

**APLICACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE TRANSITORIOS**  
**ELECTROMAGNÉTICOS A LA ESPECIFICACIÓN**  
**DE EQUIPOS**

**PARTE 2**

# CAPACIDAD DE ENERGÍA DE DESCARGADORES

## INTRODUCCIÓN

Los descargadores son, como es sabido, equipos ampliamente usados para controlar sobretensiones de maniobra y de rayo en las instalaciones de potencia. A la hora de simular estos transitorios electromagnéticos es imprescindible, por lo tanto, incluir en el modelo del sistema los descargadores clave que se presume controlarán estas sobretensiones.

Los descargadores se modelan, como ya se ha visto, por medio de sus curvas no lineales tensión-corriente, y las simulaciones permiten identificar el efecto de estos dispositivos en las sobretensiones obtenidas en el sistema modelado.

Para ciertos estudios en particular es necesario, adicionalmente, verificar que el propio descargador soporta las sollicitaciones a las que está sometido.

El parámetro clave a verificar en estos casos es la capacidad del descargador de disipar adecuadamente la energía que le es inyectada durante la perturbación simulada y en el período post-perturbación.

Se recuerda al respecto que los descargadores de óxido de zinc están conduciendo ( y, por lo tanto, absorbiendo energía) continuamente durante la operación normal.

El descargador se debe seleccionar adecuadamente, a través de la selección de su tensión de operación continua mínima, para poder disipar esta pequeña energía absorbida en condiciones de régimen.

La absorción de energía del descargador durante perturbaciones crece dramáticamente, dada la alta alinealidad de su curva tensión-corriente. El descargador se debe seleccionar también, por lo tanto, para poder disipar la energía absorbida durante las perturbaciones en el sistema.

Los parámetros clave a elegir es, en este caso, son la tensión nominal del descargador y su capacidad de absorción de energía térmica

Comentario Como se verá más adelante, la capacidad de absorción de energía del descargador se define modernamente a través de 2 parámetros: la capacidad de soportar electromecánicamente energía inyectada a través de impulsos de corta duración (*Repetitive charge transfer rating*) y la capacidad de absorber energía desde el punto de vista térmico (*Thermal energy rating*). Estos parámetros han sustituido al método clásico de definir la capacidad de absorción de energía térmica por medio de un número entre 1 y 5 denominado *Clase de descarga* (*Discharge class*). Los fabricantes y las propias Normas siguen asociando la capacidad de absorción de energía térmica de los descargadores a las clases de descarga que se usaban anteriormente.

El procedimiento habitual de selección de los descargadores desde el punto de vista de la capacidad de energía consiste, por lo tanto en:

- Seleccionar su tensión de operación continua mínima (y, por lo tanto, su tensión nominal mínima) adecuada para poder disipar la energía en condiciones de régimen.
- Seleccionar su tensión nominal y su capacidad de absorción de energía térmica.

Las perturbaciones relevantes a analizar suelen ser las sobretensiones de maniobra , y particularmente las que llevan a la ocurrencia de sobretensiones temporarias (TOV) posteriores a la maniobra. En particular, es habitual analizar la capacidad de energía de descargadores por medio de simulaciones en escenarios de rechazo de carga y energización de líneas y transformadores.

Las simulaciones de sobretensiones de rayo, en cambio, no suelen ser decisivas, dada la muy corta duración de la perturbación.

Algunos otros escenarios de TOV (como ser la ocurrencia de cortocircuitos fase-tierra) también se tienen en cuenta en la selección del descargador, pero a través de métodos de cálculo convencionales, y no a través de simulaciones en EMTP. Esto se debe a que la energía inyectada durante la sobretensión de maniobra inicial en este tipo de perturbaciones suele ser pequeña, por lo que basta con evaluar la soportabilidad de los descargadores a las TOV a través de curvas TOV-tiempo que proporcionan los fabricantes.

