensión residual a la corriente nominal de descarga. Pueden también aparecer corrientes de descarga mayores. El descargador puede resistirlas sin dañarse, pero esto resulta en una tensión residual mayor entre sus terminales, dependiendo de la forma de la característica U-I.

De este modo, cuando se selecciona un nivel de protección del descargador, deben considerarse ciertos detalles, tales como la distancia entre el descargador y el aparato a proteger, la configuración particular de la subestación o los esfuerzos típicos debidos a las sobretensiones en el sistema. Normalmente un factor de al menos 1,4 entre la tensión nominal

resistida a impulso atmosférico del aparato a proteger y el nivel de protección a impulso atmosférico del descargador resulta en una protección segura contra las sobretensiones de frente escarpado. Sin embargo, en casos problemáticos, por ejemplo cuando se esperan sobretensiones de frente muy (abruptamente) escarpado, o cuando existen distancias inusualmente extensas entre el descargador y el aparato a proteger, el efecto de protección debe controlarse individualmente mediante un cálculo minucioso.

No sólo son necesarias la configuración para operación permanente estable (característica U-I en la gama de la corriente permanente) y la elección de niveles de protección suficientemente bajos (característica U-I en la gama de las altas corrientes), sino también que el descargador debe poseer la capacidad de absorción de energía necesaria para cada aplicación individual.

En el proceso, deben considerarse dos aspectos diferentes:

La energía que se inyecta instantáneamente durante una única descarga no podrá exceder un valor para el cual los resistores de óxido metálico estén termo-mecánicamente sobre-esforzados. Por eso, en este contexto se habla de la capacidad de absorción de energía con un único impulso de un descargador. La energía que se inyecta durante sólo unos pocos micro o milisegundos provoca extremas, repentinas elevaciones de temperatura asociadas con fuerzas excesivas de flexión y compresión actuando sobre la cerámica del resistor de OM. Esto puede conducir a pequeñas-tenues grietas o hasta causar la rotura de los resistores. El efecto lo soportan las más diminutas fracciones no homogéneas en la cerámica de los resistores de OM, las que son básicamente inevitables a pesar de las últimas tecnologías de fabricación desarrolladas. Éstas pueden causar sobrecalentamientos de la cerámica localmente limitados en el caso de densidades de corriente y de energía extremadamente elevadas, respectivamente. Dado que el calor no puede diseminarse lo suficientemente rápido en el material circundante, aparecen esfuerzos termomecánicos adicionales. Por medios similares

pueden desarrollarse canales de calor en las ubicaciones de las fracciones no homogéneas, conduciendo a la perforación eléctrica del resistor. La capacidad de absorción de energía de un único impulso es, de este modo, una propiedad característica del resistor de óxido metálico insertado en el descargador, independiente del resto del diseño del descargador. La especifica el fabricante con un margen de seguridad suficiente con respecto a los límites reales.

Totalmente diferentes son los contextos válidos para la capacidad de absorción de energía térmica. Ésta se define como el máximo nivel de energía inyectada dentro del descargador, para el cual éste todavía puede refrigerarse hasta su temperatura normal de operación. La Figura 7 ilustra este problema: las pérdidas de potencia eléctricas resultantes de la tensión de frecuencia industrial permanentemente aplicada dependen de la temperatura. Estas se elevan desproporcionadamente cuando se eleva la temperatura.

Por otra parte, debido a su diseño, el descargador sólo puede disipar en el medio circundante una cierta cantidad de calor limitada. De hecho, este valor de flujo de calor también se incrementa con la temperatura, no obstante, dista mucho de lo que se incrementan las pérdidas de potencia eléctricas. Ambas curvas de potencia tienen dos puntos comunes de intersección. El de la izquierda es un punto de operación estable. En este punto, se disipa al exterior exactamente tanto calor como el que se produce en el resistor de OM: prevalece el balance térmico. Una descarga perturba este balance. La energía que se introduce eleva rápidamente la temperatura, y el punto de operación se desplaza a la derecha siguiendo la curva de pérdidas de potencia como se indica con una flecha en la Figura 7. Hasta tanto el punto de intersección a la derecha de las curvas no sea alcanzado, fácilmente puede disiparse el calor generado por las pérdidas de potencia eléctricas, y el descargador puede regresar al punto estable de operación. Sin embargo,

si se alcanza o excede el punto de intersección de la derecha, ya no es posible el enfriamiento. Entonces el descargador se toma térmicamente inestable y sigue calentándose hasta la autodestrucción. Por lo tanto, este punto de intersección, representa el límite de estabilidad térmica. La capacidad de absorción de energía térmica se especifica de tal manera que la elevación de temperatura lleva al descargador a una temperatura que manifiesta un margen de seguridad adecuado al límite de estabilidad térmica. El límite de estabilidad térmica real depende del diseño global del descargador y tiene un valor típico entre 170 °C y 200 °C.

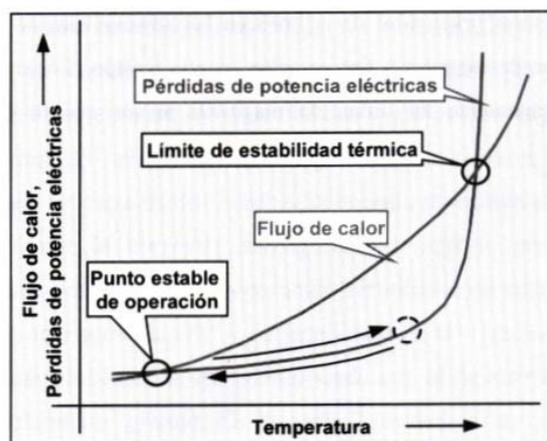


Fig. 7: Explicación de la estabilidad térmica

Ambas definiciones de la capacidad de absorción de energía citadas arriba no se especifican en las normas. La norma IEC 60099-4 sobre descargadores de óxido metálico sin explosores es categórica al respecto: la capacidad de absorción de energía solamente se describe por medio de la clase de descarga de líneas. Sin embargo, su definición es complicada. En forma indirecta ésta es aproximadamente la capacidad de absorción de energía térmica. Más adelante se explicará con más detalles este concepto. Con respecto a la capacidad de absorción de energía, finalmente debe mencionarse que normalmente los descargadores se diseñan para derivar a tierra sólo una fracción de la carga que se introduce al conductor de la línea

aérea como resultado del impacto directo de un rayo. En este caso, se asume que la sobretensión que aparece sobre el conductor de la línea aérea producirá el contorneo (cebado) de uno o más aisladores de la línea. Así, la mayor parte de la carga se deriva a tierra a través de los canales o caminos de contorneo. Finalmente sólo alcanzarán las estaciones (playas - patios - de maniobras, subestaciones transformadoras) las sobretensiones limitadas a la tensión de contorneo del aislador con el contenido de carga apropiadamente reducido, y además, sólo éstas, deben ser limitadas por los descargadores en la estación y, adicionalmente, su contenido de carga derivado a tierra.

En los sistemas de distribución en media tensión los descargadores están ampliamente diseminados sobre la totalidad de la red, encontrándose normalmente instalados directamente en, por ejemplo, plataformas aéreas (sobre poste o columna) de transformación o en terminaciones de cables. De vez en cuando, un rayo puede impactar la línea tan próxima al descargador, que solamente puede ser aliviado en parte, o nada en absoluto, por contorneos en los aisladores. Esto se conoce como una descarga atmosférica directa sobre los conductores principales de la línea en las adyacencias del descargador y es una causa común de falla de los descargadores en estos sistemas. Las tentativas para evitar esto en los sistemas de transmisión en alta tensión consisten en mejorar el apantallamiento (blindaje) de la línea, por ejemplo, instalando un segundo hilo de guardia cercano a la estación. Esta es la razón por la cual, impactos directos de rayos sobre los conductores principales de la línea en las adyacencias del descargador, casi nunca suceden conjuntamente con descargadores tipo estación en alta tensión. Como resultado se tiene que su tasa de falla es aproximadamente un orden de magnitud menor que la de los descargadores de distribución.

## **2. DISEÑO CONSTRUCTIVO DE LOS DESCARGADORES DE OM**

Este capítulo describe el diseño constructivo básico de los descargadores de OM. De las numerosas formas posibles de construir un descargador sólo se han escogido unos pocos ejemplos con el fin de dejar en claro el principio.

El hecho de que ya no sean necesarios los explosores en serie, los que eran obligatorios para los descargadores de SiC con explosores, ha simplificado considerablemente el diseño de los descargadores. De hecho, ciertos diseños de descargadores con envoltura polimérica eran imposibles de construir hasta que se introdujo la técnica del óxido metálico sin explosores. El mayor progreso: los descargadores de OM pueden construirse con un único elemento activo efectivo, es decir, la columna de resistores de OM. Sin embargo, hay grandes exigencias sobre estos resistores de OM, ya que ellos combinan todas las funciones que previamente habían sido compartidas entre los diferentes componentes del descargador con explosores. Así, deben ser resistentes al envejecimiento mientras están sujetos a la tensión de operación aplicada permanentemente. Deben ser capaces de absorber la energía inyectada durante una descarga y, a continuación, deben limitar la corriente subsiguiente (corriente permanente) a valores lo suficientemente pequeños como para una operación térmicamente estable. Como resultado de ello, el desarrollo de los resistores de OM y su tecnología de fabricación - la producción de los resistores de OM es considerablemente más complicada que la de los resistores de SiC - son de una importancia particularmente grande.

La Figura 8 muestra en corte la sección de una unidad de un descargador de OM con envoltura de porcelana, aplicable en sistemas de alta tensión. La columna de resistores de OM, en conjunto con la construcción de soporte que la acompaña, constituye la parte activa real del descargador. La columna consiste en resistores de OM individuales apilados uno sobre otro. Los resistores de OM casi siempre se producen con forma cilíndrica (Figura 9). Su diámetro determina en forma decisiva la capacidad de absorción de energía y de conducción de corriente. Está en el orden de aproximadamente 30mm cuando se los utiliza en sistemas de distribución, y hasta 100mm o más para aplicaciones en alta y extra alta tensión y especiales, para los cuales se requieren altas capacidades de absorción de energía. Para exigencias especialmente severas, las partes activas se realizan con una técnica multicolumna, es decir, dos o más columnas conectadas en paralelo.

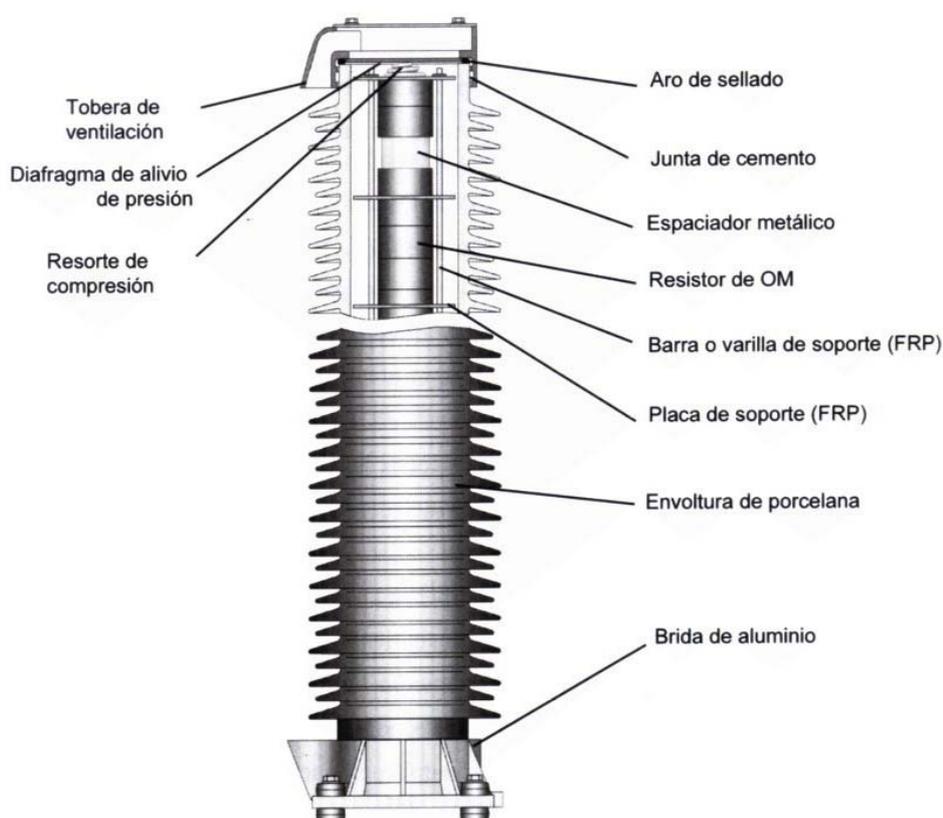


Fig. 8: Plano de un corte de sección de una unidad de descargador de OM con envoltura de porcelana

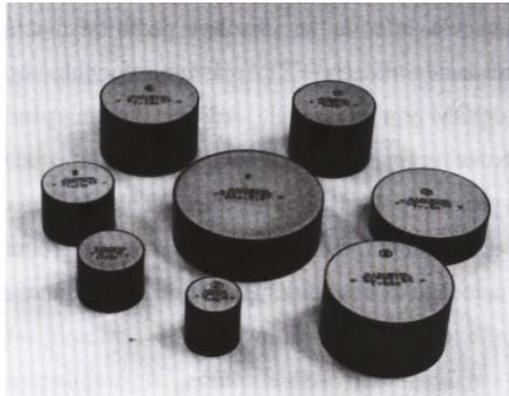


Fig. 9: Resistores de Óxido Metálico

La tensión residual por milímetro de altura durante un impulso atmosférico de corriente de 10 kA de valor de cresta - la llamada tensión residual a 10 kA está dentro de la gama de alrededor de 450 V/mrn para un resistor de OM típico en un descargador de distribución (32mm de diámetro), reduciéndose aproximadamente a 280 V/mm para un descargador usado en un sistema de 420 kV (70mm de diámetro). Por lo tanto, en el último caso mencionado, el resistor de 45mm de altura, tiene una tensión residual a 10 kA de aproximadamente 12,5 kV. Con el fin de lograr un nivel de protección a impulso atmosférico de 823 kV, como en el ejemplo de la Figura 2, deberían apilarse, uno sobre otro, alrededor de 66 resistores. Dado que la altura resultante de la columna de resistores de OM de casi tres metros no podría contenerse en una única envoltura, este descargador se compondría de, por lo menos, dos unidades en serie.

La longitud de la parte activa se ajusta a la altura de la envoltura de la unidad por medio de *espaciadores metálicos*. En los casos más simples éstos son tubos de aluminio con tapas sobre ambos extremos a fin de conseguir una

distribución uniforme de la presión de contacto. Sin embargo, algunas veces se insertan partes de aluminio macizo, las que al mismo tiempo actúan como sumideros de calor, incrementando de ese modo la capacidad de absorción de energía térmica de los descargadores.

Una vez apilados los resistores de OM sucesivamente uno sobre otro, de esta misma manera, deben fijarse mecánicamente en la envoltura. El propósito es, por una parte, asegurar que la parte activa no pueda desplazarse de su posición original durante el transporte, o cuando se instala el descargador en una posición diferente de la vertical. Por otra parte, se necesita una cierta presión de contacto axial, para que puedan manejarse fácilmente los esfuerzos corrientes que pudiesen ocurrir. La Figura 8 representa una de las muchas posibilidades factibles. Varias *barras (varillas de soporte)* fabricadas de material FRP (plástico reforzado con fibras de vidrio) rodean a la columna de resistores de OM como una jaula. Adicionalmente, *placas de soporte* - también de FRP - dispuestas a intervalos regulares, por una parte, evitan que las barras de soporte se doblen separándose, y por otra parte, limitan el posible pandeo de la construcción total hacia las paredes de la envoltura. Un *resorte de compresión* robusto (para solicitaciones severas, posiblemente más de una) adosado al extremo superior de la columna, refuerza la parte activa a la envoltura.

Se tienen grandes exigencias respecto de las propiedades eléctricas y mecánicas de la construcción de soporte en conjunto. Ésta debe diseñarse e implementarse de manera que quede libre de descargas eléctricas parciales bajo todas las condiciones de operación. Además se requieren: elevada resistencia mecánica, resistencia a las altas temperaturas y elevada resistencia a la formación de caminos conductores (tracking) y a la erosión,

como así también propiedades de retardo de la llama y autoextinción en caso de incendio.

Hasta hace muy poco tiempo, y para las altas tensiones todavía hoy en la mayoría de los casos - como se muestra en la Figura 8 - sólo se utilizaba *porcelana* para las envolturas de los descargadores. Los extremos de la envoltura se equipan de *bridas de aluminio* adheridas con la ayuda de *cemento*. Cuando se elige aluminio de calidad apta para uso a la intemperie, no se necesita pintura externa en las bridas.

El cemento sulfuroso es la primera elección para el cementado. Además de propiedades mecánicas favorables, también ha demostrado tener ventajas sobre el cemento Pórtland (bastante común en la industria de los aisladores) en el proceso de fabricación: puede entrar fácilmente en contacto con el aluminio sin producir corrosión y puede procesarse rápidamente, ya que inmediatamente después de realizada la aplicación, éste alcanza su resistencia mecánica final.

Asumiendo que se han diseñado apropiadamente las bridas y las secciones extremas de la envoltura de porcelana, es posible lograr una unión de cemento que siempre será mecánicamente más firme que la porcelana misma. Esto significa que puede hacerse un uso pleno de la resistencia de la porcelana cuando se especifican las cargas mecánicas admisibles en la cima de la envoltura del descargador.

La porcelana del aislador se fabrica en diferentes calidades, cuyos requisitos mínimos se encuentran en las normas, por ejemplo, la IEC 60672-3. Para envolturas de descargadores normalmente se usan dos calidades: la porcelana de cuarzo (subgrupo "C 110: porcelanas de silicio" de acuerdo a la IEC 60672-3) y la porcelana de alúmina (subgrupo "C 120: porcelanas de aluminio"). Con la porcelana de alúmina se puede lograr elevada resistencia

mecánica; el doble de resistencia específica en comparación con la de la porcelana de cuarzo. Una influencia importante sobre la resistencia mecánica es el esmalte, el que no sólo se aplica exteriormente, sino también a las paredes interiores de la envoltura. Naturalmente la resistencia de la envoltura también depende en gran medida de la geometría de la porcelana. No sólo el espesor de la pared, sino también el diámetro desempeña aquí un papel importante. Cuanto más elevada sea la tensión del sistema, y como resultado mayores requisitos de resistencia mecánica, mayor será el diámetro de la porcelana elegida.

No obstante, el color del esmalte carece de significado técnico. El color más común es el marrón (color RAL 8016). Sin embargo, con frecuencia, y especialmente en regiones angloamericanas, se prefiere un tono gris claro. Teóricamente la temperatura interior del descargador puede derivar de una cierta influencia del color, debido a los diferentes coeficientes de emisión y absorción térmica. No obstante su efecto total es despreciable, de manera que a los fines prácticos, no se lo tiene en consideración.

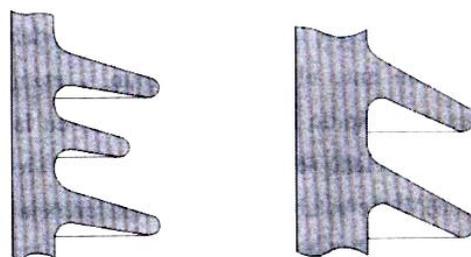


Fig. 10: Perfil de campanas alternados de campanas normal.

Además de proteger la parte activa de las influencias ambientales la envoltura de este descargador debería también suministrar una distancia disruptiva adecuada. Por esta razón se lo equipa con campanas cuyos diseños pueden ser muy distintos. Para el diseño del perfil de la campana

(distancias, saliente o voladizo, ángulo de inclinación) la guía de aplicación IEC 60815 hace recomendaciones que deberían seguir los fabricantes. La más evidente es la diferencia entre un perfil de campana alternado y uno normal (Figura 10). No puede hacerse una recomendación general sobre cual de ambos tipos es preferible. Las ventajas del perfil de campana alternado incluyen la de impedir la aparición de capas o caminos conductores sobre la superficie, y la de lograr una gran distancia disruptiva en relación con la longitud total, lo que ante cualquier requisito de distancia disruptiva resulta en envolturas de descargadores más cortas. En los ensayos de polución artificial con niebla salina (conforme a la norma IEC 60507), éste generalmente se desempeña mejor que el perfil de campana normal comparable. Éste último, por otra parte, ha demostrado poseer particularmente buenas propiedades autolimpiantes bajo condiciones de servicio reales, y a causa de esto, en muchos casos tiene excelentes antecedentes de servicio. En caso de duda al seleccionar un perfil de campana, debería tenerse en cuenta la experiencia individual de operación del usuario. Los comentarios a la Figura 8 concluyen con una descripción del sistema de sellado (sistema de estanqueidad o hermeticidad). Este es uno de los componentes más críticos del descargador; el tipo de falla más frecuentemente en los descargadores es la falta de hermeticidad (fugas). El sistema de sellado tiene que cumplir con tres funciones, las que a su vez, entre sí, son bastante incompatibles. Por una parte, debe impedir el ingreso de humedad en beneficio de la duración de la vida útil del descargador - duración estimada de 25 a 30 años. Por otra parte, debería actuar como un rápido dispositivo de alivio de presión ante el - poco común - evento de una sobrecarga del descargador, que puede causar un rápido aumento de presión en la envoltura lo que a su vez llevaría a que el cuerpo de la porcelana se rompiera en pedazos violentamente. Finalmente, en este punto

(sistema de sellado), debe establecerse una transferencia de corriente perfectamente definida desde la brida a la columna de resistores de OM.

La siguiente figura (figura 11) consiste en un sistema de sellado, el que en su mayor parte se compone de un aro (anillo) de sellado y un diafragma de alivio de presión. Ambos elementos aparecen dos veces, uno en cada extremo de la envoltura. El aro de sellado se coloca sobre la cara extrema del cuerpo de la porcelana. Si el sellado se realiza en este punto, entonces el cemento entre la brida y la porcelana no es parte del sistema de sellado. Esto reduce los requisitos de la unión de cemento, pero exige un cuidado absoluto cuando se elaboran las caras extremas de la porcelana y durante el control de calidad posterior.

Hay grandes exigencias, en su mayoría sobre el material del aro de sellado. Así, por ejemplo, la goma natural resultó inapropiada, ya que con el tiempo se vuelve quebradiza. La resistencia al ozono es otro requisito elemental, el que en la actualidad puede satisfacerse con el uso de materiales sintéticos.

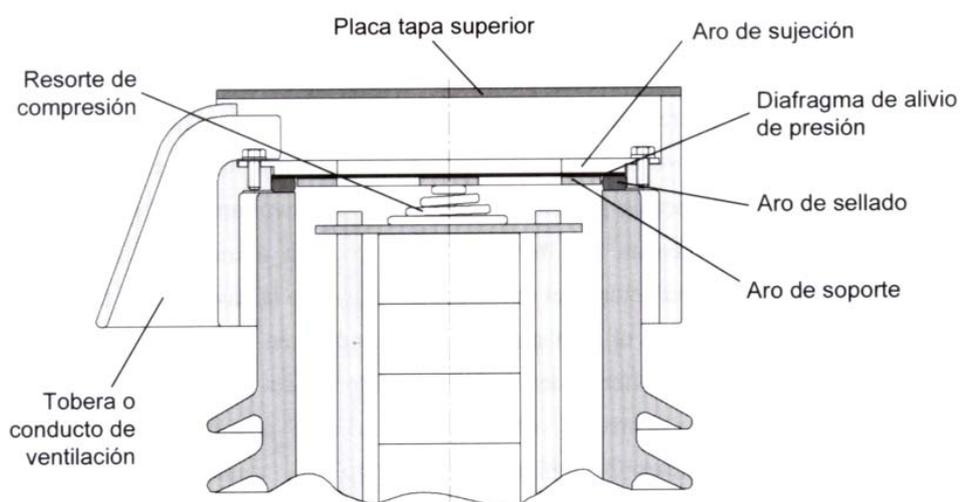


Fig. 11: Sistema de sellado (hermeticidad o estanqueidad) de un descargador para alta tensión con envoltura de porcelana.

El material del diafragma de alivio de presión usado en la construcción del descargador es acero o níquel, de máxima pureza en ambos casos, y de sólo unas pocas décimas de milímetro de espesor. En términos de diseño y de garantía de calidad, es un desafío construir el diafragma resistente a la corrosión por un período de 30 años. Al diafragma se lo presiona contra el aro de sellado con un aro (anillo) de sujeción metálico atornillado a las bridas. Es de especial importancia asegurarse que sólo se usen combinaciones de materiales compatibles (respecto de los procesos electroquímicos). De otra manera definitivamente aparecerá corrosión en los resquicios, la que tarde o temprano producirá fugas.

La ventaja particular del diafragma de alivio de presión es su extremadamente breve tiempo de apertura ante una sobrecarga del descargador. Una sobrecarga del descargador es un acontecimiento muy infrecuente. No obstante, en principio no puede descartarse, ni aun en caso de un descargador sobredimensionado. Las causas posibles de esto son, por ejemplo, descargas atmosféricas sobre los conductores principales de la red impactando en las adyacencias del descargador, o transferencia de la tensión de frecuencia industrial desde un sistema de alta tensión a uno de baja tensión, por ejemplo, en una línea de transmisión con varios niveles de tensión que se entrecruzan debido a rotura o galope del conductor. En un caso semejante se produce la sobrecarga de uno o varios resistores de OM en el descargador afectado. Se forma un arco parcial, el que en una fracción de segundo se convierte en un arco total entre las dos bridas dentro de la envoltura. La corriente total de cortocircuito de la red en el punto donde realmente está instalado el descargador, circula a través de este arco. Por consiguiente, se desarrolla dentro de la envoltura un abrupto incremento de la presión. Al mismo tiempo, se rasga el diafragma de alivio de presión en unos pocos milisegundos, garantizando de este modo un seguro alivio de presión antes de que se alcance la presión de estallido de la envoltura. Los

gases calientes a presión muy rápidamente escapan del interior de la envoltura a través de dos conductos (salidas) de ventilación (“ventilación” del descargador). Fuera de la envoltura se encuentran los dos chorros de gas y hacen que el arco que estaba encendido en el interior de la envoltura, conmute y continúe encendido exteriormente al descargador, hasta que se despeje la falla. En esta instancia, todavía puede ocurrir la rotura de la porcelana a consecuencia del extremo esfuerzo térmico. Sin embargo, debido al deterioro en condiciones prácticamente despresurizadas, ningún otro daño de importancia puede sobrevenir.

Cuando el arco encendido dentro de la envoltura se extingue como consecuencia de un sistema de despeje de falla, justo antes de la apertura del diafragma de alivio de presión o, cuando el incremento de presión se produce con relativa lentitud, a causa de una falla de muy baja corriente (lo que ocurre especialmente en sistemas con neutro a tierra resonante), el diafragma de alivio de presión no se rasga, sino en cambio sólo se tracciona formado pliegues -se frunce -, los que (en este caso, intencionalmente) producen fugas. Esto hace imposible que un descargador fallado esté a una presión interna de más de un bar y reduce enormemente los riesgos en la seguridad durante el desmontaje de un descargador defectuoso.

Se han descrito hasta aquí los componentes más importantes de un descargador de OM, empleando como ejemplo un descargador de alta tensión con envoltura de porcelana. No obstante, se necesitan unos pocos detalles más para completar la descripción de un descargador de alta tensión (Figura 12).



Fig. 12: Descargador de dos unidades para alta tensión.

Ya se ha mencionado que a partir de cierta longitud de la columna de resistores de OM, el descargador deja de fabricarse en una sola pieza. La máxima longitud razonable de una envoltura de porcelana puede ser, por razones técnicas y económicas, de aproximadamente dos metros. Con esta longitud puede acomodarse en una sola pieza un descargador para un sistema de 245 kV con neutro rígido a tierra, siempre y cuando los requisitos de distancia disruptivas no superen el promedio normal. Para todos los niveles superiores de tensión, el descargador debe componerse de varias unidades, por ejemplo en un sistema de 420 kV debería tener por lo menos dos piezas. Para niveles de tensión superiores o cuando se exigen distancias disruptivas extremas, también pueden componerse de tres, cuatro o cinco partes. En principio no existe un límite superior, siempre que el descargador demuestre tener las propiedades mecánicas suficientes.

Partiendo de una longitud de alrededor de un metro y medio a dos metros, en adelante, y generalmente para descargadores compuestos de varias unidades, son absolutamente necesarios los anillos distribuidores de potencial (o anillos de guarda). Estos sirven para controlar la distribución de la tensión desde la cima hasta la base, la que se encuentra influenciada desfavorablemente por las capacitancias a tierra que afectan al descargador. Sin las medidas preventivas apropiadas, los resistores de OM en el extremo más elevado – la alta tensión del descargador – estarán solicitados considerablemente más que los dos del extremo a tierra.

