

Tema:
“Coordinación de aislamiento – I Parte”.

Facultad de Ingeniería.
Escuela de Eléctrica.
Asignatura: “Diseño de
Líneas de Transmisión”.

I. OBJETIVOS.

- Determinar y conocer la coordinación de aislamiento, para evitar la influencia de las sobretensiones en los sistemas eléctricos de potencia a partir de la distancia crítica de flameo.
- Conocer los criterios básicos de diseño de la coordinación de aislamiento, por sobretensiones atmosféricas o por sobretensiones de maniobra.
- Conocer las estructuras, equipos y accesorios utilizados para aislar los conductores y equipos energizados y lograr la coordinación de aislamiento requerida.

II. INTRODUCCIÓN.

Coordinación de Aislamiento.

La coordinación de aislamiento eléctrico es la correlación de esfuerzos dieléctricos en los aislamientos de los distintos componentes de un sistema eléctrico de potencia en alta tensión, con el objeto de minimizar el riesgo de pérdida del suministro de Energía Eléctrica, causado por sobretensiones que pudieran causar daños en el equipo y en los distintos elementos de una instalación.

La coordinación de aislamiento es necesaria ya que los sistemas de transmisión están expuestos a sobrevoltajes temporales que pueden ocurrir por una gran variedad de causas, entre las más importantes tenemos: fallas, operación de interruptores y rayos. El aislamiento puede ser seleccionado en función de la altitud de la línea sobre el nivel del mar, manteniendo el nivel básico de impulso de la tensión nominal de operación. El diseño de aislamiento consistirá en la selección del espaciamiento entre fases, fases y tierra, número adecuado de aisladores.

Selección del criterio y nivel de aislamiento.

De acuerdo al nivel de voltaje seleccionado a partir del momento eléctrico y según las normas, para cada voltaje estándar se define los siguientes voltajes: nivel básico de aislamiento para impulso de rayo (NBI o BIL: Basic Lightning Impulse Insulation Level) y nivel básico de aislamiento por maniobra de interruptores (NBS o BSL: Basic Switching Impulse Insulation Level). Dichos niveles establecen el máximo impulso de voltaje de los equipos conectados a la Línea de Transmisión pueden soportar sin que se produzca flameo (arcos eléctricos).

Determinación de la distancia crítica de flameo.

Voltaje crítico de flameo VCF (kV): es el voltaje al cual ocurre el flameo o arco eléctrico. Se calcula según se halla seleccionado la coordinación de aislamiento por rayo (BIL) o por maniobra (NBS), las ecuaciones que definen el VCF son:

$$V(50\%) = VCF = \frac{(BIL)(FS)}{(1 - 1.3)(\sigma)} \quad (\sigma = 3\%) \quad \text{Ecuación 6.1}$$

$$V(50\%) = VCF = \frac{(NBS)(FS)}{(1 - 1.3)(\sigma)} \quad (\sigma = 6\%) \quad \text{Ecuación 6.2}$$

Determinación de distancia entre fase mínima entre fases y tierra (estructura de soporte).

Los métodos para el cálculo de aislamiento tienen sus base entre otros métodos probabilísticos, por lo cual todos pasan a ser hasta cierto punto semi-empíricos. El método de L. París y Gallet-Leroy, establece el cálculo de la distancia de fase a tierra mínimo que se puede dar entre un conductor y tierra (estructura de la torre) sin riesgo a que se produzca arco eléctrico. En las dos técnicas existe una proporcionalidad entre el voltaje crítico de flameo y la distancia de fase a tierra.

Entre las dos técnicas existe una proporcionalidad entre el voltaje crítico de flameo y la distancia de fase a tierra.

$$d = \left(\frac{VCF}{500 k} \right)^{0.6} \quad \text{Ecuación de L. París} \quad \text{Ecuación 6.3}$$

$$d = \frac{8}{\frac{3400 k}{VCF} - 1} \quad \text{Ecuación de Gallet - Leroy} \quad \text{Ecuación 6.4}$$

Donde k es el de GAP determinado experimentalmente, el cual se muestra en la Tabla 6.1 para diferentes tipos de estructuras.

