

APANTALLAMIENTO DE SUBESTACIONES.

DISEÑO Y EVALUACION MEDIANTE METODOS DIGITALES

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO
DE INGENIERO ELECTRICO EN LA ESPECIALI-
ZACION DE POTENCIA EN LA ESCUELA POLI-
TECNICA NACIONAL.

MAX G. MOLINA BUSTAMANTE

DICIEMBRE 1979

QUITO - ECUADOR

C E R T I F I C O
QUE EL PRESENTE TRABAJO DE TE-
SIS HA SIDO REALIZADO EN SU TO-
TALIDAD POR EL SEÑOR MAX G. MO-
LINA BUSTAMANTE.

Paul Ayora

ING. PAUL AYORA
DIRECTOR DE TESIS

I N D I C E

Página

| | |
|--------------------|---|
| INTRODUCCION | 1 |
|--------------------|---|

C A P I T U L O I

SOBREVOLTAJES EN SUBESTACIONES

| | | |
|---------|---|----|
| 1.1 | Generalidades | 3 |
| 1.2 | Sobrevoltajes | 4 |
| 1.2.1 | Sobrevoltajes de origen externo | 5 |
| 1.2.2 | Sobrevoltajes de origen interno | 6 |
| 1.3 | Protección de subestaciones contra descargas atmosféricas | 7 |
| 1.3.1 | Mecanismo de la descarga a tierra | 8 |
| 1.3.2 | Protección contra descargas directas | 9 |
| 1.3.2.1 | Objeto del apantallamiento | 9 |
| 1.3.3 | Protección contra ondas viajeras | 12 |
| 1.3.3.1 | Pararrayos | 12 |
| 1.3.3.2 | Efectos de las líneas de transmisión conecta- das a la subestación | 13 |
| 1.3.4 | Coordinación del aislamiento | 15 |

C A P I T U L O I I

FORMULACION DEL MODELO PARA EL DISEÑO DEL APANTALLAMIENTO
DE SUBESTACIONES

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1 | Consideraciones generales | 17 |
| 2.2 | Modelo analítico | 18 |
| 2.2.1 | Densidad de descargas a tierra | 19 |
| 2.2.2 | Estadística de descargas atmosféricas. Amplitudes de corriente de las descargas a tierra | 20 |
| 2.2.3 | Distancia crítica de arqueo a objetos elevados | 23 |
| 2.2.4 | Angulo de aproximación del líder | 24 |
| 2.2.5 | Punto de terminación de la descarga | 25 |
| 2.2.6 | Riesgo de falla del apantallamiento | 25 |
| 2.3 | Modelo electrogeométrico | 26 |

C A P I T U L O I I I

DISEÑO DEL SISTEMA DE APANTALLAMIENTO DE SUBESTACIONES
CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS DIRECTAS

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Generalidades | 29 |
| 3.2 | Cálculo del riesgo de falla del apantallamiento | 31 |

| | <u>Página</u> |
|-------|---|
| 3.3 | †Programa digital 36 |
| 3.4 | Evaluación de resultados 36 |
| 3.4.1 | Análisis de la zona de protección 41 |
| 3.5 | Procedimiento a seguirse para el diseño 44 |
| 3.6 | Efecto de las descargas originadas cerca de los bordes exteriores de la subestación 47 |
| 3.7 | Compración con el método convencional 47 |

C A P I T U L O I V

SIMULACION DIGITAL DEL COMPORTAMIENTO DE SUBESTACIONES

CONSIDERANDO EL EFECTO DE LAS DESCARGAS ATMOSFERICAS

| | |
|-------|--|
| 4.1 | Consideraciones generales 51 |
| 4.2 | El Método de Monte Carlo aplicado al modelo electrogeométrico 53 |
| 4.3 | Sistema modelado 55 |
| 4.4 | Fundamentos de la descarga eléctrica 55 |
| 4.4.1 | Generalidades 55 |
| 4.4.2 | Parámetros que intervienen en la computación de cada descarga 56 |
| 4.4.3 | Función probabilidad acumulada de magnitudes de corriente de las descargas 57 |

Página

| | | |
|-------|--|----|
| 4.4.4 | Número de descargas en día de tormenta eléctrica | 58 |
| 4.4.5 | Determinación del elemento al cual impacta la descarga | 58 |
| 4.5 | Programa digital | 59 |

C A P I T U L O V

EJEMPLO DE APLICACION

| | | |
|-----|---|----|
| 5.1 | Diseño del apantallamiento | 61 |
| 5.2 | Evaluación del apantallamiento por el Método de Monte Carlo | 65 |
| 5.3 | Análisis de resultados | 70 |

C A P I T U L O V I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|--------------------------------------|----|
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 77 |
| APENDICE 1 | |
| APENDICE 2 | |
| APENDICE 3 | |
| ANEXO 1 | |
| ANEXO 2 | |
| REFERENCIAS | |

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

Al evaluar nuevos diseños de subestaciones, se siente la necesidad de herramientas de mayor precisión para determinar la efectividad del apantallamiento contra descargas atmosféricas directas, con el fin de reducir a un mínimo, y a un costo razonable, las salidas originadas por este fenómeno meteorológico. Además, como consecuencia del incremento en la demanda de potencia eléctrica, el número de subestaciones grandes está incrementándose rápidamente; al mismo tiempo, por razones de costos reales y apariencia, las subestaciones compactas son más adecuadas.

Hasta 1929 se pensaba que era imposible proteger un sistema de potencia contra descargas atmosféricas (24). En 1942, Wagner (18) publicó curvas de aplicación para el apantallamiento de subestaciones, las cuales estuvieron basadas en pruebas realizadas en laboratorios. Posteriormente, Gilman y Whitehead (10) calibraron el modelo electrogeométrico, el cual fue extendido a un modelo tridimensional por Sargent (2). Por otro lado, Braunstein (14) desarrolló un criterio de mayor precisión para determinar el punto final de la descarga.

Es necesario, por lo tanto, modelar un método que per-

mita estimar con un grado de precisión razonable, el verdadero riesgo de falla del apantallamiento en subestaciones donde una protección excesiva interferiría seriamente con el diseño de la subestación. Por otro lado, es prioritario determinar el grado de apantallamiento necesario en subestaciones de alta seguridad.

Este estudio está basado en las últimas investigaciones realizadas en este campo, y permite optimizar el diseño del apantallamiento de subestaciones modernas, bajo diferentes requerimientos de confiabilidad y consideraciones de tipo estético y económico, mediante el empleo de cables de guardia y/o mástiles, eliminando los mayores errores inherentes en los métodos convencionales los cuales son inadecuados cuando se aplican a líneas de transmisión. Se ha desarrollado un programa digital que permite tener varias alternativas de solución al problema del apantallamiento de subestaciones.

C A P I T U L O ISOBREVOLTAJES EN SUBESTACIONES1.1 GENERALIDADES

En Sistemas Eléctricos de Potencia es práctica común proteger a las subestaciones contra sobrevoltajes.

La protección de subestaciones contra sobrevoltajes, está encaminada a prevenir que lleguen a los diferentes equipos sobrevoltajes peligrosos, eliminándolos o minimizándolos, así como el contorneo o ruptura del aislamiento en la subestación. Se requiere, por lo tanto, diseñar y coordinar las medidas de protección de modo que las salidas y daños del equipo sean minimizados. Para cumplir con ello, se debe ser capaz de estimar:

- a) El máximo sobrevoltaje que puede ocurrir en la subestación, con y sin dispositivos de protección.
- b) El margen existente entre el máximo voltaje que puede ocurrir y el nivel permitido por los dispositivos de protección.
- c) El número probable de salidas de la subestación que puede ocurrir como resultado de sobrevoltajes

1.2.2 Sobrevoltajes de origen interno

Son aquellos que se producen como resultado del cambio en las condiciones operativas del propio sistema, y están relacionados con la configuración y voltaje de servicio del mismo. Dentro de este grupo se encuentran las variaciones de carga, las descargas a tierra, etc. Este tipo de sobrevoltajes, que en gran parte pueden preverse y evitarse, comprenden dos categorías (24):

a) Sobrevoltajes de maniobra caracterizados por los fenómenos transitorios que se presentan como resultado de los bruscos cambios de estado del sistema, por ejemplo, maniobras de disyuntores, descargas a tierra, etc.

b) Sobrevoltajes de servicio caracterizados por los estados estacionarios que se presentan como resultado de la puesta en servicio o fuera de servicio de una carga, principalmente cuando el sistema comprende líneas de gran longitud. En este grupo se incluyen los sobrevoltajes de tipo permanente originados por las fallas a tierra.

Estos sobrevoltajes se desplazan a gran velocidad por las líneas y aparatos en forma de ondas viajeras. Estas ondas pueden provocar peligrosos sobrevoltajes si su amplitud

se incrementa por reflexión y por cualquier otra causa (8).

1.3 PROTECCION DE SUBESTACIONES CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS

El problema de la protección de una subestación contra descargas atmosféricas, se resuelve en dos partes: la protección contra descargas directas y la protección contra ondas viajeras que llegan a través de las líneas de transmisión (8).

En el proceso de formación del rayo, se producen numerosas descargas entre nubes con cargas de signos contrarios, o entre nubes y tierra (8).

Además de resistencia óhmica, todo circuito eléctrico tiene autoinductancia y capacidad, por lo que al descargar un rayo en la proximidad de un conductor o producirse una descarga entre las nubes que se hallen sobre él, se modifica el estado eléctrico del conductor, induciéndose en él, tensiones de carácter oscilante, las cuales originan considerables sobrevoltajes.

Por otra parte, los rayos presentan muchas veces, numerosas ramificaciones, y estas descargas laterales actúan induciendo también sobrevoltajes (11).

1.3.1 Mecanismos de la descarga a tierra

Para propósitos del presente trabajo, no es esencial discutir sobre el método por el cual ocurre la separación de cargas de la nube; es suficiente asumir que dentro de la nube se desarrolla un gradiente de potencial de magnitud suficiente para iniciar la descarga.

Con esta consideración, el proceso de la descarga se describe como sigue: En la base de la nube se inicia una guía (o líder) que desciende hacia la tierra, distribuyéndose la carga negativa en toda su longitud; estas cargas inducen componentes de campo eléctrico en los conductores de apantallamiento, equipo, estructuras y plano de tierra. La guía desciende hasta un punto en donde se excede el gradiente disruptivo del aire, ocasionando que una guía en tierra suba hasta encontrar a la que desciende. A su encuentro ocurre un flujo, hacia la nube, de una fuerte corriente llamada descarga de regreso. La distancia entre el punto de encuentro de las guías y tierra se llama distancia crítica de arqueo, es decir, es la distancia a la cual la punta de la guía descendente determina el punto de incidencia a tierra. Este concepto, constituye la base del modelo electrogeométrico (6).

1.3.2 Protección contra descargas directas

Se denomina descarga directa o rayo a la que se produce en caso de tormenta entre nube y nube, o entre nube y tierra. Está caracterizada por las elevadas tensiones e intensidades puestas en acción y por su pequeñísima duración (24).

Las descargas directas sobre la subestación producen condiciones onerosas para el aislamiento y la práctica es proteger el equipo contra estas descargas directas, por medio de apantallamiento aéreo, con cables de guardia, mástiles o ambos. El diseño de estos sistemas de apantallamiento se hace sobre la base de ángulos o zonas de protección; es decir, los conductores de apantallamiento deberán disponerse de modo que todos los aparatos queden dentro de la zona protegida. En años recientes se ha reconocido que la zona de protección de los conductores de apantallamiento, es una función de la magnitud de la corriente de la descarga (2).

