

COMPORTAMIENTO DE LINEAS DE TRANSMISION A DESCARGAS  
ATMOSFERICAS DIRECTAS.- MODELOS DE ANALISIS

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO  
DE INGENIERO EN LA ESPECIALIZACION DE  
INGENIERIA ELECTRICA EN LA ESCUELA PO-  
LITECNICA NACIONAL.

CARLOS E. RIOFRIO REYES

Quito, Julio de 1977

CERTIFICO QUE EL PRESENTE TRABAJO  
DE TESIS HA SIDO REALIZADO EN SU  
TOTALIDAD POR EL SEÑOR CARLOS E.  
RIOFRIO REYES.



ING. ALFREDO MENA P.

DIRECTOR DE TESIS.

### A G R A D E C I M I E N T O :

Al Ing. Alfredo Mena, director de tesis, a los compañeros del Departamento de Potencia, a los compañeros del Instituto de Computación, a la Srta. Ana J. Buitrón por su magnífico trabajo mecanográfico, a mi hermano Víctor Hugo por la ayuda prestada en la elaboración de los gráficos, en fin, a todos quienes con su colaboración han hecho posible el desarrollo de la presente tesis.

DEDICATORIA:

A MIS PADRES

COMPORTAMIENTO DE LINEAS DE TRANSMISION A DESCARGAS  
ATMOSFERICAS DIRECTAS.- MODELOS DE ANALISIS

C O N T E N I D O :  
=====

Pág.

INTRODUCCION

CAPITULO I: NATURALEZA DE LAS DESCARGAS ATMOSFERICAS.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Características de las descargas.....	4
1.2.1. Forma de Onda.....	4
1.2.2. Estadística de descargas atmosféricas.....	4
1.2.3. Nivel isoceráunico, densidad de descargas a tierra.....	7
1.3. Mecanismos.....	8
CAPITULO II : IMPORTANCIA DEL APANTALLAMIENTO EN LINEAS DE TRANSMISION.....	12
2.1. Generalidades.....	12
2.2. Líneas sin apantallamiento.....	14
2.3. Apantallamiento (cables de tierra).....	17
2.4. Una primera aproximación a la evaluación de la confiabilidad del apantallamiento en una línea de transmisión.....	20
2.4.1. Método de Burgsdorf-Kostenko.....	21

CAPITULO III: CALCULO ANALITICO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION DEBIDO A FALLAS DE SU APANTALLAMIENTO...	25
3.1. Consideraciones generales.....	25
3.2. Algunos aspectos relativos al modelo electrogeométrico.....	26
3.2.1. Distancia crítica de arqueo.....	26
3.2.2. Electrogeometría de la línea de transmisión..	27
3.2.3. Apantallamiento efectivo.....	28
3.2.4. Geometría real de la línea, aproximación del estudio.....	29
3.3. Formulación matemática del modelo.....	31
3.3.1. Efecto de la distribución angular en las descargas.....	33
3.3.2. Límites de integración. $\Psi_1$ y $\Psi_2$ .....	34
3.3.3. Límites de integración $\theta_1$ y $\theta_2$ .....	37
3.3.4. Límites de integración $\gamma_{sc \text{ mín}}$ y $\gamma_{sc \text{ máx}}$ .....	37
3.3.5. Función de distribución de densidad de probabilidad de la dirección del camino de la descarga.....	40
3.3.6. Función de distribución de densidad de probabilidad de distancias críticas de arqueo.....	43
3.3.7. Número total de salidas de una línea de transmisión por unidad de tiempo.....	44
3.4. Programa digital.....	46
3.4.1. Método de solución.....	46

3.4.2. Diagrama de flujo.....	46
3.4.3. Implementación del programa.....	48
3.4.4. Entrada de datos.....	50
3.4.5. Salida de resultados.....	53
3.5. Evaluación de resultados.....	53
CAPITULO IV: CALCULO ALEATORIO DEL NUMERO DE SALI DAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION POR FALLA DE SU APANTALLAMIENTO.- METO- DO DE SIMULACION DE MONTE-CARLO APLI CADO AL MODELO ELECTROGEOMETRICO....	
4.1. Consideraciones generales.....	55
4.2. Características del método de Monte-Carlo.- Re lación con el modelo electrogeométrico.....	56
4.2.1. Simulación de una descarga.....	58
4.2.2. Número total de descargas simuladas.....	59
4.3. Formulación del modelo.....	61
4.3.1. Generalidades.....	61
4.3.2. Función de probabilidad acumulada del ángulo de la descarga.....	63
4.3.3. Función probabilidad acumulada de magnitudes de corriente de descargas.....	64
4.3.4. Número de descargas en un día de tormenta e- léctrica.....	65
4.3.5. Punto final de la descarga.....	66
4.4. Programa digital.....	67
4.4.1. Método de solución.....	67

	Pág.
4.4.2. Diagrama de flujo.....	67
4.4.3. Implementación del programa.....	67
4.4.4. Entrada de datos.....	73
4.4.5. Salida de resultados.....	76
4.5. Evaluación de resultados.....	77
CAPITULO V : COMPARACION DE RESULTADOS.- CONCLU- SIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
ANEXO 1.....	82
ANEXO 2.....	84
ANEXO 3.....	105
REFERENCIAS.	



## I N T R O D U C C I O N

=====

A medida que los sistemas eléctricos transmiten mayores bloques de energía, se hace necesario controlar el número de salidas del sistema o parte de él, debido a las implicaciones económicas y de servicio que éstas representan.

Las salidas debidas a descargas atmosféricas constituyen un buen porcentaje de las salidas totales de una línea y entre éstas las debidas a fallas del apantallamiento (blindaje).

El problema planteado es entonces, conocer el comportamiento de una línea, considerando el efecto de las descargas atmosféricas que impactan directamente sobre los conductores de fase, esto durante la etapa de diseño, ya que una vez en operación, no conviene hacerle modificaciones.

Para realizar ésto, tomando en cuenta la naturaleza aleatoria de las descargas, se requiere el empleo de técnicas de simulación y la elaboración de algún modelo que represente a la línea.

El presente trabajo pretende reunir dos de los estudios más recientes, y que de acuerdo a la literatura técnica son los de mayor uso en la actualidad, con el objeto de sacar conclusiones que puedan ser utilizadas en nuestro País.

# C A P I T U L O I

## NATURALEZA DE LAS DESCARGAS ATMOSFERICAS.-

Ya para el año de 1752 Benjamín Franklin identificó las descargas atmosféricas como electricidad, sin embargo es en éste último siglo que se les ha presentado mayor atención debido a los efectos destructivos que éstos fenómenos ocasionaban en instalaciones que requerían cada vez mayor seguridad.

### 1.1. GENERALIDADES.-

El rayo es simplemente un gigantesco arco eléctrico resultante de una diferencia de potencial de millones de voltios, entre nube y tierra, producido por la separación de cargas positivas y negativas.

Existen varias teorías del proceso de acumulación de cargas en la nube (13)-(14), pero para el presente estudio se considerará la nube como un gran generador electrostático que acumula cargas, hasta llegar a un potencial muy elevado.

Una descarga a tierra usualmente se presenta al ojo humano como un solo haz luminoso, algunas veces puede apreciarse variaciones en la intensidad luminosa, fotografías obtenidas con cámaras especiales han revelado que la mayoría de las descargas son seguidas por otras, que viajan a lo largo del camino establecido por la primera a intervalos de 0.5 - 500 ms, éste proceso puede repetirse muchas veces, se ha observado que de un 30 a 80 % de descargas tienen al menos dos componentes y cerca del 20 % de tres a cinco, pero se ha llegado a apreciar hasta 40 componentes en una misma descarga. (4).

Cuando el gradiente en la nube es suficientemente alto, aproximadamente la tercera parte del gradiente de disrupción del aire seco y a nivel del mar (30 KV/cm), se produce una aceleración de cargas negativas hacia abajo. La primera pierde rápidamente su energía, pero deja un canal altamente ionizado por el cual van produciéndose descargas sucesivas que llegan cada vez más lejos, en pasos de aproximadamente 50 m. La velocidad promedio de propagación es de cerca de 150 Km/s., si la distancia entre el punto de origen de la descarga (nube) y tierra es 3000 m. demorará unos 20 ms en llegar a ella.

Durante su, relativamente, lento descenso, la descarga deposita cargas negativas a lo largo de su camino,

Lo que significa una reducción de su voltaje.

Cuando la guía de la descarga se aproxima a tierra, se inducen cargas positivas en la zona de influencia de tierra, sin embargo el punto de impacto permanece indeterminado hasta que la punta o guía haya llegado a una cierta distancia de algún elemento en tierra.

A esta distancia la guía produce en el "electrodo" de tierra un gradiente suficiente para causar la descarga final. Debido a la no uniformidad del campo el gradiente crítico promedio para esta distancia, es del orden de un sexto del gradiente de ruptura en aire seco. En ésta etapa predescargas positivas suben desde tierra a encontrar la guía descendente negativa, y cuando éstas se encuentran, una intensa descarga luminosa empieza de la tierra a la nube, viajando a una velocidad que varía entre el 10 y 50 % de la velocidad de la luz.

El hecho de que la descarga principal se origine en tierra, se debe a que ésta tiene una gran conductividad y hace posible que las cargas se acumulen más rápidamente en el sitio debido, lo cual no pasa en las nubes, pues éstas tienen una resistencia sumamente elevada.

La corriente en el punto de impacto puede ser consi

derada tanto como una corriente negativa que fluye hacia tierra, ó una corriente positiva que sale de ella. Solo una pequeña proporción de las descargas son producidas por acumulación de cargas positivas en la nube. (4),(12) (13).

## 1.2. CARACTERISTICAS DE LAS DECARGAS.-

Las investigaciones realizadas en los últimos 50 años han conducido a un cierto grado de conocimiento sobre las características y efectos de las descargas atmosféricas sobre líneas de transmisión aéreas.

### 1.2.1. Forma de Onda.-

Oscilogramas de corriente de rayos han mostrado que alcanza su máximo valor en unos pocos microsegundos (frente de onda), decrece a su valor medio en un tiempo de hasta 100  $\mu$ s (amplitud media) y llega a cero en tiempos de hasta 400  $\mu$ s.

Un oscilograma típico se muestra en la (Fig. 1.1).

### 1.2.2. Estadística de descargas atmosféricas.-

La magnitud y tiempo de una descarga son cantidades

estadísticas y dependen de varios factores, entre ellos, de la energía almacenada en la nube y de la diferencia de potencial entre nube y tierra al momento de la descarga.

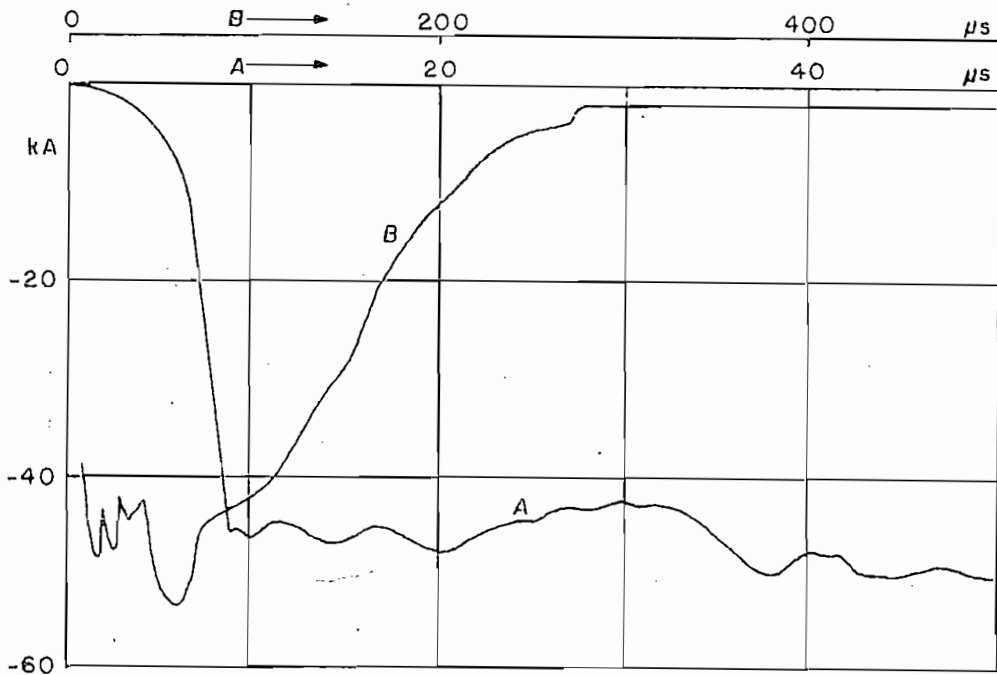


Fig. 1.1. Oscilograma típico de corriente de una descarga atmosférica. (12).

En la (Fig. 1.2) se encuentran curvas que han sido obtenidas de cientos de medidas de magnitudes de corrientes de descargas en altas torres, edificios y en líneas de transmisión. La curva 1 ha sido la más usada en el cálculo para líneas de transmisión, las curvas 2 y 3 son más pesimistas y sugieren que la probabilidad que se presenten corrientes de rayos mayores de 100 KA es mucho ma

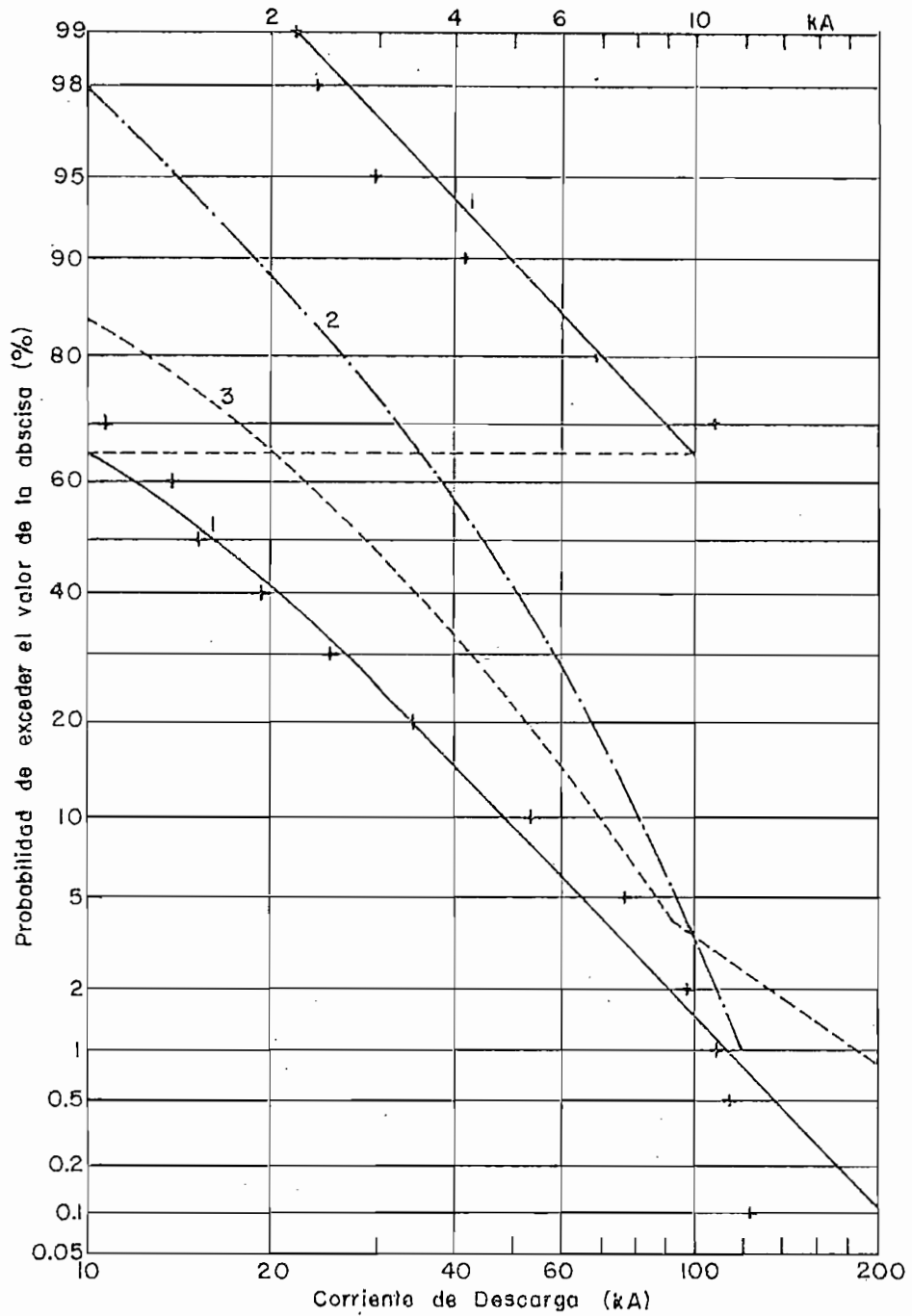


Fig. 1.2. Distribución acumulada de magnitudes de corriente de descargas atmosféricas.(12)

- 1. (AIEE)
- 2. (Anderson)
- 3. (Popolansky)



yor que el indicado por la curva 1. Se ha determinado que objetos de tierra relativamente altos "atraen" una mayor proporción de corrientes elevadas de descarga.(12)

Para propósitos de este trabajo, en lo sucesivo se utilizará la curva de distribución 1 de la (Fig. 1.2).

### 1.2.3. Nivel Isoceráunico, Densidad de descargas a tierra.-

El riesgo al que está expuesta una instalación ha sido relacionado al grado de actividad de tormentas eléctricas en la zona en que se ubica.

El grado de actividad de tormentas eléctricas ó Nivel Isoceráunico (NI), definido como el número de días en un año en que se oye por lo menos una descarga, en una localidad determinada. El problema de esta medida es que no se puede distinguir entre descargas nube-tierra y descargas nube-nube.(12).

La densidad de descargas a tierra, está relacionada al nivel isoceráunico por la relación:

$$N_0 = C \cdot NI \text{ descargas/Km}^2 \text{ por año} \quad (1.1)$$

Donde:  $N_0$  = Densidad de descargas a tierra.  
 $C$  = Constante para una determinada región  
tiene valores entre 0.1 y 0.2  
 $NI$  = Nivel isoceráunico.

### 1.3. MECANISMOS.-

Mediante observación y experiencias en laboratorio se ha llegado a determinar expresiones matemáticas que ayudan a explicar la mecánica de las descargas atmosféricas, al mismo tiempo que cuantifican sus influencias y sus efectos.

Un concepto de mucha importancia para el desarrollo del presente trabajo es la llamada "Distancia crítica de argúeo" (Strike distance).- Esta distancia es la que existe desde el punto de encuentro de las guías descendentes y ascendentes, hasta el punto en tierra de donde partió la guía ascendente. En otras palabras la descarga completa tiene lugar en dos etapas: en la primera, el líder o guía desciende de la nube sin influencia de objetos en tierra, hasta cierta distancia; en la segunda, una guía ascendente parte del objeto en tierra hasta encontrar la descendente.

Se ha determinado que esta distancia es función de la

magnitud de la corriente de descarga. La relación entre la distancia de arqueo y la magnitud de la corriente de descarga fué encontrada por una serie de dependencias.

$$v = v(I) \quad (1.2)$$

$$V_S = V_S(I, v) \quad (1.3)$$

$$R_S = R_S(V_S) \quad (1.4)$$

$$\rightarrow R_S = R_S(I) \quad (1.5)$$

Unas primeras aproximaciones fueron encontradas(1), a base de estudios realizados por Wagner (5), (11) y están dadas por las siguientes expresiones:

$$v = I^{1/3}/13.4 \quad (1.6)$$

$$V_S = .276 \times I/v \quad (1.7)$$

$$R_S = 1.4 \times V_S^{1.2} \quad (1.8)$$

$$\text{De donde: } R_S = 6.72 \times I^{0.8} \quad (1.9)$$

$v$  = Velocidad de retorno de la descarga en por unidad de la velocidad de la luz.

$V_S$  = Voltaje del líder o guía de la descarga.- (Megavoltics).

$R_S$  = Distancia crítica de arqueo (metros).

$I$  = Magnitud de la corriente de descarga (Kiloamperios).

Se ha demostrado (11) que la velocidad de retorno de la corriente de descarga depende solamente de su magnitud y no de la velocidad con que ésta alcanza su máximo valor, por lo que las expresiones (1.6) a (1.9) fueron obtenidas a base de considerar ondas rectangulares que se mueven a velocidad constante.

Una nueva aproximación de la distancia crítica de arqueo, fué determinada por Whitehead y utilizada en su trabajo sobre apantallamiento de líneas de transmisión (2). Esta expresión es:

$$R_s = 7.1 \times I^{3/4} \quad (1.10)$$

( $R_s$  en metros, para  $I$  en KA.)

Esta expresión será utilizada en lo que sigue del presente trabajo.

La figura 1.3., explica en forma gráfica el proceso.

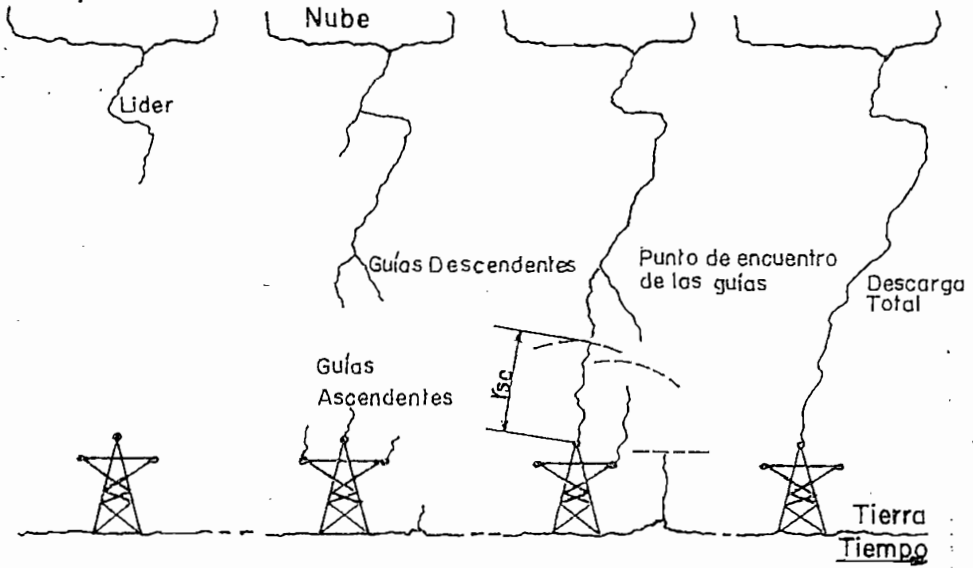


Fig. 1.3. Proceso de la descarga sobre una línea de transmisión.

## C A P I T U L O II.

### IMPORTANCIA DEL APANTALLAMIENTO EN LINEAS DE TRANSMISION.-

#### 2.1. GENERALIDADES.-

El comportamiento de una línea de transmisión, frente a las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, se mide por el número de salidas que éstas puedan provocar.

Las salidas de líneas, debidas a descargas atmosféricas son el resultado de dos eventos: rayos que terminan en los conductores y rayos que terminan en los cables de guarda. Al primer evento se lo llama falla de apantallamiento (cables de guarda), por cuanto estos dejan pasar los rayos a los conductores.

Las descargas directas a los conductores de fase producen los más altos sobrevoitajes para una cierta corriente de descarga. Un valor aproximado del potencial del conductor en el punto de descarga es fácilmente cal-

culado bajo la consideración de que la magnitud de la corriente de descarga ( $I$ ) es afectada muy poco por el valor de la impedancia terminal ( $Z$ )<sup>(12)</sup> la cual, en este caso, es la mitad de la impedancia transitoria del conductor de fase ( $Z_0$ ) por cuanto la corriente inyectada fluye en ambas direcciones.

$$\text{Entonces: } V = \frac{1}{2} I Z_0 \quad (2.1)$$

Una corriente de descarga tan baja como 10 KA., ( la cual de acuerdo a la (Fig. 1.2 curva 1) tiene una probabilidad de ser excedida del 65 %) causará un sobrevoltaje de 2000 KV. para un valor de  $Z_0 = 400 \Omega$ . (12), (4).

