



UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA
NACIONAL
FACULTAD REGIONAL
RECONQUISTA



CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA

Aislación y coordinación del
aislamiento



DEFINICIONES

Coordinación de la aislación

Es la selección del valor de rigidez dieléctrica de un equipo en correspondencia con las tensiones que puedan aparecer en el sistema eléctrico en el cual el equipo estará instalado. Por lo cual se tiene en cuenta las características de los equipos de protección contra sobretensiones que puedan ocurrir y las condiciones de servicio.



DEFINICIONES

Los componentes del sistema eléctrico se encuentran continuamente estresados por la tensión a la que son expuestos tanto en funcionamiento normal como ante sobretensiones transitorias. Las sobretensiones podrían clasificarse en:

- Sobretensiones atmosféricas descargas atmosféricas que se dan en la vecindad de la línea, en las subestaciones cercanas, en la misma línea o en los postes. La amplitud de estas sobretensiones y su forma de onda es muy variable y aleatoria.
- Sobretensiones ocasionadas por conmutaciones en el sistema (por maniobras o por fallas) TRV debidos a la corrientes de cortocircuito, despeje de fallas a corta distancia, conexión y desconexión de líneas y/o cables en vacío, conexión de transformadores en vacío, etc
- Sobretensiones AC sostenidas se dan a la frecuencia del sistema, son temporarias y debidas a fenómenos como la pérdida repentina de carga en la red, sobretensiones en fases sanas por cortocircuitos monofásicos a tierra en sistemas con neutro aislado, etc.



DEFINICIONES

BIL

Basic Lightning Impulse Insulation Level

Es el nivel de aislación eléctrica de un equipo expresado en términos del valor de cresta de una onda de tensión impulsiva estandarizada correspondiente a una descarga atmosférica.

El BIL esta sujeto a una determinada forma de onda del impulso transitorio y a determinadas condiciones Atmosféricas

El BIL se define para condiciones atmosféricas secas. tiene una definición convencional y una definición estadística, que puede ser considerada o no según la norma de referencia.



DEFINICIONES

El BIL estadístico (considerado para aislaciones auto regenerativas es el valor de la cresta de tensión impulsiva atmosférica para la cual la aislación muestra un 90 de probabilidad de éxito y un 10% de probabilidad de falla.

- El BIL convencional (considerado para aislaciones no regenerativas) es el valor de la cresta de tensión impulsiva atmosférica para la cual la aislación no muestra descargas disruptivas durante un determinado numero de ensayos.



DEFINICIONES

Aislación externa

Son las distancias en el aire atmosférico y en las superficies de los aisladores sólidos de un material en contacto con la atmósfera, que se someten a los esfuerzos dieléctricos y a la influencia de las condiciones ambientales u otros agentes externos tales como polución y humedad. La aislación externa puede ser “protegida” o “expuesta” según que haya sido diseñada para utilizarse en el interior o en el exterior de recintos cerrados.

Aislación interna

Está formado por elementos internos de la aislación de un material, en el que las condiciones ambientales u otros agentes externos no tienen influencia. Estos elementos pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos.



DEFINICIONES

Aislación interna

Está formado por elementos internos de la aislación de un material, en el que las condiciones ambientales u otros agentes externos no tienen influencia. Estos elementos pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos.

Aislación autorregenerable

Luego de haber estado sometida a una descarga disruptiva provocada por una sobretensión y/o tensión de ensayo, en la cual se provoca un contorno la aislación autorregenerable recupera completamente sus propiedades aislantes. Las descargas disruptivas durante el funcionamiento pueden conducir a una aislación autorregenerable o no autorregenerable.

Aislación no autorregenerable

Es la aislación que pierde sus propiedades aislantes o no las recupera íntegramente, después de haber estado sometido a una descarga disruptiva de sobretensión y/o tensión de ensayo.



CLASIFICACION DE TENSIONES Y SOBRETENSION

La clasificación de sobre tensiones se presenta de acuerdo a la normativa IEC 60071.

Tensión continua (a frecuencia industrial): Se considera que tiene un valor r.m.s. constante, continuamente aplicado a cualquier par de terminales de una configuración de aislación.

Sobretensión Temporal: Sobretensión a frecuencia industrial de duración relativamente larga.

Sobretensión Transitoria: Sobretensión de corta duración (milisegundos o menos), oscilatoria y no oscilatoria que por lo general es altamente amortiguada.