1.3.2.1 Objeto de apantallamiento

Una de las principales funciones de los conductores de apantallamiento, es interceptar la descarga atmosférica y apartarla de los conductores vivos y equipo en general. Esto es lo que se conoce como apantallamiento.

Aunque la naturaleza de la descarga es errática, ésta impactará al objeto más cercano dentro de su trayectoria, siendo esta suposición, la base para determinar el efecto protector que ofrecen los cables de guardia y los mástiles (11).

Un cable de guardia cumple dos funciones adicionales (8):

a) Protege contra descargas inducidas al incrementar la capacitancia entre conductores y tierra, reduciendo de esta forma, el voltaje entre conductor y tierra.

b) Distribuye la corriente de la descarga en dos o más caminos y, de ese modo, reduce la caída de voltaje.

Los conductores de apantallamiento, deben estar sólidamente conectados a la malla de puesta a tierra de la subestación, con el fin de evitar diferencias de potencial con otras partes de la subestación que se encuentran puestas a tierra (11).

Las secciones más empleadas en la práctica, para los cables de guardia, son las de 35 mm.^2 , 50 mm.^2 y 70 mm.^2 ; el material utilizado es alambre de acero cuya resistencia está comprendida entre 40 y 70 Kg./ mm.^2 (24).

Al compárar un cable de guardia con un mástil equivalente, se encuentra que la altura de localización del cable de guardia es, generalmente, menor que aquella que corresponde a un mástil; además, el sistema de apantallamiento mediante cables de guardia, es más estético y relativamente económico (4).

*Por otro lado, la probabilidad de un contorno inverso (un contorno desde las estructuras puestas a tierra, hacia los conductores vivos) será mayor para un mástil que para un cable de guardia, ya que las corrientes por los mástiles son mucho mayores por las siguientes razones:

a) Para la misma altura, la corriente promedio que circula a través de un mástil, es más alta que para un cable de guardia (3).

b) Los mástiles con un grado de apantallamiento comparable al de los cables de guardia, son usualmente más altos y, por tanto, la distribución de amplitudes de corriente de la descarga a través de ellos, se inclina hacia valores más altos (3).

c) Cada mástil conduce la corriente total de la descarga, mientras que dos o más estructuras permiten que la co-

riente de la descarga se derive a tierra por varios caminos. Esto recalca la importancia de continuar con el esquema de cables de guardia en subestaciones (4).

1.3.3 Protección contra ondas viajeras

Para la protección contra sobrevoltajes que se desplazan a través de las líneas de transmisión como ondas viajeras, (pg 6) se emplean los descargadores o pararrayos.

1.3.3.1 Pararrayos

En general, se denominan pararrayos, a los equipos de protección destinados a descargar los sobrevoltajes originados por descargas atmosféricas, por maniobras o por otras causas que, de otro modo, se descargarían a través de los aisladores perforando el aislamiento, ocasionando interrupciones en el sistema eléctrico y, en muchos casos, daños en los generadores, transformadores, etc. (24).

Los pararrayos, al presentar un camino de baja resistencia a tierra para la descarga, reducen la onda de voltaje que entra a la subestación a un valor de seguridad para los equipos.

Una función adicional de los pararrayos, es prevenir el flujo de corriente a tierra después de haber descargado la corriente de impulso. Por ello, un pararrayos debe presentar baja impedancia a los sobrevoltajes y una alta impedancia al voltaje de operación normal. Este tipo de pararrayos mantiene un nivel de voltaje constante, independientemente de la magnitud de la corriente, y evita que el voltaje se eleve en forma apreciable respecto al voltaje nominal de operación (11).

Para que su funcionamiento sea eficaz, los pararrayos han de estar permanentemente conectados a las líneas, pero solamente han de entrar en funcionamiento cuando la tensión alcance un valor conveniente y superior a la tensión de servicio. Es decir, que un pararrayos actúa a la manera de una válvula de seguridad (24). Para una mejor protección, los pararrayos deben colocarse tan cerca como sea posible de los aparatos a ser protegidos. La tendencia ha sido colocar los pararrayos cerca de los transformadores por ser los aparatos más importantes y vulnerables de la subestación. Por ello, en ciertos casos, los pararrayos vienen montados en los tanques de los transformadores (8).

1.3.3.2 Efectos de las líneas de transmisión conectadas a la subestación

Si las líneas de transmisión conectadas a la subesta-

ción no están apantalladas, como es el caso de muchas líneas en postes de madera, debe modificarse la construcción de la línea cerca de la subestación por medio de cables de guardia, de modo que no se produzca la incidencia de descargas directas a la línea en esta zona. Esta especificación forma parte de la práctica moderna de apantallamiento. Esta zona protegida, asegurará una impedancia transitoria definida, entre el punto de la línea donde se produce la descarga y el dispositivo protegido. La zona actuará como una impedancia transitoria hasta que sea eliminada por reflexiones sucesivas. En general, la zona apantallada no necesita ser mayor de alrededor de 762 metros (2.500 pies), si se usan pararrayos en la subestación. Si no existen pararrayos, la zona apantallada debe ser de longitud suficiente como para que las ondas transitorias se atenúen a un valor tal que, durante la reflexión en la subestación, el voltaje resultante sea menor que el nivel de voltaje de la subestación. Esto requiere una zona apantallada de aproximadamente 16 kilómetros (10 millas) de longitud para ondas largas, 8 kilómetros (5 millas) para ondas cortas y de 1.6 a 3.2 kilómetros (de 1 a 2 millas) para ondas cortadas, en contraste con aproximadamente media milla cuando se usan pararrayos (8).

En caso de que no se instalen cables de guardia para la distancia requerida desde la subestación, se usan tubos

protectores en todas las estructuras desde una distancia de media milla, proporcionando de esta forma, caminos paralelos a tierra para las corrientes de las descargas y reduciendo la severidad de las corrientes que deben ser manejadas por el pararrayos de la subestación. Usando este medio de descarga de una parte de la corriente a tierra, se protege contra descargas que, de otro modo, podrían provocar daños al equipo de la subestación. Los tubos protectores usados de esta forma, serán más efectivos con bajas resistencias de puesta a tierra (11).

Por otro lado, las líneas conectadas a la subestación pueden tener aislamiento reforzado, con lo cual la probabilidad de que lleguen a la subestación ondas viajeras, es muy pequeñas (15).

1.3.4 Coordinación del aislamiento

Los sobrevoltajes de origen interno pueden reducirse disponiendo de forma apropiada los elementos que constituyen un sistema. Por lo tanto, para la coordinación del aislamiento se tendrán en cuenta únicamente los sobrevoltajes de origen atmosférico (24).

La coordinación del aislamiento en subestaciones, re-

quiere la consideración de la magnitud, frecuencia de ocurrencia y tipo de sobrevoltajes sobre el aislamiento. Un sobrevoltaje de consideración, es aquel producido por ondas viajeras que llegan a la subestación a través de las líneas de transmisión conectadas a ella, o por descargas atmosféricas directas al equipo de la subestación debido a la falla de su apantallamiento aéreo (2).

× Consecuentemente, en las subestaciones habrá que fijar en forma conveniente el nivel mínimo de aislamiento; cuanto mayor sea este valor, mejor será la protección contra sobrevoltajes pero, por otro lado, los gastos necesarios para establecer esta protección, se incrementarán. Es decir, el problema planteado es fundamentalmente económico.

× En este capítulo se han presentado, de una manera muy general, algunos conceptos relacionados con los sobrevoltajes. En resumen, el método más efectivo para la protección de subestaciones consiste de modernos pararrayos, cables de guardia de media milla de longitud para las líneas conectadas a la subestación, apantallamiento adecuado de la subestación mediante cables de guardia y/o mástiles, y una baja resistencia de puesta a tierra de la subestación.

C A P Í T U L O I IFORMULACION DEL MODELO PARA EL DISEÑO DEL APANTALLAMIENTO
DE SUBESTACIONES2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Estudios recientes (1) relativos al apantallamiento de líneas de transmisión, revelan que existen limitaciones en la práctica convencional de diseño del apantallamiento, tanto en líneas de transmisión como en subestaciones, debido a que la relación "ángulo de apantallamiento-exposición" no ha sido definida adecuadamente. Por ello se ha desarrollado una nueva técnica, la cual es particularmente adecuada para subestaciones grandes y con altos requerimientos de confiabilidad y que permite, además, una estimación razonablemente precisa del verdadero riesgo de falla del apantallamiento.

Debido al constante incremento en la capacidad de los sistemas de potencia, las subestaciones son cada vez de mayor tamaño, de ahí que el problema de predecir de una manera precisa las fallas del apantallamiento, cobra importancia fundamental.

Es necesario, por lo tanto, que las salidas del sistema se reduzcan a un mínimo a un costo razonable, y que además, la reducción se haga durante la etapa de diseño, para lo cual se requiere aplicar un método que prediga el comportamiento del sistema en condiciones similares a las que se presentarán durante su operación, lo que permite a su vez, analizar diversas alternativas y encontrar aquellos parámetros del sistema que producen el mínimo de salidas. ✓

2.2 MODELO ANALITICO

En la referencia (2) se presenta un estudio sobre apantallamiento de subestaciones, basado en la técnica del modelo electrogeométrico, en el cual se han considerado los estudios más recientes relativos al grado de apantallamiento que ofrecen los cables de guardia. Comparaciones con datos de campo, demuestran la validez de las suposiciones básicas que se consideran en este nuevo método de apantallamiento. Análisis posteriores conducen a la conclusión de que el estudio por computadora empleado en el trabajo original, puede ser usado para resolver una gran variedad de problemas sobre apantallamiento de subestaciones, permitiendo además, evaluar las fallas de apantallamiento, con una precisión grandemente mejorada, comparativamente con aquella que se obtiene al emplear el ángulo de apantallamiento convencional como único criterio.

A continuación se presenta una descripción de los parámetros básicos involucrados en esta nueva técnica:

2.2.1 Densidad de descargas a tierra (No)

La frecuencia de ocurrencia de descargas a una subestación, viene determinada por el número de descargas atmosféricas que se originan en las nubes y descienden verticalmente hacia la subestación, debiendo anotarse que, algunas descargas que se originan cerca de los bordes exteriores de esta área, pueden ser atraídas hacia la subestación una vez que han descendido lo suficiente (1).

La densidad de descargas a tierra (No), está relacionada al nivel isocerámico (NI) por la relación (1):

$$No = C. NI \text{ descargas/Km.}^2 \text{ por año} \quad (2.1)$$

Donde:

C = constante para una región determinada, toma valores entre 0.1 y 0.2 (7).

En el presente trabajo se considera un nivel isocerámico de 25, para el cual se ha adoptado un valor de $No = 3.86$

$$C = 0.1541$$

descargas/Km.² por año.

2.2.2 Estadística de descargas atmosféricas. Amplitudes de corriente de las descargas a tierra

De acuerdo al modelo electrogeométrico, el punto de incidencia de una descarga que se aproxima a objetos sobre tierra, está influenciado por la carga del extremo del líder y, por tanto, por la magnitud de la corriente de la onda de retorno. En consecuencia, la probabilidad de que el apantallamiento falle, depende también de la amplitud de la corriente de la descarga.

Las amplitudes de las corrientes de las descargas inyectadas en varias estructuras, han sido objeto de investigación por muchos años. Se han propuesto varias distribuciones alternativas (3), con marcadas desviaciones entre ellas. Una posible fuente para dichas diferencias es la variación de la altura y tipo de la estructura sobre la que se realizan las mediciones.