### **VALORES NOMINALES DE TENSIÓN DE LOS DESCARGADORES**

En el caso habitual en que los descargadores funcionan fase-tierra, su tensión de operación continua (COV) se selecciona teniendo en cuenta que debe ser no inferior a la máxima tensión de operación normal fase-tierra, con un factor de seguridad de al menos 1,05.

Por compatibilidad con los viejos descargadores con “gap” se asigna también una “tensión nominal” al descargador, que habitualmente los fabricantes la eligen como  $Tensión\ nominal = 1,25 \times COV$  .

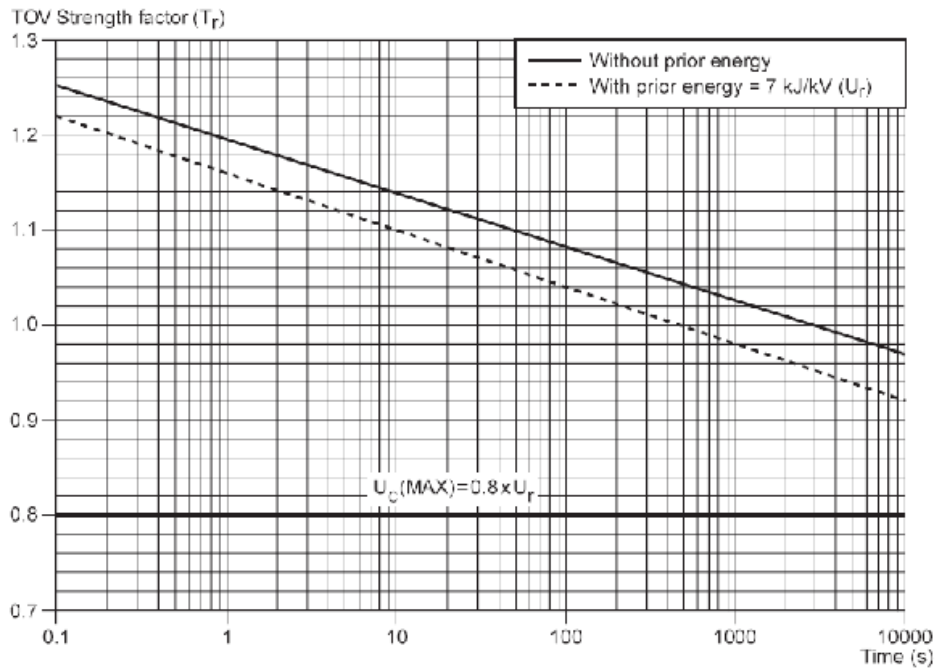
De acuerdo a uno de los ensayos de tipo de los descargadores, la tensión nominal debe ser soportada bajo ciertas condiciones por el descargador durante 10 segundos.

### **CAPACIDAD DE ENERGÍA Y CURVA TOV-TIEMPO**

La clase de descarga del descargador se definía como un número entre 1 y 5 que identifica en orden creciente la capacidad del descargador de disipar energía durante sobretensiones de maniobra.

Valores típicos suelen ser 2 ó 3 en media Tensión, 3 en Alta Tensión y 4 ó 5 en Extra Alta Tensión, y (como ya se ha dicho) a cada una de estas clases de descarga está asociada una capacidad de absorción de energía térmica del descargador, medida en kJ/kV (los kV se refieren a la tensión nominal del equipo)

A cada tensión nominal y a cada capacidad de energía térmica del descargador, los fabricantes les asocian un conjunto de curvas de soportabilidad TOV-tiempo, parametrizadas en la energía térmica inyectada al descargador durante la maniobra previa a la ocurrencia de la TOV.



(Los valores de TOV en esta gráfica son en p-u de la tensión nominal del descargador)

Se suele hacer una selección preliminar de la capacidad de energía térmica, escogiendo aquélla que permite soportar las TOV derivadas de un cortocircuito fase-tierra, y eligiendo (en forma conservadora) la curva con inyección previa de energía nominal. Esta selección será confirmada, de ser necesario, durante las simulaciones de las maniobras críticas.