CLASIFICACION DE TENSIONES Y SOBRETENSION

CLASIFICACION	BAJA FRECUENCIA		TRANSITORIO		
	CONTINUO	TEMPORAL	FRENTE LENTO	FRENTE RAPIDO	FRENTE MUY RAPIDO
FORMA DE TENSION O SOBRETENSION					
RANGO DE LA FORMA DE TENSION O SOBRETENSION	$f = 50 \text{ Hz or } 60 \text{ Hz}$ $T_t \geq 3 \text{ 600 s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_t \leq 3 \text{ 600 s}$	$20 \mu\text{s} < T_p \leq 5 \text{ 000 } \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T_t \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
FORMA DE SOBRETENSION NORMALIZADA					A ESPECIFICAR POR COOMITE CORRESPONDIENTE
TEST VOLTAJE ESTÁNDAR A RESISTIR	A ESPECIFICAR POR COOMITE	Short-duration power frequency test	Switching impulse test	Lightning impulse test	A ESPECIFICAR POR COOMITE



Sobretensiones representativas (URP)

Sobretensiones asumidas que producen el mismo efecto dieléctrico en la aislación que las sobretensiones de una clase dada ocurridas en servicio y debidas a diferentes orígenes.

Son tensiones con la forma de onda normalizada para cada clase y pueden ser definidas por un valor o un conjunto de valores o una distribución de frecuencias de valores que caracteriza las condiciones de servicio.



Sobretensiones de soportabilidad requerida

Tensión de prueba que la aislación deberá soportar en un ensayo de soportabilidad normalizado para asegurar que la aislación cumplirá el criterio de desempeño cuando está sometida a una clase de sobretensiones dada las condiciones reales de servicio y para todo el tiempo de servicio. La tensión requerida de soportabilidad tiene la forma de la tensión de coordinación soportada, y está especificada con referencia a todas las condiciones del ensayo de soportabilidad normalizado seleccionado para verificarla.



Sobretensión de soportabilidad normalizada

Valor normalizado de la tensión de prueba aplicado en un ensayo de soportabilidad normalizado. Este es el valor asignado de la aislación y prueba que la aislación cumple con una o más tensiones de soportabilidad requeridas.

Tensión soportada de coordinación (U_{cw})

Para cada categoría de tensión, es el valor de la tensión soportada de la configuración de aislación, en las condiciones reales de funcionamiento, que satisface el criterio de comportamiento.



CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA

Aislación y coordinación del aislamiento

Factor de coordinación (K_c)

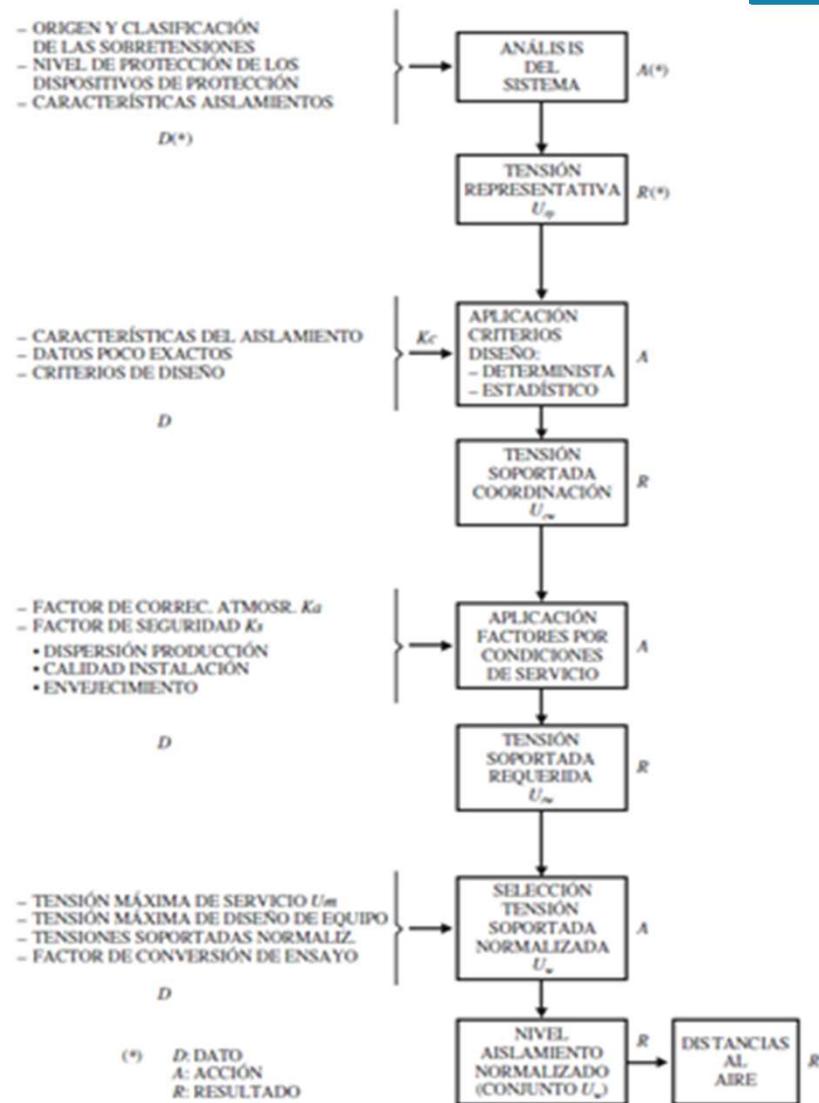
Es el factor con el cual se deberá multiplicar la sobretensión representativa para obtener el valor de la tensión de coordinación soportada.

