

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Rivero V., Johan R.
para optar al Título de Ingeniero Electricista

Caracas, 2006

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Nerio Ojeda

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Rivero V., Johan R.
para optar al Título de Ingeniero Electricista

Caracas, 2006

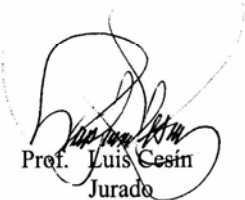
CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 17 de febrero de 2006

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Johan R. Rivero V., titulado:

“COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS”

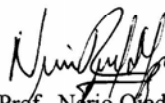
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Potencia, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Luis Cesin
Jurado



Prof. Alessandro Villa
Jurado



Prof. Nerio Ojeda
Prof. Guía



DEDICATORIA

Dedico este logro a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible alcanzar esta meta. Primeramente a Dios y a mis padres, porque sin su ayuda no hubiese sido posible; a mi abuela quien me brindó su apoyo incondicional en todo momento y a mis hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar un sincero agradecimiento al profesor Nerio Ojeda, quien me guió durante todo el desarrollo de este trabajo especial de grado.

A los profesores Simón Cesín y Antonio Clemente, por brindarme su colaboración y ayuda.

A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería, quienes fueron partícipes en mi preparación académica.

A Roberto Uzcátegui, por su colaboración en el diseño del logo del programa realizado en este trabajo.

A mis compañeros, con los que compartí todas las vivencias de estudiante.

A todos GRACIAS!

Rivero V., Johan R.

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS

Tutor Académico: Nerio Ojeda. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Potencia. Institución: UCV. 2006, 107 h. + anexos.

Palabras Claves: Coordinación de aislamiento, Líneas aéreas, Sobretensiones, Tasa de salida, Programa de cálculo.

Resumen. Se plantea el desarrollo de una metodología para el cálculo del aislamiento en líneas eléctricas aéreas con tensiones nominales menores o iguales a 230 kV. Los criterios y formulación de dicha metodología se basan fundamentalmente en lo expuesto en las normativas desarrolladas por instituciones internacionales (EPRI e IEEE), y en las prácticas de las empresas venezolanas EDELCA y CADAFE.

Para el cálculo del aislamiento de la línea, se tomó en cuenta la influencia que sobre ésta tiene, la tensión de operación máxima del sistema, la magnitud y los tipos de sobretensiones que pudiesen generarse (específicamente, las sobretensiones a frecuencia industrial, por maniobras y por descargas atmosféricas), las características de los conductores y de las estructuras de soporte de estos (postes o torres), y los factores ambientales entre otros aspectos; enfocándose este trabajo fundamentalmente, al estudio de las sobretensiones generadas por descargas atmosféricas, tanto por impacto directo sobre un conductor de fase o cable de guarda, como por las sobretensiones debidas a la inducción electromagnética originada al ocurrir un impacto a tierra en las cercanías de una línea con tensión nominal igual o menor a 69 kV (sobretensiones inducidas).

El algoritmo de cálculo desarrollado en este trabajo, determina las distancias mínimas entre el conductor y la estructura, el número mínimo de aisladores de la cadena; la tasa de salida de la línea debido a las sobretensiones generadas por el impacto directo de descargas atmosféricas sobre el sistema; y para el caso de líneas con tensión nominal igual o menor a 69 kV, el cálculo de la máxima tensión que pudiese inducirse en la línea, así como la tasa de salida debido a este fenómeno. El programa de cálculo implementado está basado en el lenguaje Visual Basic en versión 6.0, realizándose 10 simulaciones (2 por cada nivel de tensión normalizados) para validar los resultados de la coordinación del aislamiento de las líneas eléctricas, y 36 simulaciones para corroborar los resultados relacionados con el cálculo de la tensión inducida.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CONSTANCIA DE APROBACIÓN	iii
DEDICATORIA.	iv
AGRADECIMIENTOS.	v
RESUMEN.	vi
ÍNDICE GENERAL.	vii
ÍNDICE DE TABLAS.	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.	xiv
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	3
OBJETIVO GENERAL.	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	4
METODOLOGÍA.	4
CAPÍTULO II	
CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO DEL AISLAMIENTO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS.	5
2.1 Coordinación del aislamiento.	5
2.2 Efectos producidos por la tensión sobre el aislamiento.	6
2.2.1 Tensión del sistema.	6
2.2.2 Sobre tensiones.	7
2.2.2.1 Sobre tensiones temporarias.	7
2.2.2.2 Sobre tensiones por maniobra.	8
2.2.2.3 Sobre tensiones por descargas atmosféricas.	8
2.3 Tipos de aislamiento.	8
CAPÍTULO III	
PARÁMETROS AMBIENTALES CONSIDERADOS EN EL DISEÑO	

DEL AISLAMIENTO.	10
3.1 Temperatura.	11
3.2 Velocidad del viento.	11
3.3 Precipitación.	12
3.3.1 Para sobretensiones a frecuencia industrial.	12
3.3.1.1 Resistividad del agua de lluvia.	12
3.3.2 Para sobretensiones de maniobra.	13
3.4 Humedad relativa y absoluta.	13
3.4.1 Para sobretensiones a frecuencia industrial.	13
3.4.2 Para sobretensiones de maniobra.	14
3.5 Densidad relativa del aire.	15
3.6 Nivel isoceráunico.	15
3.7 Nivel de contaminación.	15
CAPÍTULO IV	
METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL AISLAMIENTO EN	
LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS.	17
4.1 Cálculo del aislamiento a frecuencia industrial.	17
4.1.1 Metodología para el cálculo del aislamiento a frecuencia	
industrial.	17
4.1.1.1 Algoritmo planteado.	17
4.1.1.2 Zona no contaminada.	19
a) Condición seca.	19
b) Condición lluviosa.	26
4.1.1.3 Zona contaminada.	27
4.2 Cálculo del aislamiento por sobretensiones de maniobra.	29
4.2.1 Metodología para el cálculo del aislamiento por	
sobretensiones de maniobra.	29
4.2.1.1 Algoritmo planteado.	30
4.2.1.2 Zona no contaminada.	31
4.2.1.3 Zona contaminada.	33

4.3 Cálculo del aislamiento por sobretensiones atmosféricas.	34
4.3.1 Metodología para el cálculo de la tasa de salida esperada en la línea debido a descargas atmosféricas directas.	37
4.3.1.1 Tasa de salida en circuitos con cables de guarda.	38
4.3.1.1.1 Tasa de salida por fallas de Apantallamiento.	38
4.3.1.1.2 Tasa de salida por descargas retroactivas (Back Flash Over).	44
4.3.1.2 Tasa de salida en circuitos sin cables de guarda.	50
4.3.2 Metodología para el cálculo de sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas.	51
4.3.2.1 Metodología según Rusck.	52
4.3.2.2 Metodología según Voislav.	53
4.3.2.3 Metodología según Chowdhuri.	56
4.3.3 Metodología para el cálculo de la tasa de salida esperada en la línea debido a sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas.	60
4.3.3.1 Metodología según Rusck.	62
4.3.3.2 Metodología según Voislav o Chowdhuri.	64

CAPÍTULO V

PROGRAMA PARA LA COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO EN LÍNEAS (PCAL).

5.1 Descripción del programa.	68
5.1.1 Descripción de la barra de menú de PCAL.	69
5.1.2 Descripción de la interfaz para la toma de datos.	72
a) Ficha de datos ambientales.	72
b) Ficha de datos del sistema eléctrico.	76
c) Ficha de datos de los conductores.	78

d) Ficha de datos de la estructura de soporte.	80
e) Ficha de datos de los aisladores.	82
f) Ficha de datos para el cálculo de la tensión inducida.	83
5.1.3 Descripción de la interfaz de resultados.	85
5.2 Validación de los resultados obtenidos por el Programa para el Cálculo del Aislamiento en Líneas (PCAL)	89
a) Primer caso	90
a) Segundo caso	93
RECOMENDACIONES	97
CONCLUSIONES	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
BIBLIOGRAFÍA	105
ANEXO A	
ESFUERZOS PRODUCIDOS POR TENSIÓN SOBRE EL AISLAMIENTO .	108
A.1 Máxima tensión del sistema.	108
A.2 Sobre tensiones.	108
A.3 Sobre tensiones temporales.	109
A.3.1 Fallas a tierra.	109
A.3.2 Cambios repentinos de carga.	109
A.3.3 Efecto Ferranti.	110
A.3.4. Resonancia lineal.	110
A.3.5. Ferroresonancia.	111
A.4. Sobre tensiones de maniobra.	111
A.4.1 Energización de líneas.	111
A.4.2 Recierre de líneas.	112
A.4.3. Ocurrencia y despeje de fallas.	112
A.5. Sobre tensiones por descargas atmosféricas.	113
A.5.1 Fallas de apantallamiento.	113

A.5.2 Descargas retroactivas.	113
A.5.3. Tensiones inducidas	113
ANEXO B	
MÉTODOS PARA ESTUDIAR LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS SOBRE LA AISLACIÓN Y LA CAPACIDAD DE ESTA PARA SOPORTARLOS.	114
B.1. Método convencional.	116
B.2. Método estadístico.	117
B.3. Método estadístico simplificado.	118
ANEXO C.	
C.1. Factor de corrección por tasa de precipitación (frecuencia Industrial.)	120
C.2. Factor de corrección por resistividad del agua de lluvia (frecuencia industrial.)	123
C.3. Factor de corrección por humedad del aire.	126
C.3.1. Para frecuencia industrial.	126
C.3.2. Para sobretensiones de maniobra.	129
C.4. Factor de corrección por densidad relativa del aire como función de la altitud sobre el nivel del mar y de la temperatura.	131
C.5. Nivel de contaminación.	133
C.6. Exponente Nm para el cálculo del factor de corrección de la tensión crítica disruptiva por condiciones ambientales ante sobretensiones de maniobra.	135
ANEXO D	
MAPA ISOCERÁUNICO DE VENEZUELA.	138
ANEXO E	
E.1. Características de las cadenas de suspensión estándar basado en los procedimientos de pruebas de ANSI C29.1	139
E.2. Características de las cadenas de suspensión estándar basado en los procedimientos de pruebas de IEC pub. 383 y B.S. 137	141

ANEXO F

F.1 Simulaciones empleando el Programa para el Cálculo del Aislamiento en Líneas (PCAL).	143
a) Tensión del sistema: 13,8 kV.	144
b) Tensión del sistema: 34,5 kV.	146
c) Tensión del sistema: 69 kV.	148
d) Tensión del sistema: 230 kV.	150
F.2 Datos del proyecto línea de transmisión a 115 kV doble terna, S/E Barinas I – S/E Socopó.	152

ANEXO G

CÓDIGO FUENTE DEL PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL AISLAMIENTO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS (PCAL).	154
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
4.1 Tensiones máximas permitidas para los niveles de tensión normalizados.	19
4.2 Niveles de contaminación de acuerdo al EPRI	28
5.1 Comparación entre los resultados obtenidos por PCAL y los reportados en la referencia [8]	91
5.2 Resultados obtenidos al variar el nivel de aislamiento en el cálculo de la tasa de salida.	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
4.1 Algoritmo propuesto para la coordinación del aislamiento por sobretensiones a frecuencia industrial.	18
4.2 Curva de distribución de probabilidad de disrupción del aislamiento.	20
4.3 Oscilación de la cadena de aisladores por efecto del viento.	22
4.4 Distancias mínimas a masa a frecuencia industrial considerando inclinación en la cadena de aisladores.	24
4.5 Tensión crítica disruptiva en función de la distancia para frecuencia industrial.	25
4.6 Algoritmo para la coordinación del aislamiento por sobretensiones de maniobra.	30
4.7 Forma de onda y parámetros de una descarga atmosférica.	35
4.8 Forma de onda en doble rampa de una descarga atmosférica.	36
4.9 Algoritmo propuesto para el cálculo de la tasa de salida en la línea debido a descargas atmosféricas directas.	37
4.10 Modelo electrogeométrico simplificado. Apantallamiento incompleto.	39
4.11 Apantallamiento efectivo. La zona sin protección es reducida a cero.	43
4.12 Modelo simplificado para el cálculo de la descarga retroactiva.	46
4.13 Aproximaciones para el cálculo de las impedancias de las estructuras.	47
4.14 Geometría para el cálculo de la sobretensión inducida según Voislav.	54
4.15 Sistema de coordenadas del conductor y descarga, empleado por Chowdhuri.	56
4.16 Uso del modelo electrogeométrico para determinar la tasa de salida debido a tensiones inducidas.	61
4.17 Diagrama de flujo para el cálculo de la tasa de salida por el método de Rusck.	63
4.18 Diagrama de flujo para el cálculo de la tasa de salida por el método de Voislav o Chowdhuri.	67

5.1	Vista en detalle de la barra de menú de PCAL.	70
5.2	Vista en detalle del menú archivo de PCAL.	70
5.3	Vista en detalle del menú opciones (Cálculo del aislamiento) de PCAL:	71
5.4	Vista en detalle del menú opciones (Cálculo de sobretensiones inducidas únicamente) de PCAL.	71
5.5	Vista en detalle del menú ayuda de PCAL.	71
5.6	Ventana del menú contenido de PCAL.	72
5.7	Interfaz de PCAL para la introducción de los datos ambientales.	73
5.8	Interfaz de PCAL para la introducción de los datos del sistema eléctrico.	76
5.9	Interfaz de PCAL para la introducción de los datos de los conductores.	78
5.10	Interfaz de PCAL para la introducción de los datos de las estructuras de soporte.	80
5.11	Interfaz de PCAL para la introducción de los datos de los aisladores.	82
5.12	Interfaz de PCAL para la introducción de los datos para el cálculo de la tensión inducida.	84
5.13	Interfaz de PCAL para la introducción de los datos para el cálculo de la Tensión inducida cuando se ha seleccionado “cálculo de la tensión inducida únicamente” en el menú opciones	84
5.14	Interfaz de PCAL para mostrar los resultados de la coordinación del aislamiento.	86
5.15	Interfaz de PCAL que muestra los resultados obtenidos al efectuar el cálculo de la tensión inducida en la línea según Rusck.	87
5.16	Interfaz de PCAL que muestra los resultados obtenidos al efectuar el cálculo de la tensión inducida en la línea según Voislav.	87
5.17	Interfaz de PCAL que muestra los resultados obtenidos al efectuar el cálculo de la tensión inducida en la línea según Chowdhuri.	88
5.18	Resultados obtenidos al simular en PCAL el primer caso.	90
5.19	Gráfico de la tensión inducida según Rusck (obtenida de PCAL).	96
5.20	Gráfico de la tensión inducida según Voislav (obtenida de PCAL).	96
5.21	Gráfico de la tensión inducida según Voislav (obtenida de [23]).	96

5.22	Gráfico de la tensión inducida según Chowdhuri (obtenida de PCAL).	96
5.23	Gráfico de la tensión inducida según Chowdhuri (obtenida de [23]).	96

INTRODUCCIÓN

La coordinación del aislamiento en los sistemas eléctricos es primordial para un adecuado desempeño en la operación de estos, ya que de su estudio pueden obtenerse aquellas medidas que pudiesen evitar que las sobretensiones que se generen en el sistema ocasionen fallas en el mismo.

Las normas nacionales e internacionales en torno al diseño de líneas [2, 5, 8], especifican que la coordinación del aislamiento debe realizarse atendiendo al origen, tipo de proceso transitorio y tiempo de duración de las sobretensiones, por lo cual las clasifican en tres categorías:

- a) Sobretensiones a frecuencia industrial: Caracterizadas por ser poco amortiguadas y de frecuencia igual o próxima a la frecuencia de operación del sistema.
- b) Sobretensiones de maniobra: Caracterizadas por ser muy amortiguadas y de frecuencia entre los 2 y 10 kHz.
- c) Sobretensiones atmosféricas. Caracterizadas por ser de muy corta duración y con una amplitud que puede llegar a ser varias veces la tensión pico nominal del sistema.

El daño que pudiesen ocasionar cualesquiera de estas sobretensiones en un sistema eléctrico depende fundamentalmente de la tensión de la red, ya que de los estudios realizados por instituciones como el EPRI (Electric Power Research Institute) y la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), se ha determinado que en los sistemas cuya tensión nominal es menor o igual a 230 kV, las sobretensiones debido a descargas atmosféricas son mas peligrosas, mientras que por encima de 230 kV suelen ser determinantes las sobretensiones de maniobra.

Con base en lo anterior, en el presente trabajo se propone el diseño e implementación en un programa digital de una metodología para la coordinación del aislamiento en líneas eléctricas aéreas hasta 300 kV; y atendiendo al hecho de que la actividad de rayos (nivel cerámico) en Venezuela es en promedio elevada (entre 60 y 200 días de tormentas al año), se enfatiza en el estudio de las sobretensiones

atmosféricas, tanto aquellas que impactan directamente sobre la línea o estructura de soporte, como aquellas que inciden en las cercanías del circuito y generan sobretensiones por inducción electromagnética.

El trabajo ha sido estructurado de la siguiente manera:

- En el capítulo I se presenta el planteamiento del problemas, objetivos y metodología de este trabajo especial de grado.
- En el capítulo II se indican los criterios y parámetros de diseño del aislamiento en las líneas eléctricas aéreas.
- En el capítulo III se analizan los parámetros ambientales que deben ser considerados en el diseño del aislamiento.
- En el capítulo IV se presenta la metodología propuesta para el cálculo del aislamiento en las líneas eléctricas aéreas: Aislamiento a frecuencia industrial, por sobretensiones de maniobra y por descargas atmosféricas (directas sobre el circuito y las que inciden en las cercanías del mismo).
- El capítulo V está dedicado a la descripción del software realizado en este trabajo: Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas (PCAL).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diseño del aislamiento en las líneas eléctricas se basa fundamentalmente en estimar el comportamiento de dicho aislamiento ante las distintas condiciones de sobretensiones que pudiesen producirse en el sistema, requiriéndose para ello la aplicación de diversos criterios y metodologías que abarcan una amplia gama de aspectos. Con respecto a esto, Canabal, C. [1] señala que durante la década de los 80 hubo una evolución radical en dichos criterios, debido a un mayor entendimiento de las características de las sobretensiones y de la capacidad del aislamiento para soportarlas, así como por la aplicación de técnicas más sofisticadas.

En Venezuela, los criterios de diseño del aislamiento empleados por las empresas que generan o distribuyen la electricidad, se fundamentan en lo expuesto en las normativas del EPRI, la IEEE y la American National Standards Institute (ANSI), entre otras [2, 3, 4, 9], las cuales abarcan numerosos procedimientos y formulaciones, que realizados manualmente implican dedicar un tiempo importante en el análisis de todas las opciones posibles, sobre todo si se desea optimizar costos.

De acuerdo con lo anterior, en la presente investigación se propone una metodología para la coordinación del aislamiento en líneas eléctricas hasta 300 kV, basada en las normas del EPRI, IEEE, Electrificación del Caroní (EDELCA) y la Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico (CADAFE); y la implementación de dicha metodología en un programa digital, el cual fue realizado en el lenguaje Visual Basic 6.0, lo cual tiene como beneficios, la visualización de las alternativas y de las variables mas importantes del cálculo.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este trabajo está asociado a realizar el diseño de un programa de cálculo para la estimación del aislamiento de las líneas eléctricas aéreas hasta 300 kV.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las características de aislamiento de las líneas eléctricas aéreas.
- Establecer los criterios para determinar la tasa de salida de las líneas.
- Establecer los criterios para evaluar la influencia de las tensiones inducidas producto de las descargas atmosféricas en las líneas.
- Establecer el algoritmo de cálculo.
- Realizar el programa de cálculo.
- Validar los resultados del programa diseñado.

METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos propuestos:

- a) Se analizaron las normas nacionales e internacionales en torno al diseño de líneas aéreas hasta 300 kV, de donde se establecieron los datos necesarios, las ecuaciones a utilizar y los criterios de cálculo para la estimación de la coordinación de aislamiento en las líneas eléctricas aéreas, el cálculo de la tasa de salida de la línea producto de descargas atmosféricas directas sobre el circuito y la influencia de las tensiones inducidas producto de las descargas atmosféricas que impactan en las cercanías del circuito.
- b) Se analizaron los lenguajes de programación Visual Basic y Matlab, escogiéndose Visual Basic en versión 6.0 para la implementación del programa a realizar.
- c) Se validaron los resultados con la simulación de 10 casos para la coordinación del aislamiento, y 36 casos relacionados con el cálculo de la tensión inducida.

CAPÍTULO II

CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO DEL AISLAMIENTO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS

El aislamiento de las líneas está sometido frecuentemente a los esfuerzos eléctricos producidos por la tensión de operación en las condiciones normales de servicio y ocasionalmente a solicitaciones elevadas originadas por las sobretensiones; sin embargo, éste debe estar en la capacidad de soportar cualesquiera de estas solicitaciones de tensión en el transcurso de su vida útil sin que su función sufra ningún deterioro o daño que pueda ocasionar la pérdida de las propiedades que caracterizan dicho aislamiento.

Es por esta razón, que en los sistemas eléctricos es primordial realizar un diseño óptimo del aislamiento, es decir, obtener la relación adecuada entre el aislamiento y los esfuerzos a que se verá sometido éste por efecto de las sobretensiones internas y externas, así como por las variaciones de las condiciones ambientales, de manera tal que a menor costo, se garantice en todo momento la operatividad de dicho sistema [5].

La información necesaria para definir las especificaciones básicas de la aislación se obtiene del estudio de la coordinación del aislamiento.

2.1 Coordinación del aislamiento

La coordinación del aislamiento se refiere a todas aquellas medidas que tienen como objetivo evitar que las sobretensiones que se generan en el sistema puedan ocasionar algún tipo de fallas [1, 2]. Para el caso del diseño del aislamiento de las líneas eléctricas aéreas, la coordinación del aislamiento se basa principalmente en determinar el número y el tipo de aisladores que servirán de soporte para los

conductores de fase, así como la distancias mínima entre los conductores y la estructura.

Para la coordinación del aislamiento en las líneas, se hace necesario estudiar las causas y características de las sobretensiones que puedan originarse en el sistema, ya que de ello depende que se pueda estimar de manera adecuada el efecto que éstas pudiesen tener sobre el aislamiento. Para fines de este trabajo, este estudio abarca el cálculo de las sobretensiones a frecuencia industrial, por maniobras, y por descargas atmosféricas, basándose esta clasificación, en los lineamientos propuestos en el Libro de Referencia para Líneas de Transmisión del EPRI [2].

2.2 Efectos producidos por la tensión sobre el aislamiento

El aislamiento de las líneas se encuentra sometido a distintos tipos de esfuerzos producidos por tensión, los cuales han sido clasificados en tres categorías [1]:

- a. Aquellos con forma de onda sinusoidal.
- b. Aquellos con una forma de onda de duración medida en milisegundos
- c. Aquellos que tienen una forma de onda de duración en microsegundos.

La ruptura o deterioro del aislamiento eléctrico depende tanto de la magnitud del esfuerzo como del tiempo durante el cual éste es aplicado, y como los procesos físicos de ruptura del aislamiento son diferentes para cada tipo de esfuerzo, se hace necesario considerar a cada uno por separado.

En el Libro de Referencia para Líneas de Transmisión del EPRI [2] se adopta la siguiente terminología para varias categorías de esfuerzos producidos por tensión:

2.2.1 Tensión del sistema

Es la tensión fase a fase, en valor rms, y a frecuencia industrial de un sistema eléctrico. Los sistemas usualmente trabajan a la tensión nominal para el que fueron

diseñados, sin embargo la mayoría de estos operan cerca de dicho valor, permitiéndose una variación de 4% ó 10% [2, 3, 10].

De acuerdo a la norma ANSI C92.1 [4], los valores máximos estándar de tensión están divididos en tres clases:

- a. Media tensión: Tensiones mayores que 1 kV y menores o iguales a 72,5 kV.
- b. Alta tensión: Tensiones mayores que 72,5 kV y menores o iguales que 242 kV.
- c. Extra alta tensión y ultra alta tensión: Tensiones mayores que 242 kV.

Para propósitos de coordinación del aislamiento, extra alta tensión y ultra tensión son consideradas una misma clase [4].

2.2.2 Sobretensiones

Una sobretensión es cualquier tensión transitoria entre fase y tierra o entre fases, con un valor pico mas alto que el valor pico de la máxima tensión permitida en el sistema ($V_m * \sqrt{2} / \sqrt{3}$ para sobretensiones de fase a tierra, o $V_m * \sqrt{2}$ para sobretensiones fase a fase) [2, 3]. Las sobretensiones son normalmente determinadas a través de programas para el análisis de transitorios (por ejemplo el ATP), o mediante tablas proporcionadas por las distintas normas que tratan este tema.

Existen muchas causas por las que se pueden originar sobretensiones en un sistema eléctrico, por lo cual, su estudio suele realizarse tomando en cuenta el origen, tipo de proceso transitorio y tiempo de duración de la sobretensión [2, 3]. La clasificación más aceptada está asociada a los esfuerzos indicados en el punto 2.2, y los cuales se detallan a continuación:

2.2.2.1 Sobretensiones temporarias

Una sobretensión temporal es un valor de tensión oscilatorio, fase a tierra o fase a fase el cual es débilmente amortiguado, y de frecuencia igual o próxima a la frecuencia de operación del sistema. Estas sobretensiones por lo general tienen dos características importantes: Son determinables (su magnitud puede ser calculada por

análisis clásicos en estado estacionario, asumiendo que las condiciones físicas del sistema son conocidas) y persisten por varios ciclos [2, 3]. El hecho de que estas sobretensiones perduren por muchos ciclos implica que su efecto sobre el aislamiento puede ser considerado en términos de estado estacionario.

2.2.2.2 Sobretensiones por maniobra

Estas sobretensiones se generan en el sistema como respuesta a la maniobra de equipos. Por lo general son altamente amortiguadas y de corta duración, presentando un rango de frecuencias que varía entre los 2 y los 10 kHz [2, 3].

2.2.2.3 Sobretensiones por descargas atmosféricas

Estas sobretensiones son debidas a una descarga atmosférica, tienen una duración muy corta (entre 1 y 100 μ s) y una amplitud que puede ser varias veces la tensión de pico nominal [1]. Estas sobretensiones son usualmente unidireccionales.

En el Anexo A se señalan algunas de las fuentes mas comunes que pueden originar los distintos tipos de sobretensiones en un sistema eléctrico.

2.3 Tipos de aislamiento

De acuerdo a lo señalado por el EPRI [2], existen dos categorías principales de aislamiento: el externo y el interno.

El aislamiento externo es aquel que se encuentra expuesto a las condiciones atmosféricas tales como lluvia, viento y contaminación; mientras que el aislamiento interno, es aquel que se encuentra protegido de las condiciones atmosféricas directas.

En la misma referencia se indica además, que el aislamiento también suele dividirse en autorrestaurable y no autorrestaurable; siendo el aislamiento autorrestaurable aquel que después de ocurrido un esfuerzo tal que se produce la pérdida de la capacidad del aislante, éste recupera totalmente sus propiedades;

mientras que por el contrario, cuando el aislamiento no autorrestaurable es sometido a la misma situación, pierde permanentemente sus propiedades aislantes. Por ejemplo, el espaciamiento de aire entre las fases de una línea eléctrica es un aislamiento externo y autorrestaurable; y el aislamiento sólido de un transformador es interno y no autorrestaurable.

En las líneas eléctricas el aislamiento puede considerarse mayoritariamente externo y autorrestaurable (el espaciamiento de aire entre las fases, y la superficie de los aisladores) por lo cual, para el estudio de las propiedades de la tensión mínima disruptiva y de la rigidez dieléctrica de la aislación, se emplean métodos estadísticos, que permiten estimar la probabilidad de falla de dicho aislamiento ante la ocurrencia de una sobretensión. El método utilizado en este trabajo para evaluar los esfuerzos que produce la tensión sobre el aislamiento, es el estadístico simplificado (ver Anexo B), el cual es el recomendado por el EPRI [2] para el diseño de aislamientos externos y autorrestaurables.

Es importante destacar que el programa de cálculo realizado abarca sólo líneas eléctricas con niveles de tensión nominal hasta 230 kV, por lo cual, en el diseño del aislamiento de las mismas se enfatizan los requerimientos por sobretensiones atmosféricas, debido a que en sistemas de media y altas tensiones son éstas sobretensiones las determinantes para el cálculo del nivel de la aislación; mientras que en sistemas de muy altas tensiones, de 400 kV y superiores, son predominantes las sobretensiones de origen interno [5, 6]. Una vez determinada la magnitud de la sobretensión que puede causar la ruptura del aislamiento en la línea, se toma en cuenta la vulnerabilidad de dicho aislamiento a las condiciones atmosféricas, por lo que al realizarse el diseño es necesario considerar los parámetros ambientales de la zona a través de la cual se extiende la ruta de las mismas, y lo cual afecta directamente la magnitud de dicha sobretensión. De igual manera se debe tomar en cuenta el nivel de contaminación de la zona, debido a que la presencia de contaminantes en la cadena de aisladores induce descargas de magnitud considerables en éstas, y en algunos casos puede llegar a ser el factor determinante en la selección del aislamiento en las líneas eléctricas aéreas [1].

CAPÍTULO III

PARÁMETROS AMBIENTALES CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DEL AISLAMIENTO

La vulnerabilidad del aislamiento a las distintas fuentes que pueden producir sobretensiones en el sistema está íntimamente relacionado con las condiciones atmosféricas, por lo que al realizar el diseño del aislamiento de las líneas eléctricas aéreas se hace necesario considerar los parámetros ambientales de la zona a través de la cual se extiende la ruta de las mismas.

Los parámetros ambientales requeridos generalmente para realizar el diseño del aislamiento de una línea eléctrica son los siguientes [5]:

- Temperatura.
- Velocidad del viento.
- Precipitación.
- Humedad relativa y absoluta del aire.
- Presión atmosférica y densidad relativa del aire.
- Nivel isocerámico.
- Nivel de contaminación.

En Venezuela, estos parámetros pueden ser obtenidos de los registros provenientes de las estaciones meteorológicas pertenecientes a EDELCA, la Fuerza Aérea Venezolana (F.A.V.) o al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN) [5].

La relación existente entre los parámetros ambientales y el cálculo del nivel de aislamiento de una línea eléctrica se presenta en el Libro de Referencia para líneas de Transmisión del EPRI [2], en el cual se muestran gráficos que permiten estimar los factores de corrección por los parámetros ambientales antes mencionados, tanto para la tensión crítica disruptiva (CFO), como para las distancias mínimas.

3.1 Temperatura

Los valores de temperatura que se deben especificar corresponden a la temperatura máxima y temperatura mínima para las distintas zonas por donde pasa la línea eléctrica.

3.2 Velocidad del viento

“Este parámetro es obtenido del tratamiento estadístico de mediciones meteorológicas, y se deben definir los valores de velocidad del viento máximo de 5 segundos o 5 minutos de duración, a una altura del suelo de 10 metros, para períodos de retorno o recurrencia desde 50 hasta 200 años “[5].

La velocidad del viento suministrada por las estaciones meteorológicas corresponden generalmente, al de una duración de 5 segundos [5], por lo cual se debe calcular la velocidad de viento de 5 minutos de duración a partir de la expresión propuesta por Farr (ecuación 3.1):

$$V_{(5\text{ min})} = 1.05 * \frac{(V_{(5\text{ seg})} - 9.3)}{1.29} + 6.4 \quad (3.1)$$

Si es necesario obtener la velocidad del viento a otra altura, dicho valor puede calcularse a partir de la ecuación (3.2):

$$V_{(5\text{ min})1} = V_{(5\text{ min})2} * \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{1/7} \quad (3.2)$$

Donde:

$V_{(5\text{ min})1}$, $V_{(5\text{ min})2}$: Velocidad del viento a las alturas de referencia.

H_1 , H_2 : Alturas de referencia.

3.3 Precipitación

3.3.1 Para sobretensiones a frecuencia industrial

Los estudios realizados a frecuencia industrial en líneas eléctricas bajo lluvia y en atmósfera limpia, han demostrado una dependencia bastante alta entre las características del aislamiento en la cadena de aisladores y la tasa de precipitación [1, 7]. Las normas ASA C.29.1 (1961) especifican una tasa de precipitación para lluvia de 5 mm/min, lo cual corresponde a una lluvia muy fuerte que produce una reducción aproximada del 30% en la rigidez dieléctrica del aire.

De la curva suministra por el EPRI [2] y de la referencia [8], se obtuvo la ecuación (3.3) que permite el cálculo del factor de corrección por tasa de precipitación a frecuencia industrial (ver Anexo C.1).

$$K_{pf} \approx 0,9930 - 0,1743 * Tp + 0,0403 * Tp^2 - 0,004899 * Tp^3 + 0,000201 * Tp^4 \quad (3.3)$$

Donde:

K_{pf} = Factor de corrección por tasa de precipitación.

Tp = Tasa de precipitación [mm/min]

3.3.1.1 Resistividad del agua de lluvia

El EPRI [2] proporciona una curva que relaciona la resistividad del agua de lluvia con el factor de corrección a aplicar en el cálculo de la tensión crítica disruptiva. Dicha resistividad varía de acuerdo a la suciedad del aire, partículas de sal y cualquier otro tipo de contaminante que pueda existir en el área.

De la curva del EPRI [2] y de la referencia [8], se obtuvo la ecuación (3.4) que permite calcular el factor de corrección por resistividad del agua de lluvia (ver Anexo C.2):

$$K_r = 0,6389 + 0,1264 * \ln(\sigma_a) \quad (3.4)$$

Donde:

K_r = Factor de corrección por resistividad del agua de lluvia

σ_a = Resistividad del agua de lluvia [$k\Omega/cm$]

3.3.2 Para sobretensiones de maniobra

De los estudios realizados por el EPRI [2], se ha concluido que en el diseño del aislamiento por sobretensiones de maniobra la lluvia reduce sólo en un 5% la rigidez dieléctrica del aire, tanto en las distancias mínimas entre los conductores, como en las distancias entre los conductores y la estructura. Por lo tanto:

$$K_{pm} = 1,05$$

3.4 Humedad relativa y absoluta del aire

3.4.1 Para sobretensiones a frecuencia industrial

La humedad absoluta promedio del aire (en gr/m^3) se obtiene en base a los registros de humedad relativa promedio obtenidos de las estaciones meteorológicas [5]. Este parámetro es obtenido de la siguiente manera:

Con la lectura en un termómetro a bulbo seco de la temperatura de la zona, se obtiene la presión de vapor saturado en el aire [2, 8] a partir de la expresión (3.5):

$$P_v = 4,580156 + 0,335833 * T_s + 0,010325 * T_s^2 + 0,000219375 * T_s^3 + 0,00000171875 * T_s^4 + \dots + 2,291667 * 10^{-8} * T_s^5 \quad (3.5)$$

Donde:

P_v = Presión de vapor saturado [mmHg].

Ts = Temperatura a bulbo seco [°C].

Luego, con el valor de la presión de vapor saturado, y de la humedad relativa del aire se calcula la humedad absoluta del aire [8], de acuerdo a la expresión (3.6):

$$Ha = \frac{2,933071 * P_v * Hr}{273 + T_s} \quad (3.6)$$

Donde:

Ha = Humedad absoluta del aire [gr/m³].

Hr = Humedad relativa del aire [%].

Finalmente, de la curva suministrada por el EPRI [2] (ver Anexo C.3.1), se obtiene el factor de corrección por humedad del aire en función de la humedad absoluta (ecuación 3.7):

$$H_v = 1,2086 - 0,0214 * Ha + 0,000943 * Ha^2 - 2,941 * 10^{-5} * Ha^3 \quad (3.7)$$

Donde:

Hv = Factor de corrección por humedad del aire.

3.4.2 Para sobretensiones de maniobra

Con el valor de humedad absoluta del aire obtenido de la expresión (3.6), se calcula el factor de corrección de la distancia por humedad para sobretensiones de maniobra de acuerdo a la ecuación (3.8) (ver anexo C.3.2).

$$H_d = 4 \times 10^{-7} * Ha^3 + 5 \times 10^{-5} * Ha^2 + 0,0067 * Ha + 0,8864 \quad (3.8)$$

En la cual:

Hd = Factor de corrección de la distancia por humedad del aire

Ha = Humedad absoluta del aire [gr/m³].

3.5 Densidad relativa del aire

La expresión para determinar el factor de corrección por densidad relativa del aire (3.9) se obtuvo del monograma suministrado por el EPRI [2] (el cual relaciona la densidad relativa del aire, con la altitud sobre el nivel del mar y la temperatura), y de la referencia [8], (ver Anexo C.4):

$$\delta = \frac{0,70667}{492 + \frac{9}{5} * T_s} * \frac{760}{10^{\left(\frac{h}{18400 * (1 + \alpha * T_s)}\right)}} \quad (3.9)$$

Donde:

h = Altitud de la línea sobre el nivel del mar [m]

α = Coeficiente de expansión térmica del aire = 0,0036 1/°C [2].

3.6 Nivel Isoceraúnico

El nivel isoceraúnico para las distintas regiones de Venezuela, se obtiene del mapa elaborado por la F.A.V (ver anexo D). Dicho mapa presenta el promedio anual de días de tormentas durante el período 1951-1970.

3.7 Nivel de contaminación

La presencia de contaminación en los aisladores es un problema de particular importancia debido a que la presencia de ésta puede inducir descargas de magnitud considerables en la cadena de aisladores. Este problema se experimenta en zonas cercanas a la costa, en zonas industriales y en otras áreas donde el

contaminante en la atmósfera pueda depositarse en el aislador, principalmente en períodos de tiempos húmedos.

La contaminación es causada por una gran variedad de agentes tales como: polvos de la combustión de carbón o petróleo, lluvia salina, irrigación de plaguicida, fertilizantes, etc. Estos agentes forman bajo condiciones adecuadas de humedad, una película conductora sobre la superficie de los aisladores, la cual puede llegar a reducir la tensión de descarga a la frecuencia nominal de dichos aisladores hasta la mitad, y en ocasiones hasta una cuarta parte dependiendo del tipo y densidad de las partículas contaminantes [1].

El método de mayor efectividad comprobada para medir y definir el nivel de contaminación de un área determinada es el de establecer la Densidad Equivalente de Sal Depositada (DESD) en mg/cm^2 de la zona en estudio. En el Anexo C.5 se presenta una descripción más detallada del efecto de la contaminación sobre la rigidez dieléctrica de la cadena de aisladores.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL AISLAMIENTO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS

La siguiente metodología se basa en los lineamientos propuestos por el EPRI en los Libros de Referencia para Líneas de transmisión [2, 9], así como en las prácticas de las empresas eléctricas venezolanas EDELCA y CADAFE en esta materia. Esta metodología está organizada de manera que se calculan primero los requerimientos causados sobre el aislamiento por las sobretensiones de origen interno (frecuencia industrial y de maniobra), y luego se verifica dicho aislamiento para sobretensiones externas (atmosféricas e inducidas).

4.1 CÁLCULO DEL AISLAMIENTO A FRECUENCIA INDUSTRIAL

En esta sección se presenta los lineamientos a seguir para el diseño del aislamiento por solicitaciones de tensión a frecuencia industrial (60 Hz). Este estudio se realiza debido a la considerable cantidad de estadísticas que señalan la ocurrencia de descargas en las líneas en condiciones normales de operación, sin evidencia de que haya sucedido alguna sobretensión por operaciones de maniobra o por descargas atmosféricas [7]. Estas descargas han ocurrido generalmente en condiciones de tiempo húmedo, bajo lluvia o niebla, y ligadas frecuentemente a la contaminación superficial de los aisladores.

4.1.1 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL AISLAMIENTO A FRECUENCIA INDUSTRIAL

4.1.1.1 Algoritmo planteado

En la figura 4.1 se muestra en forma gráfica el algoritmo usado en el presente trabajo para el cálculo del nivel de aislamiento a frecuencia industrial.

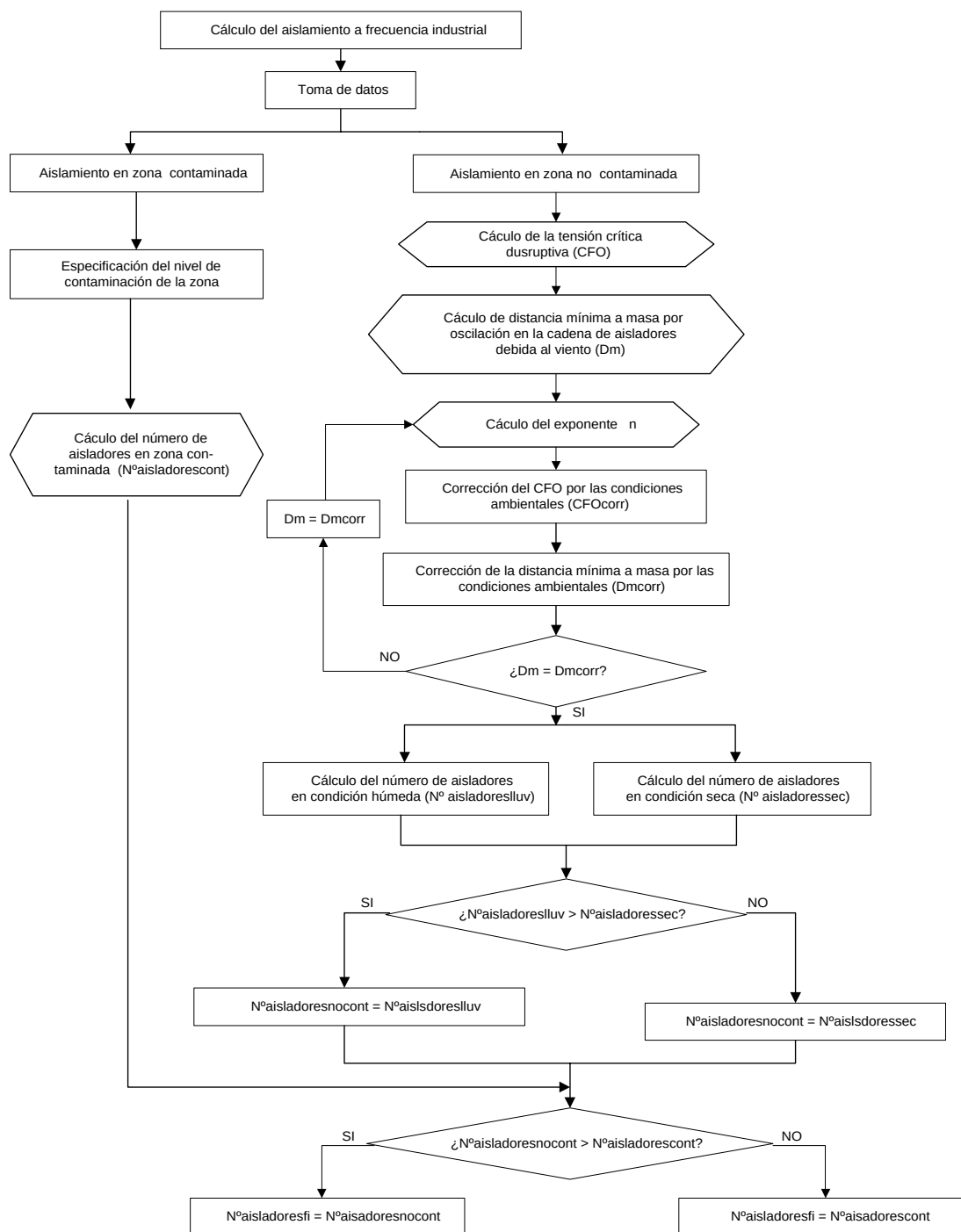


Figura 4.1. Algoritmo propuesto para la coordinación del aislamiento por sobretensiones a frecuencia industrial.

4.1.1.2 Zona no contaminada

a) Condición seca

La tensión crítica disruptiva a frecuencia industrial (CFO_{FI}) se determina mediante la ecuación (4.1) [5, 7]:

$$CFO_{FI} = \frac{V_{11}}{(1 - K * \sigma_f)} * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} * K_{sv} * K_f * \frac{H_v}{\delta^n} \quad (4.1)$$

donde:

V_{11} : Tensión nominal línea a línea en valor rms (kV).

K_{sv} : Valor de tensión permitido en operación normal, el cual puede variar entre el 4% o el 10% de la tensión nominal del sistema. La tabla 4.1 muestra la máxima tensión permitida (U_m) de acuerdo a la IEC [10], para los niveles normalizados de tensión.

Tabla 4.1. Tensiones máximas permitidas (U_m) para los niveles de tensión normalizados. [10]

V11 (kV)	Um (kV)	Ksv (pu)
13,8	15	1,0869
34,5	36	1,04348
69	72,5	1,05072
115	123	1,06956
230	245	1,06522

Donde $K_{sv} = U_m / V_{11}$

K_f : Es el valor del incremento de la tensión en las fases sanas durante una falla monofásica o bifásica a tierra. Este factor depende del tipo de sistema bajo estudio, y

su valor suele obtenerse frecuentemente mediante simulaciones. Sin embargo, la IEC [10] recomienda lo siguiente:

- Para sistemas sólidamente aterrados: $K_f = 1,4$
- Para sistemas aislados: $K_f = 1,73$

K : Número de desviaciones estándar por debajo de la media del aislamiento, a que se encuentra la sobretensión máxima. El EPRI [2] y EDELCA [5] recomiendan:

$$K = 3$$

Este valor es obtenido de la curva de distribución probabilidad de disrupción (figura 4.2) al asumirse:

- Una probabilidad de disrupción = 0,13%
- Una probabilidad de no disrupción = 99,87%

En el programa de cálculo el usuario puede tomar el valor de K en base a este criterio, o introducir otro valor que considere pertinente.

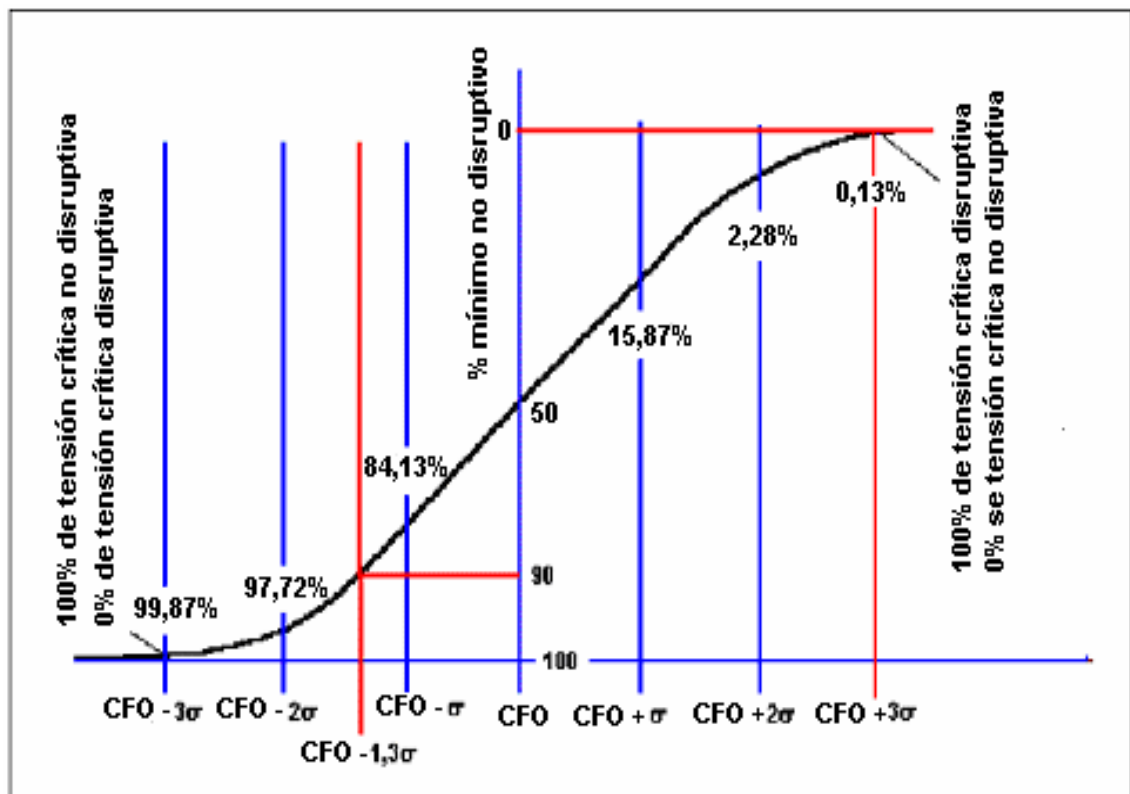


Figura 4.2. Curva de distribución de probabilidad de disrupción del aislamiento.

σ_f : Desviación estándar del aislamiento a frecuencia industrial. Este valor está normalizado con respecto al CFO, y es únicamente experimental. Los valores empleados típicamente son:

$$\sigma_f = 2\% \quad (\text{Criterio EPRI y EDELCA})$$

$$\sigma_f = 3\% \quad (\text{Criterio CADAFFE})$$

H_v : factor de corrección por humedad del aire en función de la humedad absoluta del aire (H_a), definida en el capítulo III, ecuación (3.7).

δ : Densidad relativa del aire, definida en el capítulo III, ecuación (3.8).

n : Exponente que varía en función de la distancia mínima a masa D_m para sobretensiones a frecuencia industrial de acuerdo a lo siguiente [2]:

- Para distancias entre 0 y 1m:

$$n = 1 \quad (4.2a)$$

- Para distancias entre 1 y 6 m:

$$n = 1 - 0,1 * D_m \quad (4.2b)$$

- Para distancias entre 6 y 10 m:

$$n = 0,4 \quad (4.2c)$$

Para el cálculo de la distancia mínima a masa D_m , es necesario calcular primeramente el ángulo de oscilación de la cadena de aisladores debido al efecto del viento. Con respecto a esto, Canabal C. [7] señala que el criterio de diseño para calcular el ángulo de oscilación de la cadena de aisladores, se fundamenta en considerar que el aislamiento “debe mantenerse para la posición máxima de oscilación de la cadena causada por el efecto del viento, basado en que la probabilidad de coincidencia entre la ocurrencia de máxima oscilación y la ocurrencia de sobretensiones por maniobra o descargas atmosférica, es prácticamente despreciable”.

Como se observa en la figura 4.3, la oscilación del conductor es función de la presión del viento, el peso y diámetro del conductor y la relación vano medio – vano gravante.

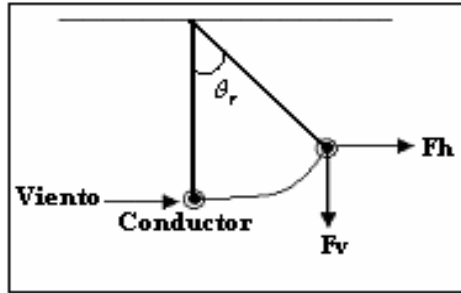


Figura 4.3. Oscilación de la cadena de aisladores por efecto del viento. [7]

De la figura 4.3 se tiene que:

$$\theta_f = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{F_h}{F_v} \right) \quad (4.3)$$

Sustituyendo F_h y F_v por sus términos [7], se tiene que:

$$\theta_f = \operatorname{tg}^{-1} \left[P(v) * \frac{d}{p} * \frac{V_m}{V_g} * F_e \right] \quad (4.4)$$

Donde:

$P(v)$: Carga de viento [kg/m^2].

d : Diámetro del conductor [m].

p : Peso unitario del conductor [kg/m].

V_m (vano medio): la semisuma de dos vanos reales consecutivos.

V_g (vano gravante): Es la distancia horizontal entre dos vientres de la catenaria para dos vanos consecutivos.

F_e : factor de efectividad del viento.

La carga del viento $P(v)$ sobre los conductores es analizada desde el punto de vista de dinámica de fluidos; actualmente existen dos aproximaciones para su cálculo [5, 7, 11]:

♦ Convencional $P(V) = 0,0025 * V^2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$ (4.5)

♦ Hornisgrinde $P(V) = 0,2453 * V \text{ (kg/m}^2\text{)}$ (4.6)

Donde:

$V = V_{5mm}$: Velocidad de viento estacionario máximo (5 minutos), para un período de retorno de 100 años [km/h].

Experimentos realizados en Hornisgrinde (Alemania) en 1955 y por el EPRI en 1974, han demostrado “que la aproximación convencional es demasiado conservadora para velocidades de viento mayores a los 45 km/h, los cuales son los valores de interés para los ingenieros de diseño de líneas” [7], por lo cual, en la metodología realizada en este trabajo se emplea la aproximación de Hornisgrinde para calcular la carga del viento sobre los conductores.

Finalmente, la expresión a emplear para el cálculo del ángulo de inclinación de la cadena de aisladores queda definido como se muestra en la ecuación (4.7) [5, 7, 11]:

$$\theta_f = \text{tg}^{-1} \left[0,2453 * V_{5mm} * \frac{d}{p} * \frac{V_m}{V_g} \right] \quad (4.7)$$

Considerando el factor de eficiencia $Fe = 1$ [5, 7, 11]

Una vez que se ha calculado el ángulo de inclinación de la cadena de aisladores por efecto del viento, se calculan geométricamente las distancias mínimas a masa por balanceo del conductor (distancia horizontal D_{fh} y distancia vertical D_{fv}), de acuerdo con lo mostrado en la figura 4.4.

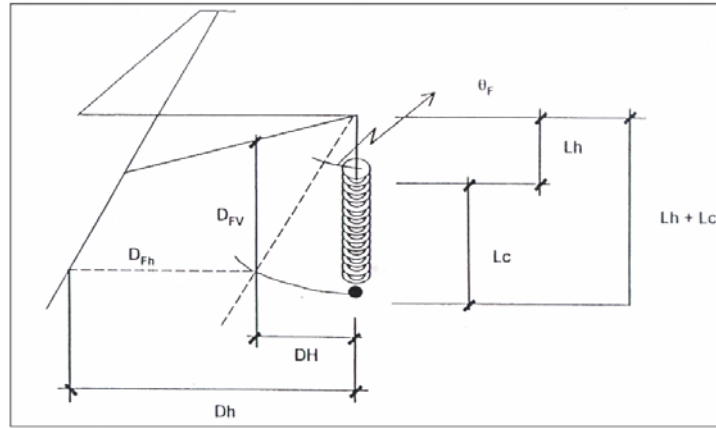


Figura 4.4. Distancias mínimas a masa a frecuencia industrial considerando inclinación en la cadena de aisladores. [7]

En la figura 4.4 se tiene que:

$$D_{fv} = (L_c + L_h) * \cos \theta_f \quad (4.8)$$

$$D_{fh} = D_h - (L_c + L_h) * \sin \theta_f \quad (4.9)$$

Para calcular la distancias D_{fv} y D_{fh} , se procede inicialmente a estimar la longitud de la cadena de aisladores mas herrajes ($L_c + L_h$) haciendo uso de la curva proporcionada por el EPRI [2] (figura 4.5), en la cual se relaciona la tensión crítica disruptiva (CFO_{FI}) con la distancia (D_{sm}) a frecuencia industrial. Inicialmente se toma como valor del CFO_{FI} el obtenido al aplicar la ecuación (4.10):

$$CFO_{FI} = \frac{V_{11}}{(1 - K * \sigma_f)} * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} * K_{sv} * K_f \quad (4.10)$$

Donde se asumen todos los factores de corrección por condiciones ambientales (H_v , δ y n) iguales a uno (1) [5].

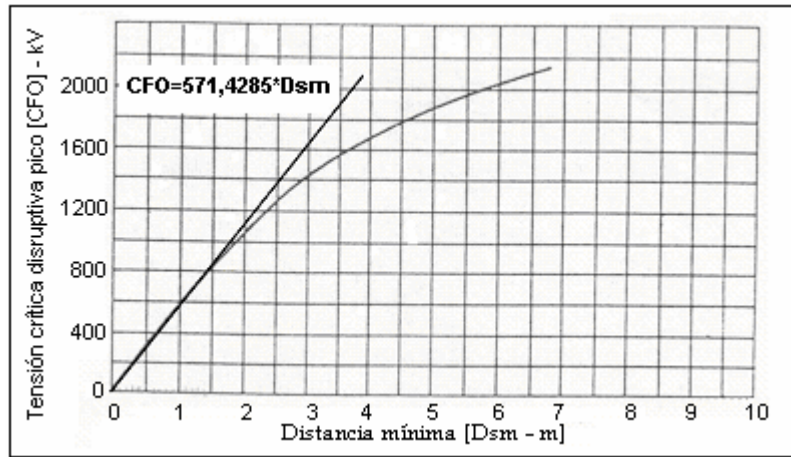


Figura 4.5. Tensión crítica disruptiva en función de la distancia para frecuencia industrial. [5, 11]

Como se observa en la figura 4.5, para las tensiones críticas disruptivas (CFO_{FI}) entre 0 y 800 kV , se aproximó la curva dada a una recta de ecuación:

$$Dsm = \frac{CFO_{FI}}{571,4285} \quad (4.11)$$

Al emplear la ecuación (4.11), se está asumiendo que la longitud de la cadena de aisladores mas herrajes ($Lc+Lh$) es igual al espaciamiento Dsm (del aire), lo cual Paris y otros investigadores han demostrado que no es así [7], ya que la capacidad de aislación del espaciamiento es reducido ligeramente cuando se introduce una cadena de aisladores de longitud igual a dicho espaciamiento. En el análisis inicial de la aislación se puede asumir que la capacidad de aislamiento de una cadena de aisladores (condiciones normales, atmósfera limpia), es idéntica a la capacidad de aislamiento del espaciamiento que queda cuando se retira la cadena; sin embargo, una vez determinada la longitud definitiva de la cadena se debe ser verificar todo el proceso de cálculo.