El incremento de la altura de la torre, inclina la distribución progresivamente hacia valores de corriente más altos. En lo que al tipo de estructura se refiere, la distribución de corriente de la descarga a la torre (electrodo verti-

cal), se inclina mucho más hacia valores de corriente más altos que la distribución al conductor (electrodo horizontal)(3).

La distribución de AIEE (Fig. 2.1, curva 1), ha sido definida como resultado de mediciones de corriente en líneas de transmisión y torres. Como se indicó, la altura de estas estructuras, dará lugar a que la distribución se incline hacia amplitudes de corriente más altas, con respecto a la distribución real de amplitudes al nivel de tierra. De lo expuesto se concluye (3) que el empleo de una distribución obtenida de mediciones sobre estructuras altas, en el modelo electrogeométrico, no es de mucha precisión puesto que se requiere la distribución real de las corrientes de la descarga al nivel de tierra (Fig. 2.1, curva 2).

Sin embargo, la distribución de AIEE proporciona una correlación satisfactoria entre resultados analíticos y datos de campo para efectos de apantallamiento de subestaciones (2), por lo cual será empleada en el presente trabajo.

Toda vez que las corrientes de las descargas son magnitudes aleatorias obtenidas a lo largo del tiempo, se puede obtener una función densidad de probabilidad $h(I)$ (21):

$$h(I) = K_1 e^{-I/I_1} + K_2 e^{-I/I_2} \quad (2.2)$$

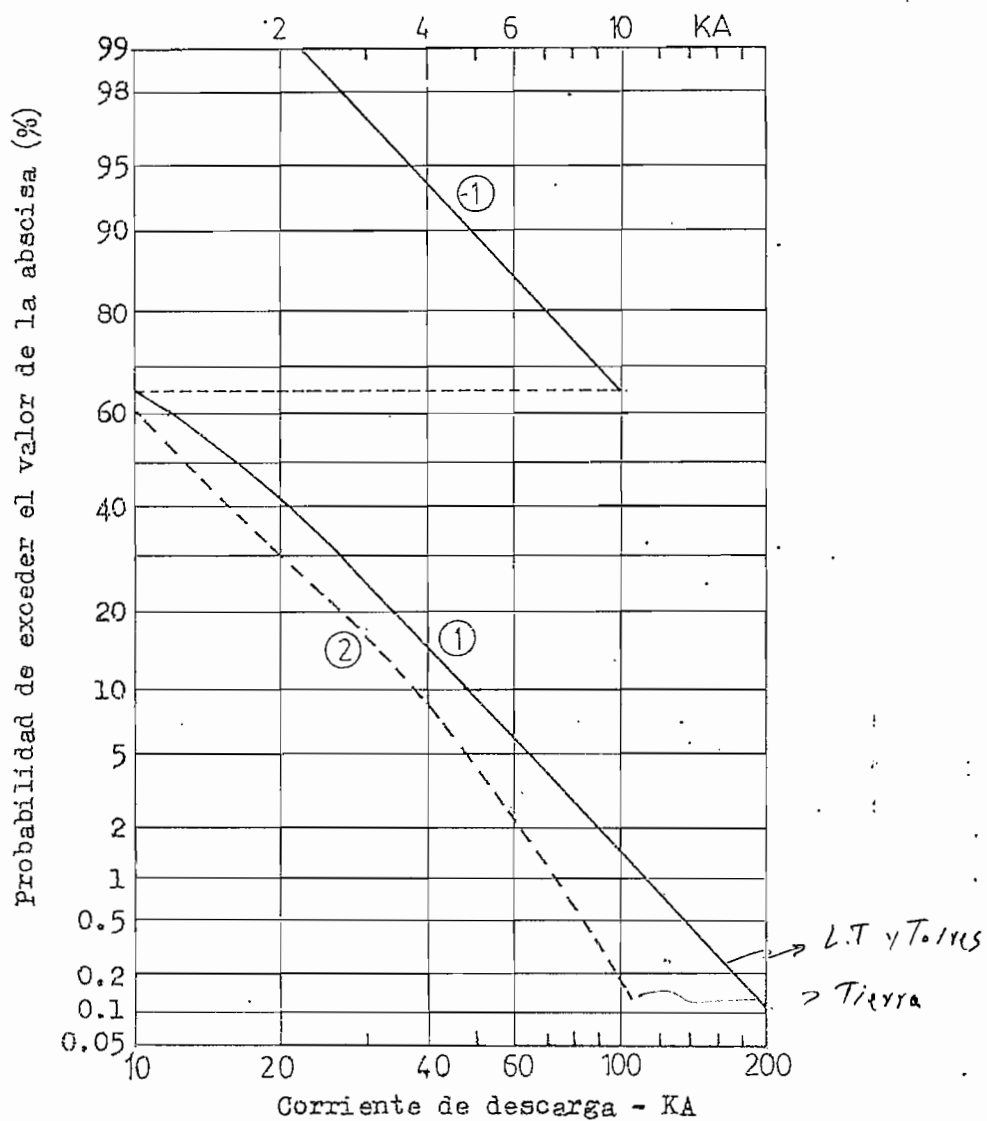


Fig. 2.1 Distribución acumulada de magnitudes de corriente de descargas atmosféricas.
 1. AIEE (7)
 2. Sargent (3)

Expresión que puede ser calibrada para la distribución de AIEE (5):

$$h(I) = 4.75 \cdot e^{-I/20} + 0.10 \cdot e^{-I/50} \% \quad (2.3)$$

2.2.3 Distancia crítica de arqueo a objetos elevados

La distancia crítica a la cual la descarga es atraída hacia un objeto sobre tierra, está relacionada con la carga del canal y, por lo tanto, es una función de la amplitud de corriente (1). La relación entre la distancia crítica de arqueo y la amplitud de la corriente, es objeto de continuo análisis (10). Para fines de apantallamiento de subestaciones, son satisfactorios los valores empleados en las referencias (2) y (3) para la distancia crítica de arqueo, toda vez que producen resultados que concuerdan con la experiencia de servicio.

La distancia crítica de arqueo a un componente del sistema (r_{sc}), está relacionada a la magnitud de la corriente de la descarga (I) como:

$$r_{sc} = K_{sc} \cdot K_1 \cdot (I)^b \quad (2.4)$$

Donde K_1 , b son constantes dependientes de la forma de

2.2.5 Punto de terminación de la descarga

Cuando una descarga se aproxima a una subestación apantallada, aquella terminará en la estructura de la estación que primero entre en su zona de atracción. La descarga será interceptada por los conductores de apantallamiento o proseguirá hacia el equipo de la subestación, dependiendo de la posición relativa de los conductores de apantallamiento con respecto al equipo de la subestación. El riesgo de falla del apantallamiento depende de la diferencia en altura (efectiva) entre los conductores de apantallamiento y el equipo, así como de su distancia horizontal. Según la práctica convencional, esta distancia y la altura efectiva, definen el ángulo de apantallamiento. Con la introducción del nuevo método, la distancia protegida y, por tanto, el ángulo de apantallamiento, son funciones de la amplitud de corriente de la descarga y su distribución estadística (1).

De lo expuesto se concluye, que el ángulo de apantallamiento convencional, no define la zona protegida en términos realistas, ya que ésta se determinará sobre la base de un riesgo de falla aceptado (Ver Fig. (3.4) y numeral (3.4.1)).

2.2.6 Riesgo de falla del apantallamiento

001873

La probabilidad de que una descarga provoque falla del

apantallamiento puede establecerse de varias formas. Según la práctica convencional, la exposición se define como el porcentaje de descargas que inciden sobre la subestación y no son interceptadas por los conductores de apantallamiento (18). Si se considera un valor constante de exposición (por ejemplo 1%) para el diseño del apantallamiento, el número de fallas será proporcional al tamaño de la subestación. En el presente trabajo se considera un ángulo de apantallamiento constante, independientemente del tamaño de la subestación.

Linck (1) provee al ingeniero de diseño y al ingeniero de planificación de sistemas, un concepto muy práctico y significativo del riesgo de falla del apantallamiento; es decir, del número de años para que ocurra una falla del apantallamiento, lo cual posibilita realizar una evaluación económica del sistema de apantallamiento. En el proceso de esta evaluación, el ingeniero de planificación de sistemas y el operador del sistema, deben aceptar la responsabilidad de asignar un riesgo razonable.

2.3. MODELO ELECTROGEOMETRICO

El modelo electrogeométrico ha sido desarrollado y expandido por varios investigadores (2)-(3), como una técnica mejorada para evaluar la efectividad del apantallamiento de

líneas de transmisión. Esta técnica se aplica aquí al problema del apantallamiento en subestaciones de alto voltaje.

Considérese la Fig. 2.2, donde $P(x,y,z)$ es un punto de un componente del sistema y $Q(X_g, Y_g, Z)$ un punto sobre la trayectoria de la descarga cuyas características -magnitud de corriente (I) y punto de incidencia a tierra $M(X_g, Y_g)$ - son conocidas. Es posible, entonces, calcular la distancia crítica de arqueo, r_{sc} , al componente en referencia, la cual a su vez, corresponde a la distancia PQ , es decir:

$$d_{PQ} = r_{sc} \quad (2.6)$$

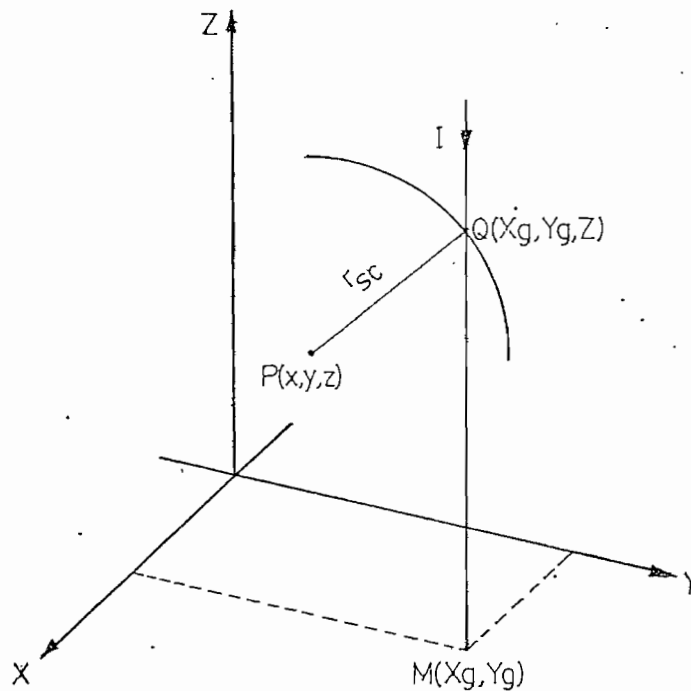


Fig. 2.2 Sistema de coordenadas cartesianas para el análisis del modelo electrogeométrico.

La región de atracción para el componente en consideración, está dada por una esfera de centro P y radio r_{sc} , siendo Q el punto de intercepción con la trayectoria de la descarga cuya coordenada Z define la altura sobre el plano (X-Y) a la cual el líder será atraído al punto P.

Para determinar el punto donde terminará la descarga, es necesario calcular las alturas de intercepción de todos los posibles puntos del sistema modelado. Se asume que la descarga terminará en aquel punto dado por la máxima altura de intercepción (2).

Vale mencionar que la técnica electrogeométrica está aún siendo calibrada con datos de campo; por lo tanto, se debe esperar la validación final de la técnica electrogeométrica a fin de tener resultados cuantitativos de mayor precisión, más confiable.