Configuración	Factor GAP (k)
Punta – Plano	1
Punta Estructura	1.05
Conductor Ventana	1.2
Conductor Estructura	1.3
Conductor – Extremo de brazo	1.55

Tabla 6.1: “Factor de Espinterométrico”.

Sobretensiones.

Cuando ocurre un disturbio (transitorio) sobre la red eléctrica, existe una respuesta de la red eléctrica a este disturbio y por lo general se manifiesta como un sobrevoltaje, cuya magnitud puede ser de varias veces el valor del voltaje nominal.

Es posible que los sobrevoltajes puedan ser muy altos y den lugar a falla del aislamiento de los equipos conectados a dicha red con resultados destructivos. Es por tanto imperativo que se diseñen los sistemas de energía de tal manera que los sobrevoltajes esperados queden abajo de la capacidad de soporte del aislamiento de los equipos, lo que se traduce en un costo excesivo. Por lo tanto en el diseño de las redes eléctricas se debe hacer mínima la posibilidad de falla destructiva del equipo debido a sobrevoltajes. Este procedimiento se basa en la coordinación de los sobrevoltajes esperados con la capacidad de soporte del equipo.

El objetivo básico de la protección por sobrevoltaje de los sistemas de potencia es evitar la interrupción del aislamiento y las interrupciones que se dan como consecuencia o los daños al equipo.

Los aisladores más comunes que se emplean en los equipos de un sistema de potencia y sus características son los siguientes: aire, aceite, SF₆, mica, porcelana, vidrio, etc. En general, en términos del daño potencial para el equipo, el aislamiento del equipo de energía puede clasificarse en:

1. **Aislamiento externo:** son las distancias en la atmósfera y las superficies en contacto con el aire circundante de los aislamientos sólidos del equipo que están sujetos a esfuerzos dieléctricos y a los efectos atmosféricos y otras condiciones externas tales como contaminación, humedad, bichos, etc. Entre dichos materiales aislante tenemos: aire, porcelana, vidrio.
2. **Aislamiento interno:** son las partes internas sólidas, líquidas o gaseosas del aislamiento del equipo que están protegidos de las condiciones atmosféricas y otras condiciones externas tales como contaminación, humedad, bichos, etc. Entre dichos materiales aislantes tenemos: Aceite, SF6, mica.

Es importante conocer el nivel de voltaje en el que se ha de dar la disrupción del aislamiento (de cualquier parte). Como la disrupción del aislamiento depende de la forma de onda del voltaje así como de algunos otros factores, se aplican las siguientes definiciones:

- a. **Voltaje nominal de un sistema:** es el valor eficaz de voltaje de línea mediante el cual se designan ciertas características de operación del sistema a que se hace referencia.
- b. **Voltaje máximo del sistema:** es el valor eficaz del voltaje más alto de línea, el cual ocurre bajo ciertas condiciones normales de operación en cualquier momento y en cualquier punto del sistema. La definición incluye:
 - Los voltajes transitorios: sobretensiones por rayo y por maniobra de interruptores.
 - Variaciones temporales de voltaje debido a condiciones anormales en el sistema: fallas o pérdida súbita de carga.
- c. **Voltaje soportado o tensión de aguante:** es el voltaje que el equipo es capaz de soportar sin falla o descarga disruptiva al probarse en las condiciones especificadas.
- d. **Nivel de aislamiento:** una resistencia de aislamiento expresada en función de un voltaje soportado.
- e. **Nivel de aislamiento para impulso por rayo:** es un nivel de aislamiento expresado en función del valor de cresta de un voltaje soportado por impulso de rayo.
- f. **Nivel de aislamiento para impulso por interrupción:** es un nivel de aislamiento expresado en función del valor de cresta de un impulso de voltaje soportado de operación de interruptor.
- g. **BIL:** es el nivel básico de aislamiento para impulso de rayo o NBI. Es un nivel específico de aislamiento expresado en función del valor de cresta de un impulso estándar de rayo.
- h. **Impulso estándar de rayo:** es un impulso completo que tiene un tiempo frontal de 1.2 us y un tiempo a valor medio (tiempo de cola) de 50 ms.