Posteriormente se toma como Dm el menor valor entre Dfv y Dfh .

Una vez calculada la distancia mínima a masa (D_{sm}), se procede a determinar el valor del exponente n , necesario para corregir el voltaje crítico disruptivo por efecto de las condiciones ambientales; luego, con este valor del CFO_{FI} corregido se determina una nueva distancia mínima (ecuación (4.11)), con la cual se calcula nuevamente el exponente n para volver a corregir el CFO_{FI} . Este proceso se repite hasta que el valor del CFO_{FI} y de la distancia mínima D_m converjan.

Finalmente, el número de aisladores a frecuencia industrial en ambiente seco se obtiene buscando en las especificaciones del fabricante de aisladores, el número de unidades necesarias para soportar el valor obtenido de CFO_{FI} (ecuación 4.1). En el anexo E se muestran las tablas de los aisladores de la empresa NGK Insulators utilizadas en el programa de cálculo realizado en este trabajo.

b) Condición lluviosa

La tensión crítica disruptiva corregida por efecto de la lluvia se determina mediante la expresión (4.12)

$$CFO_{lluv} = CFO_{FI} \frac{1}{K_{pf}} * \frac{1}{K_r} \quad (4.12)$$

Donde:

K_{pf} : Factor de corrección por tasa de precipitación, definida en el capítulo III, ecuación (3.3)

K_r : Factor de corrección por resistividad del agua de lluvia, definida en el capítulo III, ecuación (3.4)

Luego, el número de aisladores a frecuencia industrial para condición lluviosa se determina, al igual que para el caso anterior, buscando en las especificaciones del fabricante de aisladores, el número de unidades necesarias para soportar el valor obtenido de CFO_{lluv} .

4.1.1.3 Zona contaminada

El cálculo del número de aisladores se realiza de acuerdo a las características eléctricas de los aisladores seleccionados y tomando en cuenta el nivel de contaminación a que se verá expuesta la línea. El número mínimo de aisladores que debe tener la cadena, de tal manera que soporte la sobretensión máxima a frecuencia industrial ante el nivel de contaminación especificado, se determina haciendo uso de la ecuación (4.13) [8].

$$N^{\circ} \text{ aisladores}_{\text{cont}} = \frac{V_{11}}{\sqrt{3}} * \frac{K_f * K_{sv}}{E'w} * K_s \quad (4.13)$$

Donde:

Ks: factor de seguridad que varía de 1,1 a 1,3 dependiendo del margen de seguridad deseado para el proyecto.

$$E'w = \frac{\text{Dis tan cia de fuga del aislador (cm)}}{\text{Long. Aislación (cm / kV)}} \quad (4.14)$$

En la cual:

Distancia de fuga del aislador: Se obtiene de las tablas proporcionadas por los fabricantes de los aisladores.

Long. aislación: Se emplea un valor entre el máximo y el mínimo, de acuerdo a la tabla suministrada por el EPRI [6] (tabla 4.2) de acuerdo al nivel de contaminación de la zona por donde atraviesa la línea. El programa de cálculo realizado toma como valor predeterminado el valor medio, sin embargo, el usuario puede modificar dicho valor, y colocar otro que se encuentre entre el máximo y el mínimo mostrado en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Niveles de contaminación de acuerdo al EPRI [9]

Nivel de contaminación	Descripción	Contaminación mg/cm ²	(Long. Aislación)/kV rms cm/kV fase-tierra	Valor medio de (Long. Aislación)/kV
Despreciable	Atmósfera limpia con muy baja contaminación. Área sin industrias o con baja densidad de industrias. Vientos y lluvias frecuentes. Todas estas áreas deben estar situadas lejos del mar o a grandes altitudes. Nunca expuestos a vientos del mar.	0 – 0,03	0 – 2,5	1,25
Ligera	Áreas con baja densidad de industrias que no producen ningún tipo particular de polución. Gran precipitación. Vientos del mar pero no cerca de la costa.	0,04 – 0,05	2,5 – 3,2	2,85
Alta	Áreas con alta densidad de industrias que producen cierto grado de contaminación. Áreas cercanas al mar o expuestas a vientos moderados desde el mar. Contenido de sales solubles hasta 5%	0,07 – 0,1	3,8 – 4,5	4,15
Muy alta	Áreas con alta densidad de industrias con gran cantidad de polución que produce densos depósitos con cierto grado de conductividad. Gran extensión sometida a vientos fuertes desde el mar. Áreas costeras abiertas al mar.	0,2 - 0,5	5,0 – 6,4	5,7

4.2 CÁLCULO DEL AISLAMIENTO POR SOBRETENSIONES DE MANIOBRA

En esta sección se presentan los lineamientos a seguir para el diseño del aislamiento ante sobretensiones generadas por el sistema en respuesta a la maniobra de equipos. Dichas sobretensiones están asociadas con cambios bruscos de los parámetros del sistema, y son producidas por maniobras tales como la operación de los interruptores en los procesos de energización y reconexión rápida de las líneas, entre otros [12].

Las sobretensiones de maniobra son altamente amortiguadas y de corta duración, pero mucho más largas en tiempo que las producidas por descargas atmosféricas. La limitación de las sobretensiones de maniobra, es de importancia para la coordinación del nivel de aislamiento en sistemas de extra o ultra altas tensiones principalmente [6, 12], sin embargo, debe estudiarse el efecto que esta tiene sobre el aislamiento en circuitos de alta tensión.

Tomándose en cuenta que en el catálogo de los aisladores empleado en este trabajo (NGK insulators [13]), no se reportan datos sobre ensayos ante impulsos de maniobra en ambiente no contaminado sobre las unidades aislantes, no es posible determinar mediante el cálculo de la tensión crítica disruptiva para este evento, un número mínimo de aisladores de la cadena. Sin embargo, en la metodología propuesta se calcula el valor de ésta tensión, y el número de aisladores para sobretensiones de maniobra en zona contaminada, aplicando en este último caso, la metodología propuesta en [8].

4.2.1 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL AISLAMIENTO POR SOBRETENSIONES DE MANIOBRA

4.2.1.1 Algoritmo planteado

En la figura 4.6 se muestra en forma gráfica el algoritmo usado en el presente trabajo para el cálculo del nivel de aislamiento por sobretensiones de maniobra.

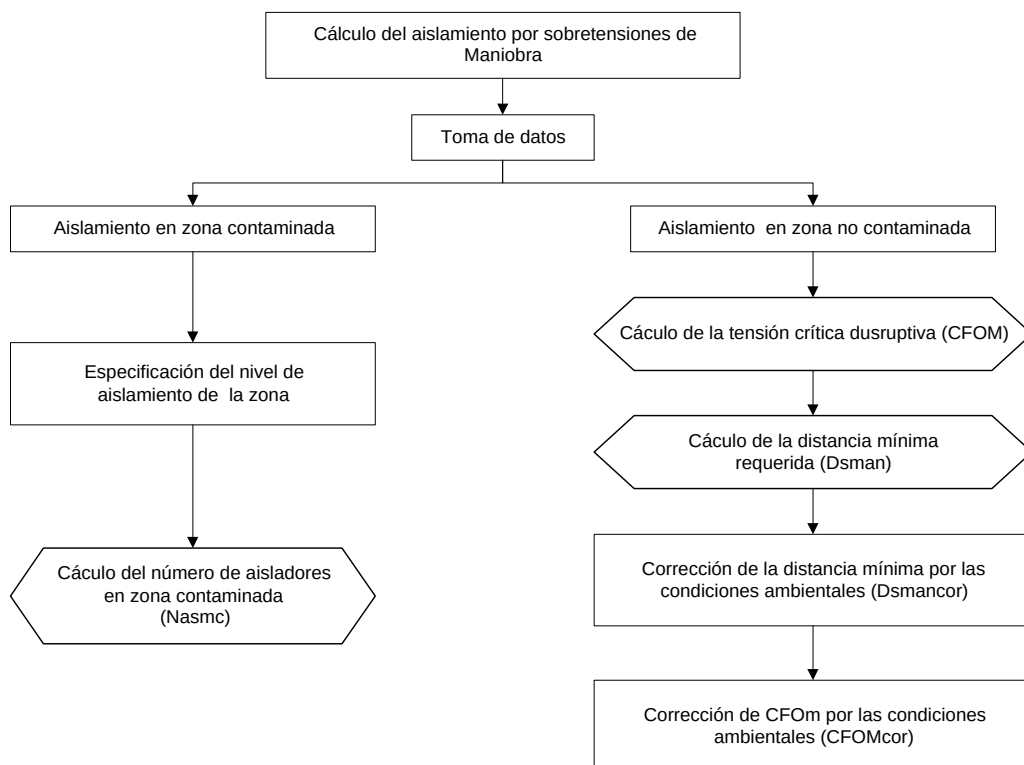


Figura 4.6. Algoritmo para la coordinación del aislamiento por sobretensiones de maniobra

4.2.1.2 Zona no contaminada

La tensión crítica disruptiva ante sobretensiones de maniobra (CFO_M) se determina mediante la ecuación (4.15) [8, 12]:

$$CFO_M = \frac{V_{11} * \sqrt{2}}{\sqrt{3} * (1 - 3 * \sigma_m)} * K_{sv} * S_m * K_1 * K_2 \quad (4.15)$$

Donde:

S_m : Sobretensión de maniobra en p.u.

V_{11} y K_{sv} : Definidos en la sección 4.1

σ_m : Desviación estándar del aislamiento ante sobretensiones de maniobra. Este valor está normalizado con respecto al CFO_M . Los valores usados típicamente son:

$$\sigma_m = 5\% \text{ (Criterio EDELCA)}$$

$$\sigma_m = 6\% \text{ (Criterio CADAPE)}$$

K_1 : Tensión de impulso / sobretensión de maniobra. “Este factor viene dado por el sistema, y el tipo de tensión de impulso a usar para la escogencia de los aisladores” [12].

$K_2 = 1,05$ (Factor de corrección por lluvia, explicado anteriormente en la sección 3.3.2)

Con el valor de la tensión crítica disruptiva ante sobretensiones de maniobra (CFO_M) y haciendo uso de la ecuación (4.16) [5], se obtiene la distancia mínima necesaria ante sobretensiones de maniobra.

$$CFO_M = 442 * D_{sman} - 30,4 * D_{sman}^2 + 0,83 * D_{sman}^3 \quad (4.16)$$

Como se observa en la ecuación (4.16), es necesario la aplicación de un método iterativo para poder calcular el valor de la distancia mínima que satisface los requerimientos ante una sobretensión de maniobra.

Una vez calculada la distancia mínima a masa ante sobretensiones de maniobra, se procede a corregir este valor por efecto de las condiciones ambientales donde se encuentre la línea (ecuación (4.17)) [8, 12].

$$D_{smancorr} = \frac{D_{sman}}{H_d * \delta} \quad (4.17)$$

Donde:

δ : Densidad relativa del aire, definida en el capítulo III, ecuación (3.9)

H_d : Factor de corrección de la distancia por humedad para sobretensiones de maniobra, definida en el capítulo III, ecuación (3.8). Es importante destacar que dicha ecuación fue desarrollada a partir de una curva proporcionada por el EPRI [2] para torres de 1,2 metros de espesor, por lo que en dicha norma se especifica un factor de corrección de la distancia por el espesor de la torre (dado en una curva). Sin embargo, en esta metodología este factor no es aplicado debido a que la relación espesor de la torre entre distancia mínima (necesaria para poder calcular el factor de corrección por espesor de la torre), para tensiones menores a 400 kV está fuera del rango de validez de la curva proporcionada por el EPRI; de igual manera, en las líneas con tensiones menores a 69 kV suele emplearse postes y no torres, por lo que aplicar un factor de corrección por este motivo pudiese generar errores en el valor de distancia mínima y voltaje crítico disruptivo calculado.

Con el valor de distancia mínima calculada anteriormente, se determina el exponente n_M (ecuación 4.18), necesario para corregir el voltaje crítico disruptivo ante sobretensiones de maniobra por las condiciones ambientales (ecuación 4.19).

$$n_M = 1,4166 - 0,3031 * D_{smancorr} + 0,03081 * D_{smancorr}^2 - 0,001107 * D_{smancorr}^3 \quad (4.18)$$

$$CFO_{M\text{cor}} = CFO_M * \left(\frac{Hv}{\delta} \right)^{n_M} = \frac{V_{11} * \sqrt{2}}{\sqrt{3} * (1 - 3 * \sigma_m)} * K_{sv} * S_m * K_1 * K_2 * \left(\frac{Hv}{\delta} \right)^{n_M} \quad (4.19)$$

Donde:

Hv : factor de corrección por humedad del aire en función de la humedad absoluta del aire, definida en el capítulo III, ecuación (3.7).

4.2.1.3 Zona contaminada

El número mínimo de aisladores que debe tener la cadena, de tal manera que soporte la sobretensión máxima por sobretensiones de maniobra, ante el nivel de contaminación especificado, se determina haciendo uso de la ecuación (4.20) [8, 12].

$$N^{\circ} \text{asm}_{\text{cont}} = V_{11} * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} * \frac{S_m}{E'w} * K_s \quad (4.20)$$

Donde:

Ks: Factor de seguridad que varía de 1,1 a 1,3 dependiendo del margen de seguridad deseado para el proyecto [8].

S_m: Factor de sobretensión por maniobra en p.u.

Al igual que para el caso del cálculo del número de aisladores ante sobretensiones a frecuencia industrial en ambiente contaminado, para determinar el valor de E'w se hizo uso de la tabla 4.2 suministrada por el EPRI [9] (en la cual se relaciona el nivel de contaminación con la longitud de la aislación), y de la distancia de fuga suministrada por el fabricante del aislador, tal como se muestra en la ecuación (4.21).

$$E''_w = \frac{\text{Distancia de fuga del aislador (cm)}}{\text{Long. Aislación (cm/kV)}} \quad (4.21)$$

Donde:

Distancia de fuga del aislador: Se obtiene de las tablas proporcionadas por los fabricantes de los aisladores.

Long. Aislación: Se emplea un valor entre el máximo y el mínimo suministrado en la tabla 4.2.

4.3 CÁLCULO DEL AISLAMIENTO POR SOBRETENSIONES ATMOSFÉRICAS

Las sobretensiones de origen atmosférico son una de las principales causas de fallas en los circuitos eléctricos, en especial aquellos con tensiones nominales inferiores a 230kV, los cuales resultan particularmente susceptibles a estas sobretensiones por poseer características de aislamiento inferiores a las requeridas para soportarlas [5, 6]. El análisis de este tipo de sobretensiones tiene como objetivo principal establecer la tasa de salida de la línea por km y por año, la cual puede determinarse mediante simulación de los fenómenos transitorios de tipo electromagnético asociados a la descarga atmosférica, o por el estudio de los principales eventos que puedan ocurrir al momento de la descarga. Dichos eventos son [14]:

Circuitos con cables de guarda: a) Impacto sobre un conductor del sistema debido a falla del apantallamiento, b) Impacto en postes o cable de guarda originando la descarga retroactiva (Back Flash Over) en caso de ruptura del aislamiento, y c) Descarga a tierra en las cercanías del circuito, o fenómeno de sobretensiones por inducción.

Circuitos sin cables de guarda: a) Impacto sobre un conductor del sistema, y b) Descarga a tierra en las cercanías del circuito, o fenómeno de sobretensiones por inducción.

La tasa de salida total del circuito se obtiene de sumar los índices de salida de servicio de la línea para cada uno de los eventos anteriores. Para fines de este trabajo, no se toma en consideración el efecto que tiene la instalación de descargadores de sobretensión a lo largo de la línea, los cuales disminuirían los valores de las sobretensiones, y por lo tanto pudiesen reducir las distancias de aislamiento[14, 15].

A pesar de los numerosos estudios realizados en los últimos años sobre el comportamiento de las líneas frente al rayo, y que existe una gran cantidad de literatura centrada exclusivamente en este tópico, el cálculo de este tipo de sobretensiones suele realizarse con muchas incertidumbres, dada la naturaleza aleatoria del rayo y el conocimiento poco preciso de sus principales parámetros.[14, 15]. Entre los parámetros de la primera descarga que tienen influencia en el valor de las sobretensiones, y los cuales deben tomarse en cuenta para el cálculo del nivel de aislamiento de la línea se encuentran:

- La forma de onda de la corriente de la descarga.
- El valor máximo (o de cresta) de la corriente para la primera descarga.
- La polaridad de la descarga.

En la figura 4.7 se muestra una onda de rayo normalizada [17], en la que se presentan los parámetros más importantes. En esta figura, $T_{10/90}$ es el intervalo de tiempo entre el 10% y el 90% de la corriente de pico de una descarga, y $T_{30/90}$ es el intervalo de tiempo entre el 30% y el 90% de la corriente pico.

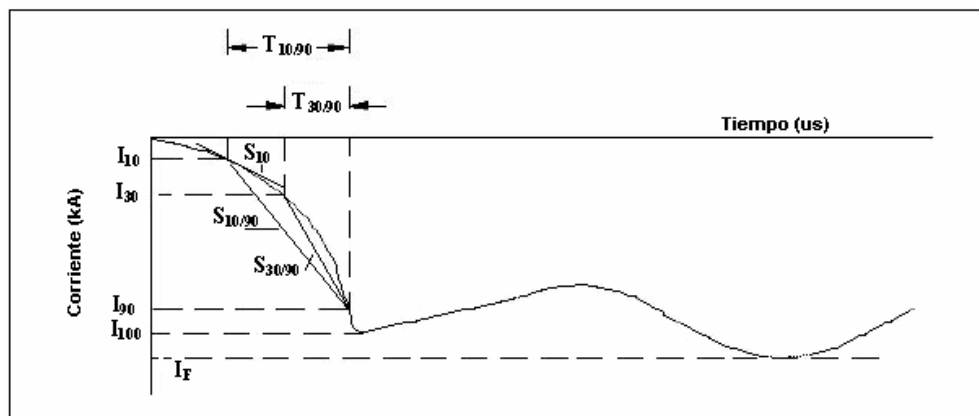


Figura 4.7. Forma de onda y parámetros de una descarga atmosférica [17]

Para el cálculo de sobretensiones atmosféricas en esta metodología, se asume que la onda de corriente de una descarga tiene la forma de doble rampa (ver figura 4.8), en donde I_{100} es la corriente del pico de la forma de onda de la descarga, T_F es el tiempo de frente de la onda de corriente, y T_C es el tiempo al valor medio de la intensidad de cresta.

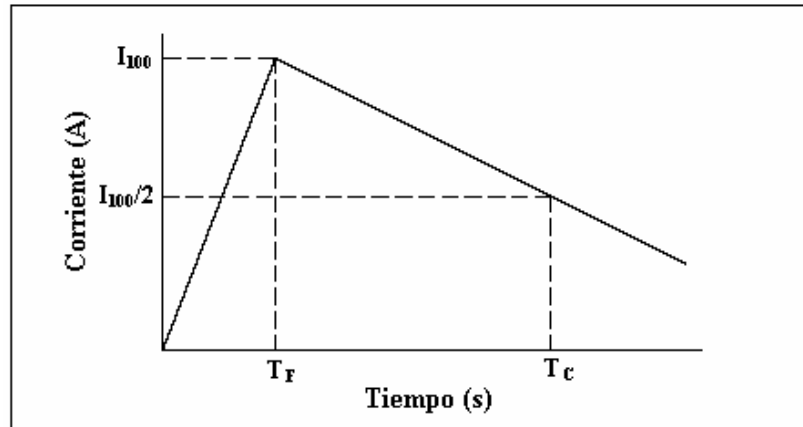


Figura 4.8. Forma de onda en doble rampa de una descarga atmosférica

En lo que se refiere a la polaridad de la descarga, en este trabajo se considera que es de tipo descendente y de polaridad negativa, tomando en consideración que aproximadamente entre el 85% y el 95% de los rayos tienen esta polaridad [16].

Es importante señalar que el modelo empleado en esta metodología para determinar el punto de impacto de una descarga teniendo en cuenta su intensidad de corriente máxima es el llamado modelo electrogeométrico, el cual se fundamenta en el hecho de que al acercarse una descarga a tierra, hay un momento en que se supera la rigidez dieléctrica del aire y se produce el salto hacia el objeto más cercano, el cual puede ser un árbol, una línea o la misma tierra [5]. La distancia de ruptura o la distancia a la que salta el arco, depende de la magnitud de la corriente, y de la trayectoria de la descarga (la cual, para fines de este trabajo se considera vertical).

Cabe destacar, que en virtud de que el aislamiento en las líneas es en su mayoría externo, se considera que el aislamiento de menor rigidez dieléctrica se encuentra a nivel de las estructuras, por lo cual se asume que la ruptura del

aislamiento ocurre únicamente a nivel de la cadena de aisladores (punto de sujeción de la línea con la estructura).

4.3.1 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA TASA DE SALIDA ESPERADA EN LA LÍNEA DEBIDO A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DIRECTAS

En la figura 4.9 se muestra en forma gráfica el algoritmo empleado en el presente trabajo para el cálculo de la tasa de salida en la línea debido a descargas atmosféricas directas.

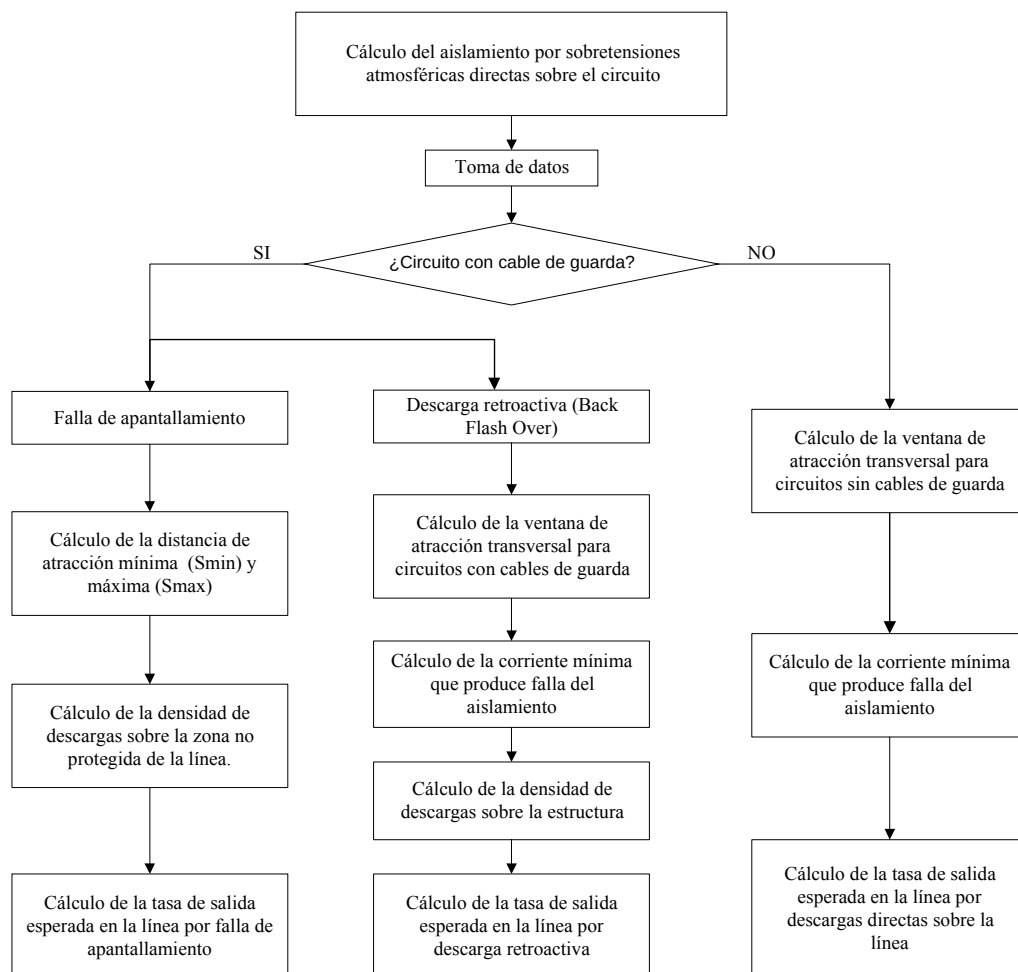


Figura 4.9. Algoritmo propuesto para cálculo de la tasa de salida en la línea debido a descargas atmosféricas directas.

4.3.1.1 Tasa de salida en circuitos con cables de guarda

4.3.1.1.1 Tasa de salida por fallas de apantallamiento

Las fallas de apantallamiento ocurren cuando el cable de guarda no protege los conductores de fase contra las descargas atmosféricas (debido principalmente a diseño incorrecto del ángulo de apantallamiento), pudiendo incidir rayos en dichos conductores con suficiente corriente como para ocasionar una falla.

En la figura 4.10 se muestra el modelo electrogeométrico simplificado empleado en este trabajo (un cable de guarda y un conductor de fase) para el cálculo de la tasa de salida por fallas de apantallamiento en las líneas. En esta figura, tres rayos de igual magnitud de corriente son mostrados cerca del conductor de fase. De acuerdo con el modelo electrogeométrico, el rayo A sólo puede incidir sobre el cable de guarda, debido a que en cualquier punto dentro del arco DP, la distancia a la fase C excede el valor de S; mientras que el rayo C sólo puede incidir a tierra debido a que en el cualquier punto de la línea OR, la distancia al conductor de fase C es demasiado grande. Sólo el rayo B, tan pronto como alcanza el arco PO puede incidir directamente sobre el conductor de fase C, ya que las distancias al cable de guarda y a la tierra excederá la distancia S.

De acuerdo con lo anterior, la tasa de salida por fallas de apantallamiento ($T_{sal_{FA}}$) puede ser calculado por medio de la ecuación (4.22) [2]:

$$T_{sal_{FA}} = N_{desc} * [P(I_{min}) - P(I_{max})] \quad \text{fallas/100km - año} \quad (4.22)$$

Donde:

P(I) : es la probabilidad de que la corriente I sea excedida. Esta distribución probabilística ha sido estudiada por diversos autores, de las cuales la mas reciente y de uso recomendado por el EPRI [2] e IEEE [17], es la desarrollada por Anderson y Eriksson, la cual tiene validez hasta una corriente de 200 kA (ecuación 4.23).

$$P(I) = \frac{1}{1 + \left[\frac{I}{31} \right]^{2,6}} \quad (4.23)$$

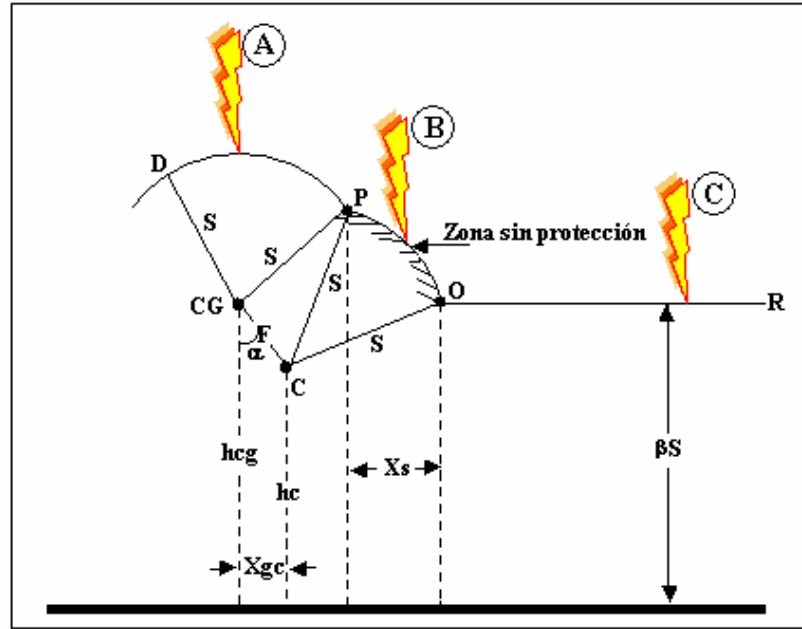


Figura 4.10. Modelo electrogeométrico simplificado.
Apantallamiento incompleto. [2].

Ndesc: Número de descargas sobre la zona no protegida de la línea [2]
(ecuación 4.24)

$$N_{desc} = \left[\frac{0,04 * T^{1,25} * 10^{-1} * X_s}{2} \right] \text{descargas/100 km-año} \quad (4.24)$$

De la ecuación (4.24) se tiene que:

T: Nivel ceráunico de la zona por donde atraviesa la línea. [días de tormenta/año].

Xs: Ancho de la zona desprotegida [m] (ver figura 4.10), la cual se calcula para el valor mínimo de la distancia de atracción S_{min} , de acuerdo a la expresión (4.25) [2].

$$X_s = S_{min} [\cos \theta + \sin(\alpha_s - \omega)] \quad [m] \quad (4.25)$$

Donde:

S_{min}: Distancia de atracción mínima. Diversos autores han postulado diferentes fórmulas para calcular la distancia de atracción S, las cuales son función de la corriente del rayo incidente. De estas fórmulas, la desarrollada por R. Love [2] es la que actualmente se recomienda para el cálculo de esta distancia (ecuación 4.26) .

$$S_{\min} = 10 * (I_{\min})^{0,65} \quad [\text{m}] \quad (4.26)$$

I_{min}: Corriente mínima del rayo que puede causar la ruptura del aislamiento. Tomando en cuenta que al impactar el rayo sobre el conductor la corriente proveniente de este se divide en dos partes iguales que dan lugar a dos tensiones que se propagan en ambos sentidos, esta corriente se puede estimar mediante el uso de la ecuación (4.27) [2].

$$I_{\min} = \frac{2 * V_{cd_{sa}}}{Z_c} \quad [\text{kA}] \quad (4.27)$$

Donde:

$$V_{cd_{sa}} = C_{FOais} * \frac{\delta}{H_v} \quad [\text{kV}] \quad (4.28)$$

CFOais: Tensión crítica disruptiva del aislamiento ante descargas atmosférica con onda negativa. Este valor se obtiene del catálogo del fabricante de los aisladores, en el cual se especifica una tensión de aguante por cada número de unidades aislantes. El número de unidades aislantes, es obtenido previamente del cálculo del aislamiento por sobretensiones internas (frecuencia industrial y maniobra), escogiéndose de todos los casos que pudiesen presentarse (condición seca, húmeda, con contaminación y sin contaminación) el mayor número de aisladores calculado.

δ: Densidad relativa del aire (ecuación 3.9).

Hv: factor de corrección por humedad del aire (ecuación 3.7).

Estos dos últimos factores se emplea para referir el CFOais (obtenida por el fabricante bajo condiciones ambientales estándar), a las condiciones particulares del estudio que se realiza.

Z_c: Impedancia de onda del conductor, calculada de acuerdo a la expresión (4.29) [2].

$$Z_c = 60 * \ln\left(\frac{2 * hc_{ef}}{r_c}\right) \quad [\Omega] \quad (4.29)$$

r_c : Radio del conductor [m].

hc_{ef} : Altura efectiva del conductor de fase sobre el nivel del terreno (ecuación 4.30)

$$hc_{ef} = hc - \frac{2}{3} * fc \quad [m] \quad (4.30)$$

En la cual:

hc : Altura del conductor mas elevado sobre el plano tierra [m] (medido en la torre o poste)

fc : Flecha del conductor en la mitad del vano, para apoyos con puntos de suspensión a igual nivel [8] (ecuación 4.31).

$$fc = \frac{Lv^2 * p}{8 * T} \quad [m] \quad (4.31)$$

L_v : Longitud del vano [m].

p : Peso unitario del conductor [kg/m].

T : Tensión en el conductor [kg].

De la ecuación (4.25) se tiene que:

$$\theta = \sin^{-1} \frac{[\beta * S_{min} - hc_{ef}]}{S_{min}} \quad [rad] \quad (4.32)$$

El factor β está relacionado con los niveles de tensión en el sistema de acuerdo a lo siguiente [17]:

$\beta = 1$ Para los niveles de tensión menores a 69kV.

$\beta = 0,8$ Para los niveles de tensión entre 69kV y 400kV.

$$\alpha_s = \tan^{-1} \left[\frac{X_{gc}}{h_{cg_{ef}} - h_{c_{ef}}} \right] \quad [\text{rad}] \quad (4.33)$$

Donde:

X_{gc} : Separación horizontal entre el cable de guarda y el conductor de fase mas elevado [m] (ver figura 4.10).

$h_{cg_{ef}}$: Altura efectiva del cable de guarda con respecto al plano de tierra [5] (ecuación 4.34).

$$h_{cg_{ef}} = h_{cg} - \frac{2}{3} * f_{cg} \quad [\text{m}] \quad (4.34)$$

En la cual:

h_{cg} : Altura del cable de guarda sobre el plano tierra (medido en la torre o poste) [m]

f_{cg} : Flecha del cable de guarda en la mitad del vano, para apoyos con puntos de suspensión a igual nivel [8] (ecuación 4.35)

$$f_{cg} = \frac{L_v^2 * p_{cg}}{8 * T_{cg}} \quad [\text{m}] \quad (4.35)$$

L_v : Longitud del vano [m].

p_{cg} : Peso unitario del cable de guarda [kg/m].

T_{cg} : Tensión en el cable de guarda [kg].

$$\omega = \cos^{-1} \left[\frac{(h_{cg_{ef}} - h_{c_{ef}}) / \cos \alpha_s}{2 * S_{\min}} \right] \quad [\text{rad}] \quad (4.36)$$

Para determinar la corriente máxima por encima de la cual el apantallamiento es efectivo ($I_{\max}$), se procede a incrementar la distancia S en la figura 4.10, de manera que el arco PO decrezca, reduciendo la zona sin protección cero (ver figura 4.11).

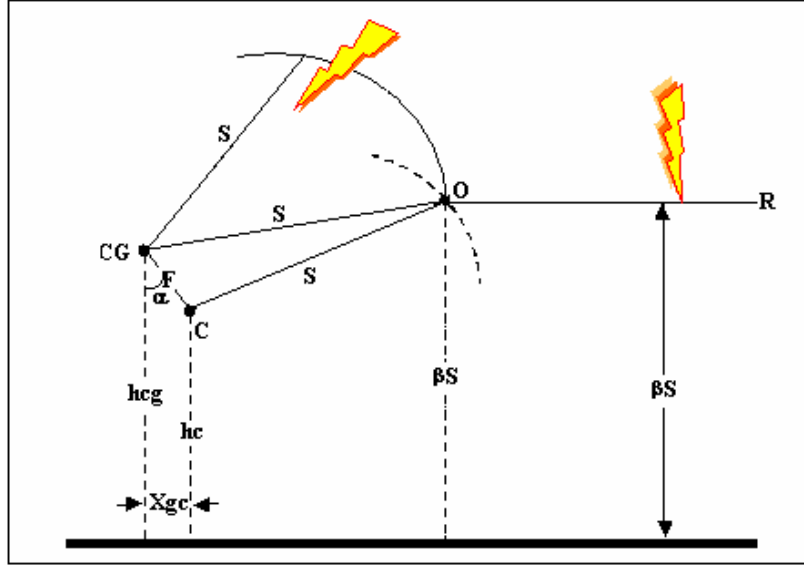


Figura 4.11. apantallamiento efectivo. La zona sin protección es reducida a cero [2].

De acuerdo con lo anterior, y haciendo uso de la expresión desarrollada por R. Love [2], la corriente máxima es estimada haciendo uso de la ecuación (4.37).

$$I_{\max} = 0,029 * (S_{\max})^{1,54} \quad [\text{kA}] \quad (4.37)$$

En donde, la distancia de atracción $S_{\max}$ se calcula de acuerdo a la expresión (4.38).

$$S_{\max} = Y_0 * \left(\frac{-B_s - \sqrt{B_s^2 + A_s * C_s}}{A_s} \right) \quad [\text{m}] \quad (4.38)$$

En la cual:

$$Y_0 = \frac{hc_{g_{ef}} + hc_{ef}}{2} \quad (4.39)$$

$$B_s = \beta * (m^2 + 1) \quad (4.40)$$

$$m = \tan(\alpha_s) \quad (4.41)$$

$$A_s = m^2 - m^2 * \beta - \beta^2 \quad (4.42)$$

$$C_s = m^2 + 1 \quad (4.43)$$

Es importante señalar que de acuerdo a la teoría electrogeométrica, sólo los rayos cuya corriente este entre $I_{\min}$ e $I_{\max}$ pueden causar fallas en el aislamiento, siempre y cuando estos rayos caigan en la zona no protegida de la línea.

4.3.1.1.2 Tasa de salida por descargas retroactivas (Back Flash Over)

La descarga retroactiva (Back Flash Over) se produce cuando se excede la rigidez dieléctrica de la cadena de aisladores debido a la elevación del potencial de la torre o estructura de soporte respecto al conductor de fase; lo cual ocurre cuando un rayo incide sobre el conductor de guarda o directamente sobre la torre [17]. Al igual que para el caso de fallas de apantallamiento, la verificación del aislamiento se realiza considerando las salidas de servicio de la línea debido a este fenómeno (cálculo de la tasa de salida). En esta parte del trabajo no son considerados los efectos producidos por la reflexión de la onda viajera en las estructuras de soporte subsiguientes, ni en la impedancia de puesta a tierra.

La diferencia de potencial a la cual será sometida la cadena de aisladores ante la ocurrencia de una descarga en el cable de guarda o estructura de soporte es la siguiente [8, 17] (ecuación 4.44):

$$\Delta V_c = \left[(1 - K_{ac}) * I_{\text{rayo}} * Z_{\text{equiv}} + \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} * V_{11} \right] * \frac{1}{(1 - 1,3 * \sigma_{\text{BFO}})} * \left(\frac{H_v}{\delta} \right) \quad (4.44)$$

Donde:

I_{rayo} : Corriente del rayo mínima que produce la falla del aislamiento.

σ_{BFO} : Desviación estándar del aislamiento ante sobretensiones atmosféricas. En este trabajo se asume un valor de 3%, de acuerdo a lo señalado en la referencia [8].

H_v y δ corresponden al factor de corrección por humedad del aire y la densidad relativa del aire, respectivamente.

K_{ac} : Coeficiente de acoplamiento entre el cable de guarda y el conductor de fase (ecuación 4.45)

$$K_{ac} = \frac{Z_{ccg}}{Z_{cg}} \quad (4.45)$$

Z_{cg} : Impedancia de onda del cable de guarda calculada de acuerdo a la expresión (4.46)

$$Z_{cg} = 60 * \ln \left(\frac{2 * h_{cg_{ef}}}{r_{cg}} \right) \quad [\Omega] \quad (4.46)$$

r_{cg} : Radio del cable de guarda [m]

$h_{cg_{ef}}$: Altura efectiva del cable de guarda sobre el nivel del terreno, descrito anteriormente (ecuación 4.34).

Z_{ccg} : Impedancia mutua entre el cable de guarda y el conductor de fase (ecuación 4.47)

$$Z_{ccg} = 60 * \ln \left(\frac{D_{ccg_{im}}}{D_{ccg}} \right) \quad (4.47)$$

D_{ccg} : Distancia entre el cable de guarda y el conductor [m]. (ver figura 4.12).

$D_{ccg_{im}}$: Distancia entre la imagen del cable de guarda y el conductor [m]. (ver figura 3.14). Esta distancia se puede determinar de la siguiente manera (ecuación 4.48):

$$D_{ccg_{im}} = \sqrt{(h_{cg} + h_c)^2 + (X_{gc})^2} \quad (4.48)$$

Todos los términos de la ecuación (3.49) fueron descritos anteriormente (cálculo de la tasa de salida por fallas de apantallamiento.)

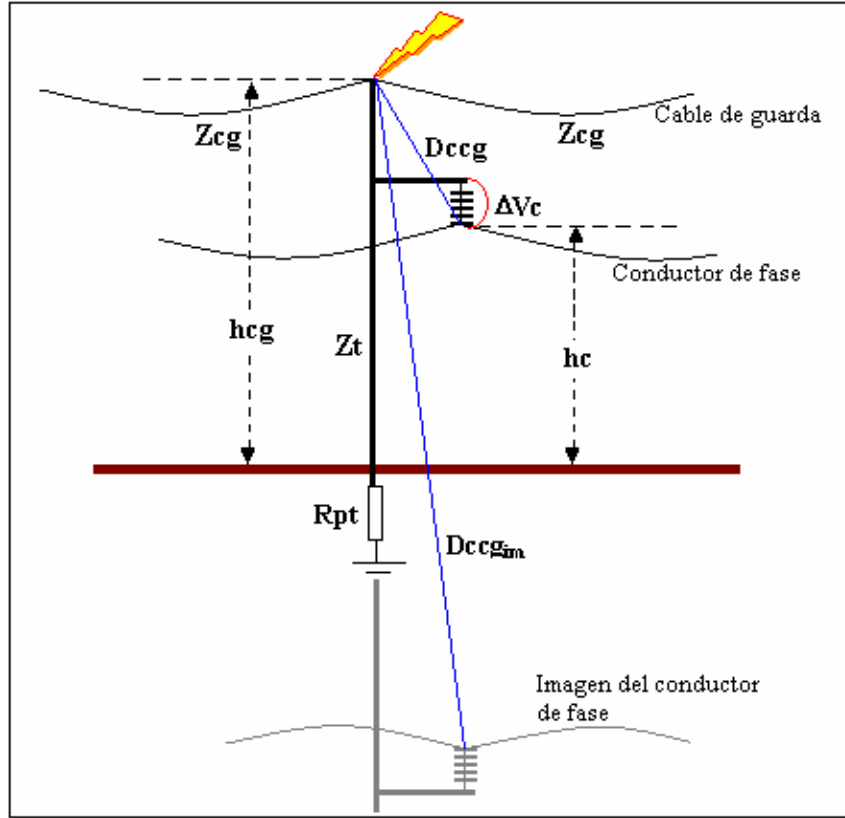


Figura 4.12. Modelo simplificado para el cálculo de la descarga retroactiva [18]

Z_{equiv} : Impedancia equivalente entre el conductor de guarda y tierra [18]
(ecuación 4.49)

$$Z_{equiv} = \frac{(R_{ioni} + Z_t) * Z_{cg} / n_{cg}}{(R_{ioni} + Z_t + Z_{cg} / n_{cg})} \quad (4.49)$$

Donde:

Zt: Impedancia de la torre. En caso de no conocer el valor de esta impedancia, el usuario puede escoger una entre las cuatro estructuras que se muestran en la figura 4.13, y suministrar las dimensiones correspondientes para que el programa realice el cálculo de la impedancia [2, 14].

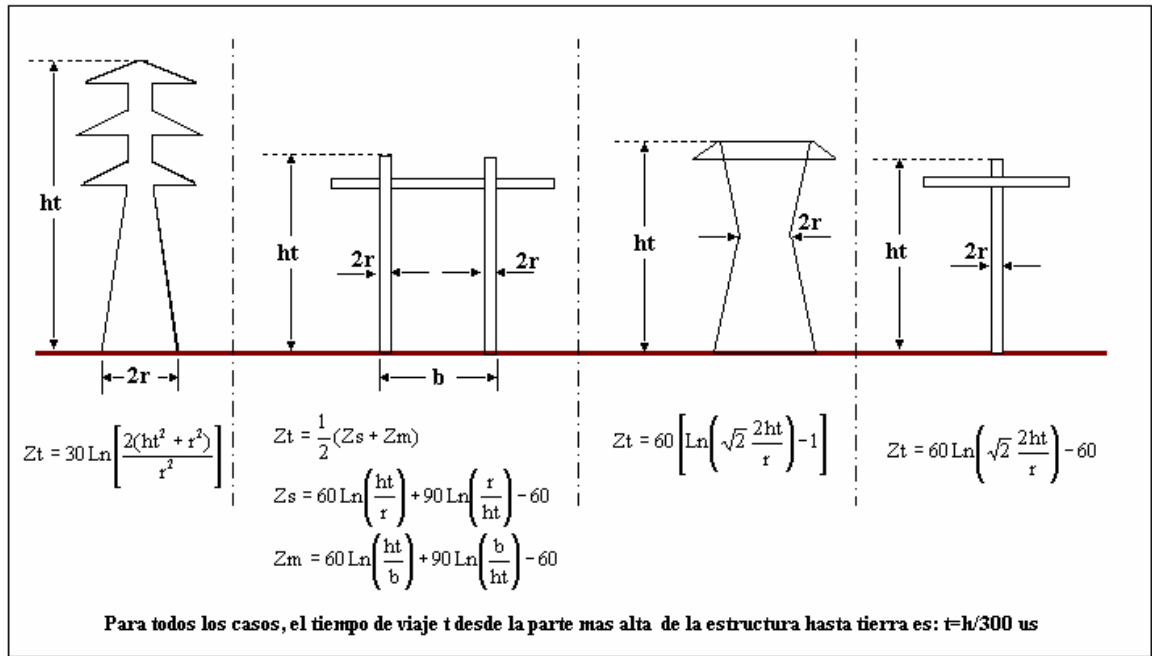


Figura 4.13 Aproximaciones para el cálculo de las impedancias de las estructuras [2, 14]

ncg: Número de cables de guarda.

Rioni: Resistencia de puesta a tierra dinámica, determinada de acuerdo a la expresión (4.50). Este cálculo incluye el efecto de la ionización del suelo que ocurre al incidir sobre este la onda de corriente con forma de onda de corriente de rayo [18].

$$R_{ioni} = \frac{R_{pt}}{\sqrt{1 + \frac{I_{tierra}}{I_{critico}}}} \quad (4.50)$$

Rpt: Resistencia de puesta a tierra a baja frecuencia.

I_{tierra}: Corriente proveniente del rayo drenada hacia la tierra (ecuación 4.51).

$$I_{tierra} = I_{rayo} * \frac{Z_{cg} / ncg}{Z_t + R_{pt} + Z_{cg} / ncg} \quad (4.51)$$

I_{critico}: Intensidad de corriente para la cual se inicia la ionización [18], ecuación (4.52)

$$I_{\text{crítico}} = 0,150154 * \left(\frac{E_{\text{crítico}}}{R_{\text{pt}}^2} \right) \quad (4.52)$$

E_{crítico}: Gradiente de ionización [18] (ecuación 4.53).

$$E_{\text{crítico}} = 241 * \left(\frac{1}{\rho_{\text{terreno}}} \right)^{-0,215} \quad (4.53)$$

ρ_{terreno} : Resistividad del terreno [Ω/m].

Despejando de la ecuación (3.44) la corriente mínima del rayo que puede producir la falla del aislamiento (I_{rayo}), se tiene:

$$I_{\text{rayo}} = \left(\Delta V_c - \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} * V_{11} \right) * \frac{1}{(1 - K_{ac}) * Z_{\text{equiv}}} \quad (4.54)$$

En la ecuación (4.54), se asume que la tensión mínima sobre la cadena para considerar ruptura (ΔV_c), es el valor de la tensión crítica disruptiva ante descargas atmosféricas con polaridad negativa (obtenida del catálogo de especificaciones del fabricante de aisladores) corregido por las condiciones ambientales de la zona bajo estudio (ecuación 4.28).

Cabe señalar que la corriente proveniente del rayo drenada hacia la tierra (I_{tierra}) depende de la corriente solución del problema, por lo cual el término Z_{equiv} también es dependiente de dicha corriente, lo que implica la aplicación de un método iterativo para el cálculo de la ecuación (4.54).

Una vez calculada la corriente del rayo, se calcula la tasa de salida de la línea debido al Back Flash Over (ecuación 4.55).

$$T_{\text{sal}}_{\text{BFO}} = N_T * P(I_{\text{rayo}}) \quad [\text{fallas}/100\text{km-año}] \quad (4.55)$$

Donde:

$P(I_{\text{rayo}})$: es la probabilidad de que la corriente I_{rayo} sea excedida, calculada de acuerdo a la ecuación (4.23).

N_T: Densidad de descargas sobre la torre. Tomando en cuenta que es mas probable que un rayo sea atraído por la torre a que incida a mitad del vano, se considera que 60% de las descargas sobre el cable de guarda estarán lo suficientemente cerca de la torre como para considerarlas descargas sobre la torre (en caso de estructuras de soporte metálicas) ó 40% en caso de estructuras de soporte de otro material (concreto, madera u otros) [2]:

$$\text{Estructuras metálicas:} \quad N_T = 0,6 * N_L \quad (4.56)$$

$$\text{Estructuras de concreto o madera:} \quad N_T = 0,4 * N_L \quad (4.57)$$

Donde:

N_L: Número de descargas sobre la línea [19] (ecuación 4.58).

$$N_L = N_g * W_d * 10^{-1} \quad [\text{descargas}/100 \text{ km-año}]. \quad (4.58)$$

N_g: Densidad de descargas a tierra [19] (ecuación 4.59).

$$N_g = 0,04 * T^{1,25} \frac{\text{desc}}{\text{km}^2 - \text{año}} \quad (4.59)$$

T: Nivel cerámico de la zona por donde pasa la línea. [días de tormenta/año]

W_d: Ventana transversal de atracción para descargas directas [m], en campo abierto (sin influencia de objetos cercanos).

Para líneas eléctricas cuya tensión nominal es menor o igual a 69 kV (sistemas de media tensión), W_d se calcula mediante la ecuación (4.60a) [17, 19, 20].

$$W_d = b + 28 * hcg_{ef}^{0,6} \quad [m] \quad (4.60a)$$

En los sistemas de alta tensión (sistemas con tensión nominal igual a 115 kV o 230 kV), W_d se determina a través de la ecuación (4.60b) [2, 5, 8].

$$W_d = b + 4 * hcg_{ef}^{1,09} \quad [m] \quad (4.60b)$$

Donde:

b: Distancia horizontal entre los cables de guarda [m], en caso de existir un solo cable de guarda, b = 0.

hcg_{ef}: Altura efectiva del cable de guarda [m] (ecuación 4.34).

Aún cuando en el presente trabajo no se considera el apantallamiento de la línea por objetos cercanos, este es un factor de importancia cuando se determina la ventana transversal de atracción para descargas atmosféricas en circuitos de distribución. La razón por la cual no se toma en cuenta este aspecto, es por lo complicado que resulta este cálculo por depender de las características (principalmente de la altura y separación del circuito) del objeto que apantalla, las cuales pueden variar significativamente de un sitio a otro a lo largo de la línea; además que por lo general, es difícil de obtener esta información. En caso de requerirse, en la referencia [20] se detalla el procedimiento a seguir para calcular la ventana transversal de atracción tomando en cuenta el apantallamiento por objetos cercanos a la línea.

4.3.1.2 Tasa de salida en circuitos sin cables de guarda

En circuitos sin cables de guarda el impacto de un rayo será sobre los conductores del sistema, por lo cual la tasa de salida se calcula de acuerdo a la expresión (4.61).

$$T_{sal_{SCG}} = \frac{N_g * Long * W_{SCG} * P(I_{min})}{100} \quad (\text{fallas/año}) \quad (4.61)$$

Donde:

N_g : Densidad de descargas a tierra, calculada de acuerdo a la ecuación (4.59).

$P(I_{min})$: Probabilidad de que sea excedida la corriente mínima del rayo que puede causar la ruptura del aislamiento, calculada según la ecuación (4.23) y (4.27)

W_{SCG} : Ventana de atracción transversal para circuitos sin cables de guarda (sin considerar el posible apantallamiento por objetos cercanos a la línea). Este valor se determina empleando las ecuaciones (4.60a) o (4.60b), considerándose ahora el parámetro b , como la distancia horizontal en [m] entre los conductores más elevados.

4.3.2 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE SOBRETENSIONES INDUCIDAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

La incidencia de descargas atmosféricas en las cercanías de las líneas eléctricas genera sobretensiones por inducción electromagnética que pueden causar fallas de importancia en los sistemas de media tensión. Debido a “que es mas probable que una descarga incida cerca a una línea a que impacte sobre ésta” [21], se han realizado en los últimos años numerosos estudios para determinar la severidad del fenómeno de inducción electromagnética en las líneas aéreas, en especial aquellas con bajos niveles de aislamiento respecto a tierra (líneas de media tensión).

A pesar del amplio estudio que se ha realizado en este campo, no existe actualmente un consenso general sobre el método de evaluar estas sobretensiones, por lo cual, en el presente trabajo se propone el estudio de este fenómeno mediante el uso de tres metodologías, las cuales cuentan con la aceptación del ámbito internacional. Estas metodologías, conocidas por el nombre de sus autores (Rusck, Voislav y Chowdhuri) poseen criterios y simplificaciones propias, lo cual debe tomarse en cuenta al momento de realizar comparaciones entre los resultados obtenidos por el uso de cada una de ellas.

Cabe indicar que en ninguno de estos métodos se considera la existencia del cable de guarda en el circuito, lo cual, de acuerdo con las conclusiones presentadas por Chowdhuri [22] y Hernández [14] en sus respectivos trabajos, reduciría drásticamente el valor de la tensión inducida; así como tampoco se considera en su totalidad todos los fenómenos electromagnéticos asociados al momento en que la nube cargada pasa por encima de la línea y se origina el descenso de la descarga y balances de cargas en la nube, por considerarse que estos procesos tienen poca influencia en el fenómeno de inducción [21].

Para fines del programa computacional elaborado como parte de este trabajo, sólo se realiza el cálculo de las sobretensiones inducidas cuando el usuario escoge un valor de tensión nominal del sistema menor o igual a 69 kV, por ser estos sistemas los

más vulnerables a este tipo de fenómeno; tal como se demuestra en los resultados de las simulaciones realizadas con el programa elaborado (capítulo V, punto 5.2)

4.3.2.1 Metodología según Rusck [17]

El modelo de Rusck para representar las tensiones inducidas en la línea, producto de una descarga atmosférica, parte de las siguientes premisas:

- La línea se asume como un único conductor ideal y de longitud infinita.
- La conductividad del terreno se considera infinita.
- Sólo se considera la tensión que se induce en la línea en el punto más próximo a la descarga.

De acuerdo con el planteamiento de Rusck, la máxima tensión inducida en una línea en el punto mas cercano a la descarga, puede ser estimada mediante el uso de la ecuación (4.62).

$$V_{IR} = \frac{Z_0 * I_0 * hc}{y_0} \left[1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{V}{c} \right)^2}} \right] \quad (4.62)$$

Donde.

I₀: Corriente pico del rayo [A]. Con el fin de poder realizar en el programa diseñado la curva de tensión inducida versus tiempo de acuerdo a lo propuesto en este método, se asumió que la forma de onda de la corriente al momento de impactar el rayo a tierra, puede ser descrita por la ecuación (4.63) propuesta por Heidler [23].

$$I_0(0, t) = \frac{I}{\eta} * \frac{(t / T)^2}{1 + (t / T)^2} * \text{Exp}(-t / \tau) \quad (4.63)$$

En la cual:

I: Denota la amplitud de la corriente de retorno del rayo.

η : Es el factor de corrección de la amplitud [23] definido por la ecuación (4.64).

$$\eta = \text{Exp}(-\sqrt{2}*(T / \tau)) \quad (4.64)$$

T: Tiempo de frente de la forma de onda del rayo [μs].

τ : Tiempo de cola de la forma de onda del rayo [μs].

t: Tiempo de simulación [μs].

hc: Altura de la línea sobre el nivel del suelo [m].

y_0 : Distancia perpendicular entre la descarga y la línea [m].

V: Velocidad de retorno del rayo [m/s]. Rusck y Lundhold [25] han propuesto que éste parámetro es función de la amplitud de la corriente de la descarga, tal como lo describe la ecuación (4.65).

$$V = \frac{c}{\sqrt{1 + (W / I_0)}} \quad (4.65)$$

W: Es una constante a la cual Rusck le ha dado un valor de 500 kA.

c : Velocidad de la luz en el espacio libre [m/s] (ecuación 4.66).

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 * \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{(8,85419 \times 10^{-12} \text{ F / m}) * (1,256637 \times 10^{-6} \text{ H / m})}} \cong 3 \times 10^8 \text{ m / s} \quad (4.66)$$

Zo: Impedancia que se calcula a partir de la expresión (4.67).

$$Z_o = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}} \cong 28,21 \Omega \quad (4.67)$$

4.3.2.2 Metodología según Voislav [23]

De acuerdo a Voislav, la máxima tensión que se puede inducir en una línea depende principalmente de los siguientes factores:

- El modelo de descarga de retorno, en el cual se asume una distribución temporal y espacial de la corriente de descarga a lo largo del canal.