C A P I T U L O I I I

DISEÑO DEL SISTEMA DE APANTALLAMIENTO DE SUBESTACIONES CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS DIRECTAS

3.1 GENERALIDADES

La experiencia pasada fue insuficiente para desarrollar un método universal aplicable al diseño del apantallamiento, ya que, los diferentes parámetros que intervienen en la modelación, no fueron representados en términos completamente realistas.

Sin embargo, el desarrollo de este campo demanda nuevos diseños, usando las técnicas más modernas disponibles. La técnica utilizada debe ser capaz de evaluar la influencia de ciertos factores típicos en estos diseños, tales como (12):

- a) Nuevas configuraciones de circuitos.
- b) Niveles de aislamiento reducidos y la influencia del voltaje de frecuencia industrial en el número de salidas del sistema.
- c) Exposición, número de descargas al equipo y a los conductores de apantallamiento, y amplitudes de la

corriente de la descarga.

En base a experimentos realizados en laboratorios con modelos en miniatura de líneas de transmisión y subestaciones (17)-(18), se ha logrado obtener información respecto a la eficiencia del apantallamiento como función del ángulo de apantallamiento. Al aplicar esta información a líneas de extra-alto voltaje, se observa un elevado número de salidas por falla del apantallamiento, mientras que al hacerlo con subestaciones, existe total concordancia entre las predicciones y el número de fallas reales del apantallamiento. Lo mencionado se explica por el hecho de que el número de descargas a una subestación de tamaño medio, es por lo menos de un orden de magnitud menor que el número de descargas a una línea de transmisión de longitud promedio. Por lo tanto, para acumular datos confiables relativos a fallas del apantallamiento en subestaciones, se deberá considerar un tiempo de observación considerablemente mayor. Por ejemplo, si una subestación apantallada es impactada por una descarga cada año, y si una de cada cien descargas provoca la falla del apantallamiento, siendo la exposición del uno por ciento, entonces puede preverse que ocurrirá una falla del apantallamiento cada cien años. Por otro lado, si cada kilómetro de línea de transmisión intercepta una descarga cada año, siendo la exposición también del uno por ciento, una línea de cien kilómetros experimentará una fa-

lla del apantallamiento cada año (1).

En el presente capítulo se presenta una útil guía de ingeniería para la rápida determinación del sistema de apantallamiento de subestaciones modernas, bajo las consideraciones del modelo analítico descrito en el capítulo anterior y los logros de tipo teórico y experimental de Linck (1).

3.2 CALCULO DEL RIESGO DE FALLA DEL APANTALLAMIENTO

Este cálculo se realiza según el método descrito por Linck (1). Considérese un área A sobre un plano horizontal, con un cable de guardia colocado en su centro, siendo X la distancia entre la proyección del conductor sobre el plano y el borde del área.

Considérese, además, un punto T (Fig. 3.1) localizado a una altura h sobre un plano horizontal (donde T podría ser el punto más alto de una torre o un punto sobre un conductor horizontal) y una descarga vertical de corriente IP . Es posible, entonces, evaluar las distancias críticas de arqueo a tierra, (r_{sg}), y al punto T , (r_s). El área efectivamente protegida por el componente T contra descargas atmosféricas, es proporcional a la cuerda AB de longitud media XP . Por lo tanto, una descarga que desciende sobre el área A , será atraída

al componente T si se aproxima dentro de una distancia (3):

$$XP = \sqrt{r_s^2 - (r_{sg} - h)^2}, \text{ si } r_{sg} > h;$$

(3.1)

$$\text{y } XP = r_s, \text{ si } r_{sg} \leq h$$

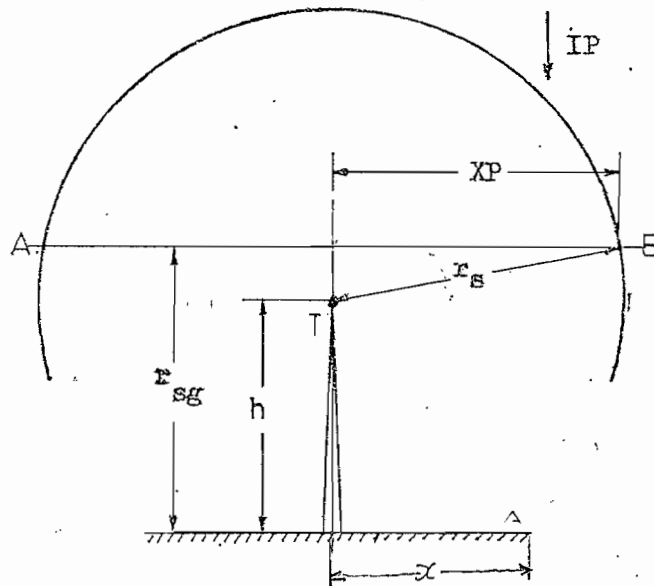


Fig. 3.1 Modelo analítico para el cálculo de la zona de protección.

Nótese que en general:

$$XP = f(r_s, h)$$

$$= f(IP, h)$$

Ya que las distancias críticas de arqueo están relacionadas con la corriente probable de la descarga. Nótese, además, que a medida que la magnitud de corriente de la descarga o la altura de la estructura aumenta, el valor de XP aumenta.

El área apantallada por el punto T contra descargas de corriente IP es (3):

$$AP = K_2(XP)^{K_1} \quad (3.2)$$

Donde K_1 y K_2 son constantes determinadas por la forma del área AP; es decir, dependen del tipo de estructura que se considere.

Para una estructura vertical (torre, mástil), $K_2 = \pi$ y $K_1 = 2$; para un conductor horizontal (cable de guardia), $K_2 = 2L'$ (donde L' es la longitud del cable de guardia) y $K_1 = 1$.

Si $XP < X$, y por tanto $Ap < A$, las descargas de corrien-

te IP que descienden sobre el área A-Ap, no serán atraídas al conductor de guardia y constituirán las fallas del apantallamiento en el área A.

Las magnitudes de corriente de las descargas varían dentro de un amplio rango (Fig. 2.1). Para corriente con amplitudes I_1, I_2, \dots, I_m , distancias críticas de arqueo R_1, R_2, \dots, R_m , y probabilidades de ocurrencia P_1, P_2, \dots, P_m , existen distancias máximas desde el conductor de guardia X_1, X_2, \dots, X_m , más allá de las cuales las descargas sobrepasarán el conductor de guardia. La suma de estas descargas al plano dentro del área A y no interceptadas por el conductor de guardia constituyen el número total de fallas del apantallamiento en el área A (1).

El número de fallas del apantallamiento por año, esto es, el régimen o rata de fallas del apantallamiento, es una función del número total de descargas por año sobre el área A y de la distribución de amplitudes de corriente. Para una densidad de descargas a tierra N_0 por área unitaria A_0 , el número de descargas por año sobre el área A es (1):

$$N_A = N_0 (A/A_0) \quad (3.3)$$

El número de fallas del apantallamiento por año (N_s) en el área A, como una función de la amplitud de la corriente, es:

$$N_s = \frac{N_o}{A_o} \left[A - \sum_{n=1}^{n=m} (A_n \cdot P_n) \right] \text{ fallas del apantallamiento por año} \quad (3.4)$$

Empleando las expresiones (2.5), (3.1) y (3.2), se llega a la siguiente relación:

$$N_s = \frac{N_o}{A_o} \left[A - \int_{I_{\min}}^{I_a} K_2 (7.1 \times I^{0.75})^{K_1} h'(I) dI - \int_{I_a}^{I_{\max}} K_2 \left\{ h(2 \times 7.1 \times I^{0.75} - h) \right\}^{K_1/2} h'(I) dI \right] 10^{-6} \quad (3.5)$$

En donde $h'(I)$ es la función densidad de probabilidad de magnitudes de corriente definida según la expresión (2.3); los límites I_{\min} e I_{\max} se obtienen de la distribución de AIEE (Fig. 2.1), e I_a es dependiente de h (ver expresiones (2.5) y (3.1)).

En la expresión (3.5), N_o está expresada en descargas/ Km.^2 por año, A en m^2 , K_2 (para cables de guardia) y h en metros.

El riesgo de falla del apantallamiento, se define numéricamente por (1):

$$YA = 1/Ns, \text{ años por falla del apantallamiento} \quad (3.6)$$

La exposición del área A, a fallas del apantallamiento es:

$$EA = \frac{Ns}{NA} \times 100, \text{ por ciento.} \quad (3.7)$$

3.7 PROGRAMA DIGITAL

Utilizando las relaciones del numeral anterior y aquellas definidas en el modelo analítico del Capítulo II, se desarrolla en el presente trabajo, un programa digital que permite diseñar el sistema de apantallamiento de subestaciones bajo diferentes exigencias de confiabilidad.

El manual de uso del programa se presenta en el Anexo 1, de acuerdo a las normas establecidas en la Escuela Politécnica Nacional.

3.4 EVALUACION DE RESULTAOS

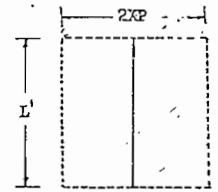
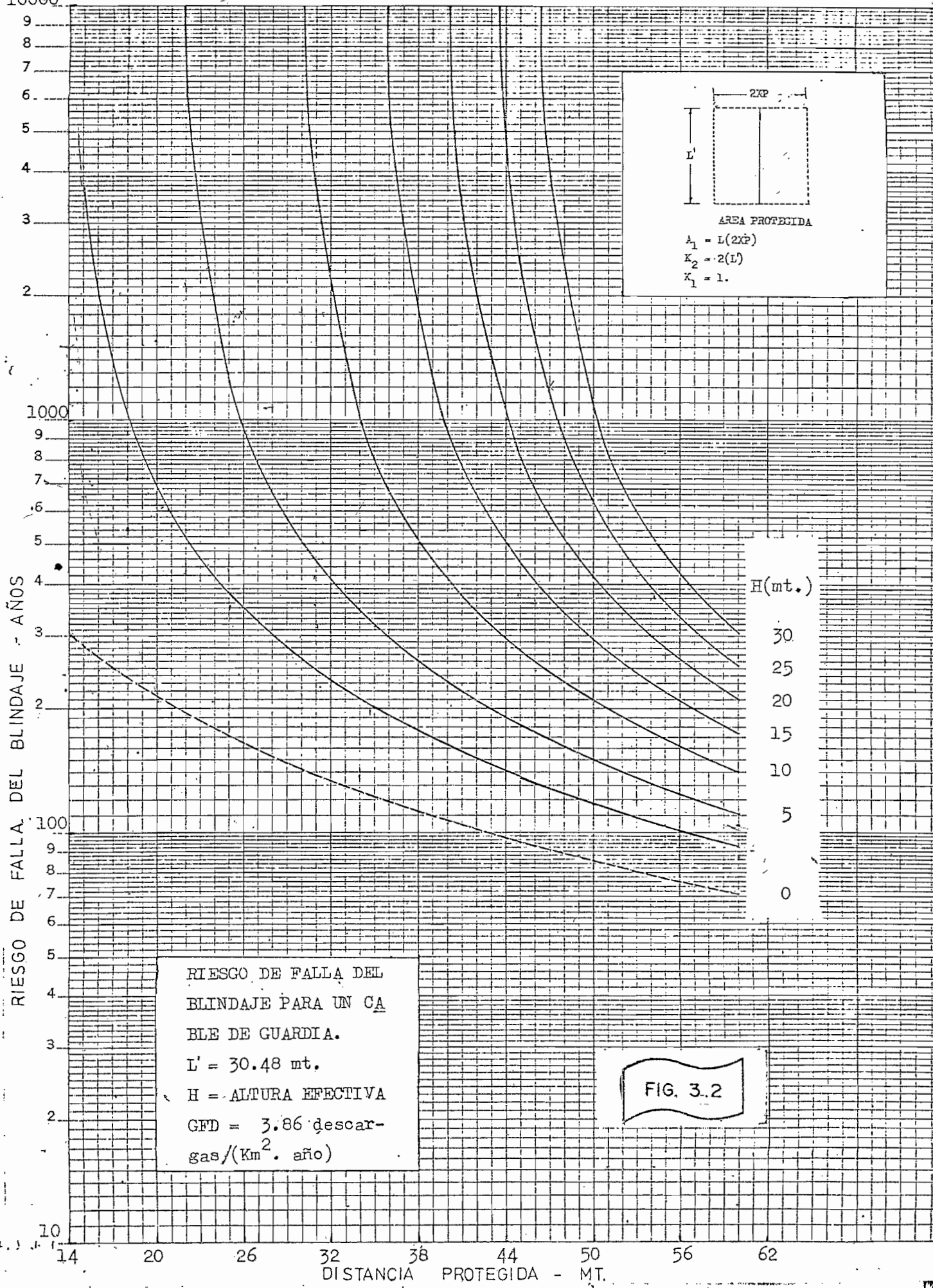
Los resultados entregados por el computador se incluyen en el manual de uso del programa y, además, se han representado en forma gráfica. La Fig. (3.2) corresponde a los re-

sultados obtenidos para un cable de guardia horizontal de 30.48 m. (100 pies) de longitud, y la Fig. (3.3) para un mástil vertical. En ambos casos, la densidad de descargas a tierra se asumió $N_0=3.86$ descargas/ Km.^2 (10 descargas/ milla^2) por año, que corresponde a un nivel isoceráunico $NI = 25$.

