

Una metodología para el diseño del aislamiento en una línea de transmisión

Ingeniero Adolfo León Cano Hencker

1. Principios

En condiciones ideales, el aislamiento de las líneas de transmisión debe tolerar cualquier sobrevoltaje que se presente en ellas, pero la longitud de las cadenas de aisladores y las distancias mínimas de aire deberán ser tan grandes que el costo del aislamiento resulta exageradamente alto. Por consiguiente se diseña el aislamiento de las líneas de tal manera que soporte todo *sobrevoltaje interno* (sobrevoltajes por maniobra y sobrevoltajes de baja frecuencia), pero no todo impulso de voltaje ocasionado por descargas atmosféricas (*sobrevoltaje externo*).

La esencia del **Método de Aislamiento** se explica a continuación:

1.1 La longitud de las cadenas de aisladores y las distancias de aire se determinan para soportar los máximos sobrevoltajes que ocurran en la línea en condiciones de humedad, ya sean de baja frecuencia o por accionamientos¹

La longitud de cadena está determinada por las características de las ondas de accionamiento porque la longitud necesaria es, en general, mayor para los sobrevoltajes por **suicheo** que para los sobrevoltajes a 60 Hz¹

1.2 Para evitar las fallas por descargas atmosféricas se recurre a: disposición de cables de guarda y reducción de la resistencia en la base de la torre, así como el uso de interruptores de alta velocidad y si es necesario, se protegen las cadenas con cuernos para arco.

El proceso de diseño del aislamiento se muestra en el cuadro 1.

¹ El BIL (nivel básico de aislamiento) está basado en una onda de 1,2 x 50 microsegundos. El tiempo de cresta de 1.2 microsegundos está dentro del rango de onda por descarga atmosférica de 0.5 a 6 microsegundos, de tal manera que el impulso por rayo está usualmente coordinado por el BIL.

Una onda por accionamiento (con tiempo de frente de 50 a 200 microsegundos) está entre el BIL y el voltaje de "aguante" de 60 Hz

2. Magnitud de los sobrevoltajes internos

2.1 Sobrevoltajes por accionamiento Las operaciones de suicheo más importantes en sistemas de alta tensión se pueden clasificar como sigue:

- Energización de una línea en circuito abierto en el extremo receptor o terminada en un transformador sin carga.
- Re-energización de una línea con cargas atrapadas en una interrupción previa.

Los máximos sobrevoltajes cuando se energiza una línea sin carga son *típicamente* 2.6 p.u., pero con cargas atrapadas ellos pueden ser tan altos como 4.5 p.u.

El control y la reducción de los sobrevoltajes por accionamiento se puede hacer por:

- Energización en etapas de la línea con la preinserción de resistencias apropiadas.
- Cierre controlado de los interruptores.
- Drenaje de las cargas atrapadas antes del recierre.
- Uso de reactores shunt.
- Limitación de los sobrevoltajes por medio de descargadores