- El campo electromagnético irradiado por la descarga, conocido como LEMP (Lightning Electromagnetic Pulse).
- El modelo de acoplamiento, para estudiar la interacción entre el modelo LEMP y la línea.

Debido a que el acoplamiento entre el LEMP y la línea eléctrica es un problema complejo, Voislav desarrolló un modelo empírico para la estimación de la máxima tensión inducida en la línea, basándose en la geometría del problema presentado en la figura 4.14, y en las siguientes consideraciones:

- El canal de la descarga es modelado como una antena vertical a una distancia Y_0 de la línea.
- La línea es representada como un único conductor, sin pérdidas y situada a una altura h sobre el plano de tierra (esta última asumida como un conductor ideal).
- La longitud de la línea es asumida infinita, por lo cual, la máxima tensión inducida ocurre antes que la onda alcance los terminales de la línea, evitándose así cualquier influencia que pudiesen tener estos en la tensión calculada (se evita el efecto de reflexión de la onda sobre la tensión inducida).
- El diámetro del conductor se fija en 1 cm.
- La velocidad de retorno del rayo es asumida como 100 m/ μ s.
- No se considera la existencia de cables de guarda.

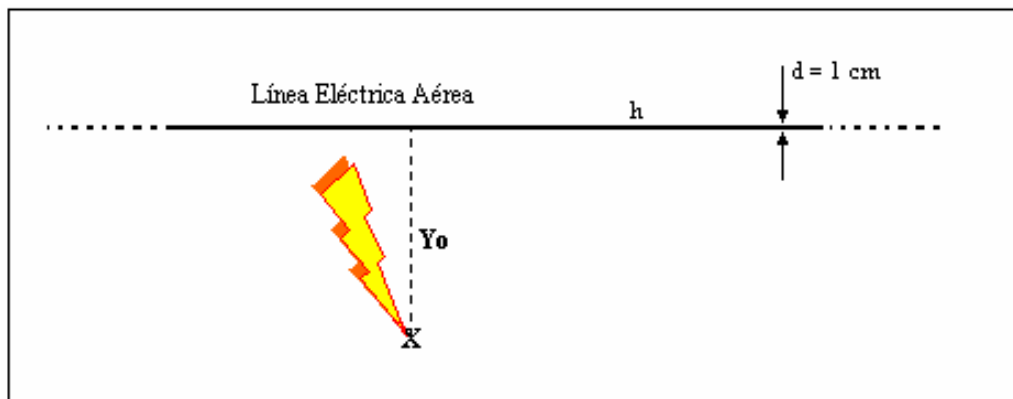


Figura 4.14 Geometría para el cálculo de la sobretensión inducida según Voislav [23].

Con base en lo anterior, la máxima tensión inducida por descargas en las cercanías de la línea puede ser estimada haciendo uso de la ecuación (4.68).

$$U_{\max}(y_0) = K_u * I_0 * e^{(K_0 + K_1 * \ln(y_0) + K_5 * \ln^5(y_0))} \quad (4.68)$$

Donde:

$$k_u = \frac{hc}{10} \left[1 - 0,1875 * (t_f - 0,8) - 3,333 * 10^{-4} * \frac{4}{hc^{0,6}} * \tau \right] \quad (4.69)$$

$$k_0 = 2,25 + 3,25 * e^{\left(-\frac{|t_f - 0,1|^{1,45}}{0,55} \right)} \quad (4.70)$$

$$k_1 = -\frac{k_0 - \sqrt{k_0}}{3,45} \quad (4.71)$$

$$10^4 * k_5 = 0,7 * e^{\left(-\frac{|t_f - 0,19|^{1,4}}{0,19} \right)} + 0,18 * \left(1 - 0,667^{\frac{\tau - 28,85}{28,85}} \right) - 1,15 \quad t_f > 0,1 \mu s \quad (4.72a)$$

$$10^4 * k_5 = -0,9 + 7,5 * (t_f - 0,02) \quad 0 < t_f < 0,1 \mu s \quad (4.72b)$$

y₀: Distancia más cercana entre el punto de impacto de la descarga a tierra y la línea (ver figura 4.14).

t_f: Tiempo de frente de la onda [μs].

τ : Tiempo de cola de la onda [μs].

Es importante destacar que esta metodología toma en cuenta la inducción propia de la línea y el fenómeno de onda viajera que se produce a lo largo de la línea al ocurrir la descarga atmosférica.

4.3.2.3 Metodología según Chowdhuri [24,25]

El modelo de Chowdhuri para representar las tensiones inducidas en la línea producto de una descarga atmosférica parte de las siguientes premisas:

- El canal de la descarga se asume vertical.
- La descarga principal tiene una distribución de carga uniforme a lo largo del canal.
- La línea es representada como un único conductor ideal, y la conductividad del terreno se considera infinita.
- No se considera la existencia de cable de guarda en el circuito.

El sistema de coordenadas utilizado por Chowdhuri para el análisis y formulación de las tensiones inducidas en la línea, es el mostrado en la figura 4.15:

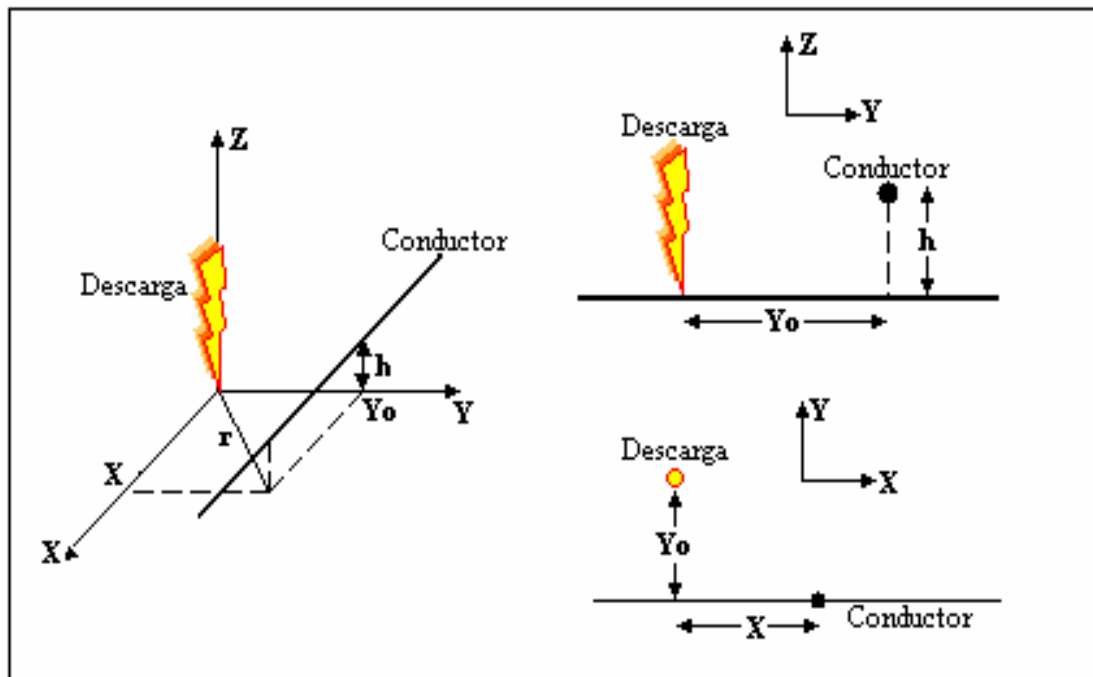


Figura 4.15 Sistema de coordenadas del conductor y descarga, empleado por Chowdhuri [24].

Con base en lo anterior, la sobretensión inducida en la línea producto de una descarga en las cercanía de la línea, puede ser estimada resolviendo la siguiente ecuación diferencial (4.73).

$$\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 V_i}{\partial t^2} = F(x, t) \quad (4.73)$$

Donde: F(x,t) representa la forma de onda de la corriente de la descarga.

Para el cálculo de la tensión inducida en la línea por el método de Chowdhuri, se asume que la forma de onda de la corriente de descarga es de doble rampa [24], por lo cual, al aplicar el teorema de Duhamel a la expresión (4.73) [15], se obtiene :

$$V(t) = V_1(t) * u(t - t_0) + V_2(t) * (t - t_0) \quad (4.74)$$

Donde:

$$V_1(t) = f_0 * [b_0 * \ln(f_{12}) - b_0 * \ln(f_{11}) + 0,5 * \ln(f_{13})] \quad (4.75)$$

$$V_2(t) = -f_0 * [b_0 * \ln(f_{12a}) - b_0 * \ln(f_{11a}) + 0,5 * \ln(f_{13a})] \quad (4.76)$$

$$b_0 = 1 - \beta_c^2 \quad (4.77)$$

$$t_{0f} = t_0 + t_f \quad (4.78)$$

$$t_{tf} = t - t_f \quad (4.79)$$

$$f_0 = \frac{30 * I_0 * hc}{t_f * \beta_c * c} \quad (4.80)$$

$$f_1 = m_1 + (c * t - x)^2 - y_0^2 \quad (4.81)$$

$$f_2 = m_1 - (c * t - x)^2 + y_0^2 \quad (4.82)$$

$$f_3 = m_0 + y_0^2 - (c * t_0 - x)^2 \quad (4.83)$$

$$f_4 = m_0 - y_0^2 + (c * t_0 - x)^2 \quad (4.84)$$

$$f_5 = n_1 + (c * t + x)^2 - y_0^2 \quad (4.85)$$

$$f_6 = n_1 - (c * t + x)^2 + y_0^2 \quad (4.86)$$

$$f_7 = n_0 + y_0^2 - (c * t_0 + x)^2 \quad (4.87)$$

$$f_8 = n_0 - y_0^2 + (c * t_0 + x)^2 \quad (4.88)$$

$$f_9 = b_0 * (\beta_c^2 * x^2 + y_0^2) + \beta_c^2 * c^2 * t^2 * (1 + \beta_c^2) \quad (4.89)$$

$$f_{10} = 2 * \beta_c^2 * c * t * \sqrt{\beta_c^2 * c^2 * t^2 + b_0 * (x^2 + y_0^2)} \quad (4.90)$$

$$f_{11} = \frac{c^2 * t^2 - x^2}{y_0^2} \quad (4.91)$$

$$f_{12} = \frac{f_9 - f_{10}}{b_0^2 * y_0^2} \quad (4.92)$$

$$f_{13} = \frac{f_1 * f_3 * f_5 * f_7}{f_2 * f_4 * f_6 * f_8} \quad (4.93)$$

$$f_{1a} = m_{1a} + (c * t_{tf} - x)^2 - y_0^2 \quad (4.94)$$

$$f_{2a} = m_{1a} - (c * t_{tf} - x)^2 + y_0^2 \quad (4.95)$$

$$f_{3a} = f_3 \quad (4.96)$$

$$f_{4a} = f_4 \quad (4.97)$$

$$f_{5a} = n_{1a} + (c * t_{tf} + x)^2 - y_0^2 \quad (4.98)$$

$$f_{6a} = n_{1a} - (c * t_{tf} + x)^2 + y_0^2 \quad (4.99)$$

$$f_{7a} = f_7 \quad (4.100)$$

$$f_{8a} = f_8 \quad (4.101)$$

$$f_{9a} = b_0 * (\beta_c^2 * x^2 + y_0^2) + \beta_c^2 * c^2 * t_{tf}^2 * (1 + \beta_c^2) \quad (4.102)$$

$$f_{10a} = 2 * \beta_c^2 * c * t_{tf} * \sqrt{\beta_c^2 * c^2 * t_{tf}^2 + b_0 * (x^2 + y_0^2)} \quad (4.103)$$

$$f_{11a} = \frac{c^2 * t_{tf}^2 - x^2}{y_0^2} \quad (4.104)$$

$$f_{12a} = \frac{f_{9a} - f_{10a}}{b_0^2 * y_0^2} \quad (4.105)$$

$$f_{13a} = \frac{f_{1a} * f_{3a} * f_{5a} * f_{7a}}{f_{2a} * f_{4a} * f_{6a} * f_{8a}} \quad (4.106)$$

$$m_0 = \sqrt{[(c * t_0 - x)^2 + y_0^2]^2 + 4 * h_n^2 * (c * t_0 - x)^2} \quad (4.107)$$

$$m_1 = \sqrt{[(c * t - x)^2 + y_0^2]^2 + 4 * h_n^2 * (c * t - x)^2} \quad (4.108)$$

$$n_0 = \sqrt{[(c * t_0 + x)^2 + y_0^2]^2 + 4 * h_n^2 * (c * t_0 + x)^2} \quad (4.109)$$

$$n_1 = \sqrt{[(c * t + x)^2 + y_0^2]^2 + 4 * h_n^2 * (c * t + x)^2} \quad (4.110)$$

$$m_{1a} = \sqrt{[(c * t_{tf} - x)^2 + y_0^2]^2 + 4 * h_n^2 * (c * t_{tf} - x)^2} \quad (4.111)$$

$$n_{1a} = \sqrt{[(c * t_{tf} + x)^2 + y_0^2]^2 + 4 * h_n^2 * (c * t_{tf} + x)^2} \quad (4.112)$$

t₀: Tiempo necesario para que el efecto de la corriente de retorno de la descarga alcance el punto ubicado a una distancia x sobre la línea[s] (ecuación 4.113).

$$t_0 = \frac{\sqrt{(x^2 + y_0^2)}}{c} \quad (4.113)$$

h_n: Altura de la nube [m].

t.: Tiempo de simulación [s].

t_f: Tiempo de frente de la corriente de retorno de la descarga [s].

u(t): Función escalón unitario.

x.: Punto sobre la línea donde se calcula la tensión inducida[m].

y₀: Distancia perpendicular entre el punto de impacto de la descarga y la línea [m].

β_c: Relación entre la velocidad de retorno de la descarga y la velocidad de la luz .

Chowdhuri [24] recomienda asumir que la velocidad de retorno del rayo sea 30% la velocidad de la luz (β_c=0,3); sin embargo, tomándose en consideración la expresión propuesta por Lundhold y Rusck (ecuación 4.65), se tiene que:

$$\beta_c = \frac{V}{c} = \frac{1}{\sqrt{1 + (500/I_0)}} \quad (4.114)$$

De acuerdo con la ecuación (4.114), β_c será menor que 0,3 para I₀ menores a 50kA y mayor que 0,3 para I₀ mayores a este mismo valor de corriente.

4.3.3 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA TASA DE SALIDA ESPERADA EN LA LÍNEA DEBIDO A SOBRETENSIONES INDUCIDAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Las metodologías presentadas en este trabajo para el cálculo de la tasa de salida se basan fundamentalmente en el modelo electrogeométrico (figura 4.16) y en las ecuaciones propuestas por Rusck, voislav y Chowdhuri para la estimación de la máxima tensión inducida en la línea por descargas en las cercanías del circuito (ecuaciones 4.63, 4.68 y 4.74 respectivamente).

De acuerdo con la figura 4.16, si la distancia perpendicular de la descarga supera la distancia crítica de atracción de la línea (y_{min}), el rayo impactará en tierra. Esta distancia crítica de atracción se puede calcular una vez que se conoce el radio de atracción que ejerce el conductor sobre la descarga (r_s) (ecuaciones 4.115 y 4.116).

$$y_{\min} = \sqrt{rs^2 - (rg - hc)^2} \quad [\text{m}] \quad (4.115)$$

$$rs = 10 * (Io)^{0.65} \quad [\text{m}] \quad (4.116)$$

Basándose en la recomendación dada por el IEEE [17], se asume que el radio de atracción que existe al plano tierra (rg) es 0,9 veces el radio de atracción que existe a la línea (rs). (ecuación 4.117).

$$rg = 0.9 * rs \quad [\text{m}] \quad (4.117)$$

La máxima distancia ($y_{\max}$) a la cual puede caer una descarga y producir ruptura en el aislamiento de la línea debido a tensiones inducidas en la línea, se calcula asumiendo que el aislamiento soporta 1.5 veces el valor de la tensión crítica disruptiva del aislamiento ante descargas atmosférica con onda negativa (dato reportado por el fabricante). El factor 1.5 es una aproximación recomendada por la IEEE [17, 26] para el cálculo de la tasa de salida por tensiones inducidas en el circuito, basados en la curva experimental de voltaje-tiempo del aislamiento.

$$V_{\max_{\text{ind}}} = 1.5 * CFO_{\text{ais}} \quad (4.118)$$

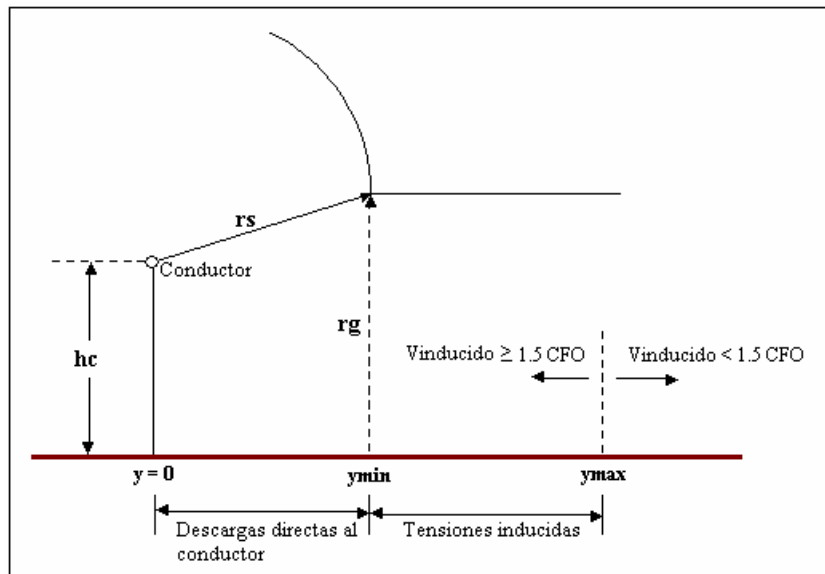


Figura 4.16 Uso del modelo electrogeométrico para determinar la tasa de salida debido a tensiones inducidas [17, 26].

4.3.3.1 Metodología según Rusck [15,17]

El procedimiento para el cálculo de la tasa de salida empleando la metodología propuesta por Rusck es el siguiente:

- a) Se considera la velocidad de retorno del rayo constante. Rusck propone asumir un valor constante entre $0,3 \times 10^8 \text{ m/s}$ y $1,5 \times 10^8 \text{ m/s}$ [17].
- b) Se varía la corriente de la descarga (I_o) desde 1 kA hasta 200 kA en incrementos de 0.5 kA, y la probabilidad de que esta corriente sea excedida se calcula por medio de la ecuación (4.23). La máxima corriente considerada es 200 kA porque sólo una porción insignificante de corrientes provenientes de un rayo excede este valor [26].
- c) Para cada valor de corriente I_o se calculan los valores de las distancias de atracción r_s y r_g , y a partir de éstos se obtiene el de la distancia mínima ($y_{\min}$). (ver ecuaciones 4.115, 4.116 y 4.117).
- d) Se calcula el valor pico de la tensión inducida mediante la expresión (4.63) y se compara con la tensión máxima soportada por el aislamiento (ver expresión 4.118). Si no se excede la tensión máxima entonces se aumenta la corriente del rayo I_o , en caso contrario, se aumenta la distancia perpendicular, Y_o , entre el rayo y la línea en incrementos de 1m (partiendo del último valor obtenido de $y_{\min}$), y se vuelve a calcular la tensión inducida hasta que no se exceda la tensión máxima (la distancia perpendicular obtenida de esta manera será $y_{\max}$). Se produciría ruptura del aislamiento si el rayo impacta a tierra dentro del área limitada entre $y_{\max}$ e $y_{\min}$.
- e) Finalmente, la tasa de salida por 100 km de línea y año ($T_{\text{sal}_{\text{Rus}}}$) es obtenida de la suma de la contribución de todos los intervalos considerados (ecuación 4.119).

$$T_{\text{sal}_{\text{Rus}}} = \left(\frac{2 * N_g}{10} \right) * \sum_{i=1}^{200} (y_{\max}^i - y_{\min}^i) * P_i * \Delta I_o \quad [\text{fallas}/100 \text{ km-año}] \quad (4.119)$$

En la figura 4.17 se muestra el diagrama de flujo basado en el procedimiento anterior.

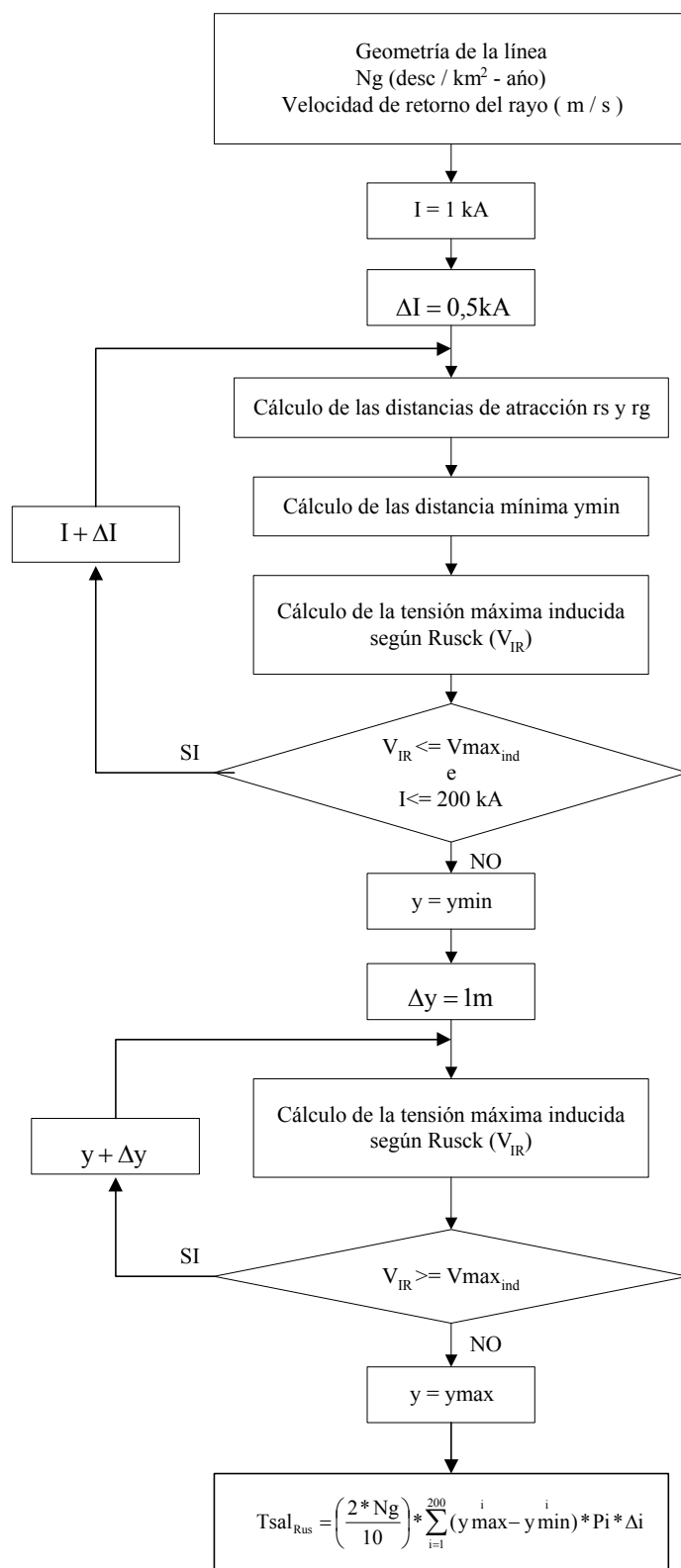


figura 4.17 Diagrama de flujo para el cálculo de la tasa de salida por el método de Rusck.

4.3.3.2 Metodología según Voislav o Chowdhuri [15,27]

Las metodologías para el cálculo de la tasa de salida esperada en la línea desarrolladas por Voislav y por Chowdhuri son semejantes, por lo cual, ambas serán descritas en conjunto y aquellas consideraciones particulares para cada evento serán aclaradas oportunamente.

El procedimiento planteado es el siguiente:

- a) Se fijan los parámetros de la descarga y se varía la corriente I_0 desde 1 kA hasta 200 kA, en incrementos de 0,5 kA. Para cada valor de corriente se varía el tiempo de frente, t_f , desde 0,5 μ s hasta 10,5 μ s, en incrementos de 0,5 μ s.
- b) Para cada valor de corriente I_0 se calculan los valores de las distancias de atracción r_s y r_g , y a partir de éstos se obtiene el de la distancia mínima (y_{min}). (ver ecuaciones 4.116, 4.117 y 4.118).
- c) Se calcula el valor pico de la tensión inducida a través de la expresión (4.68) (metodología de Voislav), o mediante la expresión (4.74) (metodología de Chowdhuri) según corresponda. Este valor se compara con la tensión máxima soportada por el aislamiento (ver expresión 4.119), y si no se excede la tensión máxima, se aumenta entonces la corriente del rayo I_0 , en caso contrario, se aumenta la distancia perpendicular, Y_0 , entre el rayo y la línea en incrementos de 1m (partiendo del último valor obtenido de y_{min}), y se vuelve a calcular la tensión inducida (de la misma manera que se expone en el paso a) hasta que no se exceda la tensión máxima (la distancia perpendicular obtenida de esta manera será y_{max}).
- f) Finalmente, la tasa de salida por 100 km de línea y año ($T_{sal_{V,C}}$) es obtenida de la suma de la contribución de todos los intervalos considerados (ecuación 4.121).

$$Tsal_{v,c} = \left(\frac{2 * Ng}{10} \right) * \sum_{t_f=0,5}^{10,5} \sum_{i=1}^{200} (y_{max}^i - y_{min}^i) * P(I_o, t_f) * \Delta I_o * \Delta t_f \quad (4.121)$$

En la ecuación (4.121), $P(I_o, t_f)$ representa la función de densidad de probabilidad conjunta, la cual debe modelarse mediante una distribución de tipo bivarita logarítmica [27] (ecuación 4.122), debido a que la amplitud y el tiempo de frente del rayo no son variables independientes.

$$P(I_o, t_f) = \frac{1}{2\pi(I_o \cdot t_f)(\sigma_{I_o} \cdot \sigma_{t_f})\sqrt{(1 - \rho^2)}} \cdot \text{Exp} \left[\frac{-0,5}{(1 - \rho^2)} \cdot (A^2 - 2\rho \cdot A \cdot B + B^2) \right] \quad (4.122)$$

$$A = \frac{\text{Ln}(I_o) - \text{Ln}(I_p)}{\sigma_{I_o}} \quad (4.123)$$

$$B = \frac{\text{Ln}(t_f) - \text{Ln}(T_{fp})}{\sigma_{t_f}} \quad (4.124)$$

Donde:

I_o y t_f : Amplitud (kA) y tiempo de frente (μs) de la descarga.

I_p y t_{fp} : Amplitud (kA) y tiempo de frente (μs) promedio de la descarga.

σ_{I_o} y σ_{t_f} : Desviación estándar del logaritmo (en base e) de la amplitud y el tiempo de frente.

ρ : Coeficiente de correlación amplitud-frente de frente.

Los parámetros de la función de densidad de probabilidad conjunta amplitud (descarga principal, polaridad negativa) – tiempo de frente (tiempo de frente equivalente calculado a partir del intervalo de tiempo comprendido entre el 30% y el 90% de la amplitud) son los siguientes [15,27]:

- Para $I_o \leq 20$ kA:
 - o Valor promedio de la corriente (I_p) = 61,1 kA.
 - o Desviación estándar del logaritmo (en base e) de I_o = 1,33.
 - o Valor promedio del tiempo de frente (t_{fp}) = 3,83 μ s.
 - o Desviación estándar del logaritmo (en base e) de t_f = 0,553.

- Para $I_o > 20$ kA:
 - o Valor promedio de la corriente (I_p) = 33,3 kA.
 - o Desviación estándar del logaritmo (en base e) de I_o = 0,605.
 - o Valor promedio del tiempo de frente (t_{fp}) = 3,83 μ s.
 - o Desviación estándar del logaritmo (en base e) de t_f = 0,553.

- Coeficiente de correlación (ρ) = 0,47.

En la figura 4.18 se muestra el diagrama de flujo basado en el procedimiento anterior.

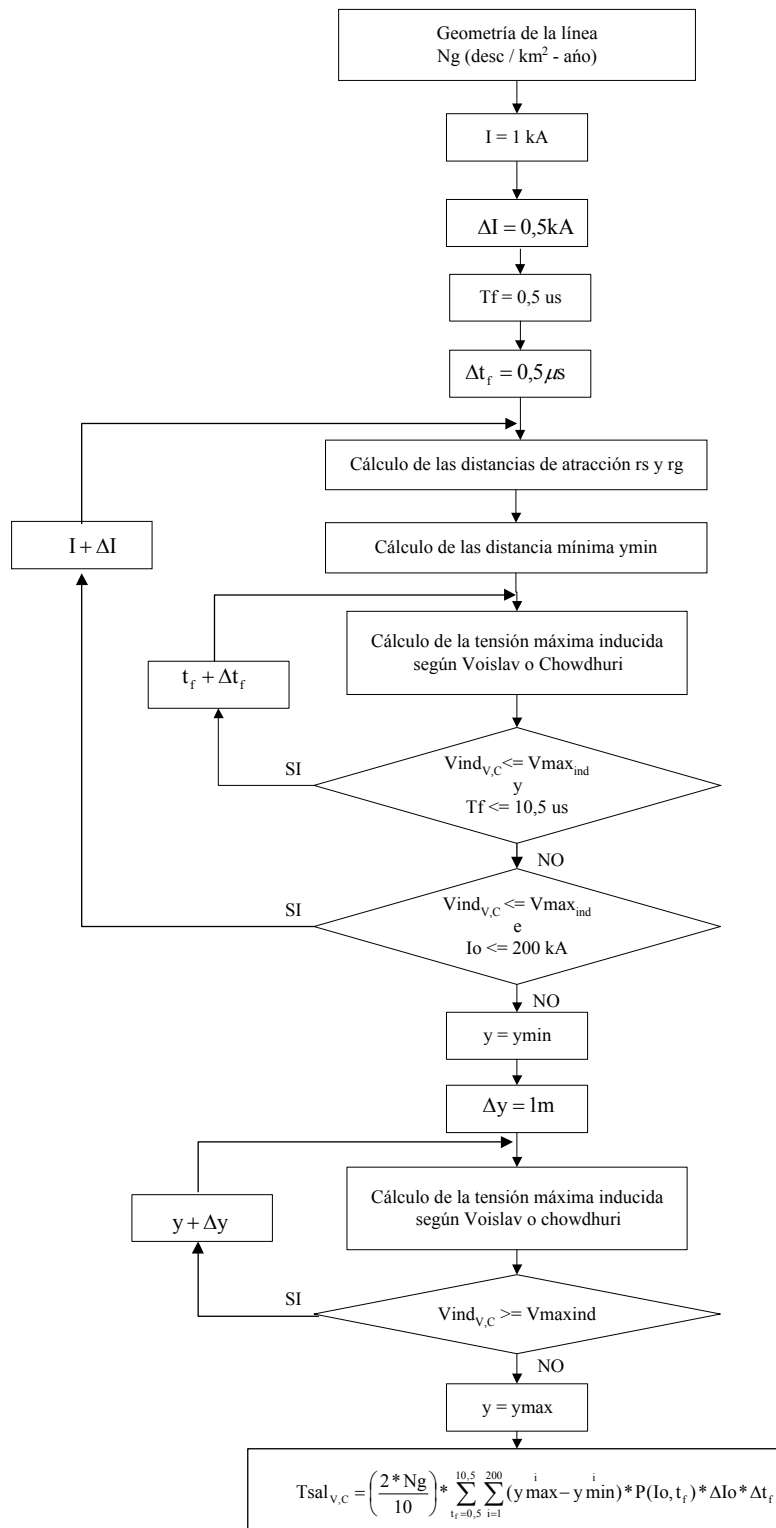


figura 4.18 Diagrama de flujo para el cálculo de la tasa de salida por el método de Voislav o Chowdhuri.

CAPÍTULO V

PROGRAMA PARA LA COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO EN LÍNEAS (PCAL)

5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

El Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas (PCAL) fue desarrollado en Visual Basic 6.0, un lenguaje de programación visual (también llamado lenguaje de 4ª generación) que permite realizar un gran número de tareas sin necesidad de escribir código, simplemente con operaciones gráficas realizadas con el ratón sobre la pantalla. Esta característica, aunado al hecho de que Visual Basic incluye todos los bloques constructivos fundamentales de un programa Windows [28], permitió que el proceso de programación fuese más simple, debido a que se invirtió la mayor parte del tiempo trabajando en las partes importantes del programa, y no en escribir una gran cantidad de líneas de código para mostrar solamente un panel de diálogo o un botón de opción entre otros. Debido a que el lenguaje de programación Visual Basic fue desarrollado por Microsoft, PCAL sólo puede ser instalado y ejecutado en computadores cuyo sistema operativo sea Windows (versiones superiores a las del 95), siendo requisito fundamental además, que dichos computadores tengan instalado Microsoft Office, específicamente Microsoft Excel.

Elaborar aplicaciones en Visual Basic tiene como principal ventaja, que debido a la sencillez con la cual pueden ser programados todos los elementos de interacción con el usuario de los que dispone Windows, se pueden crear interfaces de muy rápida asimilación por parte del usuario, lo cual se traduce en un mejor aprovechamiento por parte de éste de la herramienta desarrollada. Para el caso de PCAL la simplicidad se refleja en una única ventana de toma de datos (para los más de 50 datos requeridos para la correcta ejecución del programa), la cual consta de un fichero en cuyas pestañas se indican los tipos de datos a ser introducidos:

- Datos Ambientales.
- Datos del Sistema Eléctrico.
- Datos de los Conductores.
- Datos de las Estructuras.
- Datos de los aisladores.
- Datos para el Cálculo de la Tensión Inducida.

Este mismo formato de fichero, salvo los cambios pertinentes, se mantiene para la ventana donde se presentan los resultados. De igual manera, se ha tratado de hacer lo menos laborioso posible el trabajo que tiene el usuario de introducir todos los datos requeridos para realizar el cálculo de la coordinación del aislamiento, por lo cual, algunas casillas ya están cargadas al momento de abrirse el programa con un valor, el cual se considera como el más probable (de acuerdo con las bibliografías consultadas para cada caso); por supuesto, el usuario tiene la posibilidad en todo momento de modificar dichos valores.

Aún cuando Visual Basic no es un lenguaje lo suficientemente potente para crear aplicaciones matemáticas (ya que no cuenta con herramientas para realizar gráficos de mediana complejidad, y algunas funciones matemáticas como el Logaritmo Neperiano, y las funciones trigonométricas entre otras, no están disponibles); permite crear archivos con las funciones matemáticas que se necesiten, a partir de las funciones básicas que posee, y emplear otros programas como Excel para realizar los gráficos que se deban mostrar en el programa realizado.

Para instalar PCAL, sólo se debe hacer doble click en el icono SETUP que se encuentra en el CD de instalación, y seguir las instrucciones.

5.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA BARRA DE MENÚ DE PCAL

En la parte superior de la pantalla PCAL posee una barra de menú que le permite al usuario acceder a la Ayuda, a la impresión, entre otros. (ver figura 5.1).



Figura 5.1. Vista en detalle de la barra de menú de PCAL

Al desplegar el menú ARCHIVO, el usuario tendrá la posibilidad de IMPRIMIR la Ficha de datos actual (si se encuentra en la ventana de fichas de datos), o la Ficha de resultados actual (si se encuentra en la ventana de resultados), al igual que SALIR del programa (ver figura 5.2).



Figura 5.2. Vista en detalle del menú Archivo de PCAL

Cabe señalar, que una vez que se hace click en el menú imprimir Ficha de datos actual, o Ficha de resultados actual (según corresponda), PCAL mandará la orden a la impresora que se tenga instalada para que se imprima la ventana tal como aparece en la pantalla del monitor, por lo cual se recomienda que antes de imprimir se cambie la configuración de la impresora para que sólo imprima en blanco y negro.

El menú OPCIONES le permite al usuario escoger entre realizar el cálculo completo del aislamiento (marcada por defecto), o sólo calcular las sobretensiones inducidas en la línea producto de una descarga atmosférica en las cercanías de ésta (ver figura 5.3).



Figura 5.3. Vista en detalle del menú Opciones (Cálculo del aislamiento) de PCAL

Si el usuario decide calcular solamente las sobretensiones inducidas, las fichas de datos ambientales, datos del sistema, datos de los conductores, datos de las estructuras y datos de los aisladores no estarán disponibles.



Figura 5.4. Vista en detalle del menú Opciones (Cálculo de sobretensiones inducidas únicamente) de PCAL

En el menú AYUDA el usuario accede al contenido de la ayuda o a una ventana de información sobre el programa (Acerca de PCAL) (ver figura 5.5).



Figura 5.5. Vista en detalle del menú Ayuda de PCAL

En la figura 5.6 se muestra la ventana del menú Contenido, en la cual se incluyen las preguntas que podrían ser las más frecuentes entre los usuarios de PCAL.

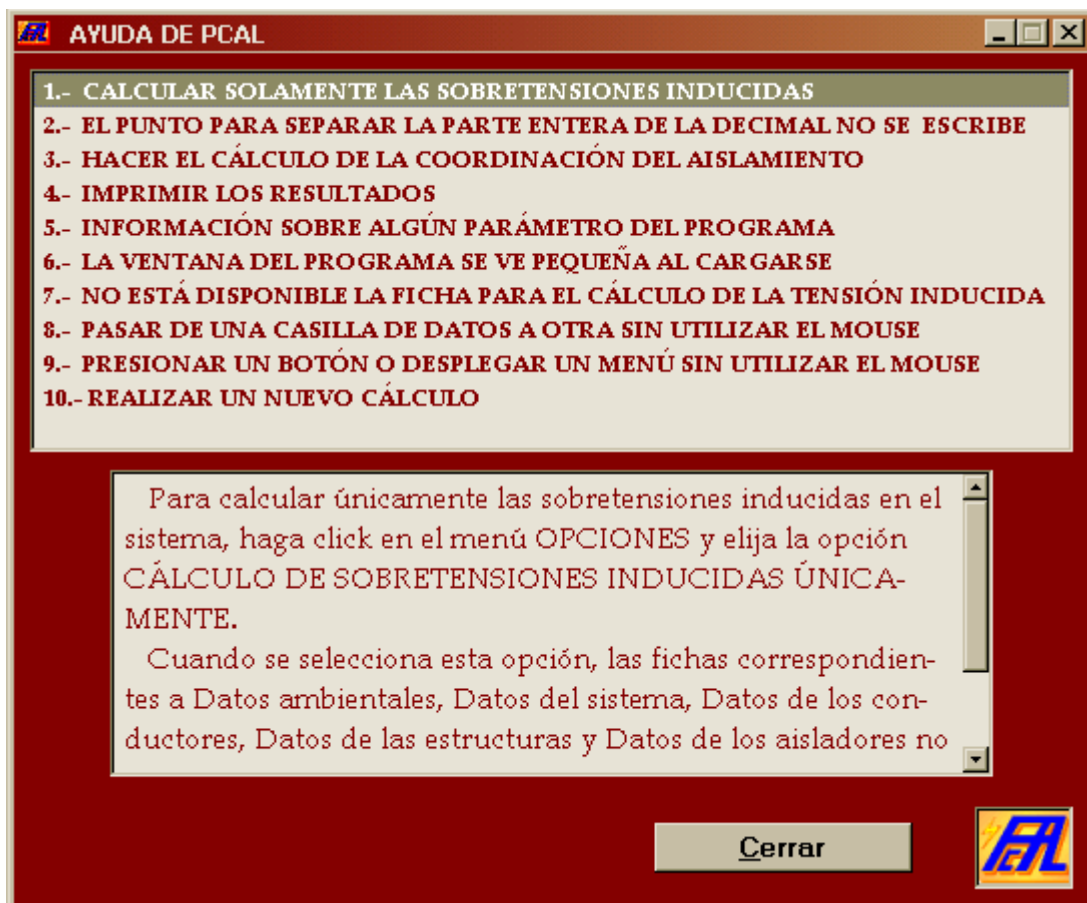


Figura 5.6. Ventana del menú Contenido de PCAL.

5.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ PARA LA TOMA DE DATOS

PCAL dispone de un fichero, con un total de 6 fichas para la recolección de todos los datos necesarios para la ejecución del programa. A continuación, se presenta una descripción detallada de cada una de las casillas de datos presentes en cada una de las fichas.

a) Ficha de Datos Ambientales

En la figura 5.7 se muestra la ficha donde se deben introducir los datos ambientales del caso en estudio:

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Fichas de Datos]:

Archivo Opciones Ayuda

Datos de la Estructura:	Datos de los Aisladores:	Datos para el cálculo de la tensión inducida:															
Datos Ambientales:																	
Temperatura a bulbo seco: °C	Nivel cerámico de la región:	Días de tormenta al año:															
Velocidad del viento:	Altitud de la línea (s.n.m.): m																
☒ 5 min km/h ☐ 5 seg	Nivel de contaminación de la región:																
Altura a la cual fue medida la velocidad del viento: m	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Contaminación mg/cm²</th> <th>Long. Aislación/kV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>☒ Despreciable</td> <td>0 - 0,03</td> <td> 1,25</td> </tr> <tr> <td>☐ Ligera</td> <td>0,04 - 0,05</td> <td> 2,85</td> </tr> <tr> <td>☐ Alta</td> <td>0,07 - 0,1</td> <td> 4,15</td> </tr> <tr> <td>☐ Muy alta</td> <td>0,2 - 0,5</td> <td> 5,7</td> </tr> </tbody> </table>		Contaminación mg/cm ²	Long. Aislación/kV	☒ Despreciable	0 - 0,03	1,25	☐ Ligera	0,04 - 0,05	2,85	☐ Alta	0,07 - 0,1	4,15	☐ Muy alta	0,2 - 0,5	5,7	
	Contaminación mg/cm ²	Long. Aislación/kV															
☒ Despreciable	0 - 0,03	1,25															
☐ Ligera	0,04 - 0,05	2,85															
☐ Alta	0,07 - 0,1	4,15															
☐ Muy alta	0,2 - 0,5	5,7															
Tasa de precipitación: mm/min	Resistividad del terreno: Ohm *m																
Resistividad del agua de lluvia: kOhm *cm																	
Humedad relativa del aire: %																	
Calcular Salir 																	

Figura 5.7. Interfaz de PCAL para la introducción de los datos ambientales.

Como se observa en la figura 5.7, los datos ambientales requeridos son:

Temperatura a bulbo seco: Se refiere a la temperatura ambiental y se mide normalmente con termómetro de mercurio o alcohol, manteniendo el bulbo del termómetro directamente al aire. El rango permitido en PCAL para la temperatura a bulbo seco corresponde a [29]:

Temperatura más baja registrada : - 89 °C (en la Antártida).

Temperatura más alta registrada : 58 °C (en Libia).

Velocidad del viento: Este parámetro se obtiene a partir del tratamiento estadístico de mediciones meteorológicas. Los equipos de las estaciones meteorológicas reflejan la velocidad de viento de 5 segundos de duración, medidos a una altura del suelo de 10 metros, para períodos de retorno o recurrencia desde 50

hasta 200 años [5]. Sin embargo, si el valor de velocidad de viento del que dispone corresponde al de 5 minutos de duración, escoja la opción 5 min.

La altura a la cual fue medida la velocidad del viento es necesaria para corregir el valor de velocidad por el efecto de la altura.

El rango permitido en PCAL para la velocidad del viento corresponde a [29]:

Valor mínimo : 0 km/h.

Valor máximo medido : 320 km/h (en la Antártida).

Tasa de precipitación: Equivale al volumen de un litro de agua de lluvia o llovizna caída en 1 m² de superficie durante 1 minuto. El rango permitido en PCAL para la tasa de precipitación es [29]:

Valor mínimo : 0 mm/min.

Valor máximo: 50 mm/min.

Resistividad del agua de lluvia: Es la medida de la resistencia específica del flujo de la electricidad en el agua de lluvia; es una medida exacta de la pureza iónica. El agua Absolutamente pura tiene un valor teórico máximo de 18.3 MΩ-cm a 25 °C.

El rango permitido en PCAL para la resistividad del agua de lluvia es [30]:

Valor mínimo : 0,1 kΩ-cm.

Valor máximo: 18300 kΩ-cm.

Humedad relativa del aire: Se refiere a la proporción entre la humedad absoluta y la humedad máxima que se necesita para saturar el aire.

El rango permitido en PCAL para la humedad relativa del aire es [31]:

Valor mínimo: 0 %

Valor máximo: 100 %

Nivel cerámico de la región: Se refiere al número de días al año en los que, al menos, es oído un trueno. En algunas zonas del planeta el nivel cerámico puede llegar hasta 300. PCAL tiene incorporado un mapa cerámico de Venezuela (que abarca los años 1998 al 2002), realizado por la F.A.V.(ver anexo D). El usuario de PCAL accede a este mapa mediante un menú que se despliega al hacer clic con el botón derecho del ratón sobre Nivel cerámico de la región.

El rango permitido en PCAL para el nivel cerámico de la región es [32]:

Valor mínimo: 0 Días de tormentas al año.

Valor máximo: 300 Días de tormentas al año.

Altitud de la línea sobre el nivel del mar: Se refiere a la altura de un punto geográfico medido desde el nivel del mar.

El rango permitido en PCAL para la altitud de la línea corresponde a [29]:

Altitud mínima medida: - 408 m (en el Mar Muerto).

Altitud máxima medida: 8848 m (en el Monte Everest).

Nivel de contaminación de la región: Los niveles de contaminación se especifican de acuerdo a la ubicación geográfica de las líneas en términos de densidad equivalente de depósito de sal (DEDS), el cual se mide en mg/cm^2 .

Los valores de contaminación suministrados en PCAL, corresponden con la clasificación dada por EPRI [9] para el diseño de líneas eléctricas.

Resistividad del terreno: La resistividad del terreno es determinada principalmente por el contenido de electrolitos presentes en éste, el cual consiste de humedad, minerales y sales disueltas. Un terreno seco tiene un alto valor de resistividad si no contiene sales solubles. El método más utilizado por los electricistas para realizar la medición de la resistividad del terreno es el de Wenner, el cual consiste en disponer 4 electrodos en línea recta y equidistantes una distancia a , simétricamente respecto al punto en el que se desea medir la resistividad del suelo. El equipo de medida es un telurómetro de cuatro terminales, los electrodos externos son los de inyección de la corriente y los centrales los encargados de medir la caída de potencial.

El rango permitido en PCAL para la resistividad del terreno corresponde a [31]:

Valor mínimo: $10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$.

Valor máximo: $10^8 \Omega \cdot \text{m}$ (resistividad de las rocas).

b) Ficha de Datos del sistema eléctrico

En la figura 5.8 se muestra la ficha donde se deben introducir los datos del sistema del caso en estudio:

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Fichas de Datos:]

Archivo Opciones Ayuda

Datos de la Estructura: **Datos de los Aisladores:** **Datos para el cálculo de la tensión inducida:**

Datos Ambientales: **Datos del Sistema Eléctrico:** **Datos de los conductores:**

Tensión del sistema (línea a línea): kV

Factor de máxima tensión permitida en operación normal: p.u.

Tensión máxima: kV

☐ Usar valores normalizado por la IEC

Incremento de tensión en caso de fallas:

☒ Sólidamente aterrado (1,4 p.u.)

☐ Aislado (1,73 p.u.)

☐ Otra condición: Kf: p.u.

Desviación estándar del aislamiento a frecuencia industrial:

Número de desviaciones estándar: 3

Factor de seguridad para el cálculo del aislamiento en ambiente contaminado:

Desviación estándar del aislamiento ante sobretensiones de maniobra:

Sobretensión de maniobra: p.u.

Relación tensión de impulso/sobretensión de maniobra:

☐ Realizar el cálculo de las tensiones inducidas

Calcular Salir

Figura 5. 8. Interfaz de PCAL para la introducción de los datos del sistema eléctrico.

Como se observa en la figura 5.8, los datos del sistema requeridos son:

Tensión del sistema: Es la tensión fase a fase, en valor rms, y a frecuencia industrial de un sistema eléctrico [2].

Factor de máxima tensión permitida en operación normal: Es el más alto voltaje del sistema en p.u. que puede ocurrir bajo condiciones normales de operación en cualquier tiempo y punto del sistema [2].

El rango permitido en PCAL para el factor de máxima tensión es:

Valor mínimo : 1

Valor máximo: 1,5

Incremento de la tensión en caso de fallas: Es el valor del incremento de la tensión en las fases sanas durante una falla monofásica o bifásica a tierra [2]. En caso de que escoja la opción OTRA CONDICIÓN, el rango permitido en PCAL para el incremento de tensión en caso de fallas es:

Valor mínimo : 1

Valor máximo: 2

Desviación estándar del aislamiento a frecuencia industrial: Este valor está normalizado con respecto al voltaje crítico disruptivo ante sobretensiones a frecuencia industrial, y es únicamente experimental [2].

Número de desviaciones estándar: Número de desviaciones estándar por debajo de la media del aislamiento, a que se encuentra la sobretensión máxima [2].

El rango permitido en PCAL para el número de desviaciones estándar es:

Valor mínimo : 1

Valor máximo: 3

Factor de seguridad para el cálculo del aislamiento en ambiente contaminado: El valor de este factor depende del margen de seguridad deseado para el proyecto [2, 5].

El rango permitido en PCAL para el factor de seguridad es:

Valor mínimo : 1

Valor máximo: 2

Desviación estándar del aislamiento ante sobretensiones de maniobra: Este valor está normalizado con respecto al voltaje crítico disruptivo, y es únicamente experimental [2].

Sobretensión de maniobra: Valor máximo de sobretensión de maniobra en p.u. que se puede presentar en el sistema [2].

El rango permitido en PCAL para el factor de sobretensión de maniobra es:

Valor mínimo : 1

Valor máximo: 3

Relación tensión de impulso/sobretensión de maniobra: Este factor viene dado por el sistema, y el tipo de tensión de impulso a usar para la escogencia de los aisladores [2, 5]. El rango permitido en PCAL para la relación tensión de impulso/sobretensión de maniobra es:

Valor mínimo : 1

Valor máximo: 2

El botón de selección REALIZAR EL CÁLCULO DE LAS SOBRETENSIONES INDUCIDAS sólo estará disponible cuando la tensión del sistema sea menor o igual a 69 kV (en cuyo caso también estará disponible la ficha de DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA TENSIÓN INDUCIDA).

c) *Ficha de Datos de los conductores*

En la figura 5.9 se muestra la ficha donde el usuario debe introducir los datos de los conductores del caso en estudio:

Figura 5.9. Interfaz de PCAL para la introducción de los datos de los conductores.

Como se observa en la figura 5.9, los datos de los conductores requeridos son:
Número de cables de guarda.

Altura del conductor : Distancia medida en metros desde el nivel del suelo hasta el conductor (en la estructura de soporte). En la figura que se muestra en el programa, se resalta en rojo éste parámetro cuando el cursor está dentro de esta casilla.

Altura del cable de guarda: Distancia medida en metros desde el nivel del suelo hasta el cable de guarda (en la estructura de soporte). Debe tenerse en cuenta que esta distancia no puede ser menor a la altura del conductor suministrada, ya que de lo contrario, PCAL arrojará un mensaje de error para que modifique alguno de los dos valores. En la figura que se muestra en el programa, se resalta en rojo éste parámetro cuando el cursor está dentro de esta casilla.

Separación entre los cables de guarda: Esta casilla sólo está disponible cuando se escoge la opción 2 en número de cables de guarda, permaneciendo para los otros casos con un color atenuado.

Separación entre el cable de guarda y la fase: En la figura que se muestra en el programa, se resalta en rojo éste parámetro cuando el cursor está dentro de esta casilla.

Separación horizontal entre el conductor y el cable de guarda: En la figura que se muestra en el programa, se resalta en rojo éste parámetro cuando el cursor está dentro de esta casilla.

Separación horizontal entre los conductores más elevados: Esta casilla sólo está disponible cuando el número de cables de guarda es cero (0) ,permaneciendo para los otros casos con un color atenuado.

Vano real: Es la distancia de separación entre 2 apoyos consecutivos. Al hacer click en el menú desplegable ¿Qué es esto? del vano real, se accede a la ventana de ayuda de PCAL donde se detalla en el significado de este parámetro.

Vano medio: Es al semisuma de dos (2) vanos reales consecutivos. Al hacer click en el menú desplegable ¿Qué es esto? del vano medio, se accede a la ventana de ayuda de PCAL donde se detalla en el significado de este parámetro.

Vano gravante: Es la distancia horizontal entre dos (2) vientres de la catenaria para dos (2) vanos consecutivos. Al hacer click en el menú desplegable ¿Qué es esto? del vano gravante, se accede a la ventana de ayuda de PCAL donde se detalla en el significado de este parámetro.

Del conductor de fase y cable de guarda se pide información sobre:

Radio en cm.

Peso unitario en kg/m.

Tensión en kg.

d) Ficha de Datos de la estructura de soporte

En la figura 4.10 se muestra la ficha donde el usuario debe introducir los datos de la estructura de soporte del caso en estudio.

Figura 5.10. Interfaz de PCAL para la introducción de los datos de la estructura de soporte.

Para el caso de los datos de las estructuras de soporte, el usuario puede escoger una entre las cuatro configuraciones mostradas (A, B, C ó D), y suministrar

los valores correspondientes a las dimensiones de la estructura escogida. Si escoge la opción OTRA, debe suministrar el valor de la impedancia de la estructura (que para los otros casos es calculada por el programa).

Los datos de la estructura requeridos son:

Altura (ht): Distancia medida en metros desde el nivel del suelo hasta el punto más alto de la estructura. En la figura que se muestra en esta ficha, se resalta en rojo éste parámetro para el tipo de estructura escogida (A), (B), (C) o (D), cuando el cursor está dentro de esta casilla. Cabe señalar que la altura de la torre no puede ser menor a la altura del cable de guarda suministrada, ya que de lo contrario PCAL mostrará un mensaje de error para que cambie alguno de los dos valores.

Ancho (Dt): La casilla de ancho (Dt) sólo está disponible cuando se escoge la opción (A), (B), (C) o (D) en tipo de estructura. Esta distancia corresponde con la resaltada en rojo en la figura que se muestra en esta ficha. (Para que se vea este efecto de resalte, el cursor debe estar dentro de la casilla de Ancho (Dt).)

Distancia b: Esta casilla sólo está disponible cuando el tipo de estructura de soporte escogida es la (B), e indica la distancia de separación entre los dos postes de soporte. Si la opción (B) está marcada y el cursor está dentro de la casilla b, esta distancia debe verse resaltada en rojo en la figura que se muestra en la ficha..

Impedancia de la estructura: Esta casilla sólo está disponible cuando se escoge la opción OTRA (en tipo de estructura), permaneciendo para los otros casos con un color atenuado. Como se mencionó anteriormente, para los casos (A), (B), (C) o (D), PCAL realiza automáticamente el cálculo de esta impedancia.

Resistencia de puesta a tierra a baja frecuencia: Es el valor de la resistencia de puesta a tierra de la estructura medida a baja frecuencia.

Por defecto PCAL asume que la estructura es metálica, si no es así, marque la opción ESTRUCTURA DE CONCRETO, MADERA U OTRO MATERIAL en los botones de opciones que se muestran en la parte inferior de la ficha de Datos de la estructura.

e) Ficha de Datos de los aisladores

En la figura 5.11 se muestra la ficha donde se debe escoger el tipo de aislador para el caso en estudio. PCAL dispone de una base de datos con 34 tipos de aisladores de la empresa NGK INSULATORS, clasificados en 3 tipos:

- Clevis.
- Cuenca y bola.
- Fog.

A los cuales el usuario tiene acceso a través del cuadro de opciones TIPO DE AISLADORES DE SUSPENSIÓN.

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Fichas de Datos:]

Archivo Opciones Ayuda

Datos Ambientales:

Datos del Sistema Eléctrico:

Datos de los conductores:

Datos de la Estructura:

Datos de los Aisladores:

Datos para el cálculo de la tensión inducida:

Fabricante:

☒ NGK Insulators

Tipo de aislador de suspensión:

☒ Clevis

☐ Cuenca y bola

☐ Fog

N° de Catálogo:

CA-15923A

CA-565A

CA-515A

CA-501Q

Especificaciones según estándar: ANSI C29.2

Diámetro del disco: 153 mm

Altura: 140 mm

Distancia de fuga: 178 mm

VALORES MECÁNICOS:

Resistencia electromecánica: 44 kN

Resistencia al impacto: 5 N-m

Prueba de carga de rutina: 22 kN

Prueba de carga sostenida: 27 kN

Nota: Un valor " 0 " en un recuadro indica que el fabricante no reporta este dato.

