

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO



**DIANA CAROLINA RUIZ ROJAS
42032006**

**DIEGO HERNANDO LOZANO BAYONA
42032010**

**PRESENTADO A:
ING. JOSÉ CARLOS ROMERO**

**CENTRALES Y SUBESTACIONES
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE LA SALLE
BOGOTÁ
2007**



INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos están sujetos a sobre tensiones que se pueden modificar en función de los parámetros del sistema eléctrico, debe existir una coordinación razonable entre las sobretensiones existentes, los aislamientos autorrecuperables, los aislamientos de los equipos eléctricos y el nivel de respuesta de los descargadores. Asimismo los aislamientos autorrecuperables de las máquinas se deben diseñar de tal manera que no existan puntos vulnerables para dichas solicitudes dieléctricas transitorias. Es importante también conocer las pruebas finales de evaluación de los aislamientos de las máquinas, componentes y equipos de alta tensión.



OBJETIVOS

- ✓ Analizar las diferentes componentes que afectan en la escogencia de un debido nivel de aislamiento.
- ✓ Comprender y desarrollar el cálculo de la coordinación de aislamiento para una subestación convencional.
- ✓ Conocer e identificar los diferentes niveles de protección y su respectivo factor de seguridad
- ✓ Determinar las diferentes correcciones en la coordinación de aislamiento que se deben realizar para obtener un sistema de potencia confiable.



1. SOBRETENSIONES

Es cualquier voltaje dependiendo del tiempo, entre fases o fase y tierra, teniendo un valor pico o valores que excedan al correspondiente valor pico derivado de la tensión más alta del tiempo.

Las tensiones que ocurren en un sistema son usualmente divididas por definición en tres grupos: sobretensiones temporales, sobretensiones de maniobra y sobretensiones atmosféricas, tal como se muestra en la figura 1. Las dos primeras se consideran como de origen interno, mientras que la tercera se considera de origen externo.

El la figura 2 se pueden visualizar los rangos de amplitud y duración de estos tipos de sobretensiones.

Sobretensiones temporales

Las sobretensiones temporales son a frecuencia industrial o muy cercana a la frecuencia industrial y no muy amortiguadas o suavemente amortiguadas. Ellas están asociadas principalmente a pérdidas de cargas, fallas a tierra y resonancia de diferentes tipos. En un sistema bien disecado las amplitudes de las sobretensiones temporales no deben exceder 1.5 p.u. y su duración debe ser menor de 1 seg.



En la coordinación de aislamiento, las sobretensiones temporales son de gran importancia porque ellas determinan las características nominales de los pararrayos y, por lo tanto, también los niveles de protección factibles.

En la figura 3, se muestran las sobretensiones temporales más altas en una fase no fallada durante una falla monofásica a tierra como una función de las impedancias de secuencia positiva y secuencia cero de un sistema. “sobretensión temporal más alta, expresada en p.u., para un caso específico es llamada ‘factor de falla a tierra’ y caracteriza las condiciones de tierra del sistema en cuestión.

Sobretensiones de maniobra

Las sobretensiones de maniobra están asociadas a todas las operaciones de maniobra y fallas en un sistema. Sus altas amplitudes están generalmente en el rango de 2 a 4 p.u., dependiendo mucho de los valores reales de diseño del sistema y de los medios para limitarlas. La forma de onda puede variar mucho, pero puede ser representada por una oscilación de algunos cientos a algunos miles de ciclos, superpuesta en una onda a frecuencia industrial, o por una onda doble exponencial con un tiempo de frente de 10 a 1000 μ s.

La figura 4 presenta una indicación de las magnitudes de los transitorios de maniobra que pueden aceptarse en sistemas de potencia con niveles de aislamiento normales. Estas amplitudes son mostradas como una banda, aproximadamente 15% por debajo de los niveles de aislamiento a la maniobra (BSL o SIWL) económicos y recomendados por la IEC con un rango de 3.5 a 4 p.u. aproximadamente a 145 kV y menores, hasta aproximadamente 2 p.u. a 800 kV.

Las sobretensiones por maniobra más significativas podrían ser las siguientes:

- Sobretensiones causadas por los procesos de cierre de interruptores.



- Interrupción de corrientes capacitivas; por ejemplo al desconectar líneas largas en vacío o desconectar bancos de transformadores. Estas maniobras pueden conllevar reencendido en los interruptores, haciendo más crítica la situación. Las sobretensiones más altas de este tipo son aproximadamente de 4 p.u.
- Apertura de pequeñas corrientes inductivas; por ejemplo, en la salida o entrada de un transformador sin carga, o en los reactores.
- Tensiones de ferorresonancia que pueden aparecer durante el proceso de desconexión de partes del sistema que no tienen conexión a tierra. El fenómeno en este caso se debe a la no simultaneidad del cierre o la apertura de las tres fases.

Sobretensiones atmosféricas

Las sobretensiones atmosféricas de amplitudes grandes pueden entrar a una subestación como resultado de descargas atmosféricas directas a una línea o como flameos inversos en una torre.