Para otros niveles isoceráunicos T' , en el rango de 25 a 55, se recomienda extrapolación lineal. Toda vez que el riesgo de falla del apantallamiento es directamente proporcional a la densidad de descargas a tierra, el riesgo de falla será inversamente proporcional al nivel isoceráunico. En consecuencia, para aplicar las Figuras (3.2) y (3.3) para valores $T' > 25$, el riesgo de falla del apantallamiento deberá ser ajustado con la proporción $25/T'$ (1).

En la Fig. (3.4) se presentan las curvas de la altura efectiva como función de la distancia protegida, para diferentes riesgos de falla del apantallamiento. Nótese que, para una misma altura efectiva, la distancia protegida aumenta a medida que aumenta el riesgo de falla aceptado.

En el Anexo 1 se presentan curvas adicionales que abarcan una gama más amplia de valores.



AREA PROTEGIDA

$$A_1 = L(2XP)$$

$$K_2 = 2(L)$$

$$K_1 = 1.$$

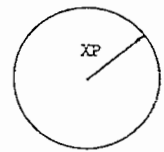
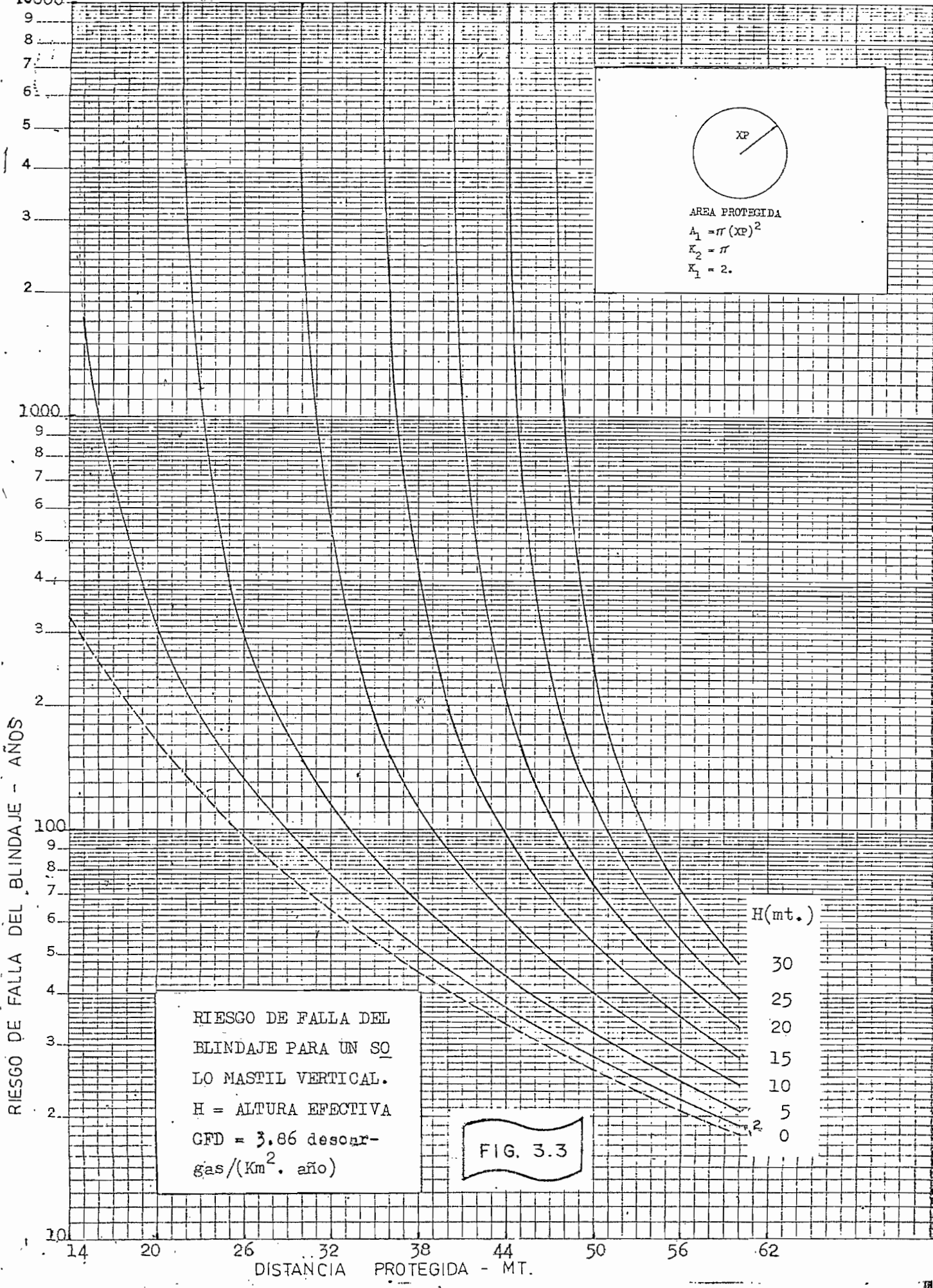
RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE - AÑOS

H(mt.)

RIESGO DE FALLA DEL
BLINDAJE PARA UN CA
BLE DE GUARDIA.
L' = 30.48 mt.
H = ALTURA EFECTIVA
GFD = 3.86 descar-
gas/(km² · año)

FIG. 3.2

DISTANCIA PROTEGIDA - MT.



AREA PROTEGIDA
 $A_1 = \pi (XP)^2$
 $K_2 = \pi$
 $K_1 = 2.$

RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE - AÑOS

H(mt.)
 30
 25
 20
 15
 10
 5
 0

RIESGO DE FALLA DEL
 BLINDAJE PARA UN SO
 LO MASTIL VERTICAL.
 H = ALTURA EFECTIVA
 GFD = 3.86 descar-
 gas/(Km². año)

FIG. 3.3

DISTANCIA PROTEGIDA - MT.
 14 20 26 32 38 44 50 56 62

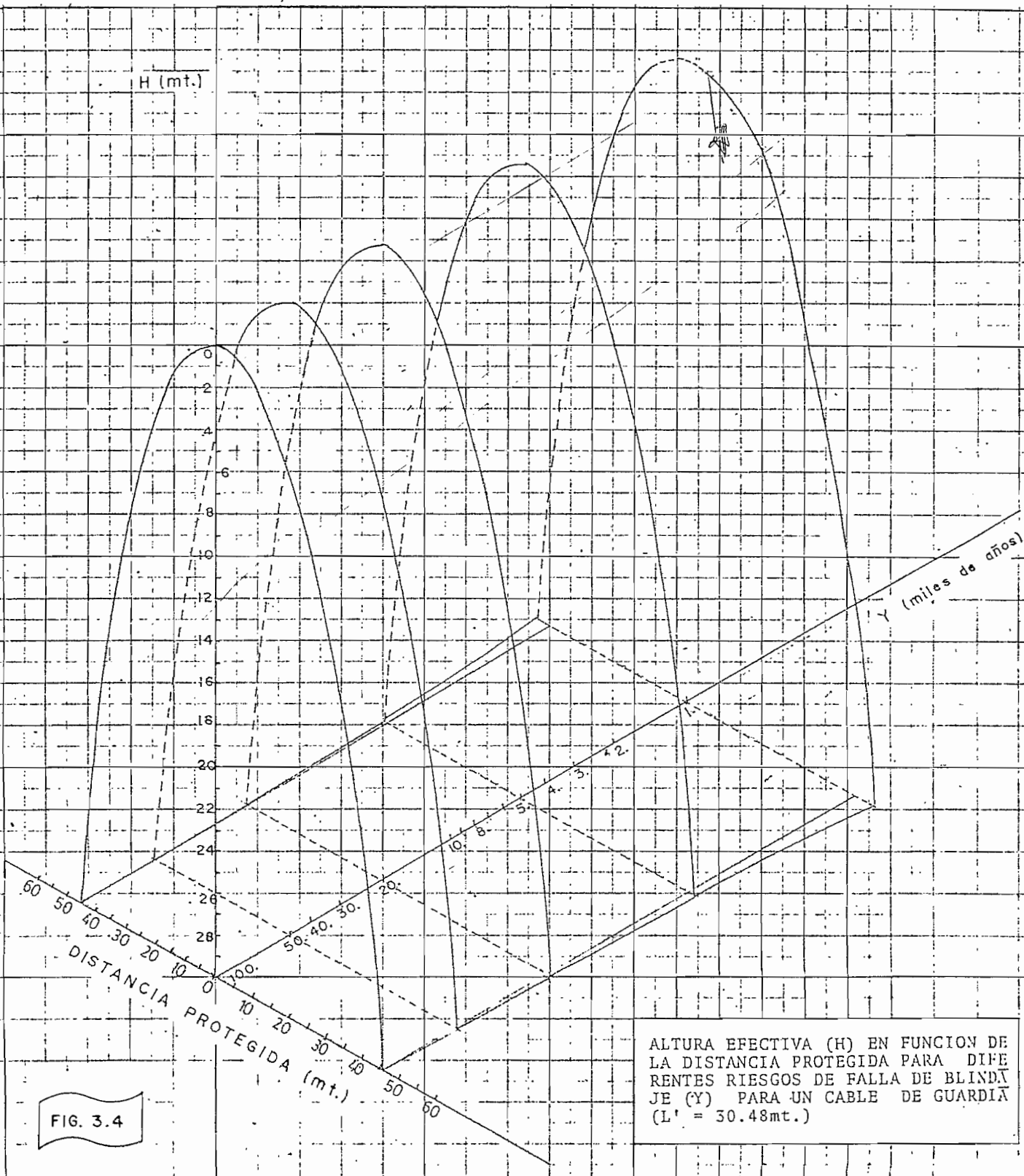


FIG. 3.4

ALTURA EFECTIVA (H) EN FUNCION DE LA DISTANCIA PROTEGIDA PARA DIFERENTES RIESGOS DE FALLA DE BLINDAJE (Y) PARA UN CABLE DE GUARDIA (L' = 30.48mt.)