Dibujo de referencia

Calcular Salir

Figura 5.11. Interfaz de PCAL para la introducción de los datos de los aisladores.

Para desplazarse por los diferentes registros que se muestran en la lista de N° DE CATÁLOGO, deberá hacerlo mediante los botones de mando ubicados debajo de dicha lista, ya que NO se tiene acceso directo sobre ésta. Dichos botones indican:

-  Primer registro
-  Registro anterior.
-  Registro siguiente.
-  Último registro.

Los datos de los aisladores que ofrece programa PCAL, corresponden a los suministrados por las empresas NGK Insulators [35] en su respectivo catálogo del producto.

f) Ficha de Datos para el cálculo de la tensión inducida

La ficha de datos para el cálculo de la tensión inducida no está disponible en los siguientes casos:

- No se ha escogido un valor en la lista de Tensión del sistema.
- La tensión del sistema es mayor o igual a 115 kV.
- La tensión del sistema es menor o igual a 69 kV pero el botón de selección REALIZAR EL CÁLCULO DE LAS SOBRETENSIONES INDUCIDAS (ubicado en la parte inferior derecha de la ficha de Datos del sistema eléctrico) no está seleccionada.

En la figura 5.12 se muestra la ficha donde se deben introducir los datos para el cálculo de la tensión inducida.

Tal como se explicó en la sección correspondiente a la descripción de la barra de menú de PCAL, si la opción CÁLCULO DE LA TENSION INDUCIDA ÚNICAMENTE del menú OPCIONES esta marcada, sólo se mostrará la ficha de datos para el cálculo de la tensión inducida, incluyéndose en dicha ficha (debajo de la casilla Altura de la nube), una casilla donde el usuario debe suministrar la altura del conductor de fase, necesaria para este tipo de cálculos (ver figura 5.13).

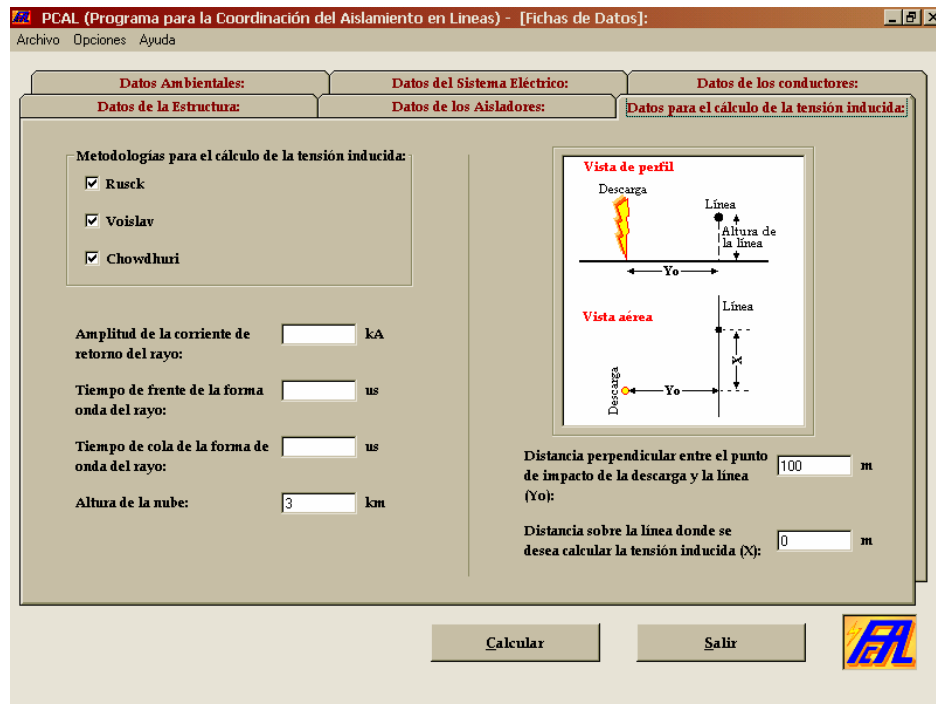


Figura 5.12. Interfaz de PCAL para la introducción de los datos para el cálculo de la tensión inducida.

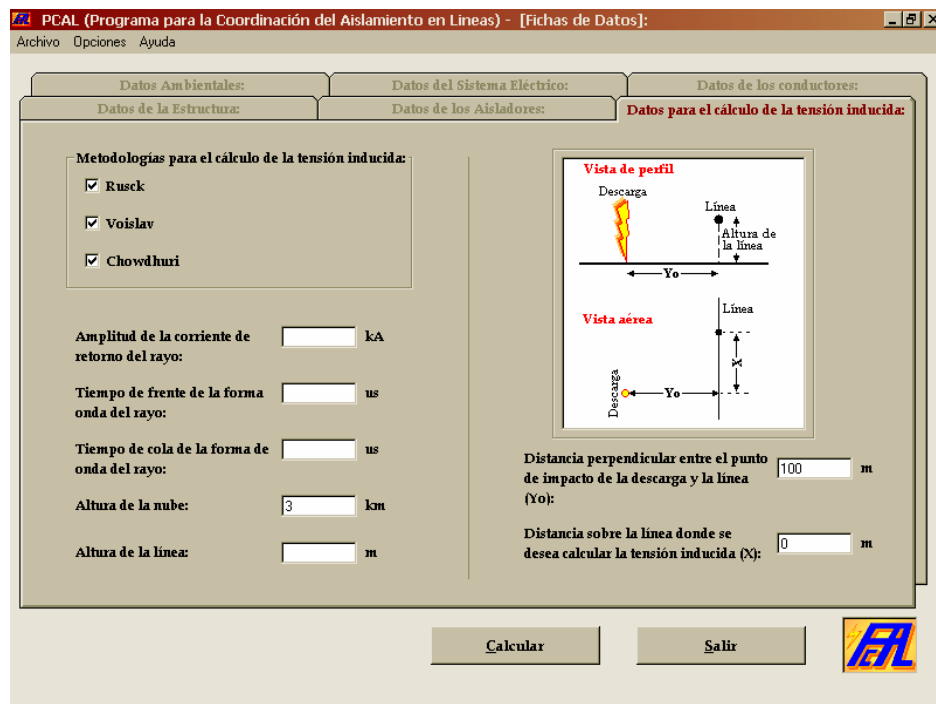


Figura 5.13. Interfaz de PCAL para la introducción de los datos para el cálculo de la tensión inducida cuando se ha seleccionado CÁLCULO DE LA TENSIÓN INDUCIDA ÚNICAMENTE en el menú OPCIONES.

Por defecto PCAL tiene marcadas las casillas para el cálculo de la tensión inducida por los métodos de Rusck, Voislav y Chowdhuri, pero el usuario puede escoger entre calcular por un método o por todos (NO se permite que ninguna casilla esté marcada)

Los datos para el cálculo de la tensión inducida requeridos son:

Amplitud de la corriente de retorno del rayo.

Velocidad de retorno del rayo.

Tiempo de cola de la forma de onda del rayo.

Altura de la nube (casilla cargada con el valor de 3 km).

Altura de la línea (para el caso que aplica de acuerdo a lo explicado anteriormente).

Distancia perpendicular entre el punto de impacto de la descarga y la línea (casilla cargada con el valor de 100 m).

Punto sobre la línea donde se desea calcular la tensión inducida (casilla cargada con el valor de 0 m).

Si se llenan los datos de las casillas de esta ficha, y luego se escoge un valor de tensión mayor a 69 kV, estos datos no serán tomados en cuenta, pero NO se podrá tener acceso a estos para cambiarlos o ver su contenido (ya que la ficha completa queda bloqueada). Por esta razón, se recomienda llenar las fichas de datos en el orden en el que aparecen al comenzar a utilizar el programa, es decir, empezando por los datos ambientales, para que no suministre datos innecesarios.

5.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ DE RESULTADOS

En la figura 5.14 se muestra la ventana de resultados de PCAL. Esta consta de dos fichas, una para los resultados correspondientes a la coordinación del aislamiento (sobretensiones a frecuencia industrial, maniobra y atmosféricas), y otra para los resultados de las tensiones inducidas.

Si la tensión del sistema es mayor a 115 kV, sólo está disponible para ser vista la ficha de resultados de la Coordinación del aislamiento (tal como se observa en la figura 5.14).

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Resultados]:

Archivo Ayuda Cerrar Ventana

Coordinación del Aislamiento	Sobretensiones Inducidas
Aislamiento a Frecuencia Industrial: <u>Sin contaminación:</u> Condición seca: Vfis: kV Nafis: Aisladores Condición húmeda: Vfih: kV Nafih: Aisladores <u>Con contaminación:</u> Nafic: Aisladores Distancia mínima: m	Aislamiento ante Sobretensiones de Maniobra: <u>Sin contaminación:</u> Vsm: kV <u>Con contaminación:</u> Nasmc: Aisladores Distancia mínima: m Aislamiento ante Sobretensiones Atmosféricas: Vsa: kV
Tasa de salida debido a Sobretensiones Atmosféricas directas: <u>Circuito con cable de guarda:</u> Tasa de salida debido a fallas de apantallamiento: Salidas 100 km-año Tasa de salida debido a descargas retroactivas (Back Flash Over): Salidas 100 km-año <u>Circuito sin cable de guarda:</u> Tasa de salida esperada: Salidas 100 km-año	

EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES N° CA-15923A (TIPO CLEVIS) DE NGK INSULATORS, PARA LA CADENA DE SUSPENSIÓN ES DE 0 UNIDADES.

Cerrar

Figura 5.14 Interfaz de PCAL para mostrar los resultados de la coordinación del aislamiento.

En la figura 5.14 puede notarse que en la parte inferior de la ficha se muestra un mensaje donde se indica el número mínimo de aisladores del tipo escogido por el usuario. Si la tensión del sistema es menor o igual a 69 kV y se ha escogido la opción CÁLCULO DEL AISLAMIENTO en el menú opciones, la ventana de resultados tendrá disponible también la ficha correspondiente a SOBRETENSIONES INDUCIDAS. Ésta última, consta de tres fichas, en cada una de las cuales se muestran los resultados correspondientes al método escogido en la ficha de DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA TENSIÓN INDUCIDA (Rusck, Voislav o Chowdhuri) (ver figuras 5.15, 5.16 y 5.17).

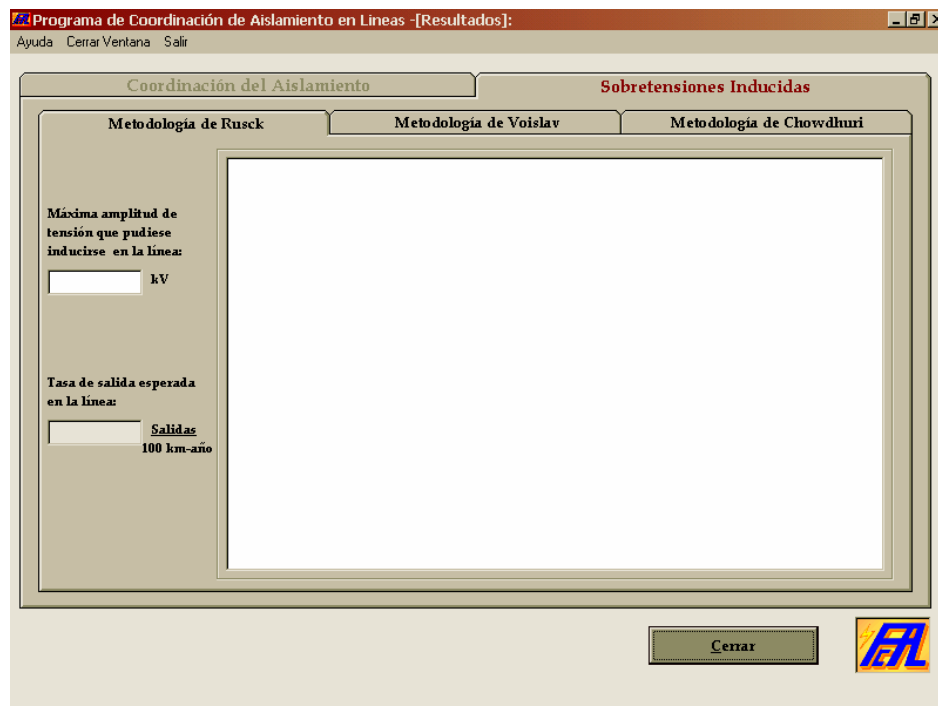


Figura 5.15 Interfaz de PCAL que muestra los resultados obtenidos al efectuar el cálculo de la tensión inducida en la línea según Rusck.

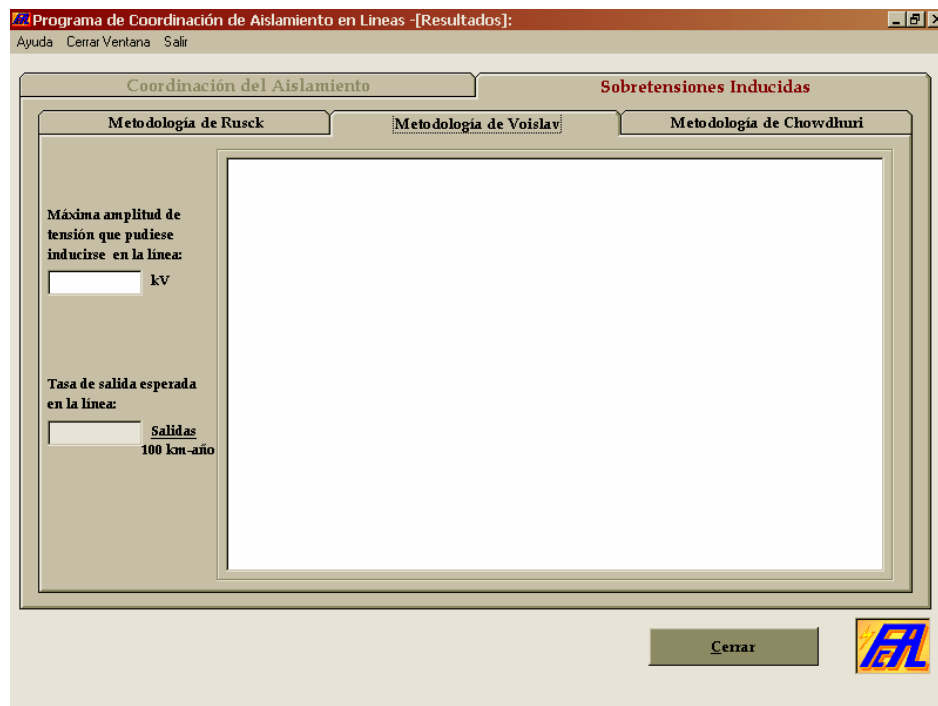


Figura 5.16 Interfaz de PCAL que muestra los resultados obtenidos al efectuar el cálculo de la tensión inducida en la línea según Voislav.

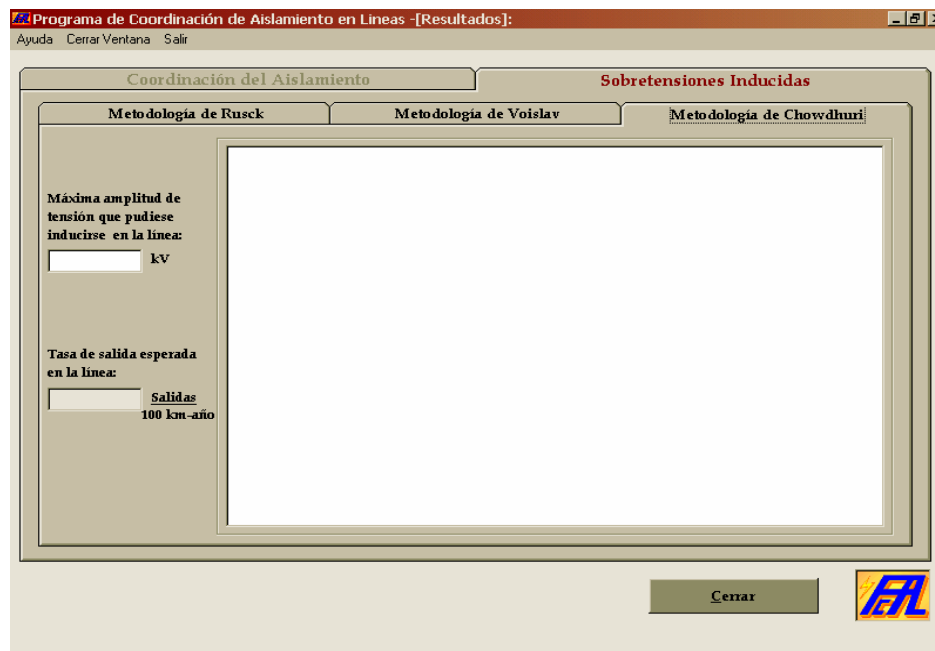


Figura 5.17 Interfaz de PCAL que muestra los resultados obtenidos al efectuar el cálculo de la tensión inducida en la línea según Chowdhuri.

Para que se muestren las tres (3) fichas de resultados de las sobretensiones inducidas, las opciones Rusck, Voislav y Chowdhuri deben estar marcadas; en caso contrario, la ficha correspondiente al método no escogido, no estará disponible. Las casillas que se muestran en las ventanas de las figuras 5.16, 5.17 y 5.18 corresponden, una a la máxima amplitud de la tensión que pudiese inducirse en la línea, otra a la tasa de salida esperada, y la más grande, a un gráfico de la tensión inducida en función del tiempo.

Es importante señalar que los gráficos que se muestran en esta ventana son elaborados por PCAL en EXCEL (allí la necesidad de tener instalado Microsoft Excel en el computador donde se desee utilizar PCAL), por lo cual, el tiempo de espera para obtener los resultados puede ser un poco largo (entre 1 y 2 minutos,[♦] dependiendo de los métodos escogidos para el cálculo de la tensión inducida y del computador utilizado). Este tiempo es necesario para que PCAL exporte a EXCEL los datos calculados, éste realice el gráfico y luego se importe dicho gráfico a la ventana de resultados de PCAL.

[♦] Tiempo medido durante la ejecución de PCAL en un computador Pentium II, 300 MHz

Si se escoge la opción CÁLCULO DE LA TENSION INDUCIDA ÚNICAMENTE, en el menú OPCIONES, la ventana de resultados no mostrará disponible la ficha de Coordinación del Aislamiento, y dependiendo del método para el cálculo de la tensión inducida que se haya escogido, estarán disponibles o no las fichas contenidas en ésta. De igual manera, las casillas correspondientes al cálculo de la tasa de salida esperada en la línea estarán vacías, ya que estos cálculos forman parte de la coordinación del aislamiento y no del cálculo de la tensión inducida.

Para realizar un nuevo cálculo cierre la ventana de resultados (haciendo click en el botón CERRAR o en el menú CERRAR VENTANA) y modifique los valores que considere necesario; luego haga click en el botón CALCULAR.

5.2 Validación de los resultados obtenidos por el Programa para el Cálculo del Aislamiento en Líneas (PCAL)

La validación de los resultados que se obtienen al emplear PCAL, fue realizada tomando casos diferentes tanto para la verificación del código encargado de la coordinación del aislamiento, como del código que realiza el cálculo de las sobretensiones inducidas en el circuito.

Para la verificación del cálculo de la coordinación del aislamiento, se simuló el caso correspondiente a una línea de transmisión a 115 kV doble terna, cuyo estudio fue realizado anteriormente por Perdomo C. [8], y del cual se disponía de los datos y resultados necesarios tanto para la correcta ejecución de PCAL, como para la verificación del código implementado. Adicionalmente, en el Anexo F.1 se muestran los resultados de simular en PCAL 8 casos diferentes, los cuales abarcan los niveles de tensión nominal: 13,8 kV; 34,5 kV; 69 kV y 230 kV; tanto para ambiente poco contaminado, como para ambiente muy contaminado; cuyos datos fueron recolectados por el autor a partir de especificaciones tomadas de la bibliografías a las cuales se hace referencia en cada caso.

La verificación del código que determina las tensiones inducidas en la línea y la tasa de salida debido a este fenómeno, se realizó simulando en PCAL casos tomados de los artículos publicados por la IEEE [23, 24, 27], en los cuales se

especifican los valores de los parámetros necesarios en éste tipo de cálculos, y los resultados que deben obtenerse al emplear los diferentes modelos matemáticos que describen el comportamiento de las líneas eléctricas antes sobretensiones generadas por inducción electromagnética.

Es importante señalar que PCAL no realiza el cálculo de la tasa de salida esperada en la línea por sobretensiones inducidas, si no se efectúa el cálculo completo de la coordinación del aislamiento, tal como se describe en el punto f de la sección 5.1.2; sin embargo, se planteó de esta manera con el único fin de verificar el código implementado en el programa de cálculo realizado.

a) *Primer caso*

El primer caso corresponde al proyecto línea de transmisión a 115kV doble terna, S/E Barinas I - S/E Socopó, realizado por Perdomo, C. [8]. Los datos correspondientes a este caso se muestran en el anexo F.2, y los resultados obtenidos de simular dicho caso en PCAL son mostrados en la figura 5.18. Adicionalmente, en la tabla 5.1 se comparan estos resultados con los reportados en la referencia [8].

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Resultados:]

Archivo Ayuda Cerrar Ventana

Coordinación del Aislamiento		Sobretensiones Inducidas	
Aislamiento a Frecuencia Industrial: Sin contaminación: Condición seca: Vfis: 133,7179 kV Nafis: 2 Aisladores Condición húmeda: Vfilh: 156,1044 kV Nafih: 5 Aisladores Con contaminación: Nafic: 4 Aisladores Distancia mínima: 0,234006 m		Aislamiento ante Sobretensiones de Maniobra: Sin contaminación: Vsm: 245,6403 kV Con contaminación: Nasmc: 9 Aisladores Distancia mínima: 0,596531 m Aislamiento ante Sobretensiones Atmosféricas: Vsa: 698,6968 kV	
		Tasa de salida debido a Sobretensiones Atmosféricas directas: Circuito con cable de guarda: Tasa de salida debido a fallas de apantallamiento: 0,2466083 Salidas 100 km-año Tasa de salida debido a descargas retroactivas (Back Flash Over): 0,7833595 Salidas 100 km-año Circuito sin cable de guarda: Tasa de salida esperada: Salidas 100 km-año	

EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES N° CA-531EY (TIPO CUENCA Y BOLA) DE NGK INSULATORS, PARA LA CADENA DE SUSPENSIÓN ES DE 9 UNIDADES.

Cerrar

Inicio Última version Final.doc - Microsoft... PCAL - Microsoft Vis... 15:01

Figura 5.18. Resultados obtenidos al simular en PCAL el primer caso.

Tabla 5.1 Comparación entre los resultados obtenidos por PCAL y los reportados en la referencia [8].

Parámetros	Resultados obtenidos en PCAL	Resultados reportados en la referencia [8]
FRECUENCIA INDUSTRIAL (AMBIENTE SECO)		
Tensión crítica disruptiva	133,7179 kV	93,922 kV
Número de aisladores	2 Unidades	2 Unidades
FRECUENCIA INDUSTRIAL (AMBIENTE HÚMEDO)		
Tensión crítica disruptiva	156,1044 kV	109,65 kV
Número de aisladores	5 Unidades	3 Unidades
FRECUENCIA INDUSTRIAL (AMBIENTE CONTAMINADO)		
Número de aisladores	4 Unidades	8 Unidades
DISTANCIA MÍNIMA A FRECUENCIA INDUSTRIAL		
Distancia	0,234006 m	0,66 m
SOBRETENSIONES DE MANIOBRA (AMBIENTE SECO)		
Tensión crítica disruptiva	245,6403 kV	273,78 kV
SOBRETENSIONES DE MANIOBRA (AMBIENTE CONTAMINADO)		
Número de aisladores	9 Unidades	9 Unidades
DISTANCIA MÍNIMA ANTE SOBRETENSIONES DE MANIOBRA		
Distancia	0,596541 m	0,66 m
TASA DE SALIDA POR DESCARGAS RETROACTIVAS		
Tasa de salida	1,0299 salidas/100 km-año	1,6826 salidas/100km-año
NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES RECOMENDADOS EN LA CADENA		
Número de aisladores	9 unidades	9 unidades

Con respecto a los resultados obtenidos por PCAL y los reportados en la referencia [8], cabe señalar lo siguiente:

- En la referencia [8], las distancias mínimas a masa tanto a frecuencia industrial como por sobretensiones de maniobra son datos, mientras que en la

metodología propuesta en este trabajo, éstas son calculadas como función de la velocidad del viento máxima presente en la zona, y algunos parámetros característicos de la línea, lo cual implica que pudiesen no ser iguales, dependiendo de cómo fueron calculadas o medidas las distancias mostradas en [8].

- En los resultados presentados en [8] se emplea un aislador estándar (146x254 mm) del cual, de acuerdo con los resultados mostrados, se dispone de los datos correspondientes al comportamiento del aislador antes determinados niveles de contaminación. En la metodología propuesta en este trabajo, se emplea una aproximación de la distancia de fuga mínima necesaria que debe tener la cadena de aisladores ante niveles de contaminación estandarizados por el EPRI, por no contarse con curvas o tablas correspondientes a este tópico en el catálogo de aisladores utilizado como referencia [13].
- En la referencia [8] se asume que las propiedades dieléctricas de los aisladores aumenta proporcionalmente con el número de ellos que se encuentran colocados en serie, lo cual no es cierto [13, 18] ya que existe una disminución significativa en la tensión de aguante de la cadena a medida que se aumenta el número de unidades aislantes. En el programa de cálculo desarrollado en este trabajo, se emplean las tablas mostradas en el anexo E [13] para el cálculo del número mínimo de aisladores de la cadena, en la cual, se especifica una tensión de aguante específica por unidad de aislador colocados en serie.
- En la simulación con PCAL se asumió que la estructura de soporte es tipo A, considerándose que el valor de la impedancia de dicha estructura se aproxima a la impedancia de la estructura empleada por Perdomo, C. [8] en su estudio. Esto pudiese incidir directamente en los resultados obtenidos de la tasa de salida esperada en la línea por descargas directas sobre el circuito.

El programa desarrollado muestra una adecuada tendencia en los resultados obtenidos, lo que demuestra la utilidad de la herramienta desarrollada para el estudio

y diseño del aislamiento en las líneas eléctricas con tensiones nominales menores o iguales a 230 kV.

b) Segundo caso

El segundo caso se plantea con el objetivo de evaluar cuantitativa los resultados obtenidos en PCAL para los tres métodos empleados en el cálculo de la tensión inducida (Rusck, Voislav y Chowdhuri), de tal manera que el código encargado de estos cálculos sea validado.

La tasa de salida esperada en la línea producto de éste fenómeno, se evaluará empleando el procedimiento propuesto en la referencia [27], el cual plantea variar el valor del nivel de aislamiento de la línea de 100 kV hasta 600 kV en pasos de 50 kV. Como parte de este segundo caso, se comparará además la curva de la tensión inducida versus tiempo, obtenida al emplear PCAL contra la teórica suministrada en los artículos de la IEEE donde se plantean las metodologías antes mencionadas [23, 24].

Los datos utilizados para el cálculo de la tasa de salida fueron los siguientes [27]:

- Altura de la línea: 10 m.
- Nivel cerámico: 83 días de tormentas al año.
- Tiempo de caída de la forma de onda del rayo: 30 μ s.
- Tiempo de frente de la forma de onda del rayo: 0,72 μ s.
- Altura de la nube: 3 km.
- Distancia perpendicular entre el punto de impacto y la línea: 100m.

Los resultados obtenidos de la tasa de salida, empleando las 3 metodologías propuestas en este trabajo, y comparadas con los resultados teóricos presentados en [27], son mostradas en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Resultados obtenidos al variar el nivel de aislamiento en el cálculo de la tasa de salida

Nivel de aislamiento (kV)	Valores obtenidos en PCAL			Valores teóricos [27]
	Tasa de salida Rusck *	Tasa de salida Voislav *	Tasa de salida Chowdhuri *	Tasa de salida teórica *
100	196,122	150,052	280,65	286,4
150	113,945	71,170	103,706	107,3
200	72,862	45,131	43,443	44,42
250	47,180	24,642	17,548	19,85
300	23,3119	11,336	9,213	9,47
350	12,162	5,58	4,223	4,74
400	6,686	2,862	2,394	2,48
450	3,874	1,531	1,305	1,35
500	1,371	0,850	0,76	0,76
550	1,004	0,481	0,439	0,44
600	0,684	0,282	0,252	0,26

*Tasa de salida: Salidas/100 km –año

Con respecto a los resultados obtenidos por PCAL y los reportados en la referencia [27], cabe señalar lo siguiente:

- Para el cálculo de la tensión inducida por Chowdhuri, necesaria para determinar la tasa de salida por este método, se asumió que la distancia sobre la línea a la cual se iba a calcular ésta correspondía con $X=0$ m, lo cual no es especificado en [27].
- Debido a que cada metodología parte de premisas y simplificaciones propias, la comparación entre los resultados de la tasa de salida arrojados por cada una de ellas puede no ser del todo adecuado; sin embargo, lo más importante de destacar de los resultados presentados en la tabla 5.2, es la tendencia a disminuir que presenta la tasa de salida a medida que aumenta el nivel de aislamiento de la línea. Es por esta razón que en los sistemas con tensiones nominales iguales o mayores a 230 kV no se realiza el cálculo de la tensión inducida, porque sus niveles de aislamiento son por lo general suficientes para

resistir las sobretensiones que pudiesen generarse por el impacto de un rayo en la cercanía de la línea, lo cual se traduce en una tasa de salida baja debido a este fenómeno.

A continuación se muestran las curvas de tensión inducida en función del tiempo realizadas en PCAL, para las tres metodologías propuestas, y las curvas teóricas presentadas en los artículos publicados por la IEEE [23, 24], excepto para el caso de la metodología de Rusck, que no se cuenta con un gráfico teórico.

Los datos utilizados para la realización de las curvas de tensión inducida versus tiempo son los siguientes [23, 24]:

- Altura de la línea: 10 m.
- Tiempo de caída de la forma de onda del rayo: 30 μ s.
- Tiempo de frente de la forma de onda del rayo: 0,72 μ s.
- Altura de la nube: 3 km.
- Distancia perpendicular entre el punto de impacto del rayo y la línea: 100m
- Para el caso de Rusck y Voislav, se empleó una amplitud de la corriente del rayo de 11 kA y para Chowdhuri de 30 kA, esto con la finalidad de poder realizar las comparaciones pertinentes con las curvas teóricas.

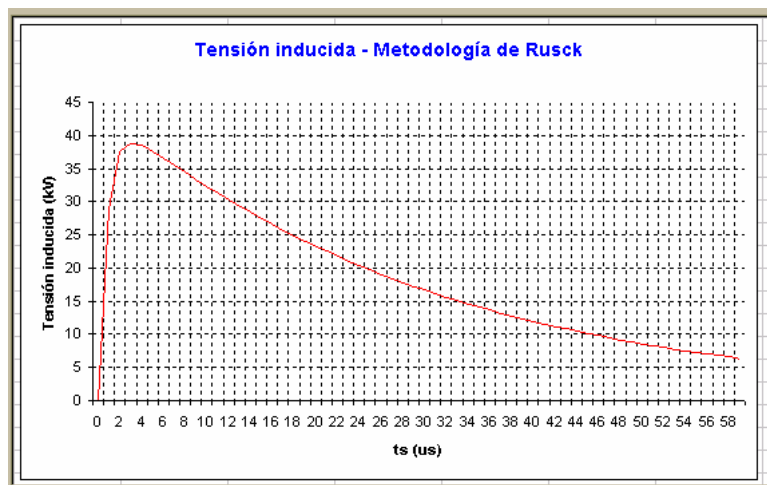


Figura 5.19 Gráfico de la tensión inducida según Rusck (obtenida mediante el uso de PCAL).

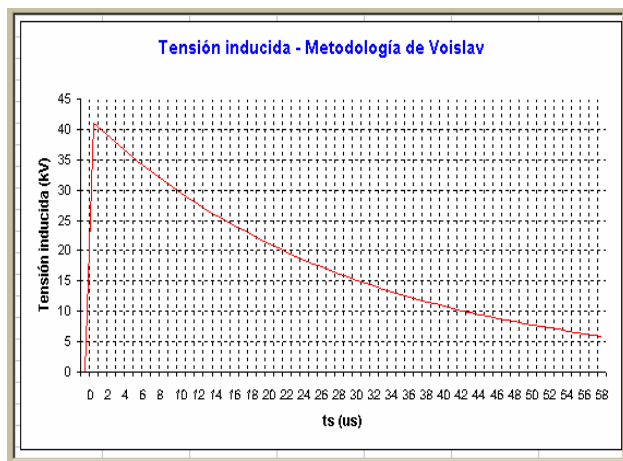


Figura 5.20. Gráfico de la tensión inducida según Voislav (obtenida mediante el uso de PCAL).

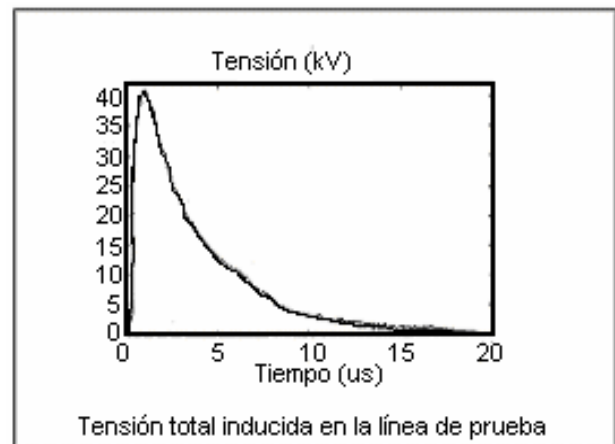


Figura 5.21. Gráfico de la tensión inducida según Voislav (obtenida de la referencia [23]).

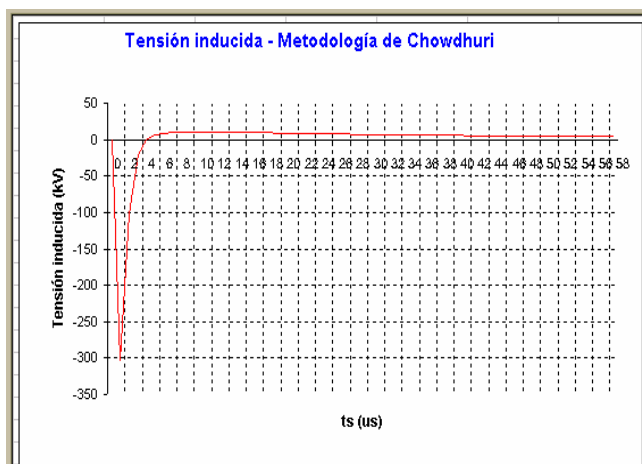


Figura 5.22. Gráfico de la tensión inducida según Chowdhuri (obtenida mediante el uso de PCAL).

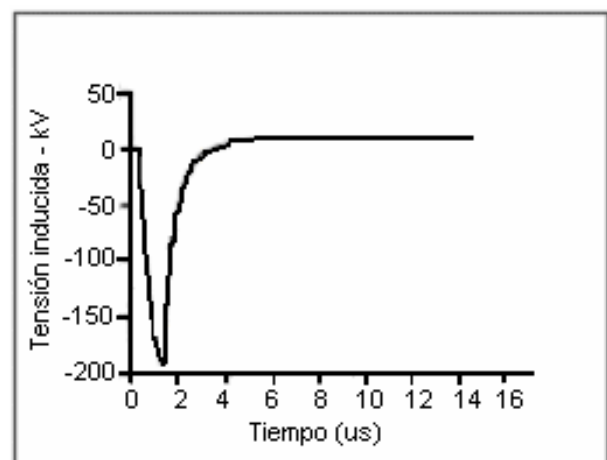


Figura 5.23. Gráfico de la tensión inducida según Chowdhuri (obtenida de la referencia [24]).

Con relación a las curvas obtenidas empleando PCAL (figuras 5.19, 5.20 y 5.22) se observa una adecuada tendencia en los resultados obtenidos en las curvas de voltaje inducido en función del tiempo, basándose esta observación en la comparación realizada entre dichas curvas y las reportadas por la IEEE (figuras 5.21 y 5.23). Lo anterior indica la utilidad de PCAL en el cálculo de las tensiones que pudiesen inducirse en la línea, y por consiguiente, demuestra el beneficio que puede obtenerse del empleo de dicho programa en el cálculo del aislamiento en líneas de media tensión.

RECOMENDACIONES

Con relación a la metodología propuesta en este trabajo para el cálculo del aislamiento en líneas aéreas, y su implementación en el Programa para el Cálculo del Aislamiento en Líneas (PCAL), puede recomendarse:

- Incluir más modelos de estructuras de soporte, fabricantes y tipos de aisladores, con el fin de ofrecerle a los usuarios de PCAL mayores posibilidades de escoger los datos que mejor se adapten a su estudio.
- Anexar módulos en PCAL que permitan el cálculo de las tensiones inducidas en circuitos con cables de guarda ya que de los estudios realizados sobre este tópico se ha concluido que la presencia de éste reduce drásticamente la tasa de salida tanto por descargas directas sobre el circuito, como por sobretensiones inducidas [14, 24].
- Estudiar los efectos sobre otros conductores (líneas con más de un conductor de fase), de la tensión inducida debido a las descargas atmosféricas que inciden en la cercanía del circuito, con base en el estudio previo sobre un solo conductor planteado en este trabajo, de tal manera que pueda incluirse dicho estudio como parte de los cálculos realizados por PCAL.
- La influencia que tiene sobre la amplitud y la forma de onda de la tensión inducida aspectos como: la impedancia del conductor, considerar un terreno no ideal (conductividad no infinita), y asumir el canal de la descarga atmosférica no vertical, entre otros; ha sido motivo de estudios para los investigadores de la IEEE en los últimos años, por lo cual, se recomienda realizar un seguimiento de dichos estudios.

CONCLUSIONES

En este trabajo se planteó el diseño e implementación en un programa digital de una metodología para la coordinación del aislamiento en las líneas eléctricas aéreas hasta 300 kV, basándose ésta en los lineamientos propuestos en las normas nacionales (de EDELCA y CADAPE) e internacionales (del EPRI e IEEE). De acuerdo con dichos lineamientos, el programa realizado (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas – PCAL) realiza el cálculo del aislamiento a frecuencia industrial: en ambiente seco, húmedo y contaminado; ante sobretensiones de maniobra: en ambiente contaminado y no contaminado; y ante sobretensiones atmosféricas, abarcando éste último estudio, las sobretensiones generadas en la línea por el impacto directo sobre el conductor o cable de guarda, y las sobretensiones debido a la inducción electromagnética producto de la incidencia de una descarga atmosférica en las cercanías de la línea.

Para la validación de los resultados obtenidos por PCAL, para la coordinación del aislamiento se simularon 10 casos (2 por cada nivel de tensión normalizados), enfatizándose en el análisis del caso correspondiente a una línea de transmisión a 115 kV doble terna [8], ya que de éste se conocían todos los parámetros necesarios para la correcta ejecución de PCAL. Para la verificación del código que calcula las tensiones inducidas, se varió el nivel de aislamiento de la línea de 100 kV hasta 600 kV en incrementos de 50 kV, realizándose el cálculo de la tasa de salida esperada en la línea por las tres metodologías propuestas en este trabajo (Rusck, Voislav y Chowdhuri), y comparándose posteriormente los resultados obtenidos con PCAL con los presentados en la referencia [27]. La validación de las gráficas tensión inducida versus tiempo que calcula PCAL, se realizó simulando 3 casos típicos que se reseñan en las referencias [23] y [24], para luego comparar tanto el valor pico de la tensión, como la forma de onda.

Con relación a lo anterior, en todos los casos simulados en PCAL se observó una adecuada tendencia en los resultados, demostrándose la utilidad de la herramienta desarrollada para el diseño de líneas eléctricas aéreas mas confiables, en lo que se

refiere al estudio de los diferentes tipo de sobretensiones que pudiesen generarse en ésta.

En base a los resultados obtenidos de la simulación empleando PCAL, puede concluirse lo siguiente:

- Suponer que las propiedades dieléctricas de los aisladores aumenta proporcionalmente con el número de ellos colocados en serie, puede incidir en resultados muy conservadores en la coordinación del aislamiento, por lo cual se recomienda emplear las tablas que proporcionan los fabricantes de aisladores donde se especifica para cada número de unidades colocados en serie, la tensión de aguante específica.
- La tasa de salida debido a sobretensiones inducidas disminuye notablemente a medida que aumenta el nivel de aislamiento de la línea, con lo cual se comprueba que en circuitos cuya tensión nominal es mayor o igual a 230 kV, no es de importancia el cálculo de este tipo de fenómeno, ya que su influencia en la tasa de salida total de la línea es despreciable.
- Es posible evitar el problema de tensiones inducidas en circuitos con tensiones nominales menores o iguales a 69 kV (sin cable de guarda), si el nivel de aislamiento de la línea supera los 250 kV, ya que de acuerdo con los resultados obtenidos, la tasa de salida por este fenómeno disminuye aproximadamente a 18 salidas/100 km-año, en comparación con las casi 100 salidas/100 km-año que pudiese esperarse para un nivel de aislamiento de 150 kV. Por supuesto, el aumentar el nivel de aislamiento de la línea implica elevar los costos asociados al diseño general de la línea.
- Aún cuando en las metodologías propuestas para el cálculo de las tensiones inducidas no se toma en cuenta aspectos como: la presencia de cables de guardas en el circuito, la presencia de otros conductores de fase, o un terreno no ideal (cuya conductividad no sea infinita), entre otros aspectos, ésta le permite al ingeniero encargado del diseño del aislamiento, tener una idea de la máxima sobretensión que pudiese inducirse en la línea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Canabal, C. y Zambrano, L. *Criterios y parámetros de diseño de aislación para líneas de extra alto voltaje*. Maracaibo: III Jornadas nacionales de potencia, 1982.
- [2] EPRI. *Transmission line reference book 345 and above*. Segunda edición revisada.--Palo Alto, California, 1987. Capítulos 9, 10, 11 y 12.
- [3] IEEE 1313.1. *Standard for insulation coordination, definitions, principles and rules*. New York, 1996.
- [4] ANSI C92.1. *American national standard for power systems insulation coordination* --New York, 1982.
- [5] Edelca. *Metodología para el diseño eléctrico de líneas de transmisión*.--Caracas: División Ingeniería de Sistemas Eléctricos, 1997. Capítulos 2, 3 y 6.
- [6] Cavallotti, J. *Disposiciones constructivas de subestaciones a la intemperie en altas y muy altas tensiones*, (Libro)--. Caracas: Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico (CADAFE), 1968.--Tomo I. Capítulo 3.
- [7] Canabal, C. y Zambrano, L. *Diseño de aislación por tensión a frecuencia industrial para líneas de extra alto voltaje (EHV)*. Maracaibo: III Jornadas nacionales de potencia, 1982.
- [8] Perdomo, C. *Proyecto línea de transmisión a 115kV doble terna, S/E Barinas I - S/E Socopó*. (Tesis).--Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1999. Capítulos 2 y 3.

- [9] EPRI. *Transmission line reference book. 115-138 kV compact line design.*--Palo Alto, California, 1978. Capítulos 4, 5 y 6.
- [10] IEC 71-1. *Insulation coordination: Definition, principles and rules.*—1993.
- [11] Goldenberg, M. *Evaluación del aislamiento de las líneas del sistema a 400 kV del Bajo Caroní.* V Congreso de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica. C.V.G. Electrificación del Caroní (EDELCA).
- [12] Canabal, C. y Zambrano, L. *Diseño de aislación por sobretensiones de maniobra para líneas de extra alto voltaje.* Maracaibo: III jornadas nacionales de potencia, 1982.
- [13] NGK INSULATORS LTD. *Suspensión insulators.* Catálogo N° 14B.
- [14] Hernández, A. *Coordinación de aislamiento de circuitos de distribución aéreas ante sobretensiones atmosféricas.* (Tesis Doctoral).--Sartenejas, Baruta: Universidad Simón Bolívar, 1995.
- [15] González, F. *Evaluación estadística del comportamiento de líneas aéreas de distribución frente a sobretensiones de origen externo.* (Tesis Doctoral).--Cataluña, España: Universidad Politécnica de Cataluña, 2001.
- [16] Martínez, J. *Análisis de sobretensiones de origen atmosférico en líneas aéreas de transporte.* – Barcelona, España: 2001. Capítulo II.
- [17] IEEE std 1410. *Guide for improving the lightning performance of electric power overhead distribution lines.*--New York, 1997.

- [18] Aguilera, L. *Elaboración de un programa computacional para la coordinación de aislamiento según la norma IEC-71*. (Tesis Doctoral).--Sartenejas, Baruta: Universidad Simón Bolívar, 2001.
- [19] Eriksson, A. *The incidence of lightning strikes to power lines*. – **EN:** IEEE transactions on power delivery, Vol. 2, N° 3 (1987), p.p 859-870.
- [20] IEEE Working Group. *Calculation the lightning performance of distribution lines*.-- **EN:** IEEE transactions on power delivery.-- Vol. 5, N° 3 (1990), p.p 1408-1417.
- [21] Martínez, M. y otros. *Influencia de sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas en circuitos aéreos de media tensión*.--Margarita, Andescon 99, 1999.
- [22] Chowdhuri, P. *Lightning-induced voltajes on multiconductor overhead lines*.-- **EN:** IEEE Transactions on power delivery.—Vol. 5, N° 2 (1990), p.p 658-667.
- [23] Voislav, J. *Estimation of the maximal voltaje induced on an overhead line due to the nearby lightning*. – **EN:** IEEE Transactions on power delivery.—Vol. 12, N° 1 (1997), p.p 315-324.
- [24] Chowdhuri,P. *Analysis of lightning-induced voltages on overhead lines*.—**EN:** IEEE Transactions on power delivery.—Vol. 4, N° 1 (1989),p.p 479-492.
- [25] Chowdhuri,P. *Parametric effects on the induced voltages on overhead lines by lightning strokes to nearby ground*. – **EN:** IEEE Transactions on power delivery.—Vol. 4, N° 2 (1989), p.p 1185-1194.

[26] Anderson, J y Short T. *Algorithms for calculation of lightning induced voltages on distribution lines*. – **EN:** IEEE Transactions on power delivery.—Vol.8, N° 3 (1993), p.p 1217-1225.

[27] Chowdhuri,P. *Estimation of flashover rates of overhead power distribution lines by lightning strokes to nearby ground*. – **EN:** IEEE Transactions on power delivery.—Vol. 4, N° 3 (1989), p.p 1982-1989.

[28] Siler, B. y Spott, J. *Visual Basic 6.0*, (Libro)--. Madrid: España: Ed. Prentice Hall, 1998.--. Capítulo 1.

[29] Macnally, R. *Gran atlas del mundo*. Colombia, Ed. Circulo de lectores, 1998. pp 121-127.

[30] *Resistividad del agua [en línea]*.<<http://members.tripod.com/Arturobola/glosa.htm>> [Consulta:2005].

[31] Ponton, G. *Gran diccionario enciclopédico ilustrado Grigalbo*. Barcelona, España.—Ed. Grigalbo Mondadori, 1997. pp 80 – 90.

[32] *Actividad de rayos y nivel cerámico [en línea]*.<http://72.14.207.104/search?q=cache:NtSy6o_6GpIJ:www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/Proteccion_contra_descargas_atmosfericas/6/6.htm+maximo+nivel+cer%C3%A1nico+&hl=es> [Consulta:2005].

[33] Siegert, L. *Alta tensión y sistemas de transmisión*, (Libro).-- México: Noriega Editores, 1997. p. 306.

[34] Pestana, A. *Estudio para diseñar una metodología de coordinación de aislamiento para las redes de distribución de CADAFE*. (Tesis).--Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1989.

[35] Westinghouse Electric Corporation. *Electrical transmission and distribution reference book*. Cuarta edición. USA, 1950.

BIBLIOGRAFÍA

CADAFE (1985). Normas generales de diseño para proyectos de líneas de transmisión a 155 kV y 230 kV. Caracas: Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico.—p.p 11 – 21.

Charte, F. Visual Basic 5, Madrid: Ediciones: Amaya Multimedia, 1997.

Coltraro, H. Evaluación de las salidas forzadas por descargas atmosféricas de las líneas de transmisión a 115 kV y 34.5 kV del sistema regional de EDELCA. V congreso de generación y transmisión de energía eléctrica.

EDELCA. Revisión de la coordinación del aislamiento en las subestaciones a 115 kV de EDELCA. 1999.

Goldenberg, M. Evaluación de las sobretensiones de maniobra en las líneas del sistema del Bajo Caroní.--C.V.G EDELCA.--V Congreso de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica.

Guerrero, J. y Lavado, Q. Programa para el diseño electromecánico de líneas de transmisión hasta 230 kV./Guerrero Julio; Lavado José (Tesis).—Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1992.

Hergert, D. El libro de Visual Basic 5. Ediciones: Amaya Multimedia. Madrid, 1997.

Jacob, P. Y Grzybowski, S. An estimation of lightning insulation level of overhead distribution lines.IEEE transactions on power delivery.—Vol. 6, N° 1 (1991), p.p 384 – 390.

Kopopnick, J. y otros. Estudio de sobretensiones atmosféricas en subestaciones de CADAFE sistema sur.--CADAFE.--V Congreso de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica.

León, A. Consideraciones en la selección de aisladores bajo condiciones de contaminación atmosférica. Electroporcelana Gamma S.A. Boletín N° 5.[en línea].<
<http://www.gamma.com.co/pdf/boletinestecnicos/boletin05.pdf>. [Consulta:2005].

León, A. Una metodología para el diseño del aislamiento en una línea de transmisión. Electroporcelana Gamma S.A. Boletín N° 6.[en línea].<
<http://www.gamma.com.co/pdf/boletinestecnicos/boletin06.pdf>. [Consulta:2005].

Núñez, H. Microsoft Visual Basic-Guía práctica. Maracay: 1999.

Overvoltages and insulation coordination in MV and HV. Disponible en:http://www.schneider-electric.com/cahier_technique/en/pdf/ect151.pdf

Padilla, E. y Cedeño, G. Coordinación de aislamiento de reactores de neutro.--C.V.G EDELCA, División de subestaciones.--V Congreso de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica.

Rivas, C. Análisis de fallas de aislamiento y de rotura de conductores en una línea a 155 kV / Rivas Cesar (Tesis).—Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1989.

Rugeles, L. Aislamiento de la línea Guri – La Canoa – El Tigre basado en requerimientos de contaminación. EDELCA, Dirección de obras de transmisión, 1983.

Silva, W. Coordinación de aislamiento y protección contra sobretensiones en las subestaciones de la C.A. la Electricidad de Caracas. (Tesis). Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1983.

Urdaneta, A. y otros. Estudio de sobretensiones de maniobra en la subestación Carupao.--C.A. La Electricidad de Caracas.--V Congreso de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica.

ANEXO A

ESFUERZOS PRODUCIDOS POR TENSION SOBRE EL AISLAMIENTO

A.1 Máxima tensión del sistema

Es la más alta tensión del sistema, en valor rms, fase a fase que puede ocurrir bajo condiciones normales de operación en cualquier tiempo y punto del sistema. Este excluye sobretensiones temporales y transitorias causadas por una condición anormal del sistema [2].

Desde el punto de vista del aislamiento es importante entender la diferencia básica entre el esfuerzo causado por la tensión del sistema y el causado por sobretensiones. Las sobretensiones son raras y de duración limitada, mientras que la tensión del sistema aun cuando es relativamente baja en amplitud, produce esfuerzos constantes sobre el aislamiento mientras el sistema esté en operación. Generalmente nada puede hacerse para limitar el tiempo o la amplitud de este esfuerzo sin reducir la potencia transmitida [2].

A.2 Sobretensiones

Las sobretensiones son a menudo expresadas en valores por unidad (p.u.) tomándose la máxima tensión del sistema como base; por lo tanto, para una sobretensión fase a tierra en por unidad se tiene al expresión (A.1):

$$V_{pu} = \frac{V_{L-G}\sqrt{3}}{V_m\sqrt{2}} \quad (A.1)$$

Donde:

V_{pu} = Sobretensión fase a tierra en por unidad

V_{L-G} = Valor fase a tierra pico de la sobretensión

V_m = Máximo voltaje rms del sistema

La sobretensión fase a fase en por unidad se define de una manera similar. Estas definiciones corresponden a las establecidas en la ANSI C92.1 y en la publicación N° 72 de la IEC.

A.3 Sobretensiones temporales

Entre las causas que pueden originar una sobretensión temporal en un sistema eléctrico se encuentran:

A.3.1 Fallas a tierra

Una falla a tierra es una condición que conduce a una sobretensión no amortiguada que persiste y produce esfuerzo en el aislamiento hasta que esta es despejada por alguna orden de apertura de los interruptores. El tipo de falla predominante es la monofásica a tierra debido a que las fallas bifásicas, bifásicas a tierra, trifásicas y trifásicas a tierra ocurren con mucho menos frecuencia [2].

De acuerdo a la IEC 71-1 [10], la sobretensión en las fases no falladas al ocurrir una falla monofásica es menor que 1,4 p.u. en sistemas sólidamente aterrados y de 1,73 p.u. en sistemas aislados.

La forma de onda de las sobretensiones asociadas a una falla a tierra es generalmente sinusoidal y puede ser descrita en términos de su valor pico o rms.

A.3.2 Cambios repentinos de carga

Una pérdida repentina de carga produce un pico de tensión debido a que al reducirse la corriente, la caída de tensión en la impedancia interna del sistema se

reduce y el generador comienza a aumentar su velocidad para seguir produciendo el mismo voltaje que venía aportando al sistema [2].

La brusca desconexión de la carga en sistema de alta tensión, causan un apreciable aumento de la tensión debido al efecto Ferranti de la línea y a la caída negativa de la tensión debido a la circulación de la corriente capacitiva a través de las reactancias de los transformadores y generadores [33]. La máxima sobretensión se produce, desde luego, en el extremo de la línea en el que se desconectó la carga.

A.3.3 Efecto Ferranti

La tensión en el terminal abierto de una línea sin compensar es siempre mayor que el voltaje al comienzo de esta. Este fenómeno es conocido como efecto Ferranti y ocurre debido a la corriente capacitiva que fluye a través de las impedancias en serie de la línea y que ocasiona una sobre elevación de tensión en el extremo abierto. Si la carga es capacitiva el efecto de sobre elevación de tensión es más notable [2].

Para controlar este efecto, se conectan reactores a la línea (carga inductiva pura) y el efecto es como si se redujera la capacitancia de la línea.

A.3.4 Resonancia lineal

Algunas de las más altas sobretensiones temporales que pueden ocurrir en un sistema son debidos a la resonancia. Un circuito entra en resonancia una vez que se cumpla que: $\omega = \omega_r = 1/\sqrt{LC}$. Las caídas de tensión en la inductancia y capacitancia acusan entonces valores máximos pero iguales entre sí. En la práctica actual, las pérdidas y el efecto de saturación limita las sobretensiones producidas por la resonancia lineal [2].

A.3.5 Ferroresonancia

Este fenómeno se produce en circuitos que contienen inductancias no lineales construidas sobre núcleos ferromagnéticos. Siegert L. [33] la describe como “un fenómeno oscilatorio creado por la capacitancia del sistema, en conjunto con la inductancia no lineal de un elemento con núcleo magnético: Este podría ser un transformador de potencia, de medición, o un reactor de compensación.” La ferroresonancia se observa generalmente en los sistemas de alta tensión y pocas veces en sistemas de distribución debido a que es precisamente la capacitancia de las líneas muy largas la que induce dicho fenómeno, siempre y cuando se den las condiciones favorables para que ocurra la resonancia.

A.4 Sobretensiones de maniobra

El conocimiento de estas sobretensiones son de especial interés para establecer el nivel de aislamiento en las líneas largas de altas y extra altas tensiones. La sobretensiones mas elevadas son las causadas por los procesos de cierre de los interruptores y el caso mas desfavorable, que origina las mayores sobretensiones, ocurre con la reconexión trifásica de una línea, la cual no ha podido disipar totalmente su propia energía [2]. Estas sobretensiones pueden originarse normalmente de:

A.4.1 Energización de líneas

Una de las sobretensiones mas típicas resulta de energizar una línea. Si en el terminal de la línea no se encuentra un transformador la onda de tensión viajará a través de los conductores, pudiendo ser producida esta onda directamente por la fuente, o indirectamente por el acoplamiento con las otras fases. La magnitud de tales voltajes son influenciados por la longitud de la línea, por las pérdidas en el conductor,

la puesta a tierra y las resistencias de preinserción. Por lo general, estas sobretensiones son mayores cuando el terminal de la línea está abierto.