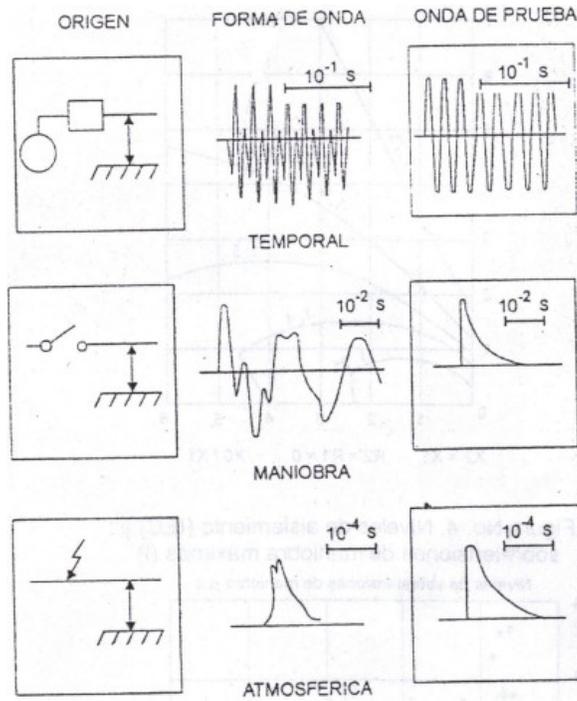


Figura 1. Sobretensiones

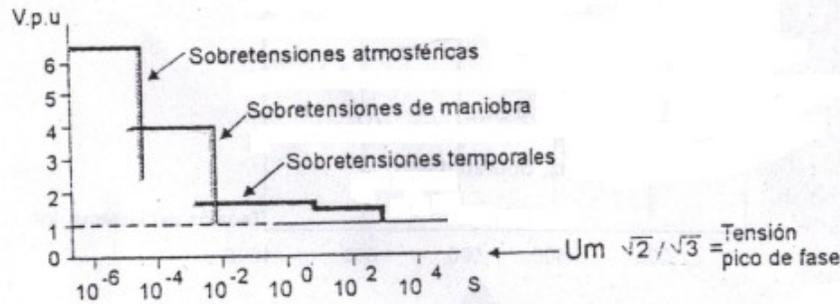


Figura 2. Representación esquemática de los diferentes tipos de sobretensiones

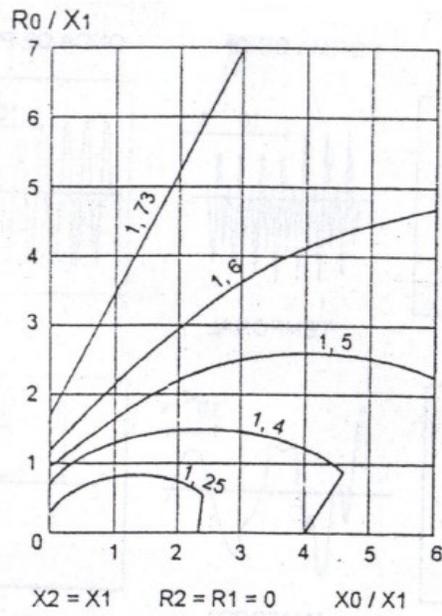


Figura 3. Sobretensiones temporales durante fallos monofásicos a tierra

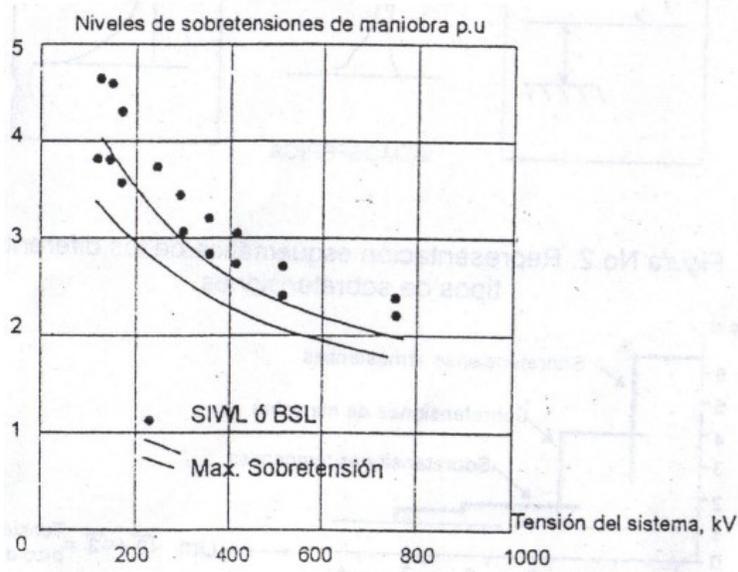


Figura 4. Niveles de aislamiento (IEC) y sobretensiones de maniobra máximas (I)



2. PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES

Las protecciones contra sobretensiones están diseñadas fundamentalmente para:

- Limitar la tensión que aparecerá en los terminales del aparato protegido
- Localizar los arcos o descargas disruptivas en lugares donde no se puedan producir daños, cuando resulte antieconómico prevenir dichos arcos.

Lo más recomendable es tener el dispositivo de protección lo más cerca posible del equipo protegido; sin embargo, a veces esto no es posible y en tales casos deben buscarse la solución más adecuada ponderando objetivamente cada uno de los factores analizados anteriormente.

La protección contra sobretensiones externas fundamentalmente se realiza a través de una correcta escogencia del cable de guarda para el apantallamiento de las líneas, utilizando el método electrogeométrico. Otra medida para la protección de equipos de la subestación contra sobretensiones de tipo externo consiste en instalar explosores o cuernos de arco en los equipos de la subestación.

No obstante, la protección más segura y completa para limitar las sobretensiones de origen atmosférico a valores no peligrosos para el aislamiento del equipo, se obtiene con la instalación de pararrayos; estos son especialmente utilizados para:

- Subestaciones donde los explosores están en funcionamiento con demasiada frecuencia por ser instalaciones demasiado expuestas a las sobretensiones.
- Protección de los transformadores de potencia y de bobinas de reactancia, especialmente cuando tienen un aislamiento reducido.
- Protección del neutro de los transformadores de potencia cuando operan con el punto neutro aislado y los arrollamientos tienen aislamiento gradual.
- Instalaciones en extraaltas tensiones para reducir el nivel de aislamiento de los interruptores.



3. COORDINACION DE AISLAMIENTO

De acuerdo con lo establecido en las normas IEC 71-1, IEC 71-2 e IEC 71-3 podemos definir los términos mas utilizados en la coordinación de aislamiento.

Comprende la selección de la soportabilidad o resistencia eléctrica de un equipo y su aplicación en relación con las tensiones que pueden aparecer en el sistema en el cual el equipo será utilizado, teniendo en cuenta las características de los dispositivos de protección disponibles, de tal manera que se reduzca a niveles económicos y operacionalmente aceptables la probabilidad de que los esfuerzos de tensión resultantes impuestos en el equipo causen daño al aislamiento o afecten la continuidad del servicio.