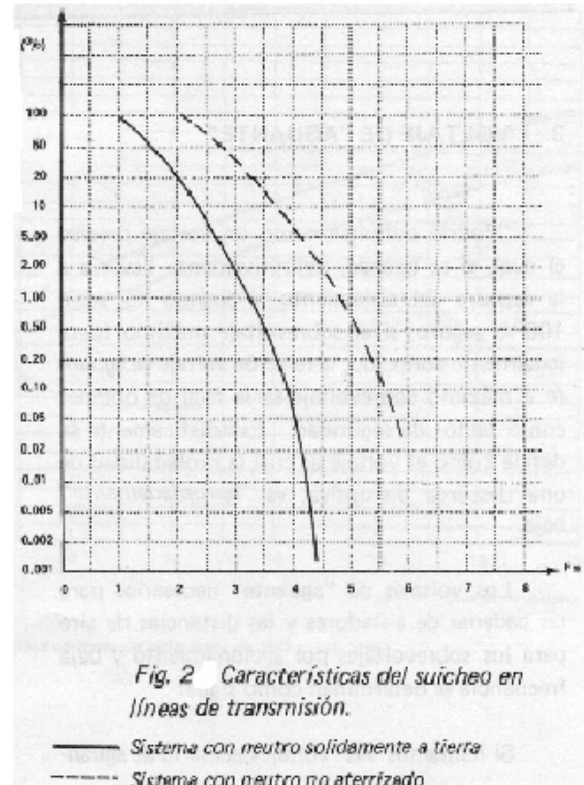
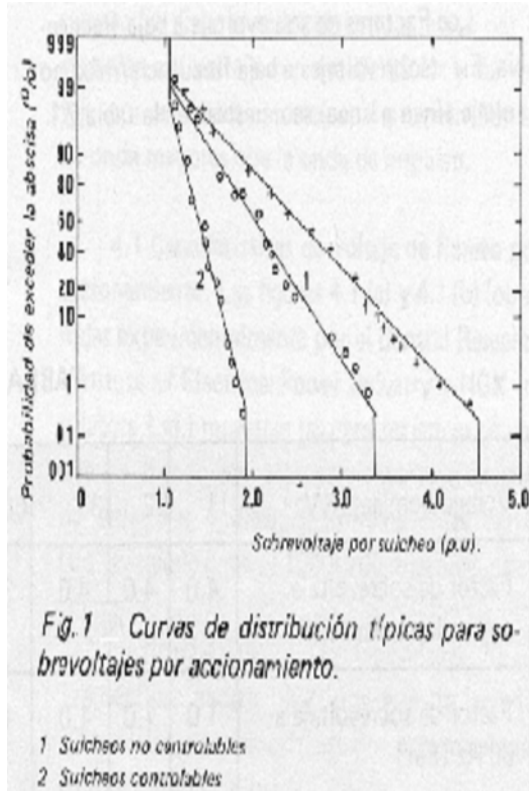
¹ Debido a que las características de flameo de impulso por maniobra de una cadena de aisladores está influenciada por la forma de la onda, por la forma del electrodo, por la puesta a tiempo de la estructura y por condiciones de contaminación, es necesario confirmar y chequear tales factores con líneas patrón, las cuales reproducen las condiciones de operación de las cadenas tanto como sea posible, antes de hacer el diseño del aislamiento.

El resultado de los estudios de la magnitud de los sobrevoltajes por accionamientos que ocurren en las líneas, se muestran en las figuras 1 y 2.

De acuerdo con lo anterior, algunos factores típicos por accionamiento (máximo voltaje por accionamiento /

máximo voltaje línea-tierra, a condiciones normales) se ilustran en la tabla 1.

Para aquellas líneas en las cuales se limita la magnitud del sobrevoltaje con sistemas tales como el uso de pararrayos, interruptores con recierre a través de resistencia, y reactores shunt, se escogen los más pequeños factores por accionamiento



2.2 Sobrevoltajes de baja frecuencia Los sobrevoltajes de baja frecuencia ocurren durante operaciones ordinarias del sistema.

El sobrevoltaje más importante es el originado en las dos fases restantes cuando la tercera se pone a tierra. Este sobrevoltaje es tomado como criterio para el diseño del aislamiento.

Un sistema “efectivamente puesto a tierra” se caracteriza de acuerdo a normas internacionales – por un factor que no exceda 1.4 veces el voltaje línea-tierra. Los sistemas sólidamente puestos a tierra cumplen con esta regla.

Los factores de sobrevoltaje de baja frecuencia, F_{bf} (sobrevoltajes a baja frecuencia / máximo voltaje línea a línea) se muestran en la tabla 1.

3. Voltaje de aguante

“Podría definirse como un voltaje preciso el cual, si se excede, definitivamente llevaría a la ruptura del aislamiento, y cuando no, sería 100% seguro; si el sobrevoltaje máximo fuera igualmente conocido, la relación voltaje de aguante a máximo sobrevoltaje sería fácil de obtener como factor de seguridad”. Estadísticamente se define como el voltaje al cual la probabilidad de una descarga disruptiva es “apropiadamente” baja.