Si se toma en cuenta las curvas 2 y 3 de la (Figura 1.2) aproximadamente un 90 % de las corrientes de descarga excederán de 10 KA.

Para estructuras bajas usadas en redes de distribución, la mayoría de las descargas van directamente a tierra o a árboles cercanos. Conforme se incrementa la altura de las estructuras, el número de descargas a los conductores de fase llegaría a ser prohibitivamente grande, a menos que, alguna forma de protección sea utilizada. El uso de cables sobre los conductores de fase, han permitido que la mayoría de las descargas puedan ser de

rivadas a tierra a través de la estructura.

Con bajas resistencias de puesta a tierra de las estructuras, solamente descargas de magnitudes grandes causarán salidas por contorneos inversos.. Si consideramos una descarga de 10 KA. y una resistencia de puesta a tierra de la torre de 50  $\Omega$ , bajo el supuesto de que toda la corriente se derive a tierra a través de la estructura - se tendría un voltaje de 500 KV, que en todo caso es mu- chísimo menor que en el caso de una descarga directa al conductor de fase.

Solamente líneas aisladas, para muy altas tensiones, soportarán parte de los sobrevoltajes producidos por rescargas directas a los conductores de fase. La probabili- dad de corrientes de descarga de magnitudes relativamen- te grandes es muy pequeña y el número de salidas de una línea puede ser reducido grandemente, mediante una buena ubicación de cables de guarda, que nos permitan "Apanta- llar" a los conductores de fase, con un buen grado de - confianza.

## 2.2. LINEAS SIN APANTALLAMIENTO.-

La evaluación del número de salidas de una línea sin cables de guarda, puede realizarse en forma sencilla me-



diante el siguiente análisis:

- a) Determinar el número de descargas sobre la línea, en base a una cierta zona de "atracción", dada por la siguiente relación:

$$N_D = N_0 (4h + b') L \quad (2.2)$$

Donde:  $N_D$  = Número de descargas sobre la línea.

$N_0$  = Densidad de descargas a tierra, dado por la expresión (1.1).- Descargas/ $\text{Km}^2$ ).

$h$  = Altura media del conductor más elevado.

$b'$  = Distancia entre conductores superiores extremos.

$L$  = Longitud de la línea.

$(4h + b')L$  = Area estimada de la zona expuesta. ( $\text{Km}^2$ ).

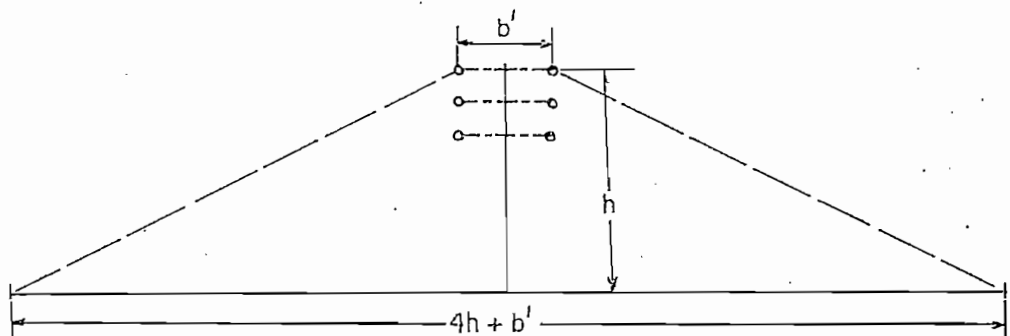


Fig. 2.1. Ancho de atracción de descargas a la línea.

- b) Determinar la corriente mínima de descarga que producirá contorneo a través del aislamiento.

De la expresión (2.1) se tiene:

$$I_{mín} = \frac{2 \times CFO}{Z_0} \quad (2.3)$$

Aquí (CFO) representa el voltaje crítico de contorneo del aislamiento (Critical Flashover) ó BIL de la línea. Puede expresar el voltaje crítico del aislamiento fase-tierra ó fase-fase, dependiendo cuál sea el mínimo.

- c) Con el valor de ( $I_{mín}$ ) obtenido de (2.3), determinar la probabilidad de que las corrientes en las descargas excedan dicho valor. Esta probabilidad ( $P_1$ ) puede obtenerse de la (Fig. 1.2).
- d) Las referencias (1), (8), (12), indican que no todas las descargas que causan contorneo, producen salida de la línea, es decir, la falla franca de potencia industrial ó de 60 Hz. Esta probabilidad ( $P_2$ ) varía entre 0.8 y 1.0 para estructuras metálicas y entre 0.2 y 0.8 para estructuras de madera.- Los valores más usados y que se utilizarán en éste trabajo son: 0.9 y 0.5 para estructuras metálicas y de madera respectivamente.

De acuerdo al análisis anterior, el número de salidas ( $N_s$ ) de una línea sin apantallamiento, viene dado por la siguiente expresión:

$$N_s = P_1 \times P_2 \times N_D \quad (2.4)$$

### 2.3. APANTALLAMIENTO (CABLES DE TIERRA).-

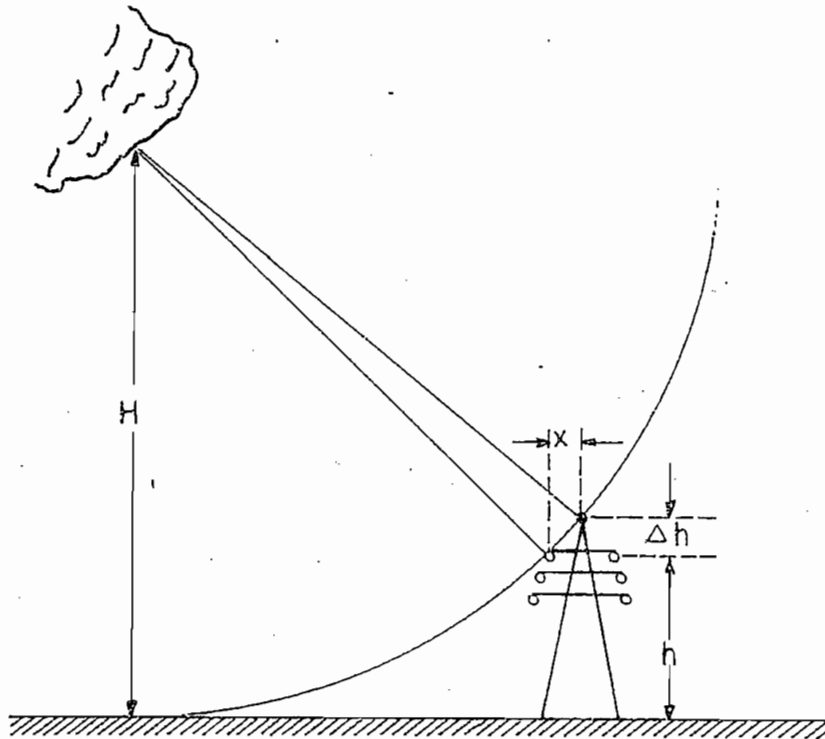
Como se ha expuesto anteriormente, los cables de tierra, llamados más comunmente cables de guarda, sirven ante todo para proteger a los conductores de la red de los efectos directos de las descargas atmosféricas, siempre que éstos se encuentren dentro de su "campo de acción".

Según Peek, el cable de tierra tiene que colocarse por encima de los conductores que han de proteger, a una altura tal, que las relaciones de distancias (de acuerdo a la notación de la (Fig. 2.2.), cumplan la siguiente relación:

$$\Delta h \geq 1.1 \left( \frac{x^2}{2h} + x \sqrt{\frac{2h}{H}} \right) \quad (2.5)$$

La altura mínima de las nubes ( $H$ ), se supone en 200 m., ambas magnitudes ( $h$ ) y ( $x$ ) se refieren al conductor

más saliente en relación a la ubicación del cable de guarda.- (15).



7.2.1

Fig. 2.2. Determinación de la posición del cable de tierra, según Peek. (15).

Según Schwaiger, puede dibujarse el espacio protegido, delimitándolo con un arco circular de radio igual a la altura del cable de tierra sobre el suelo, como se muestra en la Fig. 2.3.

7.2.2

Ha sido conocido por varios años que para obtener u

na protección efectiva, se requieren ángulos de apantallamiento relativamente pequeños.- Un ángulo de apantallamiento de  $30^\circ$  fue considerado adecuado para líneas con estructuras no más altas de 30 m. (12).

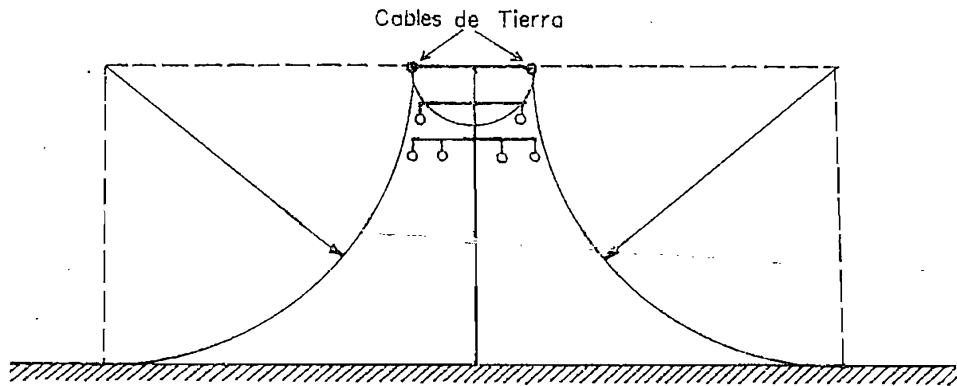


Fig. 2.3. Determinación del espacio protegido según Schwaiger.- (15).

La evolución de los sistemas eléctricos han llevado a incrementos considerables en los voltajes de transmisión, con lo que fue necesario aumentar las alturas de las estructuras y desarrollar nuevas técnicas de análisis de las mismas, que tomen en cuenta una adecuada seguridad de acuerdo a su importancia y tratando de reducir al mínimo su costo.

#### 2.4. UNA PRIMERA APROXIMACION A LA EVALUACION DE LA CONFIABILIDAD DEL APANTALLAMIENTO EN UNA LINEA DE TRANSMISION.-

Como se enunció anteriormente, el comportamiento de una línea de transmisión frente a sobre tensiones originadas por descargas atmosféricas, se mide, por el número de salidas de la línea por año que éstas pueden provocar, por el riesgo ó probabilidad de falla que se pueda esperar.

Se han propuesto varios métodos para determinar el comportamiento del apantallamiento en líneas de transmisión, que pueden clasificarse en grupos empíricos y analíticos. También se estudiaron modelos a escala, pero sus resultados son de dudosa validez, debido a que son procesos no lineales y no han podido ser representados correctamente en pequeña escala. (12).

Considerando el juego de azar de la naturaleza, se desarrollan métodos que tratan de simular éste juego, considerando ciertas características ya establecidas por el hombre.

Como una primera aproximación a la evaluación de la confiabilidad del apantallamiento en líneas de transmisión

se ha tomado un método empírico, que por su sencillez es de fácil aplicación y nos encamina hacia una comprensión más cabal del problema.

#### 2.4.1. METODO DE BÜRGS DORF-KOSTENKO.- (12)

Basado en una amplia experiencia de observaciones y medidas en líneas existentes, inicialmente Burgsdorf relaciona la probabilidad de falla del apantallamiento ( $P_\theta$ ), como una función directa del ángulo de apantallamiento ( $\theta_s$ ). Posteriormente Kostenko reexaminando los datos de campo, encuentra que la altura del cable de tierra ( $h_t$ ), tiene también una influencia directa en la probabilidad de falla del apantallamiento y propone la siguiente ecuación que relaciona estos parámetros:

$$\text{Log}_{10} P_\theta = \theta_s \sqrt{h_t/90} - 2 \quad (2.6)$$

( $P_\theta$ ) en tanto por ciento para ( $\theta_s$ ) en grados y ( $h_t$ ) en metros, tanto  $\theta_s$  y  $h_t$  son medidos en la estructura.- (Ver fig. 2.4).

Para determinar el número de fallas del apantallamiento debe encontrarse el número de descargas sobre la línea ( $N_D$ ) de la expresión (2.2) en que ( $h$  y  $b'$ ) representan en éste caso la altura media y separación de los

cables de guarda respectivamente.

De las expresiones (2.1) y (2.3) se determina la corriente mínima de descarga que puede producir salida ( $I_{mín}$ ).

Burgsdorf también determina una relación empírica para determinar la probabilidad ( $P_1$ ) de que la corriente de la descarga exceda al valor de ( $I_{mín}$ ):

$$\log_{10} P_1 = 2 - I_{mín}/60 \quad (2.7)$$

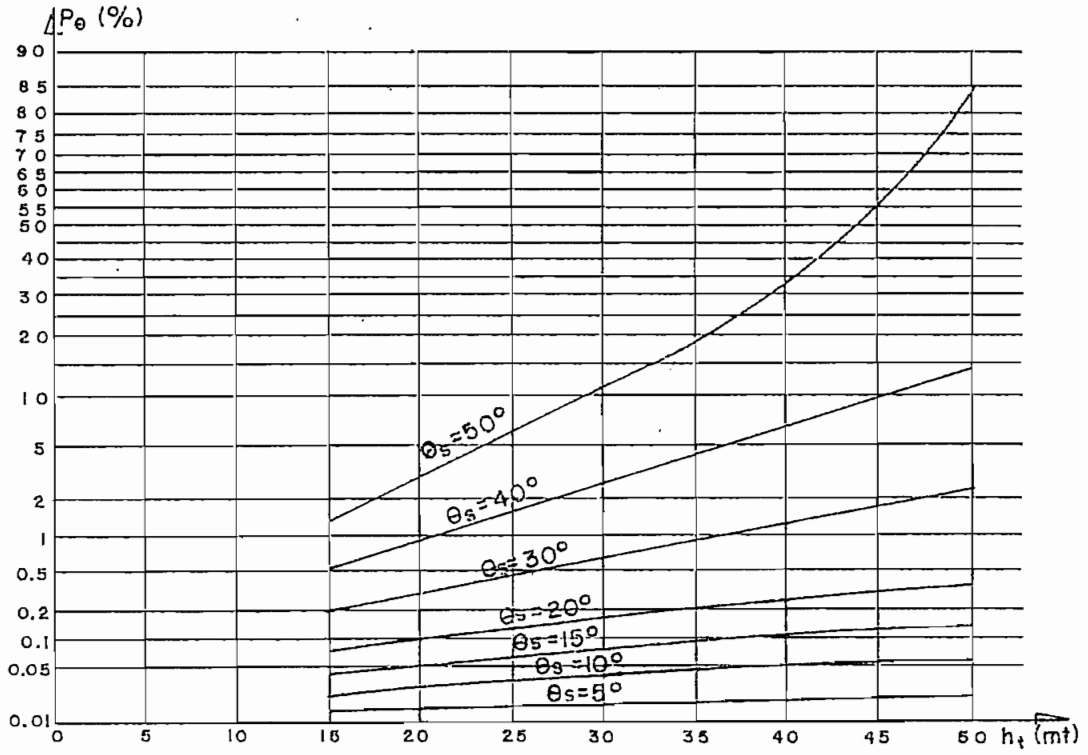
( $P_1$ ) en tanto por ciento para ( $I_{mín}$ ) en Kiloamperios.;

El número de salidas de una línea de transmisión de bidas a fallas de su apantallamiento ( $N_s$ ) se calculará, de acuerdo a la siguiente expresión:

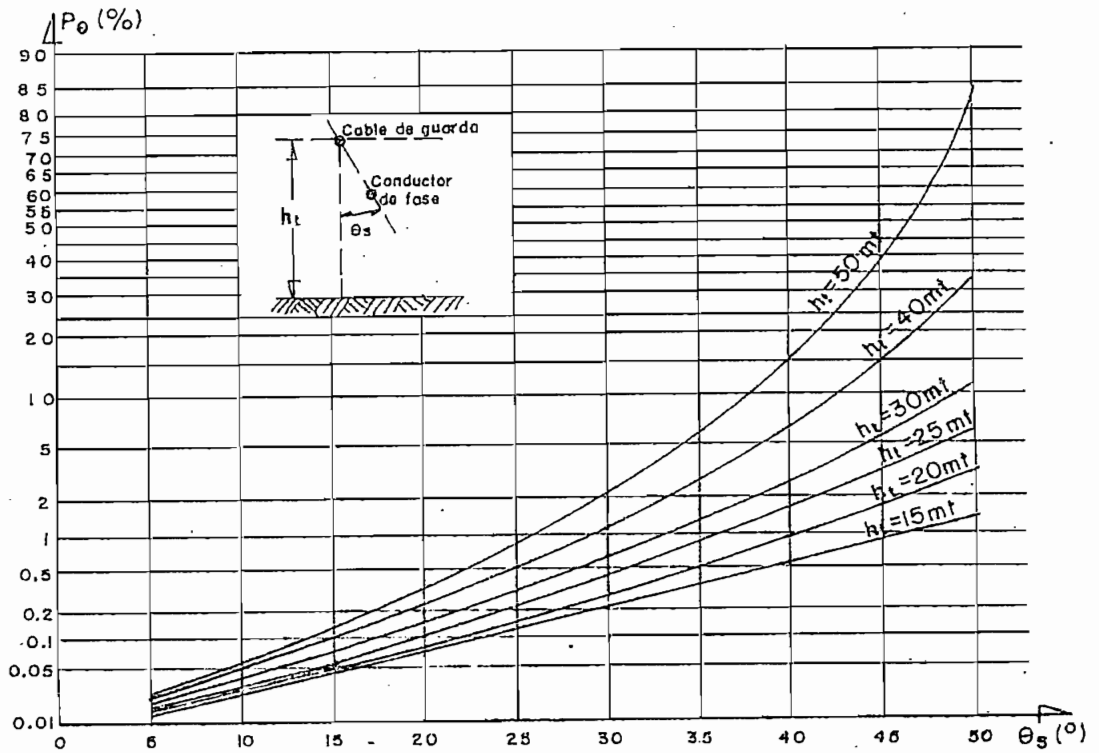
$$N_s = N_D P_1 P_\theta 10^{-4} \quad (2.8)$$

Para visualizar de una mejor forma se muestran gráficamente las expresiones (2.6) y (2.7) en las figuras (2.4).

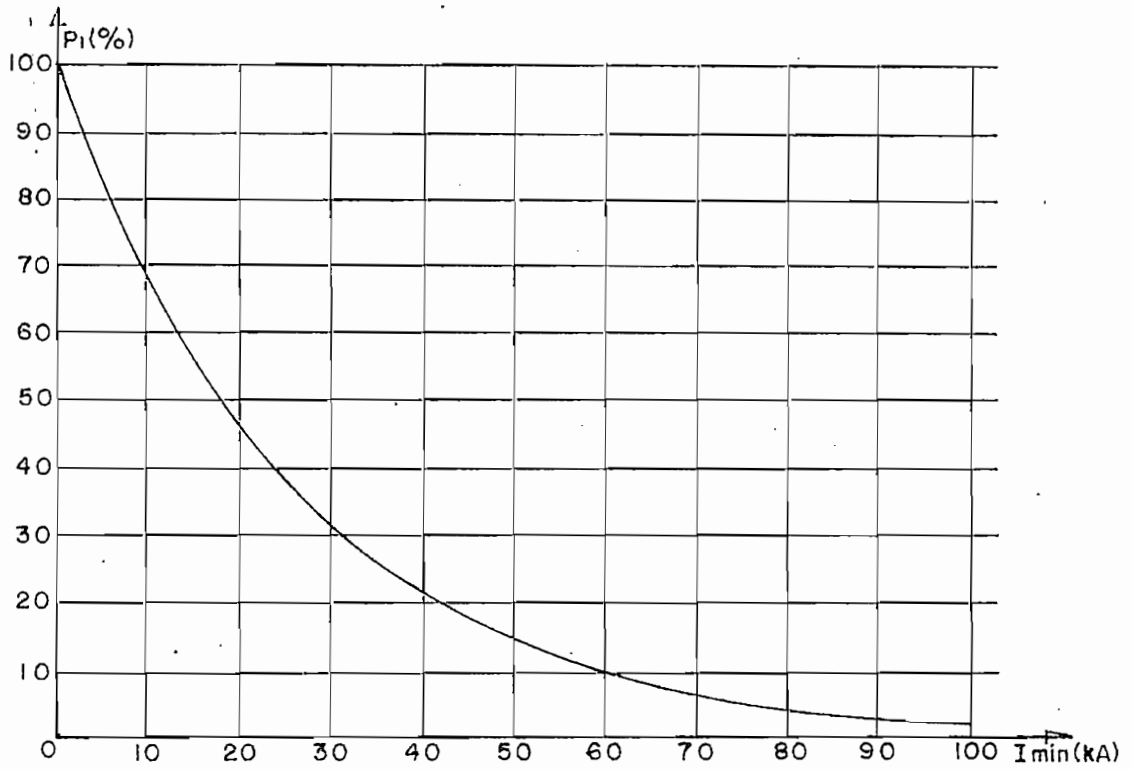




(a)



(b)



(c)

Fig. 2.4. a) y b) Expresión (2.6).

c) expresión (2.7)

001743

## C A P I T U L O   I I I

### CALCULO ANALITICO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA L.T. DEBIDO A FALLAS DE SU APANTALLAMIENTO.-

#### METODO DE WHITEHEAD.- MODELO ELECTROGEOMETRICO.-

3.1. Consideraciones Generales.- Whitehead expresa claramente que un modelo analítico contiene constantes ajustables, y debe ser solamente considerado como referencia, y ser calibrado por comparación con datos de campo para su utilización. (1), (7).

Whitehead toma en cuenta en la calibración de su modelo muchos años de datos obtenidos en el campo y especialmente los resultados obtenidos en el denominado proyecto "Pathfinder" en que se instalaran 4615 aparatos en aproximadamente 433 millas de líneas por sobre los 100KV. Estos aparatos fueron especialmente diseñados para diferenciar entre descargas al conductor o al cable de guarda, la polaridad de la descarga y si se produce o no la falla franca de 60 Hz., todo ésto a través de sensores

convenientemente ubicados e indicadores que eran fácilmente leídos desde tierra.- (1), (10).

En un avance al trabajo realizado por Young, Clayton y Hileman (3) (en que se consideran solamente descargas verticales) se da la posibilidad, bajo una cierta función de ~~distribución de probabilidad~~, de que las descargas tengan alguna variación en el ángulo de su trayectoria. (Descargas laterales).

### 3.2. ALGUNOS ASPECTOS RELATIVOS AL MODELO ELECTROGEOMETRICO.-

3.2.1. Distancia crítica de arqueo.- En el capítulo I se define éste parámetro, en el presente capítulo se ampliará - su definición en forma matemática para lo que sigue del presente trabajo.

La distancia de arqueo a un componente del sistema ( $\gamma_{sc}$ ) es relacionada a la corriente de descarga (I) por:

$$\gamma_{sc} = K_{sc} \cdot K_I \cdot I^b \quad (3.1)$$

donde ( $K_I$ ) y ( $b$ ) son constantes que dependen de la forma de relación entre la distancia de arqueo y la magnitud

de corriente y ( $K_{sc}$ ) es una constante que depende del componente asumido, es decir, la variación de la influencia del elemento en tierra sobre la punta o guía de la descarga. La distancia de arqueo no es realmente un valor invariable para un valor dado de corriente, pero muy poco se conoce de sus desviaciones.- (1), (10).

3.2.2. Electrogeometría de la línea de transmisión.- La geometría del modelo de la línea está representada en la (Figura 3.1), en la cual se ilustra la distancia de arqueo ( $\gamma_{sc}$ ) a los conductores y ( $\gamma_{sg}$ ) a tierra, en las que se considera una diferencia dada por la constante ( $K_{sg}$ ), (relacionada a ( $K_{sc}$ ) cuando el componente asumido es tierra) debida a variaciones en el gradiente crítico en las cercanías de éstos elementos. ( $\theta_s$ ,  $\bar{H}$  y  $\bar{Y}$ ) son parámetros efectivos medios; del ángulo de apantalla-mmiento, altura de los cables de guarda y conduc-tores de fase respectivamente.- (1), (2).