OBJETIVO

Determinar las características de aislamiento necesarias y suficientes de diversos componentes de la redes con vistas a obtener una rigidez homogénea a las tensiones normales así como a las sobretensiones de origen diverso.

FINALIDAD

Permitir una distribución segura y optimizada de la energía eléctrica. (la optimización busca la mejor relación económica para los diferentes parámetros que dependen de esta coordinación: aislamiento, protecciones y averías).

La coordinación de aislamiento consiste en combinar las características de operación de los descargadores con las curvas voltaje - tiempo de los aislamientos de los equipos, de manera que se tenga una protección efectiva y económica contra los sobrevoltajes transitorios. (Figura 5.). En la curva B representa las características de operación de un descargador, mientras que la curva A es la de voltaje - tiempo de un aislamiento. De acuerdo con la definición anterior se tendrá una



protección efectiva siempre que la curva A este por encima de la curva B manteniendo un margen de seguridad adecuado

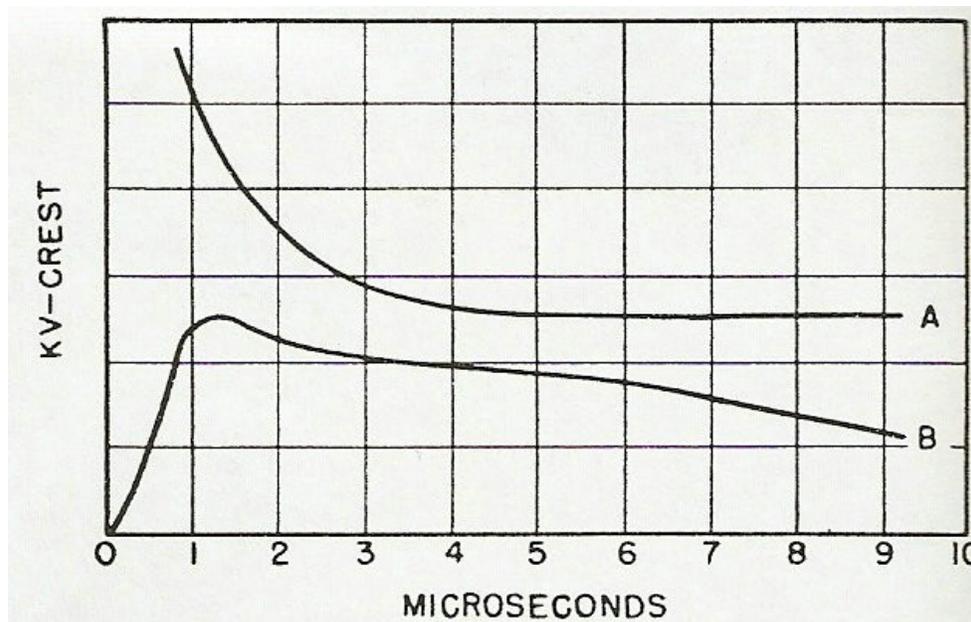


Figura 5. Coordinación entre la característica de Operación de un descargador y la curva voltaje - tiempo de un aislamiento.

4. DISTANCIA DE AISLAMIENTO

Esta denominación reagrupa dos nociones, una de distancia en el gas (aire, SF6, etc.) y la otra de la «línea de fuga» de los aislantes sólidos (figura 5)

- La distancia en el gas es el camino más corto entre dos partes conductoras.
- La línea de fuga es igualmente el camino más corto entre dos conductores, pero siguiendo la superficie exterior de un aislante sólido.

Estas dos distancias están directamente ligadas al afán de protección contra las sobretensiones, pero sus tensiones soportadas no son idénticas.

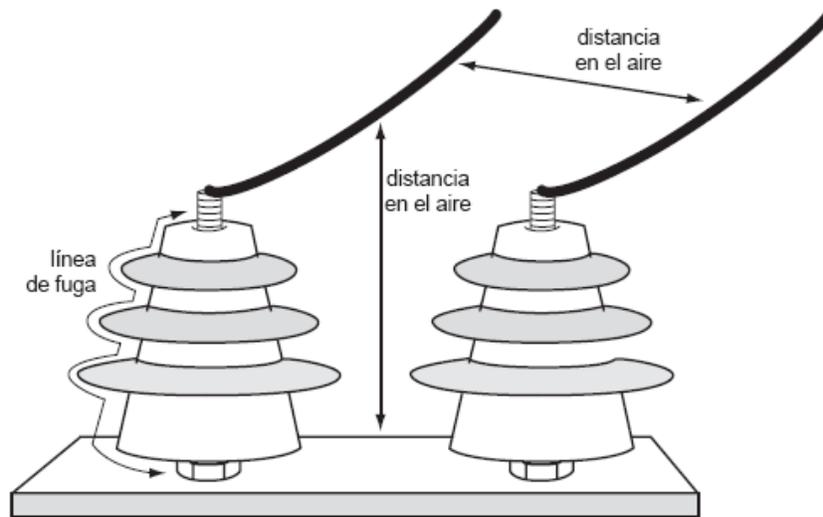


Figura 5. Distancia en el aire y línea de fuga

5. TENSIONES SOPORTADAS

Difiere, en particular, según el tipo de sobretensión aplicada (nivel de tensión, frente de onda, frecuencia, duración). Además, las líneas de fuga pueden estar sujetas a fenómenos de envejecimiento, propios del material aislante considerado, que implica una degradación de sus características.

Los factores influyentes son principalmente:

- Las condiciones ambientales (humedad, polución, radiaciones UV).
- Las tensiones eléctricas permanentes (valor local del campo eléctrico).

La tensión soportada de distancia en el gas es función igualmente de la presión:

- Variación de la presión del aire con la altura,
- Variación de la presión de llenado de un aparato.



6. NIVELES DE AISLAMIENTO

Para facilitar el diseño de sistemas de potencia y de los equipos que lo conforman, la IEC ha normalizado un número de niveles de aislamiento de los cuales se puede escoger, considerando las condiciones específicas que prevalecen en el sistema para el cual realizará la coordinación de aislamiento.