Los voltajes de “aguante” necesarios para las cadenas de aisladores y las distancias de aire para sobrevoltajes por accionamiento y baja frecuencia se determinan como sigue:

Si llamamos V_{as} : voltaje necesario de **aguante** por accionamiento y V_l : voltaje máximo línea-línea, bajo condiciones ordinarias, tenemos:

$$V_{as} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 0.82 V_l F_{ss} \cdot C_r$$

Si llamamos V_{ab} el voltaje necesario de aguante de baja frecuencia, tenemos:

$$V_{ab} = V_l F_{bf} * C_R$$

C_r se llama *coeficiente de reducción de aislamiento* y se define como la relación entre las características de voltaje de los aisladores o distancias de aire corregidas a condiciones estándar (Presión atmosférica 760 mmHg, temperatura (20°C) a nivel del mar) y aquellos de sus equivalentes bajo condiciones de servicio.

Los voltajes necesarios de “aguante” para cada voltaje del sistema se han establecido de acuerdo a la publicación No. 71 del IEC (Comisión Internacional de Electrotecnia).

TABLA No 1

Voltaje Nominal (KV ₂)*	11*	22*	33*	66*	77*	110*	154*	220*	275*
Factor de sobrevoltaje por accionamiento (F _{ss})*	4.0*	4.0*	4.0*	3.3*	3.3*	3.3*	3.3*	2.8*	2.8*
Factor de sobrevoltaje a 60-Hz (F _{bf})*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	0.8*	0.9*
Sistema de neutro a tierra*	No aterrizado*			Aterrizado a través de resistencia reactancia*			Sólidamente puesto a tierra*		

4. Curvas características de los voltajes de flameo

En general los voltajes de flameo por descargas atmosféricas (impulsos propiamente) tienden a variar linealmente con la longitud de la cadena de aisladores, pero las características de voltaje de flameo a 60 Hz y las características de voltaje por accionamiento muestran una tendencia a la saturación. Este comportamiento aparece por la duración del voltaje impreso de 60 Hz y del voltaje por accionamiento, los cuales tienen frentes de onda mayores que la onda de impulso.

4.1 Características del voltaje de flameo por accionamiento

Las figuras 3 y 4, (obtenidas experimentalmente por el Central Research Institute of Electrical Power Industry and NGK insulators Ltd.) muestran las características de voltaje de flameo por accionamiento para cadenas de aisladores y distancia mínima entre barras con frentes de onda de 100 a 200 microsegundos.

La figura 5 (tomada de “IEE Transactions August 1967) nos muestra la variación de los voltajes críticos por accionamiento en función de la altura, para condiciones en seco y en húmedo.