Los ángulos ( $\theta_1$  y  $\theta_2$ ) limitan la superficie cilíndrica expuesta a las descargas, indicada por el arco abc ( $\psi$ ) es el ángulo de aproximación de la descarga.

Al aumentar la magnitud de la corriente de la descar

ga, se incrementará ( $\gamma_{sc}$ ) y ( $\gamma_{sg}$ ) de tal manera que el área expuesta dada por el arco abc de la (Figura 3.1) no exista, por lo tanto habrá un  $\gamma_{sc}$  máximo sobre el cual no existan fallas de apantallamiento y las descargas impactarán a los cables de guarda o a tierra, (Figura 3.2) De manera similar habrá  $\gamma_{sc}$  mínimo debido a una corriente de descarga mínima, que aún impactando a los conductores de fase no produzcan falla de la línea.

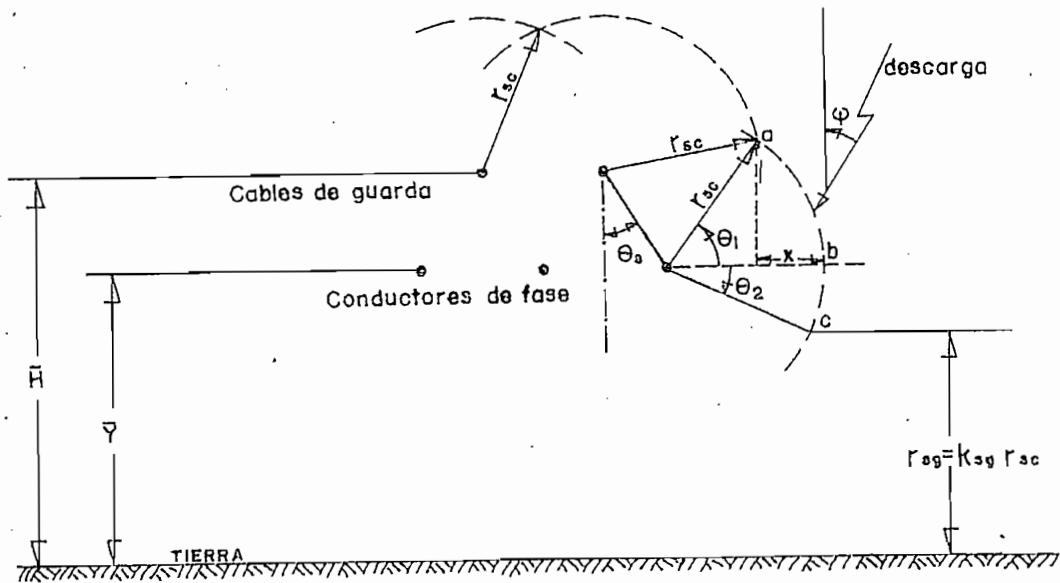


Fig. 3.1. Geometría del apantallamiento de una línea de transmisión.

3.2.3. Apantallamiento efectivo.- Si  $\gamma_{sc}$  mínimo =  $\gamma_{sc}$  máximo, "No" ocurrirán fallas en el apantallamiento, esto implica u

na ubicación conveniente del o de los cables de guarda.  
(Figura 3.3.).

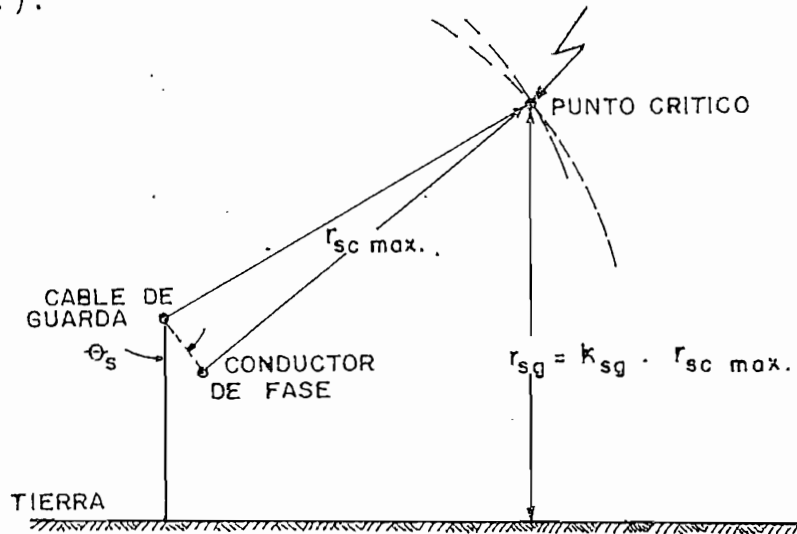


Fig. 3.2. Punto crítico en el límite de fallas del apantallamiento.

Sin embargo ésto no significa que no puedan ocurrir fallas, puesto que, las magnitudes utilizadas en el análisis son cantidades promedio y no puede hablarse de un apantallamiento perfecto.- (2).

3.2.4. Geometría real de la línea, aproximación del estudio.- En una línea real, debe analizarse su ruta en que se tomará en cuenta altitud (para efectos del voltaje crítico de contorno) y características físicas, del terreno, de las dimensiones de las estructuras y vanos, pueden hacerse consideraciones referentes a las flechas de los conductores y determinar los parámetros -

angulares y las alturas del modelo mostrado en la (Figura 3.1.).

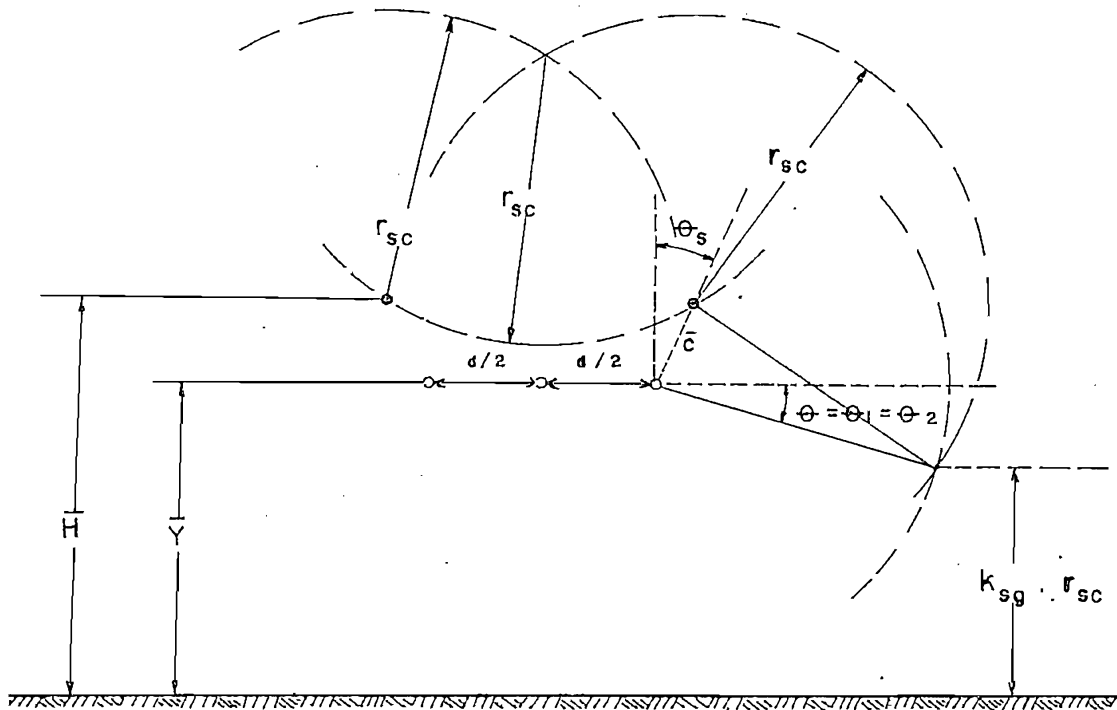


Fig. 3.3. Electrogeometría de apantallamiento efectivo.

Las alturas efectivas de los conductores y cables de guarda no deben tomar en cuenta sólo sus respectivas flechas, de acuerdo al perfil de la línea, puede estimarse una cierta "flecha de tierra" como se muestra en la (Figura 3.4.), en que se consideran tres tipos de terreno; plano, medio y montañoso.- (1).



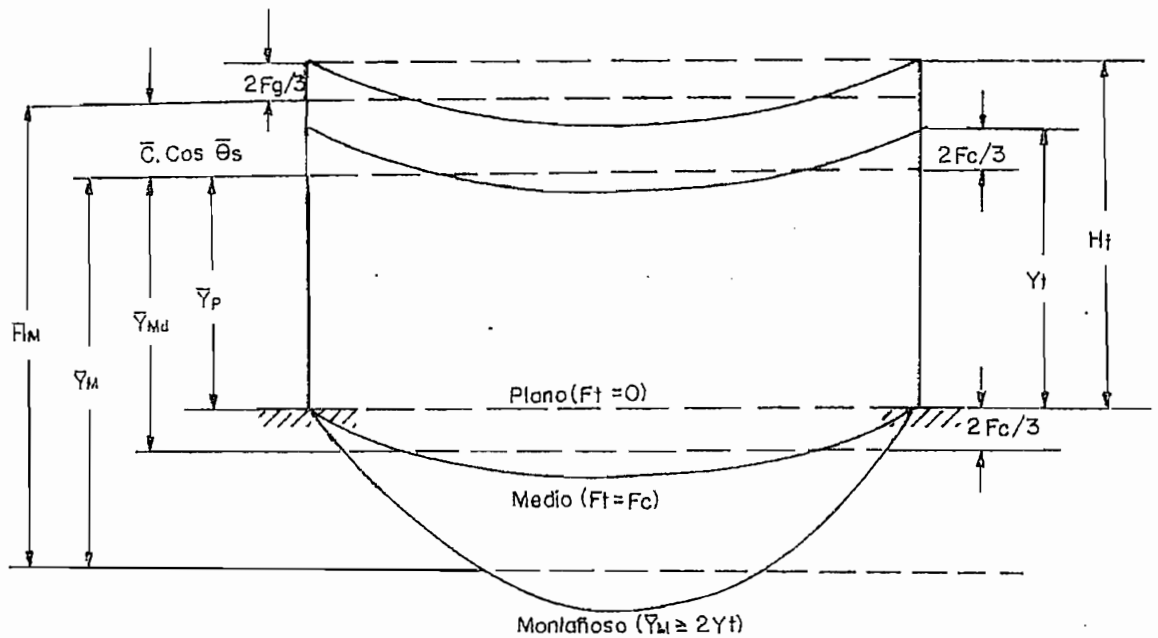


Fig. 3.4. Estimación de parámetros de tierra para el cálculo de alturas efectivas del modelo.-

( $F_c$ ,  $F_g$  y  $F_t$  representan las flechas de los conductores, cables de guarda y tierra respectivamente. Los subíndices P, Md y M se refieren al tipo de terreno, plano, medio ó montañoso respectivamente)

### 3.3. FORMULACION MATEMATICA DEL MODELO.-

Para una línea ubicada en una región de densidad de descargas conocida  $N_0$  (descargas por kilómetro cuadrado)

puede definirse un ancho efectivo ( $X$ ) a cada lado de la línea (indicador de una franja efectiva de exposición a las descargas) tal que: Si todas las descargas fuesen - verticales el ancho ( $X$ ) caerá sobre la proyección del arco ab sobre el eje horizontal (Figura 3.1).- De manera general tomando en cuenta la posibilidad de la existencia de descargas laterales, habrá una franja efectiva de ancho ( $X$ ) que dependerá de la función densidad de probabilidad del ángulo de la descarga ( $\Psi$ ).

Tomando en cuenta que las magnitudes de corriente - de descarga son magnitudes aleatorias obtenidas a lo largo del tiempo, de las cuales puede obtenerse una función densidad de probabilidad  $h(I)$  y por la relación (3.1), se obtiene la función densidad de probabilidad de la distancia crítica de arqueo  $f(\gamma_{sc})$ , la relación entre funciones monotónicas es:

$$f(\gamma_{sc}) = h(I) \frac{dI}{d\gamma_{sc}} \quad (3.2)$$

Por lo tanto, el número de fallas de apantallamiento (que pueden provocar salida de la línea) por unidad - de longitud y tiempo, para una región de densidad de descargas  $N_0$  es dado por:

$$n = 2 N_0 \int_{\gamma_{sc} \text{ mín}}^{\gamma_{sc} \text{ máx}} X \cdot f(\gamma_{sc}) d\gamma_{sc} \quad (3.3)$$

El coeficiente numérico se debe a la simetría considerada en el modelo de la línea.- (1), (2).

3.3.1. Efecto de la distribución angular en las descargas.- Se ha observado que no todas las descargas a tierra caen en dirección vertical, por lo que debería determinarse alguna distribución angular en las descargas para una mejor aproximación del estudio. Si  $\Psi$  es definido como en las Figura (3.1) y (3.5) y una función de distribución de densidad de probabilidad  $g(\Psi)$  es determinada, puede demostrarse que:

$$X = \gamma_s \int_{\theta_2}^{\theta_1} \int_{\Psi_2(\theta)}^{\Psi_1(\theta)} \frac{\text{Sen}(\theta - \Psi)}{\text{Cos } \Psi} g(\Psi) d\Psi d\theta \quad (3.4)$$

El coeficiente trigonométrico resulta del hecho, de que un número de descargas con un ángulo de dirección  $\Psi$  con variación  $d\Psi$ , llegan a un elemento diferencial  $\gamma_{sc} \cdot d\theta$  del arco abc, por lo tanto:

$$dA = \gamma_{sc} \cdot d\theta \text{ Sen}(\theta - \Psi) \quad (3.5)$$

En que  $dA$  representa el área elemental (por unidad de longitud) presentada perpendicularmente a descargas que llegan con ángulo  $\Psi$ .

Si  $N$  es la densidad de descargas en la región:

$$N_h = N_0 g(\Psi) d\Psi \quad (3.6)$$

$N_h$  será la densidad de descargas con variación angular  $d\Psi$  medida en la horizontal y:

$$N_\Psi = \frac{N_0 g(\Psi) d\Psi}{\cos \Psi} \quad (3.7)$$

$N_\Psi$  es la densidad de descargas que sería medida sobre el plano del área elemental  $dA$ .

El número de descargas sobre el elemento diferencial  $\gamma_{sc} \cdot d\theta$  del arco abc es:

$$dn = N_\Psi dA f(\gamma_{sc}) d\gamma_{sc} \quad (3.8)$$

Con lo que las expresiones (3.3) y (3.4) quedan demostradas. La (Figura 3.5) muestra la ubicación geométrica del área elemental  $dA$ , los signos corresponden al sentido considerado en el ángulo  $\Psi$ .

3.3.2. Límites de integración.  $\Psi_1$  y  $\Psi_2$ .- Se asume que no se presentan descargas por bajo de la horizontal, entonces, tomando como referencia el eje vertical y el giro contrario a las agujas del reloj como sentido positivo de los ángulos; se tiene que

$\Psi_2 = -\pi/2$  independientemente de la posición de  $\theta$  (Figura 3.6), mientras que  $\Psi_1$ , a lo largo del camino de integración, es siempre una función de  $\theta$ .

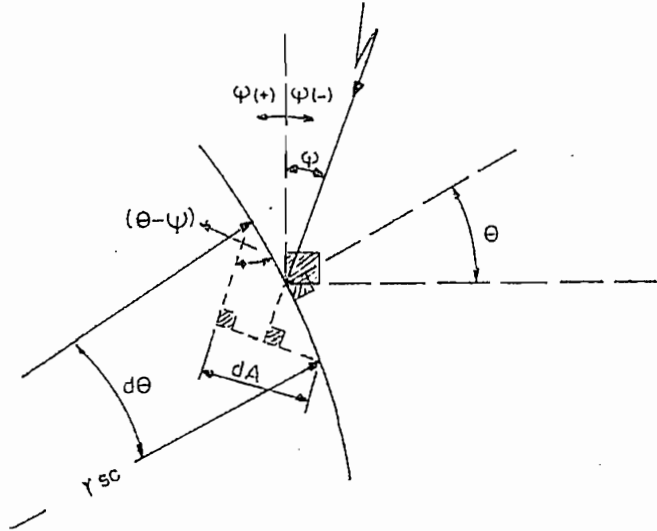


Fig. 3.5. Ubicación geométrica del área elemental  $dA$ .

Para  $\theta_s \geq \theta \geq \theta_2$  de las (Figuras 3.6.a y b) puede verse que:

$$\Psi_1(\theta) = \theta \quad (3.9)$$

Para  $\theta_s \leq \theta \leq \theta_1$  (Figura 3.6.c): Tomando como origen la ubicación del cable de guarda; la ecuación del contorno de influencia de éste cable sobre la punta o guía de la descarga es:

$$x^2 + y^2 = \gamma_{sc}^2 \quad (3.10)$$

La ecuación de la recta que pasa por el punto  $P(X_T, Y_T)$ , situado sobre el contorno de influencia del conductor de fase externo y es tangente al contorno (3.10), es:

$$Y - Y_T = m (X - X_T) \quad (3.11)$$

$m$  es la pendiente de la recta.

De la solución de (3.10) y (3.11) se llega a:

$$X^2(1+m^2) - 2mX(mX_T - Y_T) + (mX_T - Y_T)^2 - Y_{sc}^2 = 0 \quad (3.12)$$

De ésta ecuación, las dos raíces de  $X$  deben ser iguales, es decir, un solo punto de corte entre (3.10) y (3.11) con lo que (3.11) cumple la condición de ser tangente a (3.10), para ésto el discriminante de la ecuación (3.12) debe ser igual a cero.

De donde:

$$m_{1,2} = \frac{-X_T Y_T \pm Y_{sc} \sqrt{Y_T^2 + X_T^2 - Y_{sc}^2}}{Y_{sc}^2 - X_T^2} \quad (3.13)$$

$$\alpha = \tan^{-1} m \quad (3.14)$$

$$\Psi_1 = \alpha - \pi/2 \quad (3.15)$$

Del análisis de (3.13), (3.14) y (3.15) se llega a:

$$\Psi_1 = \tan^{-1} \left[ \frac{-X_T Y_T + \gamma_{sc} \sqrt{X_T^2 + Y_T^2 - \gamma_{sc}^2}}{\gamma_{sc}^2 - X_T^2} \right] - \pi/2 \quad (3.16)$$

Que cumple con la condición del problema presentado en la (Figura 3.6.c).

3.3.3. Límites de integración  $\theta_1$  y  $\theta_2$ .- Del análisis de la (Figura 3.1)

se llega a:

$$\theta_1 = \theta_s + \text{Sen}^{-1} \left( \frac{\bar{H} - \bar{Y}}{2\gamma_{sc} \text{Cos } \theta_s} \right) \quad (3.17)$$

$$\text{y: } \theta_2 = \text{Sen}^{-1} \left( K_{sg} - \frac{\bar{Y}}{\gamma_{sc}} \right) \quad (3.18)$$

3.3.4. Límites de Integración  $\gamma_{sc}$  mín y  $\gamma_{sc}$  máx.- El valor de  $\gamma_{sc}$  mín está dado para  $I_{\text{mín}}$  de la expresión (2.3) en (3.1).

$$\gamma_{sc} \text{ mín} = K_{sc} \cdot K_I (I_{\text{mín}})^b \quad (3.19)$$

$\gamma_{sc}$  máx, está dado cuando al incrementar  $\gamma_{sc}$  se cumple que:

$$\theta_1 = \theta_2 \quad (3.20)$$

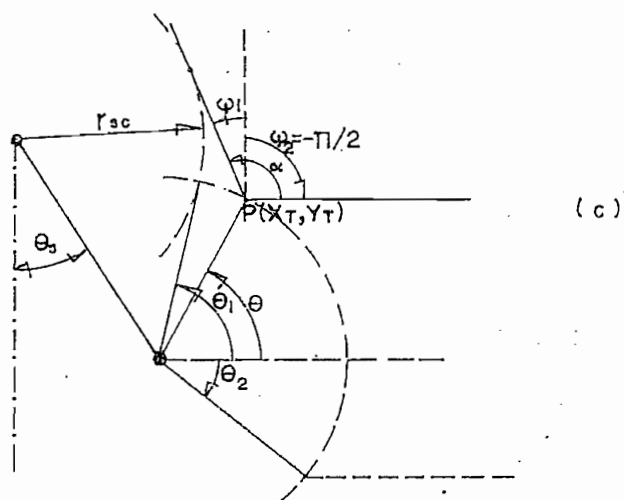
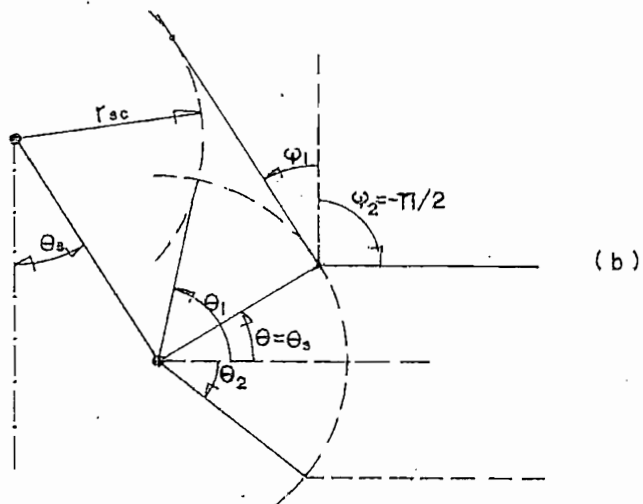
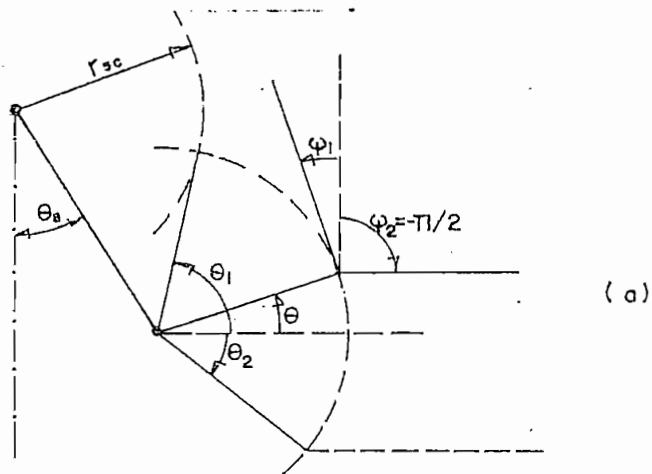