✓ Para Tensiones De 52 A 245 Kv

La tabla (1) muestra los niveles de aislamiento para sistemas con tensiones dentro de este margen (para aislamiento Fase-Tierra). Para equipos con tensiones en este rango, el nivel de aislamiento queda completamente definido con las tensiones soportadas a la frecuencia industrial y al impulso atmosférico.

La tensión de prueba a frecuencia industrial asegura también una resistencia apropiada contra transitorios de maniobra. Las recomendaciones para aislamiento fase-fase se ilustra en la tabla (2)

Tensión máxima del equipo U_m (kV) eficaz	Tensión Nominal soportada al impulso tipo rayo (kV) pico	Tensión Nominal soportada a frecuencia industrial (kV) eficaz
52	250	95
72.5	325	140
123	450 550	185 230
145	450* 550 650	185 230 275
170	550 650 750	230 275 325
245	650 750 850 950 1050	275 325 360 395 460

Tabla 1. Niveles de aislamiento Fase-tierra, normalizados para los equipos con tensiones máximo $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$



Tensión máxima del equipo U_m (kV) eficaz	Tensión Nominal soportada al impulso tipo rayo (kV) pico	Tensión Nominal soportada a frecuencia industrial (kV) eficaz
52	250	95
72.5	325	140
123	450 550	185 230
145	450* 550 650	230** 230 275
170	550* 650 750	275** 275 325
245	650* 750* 850 950 1050	360** 360** 360 395 460

Tabla 2. Niveles de aislamiento Fase-fase, normalizados para los equipos con tensiones máximo $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$

* Solo se tiene en cuenta cuando se tengan protecciones apropiadas de sobretensiones a tierra

** Valores mínimos

✓ **Para Tensiones De 300 A 765 kV**

Los niveles de aislamiento normalizados para 300 a 765 kV se ilustra en la tabla (3) . Las tensiones de impulsos atmosféricos soportados, que también se dan en la tabla (3), están más o menos asociados a las tensiones de impulsos de maniobra soportados y normalmente no tienen una influencia decisiva en el diseño del aislamiento. Carios valores de tensiones de impulsos atmosféricos se dan para cada valor de tensión de impulso de maniobra soportada.

Los valores más bajos zona apropiados para equipos bien protegidos por descargadores, mientras los valores mas altos son apropiados para equipos no protegidos.



Tensión máxima del equipo U_m kV (eficaz)	Tensión nominal soportada al impulso tipo maniobra kV (pico)		Tensión nominal soportada al impulso tipo rayo kV (pico)
	Fase-Tierra	Fase-Fase	
300	750	1175	850 950
	850	1300	950 1050
362	850	1300	950 1050
	950	1425	1050 1175
420	950	1425	1050 1175
	1050	1550	1175 1300 1425
525	1050	1675	1175 1300 1425
	1175	1800	1300 1425 1550
765	1300	2550	1425 1550 1800
	1425	2400	1550 1800 2100
	1550	2550	1800 1950 2400

Tabla 3. Niveles de aislamiento Fase-tierra y Fase-Fase, normalizados para los equipos con tensiones máximas $U_m \geq 300$ kV

7. SELECCIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO



Para el estudio del nivel de aislamiento se empleara la metodología tradicional en la norma IEC 71-1 de 1993, teniendo en cuenta la definición de los siguientes parámetros

BIL = Nivel básico de aislamiento (Tensión soportada para impulso tipo rayo): es el valor pico de tensión soportada al impulso tipo rayo el cual caracteriza el aislamiento del equipo en lo que refiere a pruebas.

BSL = Tensión soportada para impulso tipo maniobra: es el valor pico de tensión soportada al impulso tipo de maniobra el cual caracteriza el aislamiento de los equipos en lo referente a pruebas.

K = Factor que relaciona BSL/BIL. Varía de acuerdo con la magnitud de las tensiones de prueba aplicada para los equipos aislados en aire o en aceite y utiliza los siguientes valores:
0.83 para equipos aislados en aceite
0.75 para equipos aislados en aire

Niveles de protección

Son los niveles máximos de tensión pico que deben aparecer en los terminales de un descargador de sobre tensión.

NPM

-Nivel de protección contra impulso de maniobra

NPR

-Nivel de protección para impulso tipo rayo

Factores de seguridad

KM

Factor de seguridad que relaciona el BSL y NPM

- 1.15 Valor común

KI

Factor de seguridad que relaciona el BIL y el NPR

- Rango entre 1.2 y 1.4 siendo 1.25 valor común

- Para niveles de tensión inferiores a 52kV, KI=1.4 mas utilizado

8. CORRECIÓN DE LOS NIVELES DE AISLAMIENTO



Debido al cambio de la densidad del aire por al altura sobre el nivel del mar, es necesario corregir el aislamiento externo de los equipos para así lograr una debida coordinación de aislamiento. Dicha corrección se hace para alturas superiores a 1000 metros (a equipos sumergidos en aceite no se les corrige la altura). Además las tensiones de flameo sobre superficies aislantes cambian con la humedad relativa, lo cual implica una corrección adicional de los niveles de aislamiento

✓ El factor de corrección por la densidad del aire es igual a

$$kd = \left[\frac{p}{po} \right]^m \left[\frac{273 + vo}{273 + v} \right]^n$$

En donde:

po= Presión atmosférica Normaliza, 1013 mbar

p= Presión atmosférica de la instalación, mbar

vo=20 °C

v = Temperatura ambiente de la instalación °C

m y n= exponenciales que depende del tipo y polaridad de la tensión y distancia de flameo d, tal como se ilustra en la figura (6).