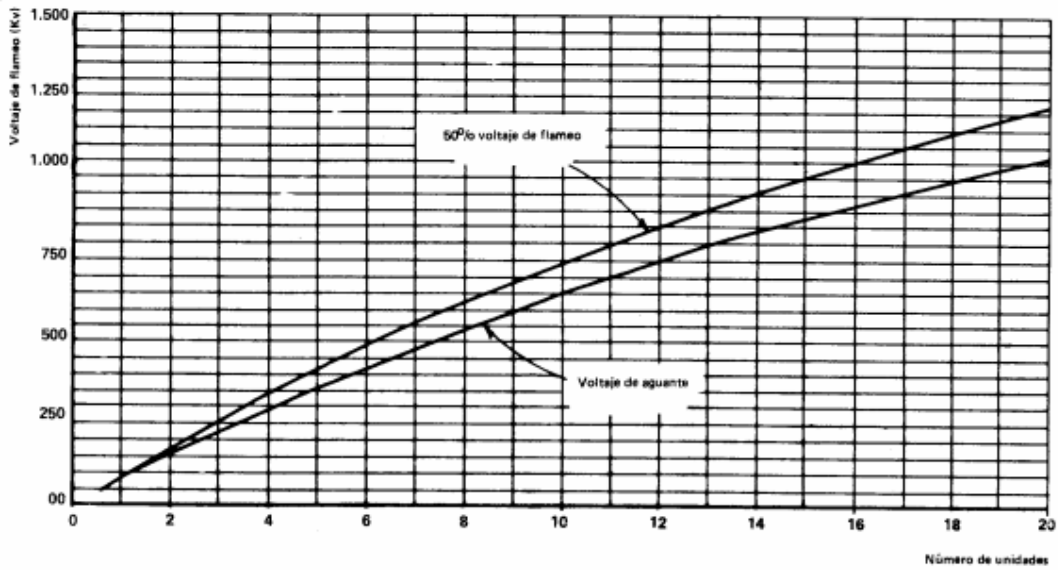


Fig. 3

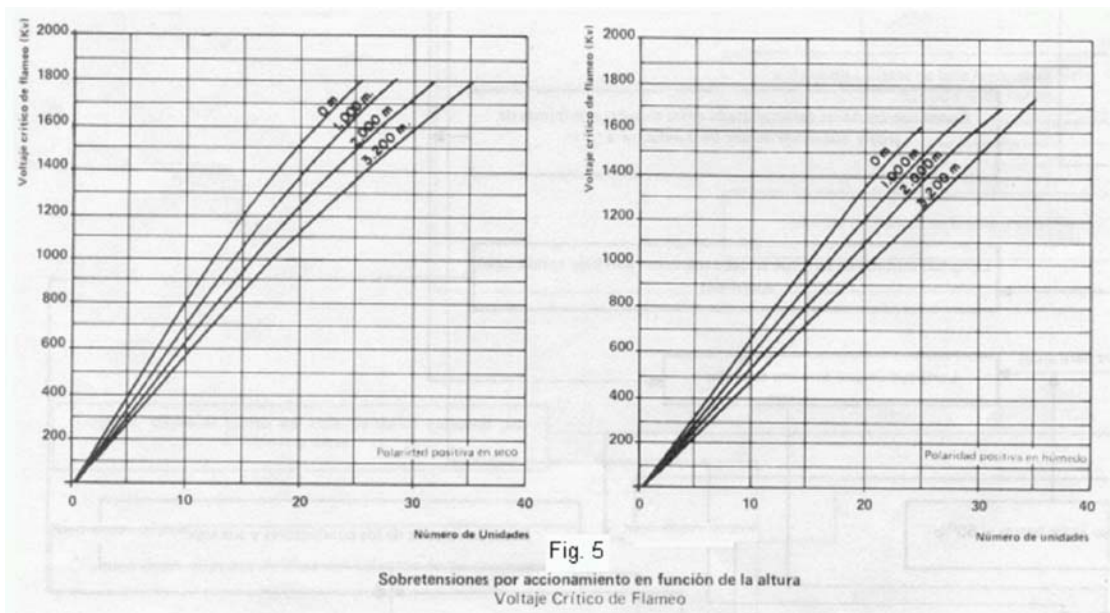
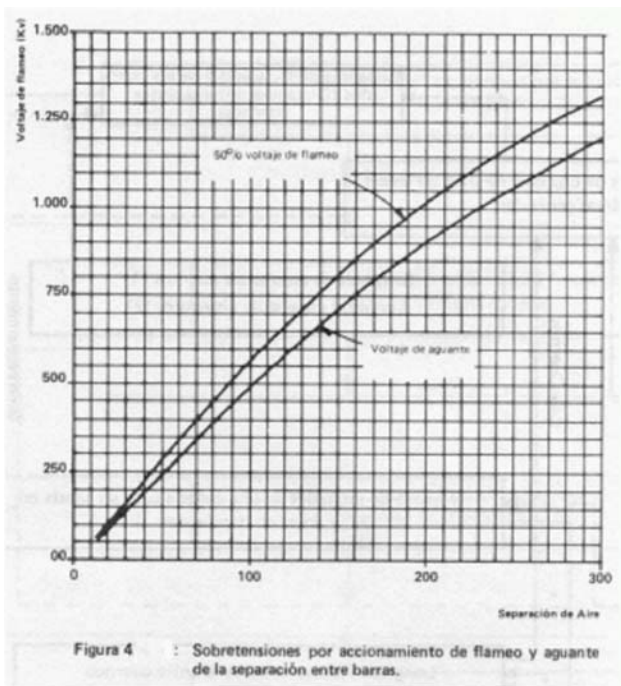
4.2 Características de voltaje de flameo de baja frecuencia