Fig. 3.6. Límites de integración  $\Psi_1$  y  $\Psi_2$



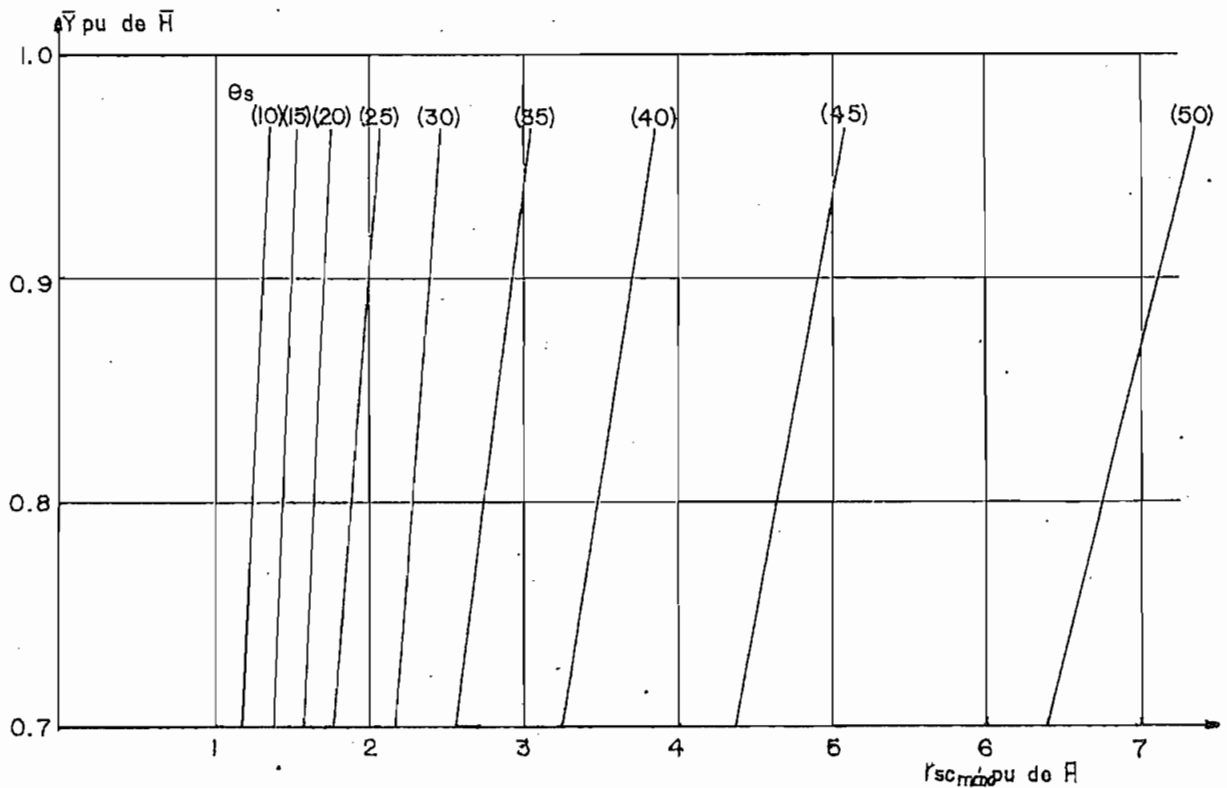
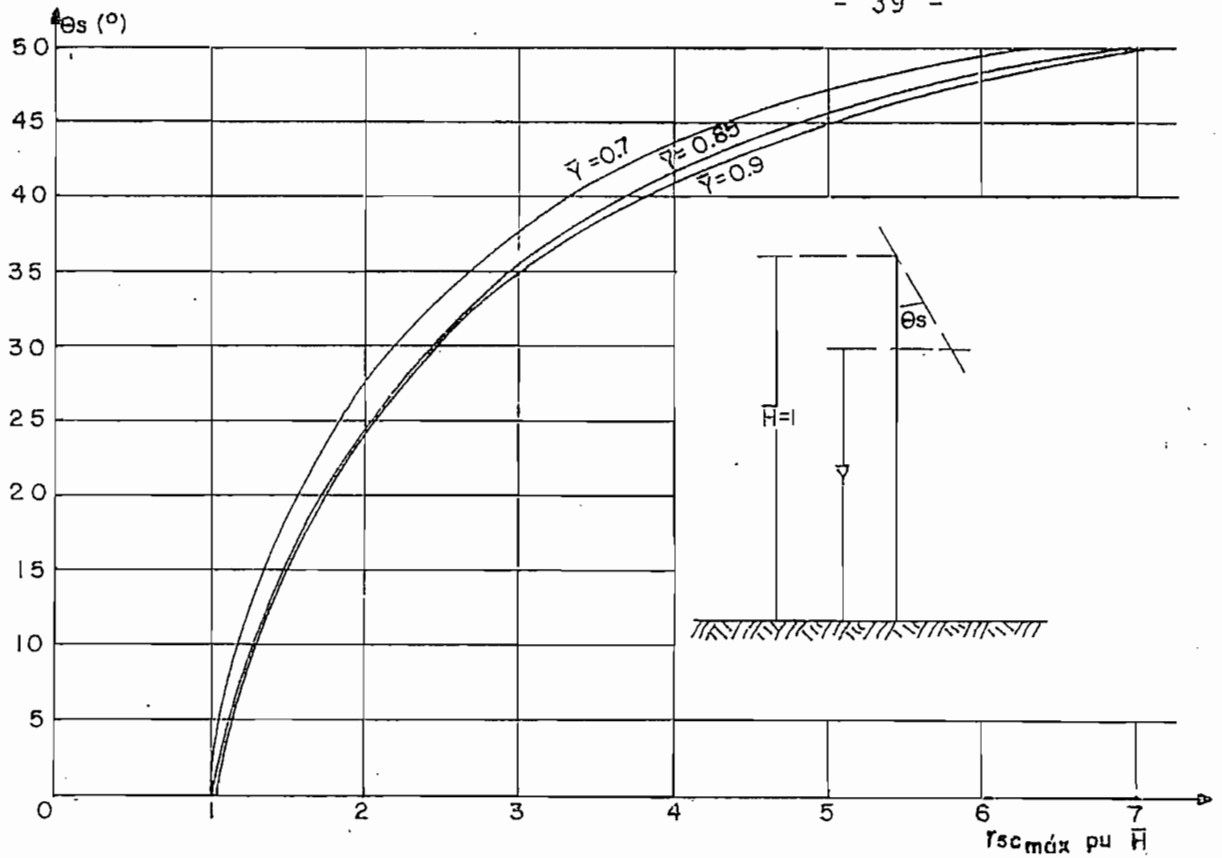


Fig. 3.7. Representación gráfica de la solución de la ecuación (3.20).

Las (Figuras 3.7) fueron obtenidas de resolver la ecuación (3.20) para diferentes valores de  $\theta_s$  y en por unidad de  $\bar{H}$ .

### 3.3.5. Función de distribución de densidad de probabilidad de la dirección del camino de la descarga.-

La función de distribución respecto al ángulo de la descarga, puede al presente solo ser estimada (2). Sin embargo un gran número de soluciones es representado por:

$$g(\Psi) = \begin{cases} 0, & \alpha_2 < \Psi < \alpha_1 \\ K_m \text{Cos } m\Psi, & \alpha_2 \geq \Psi \geq \alpha_1 \end{cases} \quad (3.21)$$

De la (Figura 3.8), el punto (P) como punto de incidencia de la descarga y el eje vertical como referencia; el ángulo ( $\Psi$ ) da la dirección del camino de la descarga. Si se considera que no existen descargas por debajo de la horizontal, entonces los límites  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  serán  $-\pi/2$  y  $\pi/2$  respectivamente.

La condición que debe cumplir la función  $g(\Psi)$  para representar una función de probabilidad es:

$$\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} g(\Psi) d\Psi = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} K_m \text{Cos } m\Psi d\Psi = 1 \quad (3.22)$$

El coeficiente  $K_m$  se determina de (3.22) por:

$$K_m = \frac{1}{\int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos m\Psi \, d\Psi} \quad (3.23)$$

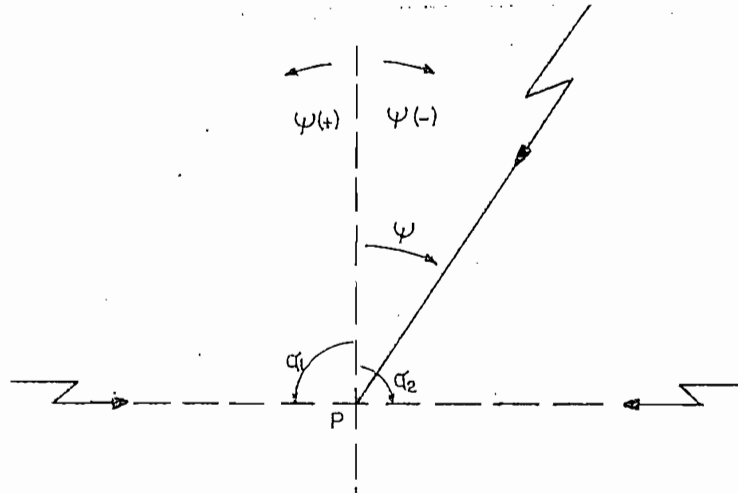


Fig. 3.8. Variación angular en la dirección de las descargas.

De la solución de (3.23) para diferentes valores de  $m$  se obtiene la siguiente tabla de valores.

$m$	0	1	2	3	4	5	$\rightarrow \infty$
$k_m$	$1/\pi$	$1/2$	$2/\pi$	$3/4$	$8/3\pi$	$15/16$	*

\* Cuando  $m \rightarrow \infty$  la función  $g(\Psi)$  tiende a la función impulso unitaria  $\delta(\Psi)$ , que representa todas las descargas en dirección vertical (Figura 3.9.).

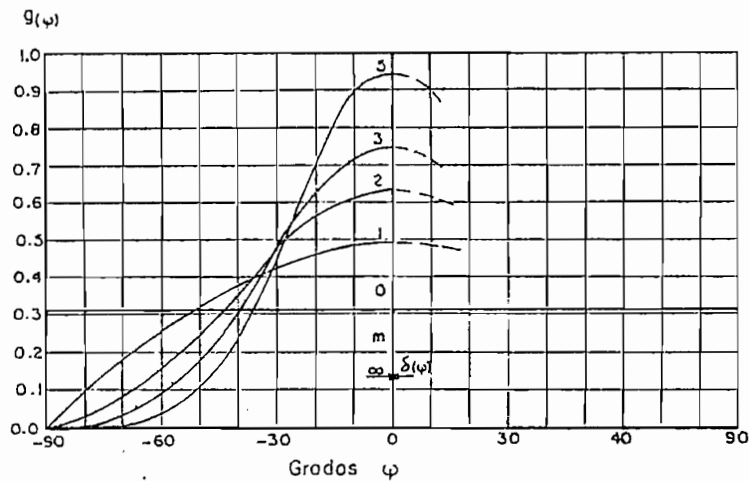


Fig. 3.9. Función densidad de probabilidad del ángulo  $\Psi$ .- (1).

$m = 0$  indicaría igual probabilidad en las descargas con ángulo ( $\Psi$ ) comprendido dentro del intervalo considerado, se ha observado una densidad de descargas mayor con ángulos cercanos a la vertical, por lo que  $m = 0$  no tiene ningún sentido en el presente análisis.- (1), (2).

Las referencias (1) y (2) expresan que valores comprendidos entre 1 y 2 para  $m$ , pero más cercanos a 2, han

dado mejores resultados en la calibración del modelo.

En el presente trabajo se analizará, por simplicidad, valores para  $m = 1, 2, \infty$ ; en que  $m = \infty$ , introduce el trabajo realizado por Young, Clayton y Hileman (3), en que se consideran solamente descargas verticales.

### 3.3.6. Función de distribución de densidad de probabilidad de distancias críticas de arqueo.-

Esta función fué definida por la expresión (3.2) en que es necesario determinar  $h(I)$ . La referencia (1) propone la expresión:

$$h(I) = K_1 e^{-I/I_1} + K_2 e^{-I/I_2} \quad (3.24)$$

Y calibrada para las curvas de distribución de corrientes de descarga obtenidas por AIEE propone:

$$h(I) = 4.75 e^{-I/20} + 0.10 e^{-I/50} \quad \% \quad (3.25)$$

Para  $I$  de la expresión (3.1), de (3.2) se puede obtener la función  $f(\gamma_{sc})$ .

Para efectos de cálculo, la referencia (2) propone la utilización de una aproximación para el cálculo de  $f(\gamma_{sc})$ ,

para I de (1.10) se tiene que:

$$f(\gamma_{sc}) = 7.4 \gamma_{sc}^{-5/3} \quad (3.26)$$

La (figura 3.10) muestra gráficamente las expresiones (3.2) y (3.26), en lo que sigue se utilizará la expresión (3.26).

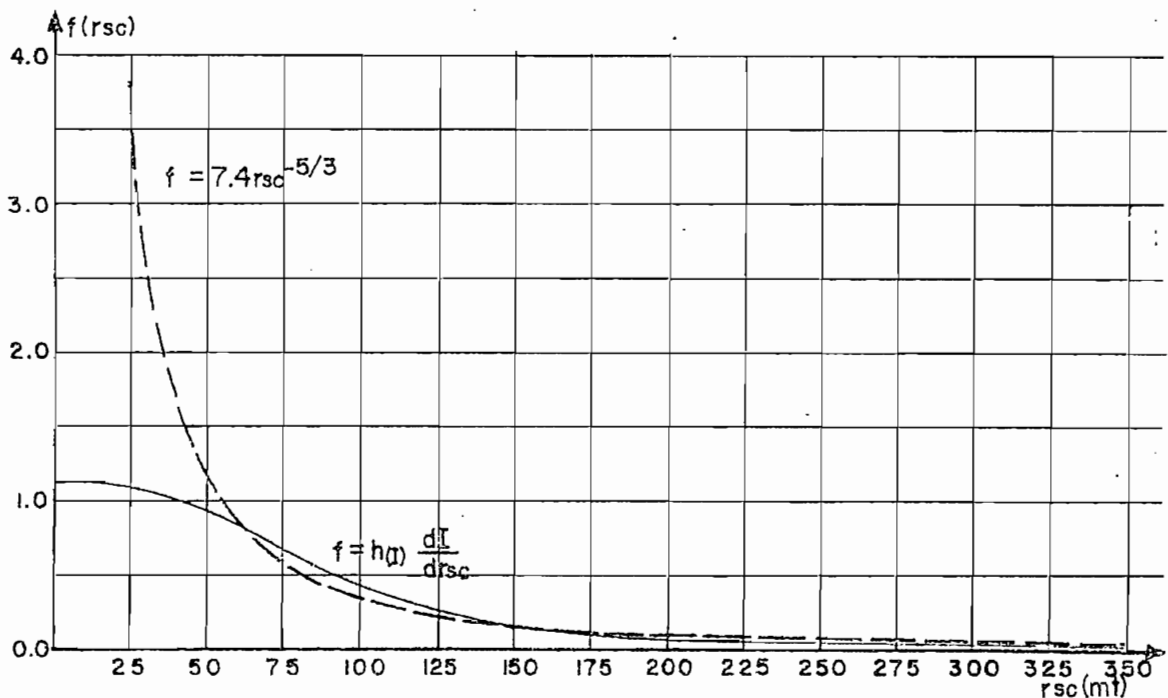


Figura 3.10. Función densidad de probabilidad de  $\gamma_{sc}$

### 3.3.7. Número total de salidas de una línea de transmisión por unidad de tiempo.-

La expresión (3.3) representa número de fallas de a-

pantallamiento que pueden producir salida, por unidad de longitud y tiempo para un tramo de la línea.

El número total de salidas de la línea será:

$$N = P_2 \int_0^L n(x) dx \quad (3.27)$$

en que  $(x)$  es la dimensión a lo largo de la línea,  $(L)$  la longitud total de la línea,  $n(x)$  dado por la expresión (3) y  $P_2$  es la probabilidad, de que la descarga produzca la salida de la línea. (Capítulo 2, numeral 2.2, punto d).(2).

Un cuidadoso análisis del problema, llevará a una solución más ventajosa. La expresión (3.27) puede expresarse por:

$$N = P_2 \sum_{i=1}^{nt} n(x_i) \quad (3.28)$$

en que  $(nt)$  representa el número de tramos de la línea y  $(x_i)$  la longitud de cada tramo.-

3.4. PROGRAMA DIGITAL.- El orden metodológico para el desarrollo de éste numeral, se tomó de la referencia (16).

3.4.1. Método de solución.- Para la solución digital del modelo matemático planteado en el numeral (3.3), bajo las consideraciones hechas en (3.3.5), de la expresión (3.4) se procede a desarrollar algebraicamente la integral entre  $\Psi_2(\theta)$  y  $\Psi_1(\theta)$  y de acuerdo a los límites de integración definidos en los numerales (3.3.2 y 3.3.3), la integral entre  $\theta_2$  y  $\theta_1$  se desarrolla en dos partes; la primera entre  $\theta_2$  y  $\theta_s$  que puede ser resuelta algebricamente y la segunda parte de la integral entre  $\theta_s$  y  $\theta_1$  se resuelve usando el método de integración de Simpson. Obtenido el valor de la expresión (3.4), mediante la regla de integración trapezoidal se incrementa el valor de la expresión (3.3) iterativamente hasta obtener su valor. El proceso se repite para cada tramo de la línea y de la expresión (3.28) se obtiene el resultado final.

3.4.2. Diagrama de Flujo.- La Figura (3.11) presenta el diagrama de flujo general del programa.



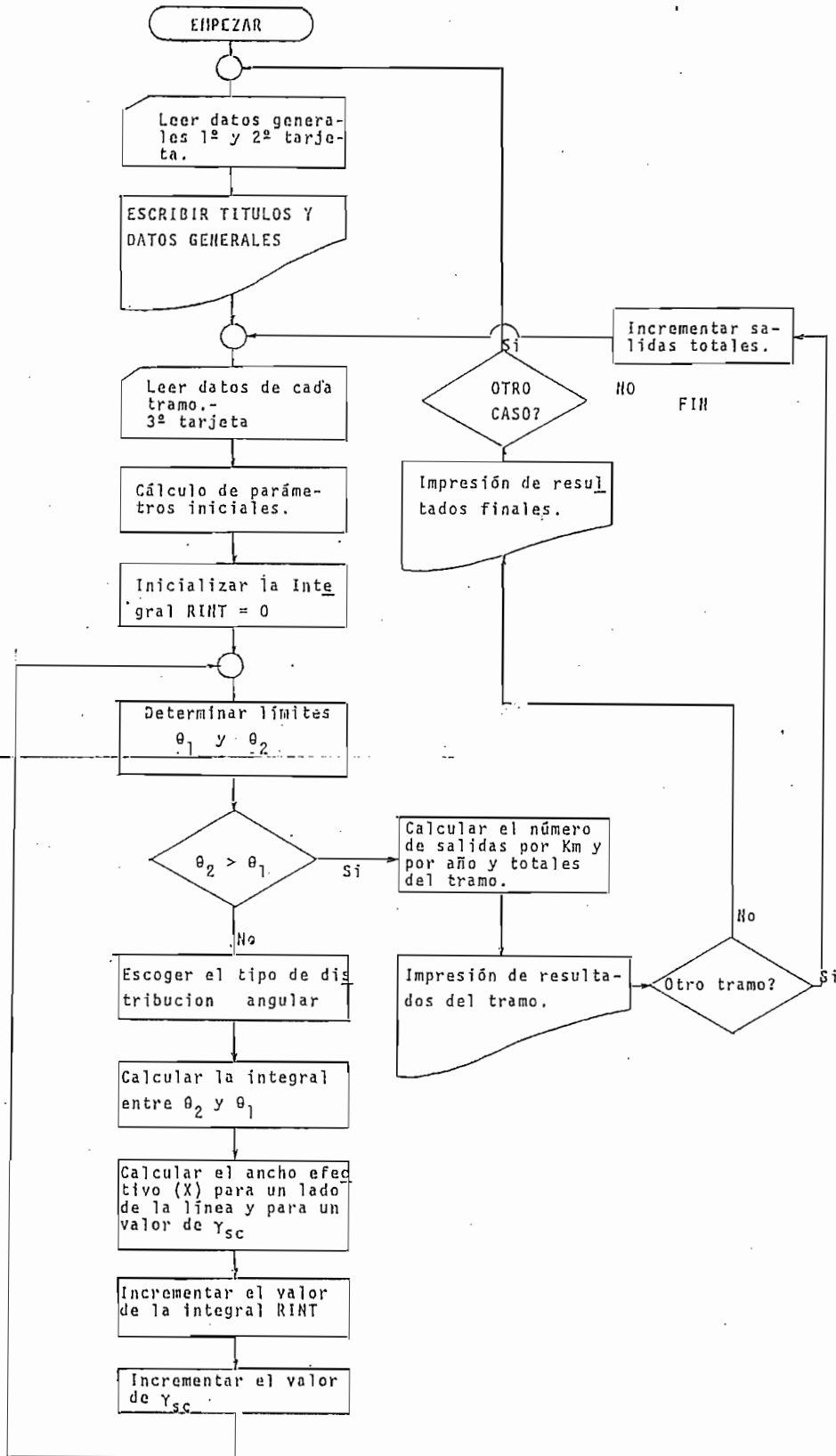


Figura 3.11. Diagrama de Flujo.- (Cálculo analítico del número de salidas de una línea de transmisión, debido a fallas del apantallamiento, Método de Whitehead).-

3.4.3. Implementación del programa.- El programa está escrito en FORTRAN IV para el sistema IBM-370-125-DOS, utiliza una memoria de 7 KBYTES y el tiempo de ejecución para un ciclo completo del programa que representaría un tramo de la línea es de aproximadamente (15) - seg\*, que puede variar de acuerdo a la precisión que se desee.- \* (Ver 3.5).

a) Listado de variables principales.-

<u>FORTRAN</u>	<u>D E S C R I P C I O N</u>
CASG	Constante que relaciona la distancia de arqueo a tierra con la correspondiente a los conductores y cables de guarda (Ksg).
CE	Distancia media entre el cable de guarda y el conductor más saliente ( $\bar{C}$ ).
CFO	Voltaje crítico de contorneo del aislamiento de la cadena. (Critical-Flashover).- (CFO).
CK	Probabilidad de que la descarga produzca salida de la línea ( $P_2$ ).
CMIN	Corriente mínima de descarga que puede producir salida de la línea ( $I_{mín}$ ).
CNO	Densidad de descargas a tierra (Ground Flash Density) ( $N_0$ ).
DRS	Incremento en la distancia crítica de arqueo para efectos de integración. ( $d\gamma_{sc}$ ).

<u>FORTTRAN</u>	<u>D E S C R I P C I O N</u>
ENE	Número de salidas de la línea por kilómetro y por año (n).
ENET	Número total de salidas de la línea. (N).
ENETR	Número de salidas de un tramo de la línea ( $n(x_i)$ ).
LONG	Longitud total de la línea. (L).
MM	Tipo de función de distribución angular a <u>u</u> sarse. (m).
NTRAM	Número de tramos considerados en la línea. (nt)
ORDF	Altura media del conductor de fase para un <u>tra</u> mo. ( $\bar{Y}$ ).
ORDG	Altura media del cable de guarda para un tramo ( $\bar{H}$ ).
PSI	Angulo de incidencia de la descarga ( $\Psi$ )
PTR	Porcentaje de la longitud de la línea de un tramo.
RINT	Valor de la integral dada por la expresión - (3.3), en el proceso iterativo.
RS	Distancia crítica de arqueo. (Strike distance) ( $R_s, \gamma_{sc}$ ).
TETA	Angulo de barrido en la integración de la zona expuesta a las descargas ( $\theta$ ).
TETS	Angulo medio de apantallamiento ( $\theta_s$ )
TET1	Límite superior del ángulo TETA. ( $\theta_1$ )
TET2	Límite inferior del ángulo TETA. ( $\theta_2$ )

FORTTRAN

D E S C R I P C I O N

X Ancho efectivo de la zona expuesta a las descargas.- (X).

ZL Impedancia transitoria del conductor de fase (Z).

b) SUBPROGRAMAS.-

FUNCTION F1 y FUNCTION F2.- Evalúan el valor de la función  $F(\theta)$  en el proceso de integración, para dos tipos de la función de distribución angular de las descargas, para  $m = 1$  y  $m = 2$  respectivamente. El desarrollo analítico se encuentra en el anexo 1.

FUNCTION SIMPS (A, B, N,F).- Este subprograma evalúa la integral de  $F(x)$  entre los límites A y B mediante la regla de simpson. N es el número de intervalos. (16)

c) LISTADO DEL PROGRAMA.- El listado del programa se presenta en el anexo 2.

3.4.4. Entrada de datos.-

a) Primera tarjeta de lectura.- Datos generales.