Cuando la línea termina en un transformador, el fenómeno se hace mas complicado debido a las características no lineales del núcleo. Los armónicos generados por las características magnetizantes del transformador pueden interactuar con la capacitancia de la línea causando oscilaciones no lineales.

A.4.2 Recierre de líneas

Cuando un interruptor opera para despejar una línea, la corriente capacitiva es interrumpida cuando pasa por cero, ocurriendo esto justo en el momento en que el voltaje se encuentra en su máximo. Debido a esto, la línea queda con una carga atrapada y si dicha carga no es drenada por un transformador o un reactor, permanece en la línea por muchos segundos [2].

Si la línea es reconectada antes de que la carga haya sido drenada, los polos del interruptor pudieran cerrarse cuando el voltaje del sistema está en la polaridad opuesta a la de la línea, lo cual produciría una diferencia de tensión mucho mayor entre los bornes del interruptor que si no hubiese quedado carga atrapada en la línea, y por lo tanto, las sobretensiones transitorios pueden durar mas tiempo.

A.4.3 Ocurrencia y despeje de fallas

La ocurrencia de una falla en una línea no sólo causa una sobretensión temporal sino también una sobretensión de maniobra. Esta sobretensión transitoria depende de la impedancia del sistema, la puesta a tierra, la longitud de la línea, la localización y parámetros de los transformadores, el grado de compensación y la naturaleza misma de la falla [2].

La ocurrencia de una falla puede ser considerada como el cierre de un interruptor entre la línea y tierra, y cuando dicho interruptor opera el voltaje a través

de él es redistribuido inmediatamente entre los elementos que quedan conectados en el circuito, incluyendo alguna impedancia de falla.

Cuando se despeja la falla ocurre otra sobretensión de maniobra cuya magnitud puede llegar a exceder 1,7 p.u.

A.5 Sobretensiones por descargas atmosféricas

Las sobretensiones por descargas atmosféricas incluyen:

A.5.1 Fallas de apantallamiento: Cuando cae un rayo directo sobre un conductor de fase.

A.5.2 Descargas retroactivas: Causadas por rayos que caen sobre los conductores de guarda.

A.5.3 Tensiones inducidas: Causadas por rayos que inciden a tierra en las cercanías de una línea eléctrica aérea.

ANEXO B

MÉTODOS PARA ESTUDIAR LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS SOBRE LA AISLACIÓN Y LA CAPACIDAD DE ÉSTA PARA SOPORTARLOS [2].

Suponiendo que experimentalmente un número n de pruebas son llevadas a cabo con cada uno de las siguientes tensiones: $V_{T1}, V_{T2}, V_{T3} \dots V_{TR}$; la frecuencia relativa de falla, $V_{k/n}$, donde V_k denota el número de fallas a los voltajes V_{Tk} ($K=1, \dots, R$), representaría el estimado de probabilidad de falla para los voltajes $V_{T1}, V_{T2}, V_{T3} \dots V_{TR}$. El gráfico que expresa la dependencia de la probabilidad de falla estimada, $p = V_{k/n}$ en V_{pk} , se aproximaría a una curva de incremento continuo desde 0 hasta 1. Para pequeñas tensiones, no ocurrirían fallas, y a altas tensiones, todas las pruebas conducirían a una falla. Esta función que se denota como $F(V_T)$, representa una probabilidad tal que, a una instancia dada, la tensión mínima no disruptiva sería mas pequeña que la tensión de prueba, es decir, la tensión de descarga disruptiva. Esta función es una función de distribución acumulativa (B.1):

$$F(V_T) = P\{V_w < V_T\} \quad (B.1)$$

Y su derivada (B.2):

$$f(V_T) = \frac{d}{dV_T} F(V_T) \quad (B.2)$$

Es la correspondiente función de densidad (Figura B.1)

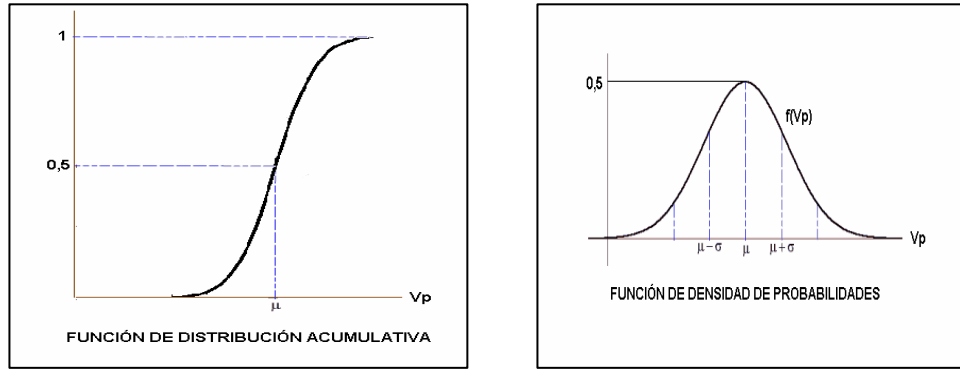


Figura B.1. Funciones de probabilidades. a) Distribución acumulativa y b) Densidad de probabilidades (derivada de a). [2]

Para las distancias mínimas a masa en altos voltajes, esta función se aproxima muy bien a la función de distribución normal (Gaussiana):

$$F(V_T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{V_T} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(t-\mu)^2} dt \quad (B.3)$$

$$F(V_T) = \Phi\left(\frac{V_T - \mu}{\sigma}\right)$$

donde:

$$\phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (B.4)$$

con:

$$z = \frac{V_T - \mu}{\sigma} \quad (B.5)$$

La función $\phi(u)$ es dada en tablas y la constante μ es el valor medio de la tensión mínima no disruptiva la cual es llamada **tensión crítica disruptiva (CFO)**. El CFO es el valor cresta del impulso, tal que bajo condiciones específicas, causa disrupción en la aislación en el 50% de los casos.

La tensión crítica disruptiva es expresada totalmente en términos de niveles básicos de aislación, BIL y BSL. Originalmente el significado de BIL era nivel básico de aislamiento (Basic Insulation Level), y estaba relacionado con la corta duración de

los efectos de las descargas atmosféricas. En la práctica moderna, el término BIL es utilizado para el nivel básico de aislamiento para sobretensiones por descargas atmosféricas, y se introduce el término BSL para hacer referencia al nivel básico de aislamiento para sobretensiones de maniobra.

En los aislamientos autorrestaurables, el BIL estadístico (o BSL) es el valor cresta del impulso estándar para el cual el aislamiento presenta 90% de probabilidad de voltaje mínimo no disruptivo (ó 10% de probabilidad de falla).

Los métodos empleados para estudiar los esfuerzos producidos sobre la aislación y la capacidad de esta para soportarlos de acuerdo al EPRI[2], son los siguientes:

B.1 Método convencional

Este método fue usado antes de la aplicación de conceptos estadísticos y actualmente es usado sólo para la coordinación y diseño de aislamiento no autorrestaurable. Este método asume que la máxima tensión (V_{max}) que puede causar la ruptura del aislamiento y la tensión mínima disruptiva (V_w) son conocidas. El aislamiento es diseñado de tal manera que V_w sea más grande que V_{max} en un margen de seguridad, tal como se muestra en la figura B.2:

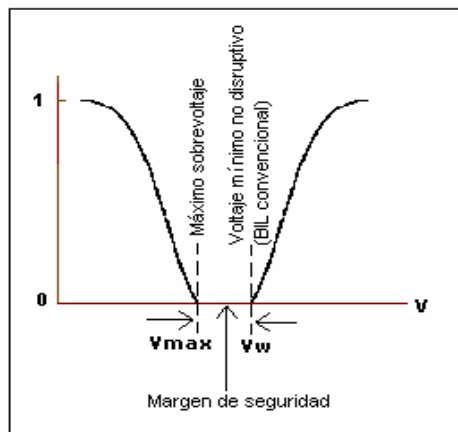


Figura B.2. Método convencional para el diseño de aislamiento. [2]

B.2 Método estadístico

Este método se basa en balancear las probabilidades de esfuerzo sobre el aislamiento vs. la capacidad de esta para soportarlos. El criterio en este caso es el riesgo de falla, el cual puede ser calculado como se muestra en la figura B.3. La probabilidad de ruptura del aislamiento está dado por la función $F(V_w)$ y la densidad de distribución de probabilidades de las sobretensiones está dada por la función $f(V)$. La probabilidad de que el aislamiento falle a la tensión V_1 es $F(V_1)$; por lo tanto, la probabilidad de ambas experiencias: la sobretensión V_1 y la no capacidad de soportarlo indica la probabilidad de falla a ese voltaje ($f(V_1) * F(V_1)$). El riesgo de falla R es entonces la suma de las probabilidades para todos las posibles tensiones:

$$R = \int_0^{\infty} F(V) f(V) dV \quad (B.6)$$

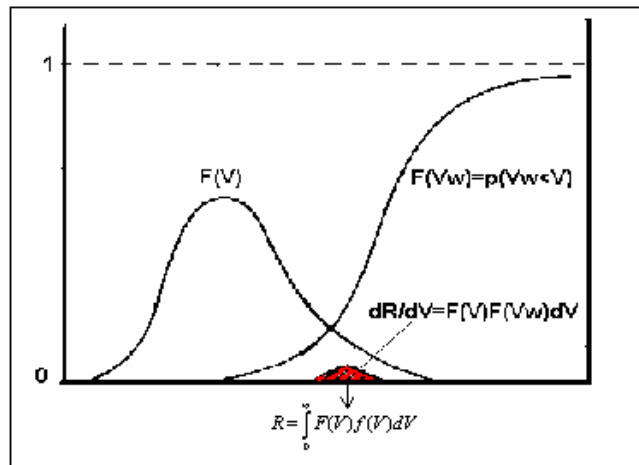


Figura B.3. Método estadístico para el diseño del aislamiento.[2]

Las funciones que describen la probabilidad de ruptura y la probabilidad de ocurrencia de sobrevoltaje dependen de muchos factores y no hay seguridad de que cada función pueda ser expresada en forma analítica. Cuando las distribuciones de

sobretensiones y tensiones mínimas disruptivas no son conocidas, se puede obtener una aproximación del riesgo de falla utilizando el método estadístico simplificado.

B.3 Método estadístico simplificado

Este método se basa en la premisa de que la forma de las bajas tensiones en la curva de distribución de probabilidades no son demasiados importantes ya que estos no ocasionarán fallas. Por lo tanto, no es necesario gran precisión en el cálculo, ya que la capacidad de aislación determinada de esta forma es mayor que la normal. Debido a esto, la distribuciones reales, son sustituidas por distribuciones simples, generalmente Gaussianas, las cuales pueden ser caracterizadas por la desviación estándar, σ , y un punto medido.

De acuerdo al EPRI, la distribución de sobretensiones está caracterizada por el término Sobretensiones Estadístico el cual se encuentra en el punto de 2% de sobretensión; y la distribución de la tensión mínima no disruptiva está descrita por V_w , medido en el 90% de la tensión mínima no disruptiva o 10% de ruptura. Estos puntos se ilustran en la figura B.4:

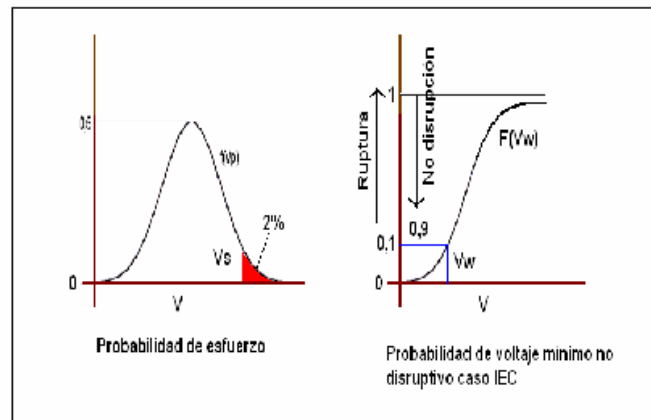


Figura B.4. a) Probabilidad de esfuerzo y b) probabilidad de Voltaje mínimo no disruptivo (caso IEC). [2]

La proporción entre los dos valores define la cantidad γ (factor de seguridad estadístico), el cual es análogo al factor de seguridad convencional:

$$\gamma = \frac{V_w}{V_s} \quad (B.7)$$

Si V_s y V_w son conocidos y el resto de la distribución es asumido, es posible evaluar el riesgo y dibujar una curva relacionando el factor de seguridad estadístico y el factor de riesgo. El procedimiento es el que se muestra en la figura B.5:

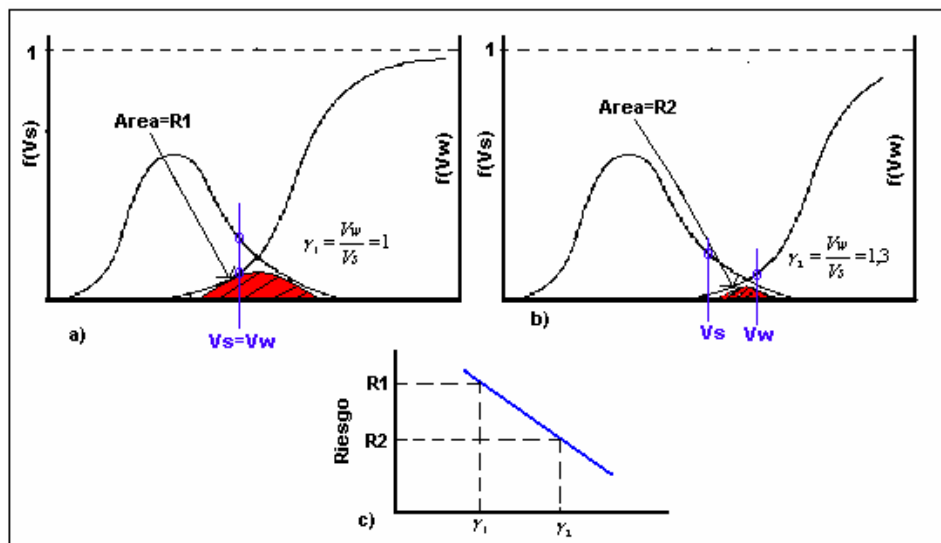


Figura B.5. Método estadístico simplificado: a) factor de seguridad estadístico pequeño, b) factor de seguridad estadístico grande, c) riesgo vs. factor de seguridad.[2]

El valor numérico del riesgo depende de la forma asumida para la distribución. Esta puede ser descrita en términos de la desviación estándar de las dos curvas. Si la desviación estándar no puede ser hallada de forma experimental, esta puede ser estimada de experiencias en pruebas similares. La curva que relaciona el factor de seguridad y el de riesgo (Figura B.5-c) es válido sólo para una desviación estándar asumida.

ANEXO C

ANEXO C.1 FACTOR DE CORRECCIÓN POR TASA DE PRECIPITACIÓN (FRECUENCIA INDUSTRIAL)

El EPRI proporciona la curva de la figura C.1 para obtener el factor de corrección por tasa de precipitación a frecuencia industrial.

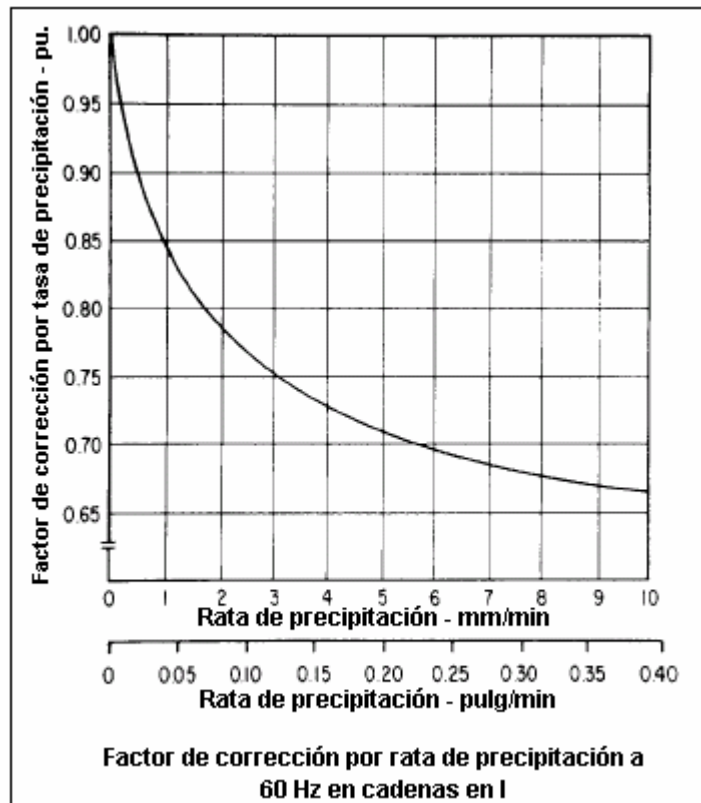


Figura C.1. Curva del factor de corrección por tasa de precipitación. [2]

De la curva anterior se obtuvieron los valores presentados en la tabla C.1, con los cuales se construyó la curva de la figura C.2 (curva de tendencia de cuarto orden), y la ecuación correspondiente mediante el uso de Excel.

Tabla C.1. Valores obtenidos de la figura C.1 correspondientes al factor de corrección por tasa de precipitación.

Tasa de precipitación (mm/min)	Factor de corrección (p.u.)
0,2	0,95
0,5	0,895
1	0,845
1,5	0,81
2	0,79
2,5	0,765
3	0,75
3,5	0,74
4	0,725
4,5	0,72
5	0,71
5,5	0,7
6	0,695
6,5	0,69
7	0,68
7,5	0,675
8	0,67
8,5	0,667
9	0,6625

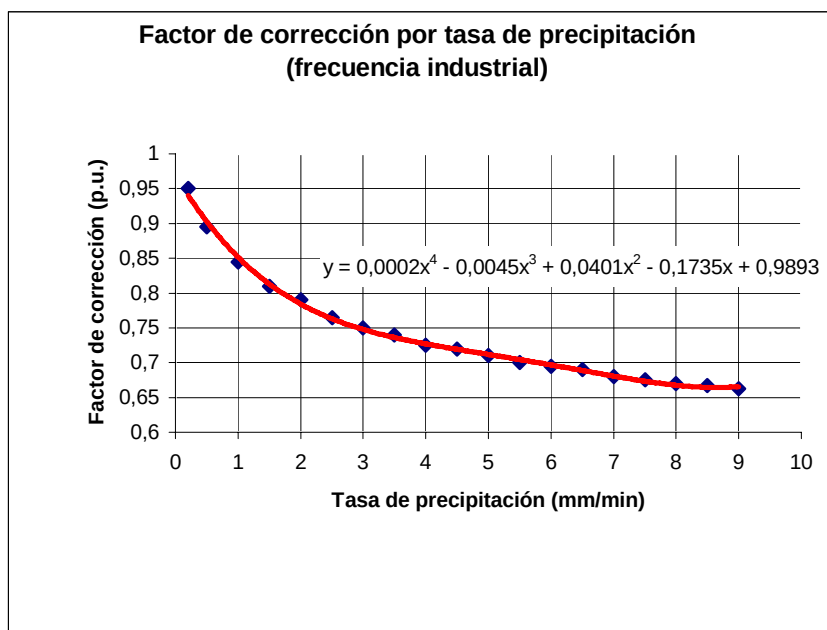


Figura C.2. Factor de corrección por tasa de precipitación realizada a partir de los datos de la tabla C.1.

De la figura C.2 se obtuvo la expresión (C.1) para calcular el factor de corrección por tasa de precipitación:

$$Kp = 0,9893 - 0,1735 * Tp + 0,0401 * Tp^2 - 0,0045 * Tp^3 + 0,0002 * Tp^4 \quad (C.1)$$

La cual se aproxima a la ecuación (C.2) propuesta en la referencia [8]

$$Kp \approx 0,9930 - 0,1743 * Tp + 0,0403 * Tp^2 - 0,004899 * Tp^3 + 0,000201 * Tp^4 \quad (C.2)$$

Donde:

Tp = Tasa de precipitación [mm/min]

Debido a que la expresión (C.2) ha sido empleada previamente en el diseño del aislamiento en líneas aéreas [8], esta ecuación es la utilizada en el programa elaborado para el cálculo del factor de corrección por tasa de precipitación, además que se comprobó anteriormente que esta ecuación corresponde con lo planteado por el EPRI.

ANEXO C.2 FACTOR DE CORRECCIÓN POR RESISTIVIDAD DEL AGUA DE LLUVIA (FRECUENCIA INDUSTRIAL)

El EPRI [2] proporciona la siguiente curva para obtener el factor de corrección debido a la resistividad del agua de lluvia (figura C.3).

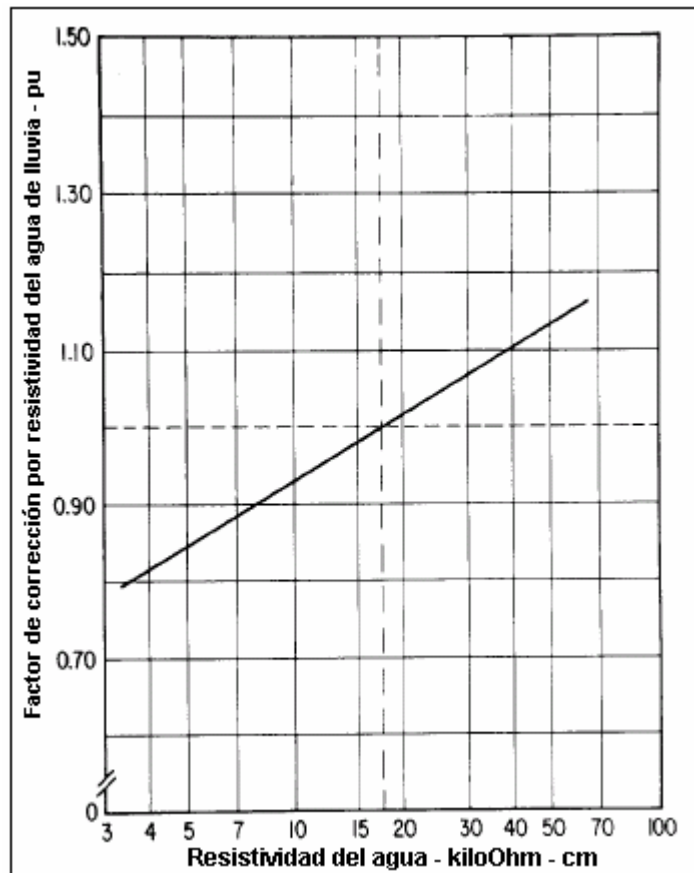


Figura C.3. Curva del factor de corrección
Por resistividad del agua de lluvia. [2]

La referencia [8] presenta la ecuación (C.3) para obtener el factor de corrección por resistividad del agua de lluvia:

$$K_r = 0,6389 + 0,1264 * \ln(\sigma_a) \quad (C.3)$$

Donde:

σ_a = Resistividad del agua de lluvia [$\text{k}\Omega/\text{cm}$]

Debido a la naturaleza logarítmica de la expresión anterior, se procedió a graficar dicha ecuación utilizando Mathcad para comparar el comportamiento de la curva obtenida con la presentada por el EPRI [2]:

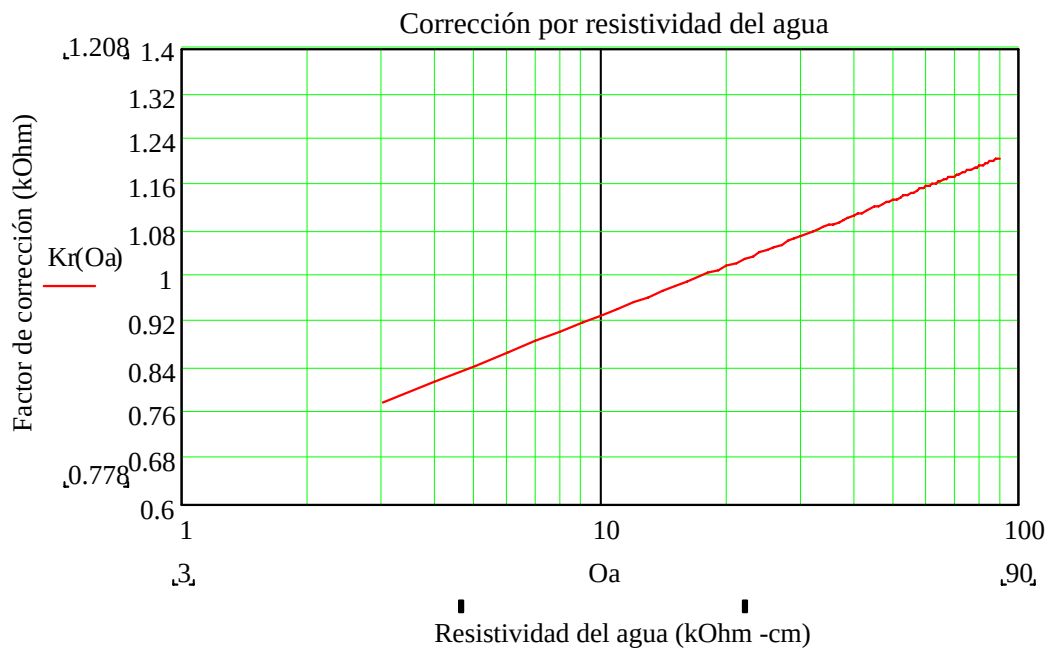


Figura C.4. Factor de corrección por resistividad del agua de lluvia obtenido de graficar la ecuación C.3

Al igual que el caso anterior, se realizó una tabla (Tabla C.2) para comparar analíticamente los valores obtenidos de la curva del EPRI y los obtenidos de la ecuación.

Tabla C.2. Comparación del factor de corrección por resistividad del agua de lluvia obtenidos por la referencias [2] y [8]

Resistividad del agua (kg-cm)	Factor de corrección obtenido de la curva (p.u.)	Factor de corrección obtenido de la ecuación (p.u.)
4	0,815	0,814
5	0,846	0,842
7	0,885	0,885
10	0,931	0,93
15	0,977	0,981
20	1,015	1,018
30	1,062	1,069
40	1,10	1,105
50	1,131	1,133

De la tabla C.2 y de la figura C.4, se observa que la ecuación describe con gran exactitud el comportamiento de la curva que presenta el EPRI, por lo cual para fines de programación se hizo uso de la ecuación (C.3) para corregir la tensión crítica disruptiva a frecuencia industrial por el efecto de la resistividad del agua de lluvia.

ANEXO C.3 FACTOR DE CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AIRE

ANEXO C.3.1 Para frecuencia industrial

El EPRI [2] proporciona la siguiente curva para obtener el factor de corrección debido a la resistividad del agua de lluvia (figura C.5).

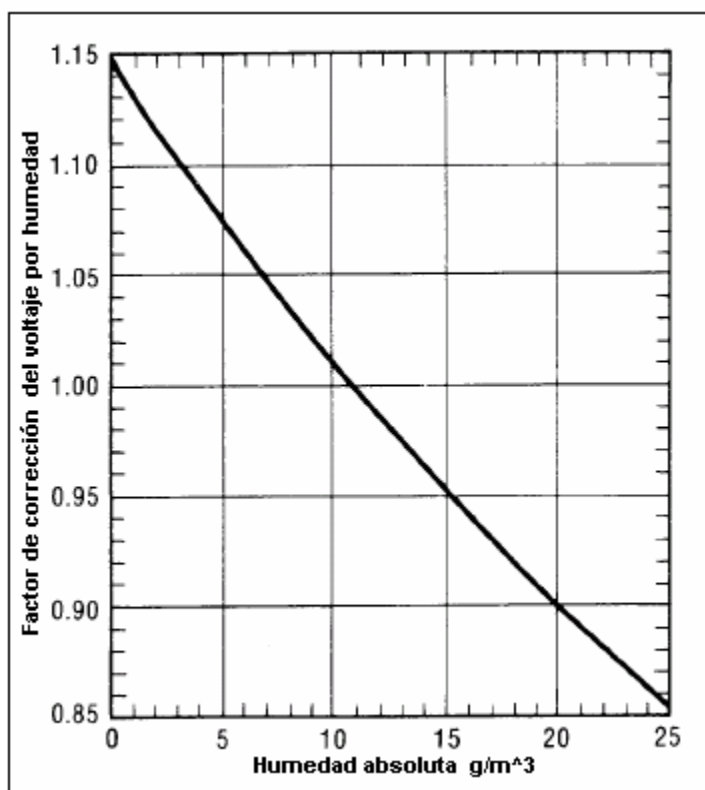


Figura C.5. Curva del factor de corrección por humedad del aire. [2]

De la curva anterior se obtuvieron los valores presentados en la tabla C.3, con los cuales se construyó la curva de la figura C.6 (curva de tendencia de tercer orden) y la ecuación correspondiente mediante el uso de Excel.

Tabla C.3. Datos para calcular el factor de corrección por humedad del aire

Humedad Absoluta (g/m ³)	Factor de corrección por humedad del aire (p.u)
0	1,15
3	1,1
5	1,072
7	1,045
10	1,01
10,9	1
15,2	0,95
20	0,89
24,5	0,85

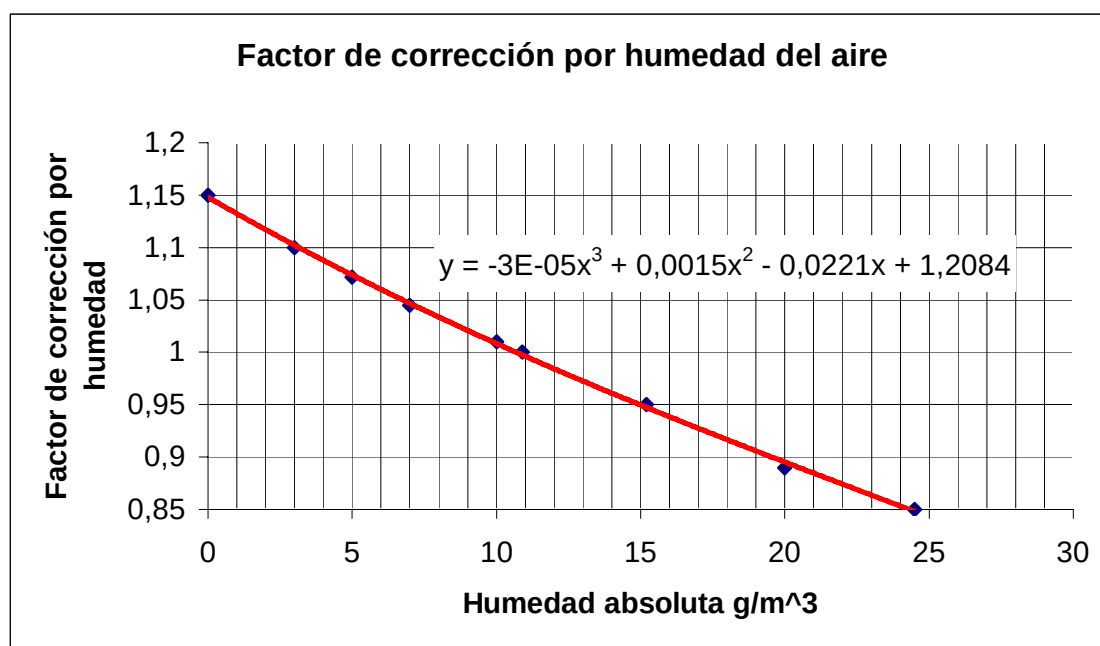


Figura C.6. Curva del factor de corrección por humedad del aire realizada a partir de los datos de la tabla C.3.

De la figura C.6 se obtuvo la expresión (C.4) para calcular el factor de corrección por humedad del aire:

$$H_v = 1,2084 - 0,0221 * H_a + 0,0015 * H_a^2 - 3 * 10^{-5} * H_a^3 \quad (C.4)$$

La cual se aproxima a la ecuación (A.5) propuesta en la referencia [8]

$$H_v = 1,2086 - 0,0214 * H_a + 0,000943 * H_a^2 - 2,941 * 10^{-5} * H_a^3 \quad (C.5)$$

Donde:

H_a = Humedad absoluta del aire [g/m³]

Debido a que la expresión (C.5) ha sido empleada previamente en el diseño del aislamiento en líneas aéreas [8], esta ecuación es la que se aplica para el cálculo del factor de corrección por humedad del aire en el programa elaborado por ser de más fácil manejo.

ANEXO C.3.2 Para sobretensiones de maniobra

La referencia [2] proporciona la siguiente curva para obtener el factor de corrección debido a la resistividad del agua de lluvia (figura C.7).

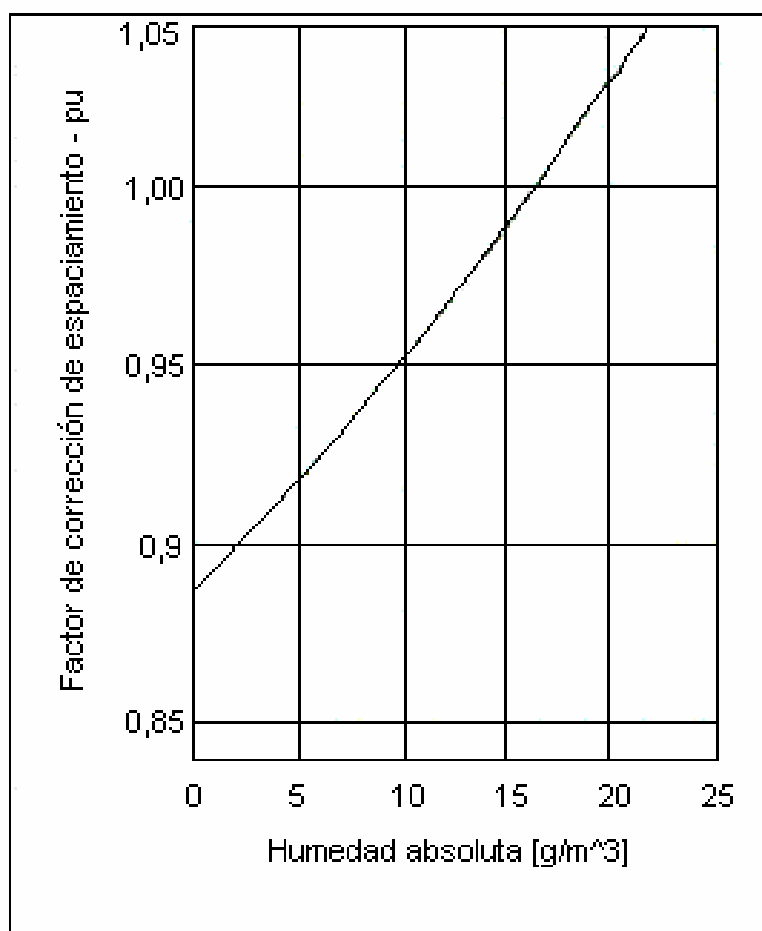


Figura C.7. Factor de corrección de espaciamiento por Humedad (sobretensiones de maniobra). [2]

De la curva anterior se obtuvieron los valores presentados en la tabla C.4, con los cuales se construyó la curva de la figura C.8 (curva de tendencia de tercer orden) y la ecuación correspondiente mediante el uso de Excel.

Tabla C.4. Datos para calcular el factor de corrección
Del espaciamiento por humedad del aire

Humedad Absoluta (g/m ³)	Factor de corrección por humedad del aire (p.u)
0	0,88625
2	0,9
5	0,92125
8,8	0,95
10	0,9575
15	1
20	1,04375

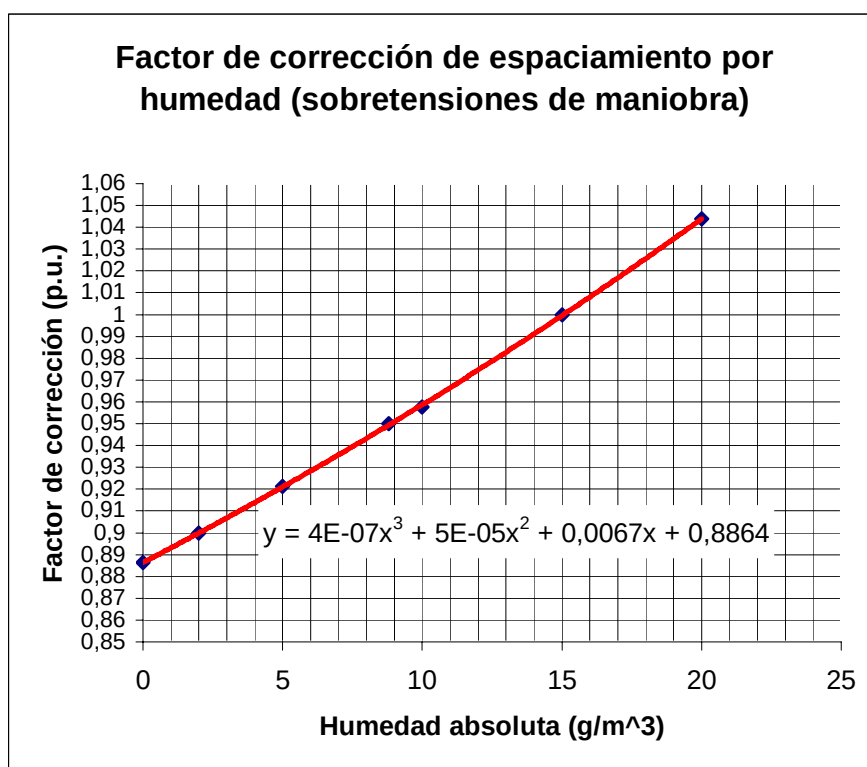


Figura C.8. Factor de corrección de espaciamiento por humedad (sobretensiones de maniobra), realizada a partir de los datos de la tabla C.4

De la figura C.8 se obtuvo la expresión (C.6) para calcular el factor de corrección por humedad del aire:

$$H_d = 4 \times 10^{-7} * H_a^3 + 5 \times 10^{-5} * H_a^2 + 0,0067 * H_a + 0,8864 \quad (C.6)$$

ANEXO C.4 FACTOR DE CORRECCIÓN POR DENSIDAD RELATIVA DEL AIRE COMO FUNCIÓN DE LA ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR Y DE LA TEMPERATURA

El EPRI proporciona el monograma de la figura C.9 para obtener el factor de corrección debido a la densidad relativa del aire:

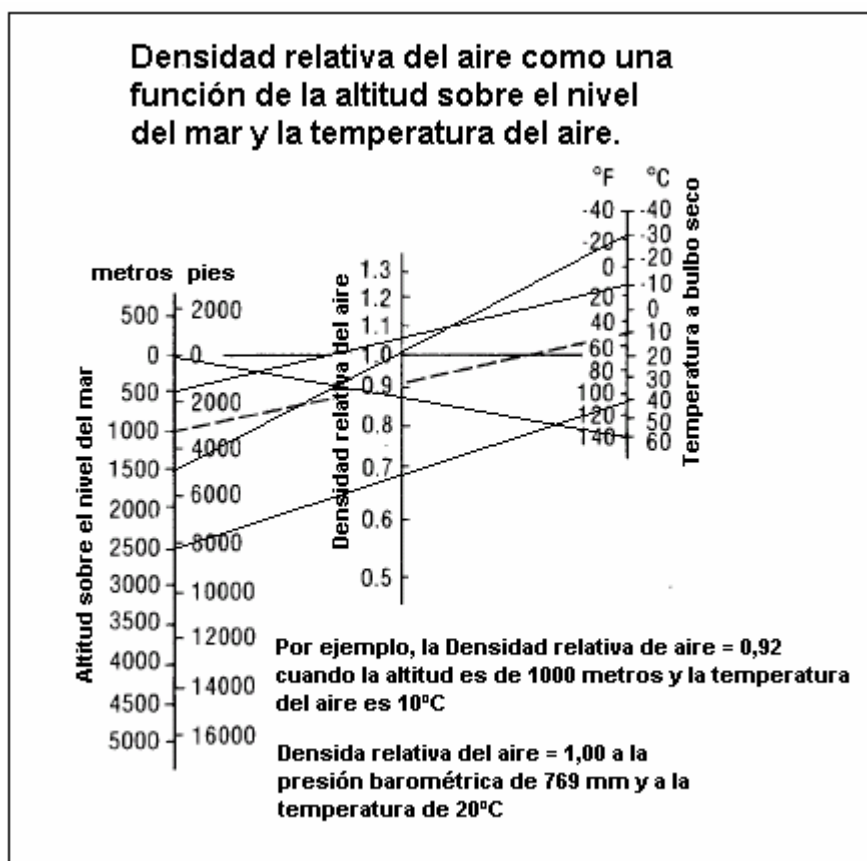


Figura C.9. Monograma de la densidad relativa del aire como función de la altitud y temperatura. [2]

De acuerdo a la referencia [8], la ecuación que relaciona la densidad relativa del aire con la altitud sobre el nivel del mar y la temperatura del aire es la siguiente (expresión C.7):

$$\delta = \frac{0.70667}{492 + \frac{9}{5} * Ts} * \frac{760}{10^{\frac{h}{18400} (1 + \alpha * Ts)}} \quad (C.7)$$

Debido a que dicha ecuación depende de dos variables, para verificarla y poder hacer uso de ella en el programa, se realizó la Tabla C.5, en la cual se comparan los valores obtenidos del monograma suministrado por el EPRI, y los obtenidos por el uso de la ecuación.

Tabla C.5. Factor de corrección por densidad relativa del aire obtenidos del monograma y de la ecuación.

Parámetros		Densidad relativa del aire (mmHg)	
<i>Altitud (m)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Factor de corrección obtenido del Monograma</i>	<i>Factor de corrección obtenido de la ecuación (A.6)</i>
0	20	1	1.017
1000	10	0.92	0.92502
500	-10	1.06	1.0667
2500	40	0.67	0.6657
0	60	0.89	0.8951
1500	-30	1.03	1.0371

De la tabla C.5 se observa que la ecuación describe con gran exactitud el comportamiento del monograma que presenta la EPRI, por lo cual para fines de programación se hizo uso de la ecuación (C.7) para corregir el voltaje crítico disruptivo por el efecto de la densidad relativa del aire.

ANEXO C.5 NIVEL DE CONTAMINACIÓN

Hasta hace algún tiempo la contaminación en los aisladores no era un problema, ya que los requerimientos de aislamiento dictaminados por las sobretensiones atmosféricas o de maniobra eran suficientes para tolerar sin problemas los grados de contaminación que normalmente existían en la mayoría de los sitios; sin embargo, con el aumento de la polución industrial se ha hecho necesario estudiar en profundidad el problema de la contaminación, debido a que en algunos casos este puede llegar a ser el factor determinante en la selección del aislamiento en las líneas eléctricas aéreas. Los datos relativos al tipo y densidad de los contaminantes se obtienen en forma experimental por mediciones hechas en distintas zonas geográficas de un país y que arrojan como resultado una clasificación de estas zonas.

El método evaluativo del nivel de contaminación mas utilizado es el de Densidad Equivalente de Sal Depositada (DESD), la cual se calcula midiendo la conductividad de la solución obtenida al lavar los aisladores. El DESD es la cantidad de NaCl (Cloruro de sodio) que tiene la misma conductividad que el electrolítico contenido en el contaminante depositado en la superficie del aislador. Para contaminación del mar se mide la densidad de sal depositada mientras que en la contaminación industrial debe hacerse un análisis químico para determinar el DESD.

En la referencia [34] se enumeran las principales fuentes de contaminación:

Contaminación marina: Los aisladores que se encuentran instalados cercanos al mar quedan cubiertos por una capa o película que se adhiere al mismo, provocando que se presenten descargas cuando la niebla o rocío humedecen los aisladores.

Contaminación industrial: Los aisladores que se encuentran en estas zonas están expuestos a contaminación por desechos de combustión (hollín) por polvo, y otros elementos. La composición química depende del tipo de industrias y las partículas difícilmente se pueden remover por el aire o la lluvia.

Contaminación desértica: Se presenta en zonas desérticas caracterizadas por escaso nivel de lluvias.

Contaminación por polvo: Se presenta en épocas de sequía cuando el viento levanta el polvo. El valor de DESD es bajo por lo cual no presenta un problema serio desde el punto de vista de diseño.

Contaminación agrícola: Normalmente se considera que en las zonas agrícolas no se presenta el problema de la contaminación. Sin embargo, si se usan fertilizantes o plaguicidas, éstos se pueden depositar en la superficie de los aisladores y producir problemas de descargas.

La experiencia acumulada sobre la operación de las líneas y subestaciones en áreas contaminadas [1], han permitido concluir que es posible llegar a diseños razonables y tomar medidas preventivas adecuadas, una vez se ha determinado la naturaleza y se cuantifique la severidad de la contaminación a que estarán sometidas las instalaciones. Entre estas medidas se encuentran:

Sobreaislamiento: Consiste en diseñar el aislamiento de manera de soportar las peores condiciones de contaminación. Esto pudiera no ser conveniente en todos los casos, debido a que puede dar lugar a diseños antieconómicos en relación con otras medidas que puedan adoptarse.

Lavado de los aisladores: Bajo ciertas circunstancias puede llegar a ser necesario lavar las líneas con regularidad durante los períodos secos del año, de manera de remover el contaminante de los aisladores y restaurar sus propiedades.

En la actualidad existen equipos que permiten el lavado de líneas y subestaciones energizadas. El lavado exige agua de alta resistividad a alta presión, para seguridad y mejor control del chorro en presencia de vientos fuertes. El costo del equipo de lavado, la disponibilidad de agua de alta resistividad y el tiempo requerido para el lavado, son factores determinantes de la conveniencia de adoptar este método.

Recubrimiento con grasa de silicón: Su costo es relativamente alto, y la mano de obra requerida considerable, ya que debe aplicarse a mano y procurando que el espesor de la capa de silicón sea uniforme. En áreas muy contaminadas, es generalmente necesario reemplazar la grasa al menos una vez al año, para lo cual se requiere desenergizar toda la línea.

**ANEXO C.6 EXPONENTE n_m PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR DE
CORRECCIÓN DE LA TENSIÓN CRÍTICA DISRUPTIVA POR
CONDICIONES AMBIENTALES ANTE SOBRETENSIONES DE
MANIOBRA.**

El EPRI [2] proporciona la siguiente curva para el cálculo del exponente “n” utilizado en la corrección por humedad y densidad relativa del aire de la tensión crítica disruptiva por sobretensiones de maniobra (figura C.10).

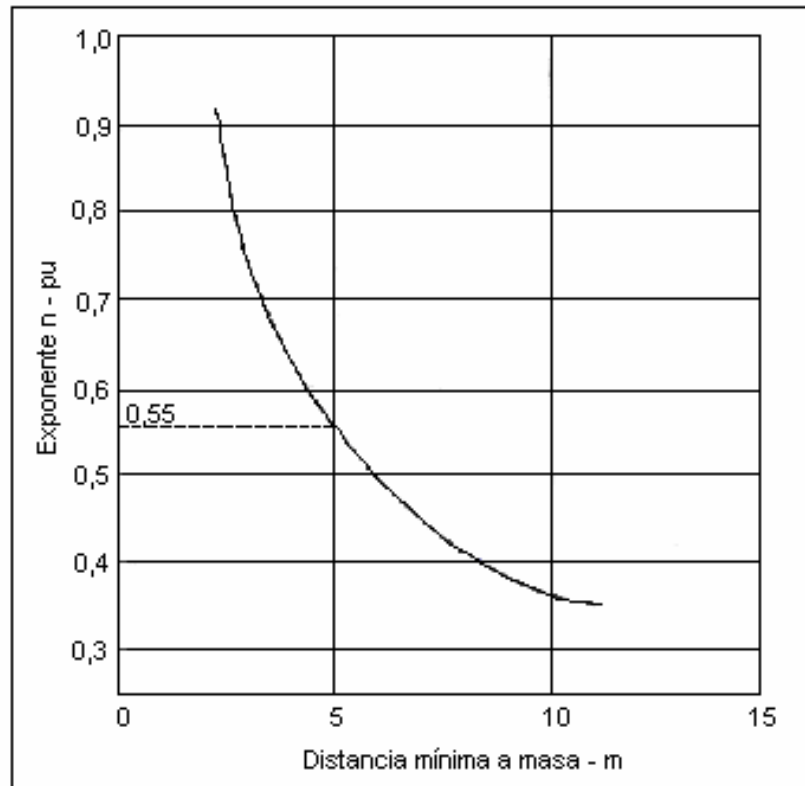


Figura C.10. Curva para el cálculo del exponente n para la corrección por humedad y densidad relativa del aire de la tensión crítica disruptiva. [2]

De la curva anterior se obtuvieron los valores presentados en la tabla C.6, con los cuales se construyó la curva de la figura C.11 (curva de tendencia de tercer orden) y la ecuación correspondiente mediante el uso de Excel.

Tabla C.6. Datos para calcular el exponente n empleado en la corrección por humedad y densidad relativa del aire de la tensión crítica disruptiva.

Distancia mínima (m)	Exponente n
2,33333	0,9
2,66666	0,8
3,22222	0,7
4,22222	0,6
5	0,55
5,66666	0,5
7,77777	0,4
10	0,347059

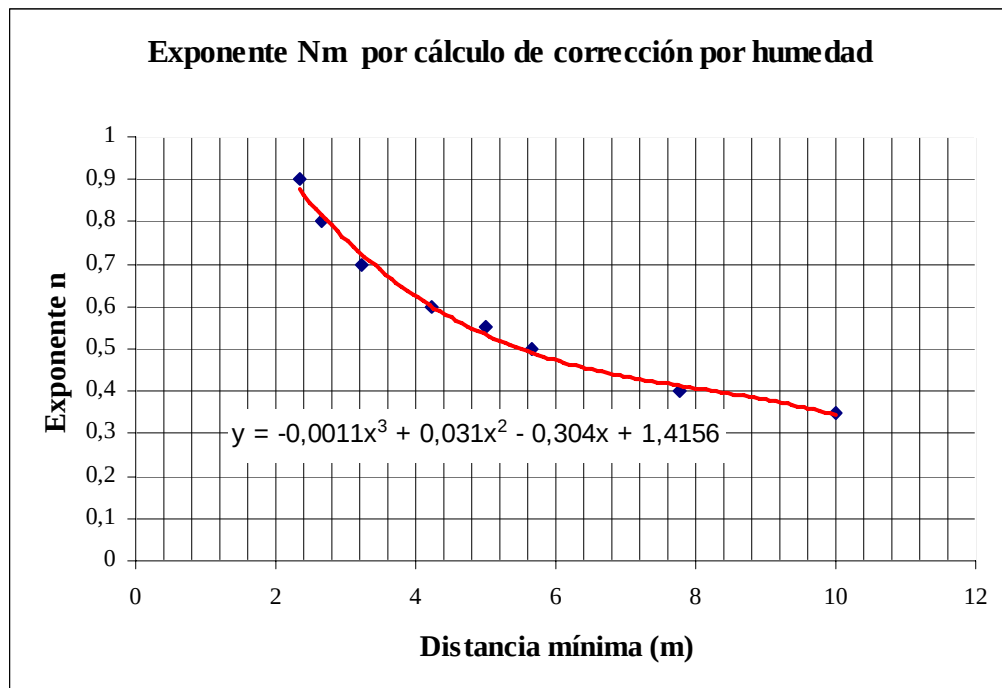


Figura C.11. Curva del Exponente n para el cálculo del factor de corrección por humedad y densidad relativa del aire, realizada a partir de los datos de la tabla C.6.

De la figura C.11 se obtuvo la expresión (C.8) para calcular el exponente n para el cálculo del factor de corrección por humedad y densidad relativa del aire de la tensión crítica disruptiva:

$$n_m = 1,4156 - 0,304 * Dman + 0,031 * Dman^2 - 0,0011 * Dman^3 \quad (C.8)$$

La cual se aproxima a la ecuación (C.9) propuesta en la referencia [8]

$$n_m = 1,4166 - 0,3031 * Dman + 0,03081 * Dman^2 - 0,001107 * Dman^3 \quad (C.9)$$

Donde:

Dman : Distancia mínima a masa por sobretensiones de maniobra.

Debido a que la expresión (C.9) ha sido empleada previamente en el diseño del aislamiento en líneas aéreas [8], esta ecuación es la que se aplica para el cálculo del factor de corrección por humedad del aire en el programa elaborado.

