

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
Facultad Regional Rosario



Dpto. Ingeniería Eléctrica

**TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN**  
5to nivel

PROBLEMA ABIERTO

**Selección de un Descargador de  
Sobretensión (DSE)**

Docentes: Ing. Cortelloni.  
Ing. Nocino.

Alumnos: Federico Di Cesare  
Nicolás Di Ruscio  
Iván Jesús Micheletti  
Martín Rucci

Fecha: 7 de Marzo de 2013

## Selección de Descargadores de 132 kV y 33 kV.

### **Enunciado.**

Se desea proteger un transformador intemperie a instalar en la estación transformadora Fisherton frente a sobretensiones de maniobras originadas en el sistema, como así también sobretensiones ocasionadas por descargas cerámicas (rayo).

A tal fin se desea seleccionar los correspondientes pararrayos para ambos devanados. Se deberán especificar claramente los criterios de selección, eligiendo el más conveniente desde el punto de técnico-económico de entre al menos tres marcas y modelos comerciales diferentes.

Para el DSE del lado de 33 kV, se va a omitir la verificación del margen de protección tipo maniobra.

Si bien no es requisito para la aprobación del problema, se evaluará como favorable la verificación de las distancias máximas de montaje de los descargadores al transformador.

Transformador **132/33 kV, 10 MVA,  $\mu$ cc=10%** tipo de conexión **Dy11**

Neutro rígido a tierra,  **$I_{CCT} = 22$  kA**, Nivel de contaminación ligero.

Conductor de conexión; **300/50 Al-Ac,  $R=0,0949$   $\Omega$ /km,  $I_{ADM}= 650$  A,  $\phi=24,4$  mm**

## **Objetivo.**

El objeto de la presente memoria de cálculo es verificar las condiciones nominales de funcionamiento de los descargadores de sobretensión a instalarse en la ET Fisherton 132/33 kV.

## **Introducción.**

### Descargadores de sobretensión de óxidos metálicos:

Los descargadores de sobretensiones constituyen la protección principal contra sobretensiones atmosféricas y de funcionamiento. La norma IRAM 2318 lo define de la siguiente manera: Dispositivo para la protección de las aislaciones contra las sobretensiones transitorias o sea atmosféricas y de maniobra. No contempla la protección contra las sobretensiones temporarias.

Por regla general se conectan en paralelo con el equipo a proteger, para disipar la sobre corriente. Los elementos activos (bloques de ZnO) de los descargadores de sobretensiones están fabricados con un material de resistencia cerámico altamente alineal, compuesto principalmente por óxido de cinc mezclado y sinterizado con otros óxidos metálicos.

### Criterio de selección:

- Elección correcta de la clase de descarga y la corriente nominal de descarga.
- Inserción del pararrayo en el sistema, debe ser capaz de soportar la tensión max. del sistema y las sobretensiones temporales que aparezcan.
- Debe tener una línea de fuga mínima para garantizar que no se generen contorneos.
- Selección de los niveles de protección, debe ser capaz de limitar las sobretensiones por maniobras y rayos, por debajo de los niveles que soportan las aparata.

### El lugar donde se recomienda instalarlos es:

- Próximo a los devanados de un transformador (Ambos lados)
- En la llegada de líneas a ET para proteger IAP y equipamientos.
- En las transiciones aéreas subterráneas
- En los tramos de las líneas muy críticos

### Definiciones (Conformes a Norma IEC 60099-4):

**Tensión Nominal ó Asignada ( $U_r$ ):** Es la tensión nominal eficaz que soporta el DSE, durante 10 segundos, después de haber sido sometido ha un ciclo de descargas de alta duración. Tiene que ver con la respuesta del DSE para soportar sobretensiones temporales y evalúa la estabilidad del mismo después de ocurrida las descargas.

**Tensión de funcionamiento continuo ( $U_c$ ):** Es la tensión de frecuencia industrial eficaz máxima admisible que se puede aplicar de forma continua entre los terminales del descargador. Esta tensión se define de distintas formas (se verifica con diferentes

procedimientos de prueba en la norma IEC se define como  $U_c$  y para ANSI es MCOV).

**Tensión residual (Up):** Es el **valor de cresta** de la tensión que aparece entre sus terminales durante la circulación de la corriente de descarga, para una onda de rayo normalizada 8/20 microsegundos ó 30/60 microsegundos, para maniobra.