READ 2, LONG, CK, CASG, NTRAM, NLIN, MM, ICOD  
2 FORMAT (3F10.0,4I2)

<u>VARIABLE</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
LONG	1 - 10	Longitud de la línea en (Km)
CK	11 - 20	Probabilidad ( $P_2$ ) en (p.u)
CASG	21 - 30	Constantes ( $K_{sg}$ ) en (p.u)
NTRAM	31 - 32	Número de tramos
NLIN	33 - 34	Número de tarjetas de título del trabajo menor o igual a 5.
MM	35 - 36	Igual a cero (0) para descargas verticales, uno (1) o dos (2) para $m = 1$ ó $2$ en la distribución angular en las descargas.
ICOD	37 - 38	Igual a cero (0) si no existe otro caso de estudio. Igual a uno (1) si después del caso en estudio se leerá un nuevo caso.

b) Segunda tarjeta de lectura.- Títulos.-

READ 3, (TIT(I), I = 1,JI)  
3 FORMAT (20A4)

<u>VARIABLE</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
TIT	1 - 80	Título del trabajo, tantas tarjetas como se haya especificado en NLIN.

c) Tercera tarjeta de lectura.- Datos de cada tramo.-  
tantas tarjetas como -  
tramos se considere.-

```
READ 6, ORDF, ORDG, TETS, CNO, CFO, ZL, DRS, PTR, MINT  
6  FORMAT (7F10.0,F6.0,I4)
```

<u>VARIABLE</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
ORDF	1 - 10	Altura media del conductor de fase ( $\bar{Y}$ ) (metros).
ORDG	11 - 20	Altura media del cable de guarda ( $\bar{H}$ ) (metros).
TETS	21 - 30	Angulo medio de apantallamiento ( $\theta_s$ ) (grados)
CNO	31 - 40	Densidad media de descargas a tierra ( $N_0$ ) (Descargas por $Km^2$ )
CFO	41 - 50	Voltaje crítico de contorneo del aislamiento en la cadena, corregido para condiciones ambientales (KV).
ZL	51 - 60	Impedancia transitoria del conductor de fase (ohmios).
DRS	61 - 70	Incremento en la distancia crítica de arqueo. (metros)*
PTR	71 - 76	Tanto por ciento de la longitud de la línea, correspondiente al tramo.

<u>VARIABLE</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
NINT	77 - 80	Número de intervalos en la integración entre $\theta_s$ y $\theta_1$ , si no se especifica se toma un valor de NINT = 10*

\* (Ver numeral 3.5).

3.4.5. Salida de resultados.- En el anexo 2 se presentan salidas de resultados para el esquema de línea propuesto en el anexo 3.

### 3.5. EVALUACION DE RESULTADOS

El programa desarrollado, resuelve satisfactoriamente el problema propuesto en (3.3), los resultados obtenidos son equivalentes a los propuestos en el trabajo realizado por Whitehead, (1), (2).

Cabe señalar que, la aproximación realizada por la expresión (3.26) de acuerdo a (2), para la función densidad de probabilidad de distancias de arqueo, se cumple para valores de corriente de descarga de aproximadamente 12 KA en adelante (Fig. 3.10), esto significa que, para líneas en que la corriente mínima de descarga que puede producir salida es menor que 12 KA, la aproximación hecha in

introduce un error considerable en la integración. De acuerdo a lo expuesto y considerando que un valor de  $I_{mín}$  de 12 KA solo se tendrá para una línea de extra alto voltaje, se presenta una segunda versión del programa (Anexo 2), en que se utiliza para  $f(\gamma_{sc})$  la expresión (3.2) y  $h(I)$  de (3.25), los resultados obtenidos (para una línea de 220 KV. con un CFO = 1200 KV (Anexo 3)) con las dos versiones difieren grandemente.

Con el propósito de optimizar tiempos de ejecución - se introdujeron dos variables en el programa NINT definida como el número de intervalos en la integración y DRS - que representa ( $\Delta\gamma_{sc}$ ) un intervalo en la distancia crítica de arqueo en el proceso iterativo, es claro que, si se revisa las expresiones (3.3) y (3.4), el tiempo de cálculo dependerá de los valores que se den a NINT y DRS y esto influirá directamente en la precisión obtenida. Al no tenerse un punto de referencia en precisión de los resultados, se tomó un valor de NINT = 20, DRS = 1 (metros) y el resultado como referencia (tiempo de ejecución 60 seg), disminuyendo NINT y aumentando DRS para una diferencia en los resultados en el cuarto dígito significativo, se llega a NINT = 10 y DRS = 2 (metros) (Tiempo de ejecución 15 seg), se recomienda usar éstos valores en el programa.



## C A P I T U L O    I V

CALCULO ALEATORIO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION POR FALLA DE SU APANTALLAMIENTO.- METODO DE SIMULACION DE MONTE-CARLO APLICADO AL MODELO ELECTROGEOMETRICO.-

- 4.1. CONSIDERACIONES GENERALES.- Tomando en cuenta, la naturaleza aleatoria de las descargas atmosféricas, el presente capítulo pretende desarrollar un modelo que haga el juego de azar de la Naturaleza. (6), sobre los mismos principios teóricos del modelo electrogeométrico de Whitehead (capítulo 3).- Sin embargo al aplicar un método de simulación, se da una gran flexibilidad al modelo, lo que no puede incluirse fácilmente en un modelo analítico (7).

Para la elaboración del modelo analítico (Capítulo 3), se partió de una geometría simétrica definida de la línea de transmisión, en el presente modelo se podrá analizar cualquier geometría de línea, esto permitirá por ejemplo, predecir cuales serían -

los conductores de fase más solicitados a las descargas atmosféricas debido a las fallas del apantallamiento en una línea de simple o doble circuito, sin que sea necesario que presente una geometría simétrica.

Se podrá determinar el número de descargas a la línea y la probabilidad de falla del apantallamiento para descargas con corrientes mayores que  $I_{mín}$ .

Se determinará el número de salidas de la línea por cada tramo y totales de la línea.

Un tramo se define por magnitudes geométricas y características eléctricas determinadas.

#### 4.2. Características del método de Monte-Carlo.- Relación con el modelo electrogeométrico.-

En la técnica de Monte-Carlo se procesa cada descarga en forma independiente y los varios parámetros que intervienen en ella son seleccionados al azar a través de distribuciones probabilísticas de ocurrencia, mediante la utilización de una secuencia de números pseudo-aleatorios.

Para cada descarga, los parámetros son usados como

datos de entrada al modelo electrogeométrico para determinar el punto terminal de la misma.

Lo siguiente está asumido implícitamente en el desarrollo del modelo electrogeométrico y es aplicado en el presente modelo:(7).

- a) La localización de la guía de la descarga es independiente de posibles influencias de elementos en tierra hasta llegar a cierta distancia, definida como una distancia crítica de arqueo.
- b) El ángulo de aproximación de la descarga ( $\Psi$ ) es dado a través de la función densidad de probabilidad ( $g(\Psi)$ ) por la expresión (3.21).
- c) La distancia de arqueo ( $\gamma_{sc}$ ) es directamente relacionada a la magnitud de la corriente de la descarga ( $I$ ) por la expresión (3.1).
- d) La función de probabilidad acumulada de las magnitudes de corriente de las descargas ( $H(I)$ ) es conocida.
- e) El punto terminal de la descarga es determinado cuando la guía de la descarga llega a topar alguna de las influencias de los elementos de tierra.

- f) La densidad de descargas a tierra es conocida y relacionada al nivel isocerámico (NI).
- g) Se considera la representación geométrica del modelo de la línea en un plano de dos dimensiones y se toma en cuenta parámetros geométricos medios.

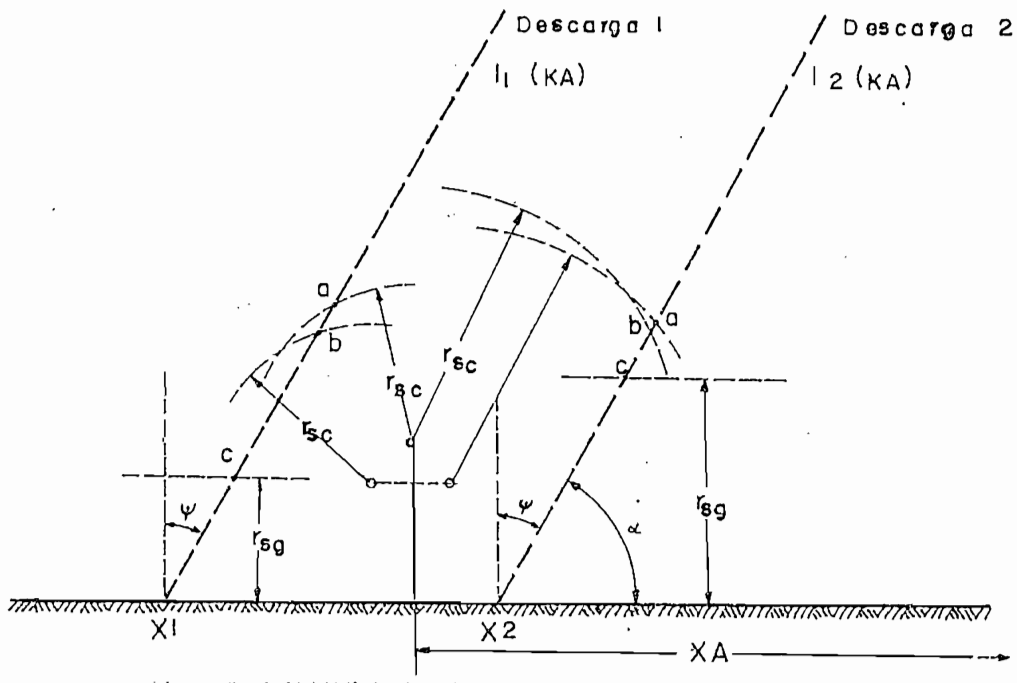


Fig. 4.1. Punto terminal de la descarga. (Modelo electrogeométrico).-

4.2.1. Simulación de una descarga.- Para simular una descarga, se procede de la siguiente manera:

- Se elige un punto (x) como probable punto de impacto de la descarga. (azar).
- Se encuentra un ángulo  $\Psi$  desde la función de probabilidad acumulada ( $G(\Psi)$ ). (azar).
- Se obtiene al azar una corriente de descarga (I) de la función de probabilidad acumulada ( $H(I)$ ).
- A partir de la corriente (I) se determinan las distancias de arqueo a los conductores, cables de guarda ( $\gamma_{sc}$ ) y a tierra ( $\gamma_{sg}$ ).
- Por último se determina geoméricamente a que elemento de tierra hace impacto la descarga.

La (Figura 4.1) muestra la geometría final de la simulación, se presenta en la figura dos descargas de magnitudes diferentes y puntos probables de impacto distintos, con lo que se trata de mostrar la cantidad de posibilidades que se tienen al simular una descarga, lo que introduce gran aleatoriedad al problema. (7).

4.2.2. Número total de descargas simuladas.- El número de descargas que se presenten en la simulación, depende de varios factores que se han introducido, con el objeto de dar mayor aleatoriedad al modelo, estos son:

- Se considera un ancho ( $2 \cdot XA$ ) en la recta de la línea, (Fig. 4.2.) tal que, una descarga con ángulo  $\Psi$ , pueda tener influencia sobre la línea.
- Se determina un número promedio de descargas por día tormenta para la franja de ancho ( $2 \cdot XA$ ) y una longitud de 100 Km.
- Se obtiene la probabilidad de que ocurra una tormenta eléctrica en un día cualquiera.
- Se asume que el número de descargas en un día de tormenta sigue una distribución de probabilidades de Poisson. (8).

El número de descargas que entren en la simulación, dependerá del nivel isoceráunico de la región, del área de la franja considerada, de la actividad de descarga por tormenta y del tiempo de simulación.

#### 4.3. FORMULACION DEL MODELO.-

4.3.1. Generalidades.- En el capítulo III se presenta matemáticamente el modelo electrogeométrico, que es sobre el que se desarrolla el presente modelo, que no es más que un algoritmo de cálculo, basado en la teoría de probabilidades.

Las variables aleatorias que intervienen en la simulación son consideradas como independientes, de manera que puedan ser analizadas separadamente (6), (7). Estas variables están dadas por funciones probabilísticas (frecuencias de ocurrencia) determinadas de datos estadísticos obtenidos a través del tiempo.

En el presente modelo se pueden distinguir dos tipos de funciones probabilísticas, para cada una de las cuales se explica el procedimiento seguido en la simulación, de tal manera de cumplir con éstas restricciones.- (17)

TIPO 1.- Consideremos una variable aleatoria (X) definida por una función de distribución acumulada de frecuencias de ocurrencia  $F(X)$  (Fig. 4.2), en que:

$$\begin{aligned} p(X \geq X_1) &= p_1 \\ \text{y: } p(X \geq X_2) &= p_2 \end{aligned} \quad (4.1).$$

representa que la probabilidad de que la variable aleatoria ( $X$ ) tome un valor mayor o igual a ( $X_1$ ) ó ( $X_2$ ) es  $p_1$  ó  $p_2$  respectivamente, de las expresiones (4.2) puede decirse que:

$$p(X_1 \leq X \leq X_2) = p_1 - p_2 \quad (4.2)$$

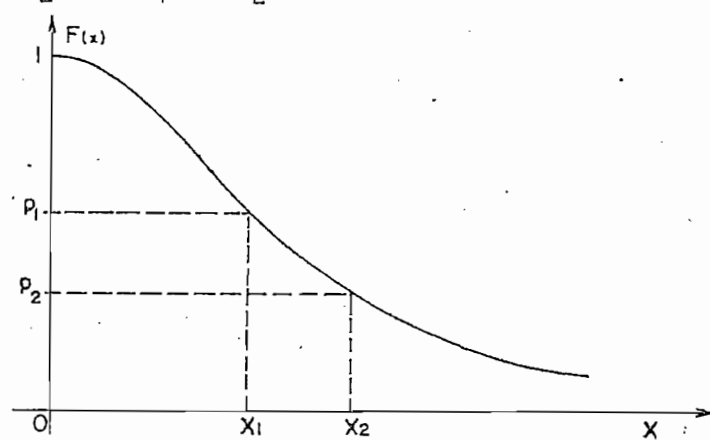


Fig. 4.2. Distribución acumulada de frecuencias de ocurrencia de la variable aleatoria( $X$ )

Ahora bien, si se tiene un generador de números al azar, distribuidos uniformemente a lo largo del intervalo  $(0,1)$  es decir, que la probabilidad de que un número cualquiera de ellos esté dentro de un intervalo determinado, es precisamente el valor de ese intervalo.

De acuerdo a lo anterior se puede simular cada evento ( $X$ ) generado al azar un número en el intervalo  $(0,1)$  y relacionándolo directamente a la función  $F(X)$  para obtener el valor de ( $X$ ).



TIPO 2.- Cuando la variable aleatoria ( $X$ ) puede tomar solamente dos opciones ( $X_1$ ) y ( $X_2$ ), que representan "ocurrencia" o "no ocurrencia" de un evento determinado, (Figura 4.3) en que:

$$\begin{aligned} p(X = X_1) &= P_0 \\ \text{y: } p(X = X_2) &= 1 - P_0 \end{aligned} \quad (4.3)$$

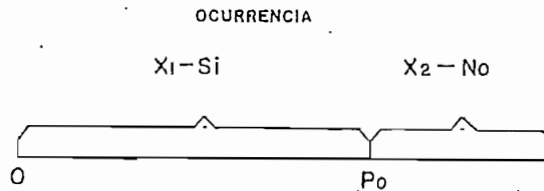


Fig. 4.3. Ocurrencia de la variable aleatoria ( $X$ )

Aquí, al generar un número al azar, y si éste cae en intervalo  $(0, P_0)$  ó en el  $(P_0, 1)$  el evento ocurrirá o no, respectivamente.

4.3.2. Función de probabilidad acumulada del ángulo de la descarga.- De acuerdo a que la función densidad de probabilidad  $g(\Psi)$  expresión (3.1) es par alrededor del ángulo  $0^\circ$  (Fig. 3.9), se puede separar la probabilidad de que el ángulo de la descarga sea positivo o negativo y la de que tenga cierto valor absoluto entre 0 y  $\pi/2$  rad. si llamamos  $p_1$  y  $p_2$  respectivamente a las probabi

lidades antes citadas se tiene que la probabilidad  $p$  de que la descarga tenga un ángulo entre  $-\pi/2$  y  $\pi/2$  rad.es:

$$p = p_1 \cdot p_2 \quad (4.4)$$

en que:  $p_1 = 0.5 \quad (4.5)$

y, 
$$p_2 = 2 \int_0^{\Psi \leq \pi/2} g(\Psi) d\Psi \quad (4.6)$$

4.3.3. Función probabilidad acumulada de magnitudes de corriente de descargas.- En la referencia (8), por medio de un ajuste polinómico por el método de los mínimos cuadrados de la curva propuesta por AIEE (Fig. 1.2, curva 1) se obtiene la siguiente expresión:

$$I = (10)^{f(x)} \quad (4.7)$$

$$y: f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \quad (4.8)$$

para,

$$a_0 = 0.286561$$

$$a_1 = 0.385872 \times 10^{-1}$$

$$a_2 = -0.600879 \times 10^{-3}$$

$$a_3 = 0.391596 \times 10^{-5}$$

En la figura citada se muestra con cruces el ajuste obte

nido.

4.3.4. Número de descargas en un día de tormenta eléctrica.- Bajo la condición de que caigan justamente ( $N_D$ ) descargas en un intervalo de tiempo determinado (NI), su distribución dentro de éste intervalo será tal, como si las hubiesen tirado al azar, independientemente una de otra. La probabilidad de que caigan (N) descargas en un subintervalo  $\Delta$  está dado por la distribución de Poisson (8), (17), por la relación:

$$p(N(\Delta) = K) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (4.9)$$

en que  $\lambda$  representa el número medio de descargas por día tormenta y el subintervalo  $\Delta$  un día de tormenta.

$$\lambda = \frac{N_D}{NI} \quad (4.10)$$

aquí  $N_D$  es el número de descargas a tierra para la franja considerada de ancho (2.XA), (NI) es el nivel isocera único, ( $\lambda$ ) también puede ser determinado por:

$$\lambda = 0.2 C . XA \quad (4.11)$$

Para la expresión (4.11), ( $\lambda$ ) representa el número medio

de descargas para una franja de ancho  $(2 X_A)$  y 100 Km. de longitud,  $C$  es la constante que relaciona el nivel isoce-ráunico  $(NI)$  con la densidad de descargas a tierra  $(N_0)$  - expresión (1.1).

4.3.5. Punto final de la descarga.- La ecuación de la influencia de un conductor o de un cable de guarda (sobre la punta o guía de la descarga), ubicado en un punto  $P$  de coordenadas  $(h, k)$  es:

$$(X - h)^2 + (Y - k)^2 = \gamma_{sc}^2 \quad (4.12)$$

Para un punto probable de impacto sobre tierra  $(X_1)$ , la ecuación de la trayectoria de la descarga es:

$$Y = \tan \alpha (X - X_1) \quad (4.13)$$

de las expresiones (4.12) y (4.13) se llega a:

$$A Y^2 + 2 B Y + C = 0 \quad (4.14)$$

en que:

$$\begin{aligned} A &= 1/\text{sen}^2 \alpha \\ B &= \frac{X_1 - h}{\tan \alpha} - k \\ C &= k^2 - \gamma_{sc}^2 + (X_1 - h)^2 \end{aligned} \quad (4.15)$$

De la solución de (4.14) para cada uno de los elementos (conductores y cables de guarda) se escoge la ordenada de mayor valor, que luego se compara con el valor de la influencia de tierra ( $\gamma_{sg}$ ) y se determina el punto final de la descarga. Si el valor del discriminante de (4.14) es menor que cero, no existe intersección entre la trayectoria de la descarga y la zona de influencia del elemento ubicado en  $P(h, k)$ .

#### 4.4. PROGRAMA DIGITAL.- (16).

4.4.1. Método de solución.- Al ser el modelo propuesto un algoritmo de cálculo a un problema planteado, el método de solución ha sido discutido ampliamente en los numerales anteriores.

4.4.2. Diagrama de flujo.- En las Fig. (4.4) y (4.5) se presentan los diagramas de flujo, general del programa y particularmente de la parte relacionada con la simulación Monte-Carlo.

4.4.3. Implementación del Programa.- El programa está escrito en FORTRAN IV para el sistema IBM-370-125-DOS, utiliza una

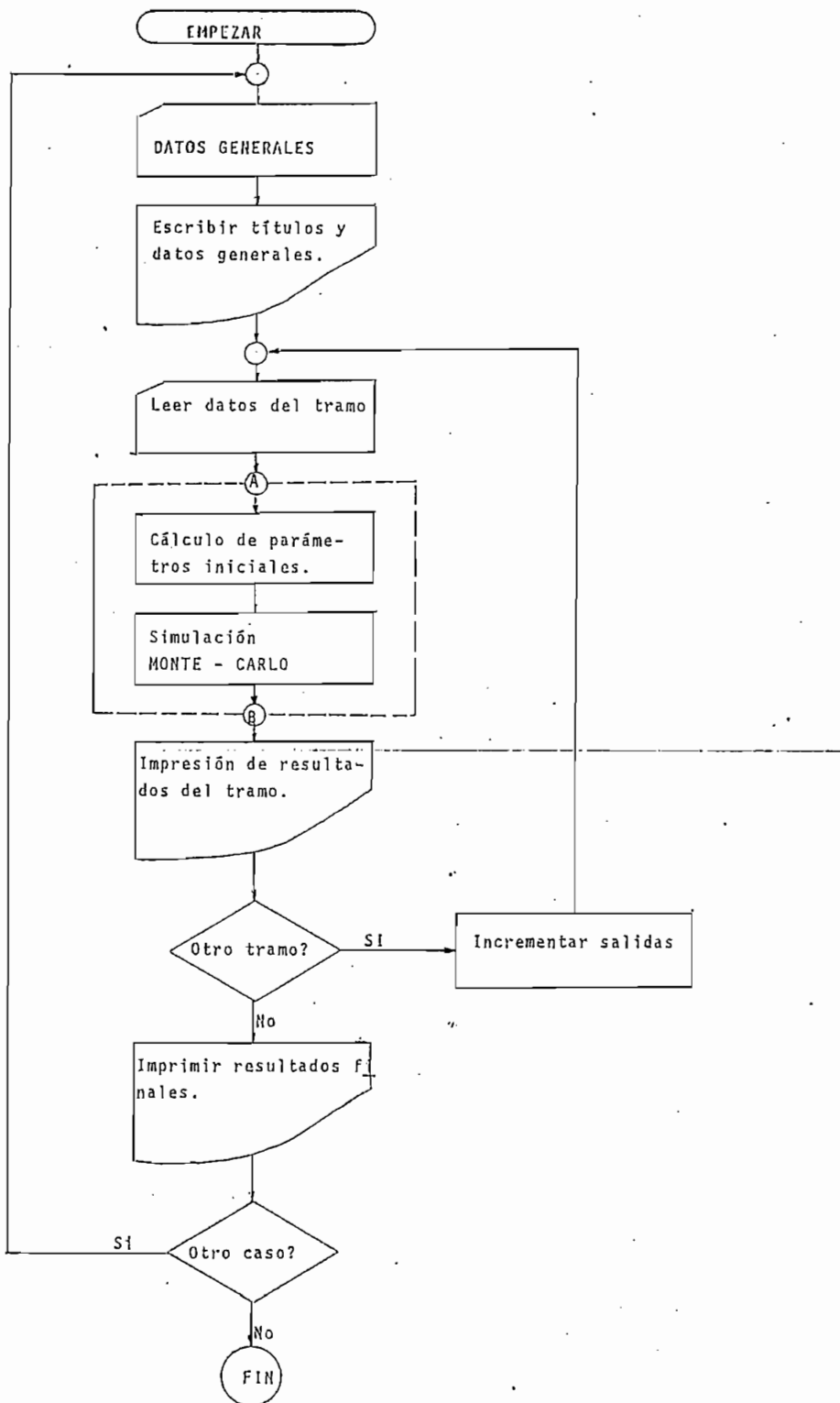


Fig. 4.4. Diagrama de flujo general del programa para determinar el número de salidas de una línea de transmisión debidas a fallas del apantallamiento.- Método de simulación de Monte-Carlo.-