ANEXO E

ANEXO E.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS CADENAS DE SUSPENSIÓN ESTÁNDAR BASADO EN LOS PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS DE ANSI C29.1 [13]

Diam x espaciamiento	6" x 5 1/2"			7 1/2" x 5 3/4"			10" x 5"			10" x 5 3/4"			11" x 6 1/8"		
Nº unidades	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)
1	60	30	100	65	35	115	80	50	130	80	50	130	80	50	140
2	120	55	190	130	65	215	145	85	240	155	90	255	155	85	255
3	175	80	275	190	95	305	200	125	325	215	130	345	220	120	345
4	225	105	355	245	130	375	250	160	395	270	170	415	275	160	425
5	275	130	435	295	165	455	300	200	465	325	215	495	330	200	515
6	-	-	-	-	-	-	345	235	535	380	255	585	385	240	610
7	-	-	-	-	-	-	390	270	605	435	295	670	435	280	700
8	-	-	-	-	-	-	440	305	680	485	335	760	490	320	790
9	-	-	-	-	-	-	485	340	760	540	375	845	540	360	880
10	-	-	-	-	-	-	530	380	835	590	415	930	595	400	970
11	-	-	-	-	-	-	575	415	905	640	455	1015	645	440	1060
12	-	-	-	-	-	-	615	450	985	690	490	1105	695	475	1150
13	-	-	-	-	-	-	660	485	1060	735	525	1190	745	510	1240
14	-	-	-	-	-	-	700	520	1140	785	565	1275	790	545	1330
15	-	-	-	-	-	-	745	555	1210	830	600	1360	840	580	1420
16	-	-	-	-	-	-	785	585	1290	875	635	1440	890	615	1510
17	-	-	-	-	-	-	825	615	1365	920	670	1530	935	650	1605
18	-	-	-	-	-	-	865	650	1435	965	705	1615	980	685	1700
19	-	-	-	-	-	-	905	680	1510	1010	740	1700	1025	720	1795
20	-	-	-	-	-	-	945	715	1585	1055	775	1785	1070	750	1890
21	-	-	-	-	-	-	985	745	1660	1100	810	1870	1115	785	1985
22	-	-	-	-	-	-	1025	775	1735	1145	845	1955	1160	815	2080
23	-	-	-	-	-	-	1065	805	1810	1190	880	2040	1205	850	2175
24	-	-	-	-	-	-	1105	835	1885	1235	915	2125	1250	880	2270
25	-	-	-	-	-	-	1145	865	1960	1280	950	2210	1290	915	2365

Diam x espaciamento	12 5/8" x 7 3/4"			10" x 5 3/4" (tipo FOG)			11 1/2" x 6 1/4" (tipo FOG)			12 5/8" x 7" (tipo FOG)			15 3/4" x 7 3/4" (tipo FOG)		
Nº unidades	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)
1	95	55	150	100	60	160	100	60	170	110	65	170	120	70	190
2	180	100	255	160	95	260	170	105	280	175	125	245	185	125	315
3	260	145	380	220	130	355	240	145	380	240	160	355	260	170	435
4	335	190	465	275	165	435	300	185	480	300	195	465	340	215	550
5	400	235	580	335	200	520	360	225	580	360	235	580	415	260	670
6	465	280	680	390	235	605	420	265	675	420	275	690	485	305	780
7	530	325	780	440	270	690	475	305	760	475	310	800	555	350	900
8	595	370	880	490	305	775	530	345	855	535	345	910	620	395	1015
9	660	415	975	540	335	860	585	380	950	595	385	1020	695	440	1130
10	720	460	1080	590	365	950	640	415	1045	650	420	1130	755	485	1245
11	780	510	1180	635	395	1040	690	450	1140	695	455	1225	815	530	1370
12	840	555	1280	680	425	1130	740	485	1235	745	495	1315	875	575	1490
13	895	595	1380	730	455	1220	790	520	1330	795	535	1410	935	620	1610
14	950	635	1480	775	480	1310	840	555	1425	845	570	1500	995	665	1730
15	1005	675	1580	820	505	1400	885	590	1520	895	605	1600	1055	710	1845
16	1060	720	1680	865	530	1490	930	620	1615	940	635	1705	1115	755	1960
17	1115	760	1780	910	555	1585	975	650	1710	990	665	1815	1173	795	2075
18	1170	800	1880	955	580	1670	1020	680	1805	1040	695	1925	1235	840	2185
19	1225	840	1980	1000	605	1755	1065	705	1900	1090	725	2025	1295	885	2300
20	1280	880	2080	1040	625	1840	1110	730	1995	1135	755	2130	1355	930	2415
21	1335	920	2175	1080	645	1925	1155	750	2090	1175	780	2240	1410	970	2505
22	1390	960	2270	1115	665	2010	1195	770	2185	1220	805	2340	1470	1015	2640
23	1445	995	2365	1150	685	2095	1235	785	2280	1260	830	2440	1525	1060	2750
24	1500	1030	2460	1185	705	2180	1270	800	2370	1305	850	2540	1580	1105	2865
25	1555	1065	2550	1220	720	2265	1305	815	2460	1345	870	2640	1635	1150	2980

**ANEXO E.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS CADENAS DE SUSPENSIÓN
ESTÁNDAR BASADO EN LOS PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS DE IEC PUB
383 Y BRITISH STANDARD 137 [13]**

Diam x espaciamiento	175 x 110 mm (7" x 4 5/16")			254 x 127 mm (10" x 5")			254 x 146 mm (10" x 5 3/4")			280 x 170 mm (11" x 6 3/4")			320 x 195 mm (12 5/8" x 7 3/4")		
	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)
1	55	37	80	78	45	125	78	45	125	80	47	130	80	50	140
2	100	65	150	130	75	215	140	80	230	145	80	230	155	85	255
3	145	95	215	180	110	290	195	115	310	205	115	315	220	120	345
4	185	115	280	225	145	355	245	155	375	260	160	400	275	160	425
5	225	140	345	270	180	420	290	195	445	315	200	485	330	200	515
6	-	-	-	310	210	480	340	230	525	365	235	575	385	240	610
7	-	-	-	350	245	545	390	265	605	415	270	665	435	280	700
8	-	-	-	395	275	610	435	300	685	465	310	750	90	53	145
9	-	-	-	435	305	685	485	335	760	515	345	840	165	90	230
10	-	-	-	475	335	750	530	375	835	565	380	930	235	130	340
11	-	-	-	515	370	815	575	410	915	610	420	1015	300	170	420
12	-	-	-	555	405	885	620	440	995	660	455	1105	360	210	520
13	-	-	-	595	435	955	660	475	1070	700	490	1190	420	250	610
14	-	-	-	630	470	1025	705	510	1145	750	520	1280	480	290	700
15	-	-	-	670	500	1090	745	540	1225	790	550	1365	535	335	790
16	-	-	-	705	525	1160	785	570	1295	840	585	1450	590	375	875
17	-	-	-	740	555	1230	830	600	1375	885	615	1540	645	415	970
18	-	-	-	780	585	1290	870	635	1455	930	650	1630	700	460	1060
19	-	-	-	815	610	1360	910	665	1530	970	680	1720	755	500	1150
20	-	-	-	850	640	1425	950	700	1605	1010	710	1810	805	535	1240
21	-	-	-	885	670	1490	990	730	1680	1050	740	1900	855	570	1330
22	-	-	-	920	695	1560	1030	760	1755	1090	775	1990	905	605	1420
23	-	-	-	955	725	1630	1070	790	1830	1130	805	2080	955	645	1510
24	-	-	-	990	750	1700	1110	820	1905	1170	835	2170	1005	685	1600
25	-	-	-	1025	775	1770	1150	855	1980	1210	870	2260	1055	720	1690

Diam x espaciamiento	254 x 146 mm (10'' x 5 3/4'') TIPO FOG			292 x 159 mm (11 1/2'' x 6 1/4'') TIPO FOG			320 x 170 mm (12 5/8'' x 6 3/4'') TIPO FOG			400 x 195 mm (15 3/4'' x 7 3/4'') TIPO FOG		
N° unidades	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)	Frecuencia industrial en seco (kV)	Frecuencia industrial en húmedo (kV)	Impulso atmosférico negativo (kV)
1	95	50	145	95	50	155	100	55	160	110	65	175
2	145	85	235	155	95	250	150	105	200	165	115	285
3	200	115	320	215	130	340	210	145	300	235	155	390
4	250	150	390	270	165	430	265	175	400	305	195	495
5	300	180	470	325	200	520	320	205	500	375	235	605
6	350	210	545	380	240	605	370	240	600	440	275	700
7	395	240	620	425	275	685	420	270	700	500	315	810
8	440	270	700	475	310	770	470	300	790	560	355	915
9	485	300	775	525	340	855	515	335	885	625	395	1020
10	530	330	855	575	375	940	570	365	980	680	435	1120
11	570	355	935	620	405	1025	610	395	1060	735	475	1230
12	610	380	1015	665	435	1110	655	430	1140	790	520	1340
13	655	405	1100	710	470	1200	700	460	1220	840	560	1450
14	695	430	1180	755	500	1280	745	490	1295	895	600	1555
15	740	455	1260	795	530	1370	785	520	1375	950	640	1660
16	780	480	1340	835	560	1450	830	550	1470	1005	680	1765
17	820	500	1425	880	585	1540	870	575	1555	1055	715	1870
18	860	520	1500	920	610	1625	910	605	1645	1110	755	1970
19	900	545	1580	960	635	1710	950	630	1740	1165	795	2070
20	935	565	1655	1000	655	1795	990	655	1835	1220	835	2175
21	970	580	1730	1040	675	1880	1025	680	1925	1270	875	2575
22	1005	600	1810	1075	695	1970	1060	700	2015	1320	915	2380
23	1035	615	1885	1110	705	2055	1100	720	2105	1370	955	2475
24	1065	635	1960	1140	720	2125	1135	740	2195	1420	995	2580
25	1100	650	2040	1175	735	2215	1170	755	2285	1470	1035	2680

ANEXO F

ANEXO F.1. SIMULACIONES EMPLEANDO EL PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL AISLAMIENTO EN LÍNEAS (PCAL)

Para todos los casos mostrados a continuación, se asumieron las mismas condiciones ambientales, y del sistema eléctrico (excepto la tensión del sistema), que las presentadas en el estudio realizado por Perdomo, C. [8] en la línea de transmisión a 115 kV entre la S/E Barinas I y la S/E Socopó (Tabla F.1).

Tabla C.1. Datos ambientales y del sistema eléctrico empleados en las simulaciones

DATOS AMBIENTALES [8]	
Temperatura (°C)	26,5
Velocidad del viento de 5 min. (km/h)	87
Altura a la cual fue medida la velocidad del viento (m)	12
Tasa de precipitación (mm/min)	0,4583
Resistividad del agua de lluvia (kΩ/cm)	10
Humedad relativa del aire (%)	73
Nivel cerúneo de la región (días de tormentas al año)	60
Altitud de la línea (msnm)	200
Máxima resistividad del terreno (Ω*m)	30159,28
DATOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO [8]	
Factor de máxima tensión permitida en operación normal (pu)	1,05
Incremento de tensión en caso de fallas	1,3
Desviación estándar del aislamiento a frecuencia industrial (%)	3
Número de desviaciones estándar	2
Factor de seguridad para el cálculo del aislamiento en ambiente contaminado	1,1
Desviación estándar del aislamiento ante sobretensiones de maniobra (%)	6
Sobretensión de maniobra (p.u)	2
Relación tensión de impulso/sobretensión de maniobra	1,2

a) Tensión del sistema: 13,8 kV

DATOS DE LOS CONDUCTORES [14]	
Número de cables de guarda	1
Altura del conductor (m)	10,89
Altura del cable de guarda (m)	12,61
Separación entre el cable de guarda y la fase (m)	2,766
Separación horizontal entre el conductor y el cable de guarda (m)	1,306
Vano real (m)	150
Vano medio (m)	200
Vano gravante (m)	170
Radio del conductor (cm)	0,4633
Peso unitario del conductor (kg/m)	0,5995
Tensión en el conductor (kg)	1124,0625
Radio del cable de guarda (cm)	0,32715
Peso unitario del cable de guarda (kg/m)	0,377
Tensión en el cable de guarda (kg)	883,5937
DATOS DE LA ESTRUCTURA [14]	
Altura de la torre (m)	12,8
Ancho de la torre (m)	0,69
Resistencia de puesta a tierra a baja frecuencia (Ω)	10

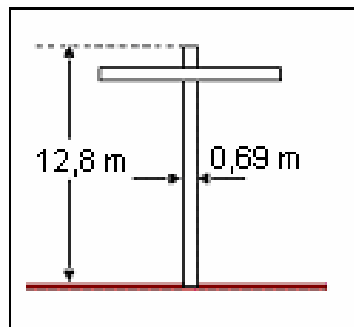


Figura F.2 Esquema de la estructura empleada
En este caso

a.1) Resultados obtenidos en PCAL para un nivel de contaminación despreciable

TIPO DE AISLADOR: Cuenca y bola (CA-531 EY)

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Resultados]:

Archivo Ayuda Cerrar Ventana

Coordinación del Aislamiento		Sobretensiones Inducidas
Aislamiento a Frecuencia Industrial: Sin contaminación: Condición seca: Vfis: 16.04615 kV Nafis: 1 Aisladores Condición húmeda: Vfih: 18.73253 kV Nafih: 1 Aisladores Con contaminación: Nafic: 1 Aisladores Distancia mínima: 2.808076E-02 m		
Aislamiento ante Sobretensiones de Maniobra: Sin contaminación: Vsm: 29.4663 kV Con contaminación: Nasm: 1 Aisladores Distancia mínima: 6.900971E-02 m		
Aislamiento ante Sobretensiones Atmosféricas: Vsa: 114.9172 kV		
Tasa de salida debido a Sobretensiones Atmosféricas directas: Circuito con cable de guarda: Tasa de salida debido a fallas de apantallamiento: 6.457834E-04 Salidas 100 km-año Tasa de salida debido a descargas retroactivas (Back Flash Over): 0.4935947 Salidas 100 km-año Circuito sin cable de guarda: Tasa de salida esperada: Salidas 100 km-año		
EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES N° CA-531EY (TIPO CUENCA Y BOLA) DE NGK INSULATORS, PARA LA CADENA DE SUSPENSIÓN ES DE 1 UNIDADES.		
Cerrar		

Inicio PCAL - M... Última v... Anexo F... Dibujo - ... 7:10

a.2) Resultados obtenidos en PCAL para un nivel de contaminación muy alto

TIPO DE AISLADOR: Fog (CA-855EZ)

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Resultados]:

Archivo Ayuda Cerrar Ventana

Coordinación del Aislamiento		Sobretensiones Inducidas
Aislamiento a Frecuencia Industrial: Sin contaminación: Condición seca: Vfis: 16.04615 kV Nafis: 1 Aisladores Condición húmeda: Vfih: 18.73253 kV Nafih: 1 Aisladores Con contaminación: Nafic: 1 Aisladores Distancia mínima: 2.808076E-02 m		
Aislamiento ante Sobretensiones de Maniobra: Sin contaminación: Vsm: 29.4663 kV Con contaminación: Nasm: 3 Aisladores Distancia mínima: 6.900971E-02 m		
Aislamiento ante Sobretensiones Atmosféricas: Vsa: 358.5418 kV		
Tasa de salida debido a Sobretensiones Atmosféricas directas: Circuito con cable de guarda: Tasa de salida debido a fallas de apantallamiento: 4.091106E-03 Salidas 100 km-año Tasa de salida debido a descargas retroactivas (Back Flash Over): 0.4926249 Salidas 100 km-año Circuito sin cable de guarda: Tasa de salida esperada: Salidas 100 km-año		
EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES N° CA-855EZ (TIPO FOG) DE NGK INSULATORS, PARA LA CADENA DE SUSPENSIÓN ES DE 3 UNIDADES.		
Cerrar		

Inicio Última v... Anexo F... Dibujo - ... PCAL - M... 7:19

b) Tensión del sistema: 34,5 kV

DATOS DE LOS CONDUCTORES [14]	
Número de cables de guarda	1
Altura del conductor (m)	11,277
Altura del cable de guarda (m)	12,8
Separación entre el cable de guarda y la fase (m)	3,36
Separación horizontal entre el conductor y el cable de guarda (m)	3,10
Vano real (m)	150
Vano medio (m)	200
Vano gravante (m)	170
Radio del conductor (cm)	0,4633
Peso unitario del conductor (kg/m)	0,5995
Tensión en el conductor (kg)	1124,0625
Radio del cable de guarda (cm)	0,32715
Peso unitario del cable de guarda (kg/m)	0,377
Tensión en el cable de guarda (kg)	883,5937
DATOS DE LA ESTRUCTURA [35]	
Altura de la torre (m)	12,9
Ancho de la torre (m)	0,69
Resistencia de puesta a tierra a baja frecuencia (Ω)	10

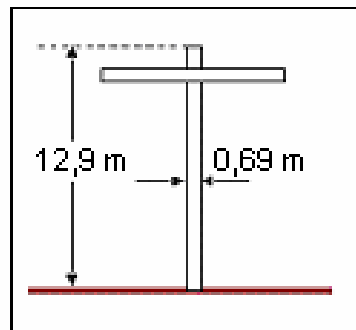


Figura F.3 Esquema de la estructura empleada
En este caso

b.1) Resultados obtenidos en PCAL para un nivel de contaminación despreciable

TIPO DE AISLADOR: Cuenca y bola (CA-531 EY)

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Resultados]:

Archivo Ayuda Cerrar Ventana

Coordinación del Aislamiento		Sobretensiones Inducidas
Aislamiento a Frecuencia Industrial: <u>Sin contaminación:</u> Condición seca: Vfis: 40,11537 kV Nafis: 1 Aisladores Condición húmeda: Vfih: 46,83132 kV Nafih: 2 Aisladores <u>Con contaminación:</u> Nafic: 2 Aisladores Distancia mínima: 0,0702019 m		
Aislamiento ante Sobretensiones de Maniobra: <u>Sin contaminación:</u> Vsm: 73,68114 kV <u>Con contaminación:</u> Nasm: 3 Aisladores Distancia mínima: 0,1737998 m Aislamiento ante Sobretensiones Atmosféricas: Vsa: 284,9948 kV		
Tasa de salida debido a Sobretensiones Atmosféricas directas: <u>Circuito con cable de guarda:</u> Tasa de salida debido a fallas de apantallamiento: 1,621644 Salidas 100 km-año Tasa de salida debido a descargas retroactivas (Back Flash Over): 0,4932041 Salidas 100 km-año <u>Circuito sin cable de guarda:</u> Tasa de salida esperada: Salidas 100 km-año		
EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES N° CA-531EY (TIPO CUENCA Y BOLA) DE NGK INSULATORS, PARA LA CADENA DE SUSPENSIÓN ES DE 3 UNIDADES.		
Cerrar		

Inicio [Iconos] >> [Iconos] Última v... Anexo F... Dibujo - ... PCAL - M... 7:23

b.2) Resultados obtenidos en PCAL para un nivel de contaminación muy alto

TIPO DE AISLADOR: Fog (CA-855EZ)

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Resultados]:

Archivo Ayuda Cerrar Ventana

Coordinación del Aislamiento		Sobretensiones Inducidas
Aislamiento a Frecuencia Industrial: <u>Sin contaminación:</u> Condición seca: Vfis: 40,11537 kV Nafis: 1 Aisladores Condición húmeda: Vfih: 46,83132 kV Nafih: 1 Aisladores <u>Con contaminación:</u> Nafic: 3 Aisladores Distancia mínima: 0,0702019 m		
Aislamiento ante Sobretensiones de Maniobra: <u>Sin contaminación:</u> Vsm: 73,68114 kV <u>Con contaminación:</u> Nasm: 6 Aisladores Distancia mínima: 0,1737998 m Aislamiento ante Sobretensiones Atmosféricas: Vsa: 643,5366 kV		
Tasa de salida debido a Sobretensiones Atmosféricas directas: <u>Circuito con cable de guarda:</u> Tasa de salida debido a fallas de apantallamiento: 2,108242 Salidas 100 km-año Tasa de salida debido a descargas retroactivas (Back Flash Over): 0,4894212 Salidas 100 km-año <u>Circuito sin cable de guarda:</u> Tasa de salida esperada: Salidas 100 km-año		
EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES N° CA-855EZ (TIPO FOG) DE NGK INSULATORS, PARA LA CADENA DE SUSPENSIÓN ES DE 6 UNIDADES.		
Cerrar		

Inicio [Iconos] >> [Iconos] Última v... Anexo F... Dibujo - ... PCAL - M... 7:25

c) Tensión del sistema: 69 kV

DATOS DE LOS CONDUCTORES [14,35]	
Número de cables de guarda	2
Altura del conductor (m)	13,4112
Altura del cable de guarda (m)	15,24
Separación entre los cables de guardas (m)	3,3528
Separación entre el cable de guarda y la fase (m)	3,3528
Separación horizontal entre el conductor y el cable de guarda (m)	1,6764
Vano real (m)	150
Vano medio (m)	200
Vano gravante (m)	170
Radio del conductor (cm)	0,5202
Peso unitario del conductor (kg/m)	0,7558
Tensión en el conductor (kg)	1200
Radio del cable de guarda (cm)	0,3674
Peso unitario del cable de guarda (kg/m)	0,4775
Tensión en el cable de guarda (kg)	900
DATOS DE LA ESTRUCTURA [35]	
Altura de la torre (m)	15,3
Ancho de la torre (m)	0,69
Distancia b (m)	3,3528
Resistencia de puesta a tierra a baja frecuencia (Ω)	10

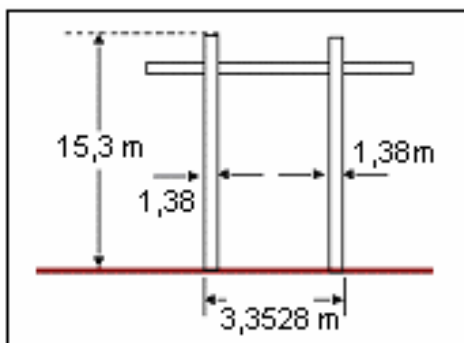


Figura F.3 Esquema de la estructura empleada
En este caso

c.1) Resultados obtenidos en PCAL para un nivel de contaminación despreciable

TIPO DE AISLADOR: Cuenca y bola (CA-531 EY)

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Resultados]:

Archivo Ayuda Cerrar Ventana

Coordinación del Aislamiento		Sobretensiones Inducidas
Aislamiento a Frecuencia Industrial: <u>Sin contaminación:</u> Condición seca: Vfis: 80.23074 kV Nafis: 2 Aisladores Condición húmeda: Vfih: 93.66264 kV Nafih: 3 Aisladores <u>Con contaminación:</u> Nafic: 3 Aisladores Distancia mínima: 0.1404038 m		
Aislamiento ante Sobretensiones de Maniobra: <u>Sin contaminación:</u> Vsm: 147.3797 kV Con contaminación: Nasmc: 5 Aisladores Distancia mínima: 0.3519145 m		
Tasa de salida debido a Sobretensiones Atmosféricas directas: <u>Circuito con cable de guarda:</u> Tasa de salida debido a fallas de apantallamiento: 0.2199317 Salidas 100 km-año Tasa de salida debido a descargas retroactivas (Back Flash Over): 0.5636333 Salidas 100 km-año <u>Circuito sin cable de guarda:</u> Tasa de salida esperada: Salidas 100 km-año		
Aislamiento ante Sobretensiones Atmosféricas: Vsa: 409.1054 kV		
EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES N° CA-531EY (TIPO CUENCA Y BOLA) DE NGK INSULATORS, PARA LA CADENA DE SUSPENSIÓN ES DE 5 UNIDADES.		
Cerrar		

Inicio | Última v... | Dibujo - ... | Anexo F ... | PCAL - M... | 8:57

c.2) Resultados obtenidos en PCAL para un nivel de contaminación muy alto

TIPO DE AISLADOR: Fog (CA-855EZ)

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Resultados]:

Archivo Ayuda Cerrar Ventana

Coordinación del Aislamiento		Sobretensiones Inducidas
Aislamiento a Frecuencia Industrial: <u>Sin contaminación:</u> Condición seca: Vfis: 80.23074 kV Nafis: 1 Aisladores Condición húmeda: Vfih: 93.66264 kV Nafih: 2 Aisladores <u>Con contaminación:</u> Nafic: 5 Aisladores Distancia mínima: 0.1404038 m		
Aislamiento ante Sobretensiones de Maniobra: <u>Sin contaminación:</u> Vsm: 147.3797 kV Con contaminación: Nasmc: 11 Aisladores Distancia mínima: 0.3519145 m		
Tasa de salida debido a Sobretensiones Atmosféricas directas: <u>Circuito con cable de guarda:</u> Tasa de salida debido a fallas de apantallamiento: 0.2892224 Salidas 100 km-año Tasa de salida debido a descargas retroactivas (Back Flash Over): 0.5279918 Salidas 100 km-año <u>Circuito sin cable de guarda:</u> Tasa de salida esperada: Salidas 100 km-año		
Aislamiento ante Sobretensiones Atmosféricas: Vsa: 1130.786 kV		
EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES N° CA-855EZ (TIPO FOG) DE NGK INSULATORS, PARA LA CADENA DE SUSPENSIÓN ES DE 11 UNIDADES.		
Cerrar		

Inicio | Última v... | Dibujo - ... | Anexo F ... | PCAL - M... | 9:00

d) Tensión del sistema: 230 kV

DATOS DE LOS CONDUCTORES [14,35]	
Número de cables de guarda	2
Altura del conductor (m)	19,5072
Altura del cable de guarda (m)	24,384
Separación entre los cables de guardas (m)	11,2058
Separación entre el cable de guarda y la fase (m)	8,9647
Separación horizontal entre el conductor y el cable de guarda (m)	3,1376
Vano real (m)	450
Vano medio (m)	550
Vano gravante (m)	500
Radio del conductor (cm)	3,065
Peso unitario del conductor (kg/m)	1,537
Tensión en el conductor (kg)	1500
Radio del cable de guarda (cm)	0,4355
Peso unitario del cable de guarda (kg/m)	0,308
Tensión en el cable de guarda (kg)	600
DATOS DE LA ESTRUCTURA [35]	
Altura de la torre (m)	24,5
Ancho de la torre (m)	4,48
Resistencia de puesta a tierra a baja frecuencia (Ω)	10

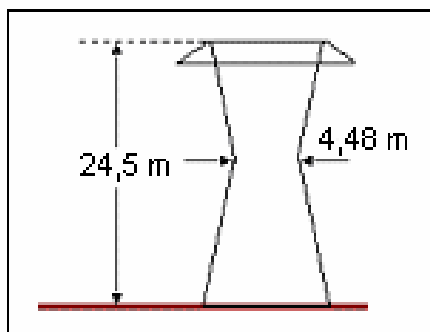


Figura F.3 Esquema de la estructura empleada
En este caso

d.1) Resultados obtenidos en PCAL para un nivel de contaminación despreciable

TIPO DE AISLADOR: Cuenca y bola (CA-531 EY)

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Resultados]:

Archivo Ayuda Cerrar Ventana

Coordinación del Aislamiento		Sobretensiones Inducidas
Aislamiento a Frecuencia Industrial: <u>Sin contaminación:</u> Condición seca: Vfis: 267,4358 kV Nafis: 5 Aisladores Condición húmeda: Vfih: 312,2088 kV Nafih: 9 Aisladores <u>Con contaminación:</u> Nafic: 8 Aisladores Distancia mínima: 0,4680126 m		
Aislamiento ante Sobretensiones de Maniobra: <u>Sin contaminación:</u> Vsm: 491,1396 kV <u>Con contaminación:</u> Nasmc: 17 Aisladores Distancia mínima: 1,248339 m Aislamiento ante Sobretensiones Atmosféricas: Vsa: 1264,09 kV		
Tasa de salida debido a Sobretensiones Atmosféricas directas: <u>Circuito con cable de guarda:</u> Tasa de salida debido a fallas de apantallamiento: 0,1099073 Salidas 100 km-año Tasa de salida debido a descargas retroactivas (Back Flash Over): 0,5753735 Salidas 100 km-año <u>Circuito sin cable de guarda:</u> Tasa de salida esperada: Salidas 100 km-año		
EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES N° CA-531EY (TIPO CUENCA Y BOLA) DE NGK INSULATORS, PARA LA CADENA DE SUSPENSIÓN ES DE 17 UNIDADES.		
Cerrar		

Inicio Última version Dibujo - Paint PCAL - Micro... Anexo F - Mi... 9:54

c.2) Resultados obtenidos en PCAL para un nivel de contaminación muy alto

TIPO DE AISLADOR: Fog (CA-855EZ)

PCAL (Programa para la Coordinación del Aislamiento en Líneas) - [Resultados]:

Archivo Ayuda Cerrar Ventana

Coordinación del Aislamiento		Sobretensiones Inducidas
Aislamiento a Frecuencia Industrial: <u>Sin contaminación:</u> Condición seca: Vfis: 267,4358 kV Nafis: 4 Aisladores Condición húmeda: Vfih: 312,2088 kV Nafih: 7 Aisladores <u>Con contaminación:</u> Nafic: 9 Aisladores Distancia mínima: 0,4680126 m		
Aislamiento ante Sobretensiones de Maniobra: <u>Sin contaminación:</u> Vsm: 491,1396 kV <u>Con contaminación:</u> Nasmc: 18 Aisladores Distancia mínima: 1,248339 m Aislamiento ante Sobretensiones Atmosféricas: Vsa: 1811,096 kV		
Tasa de salida debido a Sobretensiones Atmosféricas directas: <u>Circuito con cable de guarda:</u> Tasa de salida debido a fallas de apantallamiento: 0,3766965 Salidas 100 km-año Tasa de salida debido a descargas retroactivas (Back Flash Over): 0,4916089 Salidas 100 km-año <u>Circuito sin cable de guarda:</u> Tasa de salida esperada: Salidas 100 km-año		
EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES N° CA-855EZ (TIPO FOG) DE NGK INSULATORS, PARA LA CADENA DE SUSPENSIÓN ES DE 18 UNIDADES.		
Cerrar		

Inicio Última version Anexo F - Microsoft... PCAL - Microsoft Vis... 10:15

**ANEXO F.2. DATOS DEL PROYECTO LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115kV
DOBLE TERNA, S/E BARINAS I - S/E SOCOPÓ [8]**

DATOS AMBIENTALES	
Temperatura (°C)	26,5
Velocidad del viento de 5 min. (km/h)	87
Altura a la cual fue medida la velocidad del viento (m)	12
Tasa de precipitación (mm/min)	0,4583
Resistividad del agua de lluvia (kΩ/cm)	10
Humedad relativa del aire (%)	73
Nivel cerúneo de la región (días de tormentas al año)	60
Altitud de la línea (msnm)	200
Nivel de contaminación de la región (mg/cm ²)	0,03
Máxima resistividad del terreno (Ω*m)	30159,28
DATOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO	
Tensión del sistema (kV)	115
Factor de máxima tensión permitida en operación normal (pu)	1,05
Incremento de tensión en caso de fallas	1,3
Desviación estándar del aislamiento a frecuencia industrial (%)	3
Número de desviaciones estándar	2
Factor de seguridad para el cálculo del aislamiento en ambiente contaminado	1,1
Desviación estándar del aislamiento ante sobretensiones de maniobra (%)	6
Sobretensión de maniobra (p.u)	2
Relación tensión de impulso/sobretensión de maniobra	1,2
DATOS DE LOS CONDUCTORES	
Número de cables de guarda	2
Altura del conductor (m)	29,25
Altura del cable de guarda (m)	33,6
Separación entre los cables de guarda (m)	3
Separación entre el cable de guarda y la fase (m)	5,28
Separación horizontal entre el conductor y el cable de guarda (m)	3
Vano real (m)	450
Vano medio (m)	550
Vano gravante (m)	500
Radio del conductor (cm)	1,03
Peso unitario del conductor (kg/m)	0,698
Tensión en el conductor (kg)	1323,42
Radio del cable de guarda (cm)	0,338
Peso unitario del cable de guarda (kg/m)	0,254
Tensión en el cable de guarda (kg)	540

DATOS DE LA ESTRUCTURA	
Altura de la torre (m)	33,7
Ancho de la torre (m)	3,5
Resistencia de puesta a tierra a baja frecuencia (Ω)	10

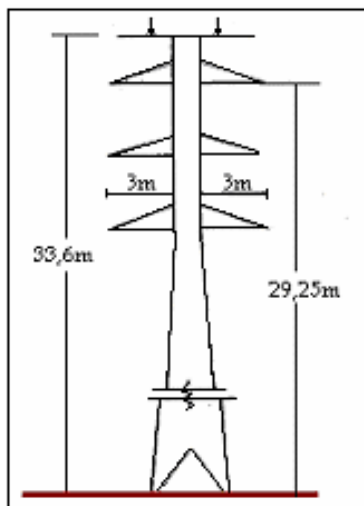


Figura F.1 Esquema de la estructura empleada en este proyecto

TIPO DE AISLADOR: Aislador estándar 146x254mm

- Tensión de resistencia a la frecuencia industrial en seco: 70 kV/unid.
- Tensión de resistencia a la frecuencia industrial en húmedo: 40 kV/unid.
- Tensión de resistencia a la frecuencia industrial en ambiente contaminado (DESD=0,03 mg/cm²): 12,8 kV/unid.
- Tensión de resistencia ante sobretensiones de maniobra: 110 kV/unid.
- Tensión de resistencia ante sobretensiones de maniobra en ambiente contaminado (DESD=0,03 mg/cm²): 39 kV/unid.

ANEXO G

CÓDIGO FUENTE DEL PROGRAMA DE COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO EN LÍNEAS (PCAL)

DECLARACIÓN DE LAS VARIABLES

'Banderas
Public Band As Boolean, Bandayuda As Integer, Band1 As Boolean
' General
Public V11 As Single, Catalogo As String, Aislador As String, Naisla As Single,
Public Naisladores As Single, Naislad As Single, TipoAisladores As String
'Factores de corrección ambiental
Public Ts As Single, PV As Single, Hr As Single, Ha As Single, Hv As Single, Hd As Single
Public Dra As Single, Asnm As Single, Longaislacion As Single, V5min As Single
Public V5seg As Single, V5mindurst As Single, V5minnutt As Single, V5minfarr As Single
Public Tp As Single, Kp As Single, Rall As Single, Kr As Single, NCR As Single
Public Resistterreno As Single
'Frecuencia industrial
Public Sigmaf As Single, Kf As Single, CFO As Single, K As Single, Dsm As Single
Public Diamc As Single, Ks As Single, Angcad As Single, Vmed As Single, Vgrav As Single
Public Umax As Single, Ksv As Single, Pesoc As Single, Dfv As Single, Dmin As Single
Public Dfh As Single, Expnfi As Single, CFOcorr As Single, Dmincorr As Single
Public CFOcorrlluv As Single, Distfuga As Single, Naisfis As Single, Naisfih As Single
Public Nnfi As Single, Nnfiaprox As Single
'Sobretensiones de maniobra
Public Sigmasm As Single, Sm As Single, K1 As Single, Vsm As Single, CFoman As Single
Public CFomanll As Single, Dmsm As Single, CFoman1 As Single, Dmsmcorr As Single
Public Expm As Single, CFomank1 As Single, CFomancca As Single, Naimcont As Single
Public Naimcontaprox As Single
'Sobretensiones atmosféricas
Public Pesocg As Single, Lvano As Single, Tcond As Single, Flechacon As Single
Public Flechacg As Single, Hcefe As Single, Hcgefe As Single, Hcon As Single, Hcg As Single
Public Rcon As Single, Zcond As Single, Imin As Single, Vcdsatm As Single, tita As Single
Public beta As Single, Smin As Single, alfas As Single, omega As Single, Xs As Single
Public Ndesc As Single, Tcg As Single, DY0 As Single, eme As Single, Bss As Single
Public Css As Single, Smax As Single, Imax As Single, Tsalfa As Single, Xgc As Single
Public CFOsobatm As Single, Dccgim As Single, Dccg As Single, Zccg As Single, Zcg As Single
Public Kac As Single, Ztorre As Single, Htorre As Single, Distr As Single, Zs As Single
Public Zm As Single, Distb As Single, ncg As Single, Ecritico As Single, Rpt As Single
Public Icritico As Single, Itierra As Single, Iprueb As Single, DeltaV As Single
Public Ntierra As Single, wd As Single, Dhcg As Single, Distcg As Single, Nlinea As Single
Public Ntorre As Single, TsalbFO As Single, Wsg As Single, Tsalscg As Single, Distcon As Single
Public Ass As Single, Rioni As Single, Zequiv As Single, Irayo As Single, Rcg As Single
Public Imp1 As Single, CFOian As Single
'Metodología de Rusck
Public Ior As Single, tsr As Single, Iorusck As Single, nitar As Single, Vindru2 As Single
Public Ymaxru As Single, Tsalusck As Single, Ncrru As Single, Ngru As Single, Yru As Single
Public Vindru As Single, Vrru As Single, Yminru As Single, Ymru As Single, CFOrusck As Single
Public rsru As Single, Ioru As Single, rgru As Single, Tfr As Single, Tcr As Single, Vrc As Single
Public Vindr As Single, Yor As Single, Maxtenrusck As Single

'Metodología de Voislav

Public Tcvois As Single, CFOvois As Single, Iovoislav As Single, Tfvois As Single, rsvois As Single
Public rgvois As Single, Yovois As Single, Kuvois As Single, K1vois As Single, K5vois As Single
Public Vindvois As Single, Iovo As Single, Yminvois As Single, Vindvo As Single,
Public Ymaxvois As Single, Ngvois As Single, Tfvo As Single, Kuvo As Single, Kovo As Single,
Public K1vo As Single, K5vo As Single, Ymvois As Single, Kovois As Single, Tsvoislav As Single,
Public lov As Single, tsv As Single, Iovois As Single, nita As Single, K5v As Single, Vindv As Single,
Public Yov As Single, Tfv As Single, Tcv As Single, Kuv As Single, Kov As Single, K1v As Single,
Public Maxtenvoislav As Single, Mpcv As Single, Sdiv As Single, Mttcv As Single, Sdtfv As Single,
Public Coefcov As Single, Acv As Single, Bcv As Single, PIpTfv As Single

'Metodología de Chowdhuri

Public Ioc As Single, Hcc As Single, Yoc As Single, Xoc As Single, Tfc As Single, Tsim As Single
Public beta1 As Single, Bo As Single, Tin As Single, Tof As Single, Tsc As Single, Ttf As Single
Public Fo As Single, Mo As Single, M1 As Single, No As Single, N1 As Single, M1a As Single,
Public N1a As Single, F1 As Single, F2 As Single, F3 As Single, F4 As Single, F5 As Single,
Public F6 As Single, F7 As Single, F8 As Single, F9 As Single, F10 As Single, F11 As Single,
Public F12 As Single, F13 As Single, F1a As Single, F2a As Single, F3a As Single, F4a As Single,
Public F5a As Single, F6a As Single, F7a As Single, F8a As Single, F9a As Single, F10a As Single,
Public F11a As Single, F12a As Single, F13a As Single, Vind As Single, V1 As Single, V2 As Single,
Public Tschowdh As Single, Tsalchowdhuri As Single, Hnube As Single, CFOchowd As Single,
Public Maxtenchowdhuri As Single, Descarchowd As Single

' Base de datos de Access

Public db As Database, rs As Recordset, rs1 As Recordset, rs2 As Recordset, rs3 As Recordset

' Objetos tipo Excel y base de datos de excel

Public Spathr As String, Excelappr As Object, objLibroexcelr As Excel.Workbook
Public objHojaExcelr As Excel.Worksheet, Spathv As String, Excelappv As Object
Public objLibroexcelv As Excel.Workbook, objHojaExcelv As Excel.Worksheet
Public Spath As String, Excelapp As Object, objLibroexcel As Excel.Workbook
Public objHojaExcel As Excel.Worksheet, Spathais As String, Excelais As Object
Public objLibroexcelais As Excel.Workbook, objHojaExcelais As Excel.Worksheet
Public Colfis As Single, Colfi As Single, Colian As Single
Option Explicit

CÓDIGO QUE SE ACTIVA AL CARGARSE EL PROGRAMA

Private Sub Form_Load()

frmInicio.Show 1

Band = True

Código para que la primera ficha que aparezca sea la de datos ambientales

sstDatos.Tab = 0

sstDatos.TabEnabled(5) = False

Variables para para manipular la base de datos de los aisladores y las diferentes tablas de los tipos de aisladores

Set db = OpenDatabase(App.Path & "\aislador de suspension.mdb")

Set rs1 = db.OpenRecordset("SELECT*FROM Clevisngk ", dbOpenSnapshot)

Set rs2 = db.OpenRecordset("SELECT*FROM Cuencaybolangk", dbOpenSnapshot)

Set rs3 = db.OpenRecordset("SELECT*FROM Fogngk", dbOpenSnapshot)

Set rs4 = db.OpenRecordset("SELECT*FROM Clevisgamma ", dbOpenSnapshot)

Set rs5 = db.OpenRecordset("SELECT*FROM Cuencaybolagamma", dbOpenSnapshot)

Set rs6 = db.OpenRecordset("SELECT*FROM Foggamma", dbOpenSnapshot)

Set rs = rs1

Call MostrarRegistroAislador

End Sub

DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD DE ANDERSON

```
Function Prob(I As Single) As Single
    Prob = 1 / (1 + (I / 31) ^ 2.6)
End Function
```

DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN LOGARITMO NEPERIANO (LN)

```
Function Ln(N As Single) As Single
    Ln = Log(N) / Log(Exp(1))
End Function
```

DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN ARCOSENO (ARCSIN)

```
Function Arcsin(N As Single) As Single
    Arcsin = Atn(N / Sqr(-N * N + 1))
End Function
```

DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN ARCCOSENO (ARCCOS)

```
Function Arccos(N As Single) As Single
    Arccos = Atn(-N / Sqr(-N * N + 1)) + 2 * Atn(1)
End Function
```

DESVIACIÓN ESTANDAR A FRECUENCIA INDUSTRIAL

```
Private Sub cboDefi_Click()
    Sigmaf = cboDefi.ItemData(cboDefi.ListIndex) / 100
End Sub
```

DESVIACIÓN ESTANDAR ANTE SOBRETENSIONES DE MANIOBRA

```
Private Sub cboDesm_Click()
    Sigmasm = cboDesm.ItemData(cboDesm.ListIndex) / 100
End Sub
```

CÓDIGO PARA VERIFICAR SI EL USUARIO DESEA EMPLEAR LOS AISLADORES DE LA BASE DE DATOS U OTRO

```
Private Sub chkAislador_Click()
    Dim I As Integer
    If chkAislador.Value = 1 Then
        fraTipoais.Enabled = False
        For I = 0 To 2
            optAislador(I).Enabled = False
        Next I
        fraFabricante.Enabled = False
        For I = 0 To 1
            optFabricante(I).Enabled = False
        Next I
        lstAisladores.BackColor = vbScrollBars
        For I = 0 To 3
            cmdMover(I).Enabled = False
        Next I
        txtEspecificacion.Text = ""
        txtDiamdisco.Text = ""
        txtAltais.Enabled = True
        txtAltais.Text = ""
        txtAltais.BackColor = vbWhite
        txtAltais.SetFocus
        txtDistfuga.Enabled = True
    End If
End Sub
```

```

txtDistfuga.Text = ""
txtDistfuga.BackColor = vbWhite
txtTrfis.Enabled = True
txtTrfis.Text = ""
txtTrfis.BackColor = vbWhite
txtTrfih.Enabled = True
txtTrfih.Text = ""
txtTrfih.BackColor = vbWhite
txtTrim.Enabled = True
txtTrim.Text = ""
txtTrim.BackColor = vbWhite
txtTrian.Enabled = True
txtTrian.Text = ""
txtTrian.BackColor = vbWhite
txtResiselec.Text = ""
txtResisimpac.Text = ""
txtCargarutina.Text = ""
txtCargasostenida.Text = ""
lblNota.Visible = False
For I = 0 To 7
    lblAsterisco(I).Visible = True
Next
Else
    fraTipois.Enabled = True
    For I = 0 To 2
        optAislador(I).Enabled = True
    Next
    fraFabricante.Enabled = True
    For I = 0 To 1
        optFabricante(I).Enabled = True
    Next
    lstAisladores.BackColor = vbWhite
    For I = 0 To 3
        cmdMover(I).Enabled = True
    Next
    txtAltais.Enabled = False
    txtAltais.BackColor = vbScrollBars
    txtDistfuga.Enabled = False
    txtDistfuga.BackColor = vbScrollBars
    txtTrfis.Enabled = False
    txtTrfis.BackColor = vbScrollBars
    txtTrfih.Enabled = False
    txtTrfih.BackColor = vbScrollBars
    txtTrim.Enabled = False
    txtTrim.BackColor = vbScrollBars
    txtTrian.Enabled = False
    txtTrian.BackColor = vbScrollBars
    For I = 0 To 7
        lblAsterisco(I).Visible = False
    Next
    lblNota.Visible = True
    Call TipoAislador
    Call MostrarRegistroAislador
End If

```

End Sub

CÓDIGO PARA SABER QUE OPCIÓN MARCO EL USUARIO EN LAS METODOLOGÍAS PARA EL CÁLCULO DE LA TENSION INDUCIDA

```
Private Sub chkChowdhuri_Click()  
If chkChowdhuri.Value = 1 Then  
    If chkVoislav.Value = 0 And chkRusck.Value = 0 Then  
        Call CasoC  
    End If  
    If chkVoislav.Value = 1 Or chkRusck.Value = 1 Then  
        Call casoA  
    End If  
Else  
    If chkVoislav.Value = 1 Or chkRusck.Value = 1 Then  
        Call CasoB  
    End If  
    If chkVoislav.Value = 0 And chkRusck.Value = 0 Then  
        Call CasoD  
    End If  
End If  
End Sub  
Private Sub chkInducido_Click()  
    If chkInducido.Value = 0 Then  
        sstDatos.TabEnabled(5) = False  
    Else  
        sstDatos.TabEnabled(5) = True  
    End If  
End Sub  
Private Sub chkRusck_Click()  
If chkRusck.Value = 1 Then  
    If chkVoislav.Value = 0 And chkChowdhuri.Value = 0 Then  
        Call CasoB  
    End If  
    If chkVoislav.Value = 1 And chkChowdhuri.Value = 0 Then  
        Call CasoB  
    End If  
    If chkChowdhuri.Value = 1 Then  
        Call casoA  
    End If  
Else  
    If chkVoislav.Value = 1 And chkChowdhuri.Value = 0 Then  
        Call CasoB  
    End If  
    If chkChowdhuri.Value = 1 And chkVoislav.Value = 0 Then  
        Call CasoC  
    End If  
    If chkVoislav.Value = 0 And chkChowdhuri.Value = 0 Then  
        Call CasoD  
    End If  
End If  
End Sub  
Private Sub chkVoislav_Click()  
If chkVoislav.Value = 1 Then  
    If chkChowdhuri.Value = 0 Then
```

```

        Call CasoB
    End If
    If chkChowdhuri.Value = 1 Then
        Call casoA
    End If
Else
    If chkRusck.Value = 1 And chkChowdhuri.Value = 0 Then
        Call CasoB
    End If
    If chkChowdhuri.Value = 1 And chkRusck.Value = 0 Then
        Call CasoC
    End If
    If chkRusck.Value = 0 And chkChowdhuri.Value = 0 Then
        Call CasoD
    End If
End If
End Sub

```

CÓDIGO QUE SE ACTIVA AL HACER CLICK SOBRE EL BOTÓN CALCULAR

```

Private Sub cmdcalcular_Click()
If Band = True Then ' Si el usuario escogió calcular aislamiento en el menú opciones
' Verificación de que ninguna casilla esté vacía
'Casilla de temperatura:
If Len(txtTemp) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de temperatura", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 0
    txtTemp.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de Velocidad del viento:
If Len(txtVeloc) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de velocidad del viento", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 0
    txtVeloc.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de Altura:
If Len(txtAltu) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de altura a la cual fue medida la velocidad del viento", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 0
    txtAltu.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de Tasa de precipitación:
If Len(txtPrecip) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de tasa de precipitación", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 0
    txtPrecip.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de Resistividad del agua de lluvia:
If Len(txtRall) = 0 Then

```

```

    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de resistividad del agua de lluvia", 0 + 48,
"Advertencia"
    sstDatos.Tab = 0
    txtRall.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de Humedad relativa del aire:
If Len(txtHra) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de humedad relativa del aire", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 0
    txtHra.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de Nivel cerámico de la región:
If Len(txtNcr) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de nivel cerámico de la región", 0 + 48,
"Advertencia"
    sstDatos.Tab = 0
    txtNcr.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de Altitud sobre el nivel del mar de la línea:
If Len(txtAsnm) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de altitud de la línea (S.N.M)", 0 + 48,
"Advertencia"
    sstDatos.Tab = 0
    txtAsnm.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de resistividad del terreno:
If Len(txtResistter) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de resistividad del terreno", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 0
    txtResistter.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla desplegable de la tensión de operación del sistema
If V11 = 0 Then
    MsgBox "Debe escoger un valor en la casilla de tensión de operación del sistema", 0 + 48,
"Advertencia"
    sstDatos.Tab = 1
    cboV11.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla del factor de máxima tensión de operación:
If Len(txtKsv) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla del factor de máxima tensión permitida en operación
normal", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 1
    txtKsv.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla del incremento de tensión durante fallas:
If optKf(2).Value = True Then

```



```

    If Len(txtKf) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla del incremento de tensión en fases sanas durante una falla", 0 + 48, "Advertencia"
        sstDatos.Tab = 1
        txtKf.SetFocus
    Exit Sub
    End If
End If
'Casilla desplegable de la desviacion estándar a F.I.
If Sigmaf = 0 Then
    MsgBox "Debe escoger un valor en la casilla de desviación estándar del aislamiento a frecuencia industrial", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 1
    cboDefi.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de número de desviaciones estandar:
If Len(txtNde) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de número de desviaciones estándar por debajo de la medida del aislamiento", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 1
    txtNde.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla del factor de seguridad:
If Len(txtFactseg) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla del factor de seguridad para el cálculo del aislamiento en zona contaminada", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 1
    txtFactseg.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla desplegable de la desviacion estándar a S.M.
If Sigmasm = 0 Then
    MsgBox "Debe escoger un valor en la casilla de desviación estándar del aislamiento ante sobretensiones de maniobra", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 1
    cboDesm.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de sobretensión de maniobra:
If Len(txtSobmaniobra) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de sobretensión de maniobra en p.u.", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 1
    txtSobmaniobra.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de tensión de impulso/sob. de maniobra:
If Len(txtImpmaniobra) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de tensión de impulso/sobretensión de maniobra", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 1
    txtImpmaniobra.SetFocus

```

```

Exit Sub
End If
'Casilla de altura de conductor:
If Len(txtAlturacf) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de altura del conductor de fase", 0 + 48,
"Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtAlturacf.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de altura del cable de guarda:
If Len(txtAlturacg) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de altura del cable de guarda", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtAlturacg.SetFocus
    Exit Sub
End If

'Casilla de separación entre los cables de guarda:
If optNcg(2).Value = True Then
    If Len(txtSepcgc) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de separación entre los cable de guarda", 0 + 48,
"Advertencia"
        sstDatos.Tab = 2
        txtSepcgc.SetFocus
        Exit Sub
    End If
End If
'Casilla de separación entre el cable de guarda y el conductor:
If Len(txtSepcgy) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de separación entre el cable de guarda y el conductor
de fase", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtSepcgy.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de separación horizontal entre el cable de guarda y el conductor:
If Len(txtSepcyg) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de separación horizontal entre el cable de guarda y
el conductor de fase", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtSepcyg.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de separación entre los conductores:
If optNcg(0).Value = True Then
    If Len(txtSepcond) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de separación entre los conductores de fases mas
elevados", 0 + 48, "Advertencia"
        sstDatos.Tab = 2
        txtSepcond.SetFocus
        Exit Sub
    End If
End If

```

'Casilla de Vano real:

```
If Len(txtVanoreal) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de vano real", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtVanoreal.SetFocus
    Exit Sub
End If
```

'Casilla de Vano medio:

```
If Len(txtVanomedio) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de vano medio", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtVanomedio.SetFocus
    Exit Sub
End If
```

'Casilla de Vano gravante:

```
If Len(txtVanograv) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de vano gravante", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtVanograv.SetFocus
    Exit Sub
End If
```

'Casilla de radio del conductor:

```
If Len(txtRadiocon) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla del radio del conductor", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtRadiocon.SetFocus
    Exit Sub
End If
```

'Casilla de peso del conductor:

```
If Len(txtPesocon) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de peso unitario del conductor", 0 + 48,
    "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtPesocon.SetFocus
    Exit Sub
End If
```

'Casilla de tensión del conductor:

```
If Len(txtTensioncon) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de tensión del conductor", 0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtTensioncon.SetFocus
    Exit Sub
End If
```

'Casilla de radio del cable de guarda:

```
If Len(txtRadiocg) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla del radio del cable de guarda", 0 + 48,
    "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtRadiocg.SetFocus
    Exit Sub
End If
```

'Casilla de peso del cable de guarda:

```
If Len(txtPesocg) = 0 Then
```

```

    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de peso unitario del cable de guarda", 0 + 48,
"Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtPesocg.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de tensión del cable de guarda:
If Len(txtTensioncg) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de tensión del cable de guarda", 0 + 48,
"Advertencia"
    sstDatos.Tab = 2
    txtTensioncg.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de tensión de la altura de la torre:
If Len(txtAlturat) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de Altura de la estructura(ht) ", 0 + 48,
"Advertencia"
    sstDatos.Tab = 3
    txtAlturat.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de tensión del ancho de la torre:
If Len(txtDiamet) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de Ancho de la estructura (Dt) ", 0 + 48,
"Advertencia"
    sstDatos.Tab = 3
    txtDiamet.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de tensión del ancho "b" de la torre:
If optTorre(1).Value = True Then
    If Len(txtanchot) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de distancia b ", 0 + 48, "Advertencia"
        sstDatos.Tab = 3
        txtanchot.SetFocus
        Exit Sub
    End If
End If
'Casilla de tensión de impedancia de la estructura:
If optTorre(4).Value = True Then
    If Len(txtImpedt) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de impedancia de la estructura", 0 + 48,
"Advertencia"
        sstDatos.Tab = 3
        txtImpedt.SetFocus
        Exit Sub
    End If
End If
'Casilla de tensión de resistencia de puesta a tierra:
If Len(txtResistpt) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de Resistencia de puesta a tierra a baja frecuencia ",
0 + 48, "Advertencia"
    sstDatos.Tab = 3

```

```

    txtResistpt.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de Altura del aislador:
If chkAislador.Value = 1 Then
    If Len(txtAltais) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de altura del aislador", 0 + 48, "Advertencia"
        sstDatos.Tab = 4
        txtAltais.SetFocus
        Exit Sub
    End If
'Casilla de Distancia de fuga:
    If Len(txtDistfuga) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de distancia de fuga", 0 + 48, "Advertencia"
        sstDatos.Tab = 4
        txtDistfuga.SetFocus
        Exit Sub
    End If

'Casilla de tensión de resistencia a la frec. ind. seco:
    If Len(txtTrfis) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de tensión de resistencia a frecuencia industrial en seco", 0 + 48, "Advertencia"
        sstDatos.Tab = 4
        txtTrfis.SetFocus
        Exit Sub
    End If
'Casilla de tensión de resistencia a la frec. ind. húmedo:
    If Len(txtTrfih) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de tensión de resistencia a frecuencia industrial en húmedo", 0 + 48, "Advertencia"
        sstDatos.Tab = 4
        txtTrfih.SetFocus
        Exit Sub
    End If
'Casilla de tensión de resistencia al imp. de manioba:
    If Len(txtTrim) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de tensión de resistencia al impulso de maniobra", 0 + 48, "Advertencia"
        sstDatos.Tab = 4
        txtTrim.SetFocus
        Exit Sub
    End If
'Casilla de tensión de resistencia al imp. atmosférico negativo:
    If Len(txtTrian) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de tensión de resistencia al impulso atmosférico negativo", 0 + 48, "Advertencia"
        sstDatos.Tab = 4
        txtTrian.SetFocus
        Exit Sub
    End If
End If

If V11 <= 69 And chkInducido.Value = 1 Then

```

```

Do While chkInducido.Value = 1
    'Ninguna metodología marcada para el cálculo de la tensión inducida marcada
    If chkRusck.Value = 0 And chkVoislav.Value = 0 And chkChowdhuri.Value = 0 Then
        MsgBox "Debe escoger por lo menos una metodología para el cálculo de la sobretensión
inducida en la línea", 0 + 48, "Error"
        sstDatos.TabEnabled(5) = True
        sstDatos.Tab = 5
        chkRusck.SetFocus
        Exit Sub
    End If
    'Casilla de amplitud de la corriente del rayo:
    If Len(txtIo) = 0 Then
        If MsgBox("La casilla de amplitud de la corriente del rayo está vacía. ¿Desea continuar con el
cálculo de las sobretensiones inducidas?", 4 + 48, "PCAL") _
            = vbYes Then
            sstDatos.TabEnabled(5) = True
            sstDatos.Tab = 5
            txtIo.SetFocus
            Exit Sub
        Else
            chkInducido.Value = 0
            Exit Do
        End If
    End If
    'Casilla de tiempo de frente:
    If Len(txtTfrente) = 0 Then
        If MsgBox("La casilla de tiempo de frente de la forma de onda del rayo está vacía. ¿Desea
continuar con el cálculo de las sobretensiones inducidas?", 4 + 48, "PCAL") _
            = vbYes Then
            sstDatos.TabEnabled(5) = True
            sstDatos.Tab = 5
            txtTfrente.SetFocus
            Exit Sub
        Else
            chkInducido.Value = 0
            Exit Do
        End If
    End If
    'Casilla de tiempo de cola:
    If Len(txtTcola) = 0 Then
        If chkVoislav.Value = 1 Or chkRusck.Value = 1 Then
            If MsgBox("La casilla de tiempo de cola de la forma de onda del rayo está vacía. ¿Desea
continuar con el cálculo de las sobretensiones inducidas?", 4 + 48, "PCAL") _
                = vbYes Then
                sstDatos.TabEnabled(5) = True
                sstDatos.Tab = 5
                txtTcola.SetFocus
                Exit Sub
            Else
                chkInducido.Value = 0
                Exit Do
            End If
        End If
    End If
End If

```

```

'Casilla de Altura de la nube:
If chkChowdhuri.Value = 1 Then
    If Len(txtAnube) = 0 Then
        If MsgBox("La casilla de altura de la nube está vacía. ¿Desea continuar con el cálculo de las sobretensiones inducidas? ", 4 + 48, "PCAL") _
            = vbYes Then
                sstDatos.TabEnabled(5) = True
                sstDatos.Tab = 5
                txtAnube.SetFocus
                Exit Sub
            Else
                chkInducido.Value = 0
                Exit Do
            End If
        End If
    End If
End If
'Casilla de distancia perpendicular:
If Len(txtYo) = 0 Then
    If MsgBox("La casilla de la Distancia perpendicular entre el punto de impacto de la descarga y la línea (Yo) está vacía. ¿Desea continuar con el cálculo de las sobretensiones inducidas? ", 4 + 48, "PCAL") _
        = vbYes Then
            sstDatos.TabEnabled(5) = True
            sstDatos.Tab = 5
            txtYo.SetFocus
            Exit Sub
        Else
            chkInducido.Value = 0
            Exit Do
        End If
    End If
End If
'Casilla de Distancia Xind:
If chkChowdhuri.Value = 1 Then
    If Len(txtXind) = 0 Then
        If MsgBox("La casilla del Punto sobre la línea donde se desea calcular la tensión inducida (X) está vacía. ¿Desea continuar con el cálculo de las sobretensiones inducidas? ", 4 + 48, "PCAL") _
            = vbYes Then
                sstDatos.TabEnabled(5) = True
                sstDatos.Tab = 5
                txtXind.SetFocus
                Exit Sub
            Else
                chkInducido.Value = 0
                Exit Do
            End If
        End If
    End If
End If
Exit Do
Loop
ElseIf V11 <= 69 And chkInducido.Value = 0 Then
    frmResult.sstabResult.TabEnabled(1) = False
End If
Verificación de que la altura del cable de guarda no sea menor a la altura del conductor
If txtAlturacg.Text <= txtAlturacf.Text Then

```

```

    MsgBox " La altura del cable de guarda NO puede ser menor o igual a la altura del conductor de
fase", 0 + 16, "Error"
    sstDatos.Tab = 2
    txtAlturacg.SetFocus
    Exit Sub
End If
Verificación de que la altura de la torre no sea menor a la altura del cable de guarda
If txtAlturat.Text <= txtAlturacg Then
    MsgBox " La altura de la torre NO puede ser menor a la altura del cable de guarda ", 0 + 16, "Error"
    sstDatos.Tab = 3
    txtAlturat.SetFocus
    Exit Sub
End If
Frmdatos.Enabled = False
Call Factoresdecorreccionambiental
Call Frecuenciaindustrial
Call Sobre tensionesdemanioobra
Call Sobre tensiones atmosfericas
If V11 <= 69 And chkInducido.Value = 1 Then
    Call opciontensionind
    If chkRusck.Value = 1 Then
        Call Tasarusck
    End If
    If chkVoislav.Value = 1 Then
        Call Tasavoislav
    End If
    frmResult.sstabResult.TabEnabled(0) = True
    frmResult.sstabResult.TabEnabled(1) = True
    frmResult.sstabResult.Tab = 0
End If
If V11 <= 69 And chkInducido.Value = 0 Then
    frmResult.sstabResult.TabEnabled(0) = True
    frmResult.sstabResult.TabEnabled(1) = False
    frmResult.sstabResult.Tab = 0
End If
frmResult.Show 1 ' Muestra el formulario de resultados
End If FIN DE LA BANDERA VERDADERA (Que el usuario haya escogido calcular el
aislamiento)
If Band = False Then ' SI LA BANDERA ES FALSA (El usuario escogió calcular sólo las
tensiones inducidas en el menú opciones)
    If chkRusck.Value = 0 And chkVoislav.Value = 0 And chkChowdhuri.Value = 0 Then
        MsgBox "Debe escoger por lo menos una metodología para el cálculo de la sobretensión inducida
en la línea", 0 + 48, "Error"
        sstDatos.Tab = 5
        chkRusck.SetFocus
        Exit Sub
    End If
    'Casilla de amplitud de la corriente del rayo:
    If Len(txtIo) = 0 Then
        MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de amplitud de la corriente. ", 0 + 48, "Error"
        sstDatos.Tab = 5
        txtIo.SetFocus
        Exit Sub
    End If

```



```

'Casilla de tiempo de frente:
If Len(txtTfrente) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de tiempo de frente de la forma de onda del
rayo.", 0 + 48, "Error"
    sstDatos.Tab = 5
    txtTfrente.SetFocus
    Exit Sub
End If
If chkVoislav.Value = 1 Or chkRusck.Value = 1 Then
'Casilla de tiempo de cola:
If Len(txtTcola) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de tiempo de cola de la forma de onda del
rayo", 0 + 48, "Error"
    sstDatos.Tab = 5
    txtTcola.SetFocus
    Exit Sub
End If
End If
'Casilla de Altura de la nube:
If chkChowdhuri.Value = 1 Then
If Len(txtAnube) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de altura de la nube.", 0 + 48, "Error"
    sstDatos.Tab = 5
    txtAnube.SetFocus
    Exit Sub
End If
End If
'Casilla de Altura de la línea:
If Len(txtAltlinea1) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de altura de la línea. ", 0 + 48, "Error"
    sstDatos.Tab = 5
    txtAltlinea1.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de distancia perpendicular:
If Len(txtYo) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla de la distancia perpendicular entre el punto de
impacto de la descarga y la línea (Yo)", 0 + 48, "Error"
    sstDatos.Tab = 5
    txtYo.SetFocus
    Exit Sub
End If
'Casilla de Distancia Xind:
If chkChowdhuri.Value = 1 Then
If Len(txtXind) = 0 Then
    MsgBox "Debe introducir un valor en la casilla del punto sobre la línea donde se desea calcular
la tensión inducida (X.", 0 + 48, "Error"
    sstDatos.Tab = 5
    txtXind.SetFocus
    Exit Sub
End If
End If
frmResult.sstabResult.TabEnabled(0) = False
frmResult.sstabResult.Tab = 1

```

```

Frmdatos.Enabled = False
Call opciontensionind
Frmdatos.Enabled = False
frmResult.Show 1 'Muestra el formulario de resultados
End If ' FIN DE LA BANDERA FALSA
End Sub

```

'CÓDIGO PARA MOVERSE POR LOS CAMPOS DE LA BASE DE DATOS DE AISLADORES

```

Private Sub cmdMover_Click(Index As Integer)
Call TipoAislador
'Código para mover el registro indicado según el botón pulsado
If Index = 0 Then
    rs.MoveFirst 'al primero
ElseIf Index = 1 Then
    rs.MovePrevious 'al anterior
ElseIf Index = 2 Then
    rs.MoveNext 'al siguiente
ElseIf Index = 3 Then
    rs.MoveLast 'al último
End If
If rs.BOF Then 'Si estamos antes del primero
    rs.MoveFirst 'mover al primero
ElseIf rs.EOF Then 'Si estamos antes del último
    rs.MoveLast 'mover al último
End If
Call MostrarRegistroAislador
End Sub

```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TEMPERATURA A BULBO SECO

```

Private Sub lblTemp_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 0
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub

```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE VELOCIDAD DEL VIENTO

```

Private Sub fraVeloc_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 1
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub

```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TASA DE PRECIPITACIÓN

```

Private Sub lblPrecip_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 2
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If

```

End Sub

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE RESISTIVIDAD DEL AGUA DE LLUVIA

```
Private Sub lblRall_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 3
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE HUMEDAD RELATIVA

```
Private Sub lblHra_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 4
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DEL NIVEL CERÁUNICO

```
Private Sub lblNcr_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 5
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudac
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE ALTITUD DE LA LÍNEA

```
Private Sub lblAsnm_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 6
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE NIVEL DE CONTAMINACIÓN

```
Private Sub fraContaminacion_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 7
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE RESISTIVIDAD DEL SUELO

```
Private Sub lblResistividad_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 8
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TENSIÓN DEL SISTEMA

```
Private Sub lblV11_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 9
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE FACTOR DE SOBRETENSIÓN

```
Private Sub lblKsv_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 10
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TENSIÓN MÁXIMA

```
Private Sub lblUm_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 11
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE INCREMENTO DE TENSIÓN EN CASO DE FALLA

```
Private Sub fraKf_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 12
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE DESVIACIÓN ESTANDAR A FREC. IND.

```
Private Sub lblOf_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 13
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE NÚMERO DE DESVIACIONES ESTÁNDAR

```
Private Sub lblK_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 14
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN AMB. CONT

```
Private Sub lblFactseg_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 15
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE DESVIACION ESTÁNDAR ANTE SOB. MAN.