Los sobrevoltajes en un sistema de potencia son originados básicamente por dos causas: las descargas atmosféricas y las operaciones de maniobra en el sistema (switchéo).

Se ha determinado experimentalmente que ha voltajes mayores de 300 KV (o mayores que EHV) el efecto de sobretensión es más severo por ondas debidas a maniobra de interruptores, que por descargas atmosféricas. Esto se debe a dos razones principales:

- 1) Las sobretensiones de maniobra se incrementan, en principio, en forma proporcional con la tensión del sistema, en tanto que las debidas a rayo permanecen más o menos constantes.
- 2) El costo del aislamiento es considerable en las redes de EHV y por lo tanto es importante reducir el aislamiento tanto como sea posible.

III. MATERIAL Y EQUIPO.

No.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Computadora personal con MATLAB 5.3.
2	1	Disco flexible.
3	1	Guía de laboratorio.

Tabla 6.2: "Materiales y equipo".

IV. PROCEDIMIENTO.

Paso 1. Calcule la tensión crítica de flameo y al distancia mínima entre fase y tierra para una Línea de Transmisión a 115 kV aislada, con un BIL por rayo de 450 kV. Si el conductor a tierra a analizar es el que se muestra en la Figura 6.1:

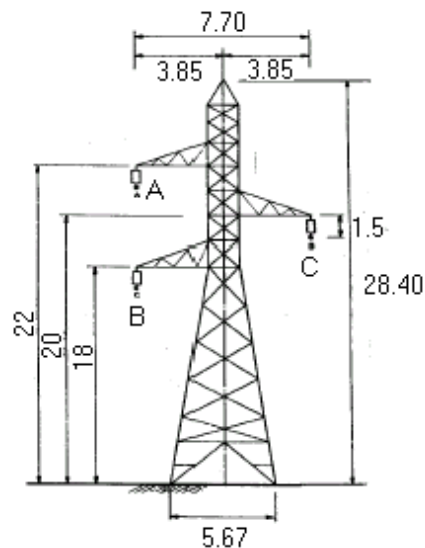


Figura 6.1: "Torre autosoportada 115 kV (dimensiones en metros)".

Voltaje Nominal	Voltaje Máximo	Base para los valores en PU	Valor de tensión para Impulso de Rayo	Valor eficaz de tensión aplicada en prueba
46	52	42.5	250	95
69	72.5	59	325	140
115	123	100	450 550	185 230
138	145	118	450 550 650	185 230
169	170	189	550 650 750	230 325
230	245	200	650 750 850 950 1050	325 360 395 460

Tabla 6.3 (Todos los valores son en kV).

Paso 2. Elabore un programa en MATLAB que calcule el voltaje critico de flameo, utilizando la Ecuación 6.1:

```
% Coordinacion de aislamiento %  
% Calculo del voltaje critico de flameo usando BIL de rayo %  
bil=input('Cual es el BIL por rayo en kV: ')  
VCF=bil/0.961;  
disp('La tension critica de flameo en kV es de:'),VCF
```