Los anillos distribuidores de potencial se diferencian entre si en términos de sus diámetros y de las longitudes de sus brazos de fijación. La regla práctica en este caso es la siguiente: cuanto mayor sea el diámetro y más largo el brazo, mejor será el efecto de control sobre la distribución de la tensión. Al mismo tiempo, si hubiera la menor posibilidad, existen dos razones para mantener pequeños a ambos tamaños mencionados:

- Las normas concernientes al montaje de instalaciones de energía eléctrica estipulan una distancia mínima entre los conductores de las fases vecinas. Estos requisitos también son válidos para la distancia entre los anillos distribuidores de potencial de dos fases vecinas. Cuanto más pequeño sea el anillo distribuidor de potencial, menor será el espacio entre ejes de descargadores vecinos, y así también el ancho del campo (sector de la playa o patio) a seleccionar.
- Los brazos no pueden extenderse hasta cualquier largo deseado, ya que la envoltura del descargador, vacía, debe satisfacer ciertos requisitos de tensión resistida. Si los brazos son demasiado largos, pueden producirse contorneos desde el anillo distribuidor de potencial, sobre la brida vecina y a

tierra, o directamente a tierra, especialmente mientras se ensaya con la tensión de impulso de maniobra.



Fig. 13: Brida inferior con la base aislante y el explosor de supervisión (klidonógrafo)

Los descargadores de estación para alta tensión usualmente no se conectan directamente a tierra; en cambio, se conectan en serie con el descargador los aparatos de supervisión, tales como contadores de descargas, klidonógrafos (explosores de supervisión) o indicadores de corriente permanente. En este caso se proporciona el aislamiento colocando el descargador sobre una base (pie) aislante (Figura 13). Se realiza entonces la puesta a tierra a través de los aparatos de supervisión apropiados. El diseño mecánico de la base aislante debe ser tal, que ésta pueda resistir las fuerzas mecánicas, tanto de larga como de corta duración, que afecten al descargador. Debe tener una adecuada rigidez dieléctrica de manera que no contornee bajo la acción de la caída de tensión a través de los aparatos de supervisión, ubicados en paralelo, causada por la autoinductancia de la conexión a tierra.

El conductor de conexión a tierra debería tener una sección de por lo menos  $35\text{mm}^2$ , menos por razones eléctricas - para éstos una sección menor sería totalmente adecuada - que por motivos de rigidez mecánica y resistencia al impacto ambiental.

El *terminal de alta tensión* sirve de conexión al conductor de la línea aérea. Normalmente se usan terminales planos y de varilla roscada (Figura 14). Su diseño y dimensiones están normalizados, por ejemplo, en conformidad con DIN o - en los Estados Unidos - con NEMA. No obstante, también son comunes variantes especiales específicas del cliente.

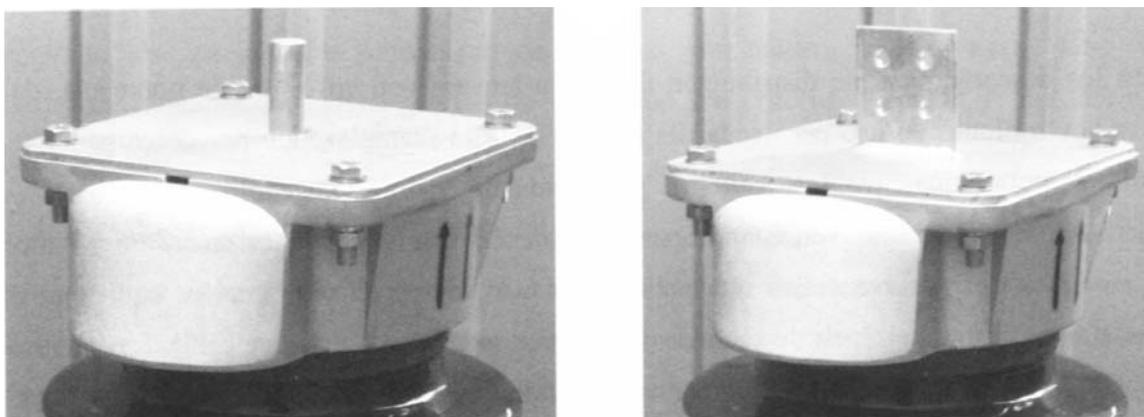


Fig. 14: Terminal de varilla roscada (izquierda) y terminal de plano (derecha)

Las fotografías siguientes (Figuras 15... 17) muestran otros modelos de descargadores de OM: un descargador de distribución de media tensión con envoltura de porcelana, un descargador de distribución de media tensión con envoltura polimérica y finalmente, un descargador de alta tensión de estación con envoltura polimérica. Los ejemplos elegidos se diferencian entre sí, significativamente en algunos casos, en sus características de diseño, brindando así un panorama de algunos de los diseños básicos de descargadores en uso.

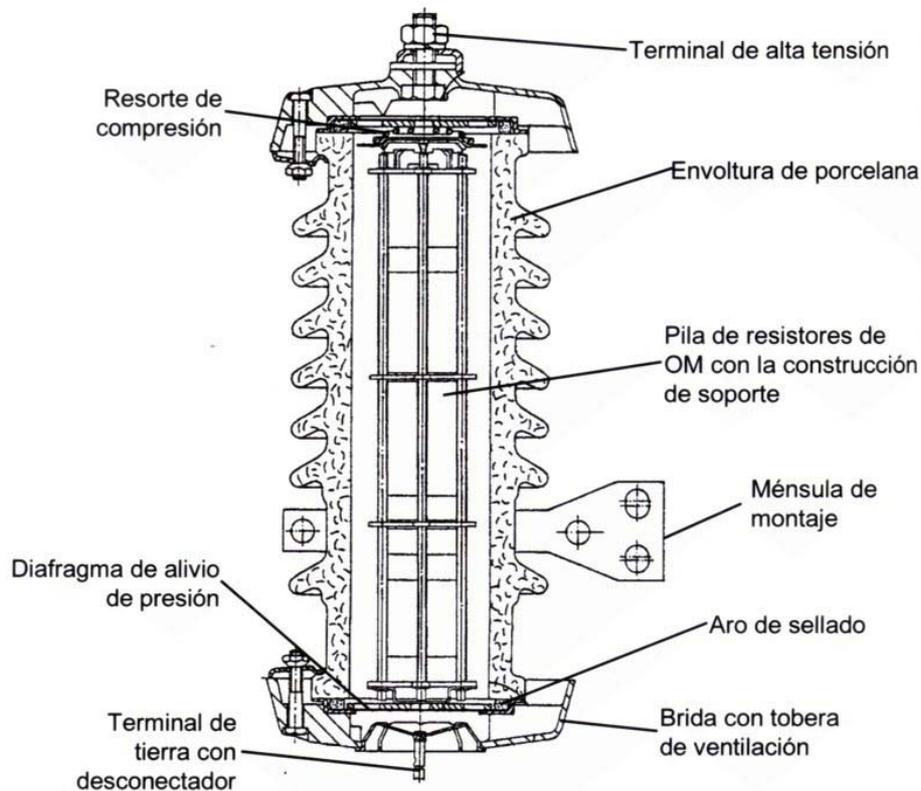


Fig. 15: Plano de un corte de sección de un descargador de OM para distribución con envoltura de porcelana

En los descargadores de distribución de media tensión con envoltura de porcelana, de los cuales hay millones en uso pero cada día más se los está reemplazando por descargadores con envoltura polimérica, pueden hallarse prácticamente todos los componentes hasta aquí mencionados (Figura 15). Aun cuando para tales descargadores los bajos costos de producción son, por mucho, más esenciales que para los descargadores de alta tensión, aquí también y especialmente para el sistema de sellado, deben mantenerse los niveles de calidad más elevados posibles. Las fugas resultan ser la causa de falla más frecuente, especialmente para los descargadores en la gama de las medias tensiones, donde la presión de los costos es enorme y la calidad no es siempre el principal interés. El descargador mostrado en la Figura 15

generalmente tiene el mismo sistema de sellado que el descargador de alta tensión de la Figura 8. Se utilizan los mismos principios y los mismos materiales. Esto significa que este diseño tiene la misma alta confiabilidad operativa que un descargador de alta tensión. También, lo que fue mencionado antes en conexión con los descargadores de alta tensión, se aplica aquí al desempeño con sobrecarga, dado que el mismo principio de alivio de presión también se aplica aquí.

Una peculiaridad de los descargadores de distribución es su frecuente aplicación asociados a desconectadores. Este dispositivo adicional no sólo puede estar integrado en el descargador, como se representa en la Figura 15, sino también adosados exteriormente. Los desconectadores pueden ser de gran importancia para una operación libre de disturbios de una red de distribución. Aquí las ubicaciones de los descargadores no se limitan solamente a unas pocas playas de maniobras o subestaciones, como en un sistema de transmisión en alta tensión. En lugar de eso los descargadores se distribuyen por toda la red (estaciones sobre postes, terminaciones de cables), y en muchos casos un descargador que se ha averiado no es perceptible en estas grandes extensiones. Y aun si lo fuera, no siempre los reemplazos pueden hacerse inmediatamente. Se presupone que el desconectador asegure que, después de una posible falla, el descargador sea desvinculado de la red. De otro modo el descargador podría, después de tal incidente, constituir una falla a tierra permanente. Sin embargo, también debería mencionarse que la desventaja de un desconectador es que, a causa de su uso, las tallas en los descargadores pueden permanecer inadvertidas, y la protección de sobretensiones en ese punto podría, sin quererlo, no lograrse. Por consiguiente, no pueden darse recomendaciones generales para el uso de desconectadores. Se usan menos frecuentemente o a veces nada en absoluto en sistemas con neutro a tierra resonante, los que pueden operarse por largos periodos de tiempo en condiciones de falla a tierra. No

obstante se los usa más frecuentemente en sistemas con neutro rígido a tierra. Los casos individuales dependen en mayor medida de la gestión y/o criterios técnicos de las diferentes empresas de servicios.

En el ejemplo mostrado en la Figura 15 el desconectador es un recipiente semiesférico (olla o pote) que se presiona de forma apropiada dentro de la brida inferior. Los gases calientes que aparecen cuando el descargador se está apagando, expelen el recipiente junto con su conductor de tierra conectado, y de esta manera producen una separación de la línea.

En la Figura 16 se muestra un método totalmente diferente de construcción de un descargador de distribución. Finalmente, debido a las fallas causadas por fugas en los descargadores de distribución de diseño económico con envoltura de porcelana, los primeros equipados con aislamiento exterior polimérico aparecieron en el mercado en la segunda mitad de la década de 1980, Su característica de diseño más notable es la envoltura polimérica colocada directamente sobre la pila de resistores de OM. Como consecuencia de esto, ya no existen los resquicios llenos de gas entre los resistores de OM y la envoltura, y con la realización constructiva apropiada de la interfaz entre la envoltura polimérica y las guarniciones de cada extremo, puede omitirse completamente un sistema de sellado. De manera similar, en caso de una sobrecarga, puede evitarse un aumento de presión y el riesgo conexo de rotura de la envoltura.

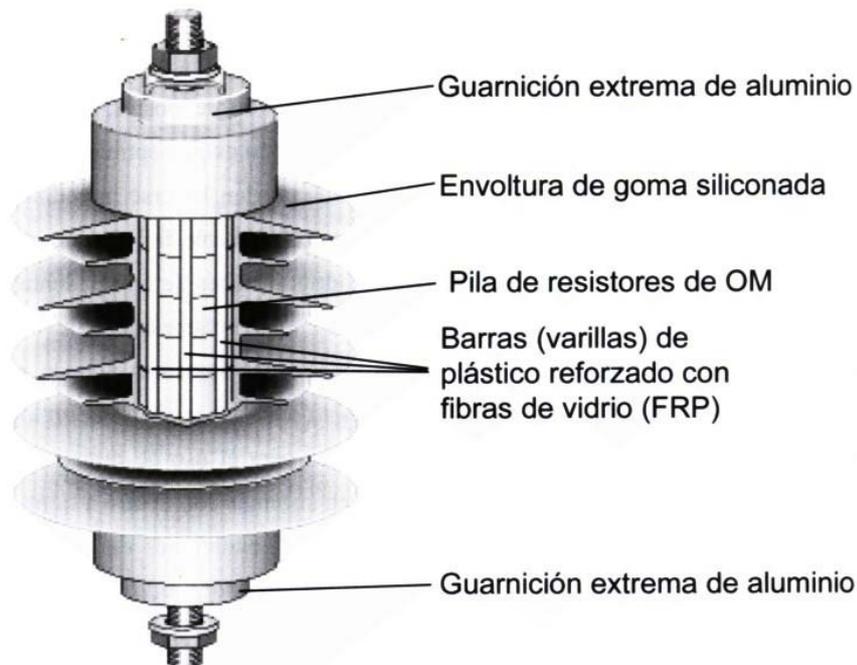


Fig. 16: Construcción de un descargador de OM para distribución con envoltura polimétrica

En el caso de un aislador de porcelana, las diferentes propiedades - tales como las de proteger del impacto ambiental y proveer la suficiente distancia disruptiva por una parte, y rigidez mecánica por la otra - se reúnen en un solo componente. Sin embargo, en un descargador con envoltura polimérica, estas propiedades se reparten en dos componentes diferentes. La rigidez mecánica casi siempre se logra con materiales plásticos reforzados con fibra de vidrio (FRP). En el ejemplo mostrado en la Figura 16 varias barras sirven a este fin. Éstas se tensionan en las guarniciones de cada extremo y encierran la pila de resistores de OM. Así es como se crea una unidad de elevada rigidez mecánica compuesta de resistores de OM, guarniciones en cada extremo y la estructura de FRP. Con las técnicas de fabricación adecuadas es posible obtener una unión perfecta de la goma siliconada con los otros componentes, permanente y libre de burbujas de aire. Una ventaja de la goma siliconada aplicada, en comparación con materiales más

económicos, que también se utilizan, son las excelentes propiedades de resistencia mecánica - por ahora, es posible examinar retrospectivamente alrededor de 30 años de experiencia con unidades en servicio en esta área. Otra ventaja es una característica única de la goma siliconada, repelencia del agua: aun cuando la superficie de la silicona esté densamente contaminada, el agua simplemente gotea. Esto suprime la formación de capas conductoras y afecta ventajosamente el desempeño operativo del descargador en condiciones de contaminación.

El riesgo de estallido y hacerse añicos la envoltura en caso de una sobrecarga del descargador para el diseño mostrado en la Figura 16, es inexistente. El arco resultante de una perforación o un contorno de los resistores de OM rasga la envoltura de goma siliconada abriéndola, y casi sin resistencia alguna, encuentra su camino al exterior.

Hasta aquí las ventajas de tal diseño de descargador sólo se han insinuado, la combinación de la reducción de peso dada en comparación con una envoltura de porcelana, la manipulación sin riesgo durante el transporte y la instalación, y por último aunque no menor, los ahorros en costos que ofrece la fabricación de tal descargador en comparación con un descargador con envoltura de porcelana, presenta ventajas que evidencian porqué dentro de la gama de las medias tensiones los descargadores con envolturas poliméricas se han vuelto tan populares. Como consecuencia, también es evidente porqué los aparatos con envolturas de porcelana han, en este caso, virtualmente desaparecido del mercado.

Para los niveles de alta y especialmente los de extra alta tensión, la situación, al menos por ahora, es diferente. Con el diseño mostrado en la Figura 16, existen demandas eléctricas y mecánicas que, cuanto mayor sea el nivel de tensión, siempre se volverán más difíciles de satisfacer. El diseño

en la Figura 17, que también se introdujo a fines de los ochenta, demostró, por otra parte, poder satisfacer muy bien estos requisitos. Se advierte inmediatamente que, en principio, éste tiene el mismo diseño que el de la Figura 8. De hecho, esencialmente sólo se ha reemplazado el aislador de porcelana con un aislador hueco de material compuesto, encontrado también, por ejemplo, en transformadores para instrumentos y en pasatapas. Un aislador hueco de material compuesto se fabrica con un tubo de FRP sobre el cual las campanas (aletas o caperuzas) - prácticamente sin excepción fabricadas en goma siliconada - se moldean directamente encima, o se colocan a presión y se vulcanizan en forma de campanas preparadas individualmente. Este principio de diseño ofrece algunas ventajas considerables en aplicaciones hasta los más altos niveles de tensión. Ya que la estructura interna de un tubo de FRP (por ejemplo, contenido relativo de fibras de vidrio, o el ángulo de enrollado de las fibras), su resistencia de pared y su diámetro pueden, dentro de una extensa gama, seleccionarse sin restricciones, tal tubo puede dotarse de prácticamente cualquier propiedad mecánica. Como consecuencia, para nombrar sólo unas pocas, puede optimizarse con respecto a la resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, o resistencia a la presión interna. De esta manera, es posible diseñar descargadores de alta tensión que son mecánicamente tan robustos, que pueden soportar los más severos terremotos intactos y al mismo tiempo utilizarse como un aislador de soporte (de apoyo) en una subestación.

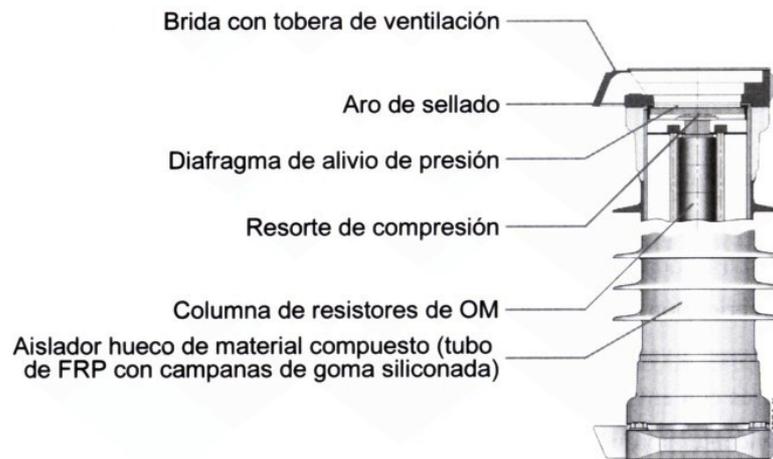


Fig. 17: Plano de un corte de sección de una unidad de descargador de OM con envoltura polimérica para alta tensión (con aislador hueco de material compuesto)

La última aplicación mencionada es beneficiosa para otra propiedad sólo hallada en este diseño: en el caso de una descarga de un descargador, es cierto que con esta construcción nunca sucederá una rotura de la envoltura; ni aun cuando cualquiera de las partes internas sea expulsada. El tubo permanecerá casi completamente intacto, y consecuentemente ofrece la mayor seguridad posible para la totalidad de los equipos en una subestación.

Los altos costes de los aisladores huecos de material compuesto de tal diseño, en comparación con los aisladores de porcelana, han sido un obstáculo para su mayor difusión. Cuando la distribución de los aisladores huecos de material compuesto se incrementa, junto con el correspondiente suministro del mercado, es probable que una aceptación resultante de la tecnología haga uso de este tipo de descargador en el área de las altas y extra altas tensiones cada vez más populares.

### 3. CONFIGURACIÓN DE LOS DESCARGADORES DE OM

Con el fin de configurar un descargador de OM, ante todo es necesario entender en que manera los diferentes requisitos y parámetros afectan el desempeño operativo del descargador. Además, conociendo los principios básicos e interdependencias, entonces también es posible disponer un descargador apropiado para aplicaciones menos comunes. Esta parte describe el enfoque general y concluye con ejemplos de cálculos para seleccionar descargadores típicos para protección contra sobretensiones en sistemas de distribución y transmisión en c.a, para niveles de tensión entre US= 24 kV y US =550kV.

La descripción se da solamente en función del aparato, es decir, para que la cuestión de cómo debería configurarse el descargador se resuelva de modo que, por una parte, satisfaga sus requisitos de protección y por la otra, no se convierta en un problema en sí mismo. No obstante, la aplicación (en que punto del sistema o a que equipamiento debería aplicarse el descargador) no se discutirá aquí. Para esto, pueden consultarse las publicaciones pertinentes de la IEC:

60071-1 y 60071-2 sobre coordinación del aislamiento o las recomendaciones para selección y aplicación de los descargadores de sobretensiones, 60099-5.

En este capítulo, las normas internacionales definitivas para ensayos y aplicación de los descargadores de sobretensiones de óxido metálico sin explosores a las que se hará referencia son, en su mayor parte las siguientes: IEC 60099-4, IEC 60099-5, IRC 60099-1 como así también el documento IEC 37/268/FDIS del 13 de julio de 2001, el que está actualmente en votación.

En su mayor parte, los requisitos para un descargador de OM pueden retrotraerse a dos requisitos básicos. Por una parte los descargadores deberían suministrar la protección adecuada, y por la otra deberían disponerse para una operación permanente estable. Protección adecuada significa que las sobretensiones en el aparato a proteger siempre deben permanecer debajo de su tensión resistida y con un margen suficiente de seguridad. Operación permanente estable significa que el descargador debe poder conducirse con todas las solicitaciones - de duración prolongada, temporarias o transitorias - resultantes de la operación de la red, manteniéndose al mismo tiempo, eléctrica y térmicamente estable bajo todas las condiciones.

Ambos requisitos básicos no pueden satisfacerse independientemente. Una reducción del nivel de protección automáticamente significa una solicitud eléctrica específica más elevada durante la operación permanente y, a la inversa, la tensión de operación permanente de un descargador no puede incrementarse arbitrariamente sin elevar también su nivel de protección. Ambos puntos de operación están - al menos para un resistor de OM dado - estrictamente asociados entre sí mediante la curva característica tensión - corriente.

Requisitos adicionales comprometen las características eléctricas de un descargador; éstas no deberían modificarse durante su vida útil, mientras que, deben seguirse manteniendo: la insensibilidad a las influencias ambientales, tales como la contaminación, radiación solar o esfuerzos mecánicos.

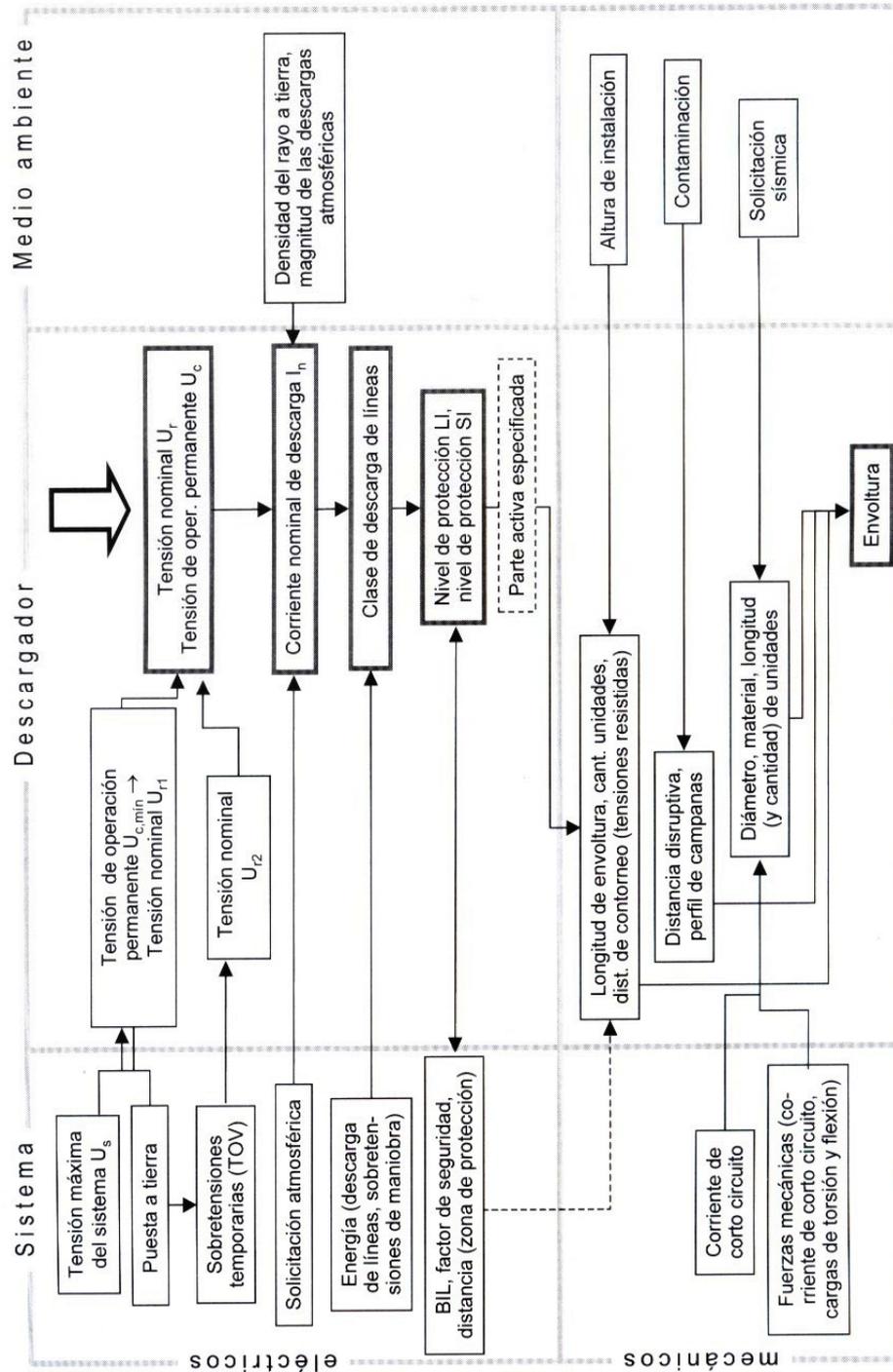


Fig. 18: Configuración para la selección de un descargador de OM

En la Figura 18 un diagrama de flujo ilustra un enfoque de configuración de un descargador. En este caso se representa un descargador de alta tensión, ya que, en comparación con un descargador de distribución, aquí se tienen más y mayores exigencias. Los pasos mostrados en el diagrama se discutirán a continuación, con más detalle y en la secuencia en que se llevan a cabo.

### **3.1 SELECCIÓN DE LA TENSIÓN DE OPERACIÓN PERMANENTE Y DE LA TENSIÓN NOMINAL**

Para que el descargador pueda proteger de modo seguro, debe poder trabajar con absoluta solvencia durante el servicio permanente. Así, el primer paso es establecer una tensión de operación permanente  $U_{c,min}$  mínimamente requerida. Como ya se mencionó en relación con la Figura 2, ésta debe ser tan elevada como la tensión fase-tierra del sistema, con un adicional de por lo menos un 5%. La tolerancia tiene en cuenta posibles armónicas en la tensión del sistema que pudiesen incrementar su valor de cresta.

Aquí, tensión aplicada “permanentemente” significa toda tensión aplicada por un lapso ininterrumpido de más de 30 minutos. Por este motivo, el método de puesta a tierra del neutro del sistema es decisivo para determinar la tensión permanente de operación. En los sistemas con neutro aislado o de neutro a tierra resonante, la tensión de una fase sana respecto de tierra toma el valor de la tensión de línea en el caso de falla de una fase a tierra (factor de falla a tierra  $k = 1,73$ ). Dado que es práctica común en los sistemas con neutro a

tierra resonante se operen en esta condición por períodos de tiempo mayores a los 30 minutos, la tensión permanente de operación de un descargador, en este caso, debe tener el valor de la tensión máxima del sistema,  $U_S$ . Solamente aquí no se tiene en cuenta el cinco por ciento adicional:

Sistema con neutro rígido a tierra:

$$U_{c, \min} \geq 1,05 \cdot U_S / \sqrt{3}$$

Sistema con neutro aislado o de neutro a tierra resonante:

$$U_{c, \min} \geq U_S$$

Con la pre-selección de la tensión permanente de operación mínimamente requerida, un factor que usualmente tiene un valor de 1,25 - por supuesto, existen excepciones - colabora para alcanzar una tensión nominal  $U_{rl} = 1,25 \cdot U_{c, \min}$ . Esta es una posible, aunque no definitiva, tensión nominal de un descargador:

Sistema con neutro rígido a tierra:

$$U_{rl} \geq 1,25 \cdot 1,05 \cdot U_S / \sqrt{3}$$

Sistema con neutro aislado o de neutro a tierra resonante:

$$U_{rl} \geq 1,25 \cdot U_S$$

Sin embargo, la tensión nominal puede alcanzarse haciendo un enfoque completamente diferente, esto es, examinando las sobretensiones temporarias que pueden aparecer en el sistema. Ya se ha mencionado el caso especial de un sistema operado con neutro aislado o de tierra resonante en los que las sobretensiones temporarias determinan directamente la

tensión permanente de operación ya ha sido mencionado. Por otra parte, en el caso con neutro rígido a tierra, las sobretensiones temporarias pueden alcanzar valores de hasta 1.4 veces la máxima tensión fase-tierra (factor de falla a tierra  $k \leq 1,4$ ) por un lapso que varía desde unas pocas décimas de segundo hasta varios segundos. Una tensión de frecuencia industrial por arriba de la tensión permanente de operación sólo puede aplicarse sobre un descargador durante un período limitado de tiempo: cuanto mayor sea la tensión, menor será el tiempo admisible de aplicación.

Esta correlación se representa en la tensión de frecuencia industrial-tiempo o característica U-t (Figura 19). Esta indica la relación entre la tensión admisible de frecuencia industrial y la tensión nominal  $U_n$  dadas ambas en valores eficaces, y el tiempo representado en escala logarítmica.

La relación se denomina factor  $k_{tov}$ . En este caso se asume que el descargador está en un estado desfavorable, es decir, que el descargador ha sido previamente calentado hasta los  $60^\circ\text{C}$ , y directamente antes de la aplicación de la tensión de frecuencia industrial tuvo que absorber la totalidad de su energía térmica nominal. De la Figura 19 es evidente que bajo estas condiciones, la tensión nominal  $U_r$  puede aplicarse por un lapso de 100 segundos. Por otra parte, la tensión para diez segundos está un 7,5 % por sobre la tensión nominal y la tensión para un segundo ya está un 15 % arriba.