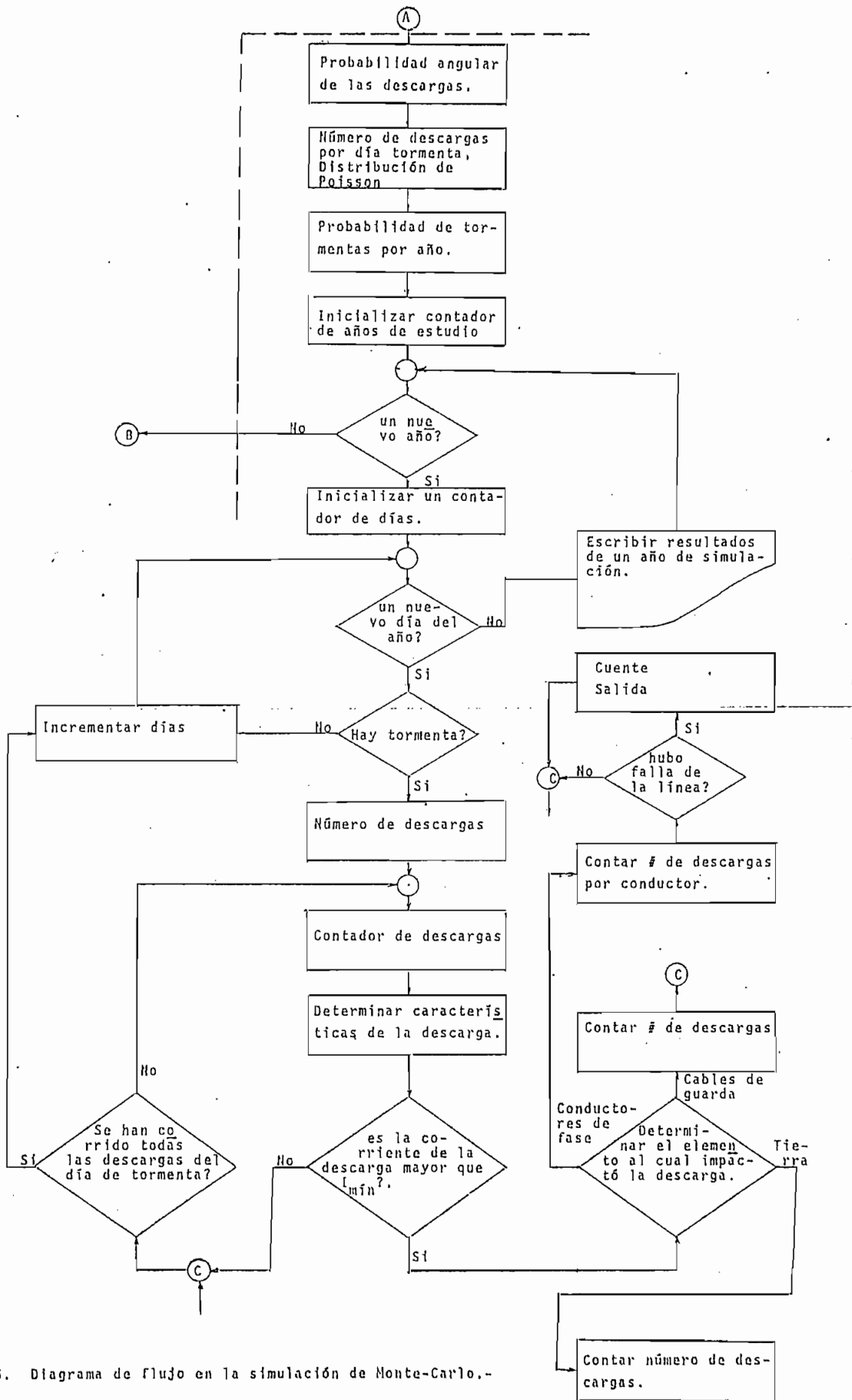


Fig. 4.5. Diagrama de flujo en la simulación de Monte-Carlo.-

memoria total de 10 KBYTES y el tiempo de ejecución para diez años de simulación con un ancho 2. XA = 1600 metros es de aproximadamente 350 seg.

a) Listado de variables principales.-

<u>FORTRAN</u>	<u>DESCRIPCION</u>
CAM	Coeficiente de la función de densidad de probabilidad angular de las descargas. (Km).
CASG	Factor que relaciona la distancia de arqueo a tierra con la correspondiente a los conductores y cables de guarda. ( $K_{sg}$ ).
CFO	Voltaje crítico de contorneo del aislamiento
CK	Probabilidad de que la descarga produzca salida de la línea. ( $P_2$ ).
CKO	Constante que relaciona el nivel isocerámico y la densidad de descargas a tierra. (c)
CMIN	Corriente mínima de descarga, que puede producir salida de la línea. ( $I_{mín}$ ).
COR	Corriente de una descarga cualquiera. (I).
EME	Exponente del coseno del ángulo de la descarga en la función de probabilidad angular (m)
ENE	Número de salidas del tramo de la línea por Km y por año (n).
ENET	Número total de salidas de la línea por año.
ENETR	Número de salidas de un tramo de la línea por año.



FORTTRAN

D E S C R I P C I O N

HXC(I)	Abscisa media de la posición del conductor - (i).
HXG(I)	Abscisa media de la posición del cable de guarda (i).
HYC(I)	Ordenada media de la posición del conductor (i).
HYG(I)	Ordenada media de la posición del cable de guarda (i).
LONG	Longitud total de la línea. (L).
NA	Número de años de simulación.
NC	Número de conductores de la línea.
NG	Número de cables de guarda.
NI	Nivel isocerámico.
NIC(I)	Número de descargas al conductor (i).
NIG	Número de descargas al cable de guarda.
NIT	Número de descargas a tierra.
NPA	Niveles de probabilidad angular.
NPRT	Niveles de probabilidad de descargas por tormenta.
NRAY	Número de descargas simuladas por año.
NRT	Número de descargas por tormenta.
NSAL	Número de salidas de la línea por año.
NTRAM	Número de tramos considerados en la línea.
PFAP	Probabilidad de falla del apantallamiento para corrientes de descarga mayores que $I_{mín}$ .

FORTRAN

D E S C R I P C I O N

PRT	Promedio de descargas por tormenta.
PSI	Angulo de la descarga con respecto a la vertical ( $\Psi$ ).
PTA	Probabilidad de tormenta al año.
PTR	Longitud del tramo en porcentaje de la longitud total de la línea.
RS	Distancia crítica de arqueo ( $\gamma_{sc}$ )
X	Sebo del generador de números pseudo-aleatorios.
XA	Ancho a cada lado de la línea sobre el que se considera la franja de terreno de incidencia de las descargas.
Z	Impedancia transitoria del conductor de fase.

b) Subprogramas.-

FUNCTION G(PSI).- Función densidad de probabilidad del ángulo de la descarga, para ángulos positivos entre 0 y  $\pi/2$  rad., expresión (4.6).

FUNCTION CORTE.- Subprograma para determinar el punto de corte entre la trayectoria de la descarga y los contornos de influencia de los elementos de la línea de transmisión.

<u>VARIABLE</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
NA	35 - 36	Número de años de simulación.
ICOD	37 - 38	Igual a cero (0) si no existe otro caso de estudio. Igual a uno (1) si después del caso en estudio se leerá un nuevo caso.

b) Segunda tarjeta de lectura.- Títulos.-

READ 3, (TIT(I),I=1,JI)

3 FORMAT (20A4)

<u>VARIABLE</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
TIT	1 - 80	Título del trabajo, tantas <u>taje</u> tas como se haya especificado - en NLIN.

c) Tercera tarjeta de lectura.- Función densidad de probabilidad del ángulo de la descarga.

READ 2, EME, CAM

<u>VARIABLE</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
EME	1 - 10	Exponente en la función de <u>dis</u> tribución angular.
CAM	11 - 20	Coficiente en la función de <u>dis</u> tribución angular, <u>correspon</u> diente al valor del exponente - EME.

d) Cuarta tarjeta de lectura.- Datos de cada tramo.-

READ 7, NI, NC, NG, CFO, Z, PTR, CKO, XA.

7 FORMAT (I4,2I3,5F10.0)

<u>VARIABLES</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
NI	1 - 4	Nivel isoceráunico.
NC	5 - 7	Número de conductores de fase, menor o igual a 6.
NG	8 - 10	Número de cables de guarda, menor a 3.
CF0	11 - 20	Voltaje crítico de contorno del aislamiento (corregido para condiciones ambientales) en (KV).
Z	21 - 30	Impedancia transitoria del conductor de fase ( $\Omega$ )
PTR	31 - 40	Porcentaje de la longitud de la línea, correspondiente al tramo.
CK0	41 - 50	Constante que relaciona el nivel isoceráunico y la densidad de descargas a tierra.
XA	51 - 60	Ancho a cada lado de la línea (metros).- Si no se especifica se toma un valor de 800 metros.- (Ver numeral 4.5).

e) Quinta tarjeta de lectura.- Coordenadas de los conductores.- (Cuatro pares de valores por tarjeta).

READ 8, (HXC(I), NYC(I), I = 1, NC)  
8 FORMAT (8F10.5)

<u>VARIABLE</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
HXC(I)	1 - 10	Abscisa del conductor de fase (i) (metros).
"	21 - 30	"
"	41 - 50	"
"	61 - 70	"
NYC(I)	11 - 20	Ordenada del conductor de fase (i) (metros).- (Valores medios).
	31 - 40	"
	51 - 60	"
	71 - 80	"

f) Sexta tarjeta de lectura.- Coordenadas de los cables de guada, similar a la 5ª tarjeta de lectura.

NOTA.- Las tarjetas cuarta, quinta y sexta deberán repetirse por cada tramo de la línea que se considere.

4.4.5. Salida de Resultados.- En el Anexo 2 se presentan salidas de resultados para el esquema de línea propuesto en el Anexo 3.

#### 4.5. EVALUACION DE RESULTADOS.-

Para evaluar los resultados obtenidos por éste método de cálculo, es necesario tener alguna referencia, en el capítulo 5 se hace la comparación con los resultados del modelo analítico.

Debido a la dificultad de obtener una amplia gama de resultados con éste modelo, por el tiempo realivamente grande de computación necesario, (350 a 400 seg. por tramo para una simulación de 10 años).

El parámetro XA, (que define el área, en la que cualquier descarga que tenga un posible punto terminal en ella pueda llegar a la línea de transmisión) se ha tomado como 800 metros, de acuerdo a la referencia (7), en que se hace un análisis por el número de descargas a la línea (NDL) y para valores de XA mayores que 800 metros es aproximadamente constante.- En el presente caso, de acuerdo a resultados obtenidos no se presenta ésta tendencia, valores de NDL relativos a los XA considerados se dan en la siguiente tabla:

XA(metros)	200	400	600	800	1000
NDL	32	33	33	33.1	29

NDL representa número de descargas a la línea con corrientes mayores que  $I_{mín.}$ , los valores dados en la tabla son resultado de una y en algún caso de dos corridas para cinco años de simulación, de darse los valores presenta- dos para más corridas, significaría que habría como bajar se en el valor de XA con el consiguiente ahorro del tiem- po de computación para un mismo tiempo de simulación.

Los resultados del número de salidas para el modelo de línea propuesto (anexo 3) varían entre 0.7 y 1.4 sali- das por 100 Km. y por año para las varias corridas que se han hecho.

Una corrida para 10 años de simulación podría ser sa- tisfactoria, en la experiencia obtenida no se ha encontra- do diferencias muy marcadas entre uno y otro resultados = para un mismo caso, pero, es necesario aclarar que como - se usa una secuencia de números pseudo-aleatorios en base a un número inicial "sebo", éste debe ser diferente en u- na segunda corrida, de lo contrario se obtendrían los mis- mos resultados.

## C A P I T U L O V

### COMPARACION DE RESULTADOS.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

Los resultados de uno y otro programa, para un mismo caso de línea de transmisión, deberían, ser por principio si no iguales, dentro de un margen aceptable de aproximación, por cuanto los dos modelos están basados en los mismos principios teóricos y en uno y otro caso se está desarrollando una integración de las posibles descargas a los conductores de fase, en el primero en forma analítica y en el segundo aleatoriamente.

Los resultados obtenidos (anexo 2) con la versión 2 del modelo analítico y con el modelo aleatorio son relativamente equivalentes, es decir que están dentro de un mismo orden, para los dos casos mostrados en la función de distribución angular cuando  $m = 1$  y  $m = 2$ . Si se analizan los resultados para  $m = 2$ , 1.1 y 0.7 salidas por 100 Km y por año para uno y otro programa respectivamente y si se consideran otras salidas del segundo programa en 5 años de simulación se tuvo resultados 1,1.2,1.4 salidas -



por 100 Km y por año, y si de todos éstos resultados se obtiene un promedio, éste es 1.08 que es prácticamente igual al obtenido en el modelo analítico, el método de Burgsdorf y Kostenko da un valor de 0.33 salidas por 100 Km y por año.

Los dos modelos tienen constantes ajustables que deberían ser calibradas de acuerdo a datos que se obtengan en la experiencia de operación de líneas, en nuestro país no se tiene ninguna experiencia en éste campo; como se ha hecho hasta el presente, la utilización de la experiencia de otros países es grandemente beneficiosa, sin embargo existen registros que debemos tomarlos nosotros en nuestro territorio, como es el caso de la densidad de descargas a tierra, que es un parámetro propio de cada región, un método moderno de medición de este parámetro es a través de contadores electrónicos que por medio de una antena captan las variaciones rápidas del campo eléctrico.

La filosofía de la presente tesis, es más bien presentar una herramienta para posteriores análisis, se ha tratado de mostrar la cantidad de posibilidades que se tiene en un modelo de simulación de Monte-Carlo, al modelo planteado se puede fácilmente ir introduciendo otros parámetros tales como desniveles en el perfil transversal de la línea, cómo influenciarían los árboles ubicados a

los costados de la misma, variaciones en el perfil longitudinal, se puede analizar a través de Monte-Carlo la parte correspondiente a salidas de la línea por contorneos inversos.

En sí, los programas están desarrollados para analizar el diseño de una línea y si ésta no cumple con ciertas restricciones, habrá que mejorar el diseño y volver a analizarla en otra corrida, ó a su vez, probar varios diseños y escoger el óptimo. En trabajos posteriores, debería tratarse de resolver el problema inverso, ésto es, dar ciertas restricciones, como la probabilidad de falla aceptable y un diseño base, ajustar el diseño para que cumpla con lo fijado.

En primera instancia, de acuerdo a la experiencia mostrada en las referencias (1) y (2), el modelo analítico - calibrado para  $m = 2$  ha dado buenos resultados, por lo tanto, para línea de características simétricas y que no presenten parámetros que no puedan incluirse en él, se sugiere usar éste método por su tiempo corto de computación, lo que representa un bajo costo.- En caso contrario se utilizará el modelo aleatorio.

A N E X O 1  
=====

EVALUACION DEL ANCHO EFECTIVO (X) PARA TRES FUNCIONES DE  
DISTRIBUCION ANGULAR

a) Para  $m = 1$  y  $km = 1/2$

entonces:  $g(\Psi) = \frac{1}{2} \cos \Psi$

$$y: X = \frac{\gamma_{sc}}{2} \int_{\theta_2}^{\theta_1} \int_{\Psi_2(\theta)}^{\Psi_1(\theta)} \text{Sen}(\theta - \Psi) d\Psi d\theta$$

desarrollando de acuerdo a los límites  $\Psi_2$  y  $\Psi_1$  se llega a:

$$X = \frac{\gamma_{sc}}{2} \int_{\theta_2}^{\theta_1} \{ \text{sen} \theta (\text{sen} \Psi_1(\theta) + 1) + \cos \Psi_1(\theta) \cos \theta \} d\theta$$

para:  $\theta_2 \leq \theta \leq \theta_s$  se tiene que:

$$\Psi_1(\theta) = \theta$$

$$X_1 = \frac{\gamma_{sc}}{2} (\theta_s - \theta_2 - \cos \theta_s + \cos \theta_2)$$

para:  $\theta_s \leq \theta \leq \theta_1$

$$X_2 = \frac{\gamma_{sc}}{2} \int_{\theta_s}^{\theta_1} \{ \text{sen} \theta (\text{sen} \Psi_1(\theta) + 1) + \cos \Psi_1(\theta) \cos \theta \} d\theta$$

$$y: X = X_1 + X_2$$

b) Para  $m = 2$  y  $km = 2/\pi$

$$\text{entonces: } g(\Psi) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \Psi$$

de igual manera que en caso anterior se llega a:

$$\text{para: } \theta_2 \leq \theta \leq \theta_s$$

$$X_1 = \frac{\gamma_{sc}}{\pi} \{2\text{sen}\theta_s - 2\text{sen}\theta_2 - (\theta_s + \pi/2)\text{cos}\theta_s + (\theta_2 + \pi/2)\text{cos}\theta_2\}$$

$$\text{para: } \theta_s \leq \theta \leq \theta_1$$

$$X_2 = \frac{\gamma_{sc}}{\pi} \int_{\theta_s}^{\theta_1} \left\{ \text{sen}\theta(\Psi_1(\theta) + \frac{1}{2}\text{sen}2\Psi_1(\theta) + \pi/2) + \frac{1}{2}\text{cos}\theta(\text{cos}2\Psi_1(\theta) + 1) \right\} d\theta$$

c) Para  $m = \infty$  (Descargas verticales).

$$g(\Psi) = \delta(\Psi) \text{ (Función de Dirac).}$$

$$y: X = \gamma_{sc} \int_{\theta_2}^{\theta_1} \text{sen } \theta \, d\theta$$

integrando se tiene:

$$X = \gamma_{sc} (\text{Cos } \theta_2 - \text{Cos } \theta_1)$$

A N E X O 2  
=====

SALIDAS DE RESULTADOS Y LISTADO DE LOS PROGRAMAS. \_



CALCULO ANALITICO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION PERDIDAS A FALLAS DE APANTALLAMIENTO.

MEDIANTE LA UTILIZACION DEL MODELO ELECTROGOMETRICO DE WHITHEAD

CASO = 1

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA - POTENCIA - IESIS DE GRANO CARLOS E. PIOFFIO REYES

LINEA DE PRUEBA REF. (12)

LONGITUD DE LA LINEA = 100.00 KM  
DENSIDAD DE CARGA QUE LA DESCARGA PRODUZCA SALIDA DE LA LINEA = 0.850  
FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUFO A TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA = 1.000  
NUMERO DE TRAMOS CONSIDERADOS EN LA LINEA = 1  
TIPO DE DISTRIBUCION ANGULAR UTILIZADA = 2

TRAMO DE LINEA 1

ALTURA MEDIA DEL CONDUCTOR DE FASE = 16.200 METROS  
ALTURA MEDIA DEL CABLE DE GUARDA = 25.450 METROS  
ANGULO MEDIO DE APANTALLAMIENTO = 37.210 GRADOS  
DENSIDAD MEDIA DE DESCARGAS EN LA ZONA = 1.860 DESCARGAS/KM 2 / ANNO  
VOLTAJE CRITICO DE CONTACTO DEL AISLAMIENTO = 1200. KV  
IMPEDANCIA TRANSITORIA DEL CONDUCTOR DE FASE = 480.00 OHMIOS  
LONGITUD DEL TRAMO = 100.00% DE LA LONGITUD DE LA LINEA

NUMERO DE SALIDAS/KM/ANNO = 1.1022E-02

NUMERO DE SALIDAS DEL TRAMO / ANNO = 1.1022E 00

NUMERO TOTAL DE SALIDAS DE LA LINEA PERDIDAS A FALLAS DEL APANTALLAMIENTO = 1.1022E 00

\*\* EPN MSJS TIEMPO DE UCP UTILIZADO POR EL PROGRAMA FALLA

56.55 SEGUNDOS FECHA: 21/07/77 \*\*\*

INGENIERIA NACIONAL

9 CALCULO ANALITICO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION  
10 DERIDAS A FALLAS DE APANTALLAMIENTO.

11 MEDIANTE LA UTILIZACION DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD

14 CASO = 1

17 FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA - POTENCIA -  
18 TFSIS DE GRADO CARLOS F. RICOPIO REYES

19 LINEA DE PRUEBA REF. (12)  
20 \*\*\*\*\*

21 LONGITUD DE LA LINEA = 100.00 KM  
22 PROBABILIDAD DE QUE LA DESCARGA PRODUZCA SALIDA DE LA LINEA = 0.850  
23 FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A TIERRA  
24 CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA = 1.000  
25 NUMERO DE TRAMOS CONSIDERADOS EN LA LINEA = 1  
26 TIPO DE DISTRIBUCION ANGULAR UTILIZADA = 1

27 TRAMO = 1 DE 1  
28 \*\*\*\*\*

31 ALTURA MEDIA DEL CONDUCTOR DE FASE = 19.200METROS  
32 ALTURA MEDIA DEL CABLE DE GUARDA = 25.430METROS  
33 ANGULO MEDIO DE APANTALLAMIENTO = 37.210GRADOS  
34 DENSIDAD MEDIA DE DESCARGAS EN LA ZONA = 3.660DESCARGAS/KM 2 /ANNO  
35 VOLTAJE CRITICO DE CONTOURNO DEL AISLAMIENTO = 1200. KV  
36 IMPEDANCIA TRANSITORIA DEL CONDUCTOR DE FASE = 480.00OHMIOS  
37 LONGITUD DEL TRAMO = 100.00% DE LA LONGITUD DE LA LINEA

38 NUMERO DE SALIDAS/KM/ANNO = 1.3185E-02

39 NUMERO DE SALIDAS DEL TRAMO / ANNO = 1.3185E 00

43 NUMERO TOTAL DE SALIDAS DE LA LINEA  
44 DERIDAS A FALLAS DEL APANTALLAMIENTO = 1.3185E 00

45 \*\* EPN MSJS TIEMPO DE UCP UTILIZADO POR EL PROGRAMA FALLA

55.68 SEGUNDOS FECHA: 20/07/77 \*\*\*

COMISIÓN NACIONAL



# NACIONAL

## INGENIERIA

21 CALCULO ALEATORIO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION A  
22 DEPIDAS A FALLAS DE APANTALLAMIENTO.

23 MEDIANTE EL METODO DE SIMULACION DE MONTE-CARLO  
24 APLICADO AL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD.

25 CASO = 1

26 FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA - POTENCIA -  
27 TESIS DE GRADO CARLOS E. RIOFRIO REYES

28 LINEA DE PRUEBA REF. (12) XA=900. METROS  
29 \*\*\*\*\*

30 LONGITUD DE LA LINEA = 100.00 KM  
31 PROFABILIDAD DE QUE LA DESCARGA PRODUZCA SALIDA DE LA LINEA = 0.850  
32 FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A TIERRA  
33 CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA = 1.000  
34 NUMERO DE TRAMOS CONSIDERADOS EN LA LINEA = 1  
35 NUMERO DE AÑOS DE SIMULACION = 10

36 FUNCION DE DISTRIBUCION ANGULAR = 0.63662 (COS(PSI)) \* 2.00

011110

TRAMO = 1 DE 1

NIVEL ISOCEAUNICO = 25  
 NUMERO DE CONDUCTORES = 6  
 NUMERO DE CABLES DE GUARDA = 1  
 VOLTIAJE CRITICO DE CONTOERNO DEL AISLAMIENTO = 1200. KV  
 IMPEDANCIA TRANSITORIA DEL CONDUCTOR DE FASE = 480.0 OHMIOS  
 LONGITUD DEL TRAMO = 100.00% DE LA LONGITUD DE LA LINEA  
 CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCEAUNICO DE LA REGION  
 CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 0.15440

COORDENADAS DE LOS CONDUCTORES (METROS)

COND.	X	Y
1	4.73	19.20
2	4.73	14.00
3	4.73	8.80
4	-4.73	19.20
5	-4.73	14.00
6	-4.73	8.80

COORDENADAS DE LOS CABLES DE GUARDA (METROS)

CABLE	X	Y
1	0.0	25.43

ANNO DE SIMULACION

DESCARGAS A TIERRA	DESCARGAS C. GUARDA	SALIDAS DE LA LINEA
1	355	17
2	579	28
3	316	19
4	765	43
5	483	25
6	518	32
7	517	418
8	570	447
9	385	316
10	756	605

PROBABILIDAD DE FALLA DEL APANTALLAMIENTO = 3.4364E-02  
 NUMERO DE SALIDAS POR KM. Y POR ANNO = 7.0000E-03  
 NUMERO DE SALIDAS DEL TRAMO POR ANNO = 7.0000E-01

DESCARGAS A LOS CONDUCTORES

(CONDUCTOR #)	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0

TECNOLOGIA

MACONAR

QUITO

COMUNICACION NACIONAL

COMUNICACION NACIONAL

1 CALCULO ALFATORIO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION  
2 DEBIDAS A FALLAS DE APANTALLAMIENTO.  
3  
4 MEDIANTE EL METODO DE SIMULACION DE MONTE-CARLO  
5 APLICADO AL MODELO ELECTROSTATICO DE WHITHEAD.