#### Comentario

Como se observa en la gráfica anterior, la capacidad de disipación de energía de los descargadores crece al crecer su tensión nominal. Siempre es posible, por lo tanto, seleccionar un descargador de COV más alto que el necesario a efectos de aumentar su capacidad de disipación. Al aumentar el COV, no obstante, aumentan también las tensiones residuales del descargador.

### **VALORES DE ENERGÍA DECLARADOS POR LOS FABRICANTES**

Los fabricantes declaran 2 tipos de energía soportada por los bloques de ZnO :

#### a) Capacidad de absorber cargas repetitivas (Repetitive transfer charge rating)

Es la carga eléctrica máxima que se puede inyectar en un único impulso de corriente, de forma habitualmente rectangular y duración unos pocos ms (2 a 4, según el fabricante) Físicamente: es el valor de energía máximo que se puede inyectar “rápidamente” (de una sola vez) en el bloque, garantizando que el bloque no se destruya mecánicamente por el “stress” térmico. Se verifica a través de un ensayo normalizado.

Esta capacidad de absorción de energía se denominaba clásicamente “Single impulse energy”, y (si bien los fabricantes la verificaban en ensayos propios de diseño) no tenía asociado un ensayo normalizado por IEC .

b) Capacidad de energía térmica (*Rated thermal energy*):

Es la energía máxima que se puede inyectar en los bloques, a condición de que luego de aplicada el bloque llegue a una temperatura tal que pueda soportar inmediatamente y consecutivamente: A) una TOV por un período corto (hasta unos pocos segundos) especificado y B) COV por un tiempo “largo” (varios min.).

El criterio de soportabilidad ahora es la estabilidad térmica del bloque (*Thermal runaway*) : durante el período de COV el bloque debe ser capaz de enfriarse, disminuyendo en forma monótona decreciente su temperatura.

Cabe destacar al respecto que los bloques de ZnO aumentan su corriente de fuga al aumentar la temperatura (vistos como resistores, su característica térmica es “inversa”).

Dado que lo único que interesa en este caso es la temperatura a la cuál llega el bloque al comenzar el período de TOV/COV, a condición de que el fenómeno sea lo suficientemente rápido para considerarlo adiabático (de no ser así, el método que se va a proponer es conservador) sólo interesa el valor de energía total acumulado al momento de comenzar el período de TOV/COV y no la forma en que esa energía se inyecta.

De acuerdo a las Normas IEC: el ensayo de esta propiedad se realiza aplicando la rated thermal energy mediante 2 impulsos de corriente rectangulares iguales, de duración entre 2 y 3,2 ms y separados aproximadamente 1 minuto (ensayo de “operating duty”).

Dado que los impulsos son aproximadamente de la forma y duración especificados para evaluar la capacidad de absorber cargas repetitivas (single impulse), se deduce que ninguno de los 2 impulsos con que se aplica la energía térmica en el ensayo IEC debería inyectar una energía superior a la single impulse.(o sea: la rated thermal debería ser siempre no mayor al doble de la single impulse),pues en caso contrario el bloque podría dañarse mecánicamente.