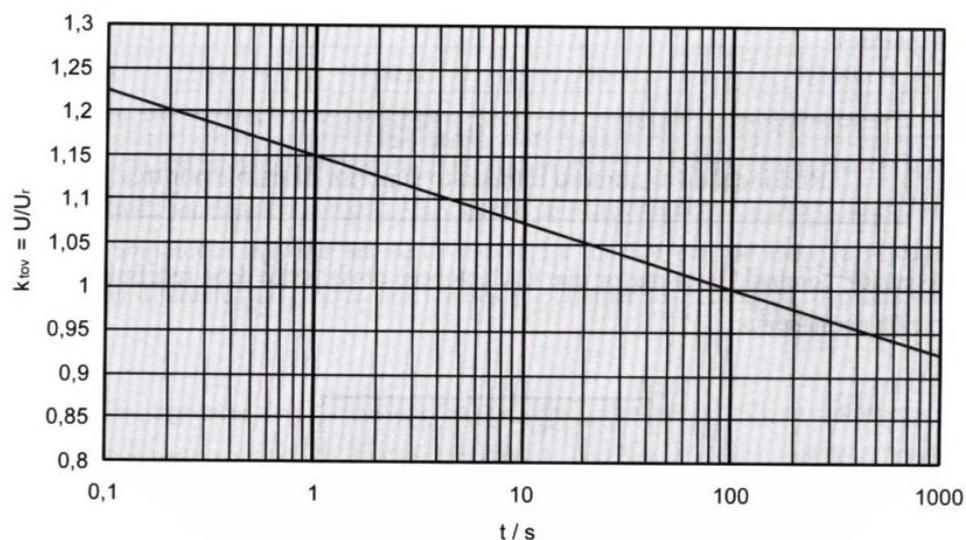


Fig. 19: Ejemplo gráfico de una característica tensión de frecuencia industrial – tiempo (U-t)

La característica U-t se aplica del siguiente modo: podría conocerse, por ejemplo, el valor de la tensión  $U_{toV}$  que aparece en un sistema por un lapso de 1s. Esta tensión debe corresponder, de acuerdo a la curva característica U-t, a 1,15 veces la tensión nominal del descargador ( $k_{toV} = 1,15$ ). En otras palabras, la tensión nominal del descargador posiblemente seleccionada,  $U_{r2}$ , es la tensión que aparece para 1s dividida por un factor  $k_{toV}$ , que es válida para un lapso de 1s, en este caso, por consiguiente,  $U_{r2} = U_{1s} / 1,15$ . En general esto se expresa como sigue:

Sistema con neutro rígido a tierra:

$$U_{r2} \geq U_{toV} / k_{toV}$$

Si, como consecuencia de conocer las condiciones del sistema, se dispone de un grupo de valores de sobretensiones con sus correspondientes tiempos de duración, entonces, para cada uno pueden determinarse separadamente

las correspondientes tensiones nominales. Si no se dispone de información en absoluto, entonces, en el caso con neutro rígido a tierra, deberían asumirse un factor de falla a tierra de 1,4 y un lapso de diez segundos para la presencia de sobretensiones temporarias. El mayor valor de las diferentes tensiones nominales determinado a partir de las de sobretensiones temporarias como se describió arriba, es la tensión nominal  $U_{r2}$  en la Figura 19. Ahora sólo se necesita un pequeño paso para determinar la tensión nominal final del descargador -  $U_r$  es el mayor de los dos valores  $U_{r1}$  y  $U_{r2}$ , redondeado al número entero inmediato superior divisible por tres:

$$U_r = \text{máx} \{U_{r1}, U_{r2}\}$$

Redondeada al número inmediato superior divisible por tres

Si la tensión nominal  $U_{r2}$  es mayor que  $U_{r1}$ , entonces obviamente debe redefinirse la tensión de operación permanente:

$$U_c = U_r / 1,25$$

Luego de determinar la tensión de operación permanente y la tensión nominal de este modo, el descargador queda entonces generalmente diseñado no sólo para una operación permanente normal estable, sino también para todas las condiciones de sobretensiones temporarias del sistema. No obstante, se recomienda seleccionar un valor algo superior al valor mínimo que se ha descrito, siempre y cuando el nivel de protección del descargador no resulte, como consecuencia, injustificablemente elevado. En la mayoría de los casos los requisitos de nivel de protección toman en consideración lo expresado. Un valor mayor incrementa la estabilidad del

descargador y suministra seguridad adicional, por ejemplo en un ambiente de contaminación muy fuerte, o cuando se producen sobretensiones temporarias inesperadamente elevadas. Por este motivo en los sistemas normalmente se encuentran descargadores que tienen tensiones de operación permanente y nominales superiores a las láminas requeridas. No obstante, en cada caso esto depende en mayor medida de la gestión y/o criterios técnicos del sistema individual de la empresa de servicios.

### 3.2 SELECCIÓN DE LA CORRIENTE NOMINAL DE DESCARGA

La corriente nominal de descarga sirve para clasificar un descargador de OM. La IEC 60099-4 especifica cinco valores diferentes, los que pertenecen a las diferentes gamas de tensiones nominales:

1 500 A	2 500 A	5 000 A	10 000 A	20 000 A
en estudio	$U_r \leq 36 \text{ kV}$	$U_r \leq 132 \text{ kV}$	$3 \text{ kV} \leq U_r \leq 360 \text{ kV}$	$360 \text{ kV} < U_r \leq 756 \text{ kV}$

Tabla 1: Corrientes nominales de descarga para diferentes tensiones nominales

Estos valores, sin embargo, nada revelan directamente acerca de las características operativas.

Así, por ejemplo, un descargador de 10 kA puede resistir fácilmente impulsos atmosféricos de corriente de amplitudes mayores sin sufrir daños. La función real de estas clasificaciones es especificar las diferentes exigencias adicionales y examinar los requisitos, dependiendo de su clase.

Para los descargadores de distribución, los que principalmente se utilizan con clases de 5 kA y 10 kA, la corriente nominal de descarga representa una característica real de diferenciación. Cuando se realiza un ensayo de

funcionamiento, la energía dentro de un descargador de 5 kA se inyecta en la forma de dos impulsos de corriente de gran amplitud de 65 kA cada uno, después de haber sido previamente alimentado con 20 impulsos atmosféricos de corriente de 5 kA (que es su corriente de descarga nominal). Por otra parte, con el descargador de 10 kA, el valor apropiado de los impulsos de corriente de gran amplitud es 100 kA, y el valor de los 20 impulsos atmosféricos de corriente es 10 kA. Dado que esto significa un esfuerzo energético considerable para los pequeños resistores de OM (con diámetros que varían desde algo menos de 30mm hasta los 45mm), como los usados en descargadores de distribución, un descargador de 10 kA debe en efecto, estar equipado con un volumen mayor de resistores de OM que el necesario para uno de 5 kA, con el fin de pasar este ensayo. Para los sistemas de distribución de Europa central, los descargadores de 5 kA son absolutamente adecuados. Sólo en casos excepcionales (por ejemplo. debido a un nivel cerámico superior al promedio) se recomienda el uso de los descargadores de 10 kA. En la práctica el descargador de 10 kA se está volviendo cada día más común, ya que disminuye la diferencia de precio entre ambos tipos y al mismo tiempo existen ventajas logísticas al usar solo un tipo de descargador para la totalidad del sistema.

Para descargadores de alta tensión sólo dos clases son apropiadas, 10 kA y 20 kA. De acuerdo a la tabla anterior, sería también posible el uso de un descargador de 5 kA en un sistema de 170 kV; sin embargo no es común en la práctica. Además, la guía de aplicación IEC 60099-5 recomienda el descargador de 5 kA solamente para tensiones de hasta  $U_s = 72,5$  kV.

La diferencia principal entre las dos clases, 10 kA y 20 kA, es la clase de descarga de líneas que se les puede asignar: para un descargador de 10 kA, clases uno a tres; para un descargador de 20 kA, clases cuatro y cinco. De

acuerdo con esto, diferentes descargadores de 10 kA pueden tener características operativas muy diferentes, y la característica clasificatoria real no es tanto la corriente de descarga nominal, como sí lo es la clase de descarga de líneas. Los descargadores de 10 kA de clase de descarga de líneas 3 generalmente pueden usarse en sistemas con niveles hasta los 420 kV inclusive, sin problema alguno. Sin embargo, los descargadores de 20 kA también se utilizan en este nivel de tensión, algunas veces usando los mismos resistores de OM. No obstante, esto último no es técnicamente necesario para la mayoría de los casos.

### **3.3 SELECCIÓN DE LA CLASE DE DESCARGA DE LÍNEAS**

La clase de descarga de líneas es la característica definitoria real de un descargador de alta tensión. En la actualidad ésta es la única forma de especificar la capacidad de absorción de energía de un descargador conforme a la IEC 60099-4. No obstante, sólo de manera indirecta se encuentra el valor de la clase de descarga de líneas. La relación es relativamente difícil de comprender. Finalmente, esto ha provocado que casi todos los fabricantes incluyan más detalles que los suministrados en las normas IEC acerca de la capacidad de absorción de energía en sus catálogos.

La definición de la clase de descarga de líneas se basa en la presunción de que una línea de transmisión larga, cargada con una cierta sobretensión durante una maniobra, descargará dentro de un descargador conectado en la forma de un proceso de ondas progresivas. Asumiendo que el diagrama del circuito equivalente de una línea es una red iterativa de elementos  $\pi$ , formada por inductancias y capacitancias, la corriente circulará con un valor de la tensión y la impedancia de onda de la línea, para una duración dada por la

longitud de la línea y la velocidad de propagación de una onda electromagnética. Idealmente, ésta se ajusta a un impulso rectangular de corriente. Este proceso debe simularse en un laboratorio en un ensayo de descarga de líneas. En este caso el impulso de corriente normalmente se genera con la ayuda de un generador de impulso de constantes distribuidas, que no son más que la simulación de la línea constituida por una conexión serie de un número finito - alrededor de 20 a 30 - de elementos  $\pi$ . La norma IEC 60099-4 ahora define cinco diferentes clases de descarga de líneas. Las exigencias sobre el descargador aumentan al ir de la clase uno a la cinco, para las cuales se establecen los parámetros eléctricos del generador de impulso para el ensayo:

Clase de descarga de líneas	Impedancia de onda de la línea Z En $\Omega$	Duración virtual de la cresta T en $\mu s$	Tensión de carga $U_L$ en kV (d.c.)
1	$4,9 \cdot U_r$	2000	$3,2 \cdot U_r$
2	$2,4 \cdot U_r$	2000	$3,2 \cdot U_r$
3	$1,3 \cdot U_r$	2400	$2,8 \cdot U_r$
4	$0,8 \cdot U_r$	2800	$2,6 \cdot U_r$
5	$0,5 \cdot U_r$	3200	$2,4 \cdot U_r$

$U_r$  =Tensión nominal de la muestra de ensayo, valor en kV eficaces

Tabla 2: Parámetros eléctricos para el generador de impulso de corriente

Estos parámetros derivan de valores característicos típicos de las líneas de transmisión de alta tensión. De la tabla no pueden extraerse conclusiones directas sobre la sollicitación energética que se le impone al descargador durante un ensayo. Por ese motivo la norma IEC 60099-4 da un diagrama adicional que representa la energía transformada dentro del espécimen en ensayo, referida a su tensión nominal, que se produce durante una única descarga de la línea. Esta energía no es un valor fijo, sino que en cambio depende del nivel de protección del descargador, o más precisamente, de la

tensión residual con impulso de maniobra- Cuanto mayor sea la tensión residual, menor energía absorberá el descargador durante la descarga de la línea, dado que la línea se descargará con menor intensidad con una tensión residual mayor. El diagrama referido es el de la Figura 20.

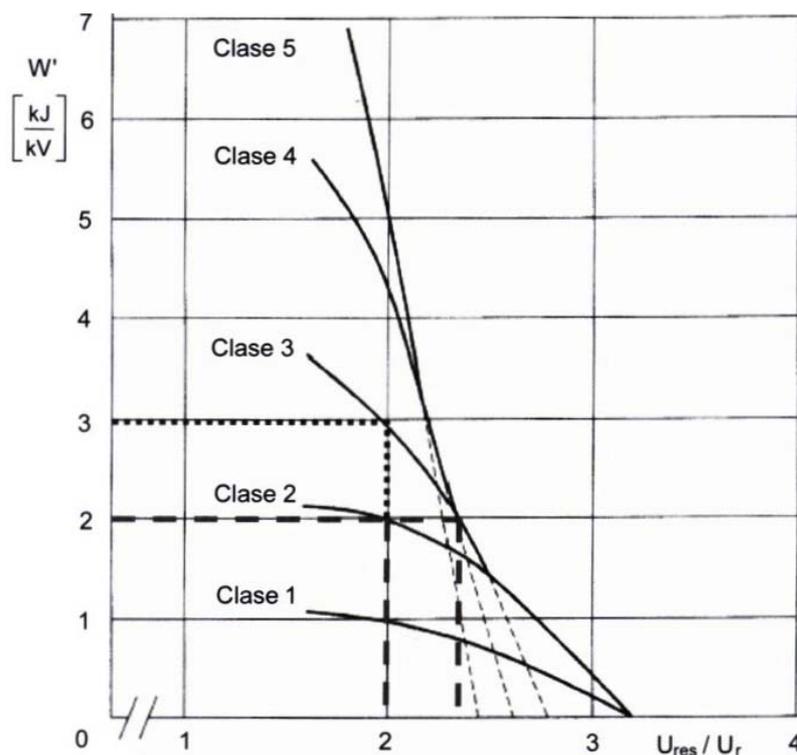


Fig. 20: Energía específica en kJ/kV de la tensión nominal dependiente de la relación entre la tensión residual con impulso de maniobra  $U_{res}$  y el valor eficaz de la tensión nominal  $U_r$  del descargador (véase la IEC 60099-4)

Ahora sí es posible identificar fácilmente el problema al especificar la capacidad de absorción de energía con la ayuda de la clase de descarga de líneas. Si a los resistores se les asigna una dada cantidad de capacidad de absorción de energía térmica específica, entonces, dependiendo de la tensión residual, al descargador pueden asignárseles diferentes clases de descarga de líneas. El siguiente ejemplo comprueba lo expresado (línea de trazos en la Figura 20): al usar resistores de OM que pueden absorber 2 kJ/kV de energía por descarga de la línea (lo que significa duplicar el valor,

es decir 4 kJ/kV, durante el ensayo de funcionamiento - realizado con dos descargas sucesivas de la línea - sin volverse térmicamente inestable), el descargador tiene una clase de descarga de líneas dos, con una relación de  $U_{res}/U_r = 2$ . No obstante, con los mismos resistores de OM, puede asignársele la clase de descarga de líneas tres, con una relación de  $U_{res}/U_r = 2,35$ . Pero, el aparente “mejor” descargador con clase de descarga de líneas tres, posiblemente podría ser peor para la aplicación planificada, ¡dado su nivel de protección superior! Para alcanzar la clase de descarga de líneas tres, manteniendo una relación de  $U_{res}/U_r = 2$ , los resistores de OM deben utilizarse con una capacidad de absorción de energía de casi 6 kJ/kV (alrededor de 3 kJ/kV por descarga: línea de trazos en la Figura 20), lo que significa usar mayores diámetros.

Por el contrario, solamente pueden extraerse conclusiones de la clase de descarga de líneas en conexión con la tensión residual en lo que se refiere a la capacidad de absorción de energía de un descargador, y en consecuencia de los resistores de OM usados. Es importante aclarar estas interdependencias cuando se selecciona un descargador.

Mientras no existan requisitos particularmente sencillos o difíciles provenientes del sistema y dependiendo de la tensión del mismo, las clases de descarga de líneas recomendadas son las siguientes:

Clase de descarga de líneas	$U_s$ (kV)
1	$\leq 245$
2	$\leq 300$
3	$\leq 420$
4	$\leq 550$
5	$\leq 800$

Tabla 3: Clase de descarga en líneas asignados a sus valores de tensión.

Sin embargo, en la práctica se tiende a seleccionar la clase de descarga de líneas inmediata superior, respectivamente, en la tabla. Esto lleva al inconveniente de que la clase de descarga de líneas cinco, corriente o actual, frecuentemente no satisface las exigencias de sistemas de extra alta tensión con  $U_s > 550$  kV. De hecho, a este nivel de tensión, y a veces al nivel mismo de 550 kV, se utilizan diámetros de resistores de OM y/o conexiones paralelas de resistores, que resultan con una mayor capacidad de absorción de energía que la necesaria para la clase de descarga de líneas 5. No obstante, para estos sistemas es común determinar los requisitos concernientes a la capacidad de absorción de energía mediante detallados estudios del sistema, con el fin de que el usuario especifique aquí un valor exacto, en lugar de la clase de descarga de líneas.

Al decidirse por una determinada clase de descarga de líneas - y de ese modo indirectamente por una determinada capacidad de absorción de energía - automáticamente también se ha seleccionado el diámetro del resistor de OM requerido.

Diámetro del resistor de OM (mm)	Clase de descarga de líneas
50	1 y 2
60	2 y 3
70	3 y 4
80	4 y 5
100 (ó 2-70 en paralelo)	5 y superiores

Tabla 4: Clase de descarga de líneas para distintos diámetros de resistores de OM

Después de determinar la tensión nominal y, a continuación, seleccionar el diámetro del resistor de OM, la característica de protección del descargador queda completamente fijada. Todos los valores de tensiones residuales resultan de la característica U-I del tipo de resistor de OM seleccionado. El próximo paso es controlar si la característica de protección obtenida es la adecuada.

### **3.4 SELECCIÓN Y REVISIÓN DE LOS NIVELES DE PROTECCIÓN**

La característica de protección de un descargador se evalúa más frecuentemente por medio de su nivel de protección a impulso atmosférico. Esto significa que se la evalúa de acuerdo a su tensión residual mientras está circulando la corriente nominal de descarga. Como ya se mencionó, de acuerdo a la guía de aplicación de la coordinación de aislamiento, IEC 60071-2, debe haber un factor - el llamado factor de seguridad,  $K_s$  - de por lo menos 1,15 entre la tensión nominal resistida a impulso atmosférico (BIL) del aparato a proteger con un aislamiento no autorregenerativo, y la mayor sobretensión atmosférica que se espera pueda aparecer en sus terminales. En este caso debería observarse que, debido a procesos de ondas progresivas y caídas de tensión inductivas, la tensión en los terminales del aparato a proteger generalmente puede ser mayor que la tensión directamente en los terminales mismos del descargador. Además, debería advertirse que - aunque muy poco probable en sistemas de transmisión de alta tensión - la corriente de descarga puede ser mayor que la corriente nominal de descarga del descargador.

Si la distancia entre el descargador y el aparato no es demasiado grande - los descargadores tienen una zona de protección de solamente unos pocos

metros en un sistema de distribución y de hasta aproximadamente sesenta metros en sistemas de alta y extra alta tensión -, esto normalmente significa que un nivel de protección igual a la tensión nominal resistida a impulso atmosférico del aparato a proteger, dividida por un factor de 1,4, es adecuado para proteger contra sobretensiones atmosféricas. Sin embargo, debería tenerse en cuenta que esta simplificación podría no ser adecuada para configuraciones especiales de sistemas y casos de aplicación, o cuando la distancia entre el descargador y el aparato es grande. De esta manera, el procedimiento correcto y normalizado es determinar por cálculo las sobretensiones esperadas y fijar el nivel de protección necesario del descargador por medio de estudios de coordinación del aislamiento. Para esto pueden encontrarse información e instrucciones en las publicaciones IEC 60071-1 y 60071-2, y se dan recomendaciones para la aplicación de descargadores en la IEC 60099-5.

Es común citar la tensión residual con impulso atmosférico también para un valor del doble de la corriente nominal de descarga. Los valores correspondientes, normalmente están entre el 5% y 15% por encima del nivel de protección a impulso atmosférico.

En los sistemas de extra alta tensión el nivel de protección a impulso de maniobra normalmente es el valor determinante de las características de protección de un descargador. En cada caso generalmente se lo menciona, conforme a la norma IEC 60099-4, para dos valores diferentes de impulso con corriente de maniobra:

Clase del descargador	Impulsos de corriente de maniobra (A)
20 kA, DL-clases 4 y 5	500 y 2000
10 kA, DL, clase 3	250 y 1000
10 kA. DL, clases 1 y 2	125 y 500

Tabla 5: Impulsos de corriente de maniobras

La tensión residual a impulso de maniobra típicamente está entre el 75 % y 90 % de la tensión residual a impulso atmosférico de corriente de 10 kA, dependiendo en cada caso del resistor de OM en uso y del valor real del impulso de corriente de maniobra. En el caso de un impulso de corriente de maniobra de 1 kA, se puede tomar como directriz el 85 % de la tensión residual a impulso atmosférico de corriente de 10 kA.

Exactamente como se procedió con el nivel de protección a impulso atmosférico, el nivel de protección a impulso de maniobra debe seleccionarse sobre la base de que la sobretensión de maniobra sobre el aparato a proteger no sea mayor que su tensión normalizada resistida a impulso de maniobra dividida por el factor de seguridad  $K_s$  ( $K_s = 1,15$  en el caso de aislamiento no autorregenerativo). Como consecuencia del proceso comparativamente lento, no es necesario considerar los incrementos de tensión inducidos por efectos de las ondas progresivas o por caídas de tensión inductivas. Esto significa que el nivel de protección a impulso de maniobra no necesita ser inferior que la tensión resistida normalizada a impulso de maniobra del aparato, dividida por un factor de 1,15.

En unas pocas aplicaciones especiales es necesario conocer el nivel de protección a impulso escarpado. Es por eso que típicamente se lo menciona en la hoja de datos del descargador. La tensión residual de los resistores de

OM es alrededor de un 5% mayor para impulsos escarpados de corriente comparada con impulsos atmosféricos de corriente del mismo valor. No obstante, los datos publicados del nivel de protección a impulso escarpado de corriente deberían interpretarse cuidadosamente. Básicamente la tensión residual durante la elevación de la corriente escarpada (con tiempos de frente dentro de la gama de  $\leq 1 \mu\text{s}$ ) está influenciada por dos efectos diferentes que, sin embargo, siempre suceden a la vez. Uno de éstos es el hecho que el comportamiento temporal del material de OM durante la transición de un estado de no conducción a uno de conducción se presenta, cuando sólo se lo ve externamente, como comportamiento inductivo (el valor de cresta de la tensión residual se sitúa temporalmente delante del valor de cresta de la corriente, ver la Figura 4). El otro es que la inductividad de la disposición geométrica tiene un efecto de cerca de  $1\mu\text{H}$  por metro sobre la altura total. Esta última influencia puede elevar la tensión residual con un adicional del 5%, o aún más. La norma IEC 60099-4 en su forma presente no es clara acerca de si ambos efectos deben tratarse separadamente o no. mientras se determina la tensión residual con impulso escarpado de corriente. De acuerdo con esto, o pueden incluirse ambas partes en la tensión residual a impulso escarpado de corriente, lo que se cita en la hoja de datos, o solamente el comportamiento temporal del material de OM solo (en cuyo caso la influencia geométrica debe compensarse muy cuidadosamente durante la medición).

Si al controlar los niveles de protección de todas las solicitudes a los impulsos de corriente citados, se satisfacen los requisitos, entonces la elección de la característica eléctrica del descargador finaliza en este punto. Sin embargo, ¿qué debería hacerse si cualquiera de estos valores fuese

demasiado alto? Para un tipo dado de resistor de OM todos los valores de tensiones residuales, como así también la tensión de operación permanente y la nominal, se ajustan a una relación fija. De este modo, ninguno de estos valores puede ser disminuido aisladamente. En cambio, la característica tendría que desplazarse hacia abajo, para, por ejemplo, obtener un menor nivel de protección a impulso de maniobra. Sin embargo esto no está permitido, pues la tensión de operación permanente y la nominal automáticamente también disminuirían el mismo porcentaje, y ya no podría garantizarse una operación permanente estable. En este caso normalmente existe un único medio admisible: deben seleccionarse resistores de OM de mayores secciones. Esto puede lograrse eligiendo un mayor diámetro o conectando varios resistores en paralelo. Generalmente éste es el caso en que es menor la relación entre el nivel de protección a impulso atmosférico y a la tensión nominal (en otras palabras, la característica U-I es más plana), cuanto mayor es la sección del resistor de OM. Por lo tanto, para unas tensiones de operación permanente y nominal dadas, una mayor sección del resistor resultará en un nivel de protección más bajo. La relación entre la tensión residual a impulso atmosférico de corriente de 10 kA y el valor eficaz de la tensión nominal, varía desde más de tres en descargadores de distribución a casi menos de dos para descargadores pesados multicolumna para alta tensión. De esta manera, los requisitos de bajos valores de tensiones residuales frecuentemente son el motivo de utilizar mayores resistores y mayor número de ellos, respectivamente, que los realmente necesarios para la capacidad de absorción de energía requerida (o la clase de descarga de líneas). Por lo tanto, sólo deberían requerirse valores de tensiones residuales más bajos cuando estos sean absolutamente necesarios para la aplicación en cuestión.

### 3.5 SELECCIÓN DE LA ENVOLTURA

Cuando se selecciona la envoltura generalmente se tienen en cuenta requisitos dieléctricos y mecánicos. Tanto la longitud, la distancia disruptiva, el perfil de la campana, el diámetro y el material, todos deben determinarse. La mínima longitud de envoltura ante todo, obviamente resulta de la condición de que debe adecuarse a la columna de resistores de OM (la parte activa). La longitud de esta columna se determina mediante los datos eléctricos que se reunieron durante los pasos de la selección recogidos hasta ese punto. Sin embargo, normalmente éste no es el requisito dimensionante. Por lo general, exigencias adicionales hacen que las longitudes de las envolturas sean mucho mayores que las de las partes activas.

Ante todo, debe determinarse la distancia que resulta de los requisitos de tensiones resistidas. De acuerdo con la IEC 60099-4 la envoltura del descargador debe satisfacer los siguientes requisitos de ensayo:

	$I_n = 10\text{kA y } 20\text{kA}$		$I_n < 5\text{ kA}$ y Descargadores de Servicio Intensivo para Descargas Atmosféricas ( $1\text{kV} \leq U_s \leq 52\text{kV}$ )
	$U_r \geq 200\text{kV}$	$U_r < 200\text{kV}$	
Ensayo con tensión de impulso atmosférico	1,3 • nivel de protección a impulso atmosférico		
Ensayo con tensión de impulso de maniobra	1,25 -nivel de protección a impulso de maniobra	--	--
Ensayo con tensión de frecuencia industrial ( $\hat{u}$ ; duración 1 min)	--	$1,06/\sqrt{2}$ • nivel de protección a impulso de maniobra	$0,88/\sqrt{2}$ • nivel de protección a impulso atmosférico

Tabla 6: Requisitos de ensayos para envoltura del descargador

Las tensiones de ensayo resultantes de estos requisitos están por debajo de las de los otros aparatos del sistema como lo muestra el siguiente ejemplo de tensión resistida a impulso atmosférico: un descargador típico en un sistema de 420 kV tiene un nivel de protección a impulso atmosférico de 823 kV (ver la Figura 2). Por lo tanto su envoltura debe ensayarse con una tensión de impulso atmosférico de  $1,3 \cdot 823 \text{ kV} = 1070 \text{ kV}$ , la que sólo abarca el 75 % de la tensión resistida normalizada al impulso atmosférico de 1425 kV, como normalmente se la aplica en este sistema. Desde luego, esto se justifica pues la envoltura del descargador es el aislamiento mejor protegida dentro del sistema. No aparecen aquí tensiones superiores, más que las caídas de tensión propias de los resistores de OM encerrados. Al mismo tiempo los factores ya citados en la tabla tienen en cuenta diferentes condiciones atmosféricas - tales como la instalación en alturas de hasta 1000m - como así también la posibilidad de tener corrientes de descargador superiores a la corriente nominal de descarga. No obstante, frecuentemente se requieren los mismos valores de tensiones resistidas para las envolturas de los descargadores que para el resto de los aparatos, lo que consiguientemente resulta en envolturas innecesariamente largas. Entonces el resultado es envolturas de descargadores antieconómicas y al mismo tiempo técnicamente desventajosa.

Si la altura de instalación está por sobre los 1000m - lo que de acuerdo con la correspondiente definición de IEC ya no se considera como una "condición normal de servicio" -, deben entonces seleccionarse distancias y longitudes de envolturas para mantener los valores de tensiones resistidas en condiciones de aire de menor densidad.

Sin embargo, un motivo más frecuente para envolturas más largas son los requisitos de distancias disruptivas. La envoltura más corta posible como consecuencia de la longitud de la parte activa normalmente puede

conseguirse sólo al diseñar para los niveles de contaminación I o II, es decir, para distancias disruptivas específicas de 16 mm/kV o 20 mm/kV (con referencia a  $U_m$ ). A menudo esto es adecuado para los requisitos de Europa central. Sin embargo, mundialmente también los niveles III y IV desempeñan un papel importante. Estos llevan a requisitos de distancias disruptivas de 25 mm/kV y 31 mm/kV. Además, hay sitios que hacen necesario el uso de distancias disruptivas aún mayores, por ejemplo los de climas marinos desérticos, o en algunos casos, estas condiciones en combinación con contaminación industrial. No obstante, debería notarse que en condiciones tan extremas, existen muchas veces otros medios, más apropiados, para mejorar la confiabilidad operativa, que el de aumentar la distancia disruptiva. Por ejemplo, pueden seleccionarse una mayor tensión permanente de operación y mayor tensión nominal (naturalmente, con los mayores niveles de protección asociados), o usar resistores de OM con mayores diámetros, o envolturas con mayores distancias entre la parte activa y la pared de la envoltura. De todas formas, debería tenerse en cuenta que las extensiones “artificiales” de la parte activa (insertando espaciadores metálicos), ocasionadas por las extensiones de las distancias disruptivas, también pueden tener un efecto negativo sobre el resto del comportamiento operativo, como ya se mencionó en relación con los requisitos de tensiones resistidas. En cuanto a los diferentes perfiles de campanas y algunas de sus características ya fueron tratadas en el capítulo sobre el “*Diseño Constructivo de los Descargadores de OM*”. No puede darse aquí una recomendación general para un perfil específico de campana. Si hubiera dudas, en cada caso, debería elegirse aquello que ha demostrado ser efectivo en servicio en el sitio particular en cuestión.