3.4.1 Análisis de la zona de protección

Los métodos anteriores de diseño del apantallamiento, estuvieron basados normalmente en el concepto de zonas o ángulos de protección. Aunque esta aproximación no toma en cuenta la variación de la zona de protección con la amplitud de la corriente de la descarga (como resultado del concepto de distancia crítica de arqueo), provee una técnica útil para un diseño preliminar. Según Sargent (3), el ángulo de protección de una estructura de altura h (es decir, una torre de altura h o un cable de guardia a una altura h pies sobre tierra), puede calcularse como: ✓

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{50.8}{h^{0.707}} \quad (3.8)$$

Y, por lo tanto, el área protegida puede ser expresada como:

$$A = \pi (50.8 \times h^{0.293})^2 \quad (3.9)$$

En la Tabla (3.1) se compara la zona protegida calculada mediante la ecuación (3.8), la obtenida por la simulación Monte Carlo y la determinada mediante el programa digital reportado en este trabajo (para un riesgo de falla del apantallamiento de 50 años), indicando excelente concordancia.

TABLA 3.1

ZONAS DE PROTECCION DE ESTRUCTURAS ALTAS

| ESTRUCTURA | ALTURA SOBRE TIERRA (m.) | ZONA DE PROTECCION A NIVEL DE TIERRA (m.) | | |
|------------|--------------------------|---|-------------------|---------------------------|
| | | SIMULACION MONTE CARLO | CALCULO Ec. (3.8) | REPORTADO EN ESTE TRABAJO |
| Torre | 15 | 43 | 49 | 51 |
| | 30 | 56 | 60 | 60 |
| | 45 | 68 | 67 | 66 |

* Nótese que el ángulo de protección es función de la altura de la torre (3). La zona de protección (radio a nivel de tierra para torres, y ancho a cada lado del cable para cables de guardia) es una zona promedio, es decir, la zona estimada será optimista para corrientes bajas y pesimista para corrientes altas.

En la Fig. (3.5) se representan las curvas del número de descargas por año a una torre individual como función de la altura de la torre, indicando gran concordancia entre la obtenida a través de la ecuación (3.9) y aquella entregada por el programa reportado en este trabajo.

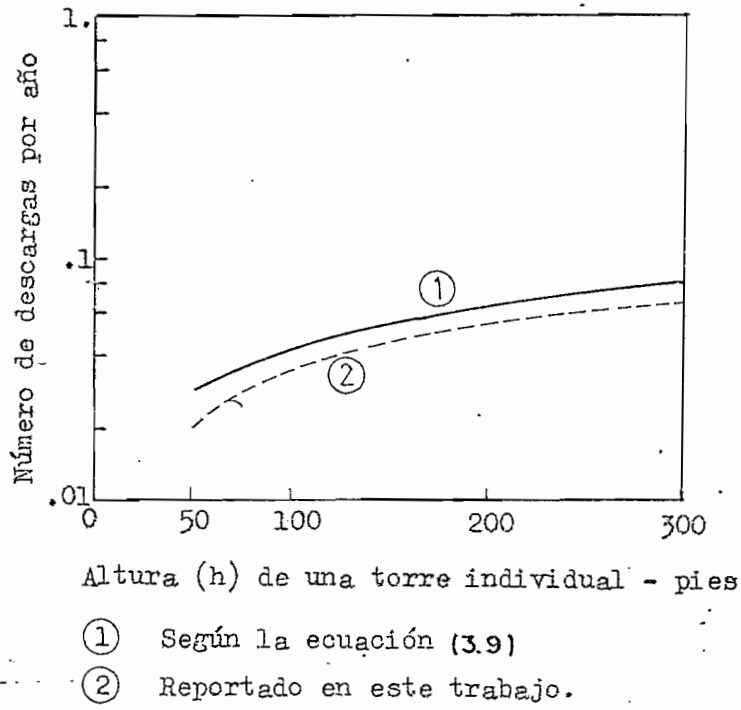


Figura 3.5

Descargas por año a una torre individual

3.5 PROCEDIMIENTO A SEGUIRSE PARA EL DISEÑO

A fin de seleccionar el apantallamiento más adecuado, deberá considerarse el grado de confiabilidad que se desea dar a la subestación, tomando en cuenta un balance de tipo económico entre el costo del esquema de protección y las pérdidas probables resultantes de la falla de aquél.

Existen varios factores que influyen en la decisión relativa al método de apantallamiento (1):

- a) Selección de conductores de apantallamiento horizontales; requisitos de tipo eléctrico, mecánico y estético.
- b) Altura del conductor de apantallamiento sobre tierra y altura efectiva sobre el equipo de la subestación.
- c) Número y localización preferida de los conductores de apantallamiento, incluyendo sus soportes.

Toda vez que estos factores están interrelacionados, serán necesarios varios intentos hasta lograr un diseño de apantallamiento óptimo. La referencia (1) propone el siguiente procedimiento:

1. Especificar el área total de la subestación A, \checkmark aproximadamente por un rectángulo de longitud L, ancho W y riesgo de falla del apantallamiento Y.v.
2. Dividir el área A en n áreas iguales A_1 . \checkmark
3. Determinar el riesgo de falla del apantallamiento para el área A_1 , como: \checkmark

$$Y_i = (A/A_1) Y = nY \text{ años.} \quad (3.10)$$

4. Asumir que cada área A_1 está protegida por un conductor de apantallamiento (Fig. (3.2) para cables de guardia y Fig. (3.3) para mástiles). \checkmark
5. Determinar la distancia protegida XP para el área A_1 , de acuerdo con las Figuras (3.2) o (3.3):

$$\text{Para cables de guardia: } XP = A_1/(2L') \text{ (m.)} \quad (3.11)$$

$$\text{Para mástiles: } XP = \sqrt{A_1/\Pi} \text{ (m.)} \quad (3.12)$$

6. Conocidos Y_1 y XP, la altura efectiva (H) del conductor de apantallamiento, puede obtenerse de las Figuras (3.2) o (3.3).
7. a) Para un cable de guardia de longitud unitaria 30.48 m. (100 pies), (Fig. (3.2)), el número total de cables de guardia paralelos de longitud L (o W), es $30.48 n/L$ (o $30.48 n/W$). La

distancia entre cables de guardia es $2XP$, y entre los cables de guardia exteriores y los bordes de la subestación, la distancia protegida es XP .

- b) Para conductores de apantallamiento verticales (Fig. (3.3)), el número total de mástiles es n . Debido a la forma circular del área protegida por un mástil, el área total protegida depende de la forma seleccionada para las áreas unitarias A_1 .

Cuando se consideran diferentes grados de apantallamiento para áreas adyacentes A_1, A_2, \dots, A_n , los riesgos de falla del apantallamiento se calculan individualmente. El riesgo de falla del apantallamiento total para el área A , se calcula por medio de la expresión (1):

$$Y = (1/Y_1 + 1/Y_2 + \dots + 1/Y_n)^{-1} \quad (3.13)$$

$$\text{Siendo } A = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

El procedimiento descrito se aplicó a la Subestación Quevedo del Sistema Ecuatoriano, y se obtuvo los resultados que se presentan en el Capítulo V.

3.6 EFFECTO DE LAS DESCARGAS ORIGINADAS CERCA DE LOS BORDES EXTERIORES DE LA SUBESTACION

Si se colocan hilos de guardia o mástiles a una distancia XP del borde de la subestación, el equipo localizado cerca de los bordes del área protegida, está sujeto a una exposición mayor que la aceptada a las descargas que inciden sobre esta área. Para subestaciones conectadas a alimentadores aéreos, esta exposición adicional es de menor importancia debido al apantallamiento proporcionado por dichos alimentadores. Sin embargo, cuando existe equipo vulnerable en esta zona, y no está apantallado por otros objetos, es recomendable colocar conductores de apantallamiento sobre la línea de los bordes (1).

3.7 COMPARACION CON EL METODO CONVENCIONAL

En el pasado, los principios para el apantallamiento de subestaciones, estuvieron basados en los resultados de experimentos en laboratorios, y el criterio de la exposición del 0.1% fue adoptado ampliamente como una buena práctica; el correspondiente ángulo de apantallamiento es de aproximadamente $\alpha = 60^\circ$ entre cables de guardia, y $\beta = 45^\circ$ al equipo situado al borde de la subestación. Sin embargo, al aplicar esta información a líneas de extra-alto voltaje, en don-

de se dispone de estructuras mucho más altas, se presentan múltiples problemas; por ello se han sugerido ángulos de apantallamiento menores, $\alpha = 45^{\circ}$ y $\beta = 30^{\circ}$; reemplazando el criterio de la exposición del 0.1% por el del 1%, toda vez que representa una estimación más realista (1).

En la referencia (1) se presenta un análisis comparativo de los diferentes criterios empleados para el diseño del apantallamiento de subestaciones, usando tanto el método convencional como el reportado en este trabajo. Se ha considerado una densidad de descargas a tierra de 3.86 descargas/Km.² por año y se ha omitido el efecto de las descargas originadas cerca de los bordes exteriores de la subestación; las áreas protegidas A se asumen como cuadrados, con cables de guardia de igual longitud dispuestos en paralelo y a una altura efectiva $H = 18$ m. sobre el equipo de la subestación cuya altura es de $H_0 = 12$ m.

De acuerdo a los resultados representados en la Figura (3.6), el riesgo de falla del apantallamiento estimado según el criterio de la exposición del 0.1%, es muy optimista comparativamente con aquel que corresponde a la técnica electrogeométrica. Nótese que para subestaciones cuyas áreas protegidas son del orden de 100 acres (451.000 m.²), la frecuencia de fallas del apantallamiento es tan alta que no puede to-

lerarse un error grande en las predicciones.

Para el diseño del apantallamiento mediante el esquema $45^{\circ}/30^{\circ}$, una exposición asumida del 1% se traduce en una estimación conservativa, puesto que predice una falla del apantallamiento en 65 años para una subestación de 100 acres, mientras que la técnica electrogeométrica predice una falla en 150 años (1).