✓ En forma similar, el factor de corrección por humedad es igual a :

$$kh = [k]^w$$

En donde:

k= constante en función de la humedad absoluta como se ilustra en la figura (7)

w= exponencial similar a m y n, figura (6)

Algunos fabricantes de equipos han obtenido resultados muy aproximados a los hallados con las anteriores expresiones utilizando la siguiente formula simplificada para determinar el factor de corrección por altura:

$$ka = \frac{1}{1 + 1.25 * 10^{-4} * (H - 1000)}$$



En donde:

k_a = Factor de corrección por altura
 H = Altura sobre el nivel del mar

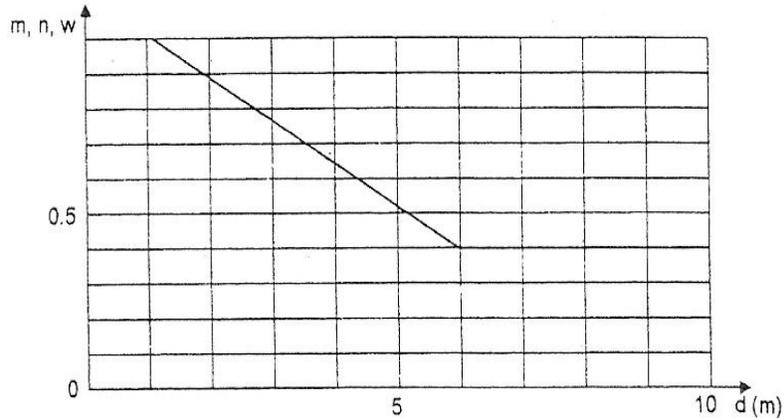


Figura 6. Valor de los exponentes m , n y w en función de la distancia de flameo

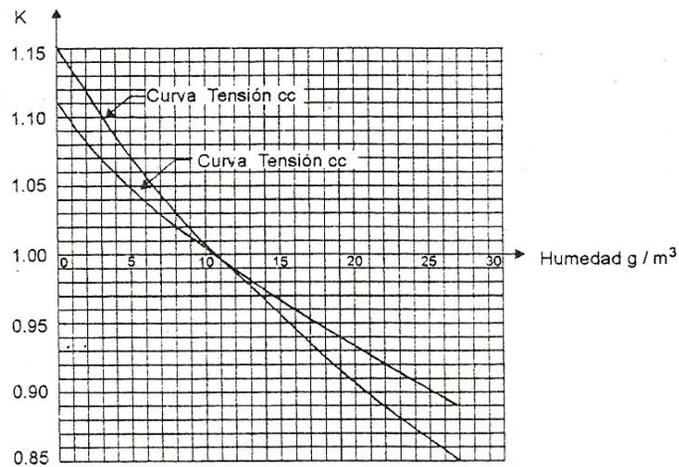


Figura 7. Factor de corrección por humedad en función de la humedad absoluta

- ✓ Factor De Corrección Por Contaminación Ambiental



La contaminación ambiental tiene un efecto directo en la determinación de las distancias de fuga de los aisladores, ya que ella reduce la capacidad de soportar tensiones a la frecuencia industrial tanto en operación normal como durante fallas a tierra (sobretensiones temporales): la contaminación tiene efecto directo sobre las sobretensiones tipo impulso y por lo tanto no afectan los niveles de aislamiento respectivos.

Generalmente tener unas distancias de fuga altas debido a la contaminación ambiental no implica amentar el nivel de aislamiento del equipo, pero algunas veces los fabricantes, para tener las distancias de fuga especificadas y no tener que cambiar su diseño normalizado, ofrecen equipos con niveles de aislamiento o de tensión nominal superiores.

9. CÁLCULO DE LA COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

La coordinación empieza con el cálculo de las sobretensiones (de maniobra, temporales y atmosféricas) que someten a esfuerzo el aislamiento; a partir de este dato, los niveles de aislamiento pueden ser determinados por los métodos convencionales o por métodos estadísticos.

METODO ESTADISTICO

Este método está basado en la frecuencia de ocurrencia de una causa dada, la distribución de probabilidad de sobretensiones relativa a esta causa y la probabilidad de descarga de la aislación.

Igualmente se puede determinar el riesgo de falla combinando simultáneamente, para cada aplicación de tensión, las probabilidades de descarga y de sobretensión teniendo en cuenta la naturaleza estadística de las sobretensiones y de la descarga mediante procedimientos adecuados.

La distribución de la sobretensión puede ser determinada por medio de cálculos teóricos o de medidas en el sistema y a la probabilidad de falla del aislamiento por medio de pruebas.

Por ejemplo utilizando los métodos de Monte-Carlo. Se puede obtener el índice de indisponibilidad del sistema debido a fallas del aislamiento



repetiendo los cálculos para diferentes tipos de aislamientos y diferentes configuraciones del sistema.

Particularidades de la tensión soportada a impulso de maniobra, La probabilidad de descarga varía con la tensión con una distribución que, para los fines prácticos de diseño, se puede considerar Gaussiana.

Este último debe ser lo más bajo posible, en particular si se tiene en cuenta que la línea puede estar formada por un número grande de aislaciones en paralelo, y que basta que una falle para que la línea salga de servicio.

El criterio expuesto es aplicable a aislaciones del tipo regenerativo, cuando la aislación no puede regenerarse el aislante debe ser capaz de soportar la sobretensión sin presentar ninguna descarga.

Los equipamientos cuyos aislamientos no regenerativos son las partes principales del equipamiento (transformadores y reactores) son ensayados con un número reducido de impulsos: 1 pleno de amplitud reducida y 3 plenos, para cada polaridad, de amplitudes iguales a la tensión soportada, a fin de evitar daños al aislamiento por la aplicación de gran número de impulsos durante los ensayos.

METODO CONVENCIONAL

Para sistemas con tensiones menores a 300 kV donde el costo del aislamiento es comparativamente bajo. Este método implica que un cierto margen, valor que se basa en la experiencia, sea aplicado entre la máxima sobretensión y el nivel de aislamiento. El margen es lo que se denomina el factor de seguridad.

Se aplica un factor de seguridad (KI) para relacionar el NPR y el BIL. Este factor tiene un rango entre 1.2 y 1.4 siendo 1.25 un valor normalmente aplicado. Para niveles de tensión inferiores a 52kV, el valor KI más utilizado es 1.4.

Se aplica un factor de seguridad KM para relacionar el NPM y el BSL.
Donde
 $KM = 1.15$.

Existe un factor de seguridad que relaciona el BSL y el BIL y que depende del medio aislante así:

- ✓ Equipos sumergidos en aceite, $K=0.83$
- ✓ Equipos aislados al aire, $K=0.6$ a 0.75 .