## **CARACTERÍSTICAS DE LA SIMULACIÓN**

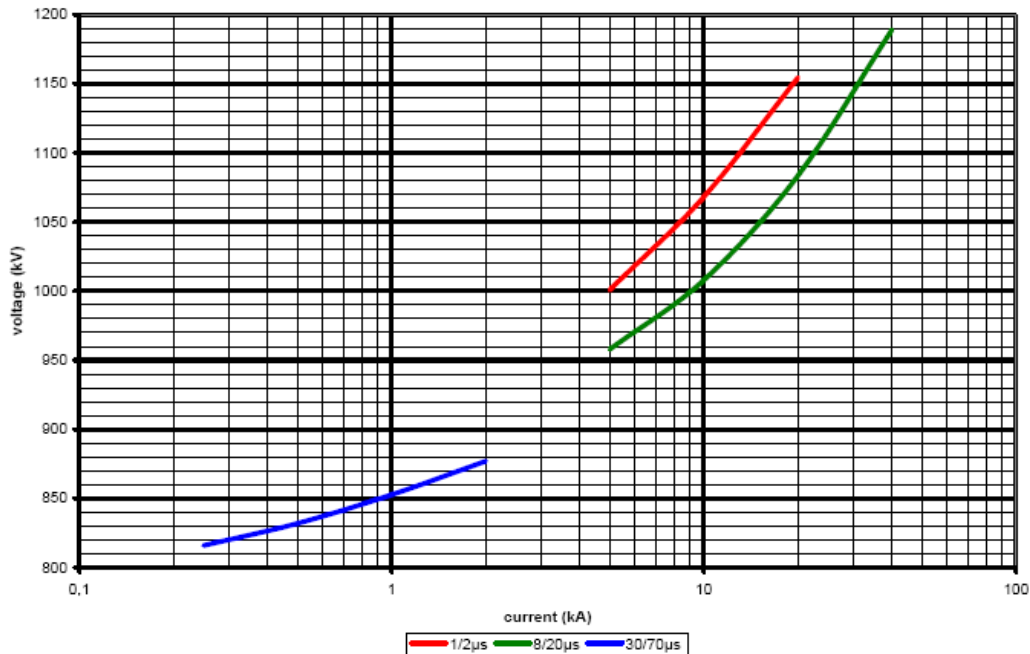
### **Tipo de perturbación a estudiar**

Como ya se ha dicho, se pretende estudiar perturbaciones típicas en las cuáles el descargador es sometido a algún tipo de sobretensión de maniobra inicial, seguido de un período de hasta varios segundos de TOV.

No es imprescindible que en el período de TOV la onda de tensión sea ni perfectamente senoidal, ni de frecuencia constante, ni siquiera simétrica (pero sí que cumpla aproximadamente con estas condiciones).

### **Modelado y datos del descargador**

El descargador se modela con su característica V-I .



### Comentario

Las características V-I que se debería usar es la asociada a las corrientes que aparecen habitualmente al aplicarles TOV: ondas de corriente con frentes de 1 ms o más.

Esta característica es difícil de conseguir por parte de los fabricantes.

Si el modelo que se usa es el clásico de característica V-I de ondas de maniobra (onda 30/60 μs) los valores de energía obtenidos durante el período de TOV pueden ser optimistas.

Se necesita conocer además del descargador:

- Su capacidad de absorber cargas repetitivas o (si fue especificado de acuerdo a Normas más antiguas) su single impulse capability

- Sus curvas de soportabilidad garantizada TOV-t sin energía previa inyectada y con energía previa inyectada (“prior duty”). Para descargadores especificados según Normas más antiguas se debe confirmar si la curva con “prior duty” se refiere a la energía térmica (es lo más habitual) o a la energía “single impulse”.

### Valores a relevar en la simulación

Se debe relevar en la simulación la curva de energía absorbida por el descargador en función del tiempo y las curvas de tensión y corriente en función del tiempo.

### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

a) De acuerdo a los criterios clásicos, el valor total de energía inyectada durante el primer período de la perturbación (intervalo T1 descrito más abajo) debe ser no mayor

que la single impulse capability, con un factor de seguridad razonable (se propone un 20 % de margen, de acuerdo con [1]).