Factor de conversión del ensayo (K_t)

Es el factor aplicado a la tensión de soportabilidad requerida, en el caso en el que la tensión de soportabilidad normalizada se selecciona con una forma de onda diferente, para obtener el límite inferior de la tensión de soportabilidad normalizada que puede ser asumido para probar la aislación.

Factor de falla a tierra

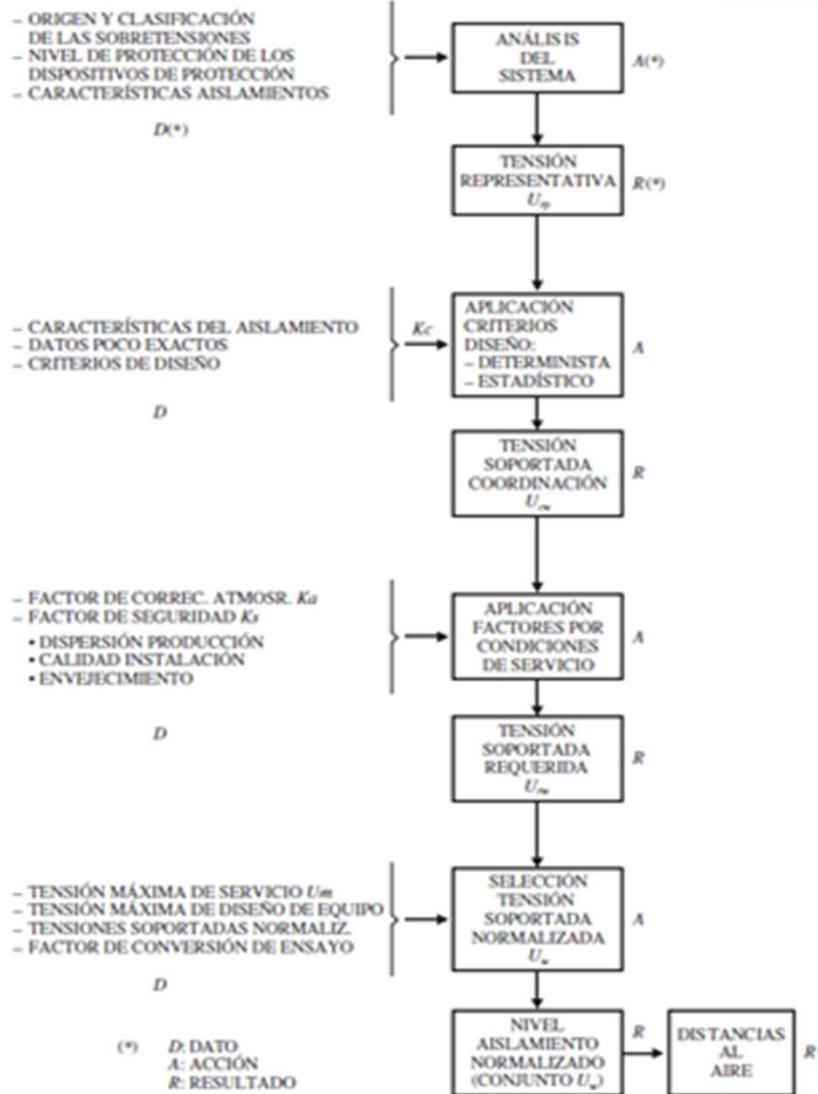
Es un punto dado de un sistema trifásico, y para una configuración dada, la relación entre el valor r.m.s. más alto de la tensión fase-tierra a frecuencia industrial en una fase sana durante una falla a tierra que afecta una o más fases en cualquier punto del sistema y la tensión a frecuencia industrial fase-tierra obtenida en el punto dado en la ausencia de cualquier falla.





CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA

Aislación y coordinación del aislamiento



Factor de corrección atmosférico (K_a)

Es el factor que debe ser aplicado a la tensión de coordinación soportada para tener en cuenta la diferencia entre las condiciones atmosféricas promedio en servicio y las condiciones atmosféricas normalizadas. Éste aplica a la aislación externa únicamente.

Factor de seguridad (K_s)

Es el factor total que debe ser aplicado a la tensión de coordinación soportada, después de la aplicación del factor de corrección atmosférico (si se requiere), para obtener la tensión de soportabilidad requerida, para tener en cuenta todas las otras diferencias entre las condiciones en servicio y las del ensayo de soportabilidad normalizado. pico exceda el correspondiente valor pico de la tensión más alta del equipo.



La norma IEC establece el procedimiento para realizar la coordinación de aislamiento, el cual consiste en elegir un conjunto de tensiones soportadas normalizadas que caracteriza la aislación del material aislante que se aplica en equipamientos. Asimismo, se establecen factores que tengan en cuenta las condiciones ambientales que repercuten en estos valores.