Luego de haber determinado hasta aquí los parámetros de la envoltura para satisfacer los requisitos eléctricos, siguen ahora los próximos y últimos

pasos: los criterios mecánicos. Estos indirectamente llevan a la selección del material y del diámetro de la envoltura. A menudo sólo se tiene una vaga idea en cuanto al esfuerzo mecánico de un descargador en servicio, y por consiguiente no se exigen requisitos, o, tal vez aún peor, se exigen con valores demasiado altos. Si no se dispone de información sobre los requisitos reales, los siguientes valores pueden servir como directriz para los esfuerzos estáticos en la cima necesarios:  $F_{\text{estát}} = 400 \text{ N}$  hasta e incluyendo  $U_s = 420 \text{ kV}$ ,  $F_{\text{estát}} = 600 \text{ N}$  para  $U_s = 550 \text{ kV}$  y  $F_{\text{estát}} = 800 \text{ N}$  para  $U_s = 800 \text{ kV}$ . Estos valores representan los requisitos mínimos absolutos, asumiendo que el descargador se conecta mediante conductores cuya sollicitación mecánica es irrelevante y no se excede una velocidad del viento de  $34 \text{ m/s}$  ( $w 120 \text{ km/h}$ ), lo que de acuerdo con la IEC 60694 pertenece a las “condiciones normales de servicio”.

Además de los esfuerzos estáticos en la cima, que normalmente le causan algunos problemas al descargador, también deben considerarse los requisitos dinámicos. Estos pueden aparecer, por ejemplo, como consecuencia de corrientes de corto circuito en la línea o de ráfagas de viento. En este caso los descargadores con envoltura de porcelana, a causa de las propiedades quebradizas y al comportamiento estadístico de la porcelana, pueden someterse sólo hasta el 40 % de su resistencia dinámica. Los esfuerzos dinámicos admisibles en la cima especificados deberían comprobar, por otra parte, que poseen al menos un 20 % de margen de seguridad hasta los valores de rotura reales, determinados durante los ensayos. Por consiguiente, los valores de esfuerzos en la cima mencionados arriba se despliegan en la siguiente tabla:

Tensión máxima del sistema $U_s$ (kV)	$F_{\text{mín, estática}}$ (N)	$F_{\text{mín, dinámica}}$ (N)	Valor mínimo de rotura (N)
$\leq 420$	400	1000	1200
550	600	1500	1800
800	800	2000	2400

Tabla 7: Esfuerzos en la cima del descargador

Las relaciones resultan algo diferentes para descargadores con envolturas poliméricas. No obstante, todavía no se han establecido reglas y normas apropiadas. De todas maneras puede adoptarse una brecha menor entre las cargas estática y dinámica, dado que la envoltura polimérica (con la excepción de la envoltura de resina fundida, con características quebradizas similares a las de la porcelana, y por lo tanto considerada exactamente de la misma manera) se aparta menos en lo que se refiere a sus características mecánicas. De acuerdo a los descubrimientos actuales, una utilización de la resistencia estática de al menos un 70 % del valor de rotura (con lo cual el valor de rotura es, al mismo tiempo, difícil de definir y de determinar) es incuestionablemente admisible. En las envolturas poliméricas, a diferencia de las envolturas de porcelana, son muy visibles las deformaciones debidas a los esfuerzos mecánicos. Generalmente, éste no es un aspecto a considerar, sin embargo, en aquellos casos en los que esta clase comportamiento causase problemas, sí debería considerarse la elección de una envoltura mecánicamente más fuerte, la que estará menos solicitada por las cargas que aparecen allí, y en consecuencia se deformará menos.

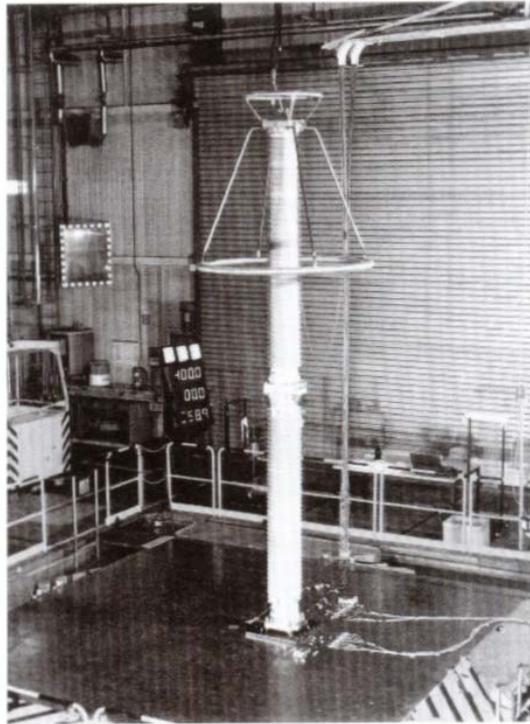


Fig. 21: Descargador con envoltura polimérica para un sistema de 550 kV durante un ensayo sísmico sobre una mesa vibratoria

Mientras los valores citados en la tabla indican exigencias relativamente mínimas respecto de la resistencia de la envoltura, éstas pueden intensificarse enormemente cuando se tienen en cuenta requisitos sísmicos. Tales requisitos van más allá de las “condiciones normales de operación”, y las exigencias asociadas deben describirse explícitamente en el pedido de provisión. Existen varios procedimientos normalizados de cálculo y de ensayo que determinan el comportamiento de un descargador bajo tales condiciones. Típicamente un descargador completamente ensamblado se somete a un ensayo sísmico sobre una mesa vibratoria, sobre la cual se aceleran por lo menos dos ejes al mismo tiempo (Figura 21). La excitación puede ser sinusoidal - temporaria o transitoria - o contener un espectro de diferentes frecuencias y amplitudes, para que, tan cerca como sea posible,

simular un terremoto real ("time-history-test"). En muchos casos, exigencias extremas pueden satisfacerse más fácilmente con el uso de envolturas poliméricas en lugar de las de porcelana.

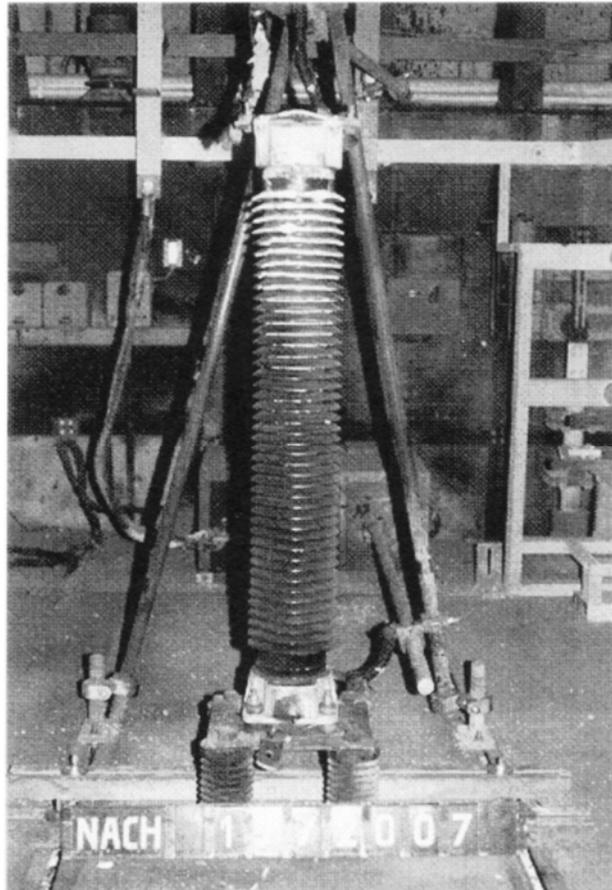


Fig. 22: Descargador con envoltura de porcelana después del ensayo de alivio de presión con corriente nominal de corto circuito (63 kA, 200 ms). Con la excepción de algunas campanas que se rompieron, la envoltura ha permanecido intacta.

Tener en cuenta los requisitos sísmicos es una necesidad habitual solamente en unos pocos lugares en el mundo. Sin embargo, además de la lista previa de características mecánicas, debe considerarse en cada caso la capacidad de resistir el corto circuito. Esta caracteriza el modo de falla de un

descargador luego de la aparición de una sobrecarga operativa de los resistores de OM. En muy raras ocasiones puede aparecer una sobrecarga, por ejemplo en un sistema de distribución como consecuencia de una descarga atmosférica directa sobre los conductores principales de la línea en las adyacencias del descargador o - menos frecuentemente aún -debido a una transferencia de tensión de frecuencia industrial en un sistema de alta tensión, desde el sistema con mayor tensión hacia el otro con menor tensión, causada por un conductor averiado o por galope de la línea. A continuación de la sobrecarga, en el interior de la envoltura del descargador se desarrolla un arco, a través del cual circula la corriente de corto circuito de frecuencia industrial, específica de este lugar. En un descargador con un volumen de gas encerrado, la presión se incrementa instantáneamente en el interior de la envoltura. Sin embargo, los dispositivos de alivio de presión evitan que la envoltura explote. De acuerdo con esto, hasta hace muy poco tiempo de esta manera se refería la norma IEC pertinente al “comportamiento del alivio de presión” y “ensayos del alivio de presión”. Como los nuevos descargadores aislados en polímero en parte ya no contienen un volumen de gas encerrado en su envoltura, tiene sentido referirse más generalmente a “comportamiento bajo condiciones de corto circuito”, y conforme a esto los ensayos conexos ahora se denominan “ensayos de corto circuito”. No obstante- la meta sigue siendo la misma: en el caso de un descargador que se está sobrecargando, de acuerdo a los requisitos de ensayo, la envoltura debe permanecer intacta, o si se rompe, los fragmentos de la envoltura y las partes expulsadas deben caer al suelo dentro de una circunferencia alrededor del descargador, cuyo radio es aproximadamente igual a la altura del descargador. Una rotura de la envoltura que satisfaga estos requisitos es expresamente admisible. Sin embargo, bajo ninguna circunstancia se admite que la envoltura se destroce violentamente, para lo cual se dice que “destrozarse violentamente” ocurre cuando los fragmentos caen fuera del área alrededor del descargador, a la

cual se requería que dichas partes se restringieran. La posibilidad de una rotura de la envoltura debe considerarse al construir una subestación. Debido a este riesgo generalmente es aconsejable, por ejemplo, evitar la utilización de un descargador como aislador de soporte (de apoyo) para un conductor o una barra. Si, no obstante, esto es lo deseado, deberían utilizarse descargadores con envoltura polimérica, con lo cual debe observarse que el comportamiento requerido no puede hallarse automáticamente en todos los diseños.

La máxima corriente de corto circuito que circula por un lapso de 200 ms, con la cual un descargador todavía puede satisfacer los requisitos de ensayo mencionados arriba, hasta hace muy poco tiempo, se la dividía en diferentes clases en las normas IEC. Esto se hacía asignando a la corriente de corto circuito un valor numérico en kiloamperios, o en algunos casos, una letra, En la actualidad la norma sólo cita corrientes nominales de corto circuito (resistidas), dadas en amperios.

Las siguientes tablas muestran las clasificaciones de acuerdo a las versiones antigua y nueva de la norma:

Clase de alivio de presión	Valor eficaz de la corriente corto circuito simétrica (A)
80	80 000
63	63000
50	50000
40 (A)	40 000
20 (B)	20000
10(C)	10000
16 (D)	16000
5 (E)	5000

Tabla 8a: Valores de corrientes de corto circuito de acuerdo a las normas *antiguas* (de acuerdo a la IEC 60099-1, 1991-5)

Corriente nominal de corto circuito (A)	Valor eficaz de la corriente de corto circuito simétrica (A)
80 000	80 000
63000	63 000
50 000	50 000
40 000	40 000
31 500	31 500
20 000	20 000
16 000	16 000
10 000	10 000
5 000	5 000

Tabla 8b: Valores de corrientes de corto circuito nominales (resistidas) de acuerdo a las normas *Nuevas* (de acuerdo a la IEC 60099-1, Ed. 3.1, 1999-12)

La clase de alivio de presión o corriente (resistida) nominal de corto circuito designadas deberían por lo menos ajustarse a la máxima corriente de corto circuito esperada en el sitio (ubicación) del descargador. No se incluye en la tabla la “corriente reducida de corto circuito” de 800 A de acuerdo a la antigua norma, o de 600 A  $\pm$  200 A de acuerdo a la nueva, la que también debería ensayarse para todas las clases y valores durante ensayo del alivio de presión. Esta circula por un lapso de un segundo, y dentro de este lapso los dispositivos de alivio de presión (si existieran en el diseño) deben haber abierto. Esta parte del ensayo se efectúa para comprobar que los dispositivos de alivio de presión del descargador también pueden abrir bajo solicitudes de corrientes de falla muy bajas. Para los descargadores con envoltura polimérica esto también demuestra la resistencia del descargador al fuego. Para las corrientes elevadas, la capacidad de resistir el corto circuito se ensaya sobre la unidad más larga de un tipo. En el caso de los descargadores con envoltura de porcelana, esta capacidad está influenciada sobre todo por los siguientes parámetros:

- *Mayor diámetro:* mayores diámetros producen una mayor resistencia
- *Longitud de la envoltura:* a mayor longitud, menor será la resistencia para un diámetro dado
- *Espesor de la pared:* aumenta la resistencia con el aumento del espesor de la pared
- *Material de la envoltura:* la calidad de porcelana “C 120” da como resultado una mayor resistencia que la que la calidad “C 110”.

En el caso de los primeros dos parámetros, el mismo contexto generalmente se aplica para los descargadores con envoltura polimérica. Sin embargo, existen otros factores de diseño influyentes (por ejemplo, si el descargador tiene un volumen de gas encerrado o no), pero éstos no se tratarán aquí.

En este punto la selección de un descargador está completa. En conjunto, los requisitos mecánicos - esto es, los esfuerzos en la cima requeridos, las exigencias sísmicas y la capacidad de resistir el corto circuito - determinan la combinación apropiada de material, diámetro y longitud de la envoltura. Al mismo tiempo la longitud de una envoltura de porcelana se restringe a un tamaño de alrededor de dos metros por razones técnicas y de fabricación. Para los descargadores con envoltura polimérica - al menos para ciertos diseños -son posibles y comunes mayores longitudes. Si la longitud total requerida para un descargador es superior a lo que es posible de encerrar en una única envoltura, entonces el descargador se hace de varias unidades. No obstante, esto no es sólo una cuestión de costo - varias unidades significa que existen múltiples bridas, sistemas de sellado, dispositivos de alivio de presión, etc. -; también es desventajoso usar descargadores de una sola unidad si éstos van a funcionar en un ambiente muy fuertemente contaminado. En la actualidad esto es posible para descargadores con

envoltura de porcelana con una tensión máxima del sistema de hasta 245 kV, y para ciertos diseños de descargadores con envoltura polimérica a un nivel de hasta 300 kV.

### **3.6 CONDICIONES DE SERVICIO**

“Las condiciones normales de servicio” se han mencionado unas pocas veces. Normalmente el fabricante determina todos los valores característicos solamente para condiciones normales de servicio. De esta manera, durante la selección de un descargador, es necesario controlar si estas condiciones son aplicables a la instalación planificada. La siguiente es una lista de condiciones normales de servicio según la norma IEC 60099-4, Cláusula 4.4.1:

- Temperatura ambiente entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $+40^{\circ}\text{C}$
- Radiación solar  $1,1\text{ kW/m}^2$ .
- Altitud menor o igual que 1000 m sobre el nivel del mar.
- Frecuencia de servicio del suministro de c.a, comprendida entre 48 Hz y 62 Hz.
- Tensión de frecuencia industrial aplicada permanentemente entre los terminales del descargador menor o igual a la tensión de operación permanente del descargador.

Aún cuando no se lo menciona actualmente en la IEC 60099-4, una velocidad de viento menor o igual a 34 m/s, como así también un montaje vertical del descargador, siguen siendo condiciones normales de servicio.

## 4. EJEMPLOS

Aquí concluye la descripción del procedimiento de configuración y selección. Abajo se dan algunos ejemplos numéricos aclaratorios. Éstos se refieren a las aplicaciones más comunes de los descargadores conectados entre Fases y tierra, y deben interpretarse como disposiciones normales, es decir, las que propondría un fabricante si no se remitieran requisitos e información adicionales, respectivamente, con el pedido de provisión del descargador, que no sean la tensión y el método de puesta a tierra del sistema. Al mismo tiempo, ésta representa la mínima información requerida, sin la cual un descargador no puede ser razonablemente configurado y seleccionado. Sin embargo, debe observarse que, basado en esta escasa información, el descargador resultante sólo satisfará los requisitos mínimos absolutos del sistema. Los valores característicos determinados sobre la base de tan pocos datos de entrada deberían controlarse cuidadosamente, con el fin de que ninguno de los requisitos reales del sistema sea pasado por alto. Una vez más, con referencia a la IEC 60099-4, Anexo G: cuanto más información y requisitos se especifiquen en este anexo, mayor probabilidad habrá de que el descargador resultante satisfaga todas las exigencias de la aplicación en cuestión. En casos especiales, un sistema o un estudio del aislamiento pueden demostrar la efectividad de una disposición de descargador y la protección asociada alcanzable del equipamiento frente a las sobretensiones atmosféricas y de maniobra.

Por lo tanto, los ejemplos numéricos abajo representan configuraciones mínimas de funcionamiento. Sin embargo, éstas no son necesariamente disposiciones típicas o comunes. En cambio, por buenas razones, normalmente se suministraría mayor seguridad, Al seleccionar las tensiones

de operación permanente y la nominal superiores a las mínimas requeridas, es posible aumentar la confiabilidad operativa considerablemente, mientras que, en la mayoría de los casos puede tolerarse el correspondiente incremento en el nivel de protección. Algunas versiones nacionales (propias de cada país) de la guía de aplicación IEC 60099-5 - como así también la de Alemania - tienen configuraciones típicas de descargadores incluidas en su Anexo B (Informativo), del cual pueden obtenerse los valores más comunes de las tensiones de operación permanente y nominal y los niveles de protección para los niveles de tensión individuales del sistema.

#### 4.1 EJEMPLO 1: "SISTEMA DE 66 KV CON NEUTRO RÍGIDO A TIERRA"

(Todas las informaciones con asterisco (\*) son típicas. Sin embargo, individualmente, estos son valores que dependen del fabricante.)

**Supuestos tácitos si no se suministra información adicional y no se solicitan requisitos especiales:**

*(Tenga en cuenta que estos datos se obtienen dependiendo del sistema y del medio ambiente como se indica en la fig.18 Pág. 52, esto es aplicable para todos los ejemplos)*

- $U_s = U_m = 72,5kV$
- Tensión normalizada resistida a impulso atmosférico (BIL) del equipamiento = 325kV
- Factor de falla a tierra  $k = 1,4$  ( este valor corresponde al tipo de conexión que es con neutro rígido a tierra; para tierra resonante el valor mínimo es 1.73)
- Máxima duración de la sobretensión temporaria: 10 s
- Corriente nominal de descarga requerida  $I_n = 10$  kA
- Clase de descarga de líneas requerida: 2
- Nivel de contaminación I
- Máxima corriente de corto circuito: 40 kA

Determinación de las mínimas tensiones de operación permanente y nominal requeridas

- $U_{c,\min} = 1,05 \cdot U_s / \sqrt{3} = 1,05 \cdot 72,5 / \sqrt{3} kV = 44kV$
- $U_{rl,\min} = 1,25 \cdot U_{c,\min} = 1,25 \cdot 44kV = 55kV$
- $U_{r2,\min} = 1,4 \cdot (U_s / \sqrt{3}) k_{tov,10s} = 1,4 \cdot (72,5 / \sqrt{3}) / 1,075 \cdot kV = 55kV$

$k_{tov,10s}$  de la Figura 19

Fijación de valores reales de las tensiones de operación permanente y nominal:

- $U_r = U_{r1, \text{min.}}$  redondeada al número entero inmediato superior divisible por 3 = 57 kV

Normalmente un descargador con una tensión nominal de por lo menos 60 kV .se utiliza en este sistema. Esto lleva a una disposición más estable y, no obstante, al mismo tiempo brinda un nivel de protección suficientemente bajo.

- $U_r = 60 \text{ kV}$
- $U_C = U_r / 1,25^* = 60 \text{ kV} / 1,25^* = 48 \text{ kV}$

Selección de un resistor de OM apropiado para  $I_n = 10 \text{ kA}$  y DL-clase 2

- diámetro del OM: 50\* mm
- $\hat{u}_{10 \text{ kA}} / U_r = 2,8^*$  (Este factor es característico para el resistor de OM usado, al configurarlo para la clase de descarga de líneas 2.)

Características de protección resultantes\*:

- nivel de protección a impulso atmosférico ( $\hat{u}_{10 \text{ kA}, 8/20 \mu\text{s}}$ ): 168kV
- nivel de protección a impulso de maniobra ( $\hat{u}_{0,5 \text{ kA}, 30/60 \mu\text{s}}$ ): 131kV
- nivel de protección a impulso escarpado de corriente ( $\hat{u}_{10 \text{ kA}, 1/2 \mu\text{s}}$ ): 178 kV

Control de los valores de protección:

- $\text{BIL} / \hat{u}_{10 \text{ kA}, 8/20 \mu\text{s}} = 325 \text{ kV} / 168 \text{ kV} = 1,93 \rightarrow$  claramente suficiente

Altura de la columna de resistores de OM:

- $h_{\text{MO}} = 600^* \text{ mm}$

### ***Selección de una Envoltura***

Dado que en este caso no se dispone de información adicional, se elegirá una envoltura que satisfaga los siguientes requisitos mínimos:

- tensión resistida a impulso atmosférico =  $1,3 \cdot \text{nivel de protección a impulso atmosférico} = 1,3 \cdot 168 \text{ kV} = 219 \text{ kV}$
- tensión resistida de frecuencia industrial 1 min, húmedo =  $1,06/\sqrt{2} \cdot \text{nivel de protección a impulso de maniobra} = 1,06/\sqrt{2} \cdot 131\text{kV} = 98 \text{ kV}$
- distancia disruptiva:  $16 \text{ mm/kV} - 72,5 \text{ kV} = 1160 \text{ mm}$
- esfuerzo estático admisible en la cima: 400 N
- esfuerzo dinámico admisible en la cima: 1000 N
- corriente nominal de corto circuito: 40 kA
- longitud posible de la parte activa: 600 mm
- número de unidades: 1
- anillo distribuidor de potencial: no

## 4.2 EJEMPLO 2: "SISTEMA DE 110 KV CON NEUTRO A TIERRA RESONANTE"

(Todas las informaciones con asterisco (\*) son típicas. Sin embargo, individualmente, estos son valores que dependen del fabricante.)

***Supuestos tácitos si no se suministra información adicional y no se solicitan requisitos especiales:***

- $U_S = U_m = 123\text{kV}$
- tensión normalizada resistida a impulso atmosférico (BIL) del equipamiento = 550 kV
- operación bajo condiciones de falla a tierra durante  $> 30$  min.
- corriente nominal de descarga requerida  $I_n = 10$  kA
- clase de descarga de líneas requerida: 2
- nivel de contaminación I
- máxima corriente de corto circuito: 40 kA

***Determinación de las mínimas tensiones de operación permanente y nominal requeridas***

- $U_{c, \min} = U_S = 123\text{kV}$
- $U_{r, \min} = 1,25^* \cdot U_{c, \min} = 1,25^* \cdot 123 \text{ kV} = 154 \text{ kV}$

(No obstante, la tensión nominal carece de significación técnica en un sistema de puesta a tierra resonante.)

***Fijación de valores reales de las tensiones de operación permanente y nominal:***

- $U_r = U_{r, \min}$  redondeada al número entero inmediato superior divisible por 3 = 156 kV

- $U_r/I_{25}^* = 156\text{kV}/I_{25}^* = 124 \text{ kV}$  (los valores de tensiones industrial se redondean al número entero inmediato inferior)

### **Selección de un resistor de OM apropiado para $I_n = 10 \text{ kA}$ y DL-clase 2**

- diámetro del OM: 60\* mm
- $\hat{u}_{10\text{kA}}/U_r = 2,35^*$  (Este factores característico para resistor de OM usado, al configurarlo para la clase de descarga de líneas 2.)

*Nota:* En comparación con el ejemplo 1, aquí se eligió un diámetro de resistor de OM de 60 mm con el fin de lograr un menor nivel de protección a impulso atmosférico. Usualmente ésta es una preocupación en sistemas con neutro a tierra resonante y con neutro aislado, a causa del alto valor requerido de la tensión de operación permanente. Véase también el ejemplo 6 en comparación con el ejemplo 7.

### **Características de protección resultantes\*:**

- nivel de protección a impulso atmosférico ( $\hat{u}_{10\text{kA}, 8/20\mu\text{s}}$ ): 367 kV (los valores de tensiones residuales se redondean al numero entero inmediato superior) (Conforme a la guía de aplicación de Alemania, DIN EN 60099-5/VDE 0675, parte 5: nivel de protección a impulso atmosférico  $\leq 370 \text{ kV}$ )
- nivel de protección a impulso de maniobra ( $\hat{u}_{0,5\text{kA}, 30/60\mu\text{s}}$ ): 294 kV
- nivel de protección a impulso escarpado de corriente ( $\hat{u}_{10\text{kA}, 1/2\mu\text{s}}$ ): 389kV

### **Control de los valores de protección:**

- $BIL/\hat{u}_{10\text{kA}, 8/20\mu\text{s}} = 550 \text{ kV}/367 \text{ kV} = 1,5 \rightarrow$  generalmente suficiente

**Altura de la columna de resistores de OM:**

- $h_{MO} = 1260^* \text{ mm}$

**Selección de una Envoltura**

Requisitos mínimos:

- tensión resistida a impulso atmosférico =  
1.3·nivel de protección a impulso atmosférico =  $1,3 \cdot 367 \text{ kV} = 447 \text{ kV}$
- tensión resistida de frecuencia industrial 1 min, húmedo =  
 $1,06 / \sqrt{2} \cdot \text{nivel de protección a impulso de maniobra} =$   
 $1,06 / \sqrt{2} \cdot 294 \text{ kV} = 221 \text{ kV}$
- distancia disruptiva:  $16 \text{ mm/kV} \cdot 123 \text{ kV} = 1968 \text{ mm}$
- esfuerzo estático admisible en la cima: 400 N
- esfuerzo dinámico admisible en la cima: 1000 N
- comente nominal de corto circuito: 40 kA
- longitud posible de la parte activa: 1260 mm
- número de unidades: I
- anillo distribuidor de potencial: no

### 4.3 EJEMPLO 3: "SISTEMA DE 220 KV CON NEUTRO RÍGIDO A TIERRA"

(Todas las informaciones con asterisco (\*) son típicas. Sin embargo, individualmente, éstos so valores que dependen del fabricante.)

**Supuestos tácitos si no se suministra información adicional y no se solicitan requisitos especiales:**

- $U_S = U_m = 245\text{kV}$
- tensión normalizada resistida a impulso atmosférico (BIL) del equipamiento = 950 kV
- factor de falla a tierra  $k = 1,4$
- máxima duración de la sobretensión temporaria: 10 s
- corriente nominal de descarga requerida  $I_n = 10\text{ kA}$
- clase de descarga de líneas requerida: 3
- nivel de contaminación I
- máxima corriente de corto circuito: 50 kA

**Determinación de las mínimas tensiones de operación permanente y nominal requeridas**

- $U_{C,\min} = 1,05 \cdot U_S / \sqrt{3} \text{ kV} = 149 \text{ kV}$
- $U_{rl,\min} = 1,25 * \cdot U_{C,\min} = 1,25 * \cdot 149 \text{ kV} = 187 \text{ kV}$
- $U_{r2,\min} = 1,4 \cdot (U_S / \sqrt{3}) / k_{tov,10s} = 1,4 \cdot (245 / \sqrt{3}) / 1,075 * \text{ kV} = 185 \text{ kV}$   
( $k_{tov,10s}$  de la Figura 19)

**Fijación de valores reales de las tensiones de operación permanente y nominal:**

- $U_r = U_{rl, \min}$  redondeada al número entero inmediato superior divisible por 3 = 189 kV Normalmente un descargador con una tensión nominal de por lo menos 60 kV se utiliza en este sistema. Esto lleva a una disposición más estable y, no obstante, al mismo tiempo brinda un nivel de protección suficientemente bajo.
- $U_r = 198\text{kV}$
- $U_c = U_r / 1,25^* = 198\text{kV} / 1,25^* = 158\text{kV}$

**Selección de un resistor de OM apropiado para  $I_n = 10 \text{ kA}$  y DL-clase 3**

- diámetro del OM: 60\* mm
- $\hat{u}_{10\text{kA}}/U_r = 2.45^*$  (Este factores característico para el resistor de OM usado, al configurarlo para la clase de descarga de líneas 3- ¡Compárese con el ejemplo 2!)