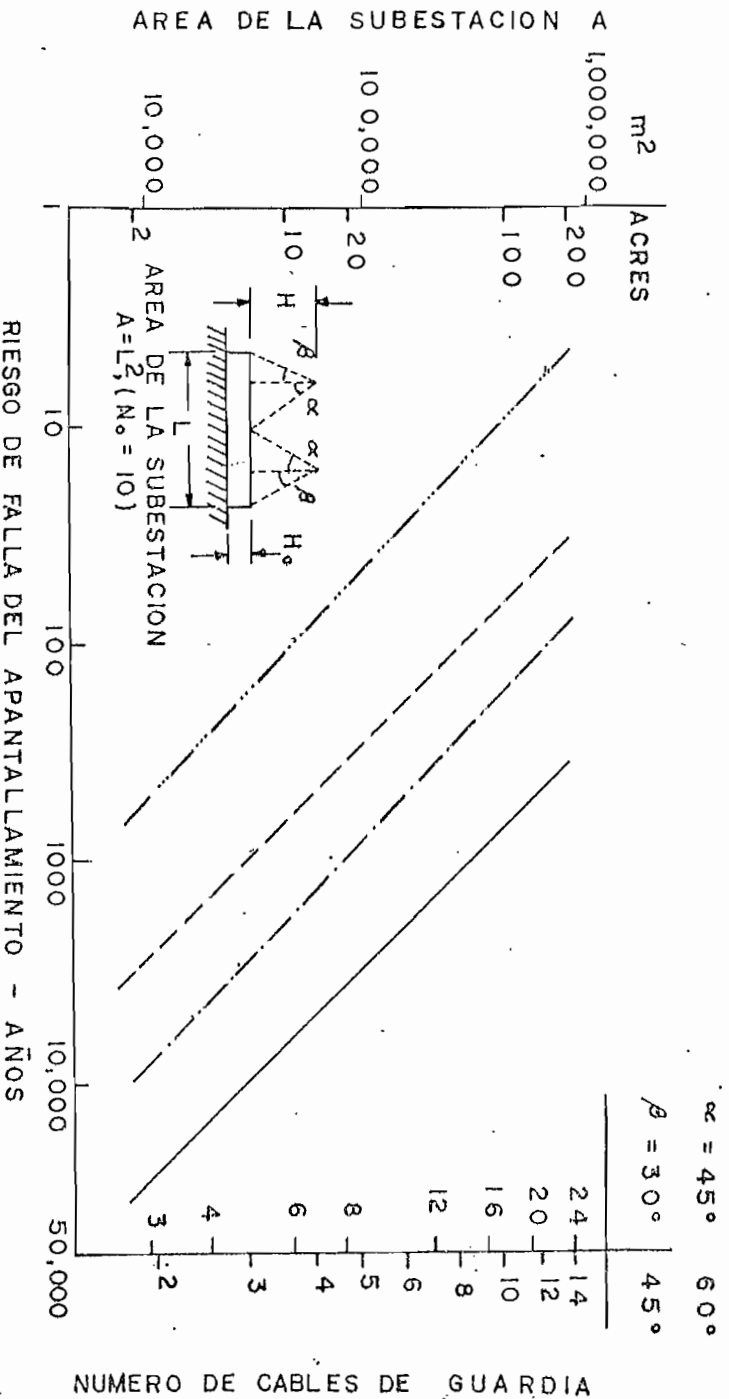


Figura 3.6 Comparación del riesgo de falla del apantallamiento
Método convencional: ———
Exposición 0.1%
Nuevo método: - - - - -
Exposición 1.0%
Esquema 60°/45°
Esquema 45°/30°

C A P Í T U L O I V

SIMULACION DIGITAL DEL COMPORTAMIENTO DE SUBESTACIONES CONSIDERANDO EL EFECTO DE LAS DESCARGAS ATMOSFERICAS

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La descarga atmosférica es uno de los fenómenos meteorológicos que más afecta a un sistema de potencia (6). Es necesario que las salidas del sistema se reduzcan a un mínimo a un costo razonable y que, además, la reducción se haga durante la etapa de diseño. Para lograr esto, se requiere aplicar un método que prediga el comportamiento del sistema en condiciones similares a las que se presentarán durante su operación. Es decir, si se dispone de algún método para estimar el número más probable de salidas que tendrá el sistema debido a descargas atmosféricas, se podrán analizar diversas alternativas, hasta encontrar aquellos parámetros del sistema que produzcan el mínimo de salidas.

Las variables más importantes que intervienen en el problema de predicción del comportamiento de la subestación son de naturaleza aleatoria. Así, la corriente de las descargas varía aleatoriamente tanto en su magnitud como en los

tiempos de frente. El punto de incidencia de la descarga, así como el comportamiento de los aisladores, también son aleatorios. El número de días tormenta al año no es un valor constante sino más bien cambia de un año a otro. La magnitud y polaridad del voltaje de 60 Hz. puede en un instante dado incrementar la sobretensión existente, etc. (6).

Como consecuencia del comportamiento de las variables, el problema planteado es de naturaleza aleatoria, modelándose las variables con sus distribuciones de probabilidad; el método que lo resuelva, debe manejar la combinación de las probabilidades que entran en juego, así como la interacción de las descargas y la subestación.

Las salidas del sistema nunca son deseables, aunque algunas son inevitables (9). Por lo tanto, debe especificarse un número aceptable de salidas durante la etapa de diseño a fin de que todo tipo de evaluación se realice según esta especificación.

El modelo electrogeométrico ha sido desarrollado como una técnica mejorada para evaluar la efectividad del apantallamiento de líneas de transmisión y ha sido restringido a un planteamiento bidimensional (2). Esta técnica se aplica aquí al problema del apantallamiento de subestaciones consi-

derando un análisis tridimensional.

Antes de que la técnica desarrollada pueda ser aplicada al diseño del apantallamiento, es necesario demostrar la validez del método mediante una correlación de los resultados calculados, con datos de campo. Sin embargo, los datos de campo disponibles son insuficientes para calibrar completamente el modelo, de ahí que la tendencia ha sido aplicar los valores teóricos de Brown y Whitehead para los cálculos iniciales, toda vez que se traducen en una correlación satisfactoria entre resultados analíticos y datos de campo (2).

4.2 EL METODO DE MONTE CARLO APLICADO AL MODELO ELECTROGEOMETRICO

Se utiliza el método de Monte Carlo para seleccionar al azar los valores de las variables aleatorias que entran en juego de acuerdo con sus distribuciones de probabilidad. El conjunto de los parámetros escogidos al azar se aplican al modelo electrogeométrico (20). Este modelo determina en qué punto incidió la descarga sobre la subestación. Además, se calcula el número de descargas a la subestación, se evalúa la posición de los cables de guardia de los mástiles o de ambos, al calcular las salidas por falla del apantallamiento.

4.3 SISTEMA MODELADO

El sistema modelado -usando esta técnica- consiste de la subestación y terreno circundante. Se asume que la subestación está localizada en la mitad de un plano horizontal de una milla cuadrada (2). La subestación consiste de barras colectoras y equipo (transformadores, disyuntores, seccionadores, etc.) representadas por un plano horizontal de altura y dimensiones apropiadas, cables de guardia, mástiles, alimentadores aéreos y torres.

4.4 FUNDAMENTOS DE LA DESCARGA ELECTRICA

4.4.1 Generalidades

Como se mencionó, las salidas de un sistema dependen de combinaciones estadísticas de ciertos eventos, los que se representan en términos de las siguientes probabilidades (9):

1. La probabilidad de que una tormenta eléctrica ocurra sobre el sistema modelado, en un día cualquiera.
2. La probabilidad de que una descarga de la tormenta eléctrica ocurra sobre la subestación.

3. La probabilidad de que la descarga impacte un punto particular del sistema modelado, esto es, cables de guardia, mástiles, barras colectoras, equipo de la subestación, etc.
4. La probabilidad de que la descarga tenga cierta magnitud de corriente.

Evidentemente, existen otras probabilidades involucradas en el problema; sin embargo, lo presentado es suficiente para demostrar su naturaleza aleatoria.

4.4.2 Parámetros que intervienen en la computación de cada descarga

En la simulación del comportamiento del apantallamiento de una subestación, se requieren los siguientes parámetros para computar cada descarga incidente, y son seleccionados al azar de las distribuciones apropiadas (2):

- a) Magnitud de la corriente de la descarga (I).
- b) Probable punto de incidencia a tierra (X_g, Y_g) de la descarga, independiente de los componentes del sistema modelado, Fig. (2.2).

- c) Dimensiones y localización de los componentes del sistema modelado.

Los cálculos se realizan en base a estos parámetros, repitiéndose el procedimiento completo hasta alcanzar resultados que tengan validez, ya que, el Método de Monte Carlo simula el comportamiento del sistema, sujeto a las suposiciones hechas en los cálculos y a la precisión de los datos de entrada (2).

En la referencia (7) se trata ampliamente sobre las funciones probabilísticas que intervienen en la simulación, de modo que, en los siguientes literales serán presentados de una forma muy sucinta.

4.4.3 Función probabilidad acumulada de magnitudes de corriente de las descargas (7)

Mediante un ajuste polinómico por el método de los mínimos cuadrados de la curva propuesta por AIEE (Fig. 2.1), se obtiene la siguiente relación:

$$I = (10)^{f(x)}$$

$$\text{Donde: } f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

Siendo:

$$a_0 = 0.286561$$

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

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

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

4.4.4 Número de descargas en un día de tormenta eléctrica (7)

La probabilidad de que caigan N descargas en un subintervalo Δ , se evalúa mediante la distribución de Poisson, según las siguientes relaciones:

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

$$y: \quad \lambda = C (AE)^2$$

Donde el subintervalo Δ representa un día de tormenta, λ el número promedio de descargas incidentes sobre una superficie cuadrada cuyo lado es AE (expresado en Km.), y C la constante definida según la expresión (2.1).

4.4.5 Determinación del elemento al cual impacta la descarga

En el Apéndice 1 se presenta el desarrollo matemático

completo de las ecuaciones que representan las líneas de influencia de los diferentes componentes del sistema modelado (plano a protegerse de la subestación, cables de guardia, mástiles e influencia de tierra), lo que permite -mediante el empleo del modelo electrogeométrico- determinar el punto de incidencia final de la descarga.

4.5 PROGRAMA DIGITAL

Bajo las consideraciones expresadas en los numerales anteriores, se ha desarrollado en el presente trabajo un programa digital que permite hacer estudios relativos al comportamiento de subestaciones en operación o en proyecto. Para ello, se emplea la técnica de simulación de Monte Carlo y el modelo electrogeométrico tridimensional, puesto que esta técnica de muestreo estadístico -debido a la naturaleza aleatoria de las variables que entran en juego-, resulta ser la más adecuada para resolver este tipo de problemas (5).

Este problema digital, es una adaptación del programa presentado en la referencia (7), el cual está enfocado al problema del apantallamiento de líneas de transmisión bajo las consideraciones del modelo electrogeométrico bidimensional.

C A P I T U L O VEJEMPLO DE APLICACION5.1 DISEÑO DEL APANTALLAMIENTO

El nuevo método de diseño del apantallamiento de subestaciones reportado en este trabajo, se aplicó a la Subestación Quevedo del Sistema Ecuatoriano, la cual está localizada en una región cuyo nivel isocerámico (NI) se ha estimado en 30 (4.63 descargas/Km.² por año).

En el Apéndice 3 se presentan los planos de la Subestación Quevedo, la cual consta de 3 patios cuyas dimensiones se describen en la Tabla (5.1).

TABLA 5.1

| PATIO | AREA = L x W (m. ²) |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. 230 KV | 183 x 119 |
| 2. Autotransformadores / 138 KV | 183 x 123.5 |
| 3. 69 KV | 89.5 x 82 |

A continuación se presentan, en forma detallada, los resultados obtenidos para el apantallamiento del patio de 230 KV, de acuerdo al procedimiento descrito en el numeral (3.5) del Capítulo III:

- 1) Especificar el área de la subestación A, aproximadamente por un rectángulo de longitud L, ancho W y riesgo de falla del apantallamiento Y:

$$A = 183 \times 119 \text{ m.}^2 = 21.777 \text{ m.}^2$$

Se considera un riesgo de falla del apantallamiento $Y = 100$ años.