Determinación de tensiones soportadas de coordinación (UCW)

Considerando las instalaciones; este paso consiste en establecer los valores mínimos de las tensiones soportadas de la aislación que satisfacen el criterio de comportamiento cuando la aislación se somete a las sobretensiones representativas en las condiciones de funcionamiento.

Las tensiones soportadas de coordinación de la aislación tienen la forma de sobretensiones representativas de la categoría considerada y sus valores se obtienen multiplicando los valores de las sobretensiones representativas por un factor de coordinación, es decir que se realiza la mayoración de estos. El valor del factor de coordinación está sujeto al grado de precisión de la evaluación de las sobretensiones representativas y de una estimación empírica o estadística de la distribución de las sobretensiones y de las características de la aislación de los materiales considerados.



Las tensiones soportadas de coordinación pueden determinarse como tensiones soportadas previstas convencionales (método determinista) o como tensiones soportadas estadísticas (método estadístico). El método influye sobre el valor del factor de coordinación.

Se puede determinar directamente las tensiones soportadas de coordinación estadísticas, sin tener que pasar por las etapas intermedias de determinación de las sobretensiones representativas, mediante la simulación de los fenómenos de sobretensión combinado con la evaluación simultánea del riesgo de defecto, utilizando las características adecuadas de la aislación.



Los análisis de sobretensiones pueden efectuarse mediante simulaciones digitales, por ejemplo, utilizando el programa ATP y su interfaz gráfica ATPDraw. Al considerar las instalaciones y su operatividad se desprenden las operaciones generadoras de fenómenos transitorios que van a simularse, principalmente se plantean las siguientes (dependiendo de las instalaciones):

- Energización de líneas
- Recierres monopolares en líneas
- Maniobra de transformadores

Las maniobras estadísticas simuladas, permiten obtener los valores medios y la desviación estándar (σ) con las cuales se calcula el valor estadístico que corresponde a las sobretensiones con el 98% de probabilidad de ocurrencia, que corresponden a las tensiones representativas, de acuerdo a las Normas IEC 60071-1 e IEC 60071-2



Determinación de las tensiones soportadas especificadas (URW)

Efectivamente existen diferencias entre las condiciones reales de servicio de la aislación y las de los ensayos de tensiones soportadas normalizadas. Por lo cual es necesario convertir las tensiones soportadas de coordinación (U_{cw}) vistas en el paso anterior, en condiciones de ensayo normalizadas adecuadas. Esto se hace multiplicando las tensiones U_{cw} por factores que compensen las diferencias:

- **Los factores que se aplican deben compensar:**
- **Las diferencias en el montaje del material;**
- **La dispersión en la calidad de fabricación;**
- **La calidad de la instalación;**
- **El envejecimiento de la aislación durante la vida esperada; Otras influencias desconocidas**



Elección del nivel de aislamiento asignado (U_w)

Esta elección consiste en seleccionar el conjunto de tensiones soportadas normalizadas (U_w) de la aislación más económico, suficientes para demostrar que se satisfacen todas las tensiones soportadas especificadas.

La tensión soportada permanente de la aislación a frecuencia industrial, del material, que es la tensión más elevada del material; se elige como la tensión más próxima al valor normalizado de U_m igual o superior a la tensión soportada **permanente a frecuencia industrial** especificada.

Tabla 2
Niveles de aislamiento normalizados para la gama I
(1 kV < U_m < 245 kV)

Tensión más elevada para el material U_m kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo kV (valor de cresta)
3,6	10	20
		40
7,2	20	40
		60
12	28	60
		75
17,5	38	75
		95
24	50	95
		125
36	70	145
		170
52	95	250
		325
72,5	140	450
		550
123	(185)	450
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
170	275	650
	(230)	(550)
	275	650
245	325	750
	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050

NOTA - Si los valores entre paréntesis son insuficientes para probar que las tensiones soportadas especificadas entre fases se cumplen, se requieren ensayos complementarios de tensiones soportadas entre líneas.



Cálculo de niveles de aislación en función de las condiciones climáticas y la altitud

Los voltajes de descarga disruptiva para espacios de aire dependen del contenido de humedad y la densidad del aire. La resistencia del aislamiento aumenta con la humedad absoluta hasta el punto en que se forma condensación en las superficies del aislante. La resistencia del aislamiento se acorta al disminuir la densidad del aire.



En los equipos en instalaciones de líneas o estaciones transformadoras que tienen un determinado aislante en su interior, aceite en transformadores de medida o hexafluoruro de azufre en interruptores, por ejemplo, la rigidez dieléctrica del medio aislante, en el interior no se modifica con las variaciones de presión atmosféricas, ya que se encuentra presurizado en el interior del equipo, por lo que el aislamiento interno no se ve influenciado por la altitud.

La atmósfera de referencia estándar es:

- temperatura del aire ambiente ϑ_0 : 20 °C
- presión de aire absoluta p_0 : 1013 hPa (1013 mbar)
- humedad absoluta del aire h_0 : 11 g / m³

Cualquier desviación de la temperatura, presión o humedad del aire de estos valores de La referencia tiene un impacto en la rigidez dieléctrica del aislamiento externo.