**Características de protección resultantes\*:**

- nivel de protección a impulso atmosférico ( $\hat{u}_{10\text{kA}, 8/20\mu\text{s}}$ ): 485 kV
- nivel de protección a impulso de maniobra ( $\hat{u}_{1\text{kA}, 30/60\mu\text{s}}$ ): 402 kV
- nivel de protección a impulso escarpado de corriente ( $\hat{u}_{10\text{kA}, 1/2\mu\text{s}}$ ): 514kV

**Control de los valores de protección:**

- $\text{BIL}/\hat{u}_{10\text{kA}, 8/20\mu\text{s}} = 950\text{kV}/485\text{kV} = 1,96 \rightarrow$  claramente suficiente

**Altura de la columna de resistores de OM:**

- $h_{MO} = 1670^*$  mm

**Selección de una Envoltura**

Requisitos mínimos:

- tensión resistida a impulso atmosférico =  
1,3· nivel de protección a impulso atmosférico = 1,3· 485 kV = 631 kV
- tensión resistida de frecuencia industrial 1 min. húmedo =  
 $1,06/\sqrt{2}$  · nivel de protección a impulso de maniobra =  $1,06/\sqrt{2}$  · 402 kV  
= 302 kV
- distancia disruptiva: 16 mm/kV·245 kV = 3920 mm
- esfuerzo estático admisible en la cima: 400 N
- esfuerzo dinámico admisible en la cima: 1000 N
- corriente nominal de corto circuito: 50 kA
- longitud posible de la parte activa: 1670 mm
- número de unidades: 1 (¡Caso límite cuando se utiliza envoltura de porcelana!)
- anillo distribuidor de potencial: no (¡Caso límite! Si este descargador - por ejemplo, a causa de los elevados requisitos de distancia disruptiva - se diseñara en dos partes, en efecto requeriría un anillo distribuidor de potencial.)

#### 4.4 EJEMPLO 4: " SISTEMA DE 380 KV CON NEUTRO RÍGIDO A TIERRA: CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL"

(Todas las informaciones con asterisco (\*) son típicas. Sin embargo, individualmente, estos son valores que dependen del fabricante.)

**Supuestos tácitos si no se suministra información adicional y no se solicitan requisitos especiales:**

- $U_S = U_m = 245\text{kV}$
- tensión normalizada resistida a impulso atmosférico (BIL) del equipamiento = 1425kV
- factor de falla a tierra  $k = 1,4$
- máxima duración de la sobretensión temporaria: 10 s
- corriente nominal de descarga requerida  $i_n = 10\text{ kA}$
- clase de descarga de líneas requerida: 3
- nivel de contaminación III
- máxima corriente de corto circuito: 50 kA

**Determinación de las mínimas tensiones de operación permanente y nominal requeridas**

- $U_{C,\min} = 1,05 \cdot U_S / \sqrt{3} = 1,05 \cdot 420 / \sqrt{3}\text{kV} = 255\text{kV}$
- $U_{r1,\min} = 1,25 \cdot U_{C,\min} = 1,25 \cdot 255\text{kV} = 319\text{kV}$
- $U_{r2,\min} = 1,4 \cdot (U_S / \sqrt{3}) / k_{tov,10s} = 1,4 \cdot (420 / \sqrt{3}) / 1,075 \cdot \text{kV} = 316\text{kV}$   
 $k_{tov,10s}$  de la Figura 19)

***Fijación de valores reales de las tensiones de operación permanente y nominal:***

- $U_r = U_{r1, \min}$  redondeada al número entero inmediato superior divisible por 3 = 321 kV Normalmente un descargador con una tensión nominal de por lo menos 60 kV se utiliza en este sistema. Esto lleva a una disposición más estable y, no obstante, al mismo tiempo brinda un nivel de protección suficientemente bajo.
- $U_r = 336$  kV
- $U_C = U_r = 1,25^* = 336\text{kV}/1,25^* = 268\text{kV}$

***Selección de un resistor de OM apropiado para  $I_n = 10$  kA y DL-clase 3***

- diámetro del OM: 60\* mm
- $\hat{u}_{10\text{kA}}/U_r = 2,45^*$  (Este factor es característico para el resistor de OM usado, al configurarlo para la clase de descarga de líneas 3. (¡Compárese con el ejemplo 2!).

***Características de protección resultantes\*:***

- nivel de protección a impulso atmosférico ( $\hat{u}_{10\text{kA}, 8/20\mu\text{s}}$ ): 823 kV
- nivel de protección a impulso de maniobra ( $\hat{u}_{1\text{kA}, 30/60\mu\text{s}}$ ): 683 kV
- nivel de protección a impulso escarpado de corriente ( $\hat{u}_{10\text{kA}, 1/2\mu\text{s}}$ ): 872kV

***Control de los valores de protección:***

- $\text{BIL}/\hat{u}_{10\text{kA}, 8/20\mu\text{s}} = 1425 \text{ kV}/823 \text{ kV} = 1.73 \rightarrow$ claramente suficiente

***Altura de la columna de resistores de OM:***

- $h_{\text{MO}} = 2820^*$ mm

***Selección de una Envoltura***

Requisitos mínimos:

- tensión resistida a impulso atmosférico =  
1.3-nivel de protección a impulso atmosférico =  $1.3 \cdot 823 \text{ kV} = 1070 \text{ kV}$
- tensión resistida a impulso de maniobra =  
1,25-nivel de protección a impulso de maniobra =  $1,25 \cdot 683 \text{ kV} = 854 \text{ kV}$
- distancia disruptiva:  $25 \text{ mm/kV} \cdot 420 \text{ kV} = 10500 \text{ mm}$
- esfuerzo estático admisible en la cima: 400 N
- esfuerzo dinámico admisible en la cima: 1000 N
- corriente nominal de corto circuito: 50 kA
- longitud posible de la parte activa: 2820 mm (2 - 1410 mm)\*
- número de unidades: 2\*
- anillo distribuidor de potencial: sí

#### **4.5 EJEMPLO 5: "SISTEMA DE 500 KV CON NEUTRO RÍGIDO A TIERRA; REQUISITOS ESPECIALES"**

(Todas las informaciones con asterisco (\*) son típicas. Sin embargo, individualmente, estos son valores que dependen del fabricante.)

***Supuestos tácitos si no se suministra información adicional y no se solicitan requisitos especiales:***

- $U_S = U_m = 550\text{kV}$
- tensión normalizada resistida a impulso atmosférico (BIL) del equipamiento = 1550kV
- factor de falla a tierra  $k = 1,4$
- máxima duración de la sobretensión temporaria: 10 s
- corriente nominal de descarga requerida  $I_n = 20\text{ kA}$
- clase de descarga de líneas requerida: 5
- nivel de contaminación f
- máxima corriente de corto circuito: 50 kA

***Requisitos e información especiales:***

- $U_S = 525\text{ kV}$
- nivel de protección a impulso de maniobra ( $\hat{u}_{10\text{kA}, 30/60\mu\text{s}}$ ): 760 kV
- capacidad de absorción de energía  $\geq 5\text{ MJ}$
- distancia disruptiva 25 mm/kV
- capacidad de resistir los sismos: aceleración del suelo 0.5-g de acuerdo con la norma americana IEEE 693, ( $\rightarrow$  aceleración base del descargador 1-g)

**Determinación de las mínimas tensiones de operación permanente y nominal requeridas**

- $U_{C,\min} = 1,05 \cdot U_S / \sqrt{3} = 1,05 \cdot 525 / \sqrt{3} \text{ kV} = 318 \text{ kV}$
- $U_{r1,\min} = 1,25 \cdot U_{C,\min} = 1,25 \cdot 318 \text{ kV} = 398 \text{ kV}$
- $U_{r2,\min} = 1,4 \cdot (U_S / \sqrt{3}) / k_{\text{tov},10s} = 1,4 \cdot (525 / \sqrt{3}) / 1,075 \cdot \text{kV} = 395 \text{ kV}$   
( $k_{\text{tov},10s}$  de la Figura 19)

**Fijación de valores reales de las tensiones de operación permanente y nominal:**

- $U_r = U_{r1,\min}$  redondeada al número entero inmediato superior divisible por 3 = 399 kV
- $U_C = U_{C,\min} = 318 \text{ kV}$

A diferencia de los ejemplos previos, aquí realmente se fijan los mínimos valores posibles de las tensiones de operación permanente y nominal. De otra manera no podría alcanzarse el extremadamente bajo nivel de protección a impulso de maniobra requerido.

**Selección de un resistor de OM apropiado para  $I_n = 20 \text{ kA}$  y DL-clase 5**

- diámetro del OM: 100\* mm (alternativa: 2·70\* mm, conectados en paralelo)
- $\hat{u}_{20\text{kA}}/U_r = 2,32^*$  (Este factor es característico del (de los) resistor(es) usado(s).)

**Características de protección resultantes\*:**

- nivel de protección a impulso atmosférico ( $\hat{u}_{20\text{kA}, 8/20\mu\text{s}}$ ): 927 kV
- nivel de protección a impulso de maniobra ( $\hat{u}_{2\text{kA}, 30/60\mu\text{s}}$ ): 760 kV
- capacidad de absorción de energía (térmica): 18 kJ/kV de  $U_r \rightarrow 7.2 \text{ MJ}$  totales

**Control de los valores de protección:**

- $BIL / \hat{u}_{20kA, 8/20\mu s} = 1550kV/927kV = 1,67 \rightarrow$  claramente suficiente
- requisito del nivel de protección a impulso de maniobra: satisfecho
- requisito de la capacidad de absorción de energía: satisfecho

**Altura de la columna de resistores de OM:**

- $h_{MO} = 3700^*$  mm

**Selección de una Envoltura (aislador hueco de material compuesto\* para satisfacer los requisitos sísmicos)**

Requisitos mínimos:

- tensión resistida a impulso atmosférico =
- 1,3-nivel de protección a impulso atmosférico =  $1,3 \cdot 927 \text{ kV} = 1205 \text{ kV}$
- tensión resistida a impulso de maniobra =  
1,25-nivel de protección a impulso de maniobra =  $1,25 \cdot 760 \text{ kV} = 950 \text{ kV}$
- distancia disruptiva:  $25 \text{ mm/kV} \cdot 525 \text{ kV} = 13125 \text{ mm}$
- esfuerzo dinámico admisible en la cima: 16400 N (¡debido a requisitos sísmicos!)
- esfuerzo estático admisible en la cima: 11500 N ( 70 % del valor del dinámico)
- corriente nominal de corto circuito: 50 kA
- longitud posible de la parte activa: 3700 mm ( $2 \cdot 1850 \text{ mm}$ )\*
- número de unidades: 2\* (en porcelana serían necesarias 3\* unidades)
- anillo distribuidor de potencial: sí

#### 4.6 EJEMPLO 6: "SISTEMA DE 20 KV CON NEUTRO A TIERRA RESONANTE O NEUTRO AISLADO"

(Todas las informaciones con asterisco (\*) son típicas. Sin embargo, individualmente, estos son valores que dependen del fabricante.)

***Supuestos tácitos si no se suministra información adicional y no se solicitan requisitos especiales:***

- $U_S = U_{m,} = 24\text{kV}$
- tensión normalizada resistida a impulso atmosférico (BIL) del equipamiento = 125kV
- operación bajo condiciones de falla a tierra durante  $> 30$  min.
- corriente nominal de descarga requerida  $I_n = 10$  kA
- nivel de contaminación I
- máxima corriente de corto circuito: 20 kA

***Determinación de las mínimas tensiones de operación permanente y nominal requeridas***

- $U_{c, \min} = U_S = 24\text{kV}$
- $U_{r, \min} = 1,25^* \cdot U_{c, \min} = 1,25^* \cdot 24 \text{ kV} = 30 \text{ kV}$

(No obstante, la tensión nominal carece de significación técnica en un sistema de puesta a tierra resonante.)

***Fijación de valores reales de las tensiones de operación permanente y nominal:***

- $U_r = U_{r1, \min}$  redondeada al número entero inmediato superior divisible por 3 = 30 kV
- $U_C = U_r / 1,25^* = 30\text{kV} / 1,25^* = 24\text{kV}$

### **Selección de un resistor de OM apropiado para $I_n - 10 \text{ kA}$**

- diámetro del OM: 40\* mm
- $\hat{u}_{10\text{kA}}/ U_r = 2,667^*$  (Este factores característico del resistor de OM utilizado cuando deben satisfacerse los requisitos del nivel de protección en los sistemas de distribución de Europa Central).

### **Características de protección resultantes\*:**

- nivel de protección a impulso atmosférico ( $\hat{u}_{10\text{kA}, 8/20\mu\text{s}}$ ): 80kV  
(Conforme a la guía de aplicación de Alemania, DIN EN 60099-5/VDE 0675, parte 5; nivel de protección a impulso atmosférico  $\leq 80 \text{ kV}$ )
- nivel de protección a impulso escarpado de corriente ( $\hat{u}_{0,5\text{kA}, 30/600\mu\text{s}}$ ): 58kV

### **Control de los valores de protección:**

- $BIL/ \hat{u}_{10\text{kA}, 8/20\mu\text{s}} = 125\text{kV}/80\text{kV} = 1,56 \rightarrow$  suficiente

### **Altura de la columna de resistores de OM:**

- $h_{MO} = 200^* \text{ mm}$

### **Selección de una Envoltura (tipo polimérica)**

Requisitos mínimos:

- tensión resistida a impulso atmosférico =  
 $1,3 \cdot \text{nivel de protección a impulso atmosférico} = 1,3 \cdot 80 \text{ kV} = 104 \text{ kV}$
- tensión resistida de frecuencia industrial 1 min, húmedo =  
 $0,88/\sqrt{2} \cdot \text{nivel de protección a impulso atmosférico} = 0,88/\sqrt{2} \cdot 80 \text{ kV}$   
 $= 50\text{kV}$
- distancia disruptiva:  $16 \text{ mm/kV} \cdot 24 \text{ kV} = 384 \text{ mm}$
- esfuerzo estático admisible en la cima: 400 N

- esfuerzo dinámico admisible en la cima: 600 N
- capacidad de resistencia al corto circuito: 20 kA
- longitud posible de la parte activa: 200 mm
- número de unidades: 1 (generalmente este es el caso en media tensión)
- anillo distribuidor de potencial: generalmente no es necesario para descargadores de media tensión

#### 4.7 EJEMPLO 7: "SISTEMA DE 20 KV CON NEUTRO RÍGIDO A TIERRA"

(Todas las informaciones con asterisco (\*) son típicas. Sin embargo, individualmente, éstos son valores que dependen del fabricante.)

**Supuestos tácitos si no se suministra información adicional y no se solicitan requisitos especiales:**

- $U_S = U_m = 24\text{kV}$
- tensión normalizada resistida a impulso atmosférico (BIL) del equipamiento = 125 kV
- factor de falla a tierra  $k = 1,4$
- máxima duración de la sobretensión temporaria: 10 s
- corriente nominal de descarga requerida  $I_i = 10\text{ kA}$
- nivel de contaminación I
- máxima corriente de corto circuito: 20 kA

**Determinación de las mínimas tensiones de operación permanente y nominal requeridas**

- $U_{C,\min} = 1,05 \cdot U_S / \sqrt{3} = 1,05 \cdot 24 / \sqrt{3}\text{kV} = 14,6\text{kV}$
- $U_{r1,\min} = 1,25 \cdot U_{C,\min} = 1,25 \cdot 14,5\text{kV} = 18,2\text{kV}$
- $U_{r2,\min} = 1,4 \cdot (U_S / \sqrt{3}) / k_{tov,10s} = 1,4 \cdot (24 / \sqrt{3}) / 10 \cdot kV = 19,4\text{kV}$

( $k_{tov,10s}$  es diferente del de la Figura 19 para el descargador de distribución en consideración.)

***Fijación de valores reales de las tensiones de operación permanente y nominal:***

- $U_r = U_{r1, \min}$  redondeada al número entero inmediato superior divisible por 3=21 kV
- $U_C = U_r/1,25^* = 21\text{kV}/1,25^* = 16,8\text{kV}$

***Selección de un resistor de OM apropiado para  $I_n = 10 \text{ kA}$***

- diámetro del OM: 40\* mm
- $\hat{u}_{10\text{kA}}/U_r = 2,79^*$  (Este factores característico del resistor de OM utilizado cuando no existen requisitos particulares del nivel de protección).

***Características de protección resultantes\*:***

- nivel de protección a impulso atmosférico ( $\hat{u}_{10\text{kA}, 8/20\mu\text{s}}$ ): 58 kV
- nivel de protección a impulso escarpado de corriente ( $\hat{u}_{0,5\text{kA}, 30/60\mu\text{s}}$ ): 62 kV

***Control de los valores de protección:***

- $\text{BIL}/\hat{u}_{10\text{kA}, 8/20\mu\text{s}} = 125 \text{ kV}/58 \text{ kV} = 2,15 \rightarrow$  claramente suficiente

***Altura de la columna de resistores de OM:***

- $h_{\text{MO}} = 135^* \text{ mm}$

**Selección de una Envoltura (tipo polimérica)**

Requisitos mínimos:

- tensión resistida a impulso atmosférico =  
1,3-nivel de protección a impulso atmosférico =  $1,3 \cdot 58 \text{ kV} \approx 76 \text{ kV}$
- tensión resistida de frecuencia industrial I min. húmedo ==  
 $0,88/\sqrt{2} \cdot \text{nivel de protección a impulso atmosférico} = 0,88/\sqrt{2} \cdot 58 \text{ kV} \approx 37 \text{ kV}$
- distancia disruptiva:  $16 \text{ mm/kV} \cdot 24 \text{ kV} = 384 \text{ mm}$
- esfuerzo estático admisible en la cima: 400 N
- esfuerzo dinámico admisible en la cima: 600 N
- capacidad de resistencia al corto circuito: 20 kA
- longitud posible de la parte activa: 135 mm
- número de unidades: 1 (generalmente éste es el caso en media tensión)
  
- anillo distribuidor de potencial: generalmente no es necesario para descargadores de media tensión.

## 5. NORMAS

La selección que sigue describe el estado actual de las más importantes normas IEC (y algunas otras) sobre descargadores y tópicos asociados. También se listan algunos importantes documentos de la IEC que actualmente están en elaboración.

A partir de enero de 1997 las publicaciones de la IEC se han numerado de forma diferente a fin de que se correspondieran con las normas europeas e internacionales. Esto se logra agregando la cifra 60000 al antiguo número. Lo mismo rige para las publicaciones publicadas antes de 1997, aun cuando todavía tengan el antiguo número.

También se han incluido las normas y guías de aplicación americanas sobre descargadores y coordinación del aislamiento debido a su importancia para el mercado americano y otros países que las utilizan.

### ***a) Normas y documentos en elaboración de la IEC sobre descargadores***

#### ***IEC 60099-1, Edition 3.1, 1999-12***

(Edition3: 1991 consolidated with Amendment 1: 1999)

Surge arresters - Part 1: Non-linear resistor type gapped surge arresters for a.c. systems.

**IEC 60099-4, Edition 1.2, 2001-12**

(Edition 1: 1991 consolidated with Amendments 1: 1998 y 2: 2001)

Surge arresters - Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems

*Nota:* La Enmienda 1 es el "Anexo F (normativo): Artificial pollution test with respect to the thermal stress on porcelain-housed multi-unit metal-oxide surge arresters". La Enmienda 2 es el Documento IEC 37/268/FDIS del 13 de julio de 2001 que se

detalla abajo, además de los siguientes puntos:

- Seal leak rate
- Short circuit

**IEC 37/268/FDIS, July 13, 2001**

Amendment 2 to IEC 60099-4 Ed 1

*Nota:* La Enmienda 2 contiene las siguientes secciones (nuevas o revisadas), cláusulas, sub-cláusulas y anexos:

- Tabla 1	Arrester classification and test requirements
- 5.4	internal partial discharges
- 5.14	Mechanical loads
- 7.1	General
- 7.3.1	Steep current impulse residual voltage test
- 7.5.2	Accelerated ageing procedure
- 7.7	Short-circuit tests (→ Informative Annex O)
- 7.8	internal partial discharge test
- 8.1	Routine tests
- 8.2.1	Standard acceptance tests
- 9	Test requirements on polymer housed surge arresters
- 10	Test requirements on gas-insulated metal-enclosed arresters (GIS-arresters)
- 11	Separable and deadfront arresters
- 12	Liquid immersed arresters
- 13	Mechanical considerations for surge arresters

- Annex L (informative): Ageing test procedure – Arrhenius law – problems with higher temperatures
- Annex M (informative): Guide for determination of the voltage distribution along metal-oxide surge arresters
- Annex N (normative): Mechanical considerations
- Annex O (informative): Short circuit tests

***IEC 60099-5, Edition 1.1, 2000-03***

(Edition 1: 1996 consolidated with Amendment 1: 1999)

Surge arresters - Part 5: Selection and application recommendations

Nota: La Enmienda 1 es la nueva Sección 6 "Diagnostic indicators of metal-oxide surge arresters in service".

***IEC 37/261/CDV, November 17, 2000***

(IEC 60099-6: Surge arresters - Part 6: Surge arresters containing both series and parallel gapped structures - Rated 52 kV and less)

***b) Normas y documentos de anteproyecto (drafts) IEC sobre coordinación de aislamiento***

***IEC 60071-1. Seventh Edition, 1993-12***

Insulation co-ordination - Part 1: Definitions, principles and rules

***IEC 60071-2, Third Edition, 1996-12***

Insulation co-ordination - Part 2: Application guide

***IEC 28/138/CD, February 9, 2001***

(IEC 60071-4, Ed. 1: Insulation co-ordination - Part 4: Computational Guide to Insulation Co-ordination & Modelling of Electrical Networks)

**1IEC 28/139/CDV, February 9, 2001**

(IEC 60071-5: Insulation co-ordination - Part 5: Procedures for HVDC Converter Stations)

**c) Otras normas internacionales y nacionales, también aplicables a los descargadores****IEC 60060-1, Second Edition, 1989-11**

High-voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements

**IEC 60507, Second edition 1991-04**

Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used in a.c. systems

**IEC 60672-3, Second Edition, 1997-10**

Ceramic and glass-insulating materials - Part 3: Specifications for individual materials

**IEC 60694, Second Edition, 1996-05**

Common Specifications for high-voltage switchgear and control standards

**1IEC/TR60815, First edition, 1986-05**

Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions

**IEC 61166, First Edition, 1993-03**

High-voltage alternating current circuit-breakers - Guide for seismic qualification of high-voltage alternating current circuit-breakers

**IEEE Std 693 - 1997**

Recommended Practice for Seismic Design of Substations

**IEC 36/166/CD, January 28, 2001**

(IEC 62073: Guide to the measurement of wettability of insulator surfaces)

**HD 637 SI: 1999**

Power installations exceeding AC 1 kV

**IEC 99/35/CD, 1998**

Project IEC 61936-1 Ed. 1.0: Power installations exceeding 1 kV a.c. - Part 1:  
Common rules

**d) Normas americanas sobre descargadores y coordinación del aislamiento****IEEE C62.11-1999**

IEEE Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits (> 1 kV) Nota: Esta norma, inversamente a la IEC 60099-4, se aplica a ambos tipos de descargadores de OM, con y sin explosores.

**IEEE Std. C62.22-1997**

IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating-Current Systems

**IEEE Standard 1313.1-1996**

IEEE Standard for Insulation Coordination - Definitions, Principles, and Rules

IEEE Standard 1313.2-1999

IEEE Guide for the Application of insulation Coordination

## BIBLIOGRAFIA

- ◆ **E. C. Sakashug, J.S. Kresge, S.A. Misske**  
A new Concept in Station Arrester Design  
IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-96,  
no.2, Marzo/Abril 1977, Pág. 647-656.
  
- ◆ **CIGRÉ Working Group 33.06**  
Metal – oxide surge arresters in AC Systems
  - Parte 1: General properties of the metal-oxide surge arrester.
  - Parte 2: Performance of metal-oxide surge arresters under.
  - Parte 3: Temporary overvoltages and their stresses on metal-oxide surge arrestersELECTRA 128, Pág. 99 -125.
  
- ◆ **CIGRÉ Working Group 33.06**  
Metal-oxide surge arresters in AC Systems
  - Parte 4: Stresses in metal-oxide surge arresters due to temporary harmonic overvoltages.ELECTRA 128, Pág. 78 -115
  
- ◆ **CIGRÉ Working Group 33.06**  
Metal-oxide surge arresters in AC Systems
  - Parte 5: Protection performance of metal-oxide surge arresters
  - Parte 6: Selection of metal-oxide surge arrester characteristics from the standards.ELECTRA 133, Pág. 133 - 165
  
- ◆ Siemens AG. Transmisión y Distribución de Energía – División de Alta Tensión – Descargadores de Sobretensiones:  
[www.siemens.com/arresters](http://www.siemens.com/arresters)

## **APÉNDICE:**

### **COMPENDIO DE DESCARGADORES DE OM**

Esta parte de descargadores se explican los términos más importantes usados en la tecnología de los descargadores como así también otros igualmente asociados a esta tecnología.

***Acondicionamiento:*** el acondicionamiento es una parte del ensayo de funcionamiento y tiene lugar antes de la prueba real de la estabilidad térmica, después de que se ha inyectado energía. Este podría ser una causa de posible envejecimiento eléctrico, de manera que el ensayo de funcionamiento real no se lo efectúa en forma simplificada sobre resistores de OM nuevos (flamantes, sin uso). El acondicionamiento consiste en la aplicación de 20 impulsos atmosféricos de corriente a la corriente nominal de descarga, al mismo tiempo que el espécimen (muestra) está energizado con una tensión de frecuencia industrial de 1,2 veces la tensión de operación permanente. Para el ensayo de funcionamiento sobre descargadores de clases de descarga de líneas 2 a 5, se aplican adicionalmente dos impulsos de corriente de gran amplitud consecutivos con un valor de cresta de 100 kA cada uno.

***Aislador hueco de material compuesto:*** aislador hueco hecho de un tubo de FRP con campanas poliméricas aplicadas. El tubo de FRP puede ser del tipo con proceso húmedo o integrado al vacío. Las campanas casi siempre se componen de goma siliconada, con diferencias entre las de tipo goma siliconada RTV, goma siliconada HTV, y LSR/LR. Se aplican utilizando diferentes procesos de fabricación: método a presión, moldeado directo.

**BIL:** abreviación de “basic lightning impulse insulation level (nivel básico de aislamiento a impulso atmosférico)”. Aún cuando se utiliza frecuentemente este término al hacer referencia a las normas IEC, sólo está definido en las normas IEEE y ANSI. En cambio, la norma IEC 60071-1, Séptima edición, 1993-12 usa el término tensión normalizada resistida a impulso atmosférico.

**C 110:** Porcelana de cuarzo

**C 120:** Porcelana de alúmina

**Capacidad de absorción de energía:** Capacidad de absorción de energía con un único impulso. Capacidad de absorción de energía térmica, Clase de descarga de líneas.

**Capacidad de absorción de energía con un único impulso:** la máxima cantidad de energía que puede absorber un descargador durante una única descarga. Además de otros factores, ésta está limitada principalmente por la máxima sollicitación termo-mecánica admisible sobre la cerámica de los resistores de OM. Si se excede este valor de energía, pueden suceder: perforación, agrietamiento o rotura de los resistores de OM (véase la foto).



La capacidad de absorción de energía con un único impulso es menor que la capacidad de absorción de energía térmica. Sin embargo, ambas energías no se consignan como tales en las normas IEC, por lo cual no todos los fabricantes las especifican, y cuando lo hacen, frecuentemente las consignan bajo condiciones básicas diferentes y no comparables. La capacidad de resistir el impulso con corriente de larga duración puede considerarse una medida indirecta de la capacidad de absorción de energía con un único impulso. No obstante, de acuerdo a la IEC 60099-4, la capacidad de absorción de energía sólo está definida por la clase de descarga de líneas.

***Capacidad de absorción de energía térmica:*** máxima cantidad de energía que puede absorber un descargador la forma de sucesivas descargas en un corto intervalo de tiempo sin alcanzar la inestabilidad térmica. La capacidad de absorción de energía térmica es más grande que la capacidad de absorción de energía térmica con un único impulso. Sin embargo, ambas energías no se consignan como tales en las normas IEC, por lo cual no todos los fabricantes las especifican; y cuando lo hacen, frecuentemente las consignan bajo condiciones básicas diferentes y no comparables. En este contexto tiene sentido referirse al ensayo de funcionamiento con impulsos de maniobra: en cuyo caso la capacidad de absorción de energía térmica sería la máxima energía que puede inyectarse dentro del descargador en forma de dos impulsos con corriente de larga duración, mediante el procedimiento, bajo las condiciones y de acuerdo al antiguo criterio del ensayo de funcionamiento. De acuerdo a la IEC 60099-4, la capacidad de absorción de energía sólo está definida por la clase de descarga de líneas.

**Capacidad de resistir el impulso con corriente de larga duración:** éste no es un término de la norma IEC 60099-4. Sin embargo, prácticamente la totalidad de los fabricantes lo enumeran dado que es una buena medida de la capacidad de absorción de energía con un único impulso (la que tampoco se define en la IEC 60099-4). Por lo general es común designar la capacidad de resistir el impulso con corriente de larga duración como el máximo impulso con corriente de larga duración permitido con una duración virtual de la cresta de 2 ms ó 2,4 ms. A esta corriente, se aplican dieciocho impulsos consecutivos sobre los resistores individuales, siguiendo la especificación del ensayo de impulso resistido con corriente de larga duración. Se considera que los resistores pasaron el ensayo si no muestran evidencia alguna de perforación, contorneo, rotura u otro daño significativo, y su tensión residual con impulso atmosférico a la corriente nominal de descarga no ha cambiado en más del 5%.