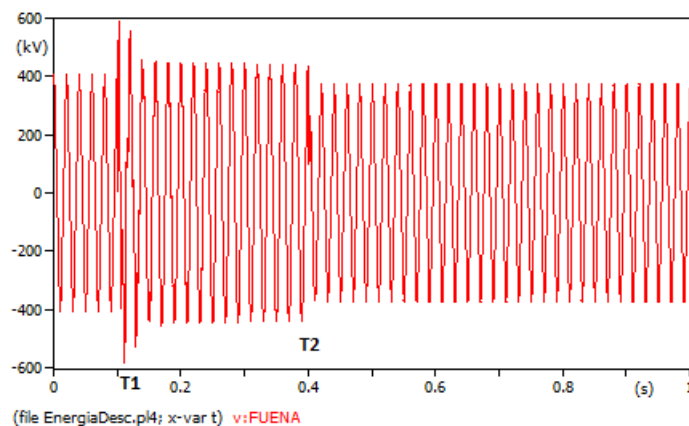
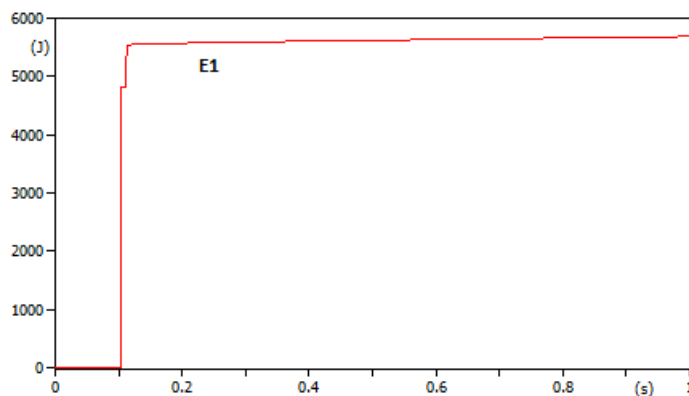
Con este criterio nos aseguramos que los bloques no se destruyan mecánicamente.

Este criterio suele cumplirse habitualmente, por lo que en muchos casos es innecesario realizar esta verificación.

Con los criterios actuales, esta evaluación se debería hacer con la carga total inyectada al descargador y tomando como valor límite la capacidad de absorción de carga repetitiva

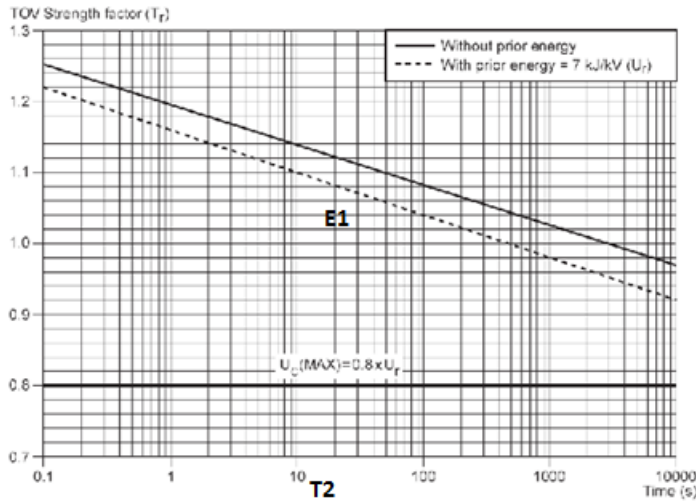
b) Suele ocurrir que la energía inyectada crece durante el primer período de perturbación (sobretensión de maniobra y TOV inicial alta) , para luego mantenerse aproximadamente constante durante el resto del período de estudio (consecuencia de que el descargador drena muy poca corriente si la TOV es moderada).En tales casos, la evaluación indicada en a) se debe complementar con la verificación de que el descargador no se destruye térmicamente a consecuencia de la temperatura alcanzada durante el período de inyección de energía y la TOV aplicada durante el período final.

Comentario Los modelos EMTP de los descargadores no calculan con buena precisión la energía inyectada en el período de TOV (particularmente de TOV no muy altas),de ahí que en las gráficas energía-tiempo se vean energías aproximadamente constantes durante el período de TOV.



Sea T1 el período de tiempo hasta que se estabiliza la energía, T1+T2 el período total de estudio y E la energía total inyectada (que es igual a la energía total inyectada hasta T1), supuesta no mayor que la single impulse.