```
Private Sub lblOm_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 16
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE SOB. MAN.

```
Private Sub lblSobmaniobra_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 17
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE RELACIÓN TENSIÓN DE IMPULSO-SOB. MAN.

```
Private Sub lblImpmaniobra_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 18
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE NÚMERO DE CABLES DE GUARDA

```
Private Sub lblNcg_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 19
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE ALTURA DEL CONDUCTOR

```
Private Sub lblAlturacf_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 20
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE ALTURA DEL CABLE DE GUARDA

```
Private Sub lblAcguarda_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 21
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE SEPARACIÓN ENTRE LOS CONDUCTORES

```
Private Sub lblSepcg_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 22
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE SEPARACIÓN ENTRE EL CABLE DE GUARDA Y LA FASE

```
Private Sub lblSepcgy_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 23
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE SEPARACIÓN HORIZONTAL ENTRE EL CONDUCTOR Y EL CABLE DE GUARDA

```
Private Sub lblSepcycg_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 24
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE SEPARACIÓN HORIZONTAL ENTRE LOS CONDUCTORES MAS ELEVADOS

```
Private Sub lblSepcond_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 25
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE VANO REAL.

```
Private Sub lblVanoreal_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 26
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudavano
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE VANO MEDIO.

```
Private Sub lblVanomedio_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 27
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudavano
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE VANO GRAVANTE.

```
Private Sub lblVanograv_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 28
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudavano
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE RADIO DEL CONDUCTOR

```
Private Sub lblradiocon_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 29
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE PESO UNITARIO DEL CONDUCTOR

```
Private Sub lblPesoc_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 30
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TENSIÓN DEL CONDUCTOR

```
Private Sub lblTensioncond_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 31
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE RADIO DEL CABLE DE GUARDA

```
Private Sub lblRadiocg_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 32
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE PESO UNITARIO DEL CABLE DE GUARDA

```
Private Sub lblPesocg_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 33
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE PESO UNITARIO DE TENSIÓN DE GUARDA

```
Private Sub lblTensioncg_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 33
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DEL FRAME TIPO DE ESTRUCTURA

```
Private Sub fraTorre_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 34
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE ALTURA DE LA TORRE

```
Private Sub lblAlturat_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 35
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE ANCHO DE LA TORRE

```
Private Sub lblAnchot_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 36
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE DISTANCIA B

```
Private Sub lblB_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 37
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```


'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE IMPEDANCIA DE LA ESTRUCTURA

```
Private Sub lblImpedt_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 38
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

```
Private Sub lblResipt_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 39
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE MATERIAL DE LA ESTRUCTURA

```
Private Sub fraMaterial_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 40
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TIPO DE AISLADOR

```
Private Sub fraTipoais_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 41
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE FABRICANTES

```
Private Sub fraFabricante_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 42
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE CHKAISLADOR

```
Private Sub chkAislador_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 43
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE LOS BOTONES PARA MOVERSE POR LOS REGISTROS

```
Private Sub cmdMover_MouseUp(Index As Integer, Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 44
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE ESPECIFICACIONES

```
Private Sub lblEspecificaciones_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 45
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE DIÁMETRO DEL DISCO

```
Private Sub lblDiamdisc_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 46
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE ALTURA DEL AISLADOR

```
Private Sub lblAltura_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 47
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE DISTANCIA DE FUGA

```
Private Sub lblDistfuga_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 48
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TENSIÓN DE RESIST. FREC. IND. SECO

```
Private Sub lblTrfis_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 49
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TENSIÓN DE RESIST. FREC. IND. HÚMEDO

```
Private Sub lblTrfih_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 50
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TENSIÓN DE RESIST. AL IMP. DE MANIOBRA

```
Private Sub lblTrim_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 51
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TENSIÓN DE RESIST. AL IMP. ATMOSF.

```
Private Sub lblTrian_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 52
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TENSIÓN DE RESIST. ELECTROMECAÁNICA

```
Private Sub lblResiselec_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 53
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TENSIÓN DE RESIS. AL IMPACTO

```
Private Sub lblResisimpac_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 54
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TENSIÓN DE PRUEBA DE CARGA DE RUTINA

```
Private Sub lblCargarutina_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 55
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TENSIÓN DE PRUEBA DE CARGA SOSTENIDA

```
Private Sub lblCargasostenida_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 56
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DEL CHKRUSCK

```
Private Sub chkRusck_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 57
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DEL CHKVOISLAV

```
Private Sub chkVoislav_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 58
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DEL CHKCHOWDHURI

```
Private Sub chkChowdhuri_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 59
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE CORRIENTE DEL RAYO

```
Private Sub lblIo_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 60
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudavano
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TIEMPO DE FRENTE

```
Private Sub lblTfrente_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 61
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudavano
End If
End Sub
```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE TIEMPO DE COLA

```
Private Sub lblTcola_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
```

```

    Bandayuda = 62
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudavano
End If
End Sub

```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE ALTURA DE LA NUBE

```

Private Sub lblAnube_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 63
    Frmdatos.PopupMenu mnuSinayuda
End If
End Sub

```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE ALTURA DE LA LINEA

```

Private Sub lblAltlinea1_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 64
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub

```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE DISTANCIA YO

```

Private Sub lblYo_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 65
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub

```

'CÓDIGO PARA QUE APAREZCA LA AYUDA DESPLEGADA DE LA DISTANCIA X

```

Private Sub lblXind_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = vbRightButton Then
    Bandayuda = 66
    Frmdatos.PopupMenu mnuAyudas
End If
End Sub

```

CÓDIGO PAR AQUE APAREZCA LA VENTANA DEL MENÚ AYUDA

```

Private Sub mnuContenido_Click()
frmAyudagen.Show
End Sub
'Menu de ayudas desplegables
Private Sub mnuQueesesto_Click()
frmAyuda.Show 1
End Sub
'Menu ayuda del nivel cerámico
Private Sub mnuNivelc_Click()
frmAyuda.Show 1
End Sub
'Menu ayuda del mapa cerámico
Private Sub mnuCeraunico_Click()
frmMapaceraunico.Show 1
End Sub
'Menu ayuda de Vanos

```

```

Private Sub mnuVano_Click()
frmVanos.Show 1
End Sub
Private Sub mnuAcerca_Click()
frmAcercadepcal.Show 1
End Sub

```

CÓDIGO PARA QUE SE ACTIVEN O DESATIVEN LAS FICHAS CORRESPONDIENTES CUANDO EL USUARIO ESCOGE REALIZAR LA COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO O CALCULAR LAS TENSIONES INDUCIDAS

```

Private Sub mnuAislamiento_Click()
Band = True
mnuAislamiento.Checked = True
mnuInducidas.Checked = False
sstDatos.TabEnabled(0) = True
sstDatos.TabEnabled(1) = True
sstDatos.TabEnabled(2) = True
sstDatos.TabEnabled(3) = True
sstDatos.TabEnabled(4) = True
If V11 <= 69 And V11 <> 0 Then
    sstDatos.TabEnabled(5) = True
ElseIf V11 > 69 Then
    sstDatos.TabEnabled(5) = False
End If
sstDatos.Tab = 0
txtTemp.SetFocus
txtAltlinea1.Visible = False
lblAltlinea1.Visible = False
lblUnidad(35).Visible = False
End Sub
Private Sub mnuInducidas_Click()
Band = False
mnuAislamiento.Checked = False
mnuInducidas.Checked = True
sstDatos.TabEnabled(0) = False
sstDatos.TabEnabled(1) = False
sstDatos.TabEnabled(2) = False
sstDatos.TabEnabled(3) = False
sstDatos.TabEnabled(4) = False
sstDatos.TabEnabled(5) = True
sstDatos.Tab = 5
txtIlo.SetFocus
txtAltlinea1.Visible = True
lblAltlinea1.Visible = True
lblUnidad(35).Visible = True
End Sub
Private Sub mnuImpfichas_Click()
Printer.Orientation = 2
Printer.PaperSize = xlPaperLetter
PrintForm
End Sub
Private Sub mnuSalir_Click()
Dim Salir As Integer
Salir = MsgBox("¿Desea salir de PCAL?", 4 + 0 + 32, "Salir")

```

```

If Salir = vbYes Then
Beep
End
End If
End Sub

```

'CÓDIGO DEL BOTÓN SALIR

```

Private Sub cmdSalir_Click()
Dim Salir As Integer
Salir = MsgBox("¿Desea salir de PCAL?", 4 + 0 + 32, "Salir")
If Salir = vbYes Then
Beep
End
End If
End Sub

```

CÓDIGO PARA VERIFICAR QUE TIPO DE AISLADOR O FABRICANTE DE AISLADORES ESCOGIÓ EL USUARIO PARA SABER QUE BASES DE DATOS UTILIZAR

```

Private Sub optAislador_Click(Index As Integer)
Call TipoAislador
Call MostrarRegistroAislador
End Sub
Private Sub optFabricante_Click(Index As Integer)
Call TipoAislador
Call MostrarRegistroAislador

```

```

End Sub

```

'CODIGO PARA SABER QUE TIPO DE TORRE ESCOGIÓ EL USUARIO

```

Private Sub optTorre_Click(Index As Integer)
If optTorre(0).Value = True Or optTorre(2).Value = True Or optTorre(3).Value = True Then
txtDiamet.BackColor = vbWhite
txtDiamet.Enabled = True
txtanchot.BackColor = vbScrollBars
txtanchot.Text = ""
txtanchot.Enabled = False
txtImpedt.BackColor = vbScrollBars
txtImpedt.Text = ""
txtImpedt.Enabled = False
If optTorre(0).Value = True Then
lblLa.Visible = True
lblLb.Visible = False
lblLc.Visible = False
lblLD.Visible = False
ElseIf optTorre(2).Value = True Then
lblLa.Visible = False
lblLb.Visible = False
lblLc.Visible = True
lblLD.Visible = False
ElseIf optTorre(3).Value = True Then
lblLa.Visible = False
lblLb.Visible = False
lblLc.Visible = False
lblLD.Visible = True

```

```

    End If
End If
If optTorre(1).Value = True Then
    txtDiamet.BackColor = vbWhite
    txtDiamet.Enabled = True
    txtanchot.BackColor = vbWhite
    txtanchot.Enabled = True
    txtImpedt.BackColor = vbScrollBars
    txtImpedt.Text = ""
    txtImpedt.Enabled = False
    lblLa.Visible = False
    lblLb.Visible = True
    lblLc.Visible = False
    lblLD.Visible = False
End If
If optTorre(4).Value = True Then
    txtDiamet.BackColor = vbScrollBars
    txtDiamet.Text = ""
    txtDiamet.Enabled = False
    txtanchot.BackColor = vbScrollBars
    txtanchot.Text = ""
    txtanchot.Enabled = False
    txtImpedt.BackColor = vbWhite
    txtImpedt.Enabled = True
    lblLa.Visible = False
    lblLb.Visible = False
    lblLc.Visible = False
    lblLD.Visible = False
End If
End Sub
Private Sub optTorre_GotFocus(Index As Integer)
If optTorre(0).Value = True Then
    lblLa.Visible = True
    lblLb.Visible = False
    lblLc.Visible = False
    lblLD.Visible = False
ElseIf optTorre(1).Value = True Then
    lblLa.Visible = False
    lblLb.Visible = True
    lblLc.Visible = False
    lblLD.Visible = False
ElseIf optTorre(2).Value = True Then
    lblLa.Visible = False
    lblLb.Visible = False
    lblLc.Visible = True
    lblLD.Visible = False
ElseIf optTorre(3).Value = True Then
    lblLa.Visible = False
    lblLb.Visible = False
    lblLc.Visible = False
    lblLD.Visible = True
ElseIf optTorre(4).Value = True Then
    lblLa.Visible = False
    lblLb.Visible = False

```



```

        lblLc.Visible = False
        lblLD.Visible = False
    End If
End Sub
'Codigo para hacer resaltar una etiqueta en picLinea
Private Sub txtAlturacf_GotFocus()
    lblHc.Visible = True
End Sub
'Codigo para hacer resaltar una etiqueta en picLinea
Private Sub txtAlturacg_GotFocus()
    lblHcg.Visible = True
    lblHc.Visible = False
End Sub
'Codigo para hacer resaltar una etiqueta en picTorre
Private Sub txtAlturat_GotFocus()
    If optTorre(0).Value = True Then
        lblHta.Visible = True
        lblHtb.Visible = False
        lblHtc.Visible = False
        lblHtd.Visible = False
    End If
    If optTorre(1).Value = True Then
        lblHta.Visible = False
        lblHtb.Visible = True
        lblHtc.Visible = False
        lblHtd.Visible = False
    End If
    If optTorre(2).Value = True Then
        lblHta.Visible = False
        lblHtb.Visible = False
        lblHtc.Visible = True
        lblHtd.Visible = False
    End If
    If optTorre(3).Value = True Then
        lblHta.Visible = False
        lblHtb.Visible = False
        lblHtc.Visible = False
        lblHtd.Visible = True
    End If
End Sub
Private Sub txtAlturat_LostFocus()
    lblHta.Visible = False
    lblHtb.Visible = False
    lblHtc.Visible = False
    lblHtd.Visible = False
End Sub
Private Sub txtanchot_GotFocus()
    If optTorre(0).Value = True Then
        lblDb.Visible = False
    End If
    If optTorre(1).Value = True Then
        lblDb.Visible = True
        lblHtb.Visible = False
        lblDtb1.Visible = False
    End If

```

```

        lblDtb2.Visible = False
    End If
    If optTorre(2).Value = True Then
        lblDb.Visible = False
    End If
    If optTorre(3).Value = True Then
        lblB.Visible = False
    End If
End Sub
Private Sub txtanchot_LostFocus()
    lblDb.Visible = False
End Sub

```

'CÓDIGO PARA HACER RESALTAR UNA ETIQUETA EN PICTORRE

```

Private Sub txtDiamet_GotFocus()
    If optTorre(0).Value = True Then
        lblDta.Visible = True
        lblDtb1.Visible = False
        lblDtb2.Visible = False
        lblDtc.Visible = False
        lblDtd.Visible = False
        lblHta.Visible = False
    End If
    If optTorre(1).Value = True Then
        lblDta.Visible = False
        lblDtb1.Visible = True
        lblDtb2.Visible = True
        lblDtc.Visible = False
        lblDtd.Visible = False
        lblHtb.Visible = False
    End If
    If optTorre(2).Value = True Then
        lblDta.Visible = False
        lblDtb1.Visible = False
        lblDtb2.Visible = False
        lblDtc.Visible = True
        lblDtd.Visible = False
        lblHtc.Visible = False
    End If
    If optTorre(3).Value = True Then
        lblDta.Visible = False
        lblDtb1.Visible = False
        lblDtb2.Visible = False
        lblDtc.Visible = False
        lblDtd.Visible = True
        lblHtd.Visible = False
    End If
End Sub
Private Sub txtDiamet_LostFocus()
    lblDta.Visible = False
    lblDtb1.Visible = False
    lblDtb2.Visible = False
    lblDtc.Visible = False
    lblDtd.Visible = False

```

End Sub

```
Private Sub txtResistpt_GotFocus()  
lblHta.Visible = False  
lblDta.Visible = False  
lblHtb.Visible = False  
lblDtb1.Visible = False  
lblDtb2.Visible = False  
lblHtc.Visible = False  
lblDtc.Visible = False  
lblHtd.Visible = False  
lblDtd.Visible = False  
lblDb.Visible = False  
End Sub
```

```
Private Sub txtSepcg_GotFocus()  
lblHc.Visible = False  
lblHcg.Visible = False  
End Sub
```

'CODIGO PARA HACER RESALTAR UNA ETIQUETA EN PICLINEA

```
Private Sub txtSepcgy_GotFocus()  
lblDccg.Visible = True  
lblHc.Visible = False  
lblHcg.Visible = False  
End Sub
```

```
Private Sub txtSepcond_GotFocus()  
lblXgc.Visible = False  
lblDccg.Visible = False  
lblHc.Visible = False  
lblHcg.Visible = False  
End Sub  
Private Sub txtSepcycg_GotFocus()  
lblXgc.Visible = True  
lblDccg.Visible = False  
lblHc.Visible = False  
lblHcg.Visible = False  
End Sub
```

'CÓDIGO PARA PASAR EL ENFOQUE AL SIGUIENTE CUADRO DE TEXTO 'Y NO PERMITIR QUE EL USUARIO INGRESE CARACTERES DISTINTO 'A NÚMEROS EN LOS CUADROS DE TEXTO

Casilla de temperatura

```
Private Sub txtTemp_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
If KeyAscii = 13 Then  
    optVeloc(0).SetFocus  
End If  
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then  
    If KeyAscii <> 8 Then  
        If KeyAscii <> 44 Then  
            If KeyAscii <> 45 Then  
                KeyAscii = 0  
            End If  
        End If  
    End If  
End If
```

```

        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de velocidad del viento

```

Private Sub optVeloc_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtVeloc.SetFocus
End If
End Sub
Private Sub txtVanoreal_GotFocus()
lblXgc.Visible = False
lblDccg.Visible = False
lblHc.Visible = False
lblHcg.Visible = False
End Sub
Private Sub txtVeloc_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtAltu.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de altura a la que se midió al velocidad del viento

```

Private Sub txtAltu_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtPrecip.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de tasa de precipitación

```

Private Sub txtPrecip_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtRall.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If

```

```

End If
End If
End Sub

```

Casilla de resistividad del agua de lluvia

```

Private Sub txtRall_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtHra.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de humedad relativa del aire

```

Private Sub txtHra_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtNcr.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de nivel cerámico

```

Private Sub txtNcr_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtAsnm.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de altura sobre el nivel del mar

```

Private Sub txtAsnm_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    optContaminacion(0).SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then

```

```

        If KeyAscii <> 44 Then
            If KeyAscii <> 45 Then
                KeyAscii = 0
            End If
        End If
    End If
End If

End Sub

```

Nivel de contaminación

```

Private Sub optContaminacion_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 13 Then
        txtResistter.SetFocus
    End If
End Sub

```

Casilla de resistividad del terreno

```

Private Sub txtResistter_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 13 Then
        sstDatos.Tab = 1
        cboV11.SetFocus
    End If
    If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
        If KeyAscii <> 8 Then
            If KeyAscii <> 44 Then
                KeyAscii = 0
            End If
        End If
    End If
End Sub

```

Tensión del sistema

```

Private Sub cboV11_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 13 Then
        If ChkKsv.Value = 0 Then
            txtKsv.SetFocus
        Else
            optKf(0).SetFocus
        End If
    End If
End Sub

```

Casilla de factor de máxima tensión

```

Private Sub txtKsv_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 13 Then
        optKf(0).SetFocus
    End If
    If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
        If KeyAscii <> 8 Then
            If KeyAscii <> 44 Then
                KeyAscii = 0
            End If
        End If
    End If
End Sub

```

```
End If
End Sub
```

Incremento de tensión en caso de fallas

```
Private Sub optKf_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    If optKf(0).Value = True Or optKf(1).Value = True Then
        cboDefi.SetFocus
    Else
        txtKf.SetFocus
    End If
End If
End Sub
```

Casilla de incremento de tensión en caso de fallas

```
Private Sub txtKf_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    cboDefi.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub
```

Desviación estándar a frecuencia industrial

```
Private Sub cboDefi_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtNde.SetFocus
End If
End Sub
```

Casilla de número de desviaciones estándar

```
Private Sub txtNde_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtFactseg.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub
```

Casilla de factor de seguridad para el cálculo en ambiente contaminado

```
Private Sub txtFactseg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    cboDesm.SetFocus
End If
```

```

If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Desviación estándar ante sob. De maniobra

```

Private Sub cboDesm_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtSobmaniobra.SetFocus
End If
End Sub

```

Casilla de sobretensión de maniobra

```

Private Sub txtSobmaniobra_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtImpmaniobra.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de relación tensión de impulso/sobretensión de maniobra

```

Private Sub txtImpmaniobra_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    sstDatos.Tab = 2
    optNcg(0).SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Número de cables de guarda

```

Private Sub optNcg_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtAlturacf.SetFocus
End If
End Sub

```

Casilla de altura del conductor

```

Private Sub txtAlturacf_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```



```

If KeyAscii = 13 Then
    txtAlturacg.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End If
End Sub

```

Casilla de altura del cable de guarda

```

Private Sub txtAlturacg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    If optNcg(2).Value = True Then
        txtSepcgc.SetFocus
    Else
        txtSepcgyg.SetFocus
    End If
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de separación entre los cables de guarda

```

Private Sub txtsepccg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If optNcg(2).Value = True Then
    If KeyAscii = 13 Then
        txtSepcgyg.SetFocus
    End If
    If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
        If KeyAscii <> 8 Then
            If KeyAscii <> 44 Then
                KeyAscii = 0
            End If
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de separación entre el cable de guarda y el conductor

```

Private Sub txtSepcgyg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtSepcgc.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then

```

```

        KeyAscii = 0
    End If
End If
End If
End Sub

```

Casilla de separación horizontal entre el conductor y el cable de guarda

```

Private Sub txtSepcycg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    If optNcg(0).Value = True Then
        txtSepcond.SetFocus
    Else
        txtVanoreal.SetFocus
    End If
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de separación horizontal entre los conductores

```

Private Sub txtSepcond_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtVanoreal.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de vano real

```

Private Sub txtVanoreal_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtVanomedio.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de vano medio

```

Private Sub txtVanomedio_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```

```

If KeyAscii = 13 Then
    txtVanograv.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End If
End Sub

```

Casilla de vano gravante

```

Private Sub txtVanograv_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtRadiocon.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End If
End Sub

```

Casilla de radio del conductor

```

Private Sub txtRadiocon_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtPesocon.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End If
End Sub

```

Casilla del peso unitario del conductor

```

Private Sub txtPesocon_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtTensioncon.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End If
End Sub

```

Casilla de tensión del conductor

```
Private Sub txtTensioncon_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtRadiocg.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub
```

Casilla de radio del cable de guarda

```
Private Sub txtRadiocg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtPesocg.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub
```

Casilla del peso unitario del cable de guarda

```
Private Sub txtPesocg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtTensioncg.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub
```

Casilla de tensión en el cable de guarda

```
Private Sub txtTensioncg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    sstDatos.Tab = 3
    optTorre(0).SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
```

```
End If
End Sub
```

Tipo de estructura

```
Private Sub optTorre_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtAlturat.SetFocus
End If
End Sub
```

Casilla de altura de la torre

```
Private Sub txtAlturat_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    If optTorre(4).Value = True Then
        txtImpedt.SetFocus
    Else
        txtDiamet.SetFocus
    End If
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub
```

Casilla de ancho de la torre

```
Private Sub txtDiamet_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    If optTorre(4).Value = True Then
        txtImpedt.SetFocus
    End If
    If optTorre(1).Value = True Then
        txtanchot.SetFocus
    End If
    If optTorre(0).Value = True Or optTorre(2).Value = True Or optTorre(3).Value = True Then
        txtResistpt.SetFocus
    End If
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub
```

Casilla de distancia b

```
Private Sub txtanchot_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtResistpt.SetFocus
End If
End Sub
```

```

End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de impedancia de la estructura

```

Private Sub txtImpedt_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtResistpt.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de resistencia de puesta a tierra

```

Private Sub txtResistpt_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    optMaterial(0).SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Tipo de material de la estructura

```

Private Sub optMaterial_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    sstDatos.Tab = 4
    optAislador(0).SetFocus
End If
End Sub

```

Tipo de aislador

```

Private Sub optAislador_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    optFabricante(0).SetFocus
End If
End Sub

```

Tipo de fabricante

```
Private Sub optFabricante_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    cmdMover(2).SetFocus
End If
End Sub
```

Altura del aislador

```
Private Sub txtAltais_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtDistfuga.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End If
End Sub
```

Distancia de fuga del aislador

```
Private Sub txtDistfuga_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtTrfis.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub
```

Tensión de resistencia a F.I. en seco

```
Private Sub txtTrfis_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtTrfih.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub
```

Tensión de resistencia a F.I. en húmedo

```
Private Sub txtTrfih_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtTrim.SetFocus
End If
```

```

If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Tensión de resistencia ante sobr de maniobra.

```

Private Sub txtTrim_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtTrian.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Tensión de resistencia ante sobr atmosféricas.

```

Private Sub txtTrian_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If V11 <= 69 And V11 <> 0 Then
    If KeyAscii = 13 Then
        sstDatos.Tab = 5
        chkRusck.SetFocus
    End If
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de amplitud de la corriente del rayo

```

Private Sub txtIo_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 13 Then
        txtTfrente.SetFocus
    End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```


Casilla de tiempo de frente

```
Private Sub txtTfrente_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    If chkChowdhuri.Value = 0 And (chkRusck.Value = 1 Or chkVoislav.Value = 1) Then
        txtTcola.SetFocus
    End If
    If chkChowdhuri.Value = 1 And (chkRusck.Value = 1 Or chkVoislav.Value = 1) Then
        txtTcola.SetFocus
    End If
    If chkChowdhuri.Value = 1 And (chkRusck.Value = 0 And chkVoislav.Value = 0) Then
        txtAnube.SetFocus
    End If
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub
```

Casilla de tiempo de cola

```
Private Sub txtTcola_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    If chkRusck.Value = 1 Or chkVoislav.Value = 1 And chkChowdhuri.Value = 0 Then
        If Band = True Then
            txtYo.SetFocus
        Else
            txtAltlinea1.SetFocus
        End If
    End If
    If chkChowdhuri.Value = 1 And (chkRusck.Value = 1 Or chkVoislav.Value = 1) Then
        txtAnube.SetFocus
    End If
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub
```

Casilla de altura de la nube

```
Private Sub txtAnube_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    If Band = False Then
        txtAltlinea1.SetFocus
    Else
        txtYo.SetFocus
    End If
End If
```

```

If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de altura de la línea

```

Private Sub txtAltlinea1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    txtYo.SetFocus
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de distancia Yo

```

Private Sub txtYo_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    If chkChowdhuri.Value = 1 Then
        txtXind.SetFocus
    End If
End If
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

Casilla de distancia X

```

Private Sub txtXind_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
    If KeyAscii <> 8 Then
        If KeyAscii <> 44 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
End If
End Sub

```

'CÓDIGO PARA CALCULAR LA SOBRETENSIÓN A FRECUENCIA 'INDUSTRIAL Y TENSION MÁXIMA

```

Private Sub ChkKsv_Click()
If ChkKsv.Value = 1 Then

```

```

Umax = cboV11.ItemData(cboV11.ListIndex) / 10 'valor de tensión máxima
txtUm.Text = Umax
Ksv = Umax / V11 'Valor de sobretensión
txtKsv.Text = Ksv
txtKsv.Enabled = False
txtKsv.BackColor = vbScrollBars
optKf(0).SetFocus
Else
    txtKsv.BackColor = vbWhite
    txtKsv.Enabled = True
    txtKsv.Text = ""
    txtUm.Text = ""
    txtKsv.SetFocus
End If
End Sub

```

'CÓDIGO PARA SABER QUE VALOR DE KF ESCOGIÓ EL USUARIO 'AL HACER CLICK SOBRE LOS BOTONES DE OPCIÓN

```

Private Sub optKf_Click(Index As Integer)
If optKf(0).Value = True Or optKf(1).Value = True Then
    txtKf.Enabled = False
    txtKf.BackColor = vbScrollBars
End If
If optKf(2).Value = True Then
    txtKf.Enabled = True
    txtKf.BackColor = vbWhite
End If
End Sub

```

'CÓDIGO PARA SABER QUE VALOR DE NÚMERO DE CABLES DE GUARDA ESCOGIÓ EL USUARIO

```

Private Sub optNcg_Click(Index As Integer)
If optNcg(0).Value = True Then
    txtSepcg.BackColor = vbScrollBars
    txtSepcg.Text = ""
    txtSepcg.Enabled = False
    txtSepcond.BackColor = vbWhite
    txtSepcond.Text = ""
    txtSepcond.Enabled = True
ElseIf optNcg(1).Value = True Then
    txtSepcg.BackColor = vbScrollBars
    txtSepcg.Text = ""
    txtSepcg.Enabled = False
    txtSepcond.BackColor = vbScrollBars
    txtSepcond.Text = ""
    txtSepcond.Enabled = False
ElseIf optNcg(2).Value = True Then
    txtSepcg.BackColor = vbWhite
    txtSepcg.Enabled = True
    txtSepcond.BackColor = vbScrollBars
    txtSepcond.Text = ""
    txtSepcond.Enabled = False
End If
End Sub

```

'CODIGO PARA SABER QUE TIPO DE AISLADOR ESCOGIÓ EL USUARIO

```
Private Sub TipoAislador()  
If optAislador(0).Value = True Then  
    If optFabricante(0).Value = True Then  
        Set rs = rs1  
        Call ListaAisladorClevisngk  
    End If  
ElseIf optAislador(1).Value = True Then  
    If optFabricante(0).Value = True Then  
        Set rs = rs2  
        Call ListaAisladorCuencaybolangk  
    End If  
ElseIf optAislador(2).Value = True Then  
    If optFabricante(0).Value = True Then  
        Set rs = rs3  
        Call ListaAisladorFogngk  
    End If  
End If  
If optFabricante(0).Value = True Then  
    If optAislador(0).Value = True Then  
        Set rs = rs1  
        Call ListaAisladorClevisngk  
    ElseIf optAislador(1).Value = True Then  
        Set rs = rs2  
        Call ListaAisladorCuencaybolangk  
    ElseIf optAislador(2).Value = True Then  
        Set rs = rs3  
        Call ListaAisladorFogngk  
    End If  
End If  
End Sub
```

'CODIGO QUE MUESTRA EN LAS CASILLAS CORRESPONDIENTES LOS 'DATOS DE LOS AISLADORES

```
Private Sub MostrarRegistroAislador()  
Dim I As Integer, Aislador As String  
With rs  
    txtEspecificacion = .Fields("Claseansi")  
    txtDiamdisco = .Fields("Diametro")  
    txtAltais = .Fields("Altura")  
    txtDistfuga = .Fields("Distanciadefuga")  
    txtTrfis = .Fields("Voltresisfrecindsec")  
    txtTrfih = .Fields("Voltresisfrecindhum")  
    txtTrim = .Fields("Voltresisimpul")  
    txtTrian = .Fields("Voltresisimpatm")  
    txtResiselec = .Fields("Resistenciaelectromecanica")  
    txtResisimpac = .Fields("Resistenciaalimpacto")  
    txtCargarutina = .Fields("Pruebadecargaderutina")  
    txtCargasostenida = .Fields("Pruebadecargasostenida")  
    Aislador = .Fields("CatN°")  
    picAislador.Picture = LoadPicture(App.Path & "\" & Aislador & ".bmp")  
    Catalogo = .Fields("CatN°")  
End With
```

'CÓDIGO PARA QUE SE SOMBREE EL AISLADOR RESPECTIVO EN LA LISTA

```
For I = 0 To lstAisladores.ListCount
    If lstAisladores.List(I) = rs.Fields("CatNº") Then
        lstAisladores.ListIndex = I
    End If
Next
End Sub
```

'LISTA DE LOS AISLADORES CLEVIS DE NGK

```
Private Sub ListaAisladorClevisngk()
lstAisladores.Clear
With lstAisladores
    .List(0) = "CA-15924C"
    .List(1) = "CA-15923A"
    .List(2) = "CA-565A"
    .List(3) = "CA-515A"
    .List(4) = "CA-501Q"
    .List(5) = "CA-531Q"
    .List(6) = "CA-589Q"
End With
End Sub
```

'LISTA DE LOS AISLADORES CUENCA Y BOLA DE NGK

```
Private Sub ListaAisladorCuencaYbolangk()
lstAisladores.Clear
With lstAisladores
    .List(0) = "CA-515MA"
    .List(1) = "CA-515MC"
    .List(2) = "CA-501MC"
    .List(3) = "CA-501MR"
    .List(4) = "CA-531MK"
    .List(5) = "CA-589MK"
    .List(6) = "CA-564EB"
    .List(7) = "CA-515MX"
    .List(8) = "CA-515MZ"
    .List(9) = "CA-501MZ"
    .List(10) = "CA-501EZ"
    .List(11) = "CA-531EY"
    .List(12) = "CA-580EY"
    .List(13) = "CA-589EZ"
    .List(14) = "CA-590EZ"
End With
End Sub
```

'LISTA DE LOS AISLADORES FOG DE NGK

```
Private Sub ListaAisladorFogngk()
lstAisladores.Clear
With lstAisladores
    .List(0) = "CA-825W"
    .List(1) = "CA-825ME"
    .List(2) = "CA-825MC"
    .List(3) = "CA-837MK"
    .List(4) = "CA-845MK"
End With
```

End Sub

'CÁLCULO DE LOS FACTORES DE CORRECCIÓN AMBIENTAL

Private Sub Factoresdecorreccionambiental()

Tp = txtPrecip.Text 'Tasa de precipitación

Rall = txtRall.Text 'Resistividad del agua de lluvia

Const Kll = 1.05 'Factor de corrección por lluvia S.M.

Ts = txtTemp.Text 'Temperatura

Hr = txtHra.Text 'Humedad relativa en %

Const Alfa = 0.0036

Asnm = txtAsnm.Text 'Altitud

NCR = txtNcr.Text 'Nivel cerámico de la región

Resistterreno = txtResistter.Text 'Resistividad del terreno

'Cálculo de la velocidad del viento de 5min

If optVeloc(0).Value = True Then

V5min = (txtVeloc.Text) * ((10 / (txtAltu.Text)) ^ (1 / 7))

Else

V5seg = txtVeloc.Text

V5mindurst = (1.1 / 1.48) * V5seg

V5minnutt = (1.05 / 1.35) * V5seg

V5minfarr = (1.05 / 1.29) * (V5seg - 9.3) + 6.4

V5min = ((V5mindurst + V5minnutt + V5minfarr) / 3) * ((10 / (txtAltu.Text)) ^ (1 / 7))

End If

'Cálculo del factor de corrección por tasa de precipitación (F.I)

Kp = 0.993 - 0.1743 * Tp + 0.0403 * Tp ^ 2 - 0.004899 * Tp ^ 3 + 0.000201 * Tp ^ 4

'Cálculo del factor de corrección por resistividad del agua de lluvia (F.I)

Kr = 0.6389 + 0.1264 * Ln(Rall)

'Cálculo de la presión de vapor saturado (F.I)

PV = 4.580156 + 0.335833 * Ts + 0.010325 * Ts ^ 2 + 0.000219375 * Ts ^ 3 + 0.00000171875 * Ts ^ 4 + 2.291667 * 10 ^ (-8) * Ts ^ 5

'Cálculo de la humedad absoluta del aire

Ha = (2.933071 * PV * Hr) / (273 + Ts)

'Cálculo del factor de corrección por humedad del aire (F.I)

Hv = 1.2086 - 0.0214 * Ha + 0.000943 * Ha ^ 2 - 2.921 * 10 ^ (-5) * Ha ^ 3

'Factor de corrección de la distancia por humedad del aire (S.M.)

Hd = 0.0000004 * (Ha ^ 3) + 0.00005 * (Ha ^ 2) + 0.0067 * Ha + 0.8864

'Cálculo de la densidad relativa del aire (F.I)

Dra = (0.70667 / (492 + (9 / 5) * Ts)) * (760 / (10 ^ ((1 / 18400) * Asnm * (1 + Alfa * Ts))))

'Nivel de contaminación de la zona

If optContaminacion(0).Value = True Then

Longaislacion = 1.25

ElseIf optContaminacion(1).Value = True Then

Longaislacion = 2.85

ElseIf optContaminacion(2).Value = True Then

Longaislacion = 4.15

ElseIf optContaminacion(3).Value = True Then

Longaislacion = 5.7

End If

End Sub

'CÁLCULOS DE LA SOBRETENSIÓN A FRECUENCIA INDUSTRIAL

Private Sub FrecuenciaIndustrial()

K = txtNde.Text 'Número de desviaciones estándar

Vmed = txtVanomedio.Text 'Vano medio

Vgrav = txtVanograv.Text 'Vano gravante

Pesoc = txtPesocon.Text 'Peso del conductor

Diamc = (txtRadiocon.Text) * (2 / 100) 'Diámetro del conductor en [m]

Ks = txtFactseg.Text 'Factor de seguridad

Trfis = txtTrfis.Text 'Tensión de resistencia del aislador a la frec. ind. en seco

Trfih = txtTrfih.Text 'Tensión de resistencia del aislador a la frec. ind. en húmedo

Distfuga = (txtDistfuga.Text) / 10 'Distancia de fuga

V11 = cboV11.List(cboV11.ListIndex) 'tensión del sistema

'Incremento del voltaje en caso de fallas

If optKf(0).Value = True Then

Kf = 1.4

End If

If optKf(1).Value = True Then

Kf = 1.73

End If

If optKf(2).Value = True Then

Kf = txtKf.Text

End If

'Cálculo de la tensión crítica disruptiva estándar

'a Frec. Ind.

CFO = V11 * (Sqr(2) / Sqr(3)) * Ksv * Kf / (1 - K * Sigmaf)

'Cálculo de la distancia mínima a masa. Frec. Ind sin tomar en cuenta oscilación de la cadena

Dsm = CFO / 571.4285

'Cálculo del ángulo de inclinación de la cadena de aisladores

Angcad = Atn(0.2453 * V5min * (Diamc / Pesoc) * (Vmed / Vgrav))

'Cálculo de las Distancias mínimas vertical y horizontal

Do

Dfv = Dsm * Cos(Angcad)

Dfh = Dsm - Dsm * Sin(Angcad)

If Dfv < Dfh Then

Dmin = Dfv

Else

Dmin = Dfh

End If

Select Case Dmin 'Selección del valor de dependiendo

Case 0 To 0.9999 'del valor de la distancia mínima

Expnfi = 1

Case 1 To 5.9999

Expnfi = 1 - 0.1 * Dmin

Case 6 To 10

```

    Expnfi = 0.4
End Select

```

'Corrección del CFO por condiciones ambientales

```

CFOcorr = (CFO * Hv) / (Dra ^ Expnfi)

```

'Corrección de la distancia mínima por condiciones ambientales

```

Dmincorr = CFOcorr / 571.4285

```

```

If Dmincorr > Dmin Then
    Dsm = Dsm + 0.1
End If
Loop While Dmincorr > Dmin

```

'Cálculo del número de aisladores en cond. seca

```

Nafis = CFOcorr / Trfis
Nafisaprox = Int(Nafis) + 1 'Aproximación

```

'Corrección del CFO por la lluvia

```

CFOcorrlluv = CFOcorr / (Kp * Kr)

```

'Cálculo del número de aisladores en cond. húmeda

```

Nafih = CFOcorrlluv / Trfih
Nafihaprox = Int(Nafih) + 1 'Aproximación

```

'Calculo del número de aisladores a frec. ind. en

```

'zona contaminada
Nnfi = (V11 * Kf * Ksv * Ks * Longaislacion) / (Sqr(3) * Distfuga)
Nnfiaprox = Int(Nnfi) + 1 'Aproximación

```

'Código para determinar el máximo número de aisladores a F.I.

```

If Nafisaprox >= Nafihaprox Then
    Nasmsc = Nafisaprox
Else
    Nasmsc = Nafihaprox
End If
If Nasmsc >= Nnfiaprox Then
    Namaxfi = Nasmsc
Else
    Namaxfi = Nnfiaprox
End If
End Sub

```

'CÁLCULOS ANTE SOBRETENSIONES DE MANIOBRA

```

Private Sub Sobretonsesdemanioabra()
    Sm = txtSobmanioabra.Text 'Sobretensión de maniobra
    K1 = txtImpmanioabra.Text ' Relación tensión de impulso/sob. maniobra
    Const Kll = 1.05 ' Factor de corrección por lluvia S.M.
    Trim = txtTrim.Text 'Tensión de resistencia al impulso
    V11 = cboV11.List(cboV11.ListIndex) 'tensión del sistema

```

'Cálculo del voltaje de maniobra máximo convencional rms

```

Vsm = (Sqr(2) * V11 * Ksv * Sm) / Sqr(3)

```


'Cálculo del voltaje crítico disruptivo para sobretensiones de maniobra

CFOman = Vsm / (1 - 3 * Sigmasm)

'Corrección del voltaje crítico por lluvia

CFOmanll = CFOman * Kll

'Cálculo de la distancia mínima por S.M. requerida

For Dmsm = 0.01 To 10 Step 0.00001

CFOman1 = 442 * Dmsm - 30.4 * Dmsm ^ 2 + 0.83 * Dmsm ^ 3

If Abs(CFOmanll - CFOman1) <= 0.01 Then

Exit For

End If

Next Dmsm

Dmsmcorr = Dmsm / (Hd * Dra) 'Dist. min. corregida

'Cálculo del exponente n para sobretensio de maniobra

Expm = 1.4166 - 0.0301 * Dmsmcorr + 0.03081 * Dmsmcorr ^ 2 - 0.001107 * Dmsmcorr ^ 3

'Corrección del voltaje crítico S.M. a tensión de impulso crítico

CFOmank1 = CFOmanll * K1

'Corrección del voltaje crítico S.M. por cond. ambientales

CFOmancca = CFOman1 * ((Hv / Dra) ^ Expm)

'Cálculo del número de aisladores S.M. sin contaminación

Naim = CFOmancca / Trim

Naimaprox = Int(Naim) + 1 'Aproximación

'Cálculo del número de aisladores S.M. en ambiente contaminado

Naimcont = (Sqr(2) * V11 * Sm * Ks * Longaislacion) / (Sqr(3) * Distfuga)

Naimcontaprox = Int(Naimcont) + 1

'Código para determinar el máximo número de aisladores a S.M.

If Naimaprox > Naimcontaprox Then

Namaxsm = Naimaprox

Else

Namaxsm = Naimcontaprox

End If

'Código para determinar el máximo número de aisladores

If Namaxfi > Namaxsm Then

numeroaisladores = Namaxfi

Else

numeroaisladores = Namaxsm

End If

End Sub

CÁLCULO ANTE SOBRETENSIONES ATMOSFÉRICAS

Private Sub Sobretenionesatmosfericas()

Pesocg = txtPesocg.Text 'Peso del cable de guarda

Lvano = txtVanoreal.Text 'Longitud del vano real

Tcond = txtTensioncon.Text 'Tensión del conductor

Tcg = txtTensioncg.Text 'tensión del cable de guarda

Hcon = txtAlturacf.Text 'Altura del conductor

```

Hcg = txtAlturacg.Text 'Altura del cable de guarda
Rcon = (txtRadiocon.Text) / 100 'radio del conductor en [m]
Xgc = txtSepcycg.Text 'Separación horizontal entre el cond. y cable de guarda
Dccg = txtSepcgyg.Text 'Separación entre el cond. y cable de guarda
Htorre = txtAlturat.Text 'Altura de la torre
Distr = (txtDiamet.Text) / 2 'Ancho de la torre
Rpt = txtResistpt.Text 'resistencia de puesta a tierra
CFOsobatm = (txtTrian.Text) * Dra * Hv 'tensión crítica ante impulsos atmosféricos corr.
Rcg = (txtRadiocg.Text) / 100 'Radio del cable de guarda en [m]
Vcdsatm = CFOsobatm * numeroaisladores 'Tensión de aguante ante sob. atm.
Flechacon = (Pesoc * Lvano ^ 2) / (8 * Tcond) 'flecha del conductor
Flechacg = (Pesocg * Lvano ^ 2) / (8 * Tcg) 'flecha del cable de guarda
Hcfe = Abs(Hcon - (2 / 3) * Flechacon) 'Altura efectiva del conductor
Hcgefe = Abs(Hcg - (2 / 3) * Flechacg) 'Altura efectiva del cable de guarda
Zcond = 60 * Ln(2 * Hcfe / Rcon) 'Impedancia de onda del conductor
Imin = (2 * Vcdsatm) / Zcond 'corriente mínima
V11 = cboV11.List(cboV11.ListIndex) 'tensión del sistema

```

```

If optNcg(1).Value = True Or optNcg(2).Value = True Then

```

'TASA DE SALIDA POR FALLA DE APANTALLAMIENTO

```

Smin = 10 * (Imin) ^ 0.65 'Distancia de atracción mínima
If V11 < 69 Then
    beta = 1
Else
    beta = 0.8
End If
tita = Arcsin((beta * Smin - Hcfe) / Smin)
alfas = Atn(Xgc / (Hcgefe - Hcfe))
omega = Arccos((Hcgefe - Hcfe) / (Cos(alfas) * 2 * Smin))
Xs = Smin * (Cos(tita) + Sin(alfas - omega)) 'ancho de la zona desprotegida
Ndesc = (0.004 * (NCR ^ 1.25) * Xs) / 2 'Número de descargas sobre la zona no protegida
DY0 = (Hcgefe + Hcfe) / 2
eme = Tan(alfas)
Bss = beta * (eme ^ 2 + 1)
Ass = eme ^ 2 - (eme ^ 2) * beta - beta ^ 2
Css = eme ^ 2 + 1
Smax = DY0 * ((-Bss - Sqr(Bss ^ 2 + Ass * Css)) / Ass) 'Distancia de atracción máxima
Imax = 0.029 * ((Smax) ^ 1.54)
Tsalfa = Ndesc * (Prob(Imin) - Prob(Imax))

```

'TASA DE SALIDA POR DESCARGAS RETROACTIVAS (BACK FLASH OVER)

```

Dccgim = Sqr((Hcg + Hcon) ^ 2 + Xgc ^ 2) 'Distancia entre el cable de guarda y conductor
Zccg = 60 * Ln(Dccgim / Dccg) ' Impedancia mutua entre el cable de guarda y conductor
Zcg = 60 * Ln((2 * Hcgefe) / Rcg) 'Impedancia de onda del cable de guarda
Kac = (Zccg / Zcg) 'Coeficiente de acoplamiento entre el cable de guarda y conductor
'Cálculo de la impedancia de la torre
If optTorre(0).Value = True Then
    Ztorre = 30 * Ln((2 * (Htorre ^ 2 + Distr ^ 2)) / Distr ^ 2)
ElseIf optTorre(1).Value = True Then
    Distb = txtanchot.Text 'Distancia b
    Zs = 60 * Ln(Htorre / Distr) + 90 * Ln(Distr / Htorre) - 60
    Zm = 60 * Ln(Htorre / Distb) + 90 * Ln(Distb / Htorre) - 60

```

```

    Ztorre = (1 / 2) * (Zs + Zm)
ElseIf optTorre(2).Value = True Then
    Ztorre = 60 * Ln((Sqr(2) * 2 * Htorre) / Distr) - 60
ElseIf optTorre(3).Value = True Then
    Ztorre = 60 * Ln((Sqr(2) * 2 * Htorre) / Distr) - 60
ElseIf optTorre(4).Value = True Then
    Ztorre = txtImpedt.Text
End If
'número de cables de guarda
If optNcg(1).Value = True Then
    ncg = 1
    Distcg = 0
ElseIf optNcg(2).Value = True Then
    ncg = 2
    Distcg = txtSepcg.Text 'Distancia entre los cables de guarda
End If
Ecritico = 241 * ((1 / Resistterreno) ^ (-0.215)) 'Gradiente de ionización
Icritico = 0.150154 * (Ecritico / Rpt ^ 2) 'Corriente de ionización

For Iprueb = 0.1 To 900000 Step 0.01
    Imp1 = (Ztorre + Rpt + Zcg / ncg) / 2
    Itierra = Iprueb * (Imp1 / (Imp1 + Ztorre + Rpt)) 'Corriente drenada a tierra
    Rioni = Rpt / (Sqr(1 + (Itierra / Icritico)))
    Zequiv = ((Rioni + Ztorre) * (Zcg / ncg)) / (Rioni + Ztorre + (Zcg / ncg))
    DeltaV = (1 - Kac) * Iprueb * Zequiv + (Sqr(2) / Sqr(3)) * V11
    If Int(DeltaV) = Int(Vcdsatm) Then
        Irayo = Iprueb
        Exit For
    End If
Next Iprueb

Ntierra = 0.04 * ((NCR) ^ 1.25) 'Descargas a tierra
If V11 <= 69 then
    wd = Distcg + 28 * ((Hcgefe) ^ 0.6) 'Ventana transversal
Elseif V11 >= 115 then
    wd = Distcg + 4 * ((Hcgefe) ^ 1.09) 'Ventana transversal
End if
Nlinea = (wd * Ntierra) / 10 'Descargas sobre la línea
'Descargas sobre la torre
If optMaterial(0).Value = True Then
    Ntorre = 0.6 * Nlinea
ElseIf optMaterial(1).Value = True Then
    Ntorre = 0.4 * Nlinea
End If
TsalBFO = Ntorre * Prob(Irayo) / 100 'tasa de salida por Back flash over

ElseIf optNcg(0).Value = True Then

'TASA DE SALIDA EN CIRCUITOS SIN CABLE DE GUARDA
Distcon = txtSepcond.Text 'Separación entre los conductores mas elevados
Ntierra = 0.04 * ((NCR) ^ 1.25) 'Descargas a tierra
Wsg = Distcon + 28 * ((Hcfe) ^ 0.6)
Tsalscg = Wsg * Ntierra * Prob(Imin) / 100

```

```
End If
End Sub
```

**CÓDIGO A PARA ACTIVAR O DESACTIVAR LAS CASILLAS CORRESPONDIENTES AL
ELEGIR LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA TENSIÓN IDUCIDA**

```
Private Sub casoA()
txtIo.Enabled = True
txtIo.BackColor = vbWhite
txtTfrente.Enabled = True
txtTfrente.BackColor = vbWhite
txtTcola.Enabled = True
txtTcola.BackColor = vbWhite
txtAnube.Enabled = True
txtAnube.BackColor = vbWhite
If Band = False Then
    txtAltlinea1.Enabled = True
    txtAltlinea1.BackColor = vbWhite
End If
txtYo.Enabled = True
txtYo.BackColor = vbWhite
txtXind.Enabled = True
txtXind.BackColor = vbWhite
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CasoB()
txtIo.Enabled = True
txtIo.BackColor = vbWhite
txtTfrente.Enabled = True
txtTfrente.BackColor = vbWhite
txtTcola.Enabled = True
txtTcola.BackColor = vbWhite
txtAnube.Enabled = False
txtAnube.BackColor = vbScrollBars
txtAltlinea1.Enabled = True
txtAltlinea1.BackColor = vbWhite
txtYo.Enabled = True
txtYo.BackColor = vbWhite
txtXind.Enabled = False
txtXind.BackColor = vbScrollBars
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CasoC()
txtIo.Enabled = True
txtIo.BackColor = vbWhite
txtTfrente.Enabled = True
txtTfrente.BackColor = vbWhite
txtTcola.Enabled = False
txtTcola.BackColor = vbScrollBars
txtAnube.Enabled = True
txtAnube.BackColor = vbWhite
txtAltlinea1.Enabled = True
txtAltlinea1.BackColor = vbWhite
```