6 CASO = 1

7 FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA - POTENCIA -  
8 TESIS DE GRADO CARLOS E. PIORIO REYES

9 LINEA DE PRUEBA REF. (12) XA=800 METROS  
10 \*\*\*\*\*

11 LONGITUD DE LA LINEA = 100.00 KM  
12 PROFUNDIDAD DE QUE LA DESCARGA PRODUZCA SALIDA DE LA LINEA = 0.450  
13 FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A TIERRA  
14 CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA = 1.000  
15 NUMERO DE TRAMOS CONSIDERADOS EN LA LINEA = 1  
16 NUMERO DE AÑOS DE SIMULACION = 10

17 FUNCION DE DISTRIBUCION ANGULAR = 0.50000(COS(PSI))\* 1.00

QUITO

TRAMO = 1 DE 1

NIVEL ISOCERAUNICO = 25  
 NUMERO DE CONDUCTORES = 6  
 NUMERO DE CABLES DE GUARDA = 1  
 VOLTAJE CRITICO DE CONTORNO DEL AISLAMIENTO = 1200. KV  
 IMPEDANCIA TRANSITORIA DEL CONDUCTOR DE FASE = 480.0 OHMS  
 LONGITUD DEL TRAMO = 100.00% DE LA LONGITUD DE LA LINEA  
 CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCERAUNICO DE LA REGION  
 CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 0.15440

COORDENADAS DE LOS CONDUCTORES (METROS)

COND.	X	Y
1	4.73	19.20
2	4.73	14.00
3	4.73	8.80
4	-4.73	19.20
5	-4.73	14.00
6	-4.73	8.80

COORDENADAS DE LOS CABLES DE GUARDA (METROS)

CABLE	X	Y
1	0.0	25.43

INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL  
 DE INGENIERIA

DESCARGAS A LOS CONDUCTORES

ANNO DE SIMULACION	DESCARGAS A TIERRA C. GUARDA	SALIDAS DE LA LINEA	1	2	3	4	5	6
1	469	25	0	0	0	0	0	0
2	696	47	0	0	0	0	0	0
3	548	37	0	0	0	0	0	0
4	603	38	0	0	0	0	0	0
5	499	400	0	0	0	0	0	0
6	390	312	0	0	0	0	0	0
7	548	445	0	0	0	0	0	0
8	640	488	0	0	0	0	0	0
9	722	565	0	0	0	0	0	0
10	653	30	0	0	0	0	0	0

PROBABILIDAD DE FALLA DEL APANTALLAMIENTO = 4.8387E-02  
 NUMERO DE SALIDAS POR KM. Y POR ANNO = 1.7000E-02  
 NUMERO DE SALIDAS DEL TRAMO POR ANNO = 1.7000E 00

QUITO

\*\*\*\*\*

L I S T A D C

\*\*\*\*\*

C CALCULO ANALITICO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION, DEBIDAS A FALLAS DE AFANTALLAMIENTO.

C MFDIANTF LA UTILIZACION DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD

C EXTERNAL F1,F2  
COMMON PS,TETS,CE,PI  
REAL LONG  
DIMENSION TIT(100)

C LECTURA Y ESCRITURA DE TITULOS Y DATOS GENERALES

ICASO=1  
PRINT 1, ICASO  
FORMAT(1,1X,'CALCULO ANALITICO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION',/2X,'DEBIDAS A FALLAS DE AFANTALLAMIENTO.',/2X,'MEDIANTE LA UTILIZACION DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD',/2X,'CASO =',I2//)  
READ 2, LONG,CK,CASG,NTRAM,NLIN,MM,ICOD  
FORMAT(3F10.0,4I2)  
JI=NLIN\*20

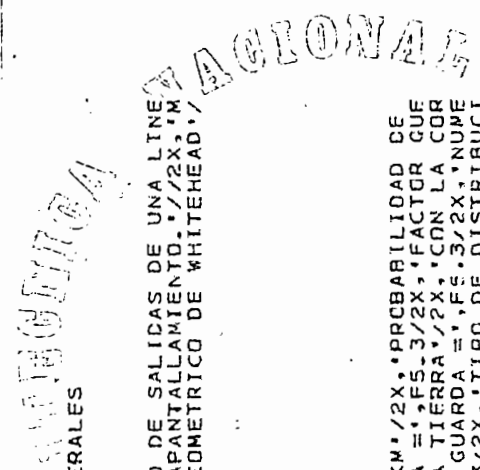
READ 3, (TIT(I),I=1,JI)  
FORMAT(20A4)  
PRINT 4, (TIT(I),I=1,JI)  
FORMAT(5(2X,20A4//))  
PRINT 5, LONG,CK,CASG,NTRAM,MM

FORMAT(2X,'LONGITUD DE LA LINEA =',F7.2,' KM./2X,'PROBABILIDAD DE QUE LA DESCARGA PRODUZCA CRITICA DE ARQUEO A TIERRA',/2X,'CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA =',F5.3/2X,'NUMERO DE TRAMOS CONSIDERADOS EN LA LINEA =',I3/2X,'TIPO DE DISTRIBUCION ANGULAR UTILIZADA =',I3//)  
ENET=0.  
ITRAM=1

C LEER DATOS DE CADA TRAMO

C PRINT 12, ITRAM,NTRAM  
FORMAT(2X,'TRAMO =',I3,' DE',I3/2X,'16(10//))  
READ 6, DRDF,ORDC,IFIS,CNC,CFO,ZL,DRS,PTR,NINT  
FORMAT(7F10.0,F6.0,I4)  
IF(NINT.EQ.0)NINT=10  
PRINT 8, ORDF,ORDG,TETS,CNO,CFO,ZL,PTR

FORMAT(2X,'ALTURA MEDIA DEL CABLE DE GUARDA =',F7.3,' METROS./2X,'ANGULO MEDIO DE APANTALLAMIENTO =',F7.3,' GRADOS./2X,'DENSIDAD MEDIA DE DESCARGAS EN LA ZONA =',F7.3,' DESCARGAS/KM 2 /ANNO./2X,'VOLTAJE CRITICO DE CONTORNEO DEL AISLAMIENTO =',F7.0,' KV./2X,'IMPEDANCIA TRANSMISION DEL CONDUCTOR DE FASE =',F7.1,' OHMIOS./2X,'LONGITUD DEL TRAMO =',F7.2,' % DE LA LONGITUD DE LA LINEA',//)



C CALCULO DE PARAMETROS INICIALES

```
MEMM=1
PIE1=1415026
TF1=TE1S*PI/180.
CF=(ORDG-ORDS)/COS(TE1S)
GMINE2=*CFC/2L
RS=7.1*CMIN*(.75)
RS=RS*DRS/2.
```

C INICIALIZAR EL VALOR DE LA INTEGRAL TOTAL

```
PINT=0.0
```

C DETERMINAR LIMITES SUPERIOR E INFERIOR PARA EL ANGULO TETA

```
PHI=CE/(2.*RS)
TE11=TF1S+ARSIN(PHI)
PHA=CASG-ORDE/PS
TF12=ARSIN(PHA)
```

C SI ES TETA2 MAYOR QUE TETA1 -TERMINA EL PROCESO-

```
IF(TET2-GT.TE11)GO TO 20
IF(M)100.200.300
CONTINUE
IF(TET2-LE.0)GO TO 50
X=RS*(COS(TET2)-COS(TET1))
GO TO 400
X=RS*(1.-COS(TET1))
GO TO 400
CONTINUE
Y1=TF1S-TF12-COS(TE1S)+COS(TET2)
Y2=SINPS(TETS,TF11,NINT,F1)
YT=Y1+Y2
X=(RS/2.)*YT
GO TO 400
```

C CALCULE FL VALOR DE LA INTEGRAL ENTRE TETA2 Y TETA'S

```
CONTINUE
X1=2.*SIN(TETS)-2.*SIN(TFT2)
X2=(COS(TETS))*(TE1S+PI/2.)
X3=(COS(TET2))*(TET2+PI/2.)
Y1=X1-X2+X3
```

C CALCULE EL VALOR DE LA INTEGRAL ENTRE TETA'S Y TETA1 POR MEDIO DEL SUBPROGRAMA DE INTEGRACION

```
Y2=SINPS(TETS,TE11,NINT,F2)
```

C VALOR DE LA INTEGRAL ENTRE TETA2 Y TETA1

```
YT=Y1+Y2
```

C CALCULE EL ANCHO EFECTIVO 'X' PARA UN LADO DE LA LINEA Y PARA UN VALOR DE RS ( DISTANCIA DE AROUDED )

```
X=(RS/PI)*YT
GO TO 400
```

C SE INCREMENTA EL VALOR DE LA INTEGRAL TOTAL

```
CONTINUE
Z=(X*Y+.4*.001)/RS**(.5/.3.)
PINT=PINT+Z*CRS
PS=RS+DRS
GO TO 10
```

C CUANDO TERMINE EL PROCESO CALCULE EL NUMERO DE SALIDAS POR KM Y POR ANNO Y TOTALES DEL TRAMO

```
ENFE2=*CK*CMO*PINT
ENETRE=ENFE*CMR*LONG/100.
PNET=ENETRE*ENFE
```

C IMPRIMIR RESULTADOS DEL TRAMO

```
PRINT 9, ENFE, ENETR
```

FORMAT(2X, 'NUMERO DE SALIDAS/KM/ANNO = ',PIE10.4/2X, 'NUMERO DE SAL

MAJONAL

2	C	CALCULO DE PARAMETROS INICIALES	
3	C	MEMM=1	
4		PIE1=1415026	
5		TF1=TE1S*PI/180.	
6		CF=(ORDG-ORDS)/COS(TE1S)	
7		GMINE2=*CFC/2L	
8		RS=7.1*CMIN*(.75)	
9		RS=RS*DRS/2.	
10	C	INICIALIZAR EL VALOR DE LA INTEGRAL TOTAL	
11	C	PINT=0.0	
12	C	DETERMINAR LIMITES SUPERIOR E INFERIOR PARA EL ANGULO TETA	
13	C	PHI=CE/(2.*RS)	
14	10	TE11=TF1S+ARSIN(PHI)	
15	C	PHA=CASG-ORDE/PS	
16	C	TF12=ARSIN(PHA)	
17	C	SI ES TETA2 MAYOR QUE TETA1 -TERMINA EL PROCESO-	
18	C	IF(TET2-GT.TE11)GO TO 20	
19		IF(M)100.200.300	
20	100	CONTINUE	
21		IF(TET2-LE.0)GO TO 50	
22		X=RS*(COS(TET2)-COS(TET1))	
23	50	GO TO 400	
24		X=RS*(1.-COS(TET1))	
25	200	GO TO 400	
26		CONTINUE	
27		Y1=TF1S-TF12-COS(TE1S)+COS(TET2)	
28		Y2=SINPS(TETS,TF11,NINT,F1)	
29		YT=Y1+Y2	
30		X=(RS/2.)*YT	
31		GO TO 400	
32	C	CALCULE FL VALOR DE LA INTEGRAL ENTRE TETA2 Y TETA'S	
33	C	CONTINUE	
34	300	X1=2.*SIN(TETS)-2.*SIN(TFT2)	
35		X2=(COS(TETS))*(TE1S+PI/2.)	
36		X3=(COS(TET2))*(TET2+PI/2.)	
37		Y1=X1-X2+X3	
38	C	CALCULE EL VALOR DE LA INTEGRAL ENTRE TETA'S Y TETA1 POR MEDIO	
39	C	DEL SUBPROGRAMA DE INTEGRACION	
40		Y2=SINPS(TETS,TE11,NINT,F2)	
41	C	VALOR DE LA INTEGRAL ENTRE TETA2 Y TETA1	
42	C	YT=Y1+Y2	
43	C	CALCULE EL ANCHO EFECTIVO 'X' PARA UN LADO DE LA LINEA Y PARA UN	
44	C	VALOR DE RS ( DISTANCIA DE AROUDED )	
45	C	X=(RS/PI)*YT	
46	C	GO TO 400	9
47	C	SE INCREMENTA EL VALOR DE LA INTEGRAL TOTAL	3
48	C	CONTINUE	1
49	400	Z=(X*Y+.4*.001)/RS**(.5/.3.)	
50		PINT=PINT+Z*CRS	
51		PS=RS+DRS	
52		GO TO 10	
53	C	CUANDO TERMINE EL PROCESO CALCULE EL NUMERO DE SALIDAS POR KM Y	12
54	C	POR ANNO Y TOTALES DEL TRAMO	11
55	C	ENFE2=*CK*CMO*PINT	10
56	20	ENETRE=ENFE*CMR*LONG/100.	9
57	C	PNET=ENETRE*ENFE	8
58	C	IMPRIMIR RESULTADOS DEL TRAMO	7
59	C	PRINT 9, ENFE, ENETR	6
60	9	FORMAT(2X, 'NUMERO DE SALIDAS/KM/ANNO = ',PIE10.4/2X, 'NUMERO DE SAL	5
61			4
62			3
63			2

```

1  *IDAS DEL TRAMO / ANNO = ,IPE10.4, / 2
2  IF (BLD1, ITRAM) 3. -EG. ITRAM/3 PRINT 13
3  FORWAT(11, /)
4  ITRAM=ITRAM+1

```

```

5  C
6  C OTR0 TRAMO ?
7  C
8  C IF (ITRAM, LE, NTRAM) GO TO 700
9  C
10 C IMPRIMIR RESULTADOS FINALES
11 C

```

```

12 PRINT 11, ENET
13 FCGMAT(2X, 80(, *), / 2X, 'NUMERO TOTAL DE SALIDAS DE LA LINEA' / 2X, '0E
14 *RIDAS A FALLAS DEL APANTALLAMIENTO = ', IPE10.4 / 2X, 80(, *), /)
15 ICASO=ICASO+1

```

```

16 C OTR0 CASC ?
17 C
18 C IF (ICOD) 500, 500, 600.
19 CONTINUE
20 STOP
21 END

```

```

22 C
23 C FORMULACION DE F(TETA) PARA N= 2 Y KM= 2/PI

```

```

24 C FUNCTION F2(TETA)
25 COMMON RS, TEIS, CE, PI
26 C
27 XT=CE*SIN(TETS)+RS*CCS(TETA)
28 YT=RS*SIN(TETA)-CE*CCS(TETS)
29 C=XT*YT+YT*RS*RS
30 IF (C) 5, 5, 7

```

```

31 A=0
32 GO TO 6
33 A=ESCHT(C)
34 R=XT*YT
35 D=RS*RS-XT*XT
36 IF (D) 20, 10, 20
37 ALF=PI/2
38 GO TO 30
39 E=(-R+RS*A)/D
40 ALF=ATAN(F)
41 IF (F) 40, 40, 30
42 PSI=ALF+PI/2.
43 GO TO 50
44 PSI=ALF-PI/2.
45 CONTINUE

```

```

46 FC1=SIN(TETA)*SIN(PSI)+CCS(PSI)+FSI+PI/2.
47 FC2=CCS(TETA)*CCS(PSI)+CCS(PSI)
48 F2=FC1+FC2
49 RETURN
50 END

```

```

51 C
52 C FORMULACION DE F(TETA) PARA N= 1 Y KM= 1/2

```

```

53 C FUNCTION F1(TETA)
54 COMMON RS, TEIS, CF, PI
55 C
56 XT=CF*SIN(TFIS)+FS*CCS(TETA)
57 YT=RS*SIN(TETA)-CF*CCS(TETS)
58 C=XT*XT+YT*YT-RS*RS
59 IF (C) 5, 5, 7

```

```

60 A=0
61 GO TO 6
62 A=ESORY(C)
63 R=XT*YT
64 D=RS*RS-XT*XT
65 IF (D) 20, 10, 20
66 ALF=PI/2
67 GO TO 30

```

```

20 F=(-E+RS*A)/D
21 ALF=ATAN(F)
22 IF(E#0.A0.70
23 PSI=ALF+PI/2.
24 GO TC 50
25 PSI=ALF-PI/2.
26 CONTINUE
27 F#1=STN(TETA)*(STN(PSI)+1.)
28 F#2=COS(PSI)*COS(TETA)
29 F1=F#1+F#2
30 RETURN
31 END

```

C ESTE SUBPROGRAMA EVALUA LA INTEGRAL DE F(X) ENTRE LOS LIMITES  
 C A Y B MEDIANTE LA REGLA DE SIMPSON. N= NUMERO DE INTERVALOS

C FUNCTION SIMPS(A,B,N,F)  
 C COMMON RS,TETS,CE,PI

```

32 T=(B-A)/N
33 H=T/2.
34 S0#1=0.
35 S0#2=0.
36 DO I K=1,N
37 X=A+FLCAT(K-1)*T
38 S0#1=S0#1+F(X)
39 S0#2=S0#2+F(X+H)
40 SIMPSE=(2.*S0#1+4.*S0#2-F(A)+F(B))*H/3.
41 RETURN
42 END

```

\*\*\*\*\* D A T O S \*\*\*\*\*

100. PS 3 5  
 RESULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA - POTENCIA -  
 TESIS DE GRADO CARLOS E. RICEPIO RFEYES  
 LINEA DE PRUEBA REF (12)  
 19.2 25.43 37.21 3.86 1200. 480. 2. 100.  
 19.2 25.43 37.21 3.86 1000. 480. 2. 100.  
 19.2 25.43 37.21 3.86 1400. 480. 2. 100.

\*\*\*\*\*

0289 TARJETAS TRANSFERIDAS\*\*\*

\*\* EPN MSJS TIEMPO DE UCP UTILIZADO POR EL PROGRAMA FALLA -----> 2.33 SEGUNDOS FFCHA: 20/07/77 \*\*\*

12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1



\*\*\*\*\*

LISTADO

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

C CALCULO ANALITICO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION, DEBIDAS A FALLAS DE APANTALLAMIENTO.

C MEDIANTE LA UTILIZACION DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD

EXTERNAL F1,F2  
COMMON PS,TETS,CF,PI  
REAL LONG  
DIMENSION Y(100)

C LECTURA Y ESCRITURA DE TITULOS Y DATOS GENERALES

ICASO=F1  
PRINT 1, ICASO  
FORMAT(1,1X,'CALCULO ANALITICO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION',/2X,'DEBIDAS A FALLAS DE APANTALLAMIENTO',/72X,'Y MEDIANTE LA UTILIZACION DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD',/2X,'CASO =',I2,///)  
READ 2, LONG,CK,CASG,NTRAM,NLIN,PH,ICOD  
FORMAT(3F10.0,4I2)  
IF(NLIN#20) GOTO 1  
FORMAT(2G44)

PRINT 4, TIT(1), I=1, J1

FORMAT(5(2X,20A4,))

PRINT 5, LONG, CK, CASG, NTRAM, MM

FORMAT(2X,'LONGITUD DE LA LINEA =',F7.2,' KM',/2X,'PROBABILIDAD DE QUE LA DESCARGA PRODUZA SALIDA DE LA LINEA =',F5.2/2X,'FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A TIERRA',/2X,'CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA =',F5.3/2X,'NUMERO DE TRAMOS CONSIDERADOS EN LA LINEA =',I3/2X,'TIPO DE DISTRIBUCION ANGULAR UTILIZADA =',I3,///)  
ENET=0  
ITRAME=1

C LFER DATOS DE CADA TRAMO

PRINT 12, ITRAM,NTRAM

FORMAT(2X,'TRAMO =',I2,' DE',I3/2X,'16(('\*))//)

READ 6, ORDF,GRDG,TETS,CNO,CFO,ZL,DRS,PTR,NINT

FORMAT(7F10.0,4F6.0,14)

IF(NINT.EQ.0)NINT=10

PRINT 8, ORDF,GRDG,TETS,CNO,CFO,ZL,PTR  
FORMAT(2X,'ALTURA MEDIA DEL CONDUCTOR DE FASE =',F7.3,' METROS',/2X,'ALTURA MEDIA DEL CABLE DE GUARDA =',F7.3,' METROS',/2X,'ANGULO MEDIO DE APANTALLAMIENTO =',F7.3,' GRADOS',/2X,'DENSIDAD MEDIA DE DESCARGAS EN LA ZONA =',F7.3,' CFSCARGAS/KV 2 /ANNO',/2X,'VOLTAJE CRITICO DE CONTINUCO DEL AISLAMIENTO =',F7.0,' KV',/2X,'IMPEDANCIA TRANSDISORIA DEL CONDUCTOR DE FASE =',F7.1,' OHMIOS',/2X,'LONGITUD DEL TRAMO =',F7.2,' % DE LA LONGITUD DE LA LINEA',///)

C CALCULO DE PARAMETROS INICIALES

M=V-1

PI=3.1415926

TETS=TETS\*PI/180

CE=(ORDF-GRDG)/COS(TETS)

CMINES =CF0/ZL

RS=7.1\*CMIN\*(1-.75)

RS=RS+DRS/2

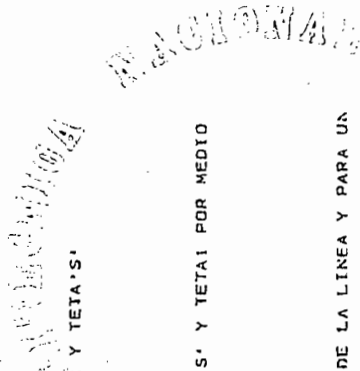
TELECOMUNICACIONES

TELECOMUNICACIONES

```

1 C INICIALIZAR EL VALOR DE LA INTEGRAL TOTAL
2 C RINT=0.0
3
4 C DETERMINAR LIMITES SUPERIOR E INFERIOR PARA EL ANGULO TETA
5 C
6 10 PHICE/(2.*RS)
7 TET1=TEIS+ABSIN(PHI)
8 PHAS=CASC-DRDP/RS
9 TET2=ARSIN(PFA)
10
11 C SI ES TETA2 MAYOR QUE TETA1 -TERMINA EL PROCESO-
12 C
13 IF(TET2.GT.TET1)GO TO 20
14 IF(LUS100)GO TO 200.500
15 CONTINUE
16 IF(TET2.LE.0.0)GO TO 50
17 X=RS*(COS(TET2)-COS(TET1))
18 GO TO 400
19 X=RS*(1.-COS(TET1))
20 GO TO 400
21 CONTINUE
22 Y1=TFIS-TF12-COS(TEIS)+COS(TEI2)
23 Y2=STMP(S(TETS,TE1),NINT,F1)
24 Y3=Y1+Y2
25 X=(RS/2.)*YT
26 GO TO 400
27
28 C CALCULE FL VALOR DE LA INTEGRAL ENTRE TETA2 Y TETA'S
29 C
30 CONTINUE
31 X1=2.*SIN(TEIS)-2.*SIN(TET2)
32 X2=(COS(TETS))*(TETS+PI/2.)
33 X3=(COS(TET2))*(TET2+PI/2.)
34 Y1=X1-X2+X3
35
36 C CALCUL FL VALOR DE LA INTEGRAL ENTRE TETA'S Y TETA1 POR MEDIO
37 C DEL SURPROGRAMA DE INTEGRACION
38 C
39 Y2=STMP(S(TETS,TE1),NINT,F2)
40
41 C VALOR DE LA INTEGRAL ENTRE TETA2 Y TETA1
42 C
43 Y3=Y1+Y2
44
45 C CALCULE EL ANCHO EFECTIVO 'X' PARA UN LADO DE LA LINEA Y PARA UN
46 C VALOR DE 'RS' ( DISTANCIA DE ARQUEO )
47 C
48 X=(RS/PI)*YT
49 GO TO 400
50
51 C SF INCREMENTA EL VALOR DE LA INTEGRAL TOTAL
52 C
53 CONTINUE
54 CIT=(RS/7.1)**1.333
55 AR=CIT/20.
56 RC=CIT/50.
57 HI=(4.75*EXP(CAP)+0.10/EXP(RC))/100.
58 FRS=HI*(0.7/(1.*7.1**1.333))*RS**0.333
59 Z=0.301**FRS
60 PINT=RINT+Z*DRS
61 RS=RS+DRS
62 GO TO 10
63
64 C CUANDO TERMINE FL PROCESO CALCULE EL NUMERO DE SALIDAS POR KM Y
65 C POR ANNO Y TOTALES DEL TRAMO
66 C
67 FNE=2.*K*CNO*PRINT
68 FNET=ENF*PTR*LCNG/100.
69 ENET=FNET+FNETR
70
71 C IMPRIMIR RESULTADOS DEL TRAMO
72 C
73 PRINT 9, ENET,ENETH
74 FORMAT(PX,NUMERO DE SALIDAS/KM/ANNO = 1PEI0.4//2X, NUMERO DE SAL
75 IDAS DEL TRAMO / ANNO = 1PF10.4//2/)
76 IF(ELDATI(1TRAP)/3.EQ.1TRAP/J)PRINT 13
77 FORMAT(B,AM//)
78 ITRAMEITRAM+1
79
80 C
81 C
82 C
83 C
84 C
85 C
86 C
87 C
88 C
89 C
90 C
91 C
92 C
93 C
94 C
95 C
96 C
97 C