Contaminación

Cuando existe contaminación en las zonas donde se ubican los equipos, la respuesta de la aislación externa a las tensiones a frecuencia industrial, cobra especial importancia y puede convertirse en la razón principal para diseñar la aislación externa. El contorneo de la aislación ocurre generalmente cuando la superficie está contaminada y se humedece debido a llovizna, nieve, rocío o niebla que no tienen un efecto de lavado significativo.

La norma IEC ha especificado cuatro niveles cualitativos de contaminación, la cual se aplica solo a aislación de vidrio o porcelana y no cubre algunas condiciones ambientales tales como nieve y hielo bajo fuerte contaminación, lluvia intensa, zonas áridas. Las líneas de fuga aquí especificadas se refieren más al diseño de la aislación que a su coordinación de aislación.

- Nivel I: Ligero (16 mm/kV fase fase)
- Nivel II: Medio (20 mm/kV fase fase)
- Nivel III: Fuerte (25 mm/kV fase fase)
- Nivel IV: Muy fuerte (31 mm/kV fase fase)



Corrección atmosférica

Para distancias en el aire y aislación limpia, debe aplicarse la corrección a las tensiones soportadas a impulso tipo rayo y tipo maniobra. Para aisladores que requieren un ensayo de contaminación, también es necesario una corrección de la tensión soportada de larga duración a frecuencia industrial.

Para la determinación del factor de corrección atmosférico aplicable, puede considerarse que los factores de corrección por temperatura y por la humedad del ambiente, tienden a anularse mutuamente; por lo tanto, a los efectos de coordinación de la aislación, solo es necesario tener en cuenta la presión atmosférica correspondiente a la altitud del lugar para la aislación en seco y bajo lluvia.

Esta suposición se puede considerar correcta para las formas de aisladores para las que la lluvia no reduce la tensión soportada en un alto grado. Para los aisladores con una distancia de cobertizo pequeña, para los cuales la lluvia causa puentes de cobertizo, esta suposición no es completamente cierta.



Corrección atmosférica

Factor de corrección por altitud (K_a)

Se basa en la variación de la presión atmosférica en función a la altitud (norma IEC 60071- 2) y se puede calcular como:

$$K_a = e^{m\left(\frac{H}{8150}\right)}$$



$$K_a = e^{m\left(\frac{H}{8150}\right)}$$

H : Altitud sobre el nivel del mar (metros)

El exponente m en la corrección atmosférica y de altitud tiene en cuenta la descarga comportamiento del espacio de aire considerado.

Para las siguientes clases de tensión y sobretensión, se puede aplicar el exponente m .

Coordinación de tensiones soportadas de frecuencia industrial de larga duración.

Siempre que los valores específicos del exponente m para determinar la tensión soportada por contaminación no sean especificado por IEC TC 36, se puede aplicar el siguiente valor:

$m = 0,5$ para aisladores de líneas aéreas;

$m = 0,8$ para aisladores, casquillos y carcasas de estaciones.

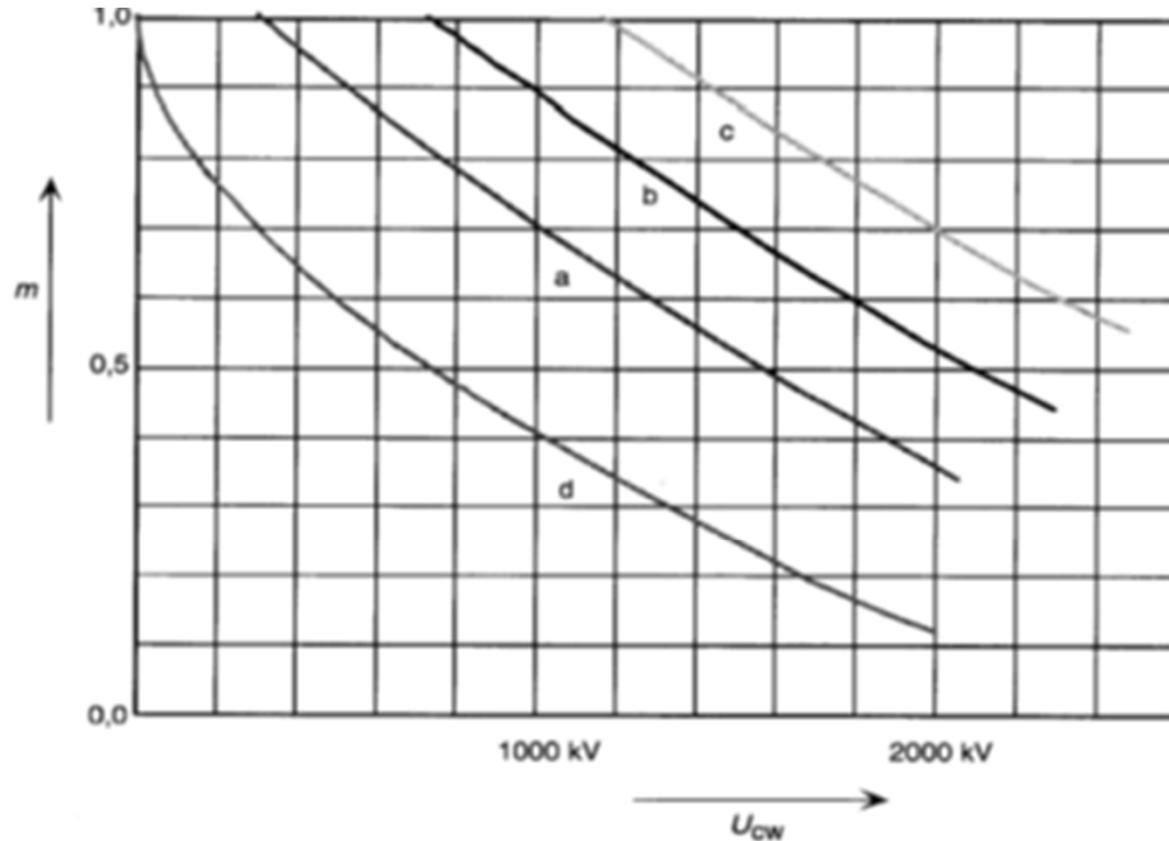
Tensiones soportadas de coordinación de corta duración a frecuencia industrial. Se puede utilizar una estimación conservadora:

$m = 1$.

Tensiones soportadas de coordinación de impulso tipo rayo. Para los impulsos del rayo, el exponente m es igual a 1, lo que es de esperar para una descarga donde el voltaje de descarga disruptiva depende linealmente del espacio libre:

$m = 1$.

Esto es válido también para la tensión combinada de impulso de rayo / frecuencia industrial de longitud aislamientos. La razón es que los impulsos de rayo tienen una duración tan corta que el flashover será una descarga. El voltaje de descarga disruptiva, por lo tanto, aumenta linealmente con la distancia



- a) aislamiento fase - tierra
- b) aislamiento longitudinal
- c) aislamiento entre fases
- d) intervalo en el aire punta - plano (intervalo de referencia)

El valor de las tensiones constituidas por dos componentes es la suma de los valores de las componentes.

Fig. 9 – Relación entre el exponente m y la tensión soportada de coordinación a impulsos tipo maniobra



Medidas de Protección

Básicamente son tres:

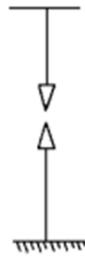
1. Incrementar el BIL del equipamiento.
2. Apantallar las instalaciones mediante cables de guarda.
3. Colocar descargadores de sobretensión.

La opción 1 generalmente no resulta económicamente viable, por lo que suele recurrirse a las otras dos.

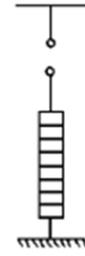


DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN

Evolución histórica de los descargadores de sobretensión



Espinterómetros
En aire o
explosores
1890



Carburo de
Silicio con
espinterómetros
serie 1940



Oxido metálico, oxido
de zinc
(sin espinterómetros)
1970



DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN

Se colocan en paralelo con el objeto a proteger y lo más próximo posible al mismo.

Su objetivo es asegurar que bajo ninguna circunstancia la tensión entre sus bornes:

- Ponga en riesgo su integridad (Durability / Capability)
- Supere aquella que puede resistir el objeto protegido (Protective Characteristics)

Deben asociarse tres importantes ideas en relación con estos dispositivos.

1. En condiciones normales, deben presentar una alta impedancia. Idealmente, infinita.
2. Cuando operan, deben imaginárselos como divisores de tensión
3. Debe considerarse su capacidad de disipar o almacenar la energía asociada a su operación.



DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN





DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN





DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN





DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN





DESCAR





Parámetros Característicos del Sistema

Niveles de Tensiones Resistidas

Tensiones Resistidas de Impulsos de Maniobra y Descargas Atmosféricas (SIL / BIL)

Sobretensión Temporal (TOV)