**Tensión residual para Maniobra (SIPL):** (Switching impulse protección level) tensión que aparece entre sus terminales con la actuación y la corriente de descarga, para una onda de maniobra. Define el nivel de protección para sobretensiones de maniobras.

**Tensión residual para Rayo (LIPL):** (Lighting impulse protección level) tensión que aparece entre sus terminales con la actuación de la corriente de descarga, para una onda de rayo. Define el nivel de protección para sobretensiones de rayo.

**Corriente Nominal de descarga (In):** Valor normalizado de la corriente de cresta del descargador, drenada a tierra durante la operación (8/20  $\mu$  seg ), 1,5; 2,5; 5; 10 y 20 KA.

**Clase de Descarga de Línea:** La Norma, fija cinco clases de descargadores según su uso y su capacidad de absorber energía. Los de distribución son los de Clase 1, y las clase 2 a 5 son de Estaciones Transformadoras y LAT. A mayor Clase, mayor capacidad de evacuar energía.

CLASE 1: 2,85 a 3,9 KJ/KV.

CLASE 2: 4,3 KJ/KV, Corriente impulsiva de larga duración 500 A, 2 m seg.

CLASE 3: 7,5 KJ/KV, Corriente impulsiva de larga duración 700 A, 2 m seg.

CLASE 4: 9,5 KJ/KV, Corriente impulsiva de larga duración 1200 A, 2 m seg.

CLASE 5: 13 a 15 KJ/KV, Corriente impulsiva de larga duración 1600 A, 2 m seg.

**Sobretensiones temporales (TOVc):** Es el valor eficaz de la máxima sobretensión temporal que es capaz de soportar entre sus terminales, durante un tiempo determinado, generalmente, 1seg o 1 min. Es levemente superior a  $U_r$

**Soportabilidad de corrientes de falla:** Es la corriente que debe soportar el DSE después de cebarse, dependiendo de donde está ubicado en el sistema.

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \times U_m}$$

**Clase de limitador de presión:** Instalación de un sistema de evacuación de la presión resultante, muy importante en envolturas de porcelana.

**Línea de Fuga:** Se da en función del grado o nivel de contaminación.

Pasos para la elección:

1. Elección de la corriente nominal y clase de descarga del descargador. En función de la tensión nominal **Un** del sistema y las recomendaciones dadas por la norma IEC 60099, tablas 6.13 y 6.14.
2. Cálculo de la tensión de funcionamiento continuo, se debe cumplir que:

$$U_c = \frac{U_{\max}}{\sqrt{3}}$$

3. Cálculo de la sobretensión temporal, se determina una tensión equivalente **Ueq** para 10 segundos.

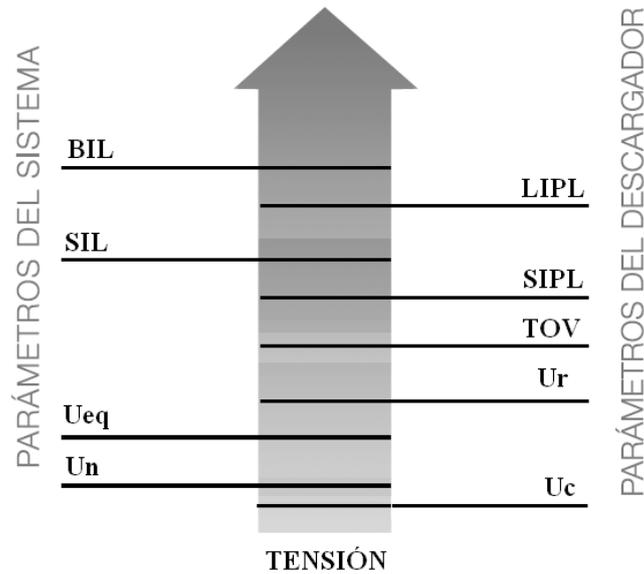
$$U_t = k \times \frac{U_{\max}}{\sqrt{3}} ; k: \text{Factor de falla a tierra de tabla 6.15}$$

$$U_{eq} = U_t \times \left( \frac{T}{10} \right)^{0,02} ; T: \text{Tiempo de despeje de la falla}$$

Luego se debe comparar con el DSE, con su capacidad para soportar sobretensiones temporales de  $TOV_c$ , que representa el valor eficaz de la máxima sobretensión temporal que soporta entre sus terminales, generalmente durante un segundo ó un minuto.