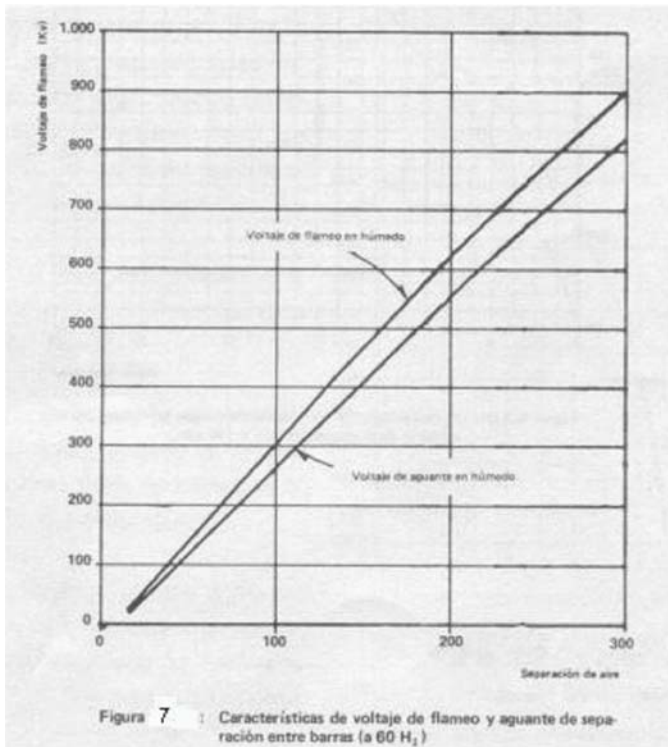
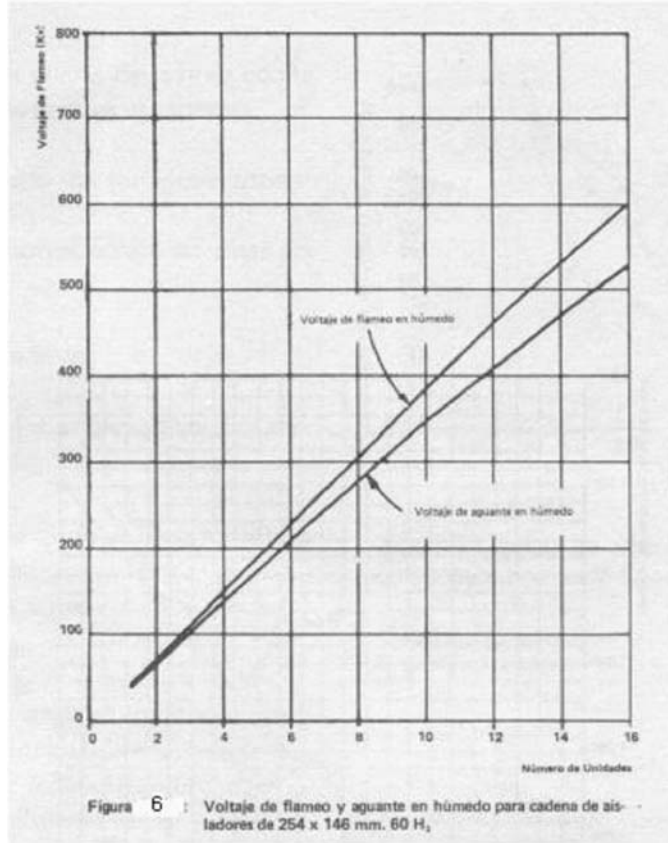
Así mismo las figuras 6 y 7 nos muestran el comportamiento del voltaje de flameo a 60 Hz para cadenas de aisladores y separación mínima entre barras.

4.3 Características de voltaje de flameo al impulso

Las figuras 8 y 9 nos muestran la variación del voltaje de flameo al impulso en función tanto del número de aisladores como la separación entre barras. Obsérvese que los valores reportados en el informe **CIGRE SC No. 8** son 4.5% a 19.5% inferiores a aquellos obtenidos por el Comité EEI-Nema.

Mas adelante explicaremos La forma de utilización práctica de estas curvas.