```

txtYo.Enabled = True
txtYo.BackColor = vbWhite
txtXind.Enabled = True
txtXind.BackColor = vbWhite

```

```
End Sub
```

```

Private Sub CasoD()
txtIlo.Enabled = False
txtIlo.BackColor = vbScrollBars
txtTfrente.Enabled = False
txtTfrente.BackColor = vbScrollBars
txtTcola.Enabled = False
txtTcola.BackColor = vbScrollBars
txtAnube.Enabled = False
txtAnube.BackColor = vbScrollBars
txtYo.Enabled = False
txtYo.BackColor = vbScrollBars
txtXind.Enabled = False
txtXind.BackColor = vbScrollBars
If Band = False Then
    txtAltlinea1.Enabled = False
    txtAltlinea1.BackColor = vbScrollBars
End If
End Sub

```

VERIFICACIÓN DEL VALOR DADO POR EL USUARIO EN LA CASILLA DE YO

```

Private Sub txtYo_LostFocus()
'
If Len(txtYo) <> 0 Then
    If IsNumeric(txtYo) Then
        If txtYo.Text <= 4.999 Or txtYo.Text >= 20000.001 Then
            MsgBox "El valor de la distancia Yo debe estar entre 5m y 20km", 0 + 64, "Verificación"
            sstDatos.Tab = 5
            txtYo.SetFocus
        End If
    Else
        MsgBox "Introduzca sólo un separador de decimales", 0 + 16, "Error"
        sstDatos.Tab = 5
        txtYo.SetFocus
    End If
End If
End Sub

```

TASA DE SALIDA POR EL MÉTODO DE RUSCK

```

Private Sub Tasarusck()
Const Zoru = 30
Hcon = txtAlturacf.Text
CForusck = (txtTrian.Text) * Dra * Hv * 1.5 'tensión crítica ante impulsos atmosféricos corr.
Ncrru = txtNcr.Text
Const c = 3 * 10 ^ 8
For Ioru = 1 To 20000 Step 0.5
    rsru = 10 * Ioru ^ 0.65
    rgru = 0.9 * rsru

```

```

Yru = Sqr(Abs(rsru ^ 2 - (rgru - Hcon) ^ 2))
Vrru = c / Sqr(1 + 500 / Ioru)
Vindru = (Zoru * Ioru * Hcon / Yru) * (1 + (1 / Sqr(2)) * (Vrru / c) * (1 / (Sqr((1 - 0.5 * (Vrru / c) ^ 2))))))
If Vindru >= CFOrusck Then
    Yminru = Yru
    Exit For
End If
Next Ioru
For Ymru = Yminru To 5000 Step 1
    Vindru2 = (Zoru * Ioru * Hcon / Ymru) * (1 + (1 / Sqr(2)) * (Vrru / c) * (1 / (Sqr((1 - 0.5 * (Vrru / c) ^ 2))))))
    If Vindru2 <= CFOrusck Then
        Ymaxru = Ymru
        Exit For
    End If
Next Ymru
Ngru = 0.4 * (Ncrru) ^ 1.25
Tsalrusck = 2 * (Ymaxru - Yminru) * Ngru * Prob(Ioru)

frmResult.txtTasarusck.Text = Tsalrusck

End Sub

```

TASA DE SALIDA POR VOISLAV

```

Private Sub Tasavoislav()
Hcon = txtAlturacf.Text
CFOvois = (txtTrian.Text) * Dra * Hv * 1.5 'tensión crítica ante impulsos atmosféricos corr.
Tcvois = txtTcola.Text
Const pi = 3.14159226

For Iovoislav = 1 To 20000 Step 0.5
    For Tfvois = 0.5 To 10.5 Step 0.5
        rsvois = 10 * Iovois ^ 0.65
        rgvois = 0.9 * rsvois
        Yovois = Sqr(Abs(rsvois ^ 2 - (rgvois - Hcon) ^ 2))
        Kuvois = (Hcon / 10) * (1 - 0.1875 * (Tfvois - 0.8) - 3.333 * (10 ^ (-4)) * 4 * Tcvois / (Hcon ^ 0.6))
        Kovois = 2.25 + 3.25 * Exp(-(Abs(Tfvois - 0.1) ^ 1.45) / 0.55)
        K1vois = -((Kovois - Sqr(Kovois)) / 3.45)
        K5vois = (10 ^ (-4)) * (0.7 * Exp(-(Abs(Tfvois - 0.19) ^ 1.4) / 0.19) + 0.18 * (1 - 0.667 ^ ((Tcvois - 28.85) / 28.85)) - 1.15)
        Vindvois = Kuvois * Iovoislav * Exp(Kovois + K1vois * Ln(Yovois) + K5vois * (Ln(Yovois) ^ 5))
        If Abs(Vindvois) >= CFOvois Then
            Exit For
        End If
    Next Tfvois
    If Abs(Vindvois) >= CFOvois Then
        Yminvois = Yovois
        Iovo = Iovoislav
        Tfvo = Tfvois
        Exit For
    End If
End Sub

```

```

Next Iovoislav
Kuvo = (Hcon / 10) * (1 - 0.1875 * (Tfvo - 0.8) - 3.333 * (10 ^ (-4)) * 4 * Tcvois / (Hcon ^ 0.6))
Kovo = 2.25 + 3.25 * Exp(-(Abs(Tfvo - 0.1) ^ 1.45) / 0.55)
K1vo = -((Kovo - Sqr(Kovo)) / 3.45)
K5vo = (10 ^ (-4)) * (0.7 * Exp(-(Abs(Tfvo - 0.19) ^ 1.4) / 0.19) + 0.18 * (1 - 0.667 ^ ((Tcvois - 28.85) / 28.85)) - 1.15)
For Ymvois = Yminvois To 10000 Step 1
    Vindvo = Kuvo * Iovo * Exp(Kovo + K1vo * Ln(Ymvois) + K5vo * (Ln(Ymvois) ^ 5))
    If Abs(Vindvo) <= CFOvois Then
        Ymaxvois = Ymvois
        Exit For
    End If
Next Ymvois
Ngvois = 0.4 * (txtNcr.Text) ^ 1.25
Tsvoislav = (2 * (Ymaxvois - Yminvois) * Ngvois * Prob(Iovo) * Prob(Tfvo)) / (Ymaxvois - Yminvois)
frmResult.txtTasavoislav.Text = Tsvoislav
End Sub

```

CÁLCULO DE LA TENSION INDUCIDA POR RUSCK

```

Private Sub Rusck()
Dim I As Single
Spathr = App.Path & "\Rusck.xls"
Set Excelappr = CreateObject("Excel.Application")
Set objLibroexcelr = Excelappr.Workbooks.Open(Spathr)
Set objHojaExcelr = objLibroexcelr.Worksheets(1)
Excelappr.DisplayAlerts = False
Ior = txtIlo.Text
Yor = txtYo.Text
Tfr = txtTfrente.Text
Tcr = txtTcola.Text
If Band = True Then
    Hcon = txtAlturacf.Text
Else
    Hcon = txtAltlinea1.Text
End If
Const c = 300000000
Const Zor = 30
Vrc = c / Sqr(1 + 500 / Ior)
nitar = Exp(-Sqr((2 * Tfr) / Tcr))
I = 0
For tsr = 0.001 To 60 Step 1
    I = I + 1
    Iorusck = (Ior / nitar) * Exp(-tsr / Tcr) * (((tsr / Tfr) ^ 2) / (1 + (tsr / Tfr) ^ 2))
    Vindr = (Zor * Iorusck * Hcon / Yor) * (1 + (1 / Sqr(2)) * (Vrc / c) * (1 / (Sqr((1 - 0.5 * (Vrc / c) ^ 2)))))
With Excelappr.ActiveSheet
    .Cells(I, 1).Value = tsr
    .Cells(I, 2).Value = Vindr
End With
Next tsr
frmResult.txtVindrusck = Excelappr.ActiveSheet.Cells(1, 4).Value
objLibroexcelr.SaveAs Spathr

```

```

objLibroexcelr.Close False
Excelappr.Quit
Set Excelappr = Nothing
Set objLibroexcelr = Nothing
Set objHojaExcelr = Nothing
frmResult.oleRusck.CreateEmbed Spathr, "Excel.Application"
End Sub

```

CÁLCULO DE LA TENSIÓN INDUCIDA POR VOISLAV

```

Private Sub Voislav()
Dim I As Single
Spathv = App.Path & "\Voislav.xls"
Set Excelappv = CreateObject("Excel.Application")
Set objLibroexcelv = Excelappv.Workbooks.Open(Spathv)
Set objHojaExcelv = objLibroexcelv.Worksheets(1)
Excelappv.DisplayAlerts = False
Iov = txtIlo.Text
Yov = txtYo.Text
Tfv = txtTfrente.Text
Tcv = txtTcola.Text
If Band = True Then
    Hcon = txtAlturacf.Text
Else
    Hcon = txtAltlinea1.Text
End If
nita = Exp(-Sqr((2 * Tfv) / Tcv))
Kuv = (Hcon / 10) * (1 - 0.1875 * (Tfv - 0.8) - 3.333 * (10 ^ (-4)) * 4 * Tcv / (Hcon ^ 0.6))
Kov = 2.25 + 3.25 * Exp(-(Abs(Tfv - 0.1) ^ 1.45) / 0.55)
K1v = -((Kov - Sqr(Kov)) / 3.45)
K5v = (10 ^ (-4)) * (0.7 * Exp(-(Abs(Tfv - 0.19) ^ 1.4) / 0.19) + 0.18 * (1 - 0.667 ^ ((Tcv - 28.85) / 28.85)) - 1.15)
I = 0
For tsv = 0.001 To 60 Step 1
I = I + 1
Iovois = (Iov / nita) * Exp(-tsv / Tcv) * (((tsv / Tfv) ^ 2) / (1 + (tsv / Tfv) ^ 2))

Vindv = Kuv * Iovois * Exp(Kov + K1v * Ln(Yov) + K5v * (Ln(Yov) ^ 5))
With Excelappv.ActiveSheet
    .Cells(I, 1).Value = tsv
    .Cells(I, 2).Value = Vindv
End With
Next tsv
frmResult.txtVindvoislav = Excelappv.ActiveSheet.Cells(1, 4).Value
objLibroexcelv.SaveAs Spathv
objLibroexcelv.Close False
Excelappv.Quit
Set Excelappv = Nothing
Set objLibroexcelv = Nothing
Set objHojaExcelv = Nothing
frmResult.oleVoislav.CreateEmbed Spathv, "Excel.Application"
End Sub

```


CÁLCULO DE LA TENSIÓN INDUCIDA POR CHOWDHURI

```
Private Sub Chowdhuri()
Dim I As Single
Spath = App.Path & "\\Chow1.xls"
Set Excelapp = CreateObject("Excel.Application")
Set objLibroexcel = Excelapp.Workbooks.Open(Spath)
Set objHojaExcel = objLibroexcel.Worksheets(1)
Excelapp.DisplayAlerts = False
Ioc = (txtIo.Text) * 1000
Hcc = (txtAnube.Text) * 1000
Yoc = txtYo.Text
Xoc = txtXind.Text
Tfc = (txtTfrente.Text) / 1000000
Const c = 300000000
Tsim = 0.00006
beta1 = 1 / (1 + 500000 / Ioc) ^ 0.5
If Band = True Then
    Hcon = txtAlturacf.Text
Else
    Hcon = txtAltlinea1.Text
End If
I = 0
For Tsc = 0.000001 To Tsim Step 0.000001
    I = I + 1
    Bo = 1 - beta1 ^ 2
    Tin = ((Xoc ^ 2 + Yoc ^ 2) ^ 0.5) / c
    Tof = Tin + Tfc
    Ttf = Tsc - Tfc
    Fo = (30 * Ioc * Hcon) / (Tfc * beta1 * c)
    Mo = (((c * Tin - Xoc) ^ 2 + Yoc ^ 2) ^ 2 + 4 * (Hcc ^ 2) * (c * Tin - Xoc) ^ 2) ^ 0.5
    M1 = (((c * Tsc - Xoc) ^ 2 + Yoc ^ 2) ^ 2 + 4 * (Hcc ^ 2) * (c * Tsc - Xoc) ^ 2) ^ 0.5
    No = (((c * Tin + Xoc) ^ 2 + Yoc ^ 2) ^ 2 + 4 * (Hcc ^ 2) * (c * Tin + Xoc) ^ 2) ^ 0.5
    N1 = (((c * Tsc + Xoc) ^ 2 + Yoc ^ 2) ^ 2 + 4 * (Hcc ^ 2) * (c * Tsc + Xoc) ^ 2) ^ 0.5
    M1a = (((c * Ttf - Xoc) ^ 2 + Yoc ^ 2) ^ 2 + 4 * (Hcc ^ 2) * (c * Ttf - Xoc) ^ 2) ^ 0.5
    N1a = (((c * Ttf + Xoc) ^ 2 + Yoc ^ 2) ^ 2 + 4 * (Hcc ^ 2) * (c * Ttf + Xoc) ^ 2) ^ 0.5
    F1 = M1 + (c * Tsc - Xoc) ^ 2 - Yoc ^ 2
    F2 = M1 - (c * Tsc - Xoc) ^ 2 + Yoc ^ 2
    F3 = Mo + Yoc ^ 2 - (c * Tin - Xoc) ^ 2
    F4 = Mo - Yoc ^ 2 + (c * Tin - Xoc) ^ 2
    F5 = N1 + (c * Tsc + Xoc) ^ 2 - Yoc ^ 2
    F6 = N1 - (c * Tsc + Xoc) ^ 2 + Yoc ^ 2
    F7 = No + Yoc ^ 2 - (c * Tin + Xoc) ^ 2
    F8 = No - Yoc ^ 2 + (c * Tin + Xoc) ^ 2
    F9 = Bo * (beta1 ^ 2 * Xoc ^ 2 + Yoc ^ 2) + beta1 ^ 2 * c ^ 2 * Tsc ^ 2 * (1 + beta1 ^ 2)
    F10 = 2 * beta1 ^ 2 * c * Tsc * (beta1 ^ 2 * c ^ 2 * Tsc ^ 2 + Bo * (Xoc ^ 2 + Yoc ^ 2)) ^ 0.5
    F11 = (c ^ 2 * Tsc ^ 2 - Xoc ^ 2) / Yoc ^ 2
    F12 = (F9 - F10) / (Bo ^ 2 * Yoc ^ 2)
    F13 = (F1 * F3 * F5 * F7) / (F2 * F4 * F6 * F8)
    F1a = M1a + (c * Ttf - Xoc) ^ 2 - Yoc ^ 2
    F2a = M1a - (c * Ttf - Xoc) ^ 2 + Yoc ^ 2
    F3a = F3
    F4a = F4
    F5a = N1a + (c * Ttf + Xoc) ^ 2 - Yoc ^ 2
    F6a = N1a - (c * Ttf + Xoc) ^ 2 + Yoc ^ 2
```

```

F7a = F7
F8a = F8
F9a = Bo * (beta1 ^ 2 * Xoc ^ 2 + Yoc ^ 2) + beta1 ^ 2 * c ^ 2 * Ttf ^ 2 * (1 + beta1 ^ 2)
F10a = 2 * beta1 ^ 2 * c * Ttf * (beta1 ^ 2 * c ^ 2 * Ttf ^ 2 + Bo * (Xoc ^ 2 + Yoc ^ 2)) ^ 0.5
F11a = (c ^ 2 * Ttf ^ 2 - Xoc ^ 2) / Yoc ^ 2
F12a = (F9a - F10a) / (Bo ^ 2 * Yoc ^ 2)
f13a = (F1a * F3a * F5a * F7a) / (F2a * F4a * F6a * F8a)
If F12 <= 0 Or F11 <= 0 Or F13 <= 0 Or F12a <= 0 Or F11a <= 0 Or f13a <= 0 Then
    Vind = 0
Else
    V1 = Fo * (Bo * Ln(F12) - Bo * Ln(F11) + 0.5 * Ln(F13))
    V2 = -Fo * (Bo * Ln(F12a) - Bo * Ln(F11a) + 0.5 * Ln(f13a))
    Vind = V1 + V2
End If
With Excelapp.ActiveSheet
    .Cells(I, 1).Value = Tsc * 1000000
    .Cells(I, 2).Value = Vind / 1000
End With
Next Tsc
frmResult.txtVindchowdhuri = Excelapp.ActiveSheet.Cells(1, 4).Value
objLibroexcel.SaveAs Spath
objLibroexcel.Close False
Excelapp.Quit
Set Excelapp = Nothing
Set objLibroexcel = Nothing
Set objHojaExcel = Nothing
frmResult.oleChowdhuri.CreateEmbed Spath, "Excel.Application"
End Sub

```

CÓDIGO PARA VERIFICAR CUALES DATOS SON ENVIADOS A LA VENTANA DE RESULTADOS DE ACUERDO AL TIPO DE METODOLOGÍA ESCOGIDA

```

Private Sub opciontensionind()
'Sólo marcada la opción Rusck
If chkRusck.Value = 1 And chkVoislav.Value = 0 And chkChowdhuri.Value = 0 Then
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(0) = True
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(1) = False
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(2) = False
    frmResult.sstabVind.Tab = 0
    Call Rusck
End If
'Sólo marcada la opción Voislav
If chkRusck.Value = 0 And chkVoislav.Value = 1 And chkChowdhuri.Value = 0 Then
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(0) = False
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(1) = True
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(2) = False
    frmResult.sstabVind.Tab = 1
    Call Voislav
End If
'Sólo marcada la opción Chowdhuri
If chkRusck.Value = 0 And chkVoislav.Value = 0 And chkChowdhuri.Value = 1 Then
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(0) = False
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(1) = False
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(2) = True
    frmResult.sstabVind.Tab = 2

```

```

    Call Chowdhuri
End If
'Marcadas la opción Rusck y Voislav
If chkRusck.Value = 1 And chkVoislav.Value = 1 And chkChowdhuri.Value = 0 Then
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(0) = True
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(1) = True
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(2) = False
    frmResult.sstabVind.Tab = 0
    Call Rusck
    Call Voislav
End If
'Marcadas la opción Rusck y Chowdhuri
If chkRusck.Value = 1 And chkVoislav.Value = 0 And chkChowdhuri.Value = 1 Then
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(0) = True
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(1) = False
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(2) = True
    frmResult.sstabVind.Tab = 0
    Call Rusck
    Call Chowdhuri
End If
'Marcadas la opción Voislav y Chowdhuri
If chkRusck.Value = 0 And chkVoislav.Value = 1 And chkChowdhuri.Value = 1 Then
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(0) = False
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(1) = True
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(2) = True
    frmResult.sstabVind.Tab = 1
    Call Voislav
    Call Chowdhuri
End If
'Marcadas la opción Voislav, Rusck y Chowdhuri
If chkRusck.Value = 1 And chkVoislav.Value = 1 And chkChowdhuri.Value = 1 Then
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(0) = True
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(1) = True
    frmResult.sstabVind.TabEnabled(2) = True
    frmResult.sstabVind.Tab = 0
    Call Rusck
    Call Voislav
    Call Chowdhuri
End If
End Sub

```

CÓDIGOS PRESENTES EN LA VENTANA DE RESULTADOS

Dim Imin As Single, Imax As Single, Irayo As Single, numeroaislad As Variant
 Dim TipoAislador As String, Fabricante As String

CÓDIGO DEL BOTÓN CERRAR

```

Private Sub cmdcerrar_Click()
    Unload Me
    Beep
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()

```

```

txtVfis.Refresh
txtVfis.Refresh
txtNafis.Refresh
txtVfih.Refresh
txtNafih.Refresh
txtNac.Refresh
txtDistmin.Refresh
txtVdsm.Refresh
txtNasm.Refresh
txtNasmc.Refresh
txtDistman.Refresh
Frmdatos.txtEspere.Visible = True
Frmdatos.lblEspere1.Visible = True
If Frmdatos.Band = True Then
    frmResult.txtTasarusck.BackColor = &HFFFFFF
    frmResult.txtTasavoislav.BackColor = &HFFFFFF
    frmResult.txtTasachowdhuri.BackColor = &HFFFFFF
    If Frmdatos.V11 <= 69 Then
        If Frmdatos.chkInducido.Value = 1 Then
            sstabResult.TabEnabled(0) = True
            sstabResult.TabEnabled(1) = True
            sstabResult.Tab = 0
            If Frmdatos.chkRusck.Value = 1 Then
                sstabVind.TabEnabled(0) = True
            End If
            If Frmdatos.chkVoislav.Value = 1 Then
                sstabVind.TabEnabled(1) = True
            End If
            If Frmdatos.chkChowdhuri.Value = 1 Then
                sstabVind.TabEnabled(2) = True
            End If
        Else
            sstabResult.TabEnabled(0) = True
            sstabResult.TabEnabled(1) = False
            sstabResult.Tab = 0
        End If
    End If
    If Frmdatos.V11 > 69 Then
        sstabResult.TabEnabled(1) = False
        sstabResult.Tab = 0
    End If
    txtVfis.Text = Frmdatos.CFOcorr
    txtNafis.Text = Frmdatos.Nafisaprox
    txtVfih.Text = Frmdatos.CFOcorrlluv
    txtNafih.Text = Frmdatos.Nafihaprox
    txtNac.Text = Frmdatos.Nnfiaprox
    txtDistmin.Text = Frmdatos.Dmincorr
    txtVdsm.Text = Frmdatos.CFOmancca
    txtNasm.Text = Frmdatos.Naimaprox
    txtNasmc.Text = Frmdatos.Naimcontaprox
    txtDistman.Text = Frmdatos.Dmsmcorr
    If Frmdatos.optNcg(1).Value = True Or Frmdatos.optNcg(2).Value = True Then
        txtTsfa.Text = Frmdatos.Tsalfa
        txtTsbfo.Text = Frmdatos.TsalBFO
    End If
End If

```

```

        txtTsscg.Text = ""
        txtTsscg.BackColor = &H80000000
    ElseIf Frmdatos.optNcg(0).Value = True Then
        txtTsscg.Text = Frmdatos.Tsalscg
        txtTsfa.Text = ""
        txtTsfa.BackColor = &H80000000
        txtTsbfo.Text = ""
        txtTsbfo.BackColor = &H80000000
    End If
    If Frmdatos.optAislador(0).Value = True Then
        TipoAislador = "CLEVIS"
    ElseIf Frmdatos.optAislador(1).Value = True Then
        TipoAislador = "CUENCA Y BOLA"
    ElseIf Frmdatos.optAislador(2).Value = True Then
        TipoAislador = "FOG"
    End If
    If Frmdatos.optFabricante(0).Value = True Then
        Fabricante = "NGK INSULATORS"
    ElseIf Frmdatos.optFabricante(1).Value = True Then
        Fabricante = "ELECTROPORCELANA GAMMA"
    End If
    If Frmdatos.chkAislador = 0 Then
        lblResultados.Caption = "EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES Nº " & Frmdatos.Catalogo
        & " " & "(TIPO " & TipoAislador & ")" & " DE " & _
        Fabricante & ", PARA LA CADENA DE SUSPENSIÓN ES DE " & Frmdatos.numeroaisladores
        & " UNIDADES."
    Else
        lblResultados.Caption = "EL NÚMERO MÍNIMO DE AISLADORES, PARA LA CADENA DE
        SUSPENSIÓN ES DE " & Frmdatos.numeroaisladores & " UNIDADES."
    End If
    ElseIf Frmdatos.Band = False Then
        frmResult.txtTasarusck.BackColor = &H80000000
        frmResult.txtTasavoislav.BackColor = &H80000000
        frmResult.txtTasachowdhuri.BackColor = &H80000000
        sstabResult.TabEnabled(0) = False
        sstabResult.Tab = 1
        If Frmdatos.chkRusck.Value = 1 Then
            sstabVind.TabEnabled(0) = True
        End If
        If Frmdatos.chkVoislav.Value = 1 Then
            sstabVind.TabEnabled(1) = True
        End If
        If Frmdatos.chkChowdhuri.Value = 1 Then
            sstabVind.TabEnabled(2) = True
        End If
    End If
End If 'Fin de la comprobación de la bandera
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
    Frmdatos.txtEspere.Visible = False
    Frmdatos.lblEspere1.Visible = False
    Frmdatos.Enabled = True
End Sub

```

```
Private Sub mnuAcerca_Click()
frmAcercadepcal.Show 1
End Sub
```

```
Private Sub mnucerrar_Click()
Unload Me
Beep
End Sub
```

```
Private Sub mnuContenido_Click()
frmAyudagen.Show 1
End Sub
```

```
Private Sub mnuFicharesul_Click()
Printer.Orientation = 2
Printer.PaperSize = xlPaperLetter
PrintForm
End Sub
```

```
Private Sub mnuSalir_Click()
Dim Salir As Integer
Salir = MsgBox("¿Desea salir del programa?", 4 + 256 + 32, "Salir")
If Salir = vbYes Then
Beep
End
End If
End Sub
```

CÓDIGOS PRESENTES EN LA VENTANA DE AYUDA

```
Private Sub Form_Load()
With lstAyuda
.List(0) = " 1.- AYUDA SOBRE ALGÚN PARÁMETRO DEL PROGRAMA"
.List(1) = " 2.- CALCULAR SOLAMENTE LAS SOBRETENSIONES INDUCIDAS "
.List(2) = " 3.- EL PUNTO PARA SEPARAR LA PARTE ENTERA DE LA DECIMAL NO SE ESCRIBE"
.List(3) = " 4.- HACER EL CÁLCULO DE LA COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO"
.List(4) = " 5.- IMRIMIR LOS RESULTADOS"
.List(5) = " 6.- LA VENTANA DEL PROGRAMA SE VE PEQUEÑA AL CARGARSE"
.List(6) = " 7.- NO ESTÁ DISPONIBLE LA FICHA PARA EL CÁLCULO DE LA TENSIÓN INDUCIDA"
End With
End Sub
```

```
Private Sub lstAyuda_Click()
If lstAyuda.ListIndex = 0 Then
txtAyuda = " Cuando tenga dudas acerca de algún parámetro de PCAL, " & vbCrLf & _
" haga click con el botón derecho del mouse sobre éste, y elija " & vbCrLf & _
" ¿QUÉ ES ESTO? "
End If
If lstAyuda.ListIndex = 1 Then
```

```

txtAyuda = " Para calcular únicamente las sobretensiones inducidas en el " & vbCrLf & _
" sistema, haga click en el menú OPCIONES y elija la opción " & vbCrLf & _
" CÁLCULO DE SOBRETENSIONES INDUCIDAS ÚNICA-" & vbCrLf & _
" MENTE. " & vbCrLf & _
" Cuando se selecciona esta opción, las fichas correspondien- " & vbCrLf & _
" tes a Datos ambientales, Datos del sistema, Datos de los con- " & vbCrLf & _
" ductores, Datos de las estructuras y Datos de los aisladores no " & vbCrLf & _
" estarán disponibles, por lo cual no se podrá realizar el cálculo " & vbCrLf & _
" completo del aislamiento de la línea hasta que se escoja la " & vbCrLf & _
" opción CÁLCULO DEL AISLAMIENTO en el menú opciones. "
End If
If lstAyuda.ListIndex = 2 Then
txtAyuda = " Utilice la COMA (,) para separar la parte entera de los de- " & vbCrLf & _
" cimals para todas las casillas de datos presentes en PCAL. "
End If
If lstAyuda.ListIndex = 3 Then
txtAyuda = " Para que PCAL realice el cálculo de la coordinación del " & vbCrLf & _
" aislamiento, deben suministrarse los datos en TODAS las ca- " & vbCrLf & _
" sillas que esten disponibles (en color blanco)"
End If
If lstAyuda.ListIndex = 4 Then
txtAyuda = " Para imprimir, ya sea alguna ficha de datos, o la ficha de " & vbCrLf & _
" de resultados, elija en el menú ARCHIVO la opción IMPRI- " & vbCrLf & _
" MIR." & vbCrLf & _
" La impresión se hará tal cual aparece en la pantalla del mo- " & vbCrLf & _
" nitor, por lo cual se recomienda antes de imprimir cambiar las " & vbCrLf & _
" opciones de la impresora para que imprima sólo en negro. "
End If
If lstAyuda.ListIndex = 5 Then
txtAyuda = " Este error se debe a la configuración de la pantalla de su " & vbCrLf & _
" computador. " & vbCrLf & _
" Para corregirlo, haga click en el botón INICIO de Windows, " & vbCrLf & _
" elija CONFIGURACIÓN y después haga click en PANEL DE CONTROL. " & vbCrLf & _
" Luego haga doble click en el ícono PANTALLA y elija la fi- " & vbCrLf & _
" cha CONFIGURACIÓN, una vez allí cambie el ÁREA DE " & vbCrLf & _
" PANTALLA a 800 por 600 píxeles."
End If
If lstAyuda.ListIndex = 6 Then
txtAyuda = " La ficha de datos para el cálculo de la tensión inducida no " & vbCrLf & _
" está disponible en los siguientes casos: " & vbCrLf & _
" * No se ha escogido un valor en la lista de Tensión del sistema. " & vbCrLf & _
" * La tensión del sistema es mayor o igual a 115 kV. " & vbCrLf & _
" * La tensión del sistema es menor o igual a 69 kV pero el " & vbCrLf & _
" botón de selección REALIZAR EL CÁLCULO DE LAS " & vbCrLf & _
" SOBRETENSIONES INDUCIDAS (ubicado en la parte " & vbCrLf & _
" inferior derecha de la ficha de Datos del sistema eléctrico) " & vbCrLf & _
" NO está marcado."
End If
End Sub

```

CÓDIGOS PRESENTES EN LA VENTANA DE LA AYUDA DESPLEGADA

```
Private Sub Form_Load()
```

```

If Frmdatos.Bandayuda = 0 Then
    txtAyuda.Text = " TEMPERATURA A BULBO SECO: " & vbCrLf & _
        " Se refiere a la temperatura ambiental y se mide normalmente " & vbCrLf & _
        " con termómetro de mercurio o alcohol, manteniendo el bulbo del " & vbCrLf & _
        " termómetro directamente al aire." & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para la temperatura a bulbo seco " & vbCrLf & _
        " corresponde a:" & vbCrLf & _
        " Temperatura más baja registrada : - 89 °C (en la Antártida) " & vbCrLf & _
        " Temperatura más alta registrada : 58 °C (en Libia)" & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuente: " & vbCrLf & _
        " Macnally, Rand. (1998) Gran Atlas del mundo. "

End If

If Frmdatos.Bandayuda = 1 Then
    txtAyuda.Text = " VELOCIDAD DEL VIENTO: " & vbCrLf & _
        " Este parámetro se obtiene a partir del tratamiento estadístico " & vbCrLf & _
        " de mediciones meteorológicas. Los equipos de las estaciones me- " & vbCrLf & _
        " teorológicas reflejan la velocidad de viento de 5 segundos de " & vbCrLf & _
        " duración, medidos a una altura del suelo de 10 metros, para " & vbCrLf & _
        " períodos de retorno o recurrencia desde 50 hasta 200 años." & vbCrLf & _
        " Sin embargo, si el valor de velocidad de viento del que dispone " & vbCrLf & _
        " corresponde al de 5 minutos de duración, escoja la opción 5 min. " & vbCrLf & _
        " La altura a la cual fue medida la velocidad del viento es neces- " & vbCrLf & _
        " ria para corregir el valor de velocidad por el efecto de la altura." & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para la velocidad del viento corres- " & vbCrLf & _
        " ponde a:" & vbCrLf & _
        " Valor mínimo : 0 km/h " & vbCrLf & _
        " Valor máximo medido : 320 km/h (en la Antártida)" & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuentes: " & vbCrLf & _
        " Macnally, Rand. (1998) Gran Atlas del mundo. " & vbCrLf & _
        " EDELCA.(1997) Metodología para el diseño eléctrico de líneas de " & vbCrLf & _
        " transmisión."

End If

If Frmdatos.Bandayuda = 2 Then
    txtAyuda.Text = " TASA DE PRECIPITACIÓN: " & vbCrLf & _
        " Equivale al volumen de un litro de agua de lluvia o llovizna " & vbCrLf & _
        " caída en 1 m^2 de superfie durante 1 minuto. " & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para la tasa de precipitación es: " & vbCrLf & _
        " Valor mínimo : 0 mm/min " & vbCrLf & _
        " Valor máximo: 50 mm/min " & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuentes: " & vbCrLf & _
        " Macnally, Rand. (1998) Gran Atlas del mundo. " & vbCrLf & _
        " Goldenberg, Mordejai. Evaluación del aislamiento de las líneas " & vbCrLf & _
        " del sistema a 400 kV del Bajo Caroní."

End If

If Frmdatos.Bandayuda = 3 Then
    txtAyuda.Text = " RESISTIVIDAD DEL AGUA DE LLUVIA: " & vbCrLf & _
        " Es la medida de la resistencia específica del flujo de la " & vbCrLf & _
        " electricidad en el agua de lluvia, es una medida exacta de la " & vbCrLf & _
        " pureza iónica. El agua Absolutamente pura tiene un valor teórico " & vbCrLf & _
        " máximo de 18.3 megohm-cm a 25 °C." & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para la resistividad del agua de " & vbCrLf & _

```



```

" lluvia es:" & vbCrLf & _
" Valor mínimo : 0,1 kOhm-cm " & vbCrLf & _
" Valor máximo: 18300 kOhm-cm " & vbCrLf & _
" " & vbCrLf & _
" Fuente: " & vbCrLf & _
" http://members.tripod.com/Arturobola/glosa.htm"
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 4 Then
    txtAyuda.Text = " HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE: " & vbCrLf & _
    " Se refiere a la proporción entre la humedad absoluta y la " & vbCrLf & _
    " humedad máxima que se necesita para saturar el aire. " & vbCrLf & _
    " El rango permitido en PCAL para la humedad relativa del " & vbCrLf & _
    " aire es:" & vbCrLf & _
    " Valor mínimo: 0 % " & vbCrLf & _
    " Valor máximo: 100 % " & vbCrLf & _
    " " & vbCrLf & _
    " Fuente: " & vbCrLf & _
    " Ponto, Gonzalo. (1997) Gran diccionario enciclopédico ilustrado " & vbCrLf & _
    " Grigalbo."
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 5 Then
    txtAyuda.Text = " NIVEL CERÁUNICO DE LA REGIÓN: " & vbCrLf & _
    " Se refiere al número de días al año en los que, al menos, es " & vbCrLf & _
    " oído un trueno. En algunas zonas del planeta el nivel ceráunico " & vbCrLf & _
    " puede llegar hasta 300. " & vbCrLf & _
    " El rango permitido en PCAL para el nivel ceráunico de la región " & vbCrLf & _
    " es:" & vbCrLf & _
    " Valor mínimo: 0 Días de tormentas al año " & vbCrLf & _
    " Valor máximo: 300 Días de tormentas al año " & vbCrLf & _
    " " & vbCrLf & _
    " Fuente: " & vbCrLf & _
    " http://72.14.207.104/search?q=cache:NtSy6o_6GpIJ:www." & vbCrLf & _
    " lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/" & vbCrLf & _
    " Proteccion_contra_descargas_atmosfericas/6/6." & vbCrLf & _
    " htm+maximo+nivel+cer%C3%A1unico+&hl=es"
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 6 Then
    txtAyuda.Text = " ALTITUD DE LA LÍNEA (s.n.m): " & vbCrLf & _
    " Se refiere a la altura de un punto geográfico medido desde " & vbCrLf & _
    " el nivel del mar. " & vbCrLf & _
    " El rango permitido en PCAL para la altitud de la línea " & vbCrLf & _
    " corresponde a:" & vbCrLf & _
    " Altitud mínima medida: - 408 m (en el Mar Muerto) " & vbCrLf & _
    " Altitud máxima medida: 8848 m (en el Monte Everest) " & vbCrLf & _
    " " & vbCrLf & _
    " Fuente: " & vbCrLf & _
    " Macnally, Rand. (1998) Gran Atlas del mundo. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 7 Then
    txtAyuda.Text = " NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LA REGIÓN: " & vbCrLf & _
    " Los niveles de contaminación se especifican de acuerdo a la " & vbCrLf & _
    " ubicación geográfica de las líneas en términos de densidad equi-" & vbCrLf & _
    " valente de depósito de sal (DEDS), el cual se mide en mg/cm^2. " & vbCrLf & _
    " Los valores de contaminación aquí suministrados, correspon- " & vbCrLf & _

```

```

" den con la clasificación dada por EPRI para el diseño de líneas " & vbCrLf & _
" eléctricas. " & vbCrLf & _
" " & vbCrLf & _
" Fuentes: " & vbCrLf & _
" EPRI (1978). Transmission line reference book. 115-138 kV " & vbCrLf & _
" compact line design." & vbCrLf & _
" EDELCA.(1997) Metodología para el diseño eléctrico de líneas de " & vbCrLf & _
" transmisión."

End If
If Frmdatos.Bandayuda = 8 Then
    txtAyuda.Text = " RESISTIVIDAD DEL TERRENO: " & vbCrLf & _
        " La resistividad del terreno es determinada principalmente por " & vbCrLf & _
        " el contenido de electrolitos presentes en éste, el cual consiste " & vbCrLf & _
        " de humedad, minerales y sales disueltas. Un terreno seco tiene " & vbCrLf & _
        " un alto valor de resistividad si no contiene sales solubles. " & vbCrLf & _
        " El método más utilizado por los electricistas para realizar " & vbCrLf & _
        " la medición de la resistividad del terreno es el de Wenner, " & vbCrLf & _
        " el cual consiste en disponer 4 electrodos en línea recta y " & vbCrLf & _
        " equidistantes una distancia a, simétricamente respecto al " & vbCrLf & _
        " punto en el que se desea medir la resistividad del suelo. " & vbCrLf & _
        " El equipo de medida es un telurómetro de cuatro terminales," & vbCrLf & _
        " los electrodos externos son los de inyección de la corriente " & vbCrLf & _
        " y los centrales los encargados de medir la caída de potencial. " & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para la resistividad del terreno " & vbCrLf & _
        " corresponde a:" & vbCrLf & _
        " Valor mínimo:  $10^{(-3)}$  Ohm*m " & vbCrLf & _
        " Valor máximo:  $10^{(8)}$  Ohm*m (resistividad de las rocas) " & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuente: " & vbCrLf & _
        " Ponto, Gonzalo. (1997) Gran diccionario enciclopédico ilustrado " & vbCrLf & _
        " Grigalbo."

End If
If Frmdatos.Bandayuda = 9 Then
    txtAyuda.Text = " TENSIÓN DEL SISTEMA: " & vbCrLf & _
        " Es la tensión fase a fase, rms, a frecuencia industrial de un " & vbCrLf & _
        " sistema eléctrico. " & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuente: " & vbCrLf & _
        " EPRI (1982). Transmission line reference book 345 kv and above. "

End If
If Frmdatos.Bandayuda = 10 Then
    txtAyuda.Text = " FACTOR DE MÁXIMA TENSIÓN PERMITIDA EN OPERA-" & vbCrLf & _
        " CIÓN NORMAL: " & vbCrLf & _
        " Es el más alto voltaje del sistema en p.u. que puede ocurrir " & vbCrLf & _
        " bajo condiciones normales de operación en cualquier tiempo y " & vbCrLf & _
        " punto del sistema. " & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para el factor de máxima tensión es: " & vbCrLf & _
        " Valor mínimo : 1 " & vbCrLf & _
        " Valor máximo: 1,5 " & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuente: " & vbCrLf & _
        " EPRI (1982). Transmission line reference book 345 kv and above. "

End If
If Frmdatos.Bandayuda = 11 Then

```

```

txtAyuda.Text = " TENSIÓN MÁXIMA: " & vbCrLf & _
    " Es el más alto voltaje del sistema, rms, fase a fase que puede " & vbCrLf & _
    " ocurrir bajo condiciones normales de operación en cualquier " & vbCrLf & _
    " tiempo y punto del sistema. Este excluye sobretensiones tempo-" & vbCrLf & _
    " rales y transitorias causadas por una condición anormal del " & vbCrLf & _
    " sistema. " & vbCrLf & _
    " " & vbCrLf & _
    " Fuente: " & vbCrLf & _
    " EPRI (1982). Transmission line reference book 345 kv and above. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 12 Then
    txtAyuda.Text = " INCREMENTO DE TENSIÓN EN CASO DE FALLAS: " & vbCrLf & _
        " Es el valor del incremento de la tensión en las fases sanas " & vbCrLf & _
        " durante una falla monofásica o bifásica a tierra." & vbCrLf & _
        " En caso de que escoja la opción OTRA CONDICIÓN, el rango " & vbCrLf & _
        " permitido en PCAL para el incremento de tensión en caso de fa- " & vbCrLf & _
        " llas es:" & vbCrLf & _
        " Valor mínimo : 1 " & vbCrLf & _
        " Valor máximo: 3 " & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuente: " & vbCrLf & _
        " EPRI (1982). Transmission line reference book 345 kv and above. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 13 Then
    txtAyuda.Text = " DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL AISLAMIENTO A FRE- " & vbCrLf & _
        " CUENCIA INDUSTRIAL: " & vbCrLf & _
        " Este valor está normalizado con respecto al voltaje crítico " & vbCrLf & _
        " disruptivo, y es únicamente experimental. " & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuente: " & vbCrLf & _
        " EPRI (1982). Transmission line reference book 345 kv and above. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 14 Then
    txtAyuda.Text = " NÚMERO DE DESVIACIONES ESTÁNDAR: " & vbCrLf & _
        " Número de desviaciones estándar por debajo de la media del " & vbCrLf & _
        " aislamiento, a que se encuentra la sobretensión máxima." & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para el número de desviaciones " & vbCrLf & _
        " estándar es:" & vbCrLf & _
        " Valor mínimo : 1 " & vbCrLf & _
        " Valor máximo: 5 " & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuente: " & vbCrLf & _
        " EPRI (1982). Transmission line reference book 345 kv and above. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 15 Then
    txtAyuda.Text = " FACTOR DE SEGURIDAD PARA EL CÁLCULO DEL AISLA- " & vbCrLf & _
        " MIENTO EN AMBIENTE CONTAMINADO:" & vbCrLf & _
        " El valor de este factor depende del margen de seguridad desea-" & vbCrLf & _
        " do para el proyecto." & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para el factor de seguridad es: " & vbCrLf & _
        " Valor mínimo : 1 " & vbCrLf & _
        " Valor máximo: 2 " & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuente: " & vbCrLf & _

```

```

        " EPRI (1982). Transmission line reference book 345 kv and above. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 16 Then
    txtAyuda.Text = " DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL AISLAMIENTO ANTE " & vbCrLf & _
        " SOBRETENSIONES DE MANIOBRA: " & vbCrLf & _
        " Este valor está normalizado con respecto al voltaje crítico " & vbCrLf & _
        " disruptivo, y es únicamente experimental. " & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuente: " & vbCrLf & _
        " EPRI (1982). Transmission line reference book 345 kv and above. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 17 Then
    txtAyuda.Text = " SOBRETENSIÓN DE MANIOBRA: " & vbCrLf & _
        " Valor máximo de sobretensión de maniobra en p.u. que se " & vbCrLf & _
        " puede presentar en el sistema. " & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para el factor de sobretensión de " & vbCrLf & _
        " maniobra es: " & vbCrLf & _
        " Valor mínimo : 1 " & vbCrLf & _
        " Valor máximo: 3 " & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuente: " & vbCrLf & _
        " EPRI (1982). Transmission line reference book 345 kv and above. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 18 Then
    txtAyuda.Text = " RELACIÓN TENSION DE IMPULSO / SOBRETENSIÓN " & vbCrLf & _
        " DE MANIOBRA: " & vbCrLf & _
        " Este factor viene dado por el sistema, y el tipo de tensión de " & vbCrLf & _
        " impulso a usar para la escogencia de los aisladores." & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para la relación tensión de " & vbCrLf & _
        " impulso / sobretensión de maniobra es: " & vbCrLf & _
        " Valor mínimo : 1 " & vbCrLf & _
        " Valor máximo: 5 " & vbCrLf & _
        " " & vbCrLf & _
        " Fuente: " & vbCrLf & _
        " EPRI (1982). Transmission line reference book 345 kv and above. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 20 Then
    txtAyuda.Text = " ALTURA DEL CONDUCTOR MÁS ELEVADO: " & vbCrLf & _
        " Distancia medida en metros desde el nivel del suelo hasta el " & vbCrLf & _
        " conductor (en la estructura de soporte). " & vbCrLf & _
        " En la figura que se muestra arriba, se resalta en rojo éste " & vbCrLf & _
        " parámetro cuando el cursor está dentro de la casilla Altura del " & vbCrLf & _
        " conductor. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 21 Then
    txtAyuda.Text = " ALTURA DEL CABLE DE GUARDA: " & vbCrLf & _
        " Distancia medida en metros desde el nivel del suelo hasta el " & vbCrLf & _
        " cable de guarda (en la estructura de soporte). " & vbCrLf & _
        " Debe tenerse en cuenta que esta distancia NO puede ser me- " & vbCrLf & _
        " nor a la altura del conductor suministrada, ya que de lo con- " & vbCrLf & _
        " trario, PCAL arrojará un mensaje de error para que modifique " & vbCrLf & _
        " alguno de los dos valores. " & vbCrLf & _
        " En la figura que se muestra arriba, se resalta en rojo éste " & vbCrLf & _
        " parámetro cuando el cursor está dentro de la casilla Altura del " & vbCrLf & _

```

```

        " cable de guarda. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 22 Then
    txtAyuda.Text = " SEPARACIÓN ENTRE LOS CABLES DE " & vbCrLf & _
        " GUARDA: " & vbCrLf & _
        " Esta casilla sólo está disponible cuando se escoje la opción " & vbCrLf & _
        " 2 en número de cables de guarda,permaneciendo para los otros " & vbCrLf & _
        " casos con un color atenuado. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 23 Then
    txtAyuda.Text = " SEPARACIÓN ENTRE EL CABLE DE GUARDA Y LA " & vbCrLf & _
        " FASE: " & vbCrLf & _
        " Ver la figura mostrada arriba. Si el cursor está dentro de es- " & vbCrLf & _
        " ta casilla, debe aparecer resaltado en rojo este parámetro."
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 24 Then
    txtAyuda.Text = " SEPARACIÓN HORIZONTAL ENTRE EL CABLE DE GUARDA Y LA
FASE: " & vbCrLf & _
        " Ver la figura mostrada arriba. Si el cursor está dentro de es- " & vbCrLf & _
        " ta casilla, debe aparecer resaltado en rojo este parámetro."
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 25 Then
    txtAyuda.Text = " SEPARACIÓN HORIZONTAL ENTRE LOS CONDUCTORES MAS
ELEVADOS: " & vbCrLf & _
        " Esta casilla sólo está disponible cuando el número de cables " & vbCrLf & _
        " de guarda es cero (0) ,permaneciendo para los otros casos con un " & vbCrLf & _
        " color atenuado."
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 34 Then
    txtAyuda.Text = " TIPO DE ESTRUCTURA: " & vbCrLf & _
        " PCAL le permite escojer un tipo de torre entre los 4 tipos dispo- " & vbCrLf & _
        " nibles,(A),(B),(C) o (D), realizándose el cálculo de la impedancia " & vbCrLf & _
        " dentro del programa de manera automática (pero no se muestra el valor.) " & vbCrLf & _
        _
        " Si desea emplear otro tipo de estructura en el cálculo del ais- " & vbCrLf & _
        " lamiento, escoja la opción OTRA y suministre el valor de la im- " & vbCrLf & _
        " pedancia de dicha estructura. "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 35 Then
    txtAyuda.Text = " ALTURA DE LA ESTRUCTURA: " & vbCrLf & _
        " Distancia medida en metros desde el nivel del suelo hasta el " & vbCrLf & _
        " punto más alto de la estructura. " & vbCrLf & _
        " En la figura que se muestra a la derecha, se resalta en rojo " & vbCrLf & _
        " éste parámetro en el tipo de estructura escogida (A),(B),(C) o (D). " & vbCrLf & _
        " (Para que se vea este efecto de resalte, el cursor debe estar " & vbCrLf & _
        " dentro de la casilla de Altura (ht).)"
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 36 Then
    txtAyuda.Text = " ANCHO DE LA ESTRUCTURA: " & vbCrLf & _
        " La casilla de ancho (Dt) sólo está disponible cuando se escoje " & vbCrLf & _
        " la opción (A),(B),(C) o (D) en tipo de estructura. Esta distancia " & vbCrLf & _
        " corresponde con la resaltada en rojo en la figura que se muestra " & vbCrLf & _
        " a la derecha. (Para que se vea este efecto de resalte, el cursor " & vbCrLf & _
        " debe estar dentro de la casilla de Ancho (Dt).)" & vbCrLf & _

```

```

        " La casilla no está disponible cuando se ve con un color atenuado."
    End If
    If Frmdatos.Bandayuda = 37 Then
        txtAyuda.Text = " DISTANCIA b: " & vbCrLf & _
            " Esta casilla sólo está disponible cuando el tipo de estructura " & vbCrLf & _
            " de soporte escogida es la (B), e indica la distancia de separación " & vbCrLf & _
            " entre los dos postes de soporte. " & vbCrLf & _
            " Si la opción (B) está marcada y el cursor está dentro de la casilla b, esta distancia se vé resaltada en rojo en la figura que se " & vbCrLf & _
            " muestra a la derecha." & vbCrLf & _
            " La casilla no está disponible cuando se ve con un color atenuado."
    End If
    If Frmdatos.Bandayuda = 38 Then
        txtAyuda.Text = " IMPEDANCIA DE LA ESTRUCTURA: " & vbCrLf & _
            " Esta casilla sólo está disponible cuando se elige la opción " & vbCrLf & _
            " OTRA (en tipo de estructura), permaneciendo para los otros casos con un color atenuado "
    End If
    If Frmdatos.Bandayuda = 39 Then
        txtAyuda.Text = " RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA A BAJA FRECUENCIA: " & vbCrLf & _
            " Valor de la resistencia de puesta a tierra de la estructura medida a baja frecuencia."
    End If
    If Frmdatos.Bandayuda = 40 Then
        txtAyuda.Text = " TIPO DE MATERIAL DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE: " & vbCrLf & _
            " Este dato es necesario para realizar el cálculo de la tasa de salida por impactos directos de descargas atmosféricas sobre la estructura, tomándose en cuenta que la probabilidad de que un rayo impacte sobre una estructura de concreto o madera, es menor a que si ésta fuese metálica."
    End If
    If Frmdatos.Bandayuda = 43 Then
        txtAyuda.Text = " Este botón de selección le permite utilizar en sus cálculos un tipo de aislador distinto a los que tiene PCAL en sus bases de datos, para lo cual se habilitan las casillas de Altura, Distancia de fuga, Tensión de resistencia a frecuencia industrial en seco y húmedo, Tensión de resistencia al impulso de maniobra, y Tensión de resistencia al impulso atmosférico negativo." & vbCrLf & _
            " Si hace esta selección, debe suministrar TODOS los datos antes mencionados."
    End If
    If Frmdatos.Bandayuda = 44 Then
        txtAyuda.Text = " Utilice estos botones para desplazarse por los diferentes registros de la lista N° de Catálogos mostrada arriba "
    End If
    If Frmdatos.Bandayuda = 57 Then
        txtAyuda.Text = " El modelo de Rusck para representar las tensiones inducidas en la línea, producto de una descarga atmosférica, parte de las siguientes premisas: " & vbCrLf & _
            " * La línea se asume como un único conductor ideal y de longitud infinita. "
    End If

```

```

" * La conductividad del terreno se considera infinita. " & vbCrLf & _
" * Sólo se considera la tensión que se induce en la línea en el " & vbCrLf & _
" punto mas próximo a la descarga." & vbCrLf & _
" * No se considera la existencia de cables de guarda." & vbCrLf & _
" Si sólo está marcada esta opción, las casillas correspondientes " & vbCrLf & _
" a Altura de la nube y Punto sobre la línea donde se desea calcu- " & vbCrLf & _
" lar la tensión inducida no estarán disponibles, presentando un " & vbCrLf & _
" color atenuado." & vbCrLf & _
" " & vbCrLf & _
" Fuente: " & vbCrLf & _
" IEEE (1997). Guide for improving the lightning performance of " & vbCrLf & _
" electric power overhead distribution lines."

End If
If Frmdatos.Bandayuda = 58 Then
    txtAyuda.Text = " El modelo de Voislav para representar las tensiones induci- " & vbCrLf & _
    " das en la línea, producto de una descarga atmosférica, parte " & vbCrLf & _
    " de las siguientes premisas: " & vbCrLf & _
    " * El canal de la descarga es modelado como una antena vertical " & vbCrLf & _
    " a una distancia Yo de la línea. " & vbCrLf & _
    " * La línea es representada como un único conductor , sin pérdi- " & vbCrLf & _
    " das y situada a una altura h sobre el plano de tierra. " & vbCrLf & _
    " * No se considera la existencia de cable de guarda en el circuito. " & vbCrLf & _
    " * La longitud de la línea es asumida infinita, por lo cual, la " & vbCrLf & _
    " máxima tensión inducida ocurre antes que la onda alcance los " & vbCrLf & _
    " terminales de la línea, evitándose así cualquier influencia " & vbCrLf & _
    " que pudiesen tener estos en la tensión calculada. " & vbCrLf & _
    " * El diámetro del conductor se fija en 1 cm. " & vbCrLf & _
    " * No se considera la existencia de cables de guarda." & vbCrLf & _
    " Si sólo está marcada esta opción, las casillas correspondientes " & vbCrLf & _
    " a Altura de la nube y Punto sobre la línea donde se desea calcu- " & vbCrLf & _
    " lar la tensión inducida no estarán disponibles, presentando un " & vbCrLf & _
    " color atenuado." & vbCrLf & _
    " " & vbCrLf & _
    " Fuente: " & vbCrLf & _
    " Voislav, J. (1997). Estimation of the maximal voltage induced on " & vbCrLf & _
    " an overhead line due to the nearby lightning. (IEEE)"

End If
If Frmdatos.Bandayuda = 59 Then
    txtAyuda.Text = " El modelo de Chowdhuri para representar las tensiones induci- " & vbCrLf & _
    " das en la línea, producto de una descarga atmosférica, parte " & vbCrLf & _
    " de las siguientes premisas: " & vbCrLf & _
    " * El canal de la descarga se asume vertical y con una onda re- " & vbCrLf & _
    " troactiva que parte del plano de tierra en el instante t=0. " & vbCrLf & _
    " * La descarga principal tiene una distribución de carga unifor- " & vbCrLf & _
    " me a lo largo del canal." & vbCrLf & _
    " * La línea es representada como un único conductor ideal, y la " & vbCrLf & _
    " conductividad del terreno se considera infinita. " & vbCrLf & _
    " * No se considera la existencia de cable de guarda en el cir- " & vbCrLf & _
    " cuito. " & vbCrLf & _
    " * Este modelo permite calcular la tensión inducida sobre un " & vbCrLf & _
    " punto cualquiera de la línea. " & vbCrLf & _
    " Si sólo está marcada esta opción, la casilla correspondiente a " & vbCrLf & _
    " Tiempo de cola de la forma de onda del rayo no estará disponi- " & vbCrLf & _
    " ble, presentando un color atenuado. " & vbCrLf & _

```

```

" " & vbCrLf & _
" Fuentes: " & vbCrLf & _
" Chowdhuri, P. (1989). Analysis of lightning-induced voltages on " & vbCrLf & _
" overhead lines.(IEEE)" & vbCrLf & _
" Chowdhuri, P. (1989). Estimation of flashover rates of overhead " & vbCrLf & _
" power distribution lines by lightning strokes to nearby ground. " & vbCrLf & _
" (IEEE) "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 64 Then
    txtAyuda.Text = " ALTURA DE LA LÍNEA: " & vbCrLf & _
        " Distancia medida en metros desde el nivel del suelo hasta el " & vbCrLf & _
        " conductor (en la estructura de soporte). " & vbCrLf & _
        " Por tratarse de estructuras para sistemas de distribución, la " & vbCrLf & _
        " altura de estas debe estar dentro del siguiente rango: " & vbCrLf & _
        " Valor mínimo : 2 m " & vbCrLf & _
        " Valor máximo: 25 m "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 65 Then
    txtAyuda.Text = " VER LA FIGURA QUE SE MUESTRA ARRIBA " & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para la distancia Yo es: " & vbCrLf & _
        " Valor mínimo : 5 m " & vbCrLf & _
        " Valor máximo: 20 km "
End If
If Frmdatos.Bandayuda = 66 Then
    txtAyuda.Text = " VER LA FIGURA QUE SE MUESTRA ARRIBA " & vbCrLf & _
        " El rango permitido en PCAL para la distncia X es: " & vbCrLf & _
        " Valor mínimo : 0 m " & vbCrLf & _
        " Valor máximo: 10 km "
End If
End Sub

```