$$TOV_c (10seg) \geq U_{eq}$$

4. Elección de la línea de fuga específica nominal: Se elige en función del nivel de contaminación de la zona, tabla 6.9. Se definen cuatro niveles de contaminación y estipula la fuga requerida para el revestimiento del descargador.  
La distancia de fuga es la longitud medida a lo largo del perfil externo del revestimiento y sirve de medida del comportamiento del descargador en entornos contaminados en lo que respecta al riesgo de arcos externos.
5. Margen de protección a impulsos tipo rayo: Resulta del cociente entre el NBA ó BIL del equipamiento y el nivel de protección contra descargas atmosféricas del DSE, no debe ser inferior a 1,2.
6. Margen de protección a impulsos tipo maniobra: Resulta del cociente entre el NAIM ó SIL del equipamiento y el nivel de protección contra maniobras del DSE, no debe ser inferior a 1,15.



Referencia:

- **Uc:** Tensión de funcionamiento continuo del descargador.
- **Un:** Tensión nominal del sistema.
- **Ueq:** Tensión temporal equivalente.
- **Ur:** Tensión nominal del descargador.
- **TOVc:** Capacidad de soportar la Tensión temporal.
- **SIPL:** Nivel de Tensión residual para maniobra.
- **SIL:** Nivel de aislación normalizado para maniobra del equipamiento.
- **LIPL:** Nivel de Tensión residual para rayo.
- **BIL:** Nivel de aislación normalizado para rayos del equipamiento.

## **Resolución.**

### **Elección de la corriente nominal del descargador.**

De la tabla 1 obtenemos el valor característico de la corriente nominal de descarga  $I_n$  en función de la tensión máxima del sistema.

Tensión máxima del sistema (kV eficaz)	Corriente nominal de descarga ( $I_n$ )
$U_n \leq 72,5 \text{ kV}$	5 kA
$72,5 < U_n \leq 245 \text{ kV}$	10 kA
$245 < U_n \leq 420 \text{ kV}$	10 kA
$U_n \geq 420 \text{ kV}$	20 kA

Las tensiones máximas del sistema son:

- Lado de alta:  $U_s = 1,1 \times 132 \text{ kV} = 145 \text{ kV}$
- Lado de baja:  $U_s = 1,1 \times 33 \text{ kV} = 36,3 \text{ kV}$

En base a la tabla anterior, seleccionamos las siguientes corrientes nominales de descarga de los descargadores.

Corrientes nominales de descarga

- Lado de alta: 10 kA
- Lado de baja: 5 kA

Los valores habituales de corrientes nominales de descarga  $I_n$  y clase de descarga de línea en función de la tensión nominal  $U_n$  del sistema son:

Tensión nominal del sistema $U_n$	Tensión máxima del sistema $U_s$	Clasificación de Pararrayos $I_n$					
		5 kA	10 kA			20 kA	
			Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
$U_n \leq 66 \text{ kV}$	$U_s \leq 72,5 \text{ kV}$	•	•	•			
$66 < U_n \leq 220 \text{ kV}$	$72,5 < U_s \leq 245 \text{ kV}$			•	•		
$220 < U_n \leq 380 \text{ kV}$	$245 < U_s \leq 420 \text{ kV}$				•	•	
$U_n \geq 380 \text{ kV}$	$U_s \geq 420 \text{ kV}$					•	•

- Clase de descarga de línea (lado Alta): 10kA, Clase 2
- Clase de descarga de línea (lado Baja): 5kA

**Calculamos la tensión de funcionamiento continuo ( $U_c$ ).**

• Lado alta: 
$$U_c = \frac{145 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 84 \text{ kV}$$

• Lado baja: 
$$U_c = \frac{36 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 21 \text{ kV}$$

**Criterio de elección de las sobretensiones temporales (TOVc).**

Se determina una **tensión equivalente**  $U_{eq}$  para 10 segundos.

$$U_t = k \times \frac{U_s}{\sqrt{3}} \quad k: \text{Factor de falla a tierra de tabla 3.}$$

$$U_{eq} = U_t \times \left(\frac{T}{10}\right)^{0,02} \quad T: \text{Tiempo de despeje de la falla.}$$

En la siguiente tabla se dan los valores característicos del factor de falla a tierra en función del tipo de conexión de neutro del sistema (redes hasta 220 kV), elegimos el k que es el factor de falla a tierra.

En nuestro caso tenemos neutro rígido a tierra.