```



```

1 C      OTRO TRAMO ?
2 C
3 IF (ITRAM.LE.NTRAM)GO TO 700
4 C
5 C      IMPRIMIR RESULTADOS FINALES
6 C
7 PRINT 11,ENFI
8 FORMAT(2X,80(' '),//2X,'NUMERO TOTAL DE SALIDAS DE LA LINEA',/2X,'DE
9 #BIDAS A FALLAS DEL APANTALLAMIENTO = ',PE10.4//2X,80(' '))
10 ICASO=ICASO+1
11 C
12 C      OTRO CASO ?
13 C
14 IF (ICOD)500,500,600
15 CONTINUE
16 500
17 STOP
18 END
19
20
21 C      FORMULACION DE F(TETA) PARA M= 2 Y KM= 2/PI
22 C
23 FUNCTION F2(TETA)
24 COMMON RS,TETS,CE,PI
25 C
26 XT=CE*SIN(TETS)+RS*COS(TETS)
27 YT=RS*SIN(TETA)-CE*COS(TETS)
28 C=XT*XT+YT*YT-RS*RS
29 IF (C)5,5,7
30 A=0
31 GO TO 6
32 A=SQRT(C)
33 R=XT*YT
34 D=RS*RS-XT*XT
35 IF (D)20,10,20
36 ALF=PI/2
37 GO TO 30
38 F=(-D+RS*A)/D
39 ALF=ATAN(F)
40 IF (E)40,40,30
41 PSI=ALF+PI/2
42 GO TO 50
43 PSI=ALF-PI/2
44 CONTINUE
45 FCL=SIN(TETA)*SIN(PSI)+COS(PSI)+PSI+PI/2
46 FC2=COS(TETA)*COS(PSI)+COS(PSI)
47 R2=FCL+FC2
48 RETURN
49 END
50
51
52 C      FORMULACION DE F(TETA) PARA M= 1 Y KM= 1/2
53 C
54 FUNCTION F1(TETA)
55 COMMON RS,TETS,CE,PI
56 C
57 XT=CE*SIN(TETS)+RS*COS(TETA)
58 YT=RS*SIN(TETA)-CE*COS(TETS)
59 C=XT*XT+YT*YT-RS*RS
60 IF (C)5,5,7
61 A=0
62 GO TO 6
63 A=SQRT(C)
64 R=XT*YT
65 D=RS*RS-XT*XT
66 IF (D)20,10,20
67 ALF=PI/2
68 GO TO 30
69 E=(-D+RS*A)/D
70 ALF=ATAN(F)
71 IF (E)40,40,30
72 PSI=ALF+PI/2
73 GO TO 50
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98

```

INSTITUTO VENEZOLANO  
 DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 IVC

INSTITUTO  
 VENEZOLANO  
 DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 IVC



L I S T A D O

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

C CALCULO ALFATORIO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA DE  
 C TRANSMISION---MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE WOLF-CARLO-  
 C Y LA UTILIZACION DEL MODELO ELECTROGOMETRICO DE WHITEHEAD---  
 C  
 C EXTERNAL G-RAND  
 C COMMON CAM,EME,PI  
 C INTEGER X  
 C REAL LCG,  
 C DIMENSION TII(100)  
 C DIMENSION NPA(18),NPRT(60),YC(6),YG(3),HXC(6),HYC(3),HXC(3),HYC(3)  
 C \*.NIC(6),NICT(6)

C LECTURA DE DATOS GENERALES

C  
 C ICASC=1  
 C PRINT 1001  
 C FORMAT(//2X,'CALCULO ALFATORIO DEL NUMERO DE SALIDAS DE UNA LINEA  
 \*A DE TRANSMISION',2X,'DEFERIDAS A FALLAS DE APANTALLAMIENTO',//2X,'M  
 \*DELANTE EL METODO DE SIMULACION DE MONTE-CARLO',2X,'APLICADO AL NO  
 \*DEL ELECTROGOMETRICO DE WHITEHEAD',//2X,'CASO = ',I2,//)  
 C READ 6\*\*  
 C FORMAT(I9)  
 C READ 2, LONG,CK,CASG,NTRAM,NLIN,NA,ICOD  
 C FORMAT(JF10.0,4I2)  
 C JI=NLIN\*20  
 C READ 3, (TII(I),I=1,JI)  
 C FORMAT(20A4)  
 C PRINT 4, (TII(I),I=1,JI)  
 C PRINT 5, LONG,CK,CASG,NTRAM,NA  
 C FORMAT(2X,'LONGITUD DE LA LINEA =',F7.2,' KM',2X,'PROBABILIDAD DE  
 \*QUE LA DESCARGA PRODUZCA CRITICA DE ARGUEO A TIERRA',2X,'CON LA COR  
 \*RESPONDIENTE A LOS CONDUCTORES Y CARLES DE GUARDA =',F5.3,2X,'NUME  
 \*RO DE TRAMOS CONSIDERADOS EN LA LINEA =',I3,2X,'NUMERO DE ANOS DE  
 \*SIMULACION =',I3,//)  
 C READ 2,'EMF,CAM  
 C PRINT 9,CAM,EME  
 C FORMAT(2X,'FUNCION DE DISTRIBUCION ANGULAR =',F7.5,'(CCS(PSI))\*\*',  
 \*F7.2,//)  
 C EMF=0  
 C ITRAM=1

C LEER DATOS DE CADA TRAMO

C  
 C 700  
 C 1001  
 C PRINT 1001  
 C FORMAT(I1,////)  
 C PRINT 12, ITRAM,NTRAM  
 C FORMAT(2X, ITRAM = I3, DE, I3,//)  
 C READ 7,N1,NC,NG,CFD,Z1,PTR,CKD,XX

ACIONAL

```

7  FORMAT(14,213,5F10.0)
   IF(XA.FG..0)XA=000.
   READ(1,8)FXC(1),HYC(1),I=1,NC)
   FORMAT(4F10.5)
   READ(1,8)FXG(J),HYG(J),J=1,NG)
   PRINT 13,NI,NC,NG,CFC,Z,PTR,CKD
   *4/2X,'NIVEL TSOCAUNICO =',14/2X,'NUMERO DE CONDUCTORES =',14
   *ORNEO DEL AISLAMIENTO =',F7.0,'KV/2X,'IMPEDANCIA TRANSITORIA DEL
   * CONDUCTOR DE FASE =',F7.1,'OHM/2X,'LONGITUD DEL TRAMO =',F7.
   *VEL TSOCAUNICO DE LA LINEA',2X,'CONSTANTE QUE RELACIONA EL NI
   *TIERRA =',F7.5//)
14  PRINT 16,(1,FXC(I),HYC(I),I=1,NC)
   *X',10X,'Y',/6(SX,12X,5F10.2//)
15  PRINT 15,(1,FXG(I),HYG(I),I=1,NG)
   *4X,'X',10X,'Y',/3(5X,12X,2F10.2//)
C  CALCULOS INICIALES
C  PI=3.1415926
   APCOR=CK*100.
   CAIN=Z.*CFC/Z.
   CALCULO DE NIVELES DE PROBABILIDAD ACUMULADA DE LA DIRECCION
   DE LOS RAYOS (ANGULOS POSITIVOS)
   A=0.
   B=PI/36.
   DA=0.
   DB=0.
   PA=100.
   PB=100.
   SYMAS=(A,B,20,G)
   NPA(*)=PA*1000.
   NPB(*)=PB*1000.
   C=CONTINUE.
   *NUMERO PROMERDIO DE RAYOS POR DIA TORMENTA PARA LA
   *FRANJA CONSIDERADA
   PPT=CKO*1.8X*2
   *NUMERO DE RAYOS POR DIA TORMENTA DE ACUERDO A LA
   *DISTRIBUCION DE POISSON
   JI=1
   DP=0.
   PRTI=PRT/3.
   DP1=(1./2.71828**PRTI)*(1./2.71828**PRTI)*(1./2.71828**PRTI)
   NP=DP*CP1
   ICP=CP*100
   *GUARDAR NIVELES DE PROBABILIDAD DE RAYOS POR TORMENTA
   NGRT(JI)=IDB
   IF(IGP.FC.59)GO TO 52
   DP1=DP1*PRT/FLGAT(JI)
   JI=JI+1
   GO TO 50
52  CONTINUE
   *PROBABILIDAD DE TORMENTAS POR AÑO
   PTA=FLCAT(NI)/365.
   NPTA=PTA*1000.
C  INICIAR SIMULACION ----- INICIALIZAR CONTADORES
   NY=1
   NPAT=0
   NIT=0
   NIG=0
   NSALT=0
   CO 2R I=1,NC
   NICT(I)=0
1112 PRINT 1112
   *AS DESCARGAS A LOS CONDUCTORES',/3X,'AÑO DE DESCARG
   *ON SIMULADAS A TIERRA C. GUARDA LA LINEA (CONDUCTOR #)',/2X,'SIMULAC
   *ON',/4X,'51.9X,'6.//)
600 IF(NY.GT.NA)GO TO 50
   *INICIALIZAR CONTADORES PARA UN AÑO
   NDI=1
   NRAY=0
   NIT=0
   NIG=0
   NSAL=0

```

MANEJO

101

```

1 DO 96 I=1,NC
2 NIC(I)=0
3 IF(NCIA.GT.345)GO TO 80
4 ES UN DIA DE TORRENTEA
5 NX=RAND(X)*1000
6 IF(NX.NGT.154.53.53
7 NDIANDIANI+1
8 GO TO 60
9 C NUMERO DE RAYOS POR DIA TORRENTEA
10 NX=RAND(X)*100.
11 DO 102 J=1,J
12 IF(NX.NPRT(J))SS=55.102
13 NRT=J-1
14 GO TO 56
15 CONTINUE
16 IF(NRT)53.53+58
17 K=0
18 K=K+1
19 IF(K.NRT)61.61.53
20 CONTAR RAYOS
21 NRAY=NRAY+1
22 DETERMINAR LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE DEL RAYO
23 NX=RAND(X)*100.
24 FX=0.246561+0.385872E-01*NX-0.600879E-03*NX*NX+0.391594E-05*(NX**3
25 1.)
26 COQ=10.**FX
27 IF(COR.LT.CMIN)GO TO 59
28 DETERMINAR EL PUNTO DE INCIDENCIA DEL RAYO
29 XI=RAND(X)*XA
30 NX=RAND(X)*100.
31 IF(NX.GT.50)GO TO 40
32 XI=XI
33 DETERMINAR EL ANGULO DE LA TRAYECTORIA DEL RAYO
34 NY=RAND(X)*1000.
35 DO 103 M=1,18
36 IF(NX.NPAC(M))62.62.103
37 PS=(PI/72.)*(1.+2.*(FLOAT(M)-1.))
38 GO TO 63
39 CONTINUE
40 NX=RAND(X)*100.
41 IF(NX-50)64.64.65
42 PS=PSI
43 ALF=PI/2.-PSI
44 CALCULO DE LA DISTANCIA DE ARQUEO
45 PS=7.1*(COR**0.75)
46 DETERMINAR EL ELEMENTO AL CUAL IMPACTO EL RAYO
47 DO 104 I=1,NC
48 YC(I)=CORIE{HXG(I)-HYC(I)}.ALF.XI.PS)
49 DO 105 J=1,NG
50 YG(J)=CORIE{HXG(J)-HYG(J)}.ALF.XI.PS)
51 XC=0.
52 DO 106 I=1,NC
53 IF(YC(I).EQ.0.0)GO TO 106
54 IF(YC(I)-XC)106.66.66
55 XC=YC(I)
56 CONTINUE
57 NG=0.
58 DO 107 J=1,NG
59 IF(YG(J)-XC)107.67.67
60 YC=YG(J)
61 CONTINUE
62 DO 108 I=1,NC
63 IF(XC.EQ.YC(I))GO TO 69
64 CONTINUE
65 DO 109 J=1,NG
66 IF(XC.EQ.YG(J))GO TO 69
67 CONTINUE
68 IF(YC(I)-YG(J))70.70.71
69 IF(YG(J)-CASG*RS)200.200.300
70 IF(YC(I)-CASG*RS)200.200.400
71 NIT=NIT+1
72 GO TO 59
73 NIT=NG+1
74 GO TO 59
75 NIT=NG+1
76 NIC(I)=NIC(I)+1
77 MAY FALLA DE CORRIENTE DE 60 HZ
78 NX=RAND(X)*100.
79 IF(NX.NPCOR)500.500.59
80 NSALENSAL+1

```

REPRODUCIBLE  
 1970

```

10 GO TO 59
11 PScripIR RESULTADOS PARCIALES E INCREMENTAR UN NUEVO ANO
12 WRITE(3,10)NY,NRAY,NIT,NIG,NSAL,(NIC(I),I=1,NC)
13 FORMAT(12I10//)
14 NY=NY+1
15 NRAY=NRAY+NRAY
16 NIT=NIT+NIT
17 NIG=NIG+NIG
18 NSAL=NSAL+NSAL
19 NIC(1)=NIC(1)+NIC(1)
20 CONTINUE
21 SUMR=0
22 DO 201 I=1,NC
23 SUMR=SUMR+FLOAT(NIC(I))
24 PFAP=SUMR/(FLOAT(NIT)+SUMR)
25 FNE=ELCAT(NSALT)/FLOAT(NA)
26 FNE=FNE/100
27 ENFTR=ENF+PTR*LCNG/100
28 IMPRIMIR RESULTADOS DEL TRAMO
29 PRINT 202,PFAP,ENE,ENFTR
30 FORMAT(2X,'PROBABILIDAD DE FALLA DEL APANTALLAMIENTO =',IPE10.4/2X
31 *,'NUMERO DE SALIDAS POR KM. Y POR ANNO =',IPE10.4/2X,'NUMERO DE SA
32 *LIDAS DEL TRAMO POR ANNO =',IPE10.4//)
33 ITRAM=ITRAM+1
34 IF(ITRAM.LE.NTRAM)GO TO 700
35 ICASO=ICASO+1
36 IF(ICOD.EQ.1)GO TO 1000
37 STOP
38 END

```

```

1000 C
1001 C FUNCION DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE LA DIRECCION DELRAYO
1002 C
1003 C
1004 C
1005 C
1006 C
1007 C
1008 C
1009 C
1010 C
1011 C
1012 C
1013 C
1014 C
1015 C
1016 C
1017 C
1018 C
1019 C
1020 C
1021 C
1022 C
1023 C
1024 C
1025 C
1026 C
1027 C
1028 C
1029 C
1030 C
1031 C
1032 C
1033 C
1034 C
1035 C
1036 C
1037 C
1038 C
1039 C
1040 C
1041 C
1042 C
1043 C
1044 C
1045 C
1046 C
1047 C
1048 C
1049 C
1050 C
1051 C
1052 C
1053 C
1054 C
1055 C
1056 C
1057 C
1058 C
1059 C
1060 C
1061 C
1062 C
1063 C
1064 C
1065 C
1066 C
1067 C
1068 C
1069 C
1070 C
1071 C
1072 C
1073 C
1074 C
1075 C
1076 C
1077 C
1078 C
1079 C
1080 C
1081 C
1082 C
1083 C
1084 C
1085 C
1086 C
1087 C
1088 C
1089 C
1090 C
1091 C
1092 C
1093 C
1094 C
1095 C
1096 C
1097 C
1098 C
1099 C
1100 C
1101 C
1102 C
1103 C
1104 C
1105 C
1106 C
1107 C
1108 C
1109 C
1110 C
1111 C
1112 C
1113 C
1114 C
1115 C
1116 C
1117 C
1118 C
1119 C
1120 C
1121 C
1122 C
1123 C
1124 C
1125 C
1126 C
1127 C
1128 C
1129 C
1130 C
1131 C
1132 C
1133 C
1134 C
1135 C
1136 C
1137 C
1138 C
1139 C
1140 C
1141 C
1142 C
1143 C
1144 C
1145 C
1146 C
1147 C
1148 C
1149 C
1150 C
1151 C
1152 C
1153 C
1154 C
1155 C
1156 C
1157 C
1158 C
1159 C
1160 C
1161 C
1162 C
1163 C
1164 C
1165 C
1166 C
1167 C
1168 C
1169 C
1170 C
1171 C
1172 C
1173 C
1174 C
1175 C
1176 C
1177 C
1178 C
1179 C
1180 C
1181 C
1182 C
1183 C
1184 C
1185 C
1186 C
1187 C
1188 C
1189 C
1190 C
1191 C
1192 C
1193 C
1194 C
1195 C
1196 C
1197 C
1198 C
1199 C
1200 C

```

```

1000 C
1001 C
1002 C
1003 C
1004 C
1005 C
1006 C
1007 C
1008 C
1009 C
1010 C
1011 C
1012 C
1013 C
1014 C
1015 C
1016 C
1017 C
1018 C
1019 C
1020 C
1021 C
1022 C
1023 C
1024 C
1025 C
1026 C
1027 C
1028 C
1029 C
1030 C
1031 C
1032 C
1033 C
1034 C
1035 C
1036 C
1037 C
1038 C
1039 C
1040 C
1041 C
1042 C
1043 C
1044 C
1045 C
1046 C
1047 C
1048 C
1049 C
1050 C
1051 C
1052 C
1053 C
1054 C
1055 C
1056 C
1057 C
1058 C
1059 C
1060 C
1061 C
1062 C
1063 C
1064 C
1065 C
1066 C
1067 C
1068 C
1069 C
1070 C
1071 C
1072 C
1073 C
1074 C
1075 C
1076 C
1077 C
1078 C
1079 C
1080 C
1081 C
1082 C
1083 C
1084 C
1085 C
1086 C
1087 C
1088 C
1089 C
1090 C
1091 C
1092 C
1093 C
1094 C
1095 C
1096 C
1097 C
1098 C
1099 C
1100 C

```





A N E X O 3  
=====

LINEA DE TRANSMISION 220 KV (12).-

Configuración de la torre: Ver figura

Cable de guarda: uno, flecha 7,6 metros.

Conductores: seis, flecha 9.15 metros

Vano medio: 366 metros

Aisladores: 15 discos, 254 x 127 mm(10 x 5 pulgadas)

Densidad de descarga a tierra:  $3.86/\text{Km}^2$  (NI = 25)

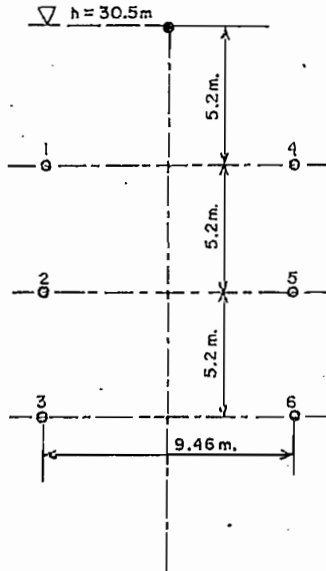
Nivel de salidas observadas: 1.02/100Km-año(basado en 1500 km año de experiencia en operación)

CFO = 1200 KV

Impedancia característica del conductor de fase =  $480 \Omega$

Probabilidad  $P_2 = 0.85$

Constante  $K_{sg} = 1.0$   $\nabla h = 30.5\text{m}$



Configuración del tope de la estructura de una línea de 220 KV.

R E F E R E N C I A S  
=====

- (1) ARMSTRONG H.R., WHITEHEAD E.R., "Field and Analytical studies of transmission line shielding". IEEE-T-PAS, Vol. 87, pp. 270-281, Enero 1968.
- (2) BROWN G.W., WHITEHEAD E.R., "Field and analytical studies of transmission line shielding: Part. II", IEEE-T-PAS, Vol 88, pp. 617-626, Mayo 1969.
- (3) YOUNG F.S., CLAYTON J.M., HILEMAN A.R., "Shielding of Transmission lines"., IEEE-T-PAS.(Suplemento), Vol, 83, pp. 132-154, 1963.
- (4) COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (MEXICO), Capítulos 6, 7 y 8, "Nature of lightning", "Lightning performance", "Shielding", Documento de consulta, 1975.
- (5) WAGNER C.F., HILEMAN A.R., "Surge Impedance and Its Application to the lightning Stroke". AIEE-T-PAS, Vol. 81, pp. 1011-1022, 1962.
- (6) ANDERSON J.G., "Monte-Carlo Computer Calculation of Transmission-Line Lightning Performance". AIEE-T-PAS, Vol. 80, pp. 414-420, 1961.
- (7) CURRIE J.R., CHOY L.A., DARVENIZA M., "Monte-Carlo Determination of the Frequency of lightning strokes and shielding failures on transmission lines". IEEE-T-PAS Vol. 91, pp.2305-2312, 1972.
- (8) MORENO M., VELAZQUEZ R., "Programa digital para determinar el comportamiento de líneas de transmisión a -

descargas atmosféricas"., Comisión Federal de Electricidad, (MEXICO), Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica, 1975.

- (9) GOLDE R.H., "Lightning surges on overhead distribution Lines caused by indirect and direct lightning strokes" AIEE-T-PAS, Vol. 73, pp. 437-447, 1954.
- (10) ARMSTRONG H.R., WHITEHEAD E.R., "A Lightning stroke Pathfinder", IEEE-T-PAS, Vol. 83, pp. 1223, 1227, 1964
- (11) WAGNER C.F., "The Relation Between Stroke current and the Velocity of the Return stroke", IEEE-T-PAS, VOL. 81, pp. 609-617, 1963.
- (12) DIESENDORF W., "Insulation Co-ordination in High-Voltage Electric Power Systems". London, Butterworths, primera publicación, 1974.
- (13) MENA A., "Introducción al estudio de fenómenos transitorios en líneas de transmisión", Escuela Politécnica Nacional, 1972,.
- (14) LIWIS W.W., "The Protection of transmission systems against lightning". Dover Publications, Inc. New York, 1965.
- (15) MOELLER F., "Manual del Electrotécnico". Tomo II, Editorial Labor, S.A., primera edición, Julio 1967, Barcelona.
- (16) CARNAHAN B., LUTHER H.A., WILKES J.O., "Applied numerical methods". John Wiley and Sons, Inc., New York, 1969.

- (17) ROZANOV Y., "Procesos Aleatorios", Editorial MIR, Moscú, 1973.
- (18) Paquete de Subrutinas científicas del sistema IBM-370, Instituto de Computación, Escuela Politécnica Nacional.