



Cálculo del aislamiento eléctrico de la combinación madera-porcelana

Yelennis Godoy
Olga S. Suárez
Michel Zamora

Recibido: Julio del 2006

Aprobado: Septiembre del 2006

Resumen / Abstract

En este artículo se explica lo relacionado con el programa AACFO, desarrollado para calcular la fortaleza del aislamiento total en estructuras de madera utilizadas en los sistemas eléctricos de distribución y subtransmisión en Cuba, empleando el método de adición de CFO.

Palabras clave: Porcelana, madera, rayo, fortaleza del aislamiento

This report comments on the program AACFO, developed to calculate the strength of the total insulation in wooden structures that are used in the electric systems of distribution and subtransmission in Cuba, using the method of addition of CFO.

Key words: Porcelain, wood, lightning, strength of insulation

INTRODUCCIÓN

El uso de crucetas y postes de madera en la construcción de las estructuras de distribución y subtransmisión aéreas en serie con los aisladores, incrementa la fortaleza del aislamiento total contra las descargas atmosféricas.

En 1930 fueron presentados varios informes con el resultado obtenido sobre pruebas de aisladores en combinación con la madera, desarrollándose ya entre 1940 y 1950 pruebas en varios laboratorios de alta tensión, para cuantificar la fortaleza de aislamiento que adicionaba la madera al aislamiento primario (aislador).

Estos resultados se utilizaron a partir de 1956 en líneas de transmisión y recientemente se continúan haciendo investigaciones en líneas de distribución, alcanzando mayor grado de fiabilidad.

El método de adición de CFO para la obtención del CFO total de una estructura de distribución y subtransmisión es importante para que los diseñadores optimicen las capacidades de los aislamientos en los diseños de estas estructuras.

El programa AACFO, es una herramienta que contribuye al análisis del aporte de los diferentes elementos que se encuentran instalados en la estructura al nivel de aislamiento total en la misma, a través de las distintas configuraciones de estructuras, trayectorias, aisladores, medio por donde circula la descarga y soporte de crucetas que escoja el usuario.

Este programa cuenta con una base de datos soportada en configuraciones de estructuras existentes en Cuba, así como valores de CFO de las primeras componentes en kilovolt (kV), y valores de CFO adicionados por las segundas y terceras componentes

en kilovolt por metro (kV/m) recogidos en la norma 1410 IEEE Guide for Improving the Lightning.¹

MÉTODO DE CÁLCULO DEL CFO TOTAL

En las estructuras que soportan las líneas de distribución y subtransmisión aéreas, existen varias componentes de aislamiento eléctrico, en Cuba las más comunes son: la porcelana, la madera y el aire. Cada uno de estos elementos tiene su propia fortaleza de aislamiento, cuando varias de estas componentes se encuentran en serie, el nivel de aislamiento resultante no es la suma de la fortaleza de los mismos, sino un valor menor que esta suma.

El CFO total se calcula como el CFO del aislamiento básico o primario y se adiciona a este valor el incremento en CFO ofrecido por componentes adicionales, según se expresa a continuación.^{2,3}

$$CFOT = CFO \text{ aís.} + CFO \text{ ad.sec.} + CFO \text{ ad.ter.} + CFO \text{ ad.n.}$$

CFO aís. es el CFO de la componente primaria.

CFO ad.sec.- adicionado por la segunda componente.

CFO ad.ter. - adicionado por la tercera.

CFO ad.n. - adicionado por *n* componentes.

FACTORES QUE AFECTAN EL NIVEL DE AISLAMIENTO

Es necesario conocer también que el nivel de aislamiento contra descargas atmosféricas de las líneas de distribución y subtransmisión es afectado por varios factores como son:³

1. Condiciones atmosféricas: densidad de aire, humedad, contaminación atmosférica y lluvia.
2. Polaridad de la tensión de descarga.
3. Forma, montaje y configuración del aislador.

ESPECIFICACIONES DEL PROGRAMA

En la ventana principal del programa mostrada en la figura 1, aparecen los tipos de estructuras de los sistemas eléctricos de distribución que contienen la base de datos del programa, las trayectorias posibles de la descarga atmosférica que impacta en la estructura y las componentes que se involucran en la trayectoria de la descarga, las cuales se seleccionan para realizar el cálculo del CFO total.