<i>Tabla 3</i>	
Conexión del neutro	k
Neutro rígido a tierra	$k \leq 1,4$
Neutro no rígido a tierra	$1,4 \leq k \leq 1,73$
Neutro aislado	$1,73 \leq k \leq 1,9$

- Lado alta  $U_t = 1,4 \times \frac{145 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 117 \text{ kV}$
- Lado baja  $U_t = 1,4 \times \frac{36 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 29 \text{ kV}$

La amplitud de la sobretensión equivalente es:

- Lado alta  $U_{eq} = 117 \times \left(\frac{1}{10}\right)^{0,02} = 111,7 \text{ kV}$
- Lado baja  $U_{eq} = 29 \times \left(\frac{1}{10}\right)^{0,02} = 27,69 \text{ kV}$

Luego se debe comparar con el descargador elegido, con su capacidad para soportar **sobretensiones temporales de TOVc**:

$$TOVc (10seg) \geq U_{eq}$$

Por lo tanto, se deberá cumplir que la sobretensión temporal que el descargador pueda soportar durante 10 segundos sea al menos:

- Lado de alta  $TOVc (10seg) \geq U_{eq} = 111,7 \text{ kV}$
- Lado de baja  $TOVc (10seg) \geq U_{eq} = 27,69 \text{ kV}$

**Elección de la línea de fuga.**

Se elige en función del nivel de contaminación de la zona. Se definen cuatro niveles de contaminación y estipula la fuga requerida para el revestimiento del descargador.

La distancia de fuga es la longitud medida a lo largo del perfil externo del revestimiento y sirve de medida del comportamiento del descargador en entornos contaminados en lo que respecta al riesgo de arcos externos.

Al tratarse de una zona de contaminación ligera, la línea de fuga específica mínima es de 16mm/kV. Los descargadores deberán cumplir:

- Línea de fuga del descargador de lado alta  $\geq 16 \frac{mm}{kV} \times 145kV = 2320mm$
- Línea de fuga del descargador de lado baja  $\geq 16 \frac{mm}{kV} \times 36kV = 581mm$

### **Margen de protección a impulso tipo rayo.**

Resulta del cociente entre el LIW del equipamiento y el nivel de protección contra descargas atmosféricas del descargador, no debe ser inferior a 1,25.

$$\text{Margen de protección} = \frac{LIW}{U_{pt}} \geq 1,25$$

### **Márgenes de protección:**

El nivel de protección del descargador ( $U_{pt}$ ) deberá ser tal que se cumplan los márgenes de protección mínimos. Considerando que el nivel de **aislamiento del transformador para impulso tipo rayo** (LIW o BIL) es 550kV, el nivel de protección del descargador deberá ser a lo sumo:

- Descargador del lado de 132kV:  $U_{pt} = \frac{LIW}{1,25} = \frac{550kV}{1,25} = 440kV$
- Descargador del lado de 33kV:  $U_{pt} = \frac{LIW}{1,25} = \frac{170kV}{1,25} = 136kV$

El LIW (tensión soportada a impulso tipo rayo) correspondiente del transformador fue extraído según “*Guía General de Diseño y Normas Para Estaciones Transformadoras, Transener*”

Con el fin de realizar la sección del descargador más adecuado, hemos elegido los siguientes productos:

1. *Cooper Power Systems*: UltraSIL Polymer-Housed VariSTAR U3.
2. *Siemens*: Porcelain Surge Arrester 3EP.
3. *ABB*: PEXLIM R-Y Silicone polymer-housed arrester.
4. *Dosen*: Porcelain Arresters LMAS.

Tabla comparativa de valores calculados y datos característicos de los equipos:

Lado de 132 kV					
Marca/Modelo	Criterio	Cooper	Siemens	ABB	Dosen
Corriente nominal (In)	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA
Clase de descarga	2	2	2	2	2
Tensión nominal (Ur)	110kV	120 kV	111 kV	108 kV	120 kV
Tensión de funcionamiento continuo (Uc)	$\geq 84$ kV	102 kV	88 kV	86 kV	102 kV
TOVc (10seg)	$\geq 111,7$ kV	120kV	120 kV	118 kV	120kV
Línea de fuga	$\geq 2320$ mm	3625 mm	3835 mm	3726 mm	3625 mm
Nivel de protección (Upt)	$\leq 458$ kV	320 kV	294 kV	280 kV	340 kV
Margen de protección	$\geq 1,2$	1,72	1,87	1,96	1,62
Precio (U\$S)		2450	2600	2500	1980