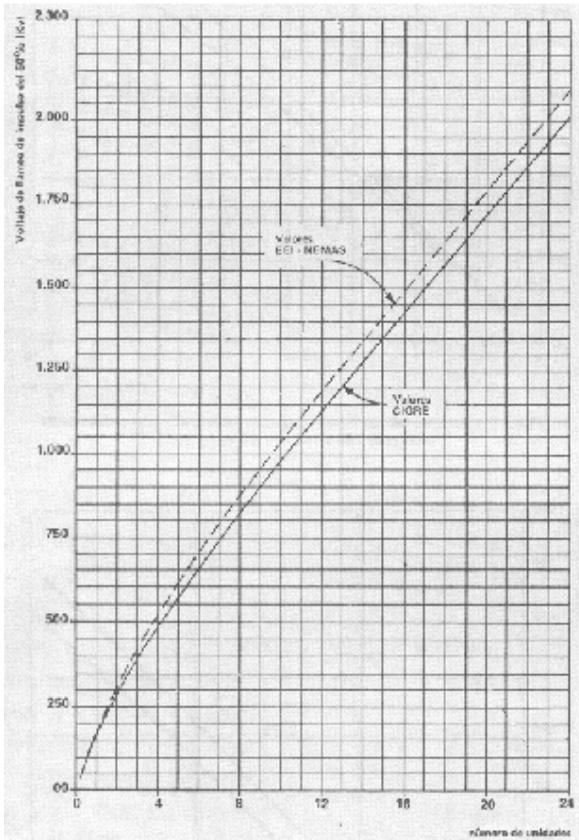


Figura 8 : Características de los voltajes de flamao al impulso para cadenas de aisladores de 254 x 146 mm.

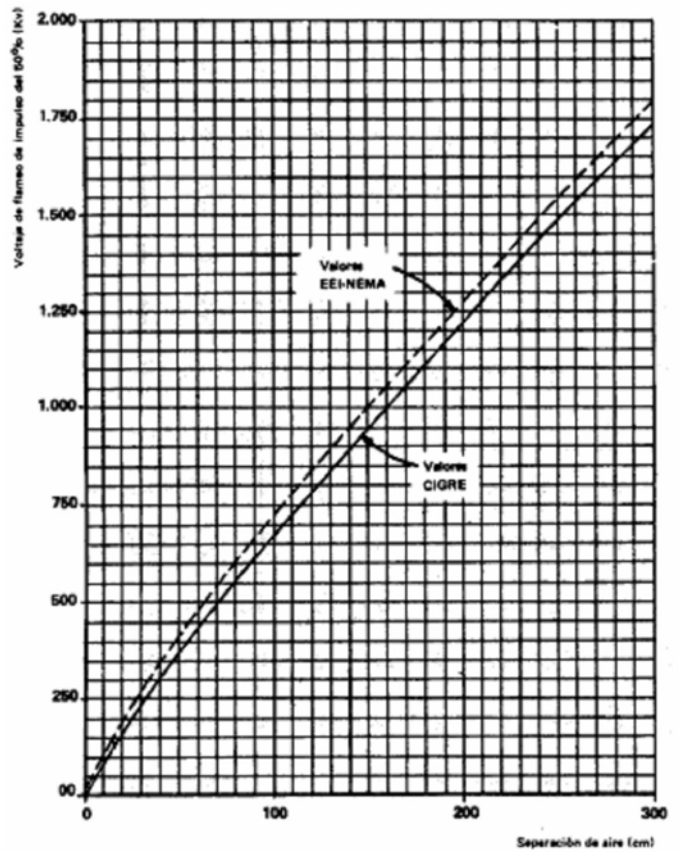


Figura 9 : Característica de los voltajes de flamao al impulso para la separación entre barras

Si desea cambiar su dirección electrónica, suscribir a un colega, solicitar ediciones anteriores o borrarse de la lista de distribución, envíenos un mensaje a:

carango@gamma.com.co

Atn Ing. Claudia Arango Botero.

Visítenos en nuestra página Web:

<http://www.gamma.com.co> o www.corona.com.co