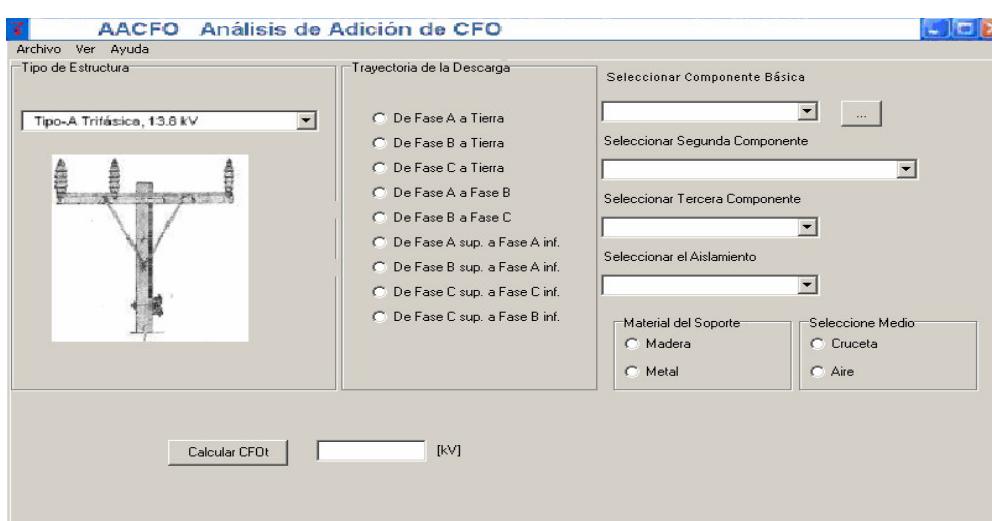
En el menú principal, el usuario encuentra las bases de datos del programa y una ayuda que le brinda la información necesaria para el manejo del programa.

Estructuras

El programa cuenta con 15 tipos de estructuras, que se utilizan en los sistemas eléctricos de distribución y subtransmisión en Cuba, estas son las siguientes:⁴

1. Tipo A, monofásica, 13,8 kV.
2. Tipo A, trifásica, 13,8 kV.
3. Tipo A, trifásica, 34,5 kV.
4. Tipo A, trifásica, 13,8 kV compacta.
5. Tipo A, trifásica, 13,8 kV compacta.
6. Tipo A, trifásica, 13,8 kV compacta.
7. Tipo A, trifásica, 34,5 kV compacta.
8. Tipo A, trifásica, 34,5 kV compacta.
9. Tipo A, trifásica, 13,8 kV semiexcéntrica.
10. Tipo A, trifásica, 13,8 kV extensión.
11. Tipo A, trifásica, 13,8 kV excéntrica.
12. Tipo A, trifásica, 34,5 kV excéntrica.
13. Tipo A, trifásica, 13,8 kV dos circuitos.
14. Tipo A, trifásica, 34,5 kV dos circuitos.
14. Tipo A, trifásica, 13,8 kV y 34,5kV uso conjunto.

Al seleccionar una de estas estructuras, se activarán las condiciones preestablecidas por el programador para ella.



Ventana principal del programa AACFO.

Trayectorias

Para cada tipo de estructura se habilitan las posibles trayectorias que tienen lugar si impacta un rayo en alguna de las líneas eléctricas que están soportadas o suspendidas de los aisladores, que se encuentran montados en el poste. La descarga eléctrica se puede establecer entre fases o de fase a tierra, y tratará de seguir el camino más corto.

No se tiene en cuenta una descarga entre las fases más separadas ya que tanto el camino como la fortaleza del aislamiento para esta trayectoria son mayores que otros que se pueden establecer.

En dependencia de la estructura seleccionada y las trayectorias activadas, el programa contiene una lógica del recorrido de la descarga atmosférica. Se pedirá al usuario, en caso de ser necesario, definir los materiales de la cruceta y soporte de la misma para determinar por dónde continúa el recorrido la descarga atmosférica. Además, el programa internamente, compara las longitudes de estas y otras componentes, escogiendo siempre los caminos más cortos.

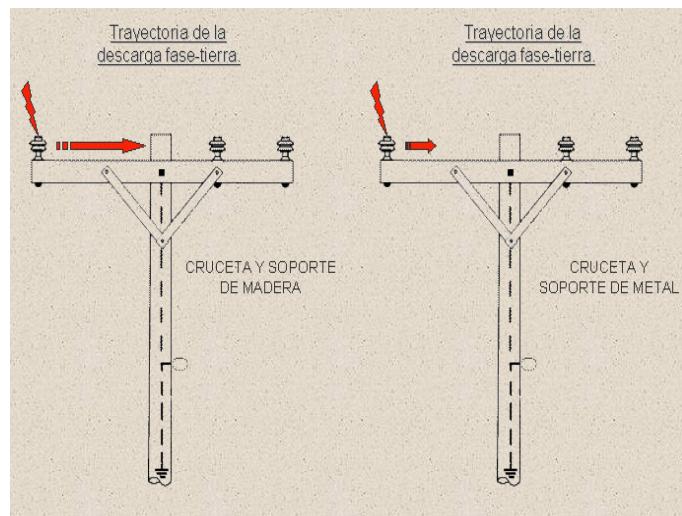
El usuario podrá hacer el análisis con cada una de las trayectorias activadas para la estructura escogida. Al ser seleccionada una trayectoria se activarán las condiciones preestablecidas para ella por el programador.