Procedimiento general para determinar el BIL de un equipo. Para alturas inferiores a 1000 metros sobre el nivel del mar.

1. Obtener el NPR y el NPM del descargador.
2. Determinar el KI y el KM deseados.
3. Obtener el nivel mínimo de aislamiento al impulso atmosférico :
 $BIL = KI * NPR$.
4. Elegir el valor normalizado por encima del BIL encontrado, obteniéndose así el BIL normalizado del equipo en consideración.
5. Determinar el BSL como: $BSL = K * BIL$.
6. Obtener la relación entre BSL y NPM: $KF = BSL / NPM$.
7. El valor determinado en el paso anterior debe ser mayor o igual a KM.
8. Si no se cumple la anterior relación se debe incrementar el BIL encontrado en el paso 4 en un nivel superior y repetir, con este nuevo valor, los pasos 5 y 6. Este incremento del BIL se debe efectuar de modo iterativo hasta obtener el km sea menor o igual al valor determinado en el paso 6.
9. Es suficiente con especificar solamente el BIL del equipo ya que el BSL esta directamente relacionado al BIL.

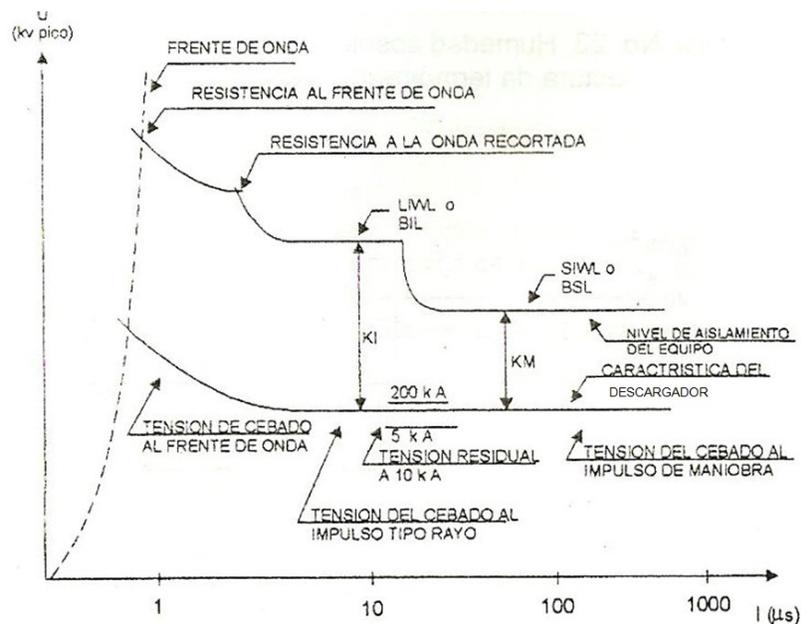


Figura 8. Diagrama de Coordinación

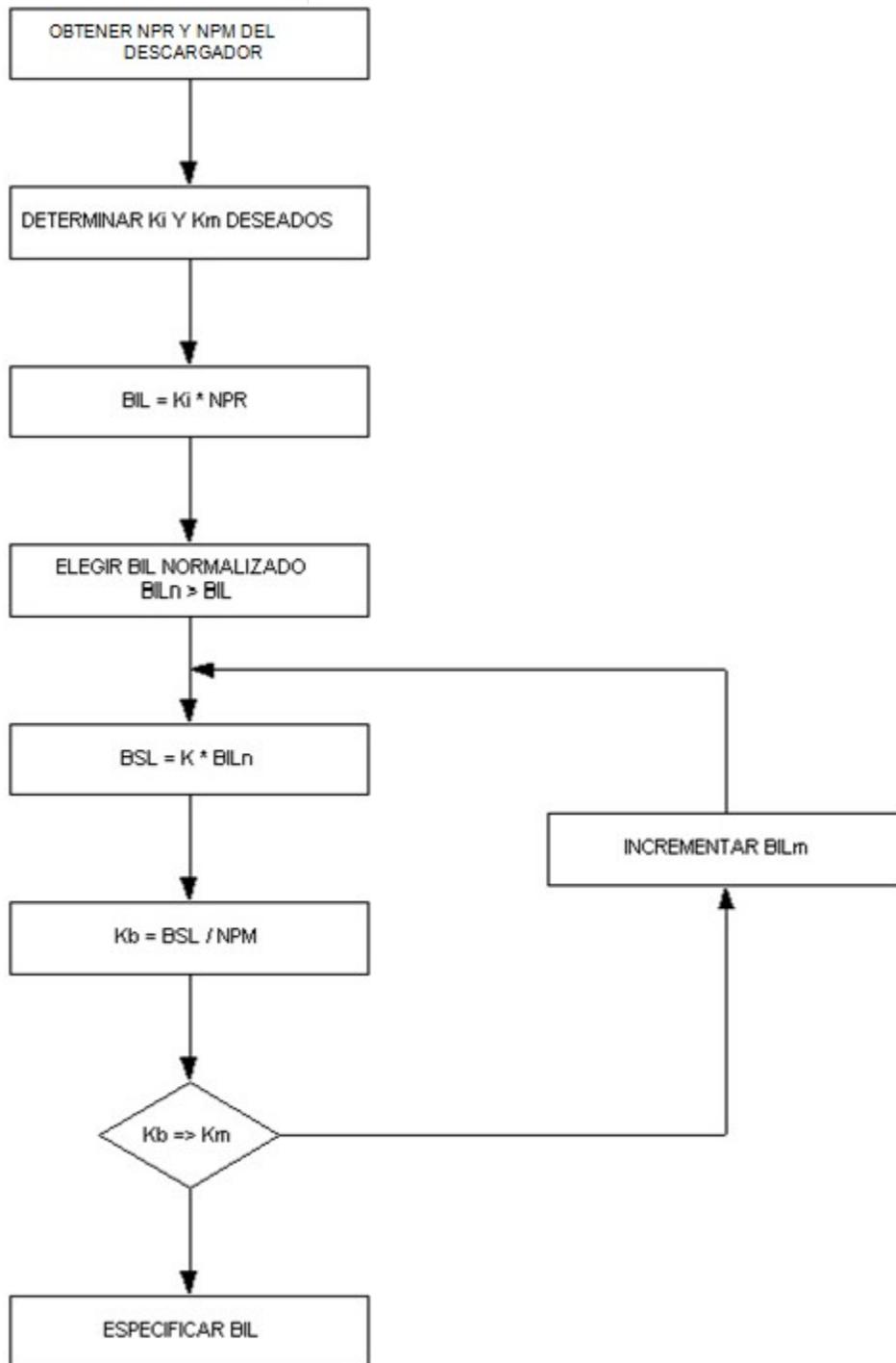


Figura 9. Diagrama de flujo del procedimiento para obtener el BIL de un equipó por el método convencional