Lado de 33 kV					
Marca/Modelo	Criterio	Cooper	Siemens	ABB	Dosen
Corriente nominal (In)	5 kA	5 kA	5 kA	5 kA	5 kA
Clase de descarga	-	-	-	-	-
Tensión nominal (Ur)	26kV	30 kV	30 kV	30 kV	30 kV
Tensión de funcionamiento continuo (Uc)	$\geq 21$ kV	24,4 kV	24 kV	24 kV	25,5 kV
TOVc (10seg)	$\geq 27,69$ kV	31,5 kV	32,7 kV	33 kV	
Línea de fuga	$\geq 581$ mm	1755 mm	1260 mm	1863 mm	900 mm
Nivel de protección (Upt)	$\leq 142$ kV	68,4 kV	73,9 kV	73,3 kV	85 kV
Margen de protección	$\geq 1,2$	2,08	1,92	1,94	1,67
Precio (U\$S)		790	850	800	600

### Conclusiones:

Comprobamos que al aumentar la tensión nominal  $U_r$  del descargador, aumentan la tensión de funcionamiento continuo  $U_c$  y el  $TOV_c(10s)$  (el descargador puede soportar mayores tensiones y durante más tiempo); mientras que disminuye el margen de protección (el transformador queda menos protegido al aumentar el nivel de protección).

La elección de uno de los modelos debe ser un compromiso entre la capacidad del descargador para soportar las sobretensiones y la protección del equipo.

En el caso del descargador para 132 kV, vemos que el equipo ABB de 108 kV es el que más protege al transformador (el MP = 1,96), pero es el que menores sobretensiones soporta (aunque cumple todos los criterios mínimos); el descargador Dosen de 120 kV es el que soporta mayores sobretensiones del sistema, pero es el que menos protege al transformador (MP = 1,62).

Consideraremos de mayor importancia la protección del equipo a proteger (el transformador), debido a su elevado costo (muchas veces superior al de los descargadores).

Elegiremos el modelo ABB con  $U_r = 108 \text{ kV}$  y  $MP = 1,96$ .

Para la selección de la protección para el lado de 33 kV, procedemos con criterios similares al caso anterior. Por lo tanto elegimos el equipo Cooper con  $U_r = 30 \text{ kV}$  y  $MP = 2,08$ .

**Determinación de las distancias para el emplazamiento de los equipos.**

Este procedimiento se ha realizado de acuerdo al libro “Curso De Postgrado – Diseño – Proyecto y Construcción de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica, Ing. Roberto E. Campoy”.

Para el caso en consideración, emplearemos los siguientes datos:

Tensión nominal del descargador KV eficaz	TENSION DE IMPULSO de arqueo por frente de onda		Tensión residual para una onda de impulso de corriente de descarga de 8 x 20 y valor de corriente		
	Indice de elevación de tensión (pendiente) KV/micro -seg.	KV Cresta Máxima.	5 kA	10 kA	20 kA
30	250	105	80	87	94
108	900	340	282	316	333
120	1000	370	320	350	378

El equipo principal a proteger es el transformador y se debe tener para éste un margen de protección mínimo del 20 % debajo de su nivel de aislamiento de manera que la tensión máxima permisible en el transformador será:

- Lado de alta:  $V_{MAX} = 550kV \times (1 - 0,2) = 440kV$
- Lado de baja:  $V_{MAX} = 170kV \times (1 - 0,2) = 136kV$

La distancia que se encuentra entre el descargador y el equipo a proteger (transformador) no deberá sobrepasar el valor X, que se calcula de la siguiente manera:

$$X = \frac{300 \text{ m} / \mu\text{s} \times (V_{MAX} - V_p)}{2 \times S}$$

Donde:

- X: distancia máxima entre el descargador y el equipo a proteger.
- Vmax: Tensión máxima permisible.
- Vp: Tensión de descarga con onda de impulso de 1,2 / 50 μseg.
- S: Valor de la pendiente del frente de onda.

- Lado de alta: 
$$X = \frac{300m/\mu s \times (440kV - 370kV)}{2 \times 1000kV/\mu s} = 10,5m$$
- Lado de baja: 
$$X = \frac{300m/\mu s \times (136kV - 105kV)}{2 \times 250kV/\mu s} = 18,6m$$