Componentes

Para diferentes estructuras y según dónde impacte el rayo, existen varias posibilidades de trayectoria de la descarga, ya sea entre fases o de fase a neutro. Según la estructura que se analice, serán implicadas en estas trayectorias diferentes componentes (figuras 2, 3 y 4).

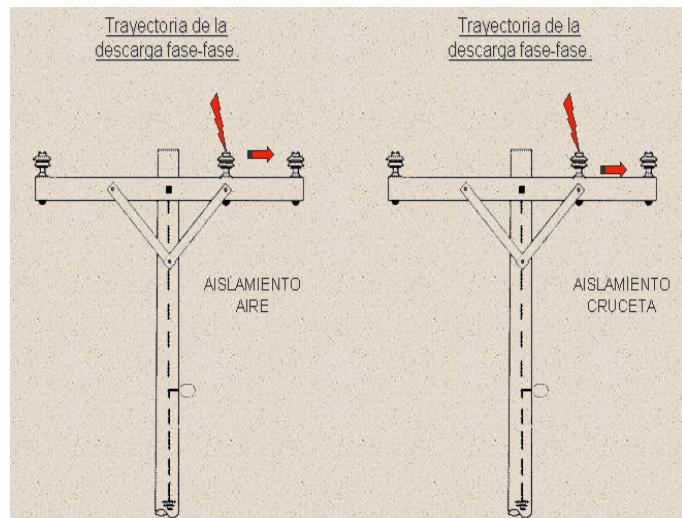
Para las trayectorias de fase a tierra, las componentes pueden ser el aislador donde impactó el rayo, la cruceta de madera donde se encuentra montado este aislador y el aire, considerándose los caminos de las trayectorias más reducidos, o sea, por los cuales le será más fácil a la corriente de la descarga conducirse, por lo que en dependencia de si el material del soporte es madera o metal se involucrarán diferentes longitudes de la cruceta.

Para las trayectorias entre fases las componentes pueden ser el aislador donde impactó el rayo, la cruceta de madera o el aire y el aislador de la fase con la que se establece la descarga. En el caso del segundo aislador, para esta trayectoria se comporta como una tercera componente.



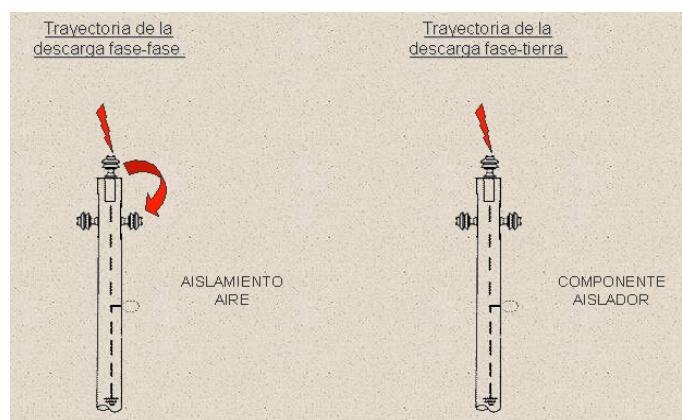
Trayectorias fase-tierra.

2



Trayectorias fase-fase.

3



Trayectorias fase-fase y fase-tierra en estructura compacta.

4

Para la estructura que tiene uso conjunto de un circuito a 13,8 kV y otro circuito a 34,5 kV, el programa está preparado para algunos tipos de aisladores específicos, no permitiendo en este caso, que el usuario introduzca los valores de otros aisladores.

Para las estructuras compactas, que no tienen crucetas, se consideró solo la componente secundaria aire, cuando se establece el arco entre fases y solo la componente aislador cuando se establece el arco de fase a tierra.

Para diferenciar los recorridos y componentes que se involucran, el programa habilita y deshabilita la posibilidad de accionar sobre las mismas, para que el usuario no cometa errores en su análisis.

Se tuvo en cuenta para todos los casos que en Cuba, al ser conectadas a tierra las crucetas, no se adiciona la fortaleza del aislamiento del poste de madera.

BASE DE DATOS

El programa tiene adjunta una base de datos donde se encuentran las tablas de los CFO de los aislamientos primarios, así como de los CFO que adicionan las segundas y terceras componentes y las distancias que recorre la descarga. Estas tablas pueden ser consultadas por el usuario accionando Ver en el menú principal (figura 5).