10. EJEMPLO

PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA SUBESTACIÓN CONVENCIONAL

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Tensión De Barras	500 kV
Puesta A Tierra	Sólida
Configuración	Interruptor y Medio
Frecuencia	60 ciclos
Tiempo Máximo De Despeje De Falla	18 ciclos
Circuitos De Línea	4 (500 kV)
Carga Nominal	140 MVA
CIRCUITO DE TRANSFORMADORES	
Tipo	Autotransformadores monofásicos
Relación	$500\sqrt{3} \pm 10 \cdot 1\% / 230 / \sqrt{3} / 34.5$ kV
Potencia Nominal	56/74/95 (MVA)
Refrigeración	0A/FA/FOA
Grupo De Conexiones	Y-Y-d
Corriente De Falla	50 kA Asimétricos

COORDINACION PARA 500 kV

1. Tensión máxima del sistema = 525 kV (Tabla 4)



Tensiones nominales del sistema en kV	Tensión máxima para el equipo kV ef.	Nivel de aislamiento al impulso		Nivel de aislamiento baja frecuencia	
		Aislamiento pleno kV pico	Aislamiento reducido kV pico	Aislamiento pleno kV ef.	Aislamiento reducido kV ef.
88-94	100	450	380	185	150
110-115	123	550	450	230	185
132-138	145	650	550 450	275	230 185
150-161	170	750	650 550	325	275 230
220-230	245	1050	900 825 750	460	395 360 325
275-287	300		1175 1050 900		510 460 395
330-345	362		1300 1175 1050		570 510 460
380-400	420		1675 1550 1425 1300		740 680 630 570
500	525		1800 1675 1550 1425		790 740 680 630

Tabla 4. Niveles de aislamiento normalizados por IEC

**2. Factor de seguridad que relaciona el BIL y el NPR
KI = 1.4**

3. Tensión nominal del descargador es:

$$\frac{525 \text{ kV}}{\sqrt{3}} * (1.4) = 424.35 \text{ kV}$$



4. Descargador seleccionado

- Marca: SIEMENS
- Vnom: 432 kV
- Ref: 3EM3/432 - ON

5. Características del descargador

CARACTERISTICAS DEL DESCARGADOR	VALOR
Tensión de impulso 1.2/50 μ s	975 kV
Tensión residual onda de corriente 8/20 μ s para (10kA)	1035 kV
Tensión de cebado al frente de onda	1160kV
Tensión de maniobra	1035kV

Para la elección del NPR se escoge el mayor valor entre:

- Tensión máxima de cebado al frente de onda dividido por 1.15

1009 kV

- Tensión máxima de cebado al impulso

975 kV

- Tensión máxima residual

1035 kV

NPR: 1035 kV

NPM: 1035 kV

6. Aislamiento en el aire (AO)

La norma IEC 71 recomienda que los factores de seguridad KI y KM sean 1.25 y 1.15 respectivamente



$$\text{BIL} = \text{NPR} * \text{KI} = 1035 * 1.25 = 1294 \text{ kV}$$

Lo cual permite escoger un valor normalizado para BIL de 1300kV (Ver tabla 5)

Para equipos aislados en aire ---- $K = 0.75$
BIL = 1300kV

$$\text{BSL} = K * \text{BIL} = 0.75 * 1300 = 975 \text{ kV}$$

$$\text{BSL/NPM} = 975 / 1035 = 0.94$$

$$\text{BSL/NPM} > \text{KM} \quad \text{-----} \quad 0.94 > 1.15$$

Como esto no cumple, entonces se escoge un BIL normalizado mayor

BIL = 1425kV (Ver tabla 5)

$$\text{BSL} = K * \text{BIL} = 0.75 * 1425 = 1069 \text{ kV}$$

$$\text{BSL/NPM} = 1069 / 1035 = 1.03$$

$$\text{BSL/NPM} > \text{KM} \quad \text{-----} \quad 1.03 > 1.15$$

Como esto no cumple, entonces nuevamente se escoge un BIL normalizado mayor

BIL = 1550kV (Ver tabla 5)

$$\text{BSL} = K * \text{BIL} = 0.75 * 1550 = 1163 \text{ kV}$$

$$\text{BSL/NPM} = 1163 / 1035 = 1.12$$

$$\text{BSL/NPM} > \text{KM} \quad \text{-----} \quad 1.12 > 1.15$$

Como esto no cumple, entonces nuevamente se escoge un BIL normalizado mayor

BIL = 1800kV (Ver tabla 5)

$$\text{BSL} = K * \text{BIL} = 0.75 * 1800 = 1350 \text{ kV}$$

$$\text{BSL/NPM} = 1350 / 1035 = 1.30$$



$$\text{BSL/NPM} > \text{KM} \quad \text{-----} \quad 1.30 > 1.15$$

Se obtiene finalmente

$$\text{BIL} = 1800 \text{ kV}$$

$$\text{BSL} = 1350 \text{ kV}$$

$$\text{BSLnormalizado} = 1300 \text{ kV (Fase - tierra)}$$

$$\text{BSLnormalizado} = 2250 \text{ kV (Fase - fase)}$$

7. Aislamiento en aceite (FA)

La norma IEC 71 recomienda que los factores de seguridad KI y KM sean 1.25 y 1.15 respectivamente