**Característica tensión de frecuencia industrial-tiempo:** (también: característica U-t o característica V-t) representación de la dependencia de la tensión aplicada de frecuencia industrial respecto de la duración de tiempo permitida. La tensión debe expresarse como valor eficaz, en por unidad, referida a la tensión nominal o a la de operación permanente del descargador. La escala del eje de tiempo es logarítmica y se extiende, por ejemplo, en una gama desde 100 ms hasta 1000 s. Véase la Figura 19 como ejemplo de una característica tensión de frecuencia industrial-tiempo.

**Característica tensión-corriente:** (también: característica U-I o característica V-I) representación de la dependencia de la tensión del descargador respecto de la corriente. Usualmente los valores de cresta de la tensión están sobre el eje de ordenadas, frecuentemente con valores

relacionados al nivel de protección a impulso atmosférico. Los valores de cresta de la corriente (sólo la componente resistiva) están sobre el eje de abscisas, en escala logarítmica y dentro de la gama de varias décadas de magnitud (por ejemplo desde 10  $\mu$ A hasta 100 kA). Véase la Figura 2 como ejemplo de una característica tensión-corriente.

***Característica U-I:*** Característica tensión-corriente

***Característica U-t:*** Característica tensión de frecuencia industrial-tiempo

***Característica V-I:*** Característica tensión-corriente

***Característica V-t:*** Característica tensión de frecuencia industrial-tiempo

***Cemento Portland:*** un tipo de cemento usado, para fijar los accesorios metálicos de los extremos y las bridas a los aisladores rígidos de porcelana y a los aisladores huecos de material compuesto. Dado que aparece corrosión en contacto con el aluminio, si se utilizan bridas de aluminio, debe aplicarse una capa o recubrimiento (ej., material bituminoso) como interfaz antes del barnizado. Puede evitarse esto utilizando cemento sulfuroso.

***Cemento sulfuroso:*** un tipo de cemento que, por ejemplo, se usa para adherir bridas metálicas sobre aisladores de porcelana. El cemento sulfuroso se compone de alrededor del 65 % de sulfuro de alta pureza y aproximadamente el 35 % de rellenos minerales. Se lo vierte a temperaturas de alrededor de 140°C y comienza a fraguar cuando la temperatura cae por debajo de 120°C. La ventaja del cemento sulfuroso sobre el cemento Portland, es, entre otras, su contacto sin inconvenientes con el aluminio. Su

desventaja es la pérdida de resistencia que comienza a manifestarse a temperaturas arriba de 90°C. Dado que estas temperaturas no se alcanzan en las bridas, el cemento sulfuroso se usa frecuentemente para los descargadores.

**Clase del alivio de presión:** de acuerdo a la 1EC 60099-1, Edición 3, 1991-05, el valor eficaz de la máxima corriente simétrica de corto circuito (dado en kiloamperios, en parte también en letras de la A a la D) que puede circular después de haberse sobrecargado el descargador, sin causar un violento estallido de la envoltura. En la recientemente publicada 1EC 6(1099-1, Edición 3.1, 1999-12, se ha reemplazado la clase del alivio de presión por la corriente (resistida) nominal de corto circuito. El comportamiento del corto circuito (o del alivio de presión) se comprueba por medio de los ensayos de cortocircuito (antes: ensayos del alivio de presión). Véase también capacidad de (resistir el) corto circuito.

**Clase de descarga de líneas:** la clase de descarga de líneas es la única posibilidad en la 1EC 60099-4 para especificar la capacidad de absorción de energía de un descargador. Hay cinco clases de descarga de líneas (1 a 5) que se definen por las demandas crecientes de la capacidad de absorción de energía. Difieren entre sí de acuerdo a los parámetros de ensayo en el ensayo de descarga de líneas. La capacidad de absorción de energía térmica de un descargador puede deducirse de su clase de descarga de conjuntamente con su tensión residual con impulso de maniobra. Véase la Figura 20 con la explicación que la acompaña.

**Condiciones anormales de servicio:** se definen en la 1EC 60099-4, Anexo A, como así también en el documento 1EC 37/268/FDIS (Enmienda 2 de la 1EC 60099-4), sub-cláusula 13.4.2. "Typical information given with enquiries

and tenders” (información típica a suministrar en los pedidos de provisión y en las peticiones de ofertas) también se incluye en la IEC 60099-4, Anexo G, Véase también Condiciones normales de servicio.

**Condiciones normales de servicio:** de acuerdo a la IEC 60099-4, sub-cláusula 4.4.1, las condiciones siguientes se consideran condiciones normales de servicio:

- ◆ Temperatura ambiente entre  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+40^{\circ}\text{C}$
- ◆ Radiación solar  $1,1\text{ kW/m}^2$
- ◆ Altitud menor o igual que 1000m sobre el nivel del mar
- ◆ Frecuencia de servicio comprendida entre 48Hz y 62Hz
- ◆ Tensión permanente de frecuencia industrial entre los terminales del descargador menor que su tensión de operación permanente

De acuerdo al documento IEC 37/268/FDIS (Enmienda 2 de la IEC 60099-4), sub-cláusula 13.4.1, viento con velocidad de hasta 34m/s, como así también el montaje vertical del descargador, también son condiciones normales de servicio. Véanse también las condiciones anormales de servicio.

**Contador de descargas:** aparato que se acopla al exterior del descargador (véase la foto abajo), que posee un registro electromecánico o electrónico para grabar la cantidad de descargas del descargador. El contador de descargas se conecta en serie con la conexión de tierra del descargador. Esto requiere la instalación del descargador aislado de tierra por medio de una base aislante.



**Contorneo (cebado) inverso:** contorneo sobre un aislador de línea causado por la elevación del potencial de una torre o de un poste durante el impacto de un rayo sobre la tierra aérea (hilo de guardia), o sobre la torre o el poste mismos. Particularmente se dan estos contorneos cuando se tienen altas impedancias de puesta a tierra de las torres, dado que éstas producen altas caídas de tensión durante la circulación de la corriente de descarga del rayo.

**Coordinación del aislamiento:** la selección de la rigidez dieléctrica del equipamiento en relación con las tensiones que pueden aparecer en el sistema para el cual el equipamiento está destinado, teniendo en cuenta al mismo tiempo, el medio ambiente de servicio y las características de los aparatos disponibles de protección contra las sobretensiones (IEC 60071-1, cláusula 3.1).

**Corriente de referencia:** valor de cresta (el mayor valor de cresta de ambas polaridades si la corriente es asimétrica) de la corriente de frecuencia industrial que se usa para determinar la tensión de referencia. El fabricante

especifica la corriente de referencia para cada tipo de resistor de OM, y se encuentra aproximadamente en la gama de los 0,5 mA hasta los 10 mA.

Debe seleccionarse lo suficientemente grande como para que el valor de cresta claramente sea causado por la componente resistiva de la corriente permanente, de manera tal que la indicación de la tensión de referencia no se vea influenciada por capacitancias parásitas. Puede encontrarse un ejemplo de una indicación de la tensión de referencia a la corriente de referencia bajo el término: tensión de referencia.

**Corriente nominal de corto circuito (*short-circuit rating*):** Capacidad de resistir el) corto circuito.

**Corriente nominal de descarga:** valor de cresta de un impulso atmosférico de corriente usado para clasificar un descargador. La IEC 60099-4 lista cinco diferentes valores posibles de corriente nominal de descarga: 1,5 kA, 2,5 kA, 5 kA, 10 kA y 20 kA. Para los descargadores de distribución puede considerarse la corriente nominal de descarga como una medida directa de la capacidad de absorción de energía. Para los descargadores de alta tensión, las características de operación no quedan totalmente descritas por la corriente nominal de descarga. Por esta razón deben considerarse parámetros adicionales, tales como la clase de descarga de líneas.

**Corriente permanente:** corriente que circula a través del descargador cuando está energizado a la tensión de operación permanente. A la tensión alterna, la corriente consta de una gran componente capacitiva y de una componente resistiva considerablemente menor, dependiendo ambas de los resistores de OM usados. La parte capacitiva está fuertemente afectada por capacitancias parásitas y por lo tanto también depende de la ubicación real

del descargador y de sus dimensiones totales. El valor de cresta de la corriente permanente, como se lo mide 'in situ', se encuentra por lo general dentro de la gama de 0,5 mA a 2 mA.

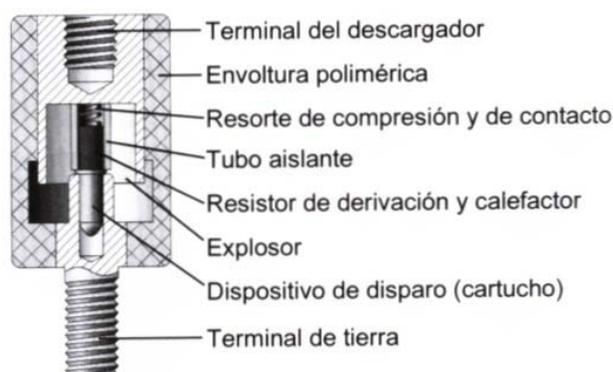
**Corriente (resistida) nominal de corto circuito:** ("Rated short circuit (withstand) capability"; símbolo:  $I_s$ ) de acuerdo a la recientemente publicada IEC 60099-1, Ed. 3.1, 1999-12, el valor eficaz de la máxima corriente simétrica de corto circuito que puede circular después de haberse sobrecargado el descargador, sin causar un violento estallido de la envoltura. Reemplaza a la -clase del alivio de presión de la anterior edición de la norma IEC 60099-1, Ed. 3, 1991-05. Este comportamiento se comprueba por medio de los ensayos de corto circuito (antes: ensayos del alivio de presión).

**Degradación:** Envejecimiento eléctrico

**Descarga atmosférica directa sobre los conductores principales de la línea en las adyacencias del descargador:** este término, dentro del contexto del descargador, se refiere a la descarga atmosférica que impacta directamente sobre un conductor de la línea aérea en un punto tan cercano al descargador, que la sobretensión - en la forma de onda progresiva - alcanza al descargador antes de que se produzca un contorneo (cebado) del aislador. Esto ocurre frecuentemente en sistemas de distribución y usualmente destruye al descargador afectado. Los descargadores - en particular los de estación - normalmente se configuran asumiendo que la mayor parte de la carga contenida en la descarga atmosférica ya se ha desviado a tierra mediante contorneo(s) en los aisladores de línea antes de alcanzar al descargador.

**Descargador con explosores:** descargador que posee uno o más explosores en serie con uno o más resistores no lineales (IEC 60099-1, cláusula 2.2). Aún cuando también hay descargadores de óxido metálico con explosores, tanto internos como extremos (descargador de línea), y aún cuando hay otros diseños con explosores en paralelo (conectados en paralelo con los resistores no lineales), generalmente se describen como “descargadores con explosores” a los descargadores de carburo de silicio (SiC) con explosores internos en serie, que se encontraban en uso antes de la introducción de los descargadores de óxido metálico sin explosores.

**Descargador de línea:** también: descargador de línea de transmisión (TLA) o descargador de sobretensiones de línea de transmisión (TLSA); descargador que se instala en una línea aérea en paralelo con el aislador de la línea para evitar contorneos en el aislador. Los descargadores de línea preferentemente se instalan donde aparecen frecuentes contorneos inversos debidos a la pérdida o a la inadecuada puesta a tierra de la línea aérea o el hilo de guardia y/o las altas impedancias de las puestas a tierra de las torres (ej., terreno rocoso). A fin de mejorar la calidad de servicio de una línea de distribución o transmisión ya existente, la instalación de descargadores de línea sobre todas, o solamente sobre algunas, de las torres o postes es, en muchos casos, un ahorro de costos frente a la alternativa de mejorar el blindaje (hilo de guardia) de la línea o la puesta a tierra de las torres o postes. Los descargadores de línea se usan no sólo en la tecnología sin explosores, sino también en conjunto con un explosor extremo en serie, el que lo aísla de la línea durante la operación normal (y luego de una sobrecarga).



**Descargador de OM:** Descargador de óxido metálico

**Descargador de Óxido metálico:** (más precisamente: descargador de óxido metálico sin explosores) de acuerdo a la IEC 60099-4, cláusula 2.1, un descargador con resistores de óxido metálico no lineales (en función de la tensión) que se conectan en serie o en paralelo sin explosores serie o paralelo asociados. Sin embargo, de acuerdo con la norma americana de descargadores IEEE C62.11, cláusula 3.51, un “descargador de sobretensiones de óxido metálico (MOSA)” no es definitivamente un descargador sin explosores, sino que puede contener explosores serie o paralelo internos.

**Descargador (de sobretensiones) de línea de transmisión:** Descargador línea

**Descargador de sobretensiones de óxido metálico:** Descargadores de óxido metálico

**Desconectador (dispositivo de desconexión):** aparato conectado en el terminal de tierra del descargador que separa al descargador del sistema luego de una sobrecarga. Este es de especial importancia en conjunto con los descargadores de envoltura polimérica, dado que su envoltura no se deteriora durante una falla, y la perforación y los canales de contorno como así también las huellas de quemaduras y caminos de carbón negro luego de la misma conforman una falla a tierra (mientras que un descargador de porcelana con frecuencia se rompe en pedamos totalmente, quedando así aislado de la línea). Sin el desconectador - al menos en un sistema con neutro rígido a tierra - ya no sería posible una operación subsiguiente de la sección de línea involucrada. La desventaja, no obstante, es que después de la desconexión de un descargador -lo que normalmente pasa inadvertido - ya no es posible la protección contra sobretensiones. Los desconectores solamente se instalan en sistemas de distribución o asociados a descargadores de línea. Uno de los principios de operación más comunes de los desconectores actualmente en fabricación es la ignición de un pequeño dispositivo explosivo (ej., un cartucho de pistola de gas) provocada por efecto térmico de la corriente (de frecuencia industrial) de falla a tierra que circula luego de una falla del descargador. El dispositivo explosivo desgarrar la envoltura polimérica circundante y provoca la desvinculación del conductor flexible a tierra del descargador.

**Desconectador del descargador:** Desconectador

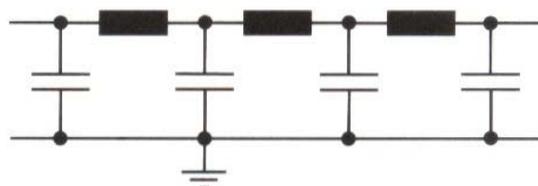
**DIN:** abreviación de “Deutsches Institut für Normung e.V.”, organización alemana dedicada a la normalización con base en Berlín.

**Distancia disruptiva garantizada:** distancia disruptiva de un aislador garantizada por el fabricante, teniendo en cuenta posibles tolerancias

dimensionales que se originan en el proceso de fabricación; normalmente un pequeño porcentaje menor que la distancia disruptiva nominal.

***Distancia disruptiva nominal:*** distancia disruptiva se asigna al aislador. La distancia disruptiva real puede desviarse en un mínimo porcentaje en más o en menos, como resultado de tolerancias de fabricación. Véase también la distancia disruptiva garantizada.

***Elemento pi:*** (elemento  $\pi$ ) se designa como elemento  $\pi$  a un segmento de un circuito eléctrico equivalente cuando éste está compuesto de un elemento en serie con la línea y dos elementos en paralelo, uno a cada lado del elemento serie, conectados entre la línea y la referencia de tierra. Una línea de transmisión o distribución de potencia puede representarse mediante elementos  $\pi$  conectados en serie, cuyos elementos en serie consisten en inductancias y cuyos elementos en paralelo consisten en capacitancias a tierra; véase el diagrama:

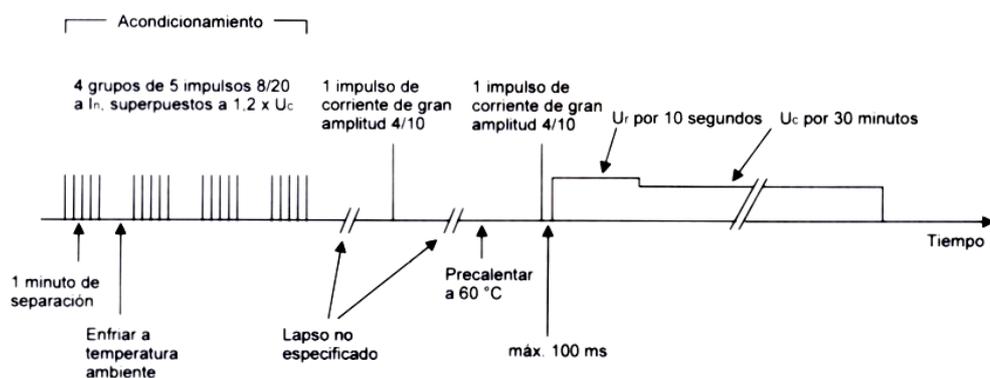


***Ensayo de descarga de líneas:*** el ensayo de descarga de líneas es una forma especial del ensayo de impulso resistido con corriente de larga duración. En este ensayo (1EC 60099-4, sub-cláusula 7.4.2), un descargador, una sección de descargador, o un resistor de OM individual, se exponen a 18 impulsos con corriente de larga duración, los que se especifican en detalle en la 1EC 60099-4, Tabla 4. Se considera que el

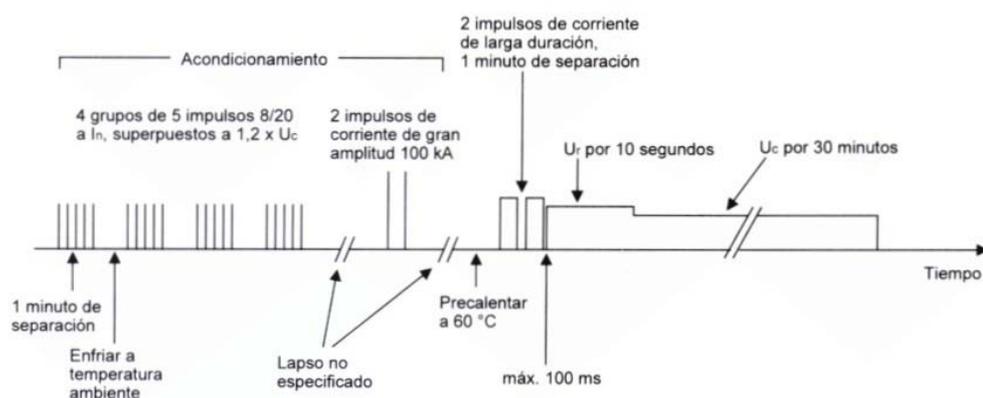
espécimen pasó el ensayo si los resistores no muestran evidencia alguna de perforación, contorneo, rotura u otro daño significativo y su tensión residual con impulso atmosférico a la corriente nominal de descarga no ha cambiado en más de un 5%.

***Ensayo de descargas parciales:*** este ensayo comprueba que cuando se aplica una tensión de 1,05 veces la tensión de operación permanente, el descargador esté suficientemente libre de descargas parciales internas. De acuerdo a la 1EC 60099-4, Ed. 1.1, 1998-08, “suficientemente libre” significaba un nivel de descargas parciales de  $\leq 50\text{pC}$ . En la Enmienda 2 (documento 1EC 37/268/FDIS), ya publicado como norma (incluido en la 1EC 60099-4, Ed. 1.2, 2001-12), este valor se ha reducido a  $\leq 10\text{pC}$ , y el ensayo de descargas parciales también forma parte de los ensayos de tipo, mientras que hasta la fecha sólo se lo definía como un ensayo de rutina y un ensayo de recepción.

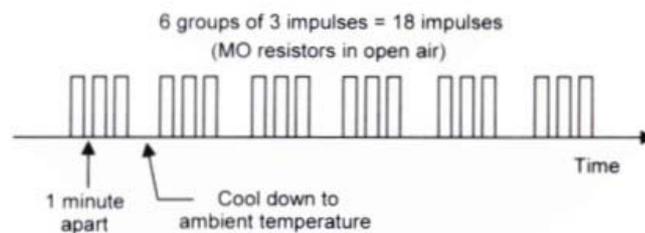
***Ensayo de funcionamiento con impulso de corriente de gran amplitud:*** véase la IEC 60099-4, sub-cláusula 7.5.4. A efectuarse sobre todos los descargadores de corriente nominal de descarga de 1,5 kA, 2,5 kA o 5 kA y sobre descargadores con corriente de descarga nominal de 10 kA y clase de descarga de líneas 1. La secuencia está graficada esquemáticamente en el diagrama mostrado debajo de este párrafo. También están sujetos al ensayo de funcionamiento con impulso de corriente de gran amplitud los Descargadores de Servicio Intensivo para Descargas Atmosféricas de 20 kA para la gama de tensiones de 1 kV a 52 kV. Sin embargo, se lleva a cabo en una secuencia diferente (véase la 1EC 60099-4, Anexo C).



**Ensayo de funcionamiento con impulso de maniobra:** véase la 1EC 60099-4, sub-cláusula 7.5.5. A efectuarse sobre descargadores de 10 kA de clases de descarga de líneas 2 y 3, como así también sobre descargadores de 20 kA de clases de descarga de líneas 4 y 5. En el siguiente diagrama se representa esquemáticamente la secuencia:



**Ensayo de impulso resistido con corriente de larga duración:** este ensayo, de acuerdo a la 1EC 60099-4, cláusula 7.4, es útil - indirectamente - como una prueba de la capacidad de absorción de energía con un único impulso, aunque no está definido en la norma 1EC. El ensayo se realiza en un ambiente abierto, sobre resistores de OM individuales de acuerdo con el diagrama adjunto:



Se considera que los resistores pasaron el ensayo si no muestran evidencia alguna de perforación, contorneo, rotura u otro daño significativo, y su tensión residual con impulso atmosférico a la corriente nominal de descarga no ha cambiado en más del 5%.

**Ensayos:** Ensayos de tipo, Ensayos de rutina, Ensayos de recepción

**Ensayos de corto circuito:** (antes: ensayos del alivio de presión) en descargadores para los que el fabricante reivindica la capacidad de (resistir el) corto circuito (antes: sobre descargadores equipados con dispositivos de alivio de presión), estos ensayos comprueban, entre otras cosas, que la envoltura del descargador es capaz de resistir comentes de corto circuito bajo condiciones de ensayo especificadas sin causar un violento estallido de

la envoltura (se permite explícitamente la rotura no producida por explosión de sobrepresión interna). Hasta el presente estos ensayos no se determinaban en la norma IEC 60099-4, sino en cambio, únicamente en la 60099-1. Sin embargo, actualmente se están considerando nuevos procedimientos de ensayo, especialmente para descargadores de OM (documento IEC 37/268/FDIS y que forma parte de la Enmienda 2 dentro de la última edición de IEC 60099-4, Ed. 1.2, 2001-12). Los ensayos del alivio de presión deben realizarse tanto para la corriente de corto circuito elevada (dentro de la gama de 1,5 kA hasta 50 kA, y una duración de 200ms) como para la corriente de corto circuito baja o reducida ( $600 \text{ A} \pm 200 \text{ A}$  con una duración de 1s).

**Ensayos de funcionamiento:** en los ensayos de funcionamiento (IEC 60099-4, cláusula 7.5) se comprueba que después de habersele inyectado la energía, el descargador permanece térmicamente estable (es decir, se refrigera hasta la temperatura normal de operación) bajo condiciones de aplicación simultánea de sobretensión temporaria. Se eligen los parámetros de ensayo que reflejen las peores condiciones respecto de: posible envejecimiento eléctrico (degradación) de los resistores de OM, el ambiente y la temperatura de funcionamiento. Los ensayos de funcionamiento pueden efectuarse sobre secciones de descargador, las que representan al descargador real respecto del comportamiento eléctrico y térmico (sección prorrateada térmicamente equivalente). Deben hacerse distinciones entre el ensayo de funcionamiento con impulso de corriente de gran amplitud y el ensayo de funcionamiento con impulsos de maniobra.

**Ensayos de recepción:** de acuerdo a la IEC 60099-4, cuando el comprador especifica la realización de los ensayos de recepción en su orden de compra se realizan los siguientes ensayos normalizados sobre descargadores de

OM sin explosores. Se efectuarán sobre una cantidad de descargadores igual al número entero más próximo, pero no mayor, que la raíz cúbica del número de descargadores a recepcionar.

- ◆ Medición de la tensión de frecuencia industrial sobre el descargador completo a la corriente de referencia.
- ◆ Medición de la tensión residual con impulso atmosférico sobre el descargador completo o individualmente sobre las unidades de descargador, si es posible a la corriente nominal de descarga.
- ◆ Ensayo de descargas parciales sobre el descargador completo o individualmente sobre las unidades de descargador.
- ◆ Ensayo de hermeticidad (estanqueidad).

***Ensayos de rutina (ensayos individuales)***: de acuerdo a la IEC 60099-4, sobre los descargadores de OM sin explosores deben efectuarse, como mínimo, los siguientes ensayos de rutina:

- ◆ Medición de la tensión de referencia
- ◆ Ensayo de tensión residual (sobre el descargador completo, unidades de descargador o muestras compuestas de uno o más resistores de OM)
- ◆ Ensayo de descargas parciales
- ◆ Ensayo de hermeticidad (estanqueidad)
- ◆ Ensayo de distribución de la comente (sólo en el caso de los descargadores multicolumna).

***Ensayos de tipo (ensayos de diseño):*** de acuerdo a la IEC 60099-4, sobre los descargadores de OM sin explosores se efectúan los siguientes ensayos de tipo:

- ◆ Ensayos de tensiones resistidas por la envoltura del descargador
- ◆ Ensayos de tensión residual
- ◆ Ensayo de resistencia a impulso con corriente de larga duración
- ◆ Ensayo de funcionamiento
- ◆ Ensayo del alivio de presión/corto circuito (todavía en conformidad con la IEC 60099-1. Véase también la IEC 60099-4, Ed.1.2, 2001-12, Anexo Informativo O)
- ◆ Ensayo de contaminación artificial (en conformidad con el Anexo F de la IEC 60099-4)
- ◆ Ensayo de repartición de la corriente (solamente en el caso de descargadores multicolumna)

Los requerimientos adicionales siguientes se aplican de acuerdo con el documento de anteproyecto (draft) IEC 37/268/FDIS, ya incluidos en la IEC 60099-4, Ed.1.2, 2001-12:

- ◆ Ensayo de descargas parciales
- ◆ Ensayo del momento de torsión
- ◆ Ensayos ambientales
- ◆ Ensayo de hermeticidad (estanqueidad)

***Ensayos del alivio de presión:*** Ensayos de corto circuito

***Envejecimiento eléctrico:*** (también: degradación) cambios (o mejor, deterioro) de la característica tensión-corriente de un resistor de OM o de un descargador en la región de la corriente permanente. Con la tecnología actual de fabricación de los resistores de OM y bajo solicitaciones energéticas dentro de los límites especificados por los fabricantes, no se prevé que ocurra envejecimiento eléctrico. Sin embargo, esto puede suceder bajo condiciones de esfuerzos debidos a corrientes de impulso extraordinariamente elevadas. También, ciertos compuestos en la atmósfera gaseosa que rodea a los resistores de OM, u otros materiales aislantes sólidos o líquidos en contacto directo con los resistores pueden, mediante reacciones químicas, provocar envejecimiento eléctrico si no se toman medidas directas para evitarlo durante el desarrollo y la producción de los resistores de OM y de los descargadores. El envejecimiento eléctrico es parcialmente reversible (la característica tensión-corriente “se recupera o se restablece”).

***Factor de falla a tierra:*** (símbolo: **k**) en un sitio determinado, la relación entre el valor eficaz de la máxima tensión de frecuencia industrial fase a tierra en una Fase sana durante una falla a tierra, la que afecta a una o más fases del sistema, y el valor eficaz de la tensión de frecuencia industrial fase a tierra que se obtendría en el sitio determinado en ausencia de dicha falla (1EC 60071-1, cláusula 3.15). El factor de falla a tierra sólo hace referencia a un punto particular de un sistema trifásico, y a una particular condición del sistema. La magnitud del factor de falla a tierra depende del método de puesta a tierra del neutro del sistema:  $k \leq 1.4$  para un sistema con neutro rígido a tierra, y  $k \geq 1,73$  para sistemas con neutro a tierra resonante o con neutro aislado.

**Factor de seguridad  $K_S$ :** factor por el que debe multiplicarse la tensión resistida de coordinación para obtener la tensión resistida requerida de un aparato (y en consecuencia, su tensión resistida nominal). Más sencillamente, es necesario asegurar que no aparezca en los terminales del equipamiento tensiones superiores a su tensión normalizada resistida, dividida por el factor de seguridad  $K_S$ . Usualmente los descargadores protegen aislamientos no auto regenerativas (con excepción de, por ejemplo, los descargadores de línea. En estos casos se aplica  $K_S = 1,15$ . Así, por ejemplo, para proteger un transformador con una tensión normalizada resistida a impulso atmosférico de 1425 kV en un sistema de  $U_S = 420$  kV, deben seleccionarse el nivel de protección a impulso atmosférico y la ubicación de los descargadores de manera tal que en los terminales de los pasatapas del transformador la sobretensión atmosférica no exceda los  $1425 \text{ kV} / 1,15 = 1239$  kV. Para una definición exacta de los términos mencionados arriba, como así también su significado y como se determinan y aplican durante el proceso de coordinación del aislamiento, véanse las normas IEC 60071-1 y 60071-2.