Paso 3. A continuación del programa realizado en el Paso 1, realice el calculo de la distancia mínima entre fase y tierra, utilizando las Ecuaciones 6.3 y 6.4:

```
% Coordinacion de aislamiento %  
% Calculo del voltaje critico de flameo usando BIL de rayo %  
bil=input('Cual es el BIL por rayo en kV: ')  
VCF=bil/0.961;  
disp('La tension critica de flameo en kV es de:'),VCF  
pause  
% Programa que calcula la distancia minima entre fase y tierra %  
disp('Lista de configuraciones')  
c1=' 1. Punta-Plano (Punta-Placa)           k=1';  
c2=' 2. Punta-Estructura                   k=1.05';  
c3=' 3. Conductor-Plano                   k=1.15';  
c4=' 4. Conductor-Ventana                  k=1.2';  
c5=' 5. Conductor-Estructura              k=1.3';  
c6=' 6. Punta-Placa (h < 3 mt)            k=1.3';  
c7=' 7. Varilla-Varilla (h < 3 mt)        k=1.3';  
c8=' 8. Conductor-Estructura lateral y debajo k=1.35';  
c9=' 9. Conductor-Extremo de brazo o cruceta de estructura k=1.55';  
c10='10. Conductor-Punta (h < 3 mt)       k=1.65';  
c11='11. Conductor-Punta (h < 6 mt)       k=1.9';  
char(c1,c2,c3,c4,c5,c6,c7,c8,c9,c10,c11)  
disp('Calculo de la distancia a traves de:')  
disp('1. L. Paris')  
disp('2. Gallet-Leroy')  
a=input('Cual es su opcion: ')
```

k=input('Cual es el valor GAP (k): ')

if a==1

dmin=(VCF/(500*k))^(0.6);

disp('La distancia minima entre fase y tierra en metros es de:'),dmin

end

if a==2

dmin=8/(((3400*k)/VCF)-1);

disp('La distancia minima entre fases y tierra en metros es de:'),dmin

end

Paso 3. Agregue al programa anterior las instrucciones necesarias para hacer el calculo de los ítem que se muestran en la Tabla 6.4.

Descripción	Valor
Voltaje crítico de flameo	
Distancia Conductor – Estructura (L. Paris)	
Distancia Conductor – Estructura (Gallet – Leroy)	
Longitud requerida de la Cadena de Aisladores	
Número de Aisladores de la Cadena	
Longitud real de la Cadena de Aisladores	
Distancia del conductor a la estructura (aisladores más herrajes)	
Distancia de Fase a Fase	
Altura mínima de la Fase a Tierra	

Tabla 6.4.

V. INVESTIGACIÓN Y EJERCICIOS COMPLEMENTARIOS.

1. ¿Cómo cambia VCF, si las condiciones ambientales no son estándar?. ¿Qué valores deben corregirse?.
2. Los valores que se utilizan para los cálculos de VCF son: Altura de 0 msnm, Temperatura ambiente de 25 °C y humedad relativa de 11 gm / m³. Realice la corrección de las distancias Punta – Estructura para:

a) Variación de la altitud.

Altura (MSNM)	VCF (kV)	Distancia (m) L. Paris	Distancia (m) Gallet – Leroy
0			
500			
1000			
1500			
2000			
2500			
3000			
3500			
4000			
4500			
5000			

Tabla 6.5.

b) Variación de la temperatura.

Temperatura (°C)	VCF (kV)	Distancia (m) L. Paris	Distancia (m) Gallet – Leroy
25			
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			
65			
70			
75			
80			
90			
100			

Tabla 6.6.

c) Variación de la humedad.

Humedad (Grs / cm ³)	VCF (kV)	Distancia (m) L. Paris	Distancia (m) Gallet – Leroy
11			
13			
15			
17			
19			
21			
23			
25			
26			
27			

Tabla 5.7.

Presentar los programas realizados en un disco.

VI. BIBLIOGRAFÍA.

- Stevenson, Jr. Williams.
“Análisis de Sistemas de Potencia”.
McGraw Hill Inc. USA, 1985.
- Luis Maria Checa.
“Líneas de Transporte de Energía”.

1988 Marcombo Boixareu Editores.

- José Miguel Valencia & Otto Tévez.
“Elaboración de una herramienta asistida por computadora para el diseño eléctrico y el calculo de tensiones”.
Tesis de Ingeniería Eléctrica.

- Harper, Gilberto Henríquez.
“Técnicas, Computacionales en Sistemas Eléctricos de Potencia”.
Limusa, 1986.