$$\text{BIL} = \text{NPR} * \text{KI} = 1035 * 1.25 = 1294 \text{ kV}$$

Lo cual permite escoger un valor normalizado para BIL de 1300kV (Ver tabla 5)

$$\text{Para equipos aislados en aceite} \quad \text{----} \quad \text{K} = 0.83$$

$$\text{BIL} = 1300 \text{ kV}$$

$$\text{BSL} = \text{K} * \text{BIL} = 0.83 * 1300 = 1079 \text{ kV}$$

$$\text{BSL/NPM} = 975 / 1035 = 1.04$$

$$\text{BSL/NPM} > \text{KM} \quad \text{-----} \quad 1.04 > 1.15$$

Como esto no cumple, entonces se escoge un BIL normalizado mayor

$$\text{BIL} = 1425 \text{ kV (Ver tabla 5)}$$

$$\text{BSL} = \text{K} * \text{BIL} = 0.83 * 1425 = 1183 \text{ kV}$$

$$\text{BSL/NPM} = 1183 / 1035 = 1.14$$

$$\text{BSL/NPM} > \text{KM} \quad \text{-----} \quad 1.14 > 1.15$$

Como esto no cumple, entonces nuevamente se escoge un BIL normalizado mayor

$$\text{BIL} = 1550 \text{ kV (Ver tabla 5)}$$



$$BSL = K * BIL = 0.83 * 1550 = 1287 \text{ kV}$$

$$BSL/NPM = 1287 / 1035 = 1.24$$

$$BSL/NPM > KM \quad \text{-----} \quad 1.24 > 1.15$$

Se obtiene finalmente

$$BIL = 1550 \text{ kV}$$

$$BSL = 1287 \text{ kV}$$

$$BSL_{\text{normalizado}} = 1175 \text{ kV (Fase - tierra)}$$

$$BSL_{\text{normalizado}} = 1800 \text{ kV (Fase - fase)}$$

System nominal/ max. system voltage, kV	Transformers, BIL, kV	Transformers, BSL, kV	Transformer bushings, BIL, kV	Transformer bushings, BSL, kV
1.2/-	30, 45		45	
2.5/-	45, 60		60	
5.0/-	60, 75		75	
8.7/-	75, 95		95	
15.0/-	95, 110		110	
25.0/-	150		150	
34.5/-	200		200	
46/48.3	200, 250		250	
69/72.5	250, 350		350	
115/121	350	280	450	
	*450	375	550	
	550	460		
138/145	450	375	450	
	*550	460	550	
	650	540	650	
161/169	550	460	550	
	*650	540	650	
	750	620	750	
230/242	650	540	650	
	*750	620	750	
	825	685	825	
	900	745	900, 1050	
345/362	900	745	900	700
	*1050	870	1050	825
	1175	975	1175, 1300	825
500/550	1300	1080	1300	1050
	*1425	1180	1425	1110
	1550	1290	1550	1175
	1675	1390	1675	1175
765/800	1800	1500	1800	1360
	1925	1600	1925	—
	2050	1700	2050	—

Tabla 5. Transformer and Bushings BILs BSLs

CONCLUSIONES



- ✓ La coordinación de aislamiento se trata de la debida selección de la capacidad de soportar las distintas demandas dieléctricas que deben tener materiales, equipos e instalación en función de las tensiones que pueden aparecer en las redes considerando también las características de los dispositivos de protección disponibles.
- ✓ No es económico realizar equipos y sistemas con grados de seguridad tales que permitan soportar sobretensiones excepcionales. Se admite que aún en un material bien dimensionado puedan producirse fallas y el problema es entonces limitar su frecuencia teniendo en cuenta un criterio económico basado en costo y continuidad del servicio. La coordinación de la aislación está esencialmente basada en limitar el riesgo de falla, en lugar de fijar a priori un margen de seguridad.
- ✓ La coordinación del aislamiento intenta encontrar un justo equilibrio entre la fiabilidad de los materiales, desde el punto de vista dieléctrico, por una parte y de su dimensionamiento, y por tanto su costo, por la otra parte.
- ✓ La aislación puede ser externa, en aire atmosférico o de superficies en contacto con la atmósfera sometidas a la influencia de condiciones atmosféricas, polución, humedad, etc., interna, sólida, líquida o gaseosa, protegida de la influencia atmosférica, Una aislación tiene capacidad de regeneración cuando después de una descarga disruptiva recupera íntegramente sus características aislantes.
- ✓ La coordinación empieza con el cálculo de las sobretensiones (de maniobra, temporales y atmosféricas) que someten a esfuerzo el aislamiento; a partir de este dato, los niveles de aislamiento pueden ser determinados por los métodos convencionales o por métodos estadísticos.
- ✓ Generalmente tener unas distancias de fuga altas debido a la contaminación ambiental no implica amentar el nivel de aislamiento del equipo, pero algunas veces los fabricantes, para tener las distancias de fuga especificadas y no tener que cambiar su diseño normalizado, ofrecen equipos con niveles de aislamiento o de tensión nominal superiores.



BIBLIOGRAFÍA



- ✓ ROMERO J. VEGA F., Protecciones Eléctricas, Bogotá, Colombia, Octubre de 2000, pág. 183-228
- ✓ ROMERO J., Subestaciones (fundamentos teóricos y consideraciones), Bogotá, Colombia, 2001, pág. 162-165, 295-307
- ✓ Fulchiron D., Cuaderno Técnico nº 151 (Sobretensiones y coordinación Del aislamiento), España, Diciembre 1992
- ✓ IEC (International Electrotechnical Commission) 71-1: Coordinación del aislamiento: definiciones, principios y reglas.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción



Objetivos

1. Sobretensiones
2. Protección contra sobretensiones
3. Coordinación de aislamiento
4. Distancia de aislamiento
5. Tensiones soportadas
6. Niveles de aislamiento
7. Selección del nivel de aislamiento
8. Corrección de los niveles de aislamiento
9. Calculo de coordinación de aislamiento
10. Ejemplo

Conclusiones

Bibliografía