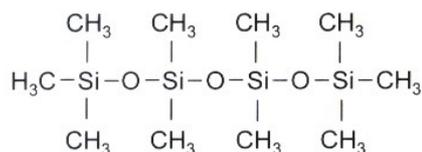
**FRP:** Plástico reforzado con fibras de vidrio

**Gamas de las máximas tensiones para el equipamiento:** de acuerdo a la IEC 60071-1, cláusula 4.8, las máximas tensiones normalizadas para el equipamiento se clasifican en dos gamas:

- ◆ Gama I:  $1 \text{ kV} \leq U_m \leq 245 \text{ kV}$
- ◆ Gama II:  $U_m > 245 \text{ kV}$

**Generador de impulso de constantes distribuidas:** generador para simular el circuito equivalente de una línea mediante elementos  $\pi$  (reactores en serie y capacitores en paralelo) distribuidos y conectados en serie. En los laboratorios de corrientes de impulso para ensayo de descargadores, los generadores de impulso de constantes distribuidas se usan para el ensayo de impulso resistido con corriente de larga duración (1EC 60099-4, sub-cláusula 7.4.3), el ensayo de descarga de líneas (1EC 60099-4, sub-cláusula 7.4.2) y el ensayo de funcionamiento con impulsos tipo maniobra (1EC 60099<sup>^</sup>, sub-cláusula 7.5.5). Se da un ejemplo de un generador de impulso de constantes distribuidas en la 1EC 60099-4, Anexo J.

**Goma siliconada:** (la abreviatura química correcta es: SI, o, dependiendo de los tipos particulares: MQ, VMQ, PMQ, PVMQ (en la bibliografía frecuentemente es: SIR). La estructura básica es Si-O-Si-O con sus grupos metilo agregados (CH<sub>3</sub>) es característico de la goma siliconada:



Rellenos, como el trihidrato de aluminio (ATH) o aditivos especiales, afectan la resistencia a la erosión y a la formación de caminos conductores (*tracking resistanse*), muy necesaria en aplicaciones de alta tensión. La goma siliconada no sólo proporciona importantes ventajas como alta elasticidad y resistencia a la rotura, elevada resistencia a la temperatura (aplicación exenta de inconvenientes dentro de la gama de temperaturas de -45°C a +180°C), propiedades de retardo de la llama (en caso de incendio sólo se producen residuos de ácido de silicio) y resistencia a elevadas intensidades

de campos eléctricos, sino además la propiedad más notable de la goma siliconada, su repelencia del agua: el agua simplemente se escurre de la superficie de la silicona, Esta propiedad se extiende también a las delgadas capas de contaminación, donde el aislador de goma siliconada repele el agua aun en condiciones de contaminación muy severas, prestando así especialmente buenas condiciones de funcionamiento a los aparatos asociados, en ambientes con contaminación. De hecho la repelencia del agua puede disminuir cuando se la expone a efectos muy prolongados de humedad o a gran cantidad de descargas eléctricas; no obstante, una vez terminadas estas condiciones, las propiedades originales de repeler el agua retoman en corto tiempo (en pocas horas o días) - un mecanismo cuyo efecto, hasta donde se sabe actualmente, es interminable. La goma siliconada se procesa en tres formas básicas diferentes: goma siliconada HTV, goma siliconada RTV y LSR o LR.

**Goma siliconada HTV:** Goma siliconada vulcanizada a altas temperaturas. Un tipo de componente de la goma siliconada, que se entrega en condiciones de viscosidad extremadamente alta (comparable a la goma natural). Se inyecta dentro del molde bajo altas presiones (varias decenas de MPa) y altas temperaturas (> 150°C) y finalmente es vulcanizada bajo altas temperaturas similares.

**Goma siliconada RTV:** goma siliconada vulcanizada a temperatura ambiente. Un tipo de goma siliconada que se comercializa en estado de baja viscosidad. Se mezclan dos componentes en proporciones cuantitativamente muy diferentes y se vierte en moldes a presión normal con temperaturas de proceso a partir de la temperatura ambiente. Sin embargo, el vulcanizado se produce usualmente a temperaturas más altas a fin de reducir el tiempo del proceso. Cada vez más está siendo reemplazada por la LSR (LR).

**IEC:** abreviación de "International Electrotechnical Commission". Comisión para la normalización mundial en el área de la electrotecnología, con oficina central en Ginebra, Suiza.

**IEEE:** abreviación de "Institute of Electrical and Electronics Engineers" (Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos) y una organización americana que, además de otras tareas, elabora normas en el campo de la tecnología eléctrica y de la información, con base en la ciudad de Nueva York, EUA.

**Impedancia de onda (o característica):** impedancia correspondiente a los procesos de ondas progresivas en una línea. Ignorando la componente resistiva, la impedancia característica resulta a partir de la inductancia y la capacitancia por unidad de longitud de la línea según:

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad , \text{ con:}$$

*Z:* impedancia de onda, en  $\Omega$

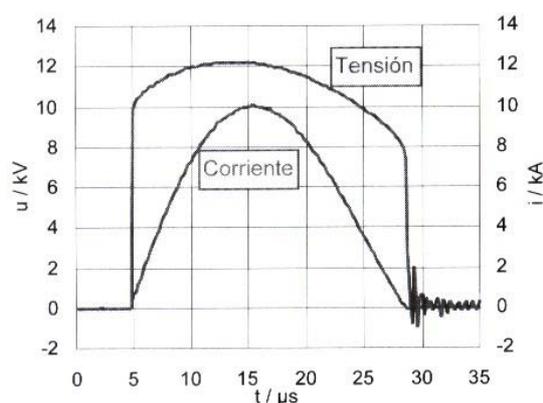
*L':* inductancia por unidad de longitud, en H/km

*C':* capacitancia por unidad de longitud, en F/km

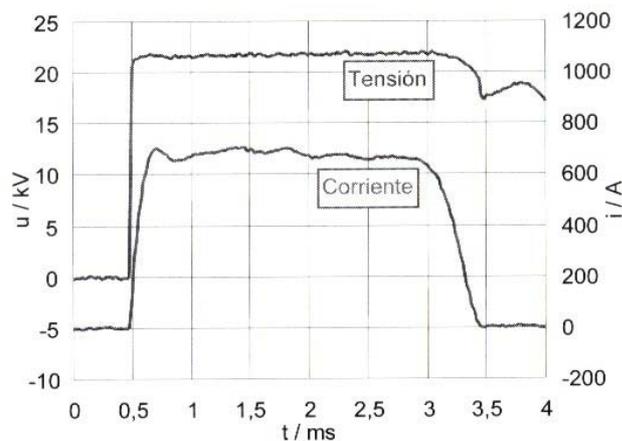
De la ecuación anterior se infiere que la impedancia de onda no depende de la longitud, es decir, es la misma en cualquier punto de la línea. Para las líneas de transmisión en alta tensión su valor se encuentra entre aproximadamente  $300\Omega$  ( $U_s = 800 \text{ kV}$ ) y  $450\Omega$  ( $U_s \leq 245 \text{ kV}$ ).

**Imprimación:** fluido químico que se aplica antes de que la goma siliconada se moldee sobre los otros componentes y que produce una fuerte vinculación química entre la goma siliconada y cualquier otro material (aluminio, FRP, resistores de OM), previo al vulcanizado.

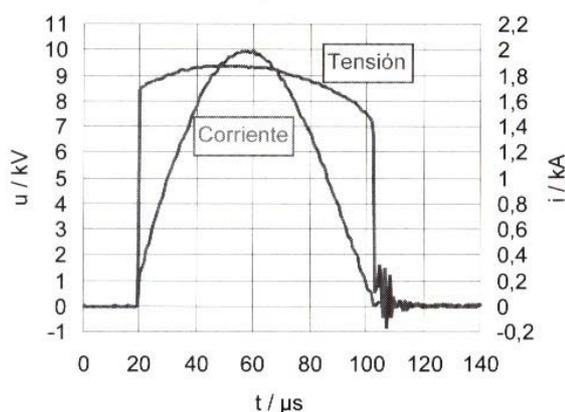
**Impulso atmosférico de corriente:** impulso de corriente 8/20 con un tiempo de frente entre  $7\mu\text{s}$  y  $9\mu\text{s}$  y un tiempo hasta el valor mitad en la cola entre  $18\mu\text{s}$  y  $22\mu\text{s}$  (IEC 60099-4, cláusula 2.17). Los impulsos atmosféricos de corriente se usan en el laboratorio para averiguar la característica tensión-corriente de los descargadores, secciones de descargador o resistores de OM, como así también durante el acondicionamiento como parte del ensayo de funcionamiento. Son producidos mediante la descarga de un capacitor en un circuito RLC amortiguado aperiódico. Las amplitudes de la corriente están dentro de la gama de 100A a 40kA. El oscilograma representa un ejemplo de medición de la tensión residual sobre un resistor de OM sometido a un impulso atmosférico de corriente de 10kA:



***Impulso con corriente de larga duración:*** un impulso de corriente rectangular que rápidamente se eleva hasta su valor máximo, permanece sustancialmente constante durante un periodo de tiempo especificado, y luego cae rápidamente a cero. Los parámetros característicos de un impulso de corriente de larga duración incluyen polaridad, valor de cresta, duración virtual de la cresta y duración virtual total (IEC 60099-4, cláusula 2.18). En los laboratorios los impulsos con corriente de larga duración son necesarios para el ensayo de impulso resistido con corriente de larga duración y el ensayo de funcionamiento con impulsos de maniobra sobre resistores de OM individuales, secciones de descargador o descargadores. Generalmente se los genera por medio de la descarga de un generador de impulso de constantes distribuidas, el que está compuesto de capacitores y reactores con núcleo de aire. Las corrientes de impulso tienen valores de cresta de hasta 2kA y duraciones virtuales totales de hasta varios milisegundos. El oscilograma siguiente representa un ejemplo de un ensayo de impulso resistido con corriente de larga duración, sobre una sección de descargador, con un valor de cresta de la corriente de alrededor de 700A y una duración virtual de la cresta de 2,4ms (corresponde a la forma típica de la comente de un ensayo de descarga de líneas para una clase de descarga de líneas 3).



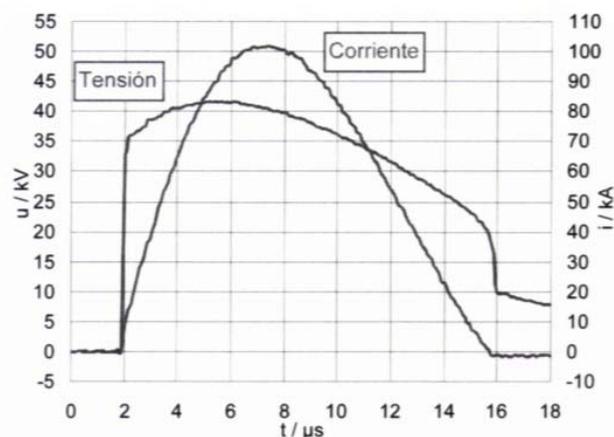
**Impulso con corriente de maniobra:** valor de cresta de un impulso de corriente con un tiempo de frente entre  $30\mu\text{s}$  y  $100\mu\text{s}$  y un tiempo hasta el valor mitad en la cola de aproximadamente el doble del tiempo de frente (IEC 60099-4, cláusula 2.32). En el laboratorio los impulsos con corriente de maniobra se usan para determinar la característica tensión-corriente de los descargadores, secciones de descargador o resistores de OM. Son producidos mediante la descarga de un capacitor en un circuito RLC amortiguado aperiódico. La amplitud de la corriente está dentro de la gama de 125A hasta 2kA (véase la IEC 60099-4, Tabla 3). El siguiente oscilograma ilustra un ejemplo de una medición de la tensión residual sobre un resistor de OM a una corriente de impulso de maniobra de 2kA:



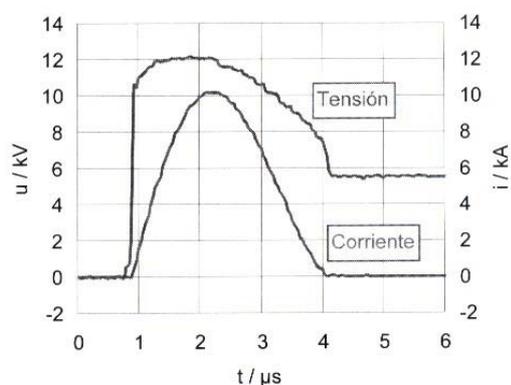
**Impulso de corriente:** impulso de corriente unidireccional, que idealmente se eleva rápidamente al valor de cresta, y luego - por lo general más lentamente - retoma a cero. Los parámetros que definen un impulso de corriente son la polaridad, el valor de cresta, el tiempo virtual de frente  $T_1$  y el tiempo virtual hasta el valor mitad en la cola  $T_2$  en microsegundos (excepción: impulso de corriente de larga duración, el que se caracteriza por la polaridad, el valor de cresta, la duración virtual de la cresta y la duración virtual total). Este se representa como  $T_1/T_2$ , sin información sobre las

unidades de tiempo. Por ejemplo, el impulso atmosférico de corriente ( $T_1 = 8\mu\text{s}$ ,  $T_2 = 20\mu\text{s}$ ) se describe como una corriente de la forma 8/20.

***Impulso con corriente de gran amplitud:*** valor de cresta de un impulso de corriente 4/10, usado para ensayar la estabilidad de un descargador en caso de impactos directos de rayos sobre conductores principales de la línea en las adyacencias del descargador (IEC 60099-4, cláusula 2.31). Debe observarse, no obstante, que un impulso de corriente de gran amplitud de, por ejemplo, 100kA, tiene poco que ver con una corriente de una descarga atmosférica real con el mismo valor, que puede durar varias decenas, hasta una centena, de microsegundos. Especialmente, al ensayar descargadores con resistores de OM de más de 40mm de diámetro, el impulso de corriente de gran amplitud significa menos una energía, y mucho más una sollicitación dieléctrica (a causa de la extraordinariamente elevada tensión residual). En los laboratorios los impulsos de corriente de gran amplitud son necesarios para los ensayos de funcionamiento sobre descargadores o secciones de descargador. Son producidos mediante la descarga de un capacitor en un circuito RLC amortiguado aperiódico. La amplitud de la corriente está dentro de la gama de 10kA a 100kA. El siguiente oscilograma ilustra un ejemplo de un ensayo de impulso de corriente de gran amplitud sobre una sección de un descargador con una amplitud de corriente de 100kA.

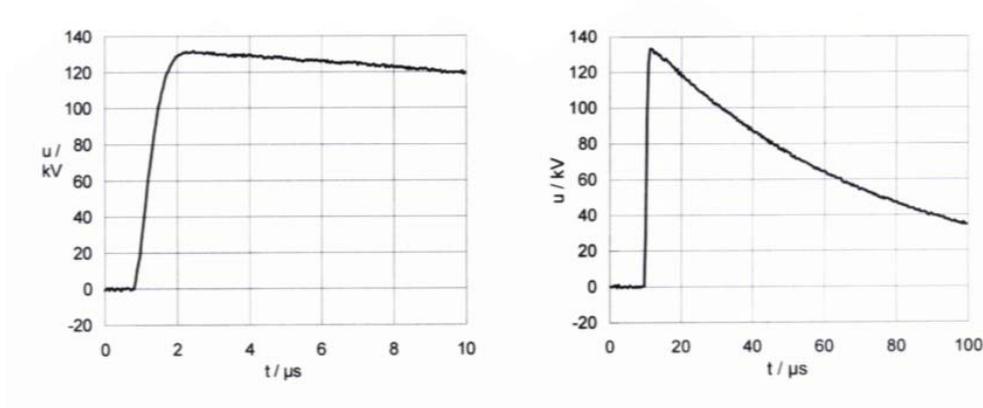


***Impulso escarpado de corriente:*** impulso de corriente con un tiempo de frente entre  $0,9\mu\text{s}$  y  $1,1\mu\text{s}$  y un tiempo hasta el valor mitad en la cola no mayor de  $20\mu\text{s}$  (IEC 60099-4, cláusula 2.16). En el laboratorio los impulsos escarpados de corriente se usan para determinar la característica tensión-corriente de los descargadores, secciones de descargador o resistores de OM, Se producen en un ensayo de baja inductancia, frecuentemente coaxial, generado por la descarga, prácticamente no amortiguada, de un capacitor, dentro de la muestra en ensayo. Las amplitudes de corriente están dentro de la gama de  $1,5\text{kA}$  hasta  $20\text{kA}$ . El siguiente oscilograma ilustra un ejemplo de una medición de la tensión residual sobre un resistor de OM a un impulso escarpado de corriente de  $10\text{kA}$ :

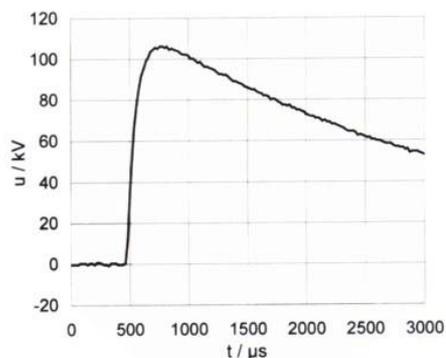
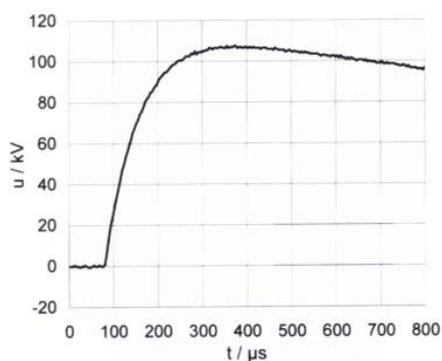


***Impulso rectangular de corriente:*** Impulso de corriente de larga duración

***Impulso (tensión de impulso) atmosférico normalizado:*** tensión normalizada de ensayo definida en la IEC 60060-1, usada para comprobar que el aislamiento pueda soportar las sollicitaciones impuestas por las sobretensiones de frente escarpado. El impulso atmosférico normalizado 1,2/50 tiene un tiempo de frente de 1,2 $\mu$ s y un tiempo hasta el valor mitad en la cola de 50 $\mu$ s. Los dos oscilogramas siguientes representan el impulso atmosférico normalizado en dos escalas de tiempo diferentes:



***Impulso (tensión de impulso) de maniobra normalizado:*** tensión normalizada de ensayo definida en la IEC 60060-1, usada para comprobar que el aislamiento n puede soportar las sollicitaciones impuestas por las sobretensiones de frente suave. El impulso normalizado de maniobra 250/2500 tiene un tiempo de frente de 250 $\mu$ s y un tiempo hasta el valor mitad en la cola de 2500 $\mu$ s. Los dos oscilogramas siguientes representan el impulso de maniobra normalizado en dos escalas de tiempo diferentes:



$I_n$ : Corriente nominal de descarga

**Indicador de la corriente permanente:** aparato adosado al exterior del descargador (véase la fotografía) que mide la corriente permanente que circula a través del descargador. Usualmente se indica el valor de cresta de la corriente. Con un factor de escala se indican tanto el valor de cresta mismo, como así también un valor eficaz aparente. La mayoría de los indicadores de corriente permanente se combinan con un contador de descargas en la misma caja (véase la fotografía abajo). Los indicadores de corriente permanente se conectan en serie con la conexión de tierra del descargador. Esto requiere la instalación del descargador aislado de tierra por medio de una base aislante.



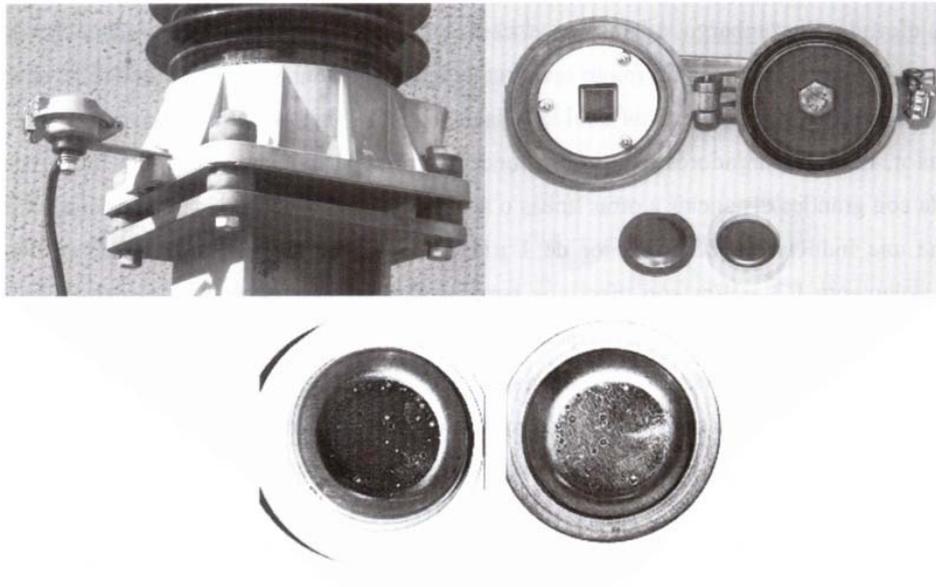
**Inductancia de un descargador:** los resistores de OM, cuando se los somete a amplitudes iguales de corriente, exhiben tensiones residuales crecientes con frentes muy escarpados de la corriente de impulso. Así, en el caso del impulso escarpado de corriente, se espera un incremento del 5 % en la tensión residual comparado al igual que bajo el impulso atmosférico de corriente elevada. Sin embargo, además en el caso de tiempos muy breves de crecimiento de la corriente de descarga (tiempos de frente menores que aproximadamente  $1\mu\text{s}$ ), deben tenerse en cuenta caídas de tensión inductivas debido a la expansión espacial (en la playa o patio) del descargador. Para descargadores exteriores, puede asumirse la inductancia de una línea recta y extendida con grandes distancias a otras líneas o a partes puestas a tierra. Una disposición de este tipo tiene una inductancia de alrededor de  $1\mu\text{H/m}$ . Al mismo tiempo, a causa de su diseño coaxial, solamente  $0,3\mu\text{H/m}$  son efectivos para un descargador encapsulado aislado en gas (GIS). Cuando se analiza el nivel de protección ante impulsos de corriente de frente escarpado del conjunto total, también deben considerarse la inductancia de los conductores de conexión entre el conductor de la línea

aérea y el terminal de alta tensión del descargador, como así también entre su terminal de tierra y la tierra efectiva de la subestación (véase la [Figura 6](#)).

***Inestabilidad térmica:*** condición de operación (inestable) de un descargador que se ha calentado más allá de su límite de estabilidad térmica inyectando más energía que la permitida mientras el descargador está conectado a su tensión (de frecuencia industrial) de operación (o servicio). Si no se lo desconecta lo suficientemente rápido, el descargador se calienta aún más, a causa del gran incremento de la corriente permanente, hasta que se autodestruye (conocida también como “avalancha térmica”).

***I<sub>S</sub>:*** de acuerdo al documento de anteproyecto (draft) 37/268/FDIS de julio de 2001 (cláusula 7.7 y Anexo O: ensayos de corto circuito), I<sub>S</sub> es el símbolo para la corriente (resistida) nominal de corto circuito. En la norma IEC 60099-1, Ed. 3.1, 1999-12 para descargadores con explosores, ya se había introducido el término corriente (resistida) nominal de corto circuito, pero no el correspondiente símbolo.

***Klidonógrafo o explosor de supervisión (monitoring spark gap):*** aparato que se acopla al exterior del descargador cuyos electrodos de control desmontables graban, mediante marcas de chispas, la cantidad, intensidad (amplitud y duración) y polaridad de las operaciones del descargador. El klidonógrafo se conecta en serie con la conexión de tierra del descargador. Esto requiere la instalación del descargador aislado de tierra por medio de una base aislante. Las tres fotos muestran un klidonógrafo montado sobre un descargador (foto superior izquierda), abierto con los electrodos de control extraídos (foto superior derecha), como así también ejemplos de marcas de chispas sobre los electrodos de control (foto inferior).



**$K_s$ :** Factor de seguridad  $K_s$

***Límite de estabilidad térmica:*** mayor temperatura de los resistores de OM a la que, un descargador con tensión de frecuencia industrial aplicada y a la máxima temperatura ambiente de  $+40^{\circ}\text{C}$  definida por las condiciones de servicio normales, todavía puede refrigerarse hasta su temperatura normal de operación. Véase también la Figura 7 con la explicación adjunta. Los valores del límite de estabilidad térmica, dependiendo del diseño real del descargador, están entre  $170^{\circ}\text{C}$  y alrededor de  $200^{\circ}\text{C}$ .

**$LR$ :** LSR

**$LSR$ :** (también conocido como LR) abreviación de goma siliconada líquida. Un tipo de goma siliconada que se comercializa en un estado de viscosidad media. Se mezclan dos componentes en partes más o menos iguales y se

vierte en moldes, bajo presión moderada a temperaturas de proceso desde 110°C a 200°C. La LSR está reemplazando cada día más a la ampliamente usada goma siliconada RTV, dado que su costo y proceso son más económicos y posee asimismo buenas características de operación.

**MCOV:** (abreviación de: máxima tensión de operación permanente) término definido solamente en la norma americana de descargadores IEEE Std C62.11-1999 como, “el máximo valor eficaz de la tensión alterna (de frecuencia industrial) admisible que puede aplicarse continuamente - permanentemente - entre los terminales de un descargador”. Corresponde a la tensión de operación permanente  $U_c$ , según la IEC 60099-4.

**Método a presión:** un método para equipar con varillas de FRP (al fabricar los aisladores de línea rígidos de material compuesto) o tubos de FRP (al fabricar los aisladores huecos de material compuesto) con campanas de goma siliconada. Normalmente hay dos procedimientos comunes:

Encima del núcleo de FRP se moldea una capa uniforme del mismo o similar material (estruido o contraído a presión) con el que se moldearon las campanas. Luego de esto, las campanas prefabricadas se colocan a presión. El número de campanas y la distancia entre ellas dependen de las distancias disruptivas requeridas.

Las campanas preensambladas se colocan a presión directamente sobre el núcleo de FRP. Estas se superponen en sus extremos de manera que no queden espacios entre ellas.

Usando imprimaciones, capas intermedias de goma siliconada RTV y calentando luego en un horno, se produce una vinculación de las campanas entre sí y contra el núcleo, que es prácticamente imposible de despegar. Sin embargo existen diseños en los que las campanas se colocan a presión

previamente dilatadas, las que por el solo efecto de contracción, quedan fijadas al núcleo.

***Modelo térmico de un descargador.*** Sección prorrateada térmicamente equivalente

***Moldeado directo:*** un medio para colocar las campanas de silicona sobre el descargador o sobre el núcleo de FRP del aislador hueco de material compuesto o aislador de línea de material compuesto (en contraposición con el método a presión), En este caso se utilizan diferentes tecnologías. Lo más frecuente es que al cuerpo a refundir se lo coloque en un molde dividido en sentido longitudinal y cerrado herméticamente, y se lo refunda completamente en una colada. Esto es posible y es lo usual para longitudes de alrededor de dos metros. Para cuerpos todavía mayores las campanas se van erigiendo en varias coladas, una a continuación de la otra, por lo cual cada segmento es vulcanizado al anterior. El encapsulado resultante origina dos líneas de colada longitudinales (frecuente, aunque erróneamente, llamadas “juntas o costuras”). Sin embargo, si esto se realiza con cuidado, no afecta negativamente al comportamiento en operación. En un procedimiento diferente, el encapsulado se efectúa erigiendo las campanas una a continuación de la otra, por medio de un molde de una pieza, que rodea al cuerpo como un anillo, y que se lo pasa a lo largo del cuerpo, paso a paso. Otro procedimiento conocido es el de erigir en forma espiralada la goma siliconada con un molde que se desplaza a lo largo del cuerpo en rotación. No se obtienen como resultado campanas separadas individualmente, sino, en cambio, una espiral continua.

***MOSA:*** Descargador de óxido metálico

**NEMA:** abreviación de “National Electrical Manufacturera Association”, una organización americana dedicada al desarrollo de normas para la industria de fabricación eléctrica, con base en Rosslyn, Virginia, EUA.

**Nivel de aislamiento básico a impulso atmosférico:** BIL

**Nivel de aislamiento básico a impulso maniobra:** SIL

**Nivel cerámico:** (con frecuencia, aunque erróneamente llamado ‘nivel isocerámico’) el promedio de días por año con tormentas eléctricas. Del nivel cerámico puede deducirse la densidad del rayo a tierra y, en consecuencia, la solicitación esperada sobre el descargador.

**Nivel de protección a impulso atmosférico:** valor máximo de la tensión residual de un descargador a la corriente nominal de descarga.

**Nivel de protección a impulso de maniobra:** máximo valor de la tensión residual de un descargador a impulsos con corriente de maniobra. En cada caso se lo lista para dos valores de cresta diferentes de corrientes de impulso dentro de la gama de 125A hasta 2000A (IEC 60099-4, Tabla 3).

**Nivel de protección a impulso escarpado de corriente:** máximo valor de la tensión residual de un descargador al impulso escarpado de corriente de igual valor de cresta que la corriente nominal de descarga.

**Nivel de protección de un descargador:** máximo valor de la tensión residual de un descargador al aplicarse un impulso de corriente normalizado.

En este caso existen diferencias entre el nivel de protección a impulso atmosférico, el nivel de protección a impulso de maniobra y el nivel de protección a impulso escarpado.