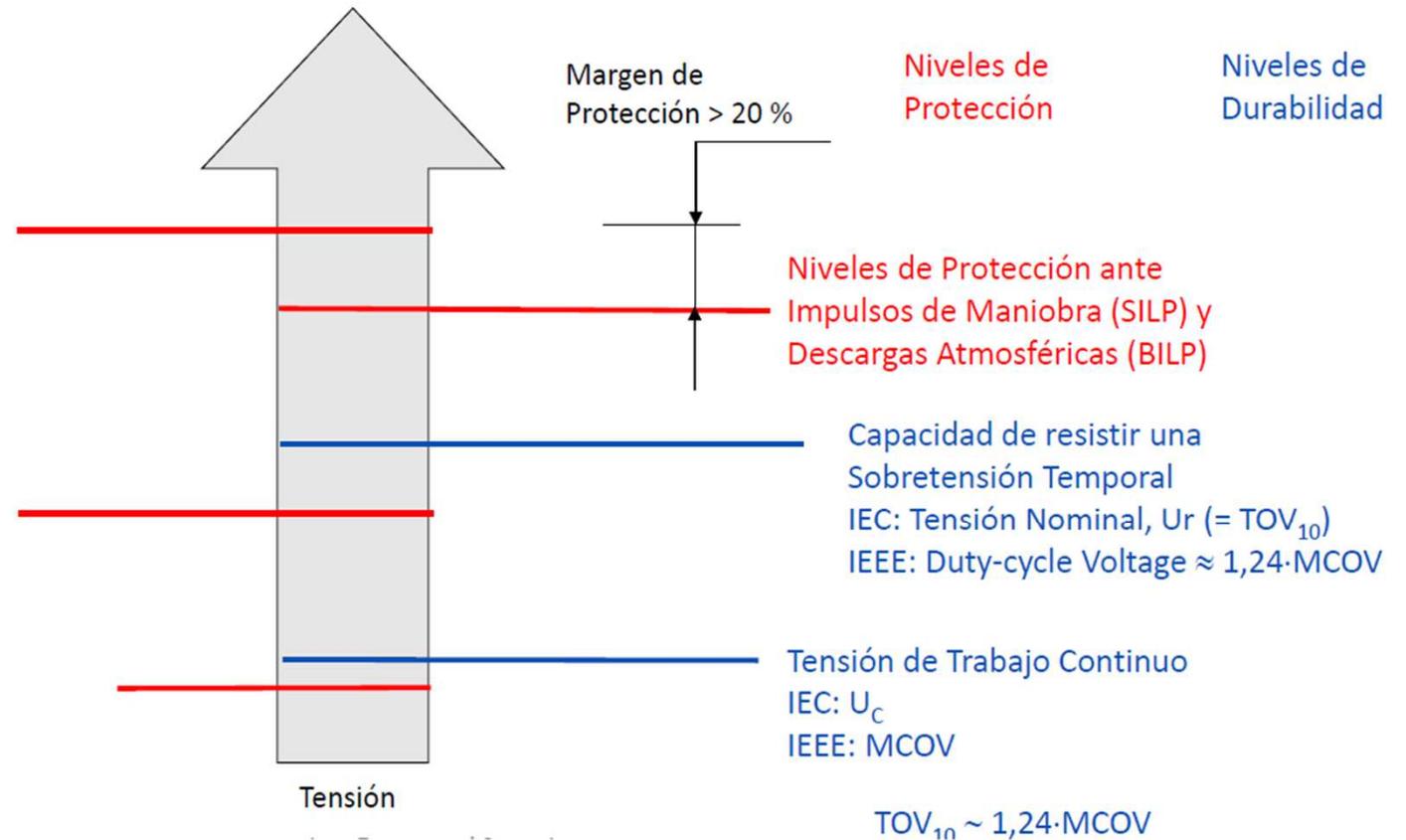
Tensión máxima del Sistema ($U_m / \sqrt{3}$)