A partir del instante T1 el descargador es capaz de soportar TOV por los períodos de tiempo que se leen en la correspondiente curva TOV-t garantizada por el fabricante.



La curva a utilizar se debe interpolar entre las 2 disponibles (con y sin “prior duty”) teniendo en cuenta la proporción de E a la energía (térmica o single impulse) en base a la cuál se elaboró la curva “con prior duty”.

Se puede verificar, por lo tanto, si el descargador soporta la TOV aplicada en el período final T2.

### **Método Electra 133**

Las gráficas tensión-tiempo obtenidas en las simulaciones no siempre permiten definir fácilmente cuál es la TOV asociada al intervalo de tiempo T2 que se debe comparar contra la información de las curvas TOV-t.

En muchos casos se observan en ese intervalo de tiempo T2 diversos valores de TOV asociados a intervalos de tiempo parciales, incluidos en T2.

Mediante el método descrito en [2] es posible agrupar todas esas TOV parciales en una TOV equivalente:

-La Referencia [2] aproxima las curvas TOV-t de los fabricantes mediante curvas exponenciales de la forma

$TOV_{Ta} = TOV_{Tb} (Tb/Ta)^{1/(\alpha+1)}$  en que  $TOV_{Tx}$  es la TOV asociada a una duración Tx (seg.)

El exponente  $\alpha$  se asume igual a 50, y se puede ajustar con más precisión de acuerdo a la curva TOV-t específica disponible.

-Sean  $(TOV_{T1}, T1), (TOV_{T2}, T2) \dots (TOV_{Tn}, Tn)$  los diversos pares de puntos  $(TOV, T)$  extraídos de la gráfica de la simulación.

De acuerdo a la ecuación anterior, el efecto térmico sobre el descargador de aplicar  $(TOV_{Tj}, Tj)$  es el mismo que se daría si se aplicara una TOV de valor fijo  $TOV_0$  por un tiempo equivalente  $T'j$  calculado como:

$$T'j = Tj \cdot (TOV_0 / TOV_{Tj})^{\alpha+1}$$

-Calculados todos los  $T'j$ , la evaluación del descargador se hace en base a la sobretensión temporaria  $TOV_0$  aplicada por un tiempo  $T0 = \sum T'j$



## **Ajuste de la energía con la onda de corriente**

El valor de referencia del cuál uno dispone en relación a la “single impulse” es, como ya se ha dicho, el de la energía inyectada con una onda de corriente rectangular de duración 2 a 4 ms.

a) Si la onda de corriente aplicada es de menor duración que la del ensayo, la capacidad “single impulse” del bloque es algo menor, sugiriéndose en [1] una fórmula para corregirla:

$E = E_0 \times (T/T_0)^{0.25}$  siendo E ,E0 la energía soportada por una onda rectangular de duración T ,T0.

b) Si la onda de corriente aplicada no es rectangular, [1] sugiere tomar como onda rectangular equivalente a efectos de aplicar la corrección anterior a aquélla que tiene:

- como valor de corriente el pico I de la onda aplicada
- como duración la necesaria T para que el área I x T encerrada por la onda rectangular sea igual al área correspondiente encerrada por la onda aplicada.

En la práctica: en los períodos en que se aplican TOV relativamente altas a frecuencia aproximadamente industrial, las ondas de corriente drenadas por los descargadores son aproximadamente triangulares, de base del orden de 3 ms; por lo que son equivalentes desde el punto de vista de la “single impulse capability” a ondas rectangulares de duración 1,5 ms. Debería aplicarse, por lo tanto, la corrección sugerida.

Si la single impulse capability se ensayó en onda de 4 ms, p.ej, esto significa que frente a estas ondas aplicadas el descargador soporta, en realidad, sólo el 78 % del valor garantido.

## **Referencias:**

[1] Guidelines for the application of metal oxide arresters without gaps for HVDC Converter Stations-CIGRE WG 33/14.05

[2] Metal oxide surge arresters in AC systems,Revista Electra N°133 (CIGRE) ,1990