***Nivel isocerámico:*** Nivel cerámico

***Onda progresiva (migratoria o errante):*** (ahora también se las suele denominar viajeras, en cuyo caso se las suele dividir en “progresivas” y “regresivas” de acuerdo a su dirección de desplazamiento) los impulsos de tensión y de corriente se propagan como ondas progresivas por la línea cuando su duración es interior al tiempo de propagación de una onda electromagnética en una línea. Las amplitudes de las ondas de tensión y de corriente en este caso se vinculan entre si mediante la impedancia de onda de la línea. De acuerdo con las leyes de los procesos de ondas, se produce refracción y reflexión en el punto donde la impedancia característica se modifica (punto de discontinuidad). Esto, en especial, puede conducir a incrementos de tensión (en casos extremos, hasta el doble de su valor) y debe tenerse en consideración al determinar el nivel de protección de un descargador y su ubicación (zona de protección de un descargador).

***Parte activa de un descargador:*** la(s) columna(s) de resistores de OM de un descargador, incluyendo los espaciadores metálicos y la construcción de soporte.

***Plástico reforzado con fibras de vidrio:*** (abreviado: FRP) frecuentemente se usa este material en la construcción del soporte de la columna de resistores de OM de un descargador. En los descargadores de envoltura polimérica es el componente más importante para lograr la robustez

mecánica de la envoltura, ej., en forma de barras o varillas, anillos, tubos o paños arrollados.

**Porcelana de alúmina:** un tipo de porcelana en conformidad con el subgrupo “C 120:

Porcelanas de aluminio” de la norma IEC 60672-3.

**Porcelana de cuarzo:** un tipo de porcelana en conformidad con el subgrupo “C 110:

Porcelanas de silicio” de la norma IEC 60672-3.

**Puesta a tierra de un sistema:** los sistemas de transmisión y distribución de potencia, dependiendo de la manera en que sus neutros (en su totalidad) se conectan a tierra, se clasifican en sistemas con neutro aislado, sistemas con neutro rígido a tierra, sistemas con neutro a tierra por impedancia y sistemas con neutro a tierra resonante.

**Repelencia del agua (hydrophobicity):** la característica de repeler el agua. Ninguna película de agua puede formarse sobre una superficie hidrofóbica. En cambio el agua sobre la superficie se une formando gotas que se escurren y gotean despejando totalmente de la superficie. De acuerdo a la propuesta del Swedish Transmission Research Institute - Instituto Sueco de Investigaciones de la Transmisión - (“STRI guide 92/1: Hydrophobicity classification guide”), el grado de repelencia del agua se divide en siete clases (HC 1 a HC 7), donde HC 1 corresponde a una superficie completamente repelente y HC 7 a una completamente absorbente (mojada). Recientemente se ha adoptado esta clasificación para formar parte de una norma IEC (Committee Draft IEC 36/166/CD, 28 January, 2001: “IEC 62073: Guide to the measurement of wettability of insulator surfaces”; referirse a ésta para mayor información sobre repelencia del agua). Un material para el cual

la repelencia del agua es particularmente característico es la goma siliconada.

**Resistencia a la corriente de corto circuito (short-circuit current strength):** Capacidad de (resistir el) corto circuito

**Resistencia al (capacidad de resistir el) corto circuito:** (“Short-circuit (withstand) capability”; también denominada: “short-circuit rating (corto circuito nominal)” y “rated short-circuit current – corriente nominal de corto circuito” en el documento 37/268/FDIS y en la IEC 60099-4, Ed. 1.2, 2001-12) habilidad de un descargador de soportar la corriente de corto circuito que circula después de una sobrecarga, sin que se produzca un violento estallido de la envoltura. Se hace referencia a la capacidad de resistir el corto circuito como clase del alivio de presión, o más recientemente como la corriente (resistida) nominal de corto circuito comprobada mediante ensayos de corto circuito, o ensayos del alivio de presión.

**Resistor de carburo de silicio:** (resistor de SiC) resistor no lineal que se utilizaba en los descargadores antes de la introducción de los resistores de óxido metálico. La alinealidad de su característica tensión-corriente es considerablemente menos pronunciada que en un resistor de óxido metálico. Por ello los descargadores con resistores de carburo de silicio necesitan explosores en serie, los que desvinculan al descargador de la línea durante su funcionamiento permanente y también interrumpen la corriente de frecuencia industrial subsiguiente que circula a través del descargador inmediatamente después de una descarga.

**Resistor de OM:** Resistor de óxido metálico

**Resistor de óxido metálico:** (resistor de OM) resistor con una característica tensión-corriente extremadamente alineal. Todos los resistores diseñados en la actualidad como resistores de óxido metálico se componen de aproximadamente un 90 % de óxido de cinc (ZnO; por lo cual, en ocasiones, al descargador de óxido metálico se lo llama descargador de ZnO). El 10 % restante se compone de alrededor de 10 aditivos diferentes en forma de óxidos de lantánidos (Bi, Sb, Co, Mn). Los componentes se muelen cuidadosamente hasta obtener polvo y entonces se mezclan. Con el polvo se prepara una mezcla húmeda, la que se granula y se introduce a presión en moldes cilíndricos (a veces también toroidales), se seca y luego se sinteriza para obtener una cerámica homogénea bajo temperaturas de hasta 1200°C. Se esmerilan ambas caras, después se las metaliza con aluminio o cinc, y finalmente se reviste (ej., esmaltado) la circunferencia. Las dimensiones comunes de los resistores de óxido metálico fabricados en la actualidad incluyen diámetros que van desde 30mm hasta 100mm; la altura es mayormente de alrededor de 45mm.

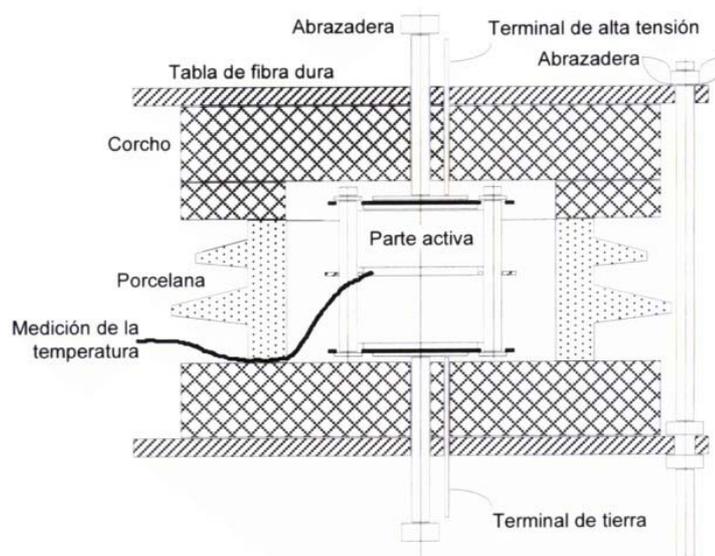
**Resistor de SiC:** Resistor de carburo de silicio

**Resistor de ZnO:** Resistor de OM

**Ruptura (avalancha o embalamiento) térmica:** Inestabilidad térmica

**Sección (fracción) de un descargador:** parte completa y adecuadamente armada de un descargador, necesaria para representar el comportamiento del descargador completo respecto a un ensayo particular. Una sección de un descargador no es necesariamente una unidad de un descargador (IEC 60099-4, cláusula 2.5). Un ejemplo de la sección de un descargador es la sección prorrateada térmicamente equivalente.

**Sección prorrataada térmicamente equivalente:** (conocida también como “equivalente térmico”) sección de un descargador usada en el ensayo de funcionamiento que reproduce tanto el comportamiento eléctrico como térmico de un descargador completo. Los requisitos de esta sección se encuentran en la IEC 60099-4, sub-cláusula 7.5.3.2. En principio, una sección prorrataada térmicamente equivalente es un recorte (porción) del descargador original, cuyos extremos se aíslan de manera tal que prácticamente todo el calor se disipe radialmente (como es el caso de un descargador real). Abajo se da un ejemplo que representa un descargador de alta tensión con envoltura de porcelana.



**SIL:** abreviación de “basic switching impulse insulation level (nivel básico de aislamiento a impulso de maniobra)”. Aún cuando se utiliza frecuentemente este término al referirse a las normas IEC, sólo está definido en las normas IEEE y ANSI (véanse las normas IEEE 1313.1-1996, IEEE C62.2-1987, IEEE C62.22-1997, ANSÍ C92.1-1982). En cambio, la norma IEC 60071-1, Séptima

Ed., 1993-12, utiliza el término tensión normalizada resistida a impulso de maniobra.

**SIR:** Goma siliconada

**Sistema con neutro a tierra por impedancia (bobina de inducción):** sistema en el cual uno o más puntos del neutro se ponen a tierra a través de una impedancia para limitar las corrientes de falla a tierra (IEC 60071-1, cláusula 3.13).

**Sistema con neutro a tierra resonante (con bobina de extinción, antiguamente también denominada bobina Petersen):** sistema en el cual uno o más puntos de neutro se ponen a tierra a través de una reactancia. Como resultado la componente capacitiva de una falla monofásica a tierra es, en su mayor parte, compensada (razón por la cual también es común denominarlo “sistema compensado”). Con una tierra resonante, la corriente residual durante una falla se limita a un valor tal, que normalmente un arco eléctrico en aire se autoextingue (IEC 60071-1, 3.14).

**Sistema con neutro aislado:** un sistema en el cual los puntos de neutro deliberadamente no están puestos a tierra, excepto en las conexiones de alta impedancia con fines de medición o de protección (IEC 60071-1, 3.11).

**Sistema con neutro rígido a tierra:** sistema en el cual uno o más puntos del neutro se conectan directamente a tierra (IEC 60071-1, 3.12).

**Sobretensión atmosférica:** sobretensión temporaria causada por el impacto directo de un rayo en un conductor de una línea aérea, un hilo de guardia o una torre, o inducida por corrientes de origen atmosférico en líneas o

estructuras metálicas vecinas. La mayoría de las descargas atmosféricas (80%... 90%) tienen polaridad negativa. Las corrientes normalmente se encuentran dentro de la gama de 30kA a 50kA, con valores máximos medidos de más de 300kA. El tiempo de frente es de sólo unos pocos microsegundos, la duración total de alrededor de 10 $\mu$ s y 100 $\mu$ s. Normalmente un rayo atmosférico consiste de múltiples descargas que suceden a intervalos de alrededor de 5ms a 200ms, usando el mismo camino de la descarga inicial. El nivel de sobretensión causado por un rayo atmosférico resulta de la amplitud del impulso atmosférico de corriente y la impedancia de onda de la línea, y asciende a varios millones de voltios. Sin embargo cuando sucede un contorno a lo largo de un aislador de la línea, el nivel se limita realmente al valor de la tensión de contorno del aislador. Solamente estas sobretensiones chocan contra la subestación y continúan hasta ser limitados por los descargadores allí instalados. La sobretensión atmosférica pertenece a la clase de sobretensiones de frente escarpado, de acuerdo a la IEC 60071-1, cláusula 3.17.

***Sobretensión de frente escarpado:*** sobretensión transitoria, normalmente unidireccional, con un tiempo hasta la cresta mayor de 0,1 $\mu$ s hasta 20 $\mu$ s inclusive, y duración de la cola inferior a 300 $\mu$ s (IEC 60071-1, cláusula 3.17).

***Sobretensión de frente muy (abruptamente) escarpado:*** sobretensión temporaria, normalmente unidireccional, con un tiempo hasta la cresta no mayor de 0,1 $\mu$ s, una duración total menor a 3ms y con oscilaciones superpuestas de frecuencia entre 30kHz y 100MHz (IEC 60071-1, cláusula 3.17).

**Sobretensión de frente suave (lento, no escarpado):** sobretensión temporaria, normalmente unidireccional, con tiempos hasta la cresta de  $20\mu\text{s}$  hasta  $5000\mu\text{s}$  y tiempos hasta el valor mitad en la cola no mayores de 20ms (IEC 60071-1, cláusula 3.17).

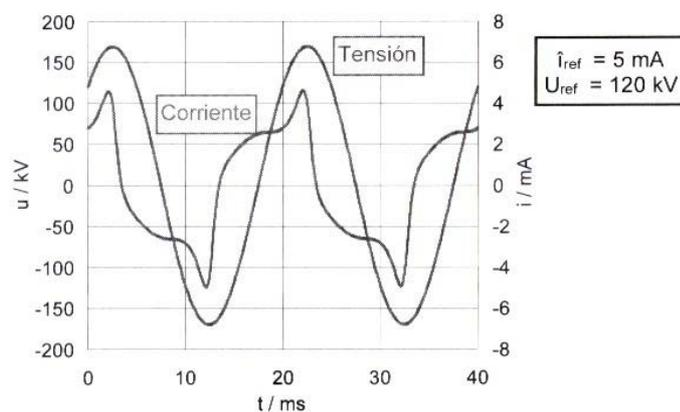
**Sobretensión de maniobra:** sobretensión temporaria causada por fenómenos transitorios como resultado de maniobras o fallas en el sistema (fallas a tierra, maniobras en circuitos inductivos o capacitivos, rechazo de la carga, ferresonancia, etc.). La frecuencia está dentro de la gama de 100Hz a 10kHz, y los tiempos de frente en un orden de magnitud de  $30\mu\text{s}$  a  $3000\mu\text{s}$ . Las amplitudes de tensión pueden tomar valores de 2 p.u. y 3 p.u. ( $1p.u. = \sqrt{2}U_s / \sqrt{3}$ , dependiendo de la tensión del sistema. De acuerdo a la IEC 60071-1, la sobretensión de maniobra pertenece a las sobretensiones de frente suave.

**Sobretensión temporaria:** (abreviación: TOV) sobretensión de frecuencia industrial que puede tener una duración de décimas de segundo hasta unos pocos segundos como resultado de una maniobra o una falla del sistema. Su valor depende del tipo de puesta a tierra del sistema. Un caso especial es cuando se tienen sistemas con neutro a tierra resonante o con neutro aislado, en los cuales la tensión a tierra de las fases sanas alcanza el valor de la tensión entre fases cuando ocurre una falla a tierra. Esta condición puede durar un tiempo prolongado (hasta varias horas).

**Tensión de descarga:** Tensión residual

**Tensión de operación permanente de un descargador.** (símbolo:  $U_c$ ) la tensión de operación permanente es el valor eficaz de tensión alterna (con frecuencia industrial) admisible, que puede aplicarse continuamente entre los terminales de un descargador (IEC 60099-4, cláusula 2.9).

**Tensión de referencia:** (símbolo:  $U_{ref}$ ) valor de cresta de la tensión de frecuencia industrial dividido por  $\sqrt{2}$  entre los terminales del descargador mientras circula la corriente de referencia. La tensión de referencia se usa cuando se selecciona una muestra para ensayo y se determinan los parámetros de ensayo para el ensayo de funcionamiento. En los ensayos de rutina ésta sirve como una prueba simple e indirecta de que un descargador o una unidad de descargador se ha ensamblado de acuerdo con los requisitos de la tensión residual (las tensiones residuales respectivas y las tensiones de referencia guardan una relación determinada). El oscilograma siguiente es un ejemplo de una indicación de la tensión de referencia en una unidad de descargador durante un ensayo de rutina:



**Tensión máxima de un sistema:** (símbolo:  $U_S$ ) el máximo valor de la tensión de operación que se tiene bajo condiciones normales de operación, en cualquier momento y en cualquier punto del sistema (IEC 60071-1, cláusula 3.9; el símbolo  $U_S$  se encuentra en la IEC 60071-2, cláusula 1.3).

**Tensión máxima del equipamiento:** (símbolo:  $U_m$ ) valor eficaz de la máxima tensión entre fases para la cual se diseñó el equipamiento con referencia a su aislamiento y otras características que se relacionan con esta tensión en la norma del equipamiento pertinente (IEC 60071-1, cláusula 3.10).

**Tensión nominal de un descargador:** (símbolo:  $U_r$ ) valor eficaz máximo admisible de tensión de frecuencia industrial entre terminales (del descargador) para el cual el descargador está diseñado para operar correctamente en las condiciones de sobretensión temporaria establecidas en los ensayos de funcionamiento. Normalmente el fabricante especifica si la misma puede aplicarse al descargador durante 10 segundos (correspondiente al valor del ensayo de funcionamiento) o 100 segundos. La tensión nominal es el parámetro de referencia para determinar las características de funcionamiento (IEC 60099-4, cláusula 2.8).

**Tensión nominal de un sistema:** valor conveniente aproximado de tensión usado para designar o identificar a un sistema (IEC 60071-1, cláusula 3.8). Véanse también tensión máxima de un sistema, tensión máxima del equipamiento.

**Tensión normalizada resistida a impulso atmosférico:** (conocida también en las normas americanas como BIL "basic lightning impulse insulation level") valor normalizado de una tensión de ensayo de impulso atmosférico que se

usa en un ensayo de tensión normalizada resistida para comprobar que el aislamiento se ajuste a la tensión resistida requerida. En la IEC 60071-1, se encuentran los diferentes valores de tensiones normalizadas resistidas a impulso atmosférico, asociados a la tensión máxima del equipamiento,  $U_m$ .

**Tensión normalizada resistida a impulso de maniobra:** (conocida también en las normas americanas como SIL "basic switching impulse insulation level") valor normalizado de una tensión de ensayo de impulso de maniobra que se usa en un ensayo de tensión normalizada resistida para comprobar que el aislamiento se ajuste a la tensión resistida requerida. De acuerdo a la IEC 60071-1, sólo para la gama II se especifican las tensiones normalizadas resistidas a impulso de maniobra, esto es niveles de tensión  $U_m > 245$  kV. En la IEC 60071-1, Tabla 3, se encuentran los diferentes valores de tensiones normalizadas resistidas a impulso de maniobra, asociados a la tensión máxima del equipamiento.  $U_m$ .

**Tensión residual:** (símbolo:  $U_{res}$ , de acuerdo a la IEC 60099-4) (también llamada frecuentemente "tensión de descarga") caída de tensión entre los terminales del descargador cuando se inyecta un impulso de corriente. Para impulsos de comente que tienen la forma y el valor de un impulso con corriente de ensayo normalizada (impulso atmosférico de corriente, impulso con corriente de maniobra, impulso escarpado de corriente), las tensiones residuales que aparecen simultáneamente son los niveles de protección que se asignan a esta forma y valor de la corriente (nivel de protección a impulso atmosférico, nivel de protección a impulso de maniobra, nivel de protección a impulso escarpado).

**Tensión residual con impulso atmosférico:** tensión residual de un descargador, unidad de descargador, sección de descargador o resistor de OM con impulso atmosférico de corriente.

**Tensión residual con impulso de maniobra:** tensión residual de un descargador, unidad de descargador, sección de descargador o resistor de OM a impulso con corriente de maniobra. Los valores de cresta de los impulsos con corriente de maniobra se encuentran en la IEC 60099-4.

**Tensión resistida:** valor de la tensión de ensayo a aplicarse bajo condiciones especificadas en un ensayo de tensión resistida, durante el cual se tolera una cantidad especificada de descargas disruptivas (IEC 60071-1, cláusula 3.23).

**Tensión resistida de coordinación (de aislamiento):** término correspondiente a la coordinación del aislamiento: valor de la tensión resistida de una configuración de aislamientos en condiciones reales de servicio, para la cual resulta una tasa aceptable de Falla (el llamado “performance criterion”: criterio o índice de calidad - o desempeño -). La aplicación de descargadores de sobretensiones asegura que nunca se excederá el valor de la tensión resistida de coordinación en los terminales del aparato a proteger. Para una definición exacta de los términos mencionados arriba, como así también su significado y determinación durante el proceso de coordinación del aislamiento, véanse las normas IEC 60071-1 y 60071-2.

**Tensión resistida nominal:** (símbolo:  $U_w$ ) un término de la coordinación del aislamiento: valor normalizado de la tensión aplicada en un ensayo de tensión resistida. Para una definición exacta de los términos mencionados arriba, como así también su significado y determinación durante el proceso

de coordinación del aislamiento, véanse las normas IEC 60071-1 y 60071-2. Véase también el Factor de seguridad  $K_S$ .

**Tensión resistida requerida:** (símbolo:  $U_{rw}$ ) término de la coordinación del aislamiento: tensión de ensayo que debe resistir el aislamiento durante un ensayo de tensión resistida normalizada para asegurar una tasa aceptable de falla (el llamado “criterio o índice de calidad o desempeño”) en las condiciones reales de servicio. Para una definición exacta de los términos mencionados arriba, como así también su significado y determinación durante el proceso de coordinación del aislamiento, véanse las normas IEC 60071-1 y 60071-2. Véase también el factor de seguridad  $K_S$ .

**Tiempo virtual de frente de un impulso de corriente ( $T_1$ ):** tiempo, en microsegundos, igual a 1,25 veces el tiempo de crecimiento de la corriente desde el 10% al 90% de su valor de cresta (IEC 60099-4, cláusula 2.23).

**Tiempo virtual hasta el valor mitad en la cola de un impulso ( $T_2$ ):** intervalo de tiempo entre el origen virtual del impulso y el instante en que la tensión o la corriente han decrecido hasta la mitad de su valor de cresta; expresado en microsegundos (IEC 60099-4, cláusula 2.25).

**TLA:** Descargador de línea TLSA: Descargador de línea

**Tubo de FRP con proceso húmedo:** tubo de FRP que se fabrica arrollando fibras de vidrio impregnadas en resina alrededor de un núcleo. Este proceso de producción requiere que las fibras de vidrio sólo sean dispuestas diagonalmente (no exactamente en la dirección axial del eje del núcleo, lo que sí es posible con los tubos de FRP impregnados al vacío). Como resultado se obtiene una resistencia a la flexión usualmente inferior a la de

un tubo impregnado al vacío de similares dimensiones, en el que la dirección de las fibras de vidrio es axial en su gran mayoría. Por otra parte, no pueden evitarse totalmente intersticios con aire; éstos pueden causar problemas dieléctricos y de envejecimiento bajo intensidades de campos eléctricos extremadamente elevadas durante el servicio (riesgo de descargas parciales internas; sin embargo, nunca se alcanza el esfuerzo eléctrico crítico cuando se usan tubos de FRP en las envolturas de material compuesto para descargadores de uso exterior). Los tubos con proceso húmedo son más sencillos de fabricar que los impregnados al vacío.

***Tubo de FRP impregnado al vacío:*** implementación de un tubo de FRP que se fabrica impregnando en resina la construcción de fibras de vidrio previamente arrolladas, bajo condiciones de vacío. Usando este proceso de fabricación puede lograrse la ausencia total de burbujas o intersticios de aire (eliminando así el riesgo de descargas parciales internas y sus consecuentes efectos de deterioro, aun bajo condiciones de elevadas intensidades campos eléctricos), como así también alta resistencia a la flexión, cuando las fibras de vidrio están en su gran mayoría orientadas en dirección axial, lo que no es posible con el proceso húmedo. No obstante, este tipo de fabricación es más caro que el proceso húmedo.

***$U_c$ :*** Tensión de operación permanente de un descargador

***$U_m$ :*** Tensión máxima del equipamiento

***Unidad (elemento) de un descargador:*** parte de un descargador completamente encapsulada que puede conectarse en serie y/o en paralelo con otras unidades para formar un descargador de mayor tensión y/o corriente de régimen (IEC 60099-4, cláusula 2.6).

$U_r$ : Tensión nominal de un descargador

$U_{ref}$ : Tensión de referencia

$U_{rw}$ : Tensión resistida requerida

$U_s$ : Tensión máxima de un sistema

$U_w$ : Tensión resistida nominal

**Vulcanización:** enlaces cruzados de cadenas de moléculas individuales de un material polimérico en una red tridimensional. Al material de enlaces cruzados a menudo se lo designa con un prefijo “XL”. Ejemplo: el polietileno termoplástico (PE) se convierte en polietileno termoelástico de enlaces cruzados (XLPE).

**Zona de protección de un descargador:** usualmente un descargador tiene una limitada zona de protección que se extiende desde unos pocos metros hasta varias decenas de metros, dentro de la cual se define a la zona de protección como la máxima distancia para la cual se satisfacen los requerimientos de la coordinación del aislamiento, para un nivel de protección del descargador y una tensión resistida de coordinación dados (IEC 60099-5, sub-cláusula 4.3.1). Por lo tanto, los descargadores, deberían instalarse tan cerca como sea posible al aparato a proteger. Dado que las sobretensiones de frente escarpado se desplazan sobre la línea en forma de ondas progresivas, la tensión en los terminales del aparato a proteger puede resultar considerablemente mayor que la tensión residual del descargador asignado. El descargador sólo es “efectivo” luego de un intervalo de tiempo que depende de la tasa de propagación de la onda progresiva y de la

distancia, es decir, el tiempo de propagación entre el descargador y el aparato a proteger. Lo escarpado (la pendiente) de la sobretensión también tiene un efecto decisivo. Generalmente, deben coordinarse el nivel de protección y la ubicación del descargador de manera tal que no se exceda la tensión resistida de coordinación del aparato a proteger. Véase la IEC 60099-5, 60071-1 y la 60071-2 por detalles sobre el procedimiento. La zona de protección de un descargador puede determinarse, por ejemplo para la disposición simple de un transformador conectado al final de un único alimentador, por medio de la siguiente fórmula empírica:

$$x_s = \frac{u_w - u_p}{2 \cdot s} \cdot v$$

Con:

$x_s$  zona de protección, en m

$u_w$  tensión normalizada resistida a impulso atmosférico (BIL) del aparato a proteger, en kV

$u_p$  nivel de protección a impulso atmosférico de un descargador, en kV

$s$  pendiente del frente del impulso atmosférico, en kV/ $\mu$ s (valor típico: 1000 kV/ $\mu$ s)

$v$  velocidad de propagación de la onda progresiva, en m/ $\mu$ s (línea aérea:  $v = c$  (velocidad de la luz) = 300 m/as; cable:  $v$  as 150 m/ $\mu$ s)

Por consiguiente, cuando se considera el equipo conectado a una línea aérea, aproximadamente resulta una zona de protección máxima de alrededor de 60m para un sistema de 420kV con neutro rígido a tierra ( $u_w = 1425$  kV,  $u_p \approx 825$ kV), mientras que para un sistema de distribución de 24kV con neutro a tierra resonante ( $u_w = 125$  kV,  $u_p = 80$ kV), ¡la zona de protección es apenas levemente superior a los cuatro metros!

## CONCLUSIONES

Los descargadores de Oxido Metálico o comúnmente llamados pararrayos o apartarrayos son muy indispensables para la coordinación del aislamiento. Estos han ido remplazando a los descargadores de Carbono de Silicio. Los descargadores de OM más utilizados son sin explosores, es decir, resistores hechos de óxido metálico.

La razón por la cual se están utilizando es por su característica alineal, evitando la desconexión de la línea, caso contrario a los resistores con explosores, utilizados en los descargadores de SiC.

El comportamiento de los descargadores de OM es el de un aislador, ya que por el atraviesan corrientes muy pequeñas, a pesar de las sobretensiones atmosféricas que aparecen.

El diseño de los descargadores de OM es más simplificado que el de explosores en serie, además se están construyendo con envoltura polimétrica. La clave esta en la columna de resistores. Estos resistores combinan las funciones que compartían los distintos componentes en los descargadores con explosores. Esto es, la resistencia al envejecimiento estando a su vez conectados a la tensión de operación aplicada permanente. Tienen la capacidad de absorber la energía inyectada de una descarga y limitar la corriente producida que es la corriente permanente a valores pequeños con el fin de disminuir la temperatura y no sufrir calentamiento.

El hecho de que su diseño sea más simplificado no quiere decir que sea menos complicado. En realidad el diseño de los descargadores de OM es más complicado que los descargadores de SiC. Los descargadores de OM

constan de una columna de resistores de OM que forman la parte activa junto con la construcción de soporte. Los resistores son de forma cilíndrica, su radio determina la capacidad de absorción de energía y conducción de corriente. La finalidad de colocar un resistor encima del otro es para que a la hora de transportarse, la parte activa no se desplace de la posición original.

Básicamente estos descargadores constan de un terminal de alta tensión, que es utilizado para la conexión al conductor de la línea aérea, un anillo distribuidor de potencial es utilizado para controlar la distribución de alta tensión desde la cima hasta la base y una base aislante, ya que para alta tensión, los descargadores de OM no se conectan directamente a tierra, estos son conectados en serie con los aparatos de supervisión: contadores de descargas, klidonógrafos o explosores de supervisión.

La puesta a tierra se realiza a través de los aparatos de supervisión apropiados. Para configurar un descargador de OM, hay que entender los requisitos y parámetros que afectan la operación del descargador.

La selección de la tensión permanente que es la tensión aplicada por un lapso interrumpido de mas de 30 minutos, es teniendo en cuenta el valor de la tensión máxima del sistema. La tensión nominal puede alcanzarse examinando las sobretensiones temporarias que pueden aparecer en el sistema. a corriente nominal de descarga sirve para clasificar un descargador de OM. Se define como el valor de cresta d un impulso atmosférico de corriente usado para clasificar un descargador.

La clase de descarga en líneas es la única forma de especificar la capacidad de absorción de energía. Otro factor importante es la selección de la envoltura, que es teniendo en cuenta los requisitos dieléctricos y mecánicos.

Los datos que se encuentran en los ejemplos, cuando se aproximan a un valor inmediatamente superior ya que se están tomando los valores establecidos por el fabricante, en este caso se tomaron tablas de fabricantes de la SIEMENS, para mayor información sobre estas hojas características puede entrar a la página oficial de la SIEMENS y verificarlos.