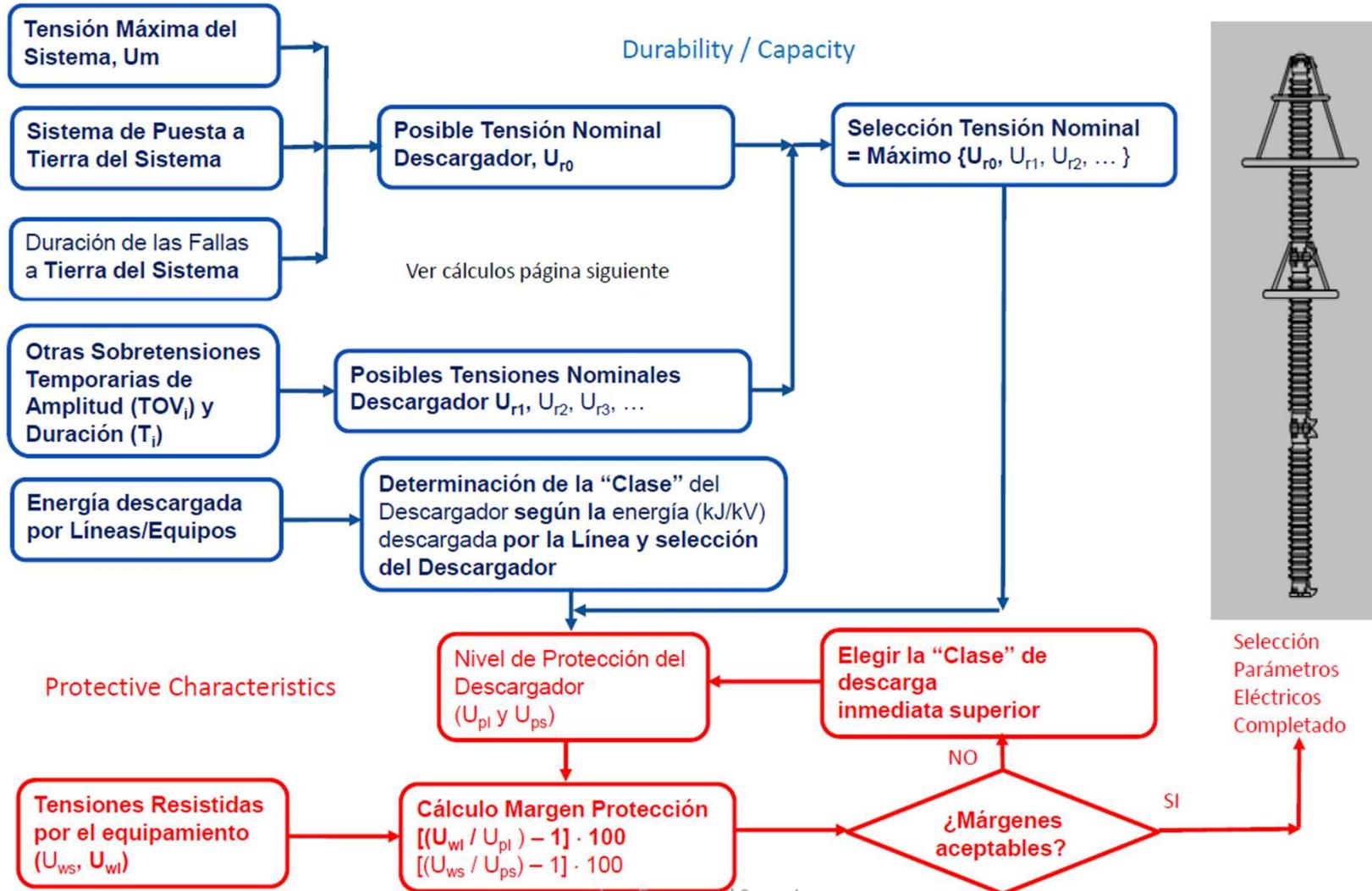
Parámetros Característicos del Descargador

Margen de Protección > 20 %

Niveles de Protección

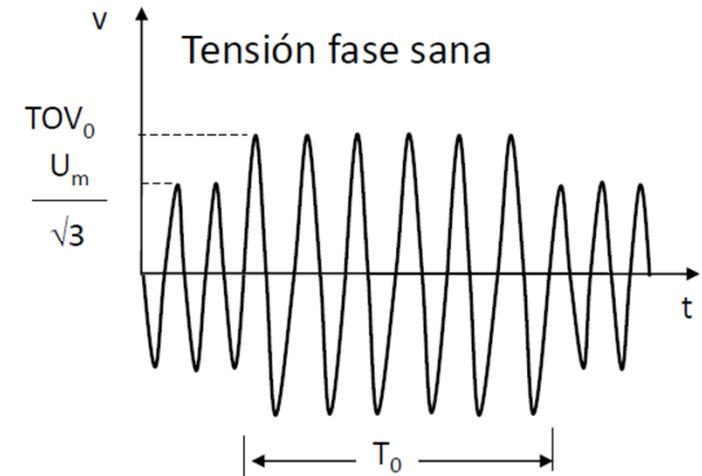
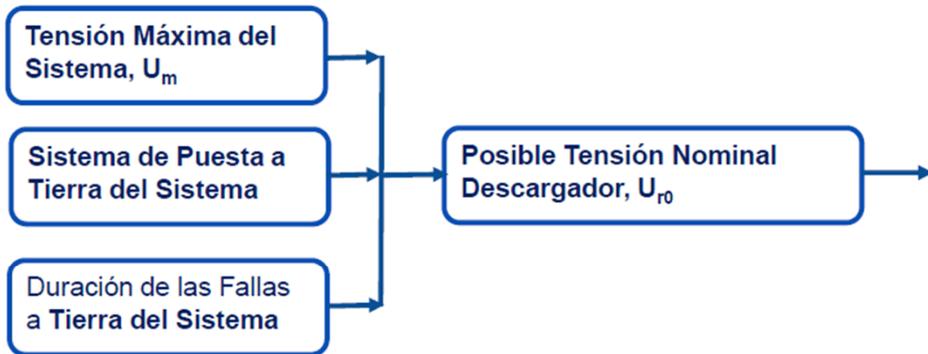
Niveles de Durabilidad







Durability / Capacity



k: Factor de falla a tierra $k = \frac{TOV}{U_m / \sqrt{3}}$

Sistema con neutro efectivamente a tierra $\rightarrow k \leq 1,4$

Sistema con neutro aislado $\rightarrow k = 1,9$

Sistema con neutro no efectivamente a tierra $\rightarrow 1,4 < k < 1,9$

T_0 = Duración de las fallas a tierra (generalmente del orden de 1 s)

$$TOV_{10} = k \cdot \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{T_0}{10}\right)^{B1} \quad TOV_{10} \rightarrow U_{r0}$$