Los valores dados en estas tablas se afectaron de la siguiente manera:

1. Los niveles de CFO son para condiciones atmosféricas húmedas, según la referencia 1 se recomienda trabajar con los valores de CFO en condiciones húmedas, los cuales se obtienen multiplicando los valores de CFO en condiciones secas obtenidas en los laboratorios o dadas por los fabricantes por el coeficiente de humedad que se asume entre 0,7 y 0,9.

2. Los niveles de CFO son los mínimos entre los valores de polaridad negativa y positiva.¹

3. Los tipos de configuración de las estructuras de líneas de 13,8 kV y 34,5 kV, tipos, dimensiones y CFO de aisladores, así como las dimensiones de las crucetas, soportes de crucetas y postes se encuentran explicados en la referencia 4.

El usuario puede cambiar los valores, en caso de diferir de los datos que se encuentran en la tabla de longitudes de crucetas de maderas, soportes de maderas, espacio en aire, que tiene la base de datos del programa.

Para las componentes que no se encuentran en las tablas de la base de datos del programa, el CFO se

estima por la reducción de la segunda y la tercera componente como se muestra en las siguientes ecuaciones.^{2,3}

$$\text{CFOad.sec} = 0,45 \times \text{CFOais}$$

$$\text{CFOad.ter} = 0,2 \times \text{CFOais}$$

AYUDA

El programa cuenta con una ayuda para que el usuario pueda consultar, instruyéndolo para la utilización del programa (figura 6). La misma le explica sobre el método de cálculo en que se basa el programa y cómo se seleccionan las estructuras, trayectorias y componentes.

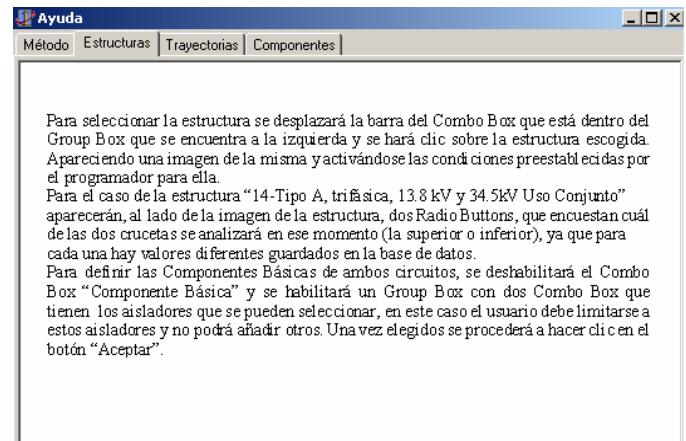
CÁLCULO DEL CFO TOTAL

Una vez seleccionadas la estructura, la trayectoria y los componentes de la situación a analizar, se procede a realizar el cálculo del CFO total para la misma a través del método de cálculo de adición del CFO, que se explica al inicio. (Ver figura 7).



Tablas.

5



Ayuda.

6



Comparando los valores de CFO_t , de diferentes situaciones escogidas, el usuario podrá hacer un análisis de la sensibilidad de salida de la estructura a consecuencia del impacto de un rayo, el recorrido que realice dichas descargas y las componentes que se involucren.

CONCLUSIONES

La realización de este programa es una herramienta útil para el estudio de la sensibilidad de salidas por rayos en postes de madera.

Teniendo agrupadas las estructuras y los aisladores que se utilizan en estos sistemas, predeterminadas las trayectorias posibles de las descargas atmosféricas que pueden ocurrir, y los valores de CFO de las componentes primarias y otras que se adicionan, se puede calcular adecuadamente el nivel básico de aislamiento de impulso en los sistemas de distribución en estructuras de madera.

REFERENCIAS

1. *Norma 1410 IEEE Guide for Improving the Lightning*.
2. **Jacob, P. B. and E. R. Ross:** "An Estimation of Lightning Insulation Level of Overhead Distribution Lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 6, No. 1, 1991.
3. **Ross, E. R. and S. Grzybowski:** "Aplication of the Extended CFO Added Method to Overhead Distribution Configurations", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 6, No. 4, 1991.
4. *Manual de distribución*, UNE, Cuba, s/f.

AUTORES

Yelennis Godoy

Ingeniera Electricista, Empresa de Proyectos de la Industria Básica (EPROB), Ciudad de La Habana, Cuba

e-mail:yelennis@eprob.cu

Olga S. Suárez Hernández

Ingeniera Electricista, Doctora en Ciencias Técnicas, Centro de Investigaciones y Pruebas Electro-

energéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:susana@electrica.cujae.edu.cu

Michel Zamora Arocha

Ingeniero Electricista, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:mzamora@electrica.cujae.edu.cu

REVISTAS CIENTÍFICAS DE LA CUJAE AHORA EN FORMATO ELECTRÓNICO ¡VISÍTENOS!



• <http://intranet/ediciones/>