- 2) Dividir el área A en n áreas iguales A_1 .

$$\text{Para } n = 18; \quad A_1 = \frac{183 \times 119 \text{ m.}^2}{18} = 1209.8 \text{ m.}^2$$

- 3) Determinar el riesgo de falla del apantallamiento para el área A_1 , como:

$$Y_1 = (A/A_1)Y = nY$$

$$Y_1 = 18 \times 100 = 1800 \text{ años}$$

De acuerdo a lo expresado en el numeral (3.4) del

Capítulo 3, el riesgo de falla del apantallamiento Y_1 , deberá ser corregido para un nivel isoce-
ráunico $NI = 30$, según la expresión:

$$Y_1' = (25/T')Y_1$$

$$Y_1' = (25/30) (1800) = 1500 \text{ años}$$

- 4) Asumir que cada área A_1 está protegida por un conductor de apantallamiento, según las Figuras (3.2) y (3.3), para cables de guardia y mástiles, respectivamente. Estas figuras se presentan en forma más detallada en el Anexo 1.
- 5) Determinar la distancia protegida XP para el área A_1 , de acuerdo con las Figuras (3.2) y (3.3):

a) Para cables de guardia: $XP = \frac{A_1}{2L'} \text{ (m.)}$

Siendo $L' = 30.48$ metros

Tenemos que: $XP = \frac{1209,8}{2(30.48)} \text{ m.} = 19.8 \text{ m.}$

b) Para mástiles: $XP = \sqrt{A_1 / \pi}$

$$XP = \sqrt{\frac{1209,8}{3.1416}} \text{ m.} = 19.6 \text{ m.}$$

6) Conocidos Y_1 y XP , la altura efectiva H del conductor de apantallamiento, puede obtenerse de las Figuras (3.2) y (3.3).

a) Para cables de guardia. Para $Y_1 = 1500$ años y $XP = 19.8$ m., se obtiene de la Fig. (3.2) un valor de $H = 3.0$ m.

b) Mástiles. Para $Y_1 = 1500$ años y $XP = 19.6$ m. se obtiene de la Fig. (3.3) un valor de $H = 3.7$ m.

7) a) El número total (NC) de cables de guardia de longitud L (o W) es $30.5 n/L$ (o $30.5 n/W$):

Número total (NC) de cables de guardia de longitud L :

$$NC = \frac{30.5 n}{L} = \frac{30.5 (18)}{183} = 3$$

$$\begin{aligned} \text{Distancia entre cables de guardia} &= 2 XP \\ &= 2 (19.8) \text{ m.} = 39.6 \text{ m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Distancia entre los cables de guardia exteriores y los bordes de la subestación} \\ &= XP = 19.8 \text{ m.} \end{aligned}$$

b) El número total de mástiles (NM) es $n = 18$.

En la Tabla (5.2), se resumen los resultados del diseño del apantallamiento de los tres patios de la subestación. Se han considerado varios valores de n en los tres casos, a fin de tener varias alternativas de solución, lo que permite a su vez, sacar conclusiones respecto al apantallamiento más adecuado.

Nótese, además, que se han considerado diferentes riesgos de falla del apantallamiento para los tres patios adyacentes, lo que significa que, de acuerdo con la expresión (3.13) del Capítulo 3, el riesgo de falla del apantallamiento para la subestación en su conjunto será:

$$Y = (1/Y_1 + 1/Y_2 + 1/Y_3)^{-1} \text{ años}$$

$$Y = (1/100 + 1/75 + 1/60)^{-1} = 25 \text{ años.}$$

5.2 EVALUACION DEL APANTALLAMIENTO POR EL METODO DE MONTE CARLO

Por medio de la experiencia de operación, resulta difícil evaluar los diferentes métodos de protección, a menos que se comparen dos subestaciones idénticas por los diferentes

TABLA (5.2)

RESULTADOS DEL DISEÑO DEL APANTALLAMIENTO DE LA SUBESTACION QUEVEDO

| PATIO | Y (años) | n | Y ₁ (años) (NI=25) | Y ₁ ' (años) (NI=30) | A _{1,2} (m. ²) | CABLES DE GUARDIA | | | MASTILES | | | |
|---------------|-------------|---|----------------------------------|------------------------------------|--|-------------------|-----------|-----|------------|-----------|------|----|
| | | | | | | XP (m.) | H (m.) | NC | XP (m.) | H (m.) | NM | |
| 230 KV | 100 | | 24 | 2400 | 2000 | 907.4 | 14.7 | 1.8 | 4 | 17 | 2.8 | 24 |
| | | * | 18 | 1800 | 1500 | 1209.8 | 19.8 | 3.0 | 3 | 19.6 | 3.7 | 18 |
| | | | 12 | 1200 | 1000 | 1814.8 | 29.8 | 7.2 | 2 | 24 | 5.7 | 12 |
| | | | 6 | 600 | 500 | 3629.5 | 59.5 | >30 | 1 | 34 | 11.8 | 6 |
| 230/138 KV | 75 | | 24 | 1800 | 1500 | 941.7 | 15.4 | 1.7 | 4 | 17.3 | 2.7 | 24 |
| | | * | 18 | 1350 | 1125 | 1255.6 | 20.6 | 3.0 | 3 | 20 | 3.7 | 18 |
| | | | 12 | 900 | 750 | 1883.4 | 30.9 | 6.9 | 2 | 24.5 | 5.7 | 12 |
| | | | 6 | 450 | 375 | 3766.8 | 61.8 | >30 | 1 | 34.6 | 11.7 | 6 |
| 69 KV | 60 | | 6 | 360 | 300 | 1223.2 | 20.1 | 0.6 | 2 | 19.7 | 1.8 | 6 |
| | | * | 3 | 180 | 150 | 2446.3 | 40.1 | 1.5 | 1 | 27.9 | 3.8 | 3 |

* Resultados empleados en el Caso III del numeral (5.2).

Los cables de guardia del patio de 69 KV son de longitud W y los de los otros patios de longitud L, según la Tabla (5.1).

métodos. Aún así, las variaciones de las estaciones del año, obliga a obtener resultados promedios de varios años para cada condición. Si se comparan diferentes subestaciones, los resultados son afectados por las diferencias existentes en el aislamiento, espaciamientos, resistencia de puesta a tierra, nivel isocerámico de la región, etc., todo lo cual dificulta la comparación.

Por ello, en el presente trabajo, se realiza la evaluación de la efectividad del apantallamiento de subestaciones mediante el empleo del programa digital reportado en el Capítulo IV, aplicándolo a la Subestación Quevedo, cuyas características se describieron en el numeral anterior. Se consideran tres casos particulares:

Caso I

Diseño original de acuerdo a los planos proporcionados por INECEL (Apéndice 3).

Caso II

Diseño original reformado; en este caso se han considerado las mismas estructuras del caso anterior, y el apantallamiento se realiza de modo que todo el equipo de la subes-

TABLA (5.3)

RESULTADOS DE LA EVALUACION DEL APANTALLAMIENTO DE LA SUBESTACION QUEVEDO

| CASO. | PATIO | NC | NM | NA (años) | H (m.) | Y (años) | t (seg.) | N |
|-------|------------|----|----|--------------|-----------|-------------|-------------|---|
| I | 230 KV | 27 | 21 | 450 | 19 | 20 | 366 | 1 |
| | 230/138 KV | 22 | 21 | 450 | 15 | 15 | 320 | 3 |
| | 69 KV | 15 | 5 | 450 | 11.5 | 25 | 253 | 1 |
| II | 230 KV | 15 | 0 | 600 | 9 | 17 | 224 | 1 |
| | 230/138 | 12 | 0 | 600 | 15 | 15 | 208 | 3 |
| | 69 KV | 9 | 2 | 600 | 11.5 | 30 | 187 | 1 |
| III | 230 KV | 5 | 0 | 450 | 9 | 80 | 160 | 3 |
| | 230/138 KV | 5 | 0 | 450 | 15 | 70 | 165 | 2 |
| | 69 KV | 3 | 0 | 600 | 11.5 | 50 | 100 | 2 |

NC Número de cables de guardia

NM Número de mástiles

NA Número de años de simulación

N Número de fallas reales del apantallamiento en los NA años de simulación en base al análisis estadístico de los resultados.

H Altura de las barras más altas

Y Riesgo de falla del apantallamiento

t Tiempo de computación por cada 100 años de simulación

5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según los resultados relativos al diseño del apantallamiento, presentados en la Tabla (5.2), se puede prever que, para un mismo riesgo de falla del apantallamiento, a medida que disminuye el número de cables de guardia o de mástiles, aumenta la altura efectiva; en otras palabras, los conductores de apantallamiento deberán ser colocados a mayor altura.

Las varias alternativas presentadas para cada uno de los patios de la subestación, requieren de un análisis de tipo económico con el fin de determinar la alternativa más conveniente, ya que en cada caso se tiene el mismo riesgo de falla, aunque en ciertas ocasiones este criterio podría estar condicionado a exigencias de tipo mecánico y estético. Por ejemplo, en el caso del patio de 230 KV., si se emplean 4 cables de guardia, éstos deberán ser colocados a una altura efectiva de 1.8 m., mientras que un solo cable de guardia requiere ser colocado a una altura efectiva mucho mayor que 30 m., lo cual impone serias limitaciones.

Según las investigaciones de Sargent (3), la distribución de corrientes de la descarga a la torre se inclina mucho más hacia valores más altos de corriente que la distribución al conductor (ver numeral 2.2.2). Esto significa que

-de acuerdo al modelo electrogeométrico y considerando que una torre actúa como un mástil frente a las descargas atmosféricas- la zona protegida por un mástil debería ser mayor que aquella que corresponde a un cable de guardia equivalente y, por tanto, requeriría ser colocado a menor altura. Sin embargo, de acuerdo a los resultados de la Tabla (5.2), esta tendencia se presenta solamente para alturas altas ya que el incremento de la altura del mástil, según lo expresado en el numeral (2.2.2), inclina la distribución progresivamente hacia valores más altos de corriente. Esta característica, junto con la consideración de que el área protegida por un mástil es circular, justifica que, para valores bajos de H , un mástil debe ser colocado a mayor altura que un cable de guardia equivalente.

El diseño presentado en el numero (5.1), está orientado a proveer de apantallamiento efectivo a cada uno de los patios al nivel de sus barras más altas, ya que de esta forma, automáticamente se proporciona apantallamiento efectivo a las barras localizadas en niveles más bajos. Esta alternativa no siempre es la más económica, puesto que cada conductor de apantallamiento debería diseñarse sobre la base de su área específica de apantallamiento; sin embargo, en ciertos casos puede ser necesario, sea por previsión de instalaciones futuras o porque realmente las barras más altas están distri-

buidas a lo largo de toda la subestación. Esta alternativa de solución se presenta en el numeral (5.1) más bien a nivel ilustrativo; sin embargo, los resultados de la Tabla (5.2) pueden ser utilizados con el criterio del área específica de apantallamiento considerando la localización del equipo (Caso II del numeral 5.2).

Al analizar los resultados de la evaluación del apantallamiento por el Método de Monte Carlo (Tabla (5.3)), se observa un comportamiento similar para los Casos I y II, lo cual implica que el diseño original (según los planos de INECEL) asigna una protección excesiva. Nótese que -para el patio de 230 KV. por ejemplo- el Caso I emplea 27 cables de guardia y 21 mástiles, mientras que en el caso II emplea solamente 15 cables de guardia, uno de los cuales es 102 m. más corto que el original (Ver Apéndice 2).

Vale mencionar que la subestación Quevedo no se encuentra totalmente construida en la actualidad; sin embargo, para propósitos del presente ejemplo se ha considerado todo el equipo de los tres patios presentado en los planos (Ver Apéndice 3).

Los riesgos de falla obtenidos para el Caso III son los más satisfactorios, lo cual obedece a las consideraciones

hechas en el diseño (numeral (5.1)); sin embargo, debe tomarse en cuenta que el programa relativo a la evaluación del apantallamiento por el Método de Monte Carlo, está diseñado para proteger toda la subestación (en este caso cada patio) a un mismo nivel. Esto obliga a realizar un análisis estadístico de los resultados a fin de determinar las fallas reales del apantallamiento considerando la localización del equipo existente. Para ello, el programa entrega los datos del punto de incidencia y magnitud de corriente de la descarga en caso de falla del apantallamiento, lo que permite además, determinar las zonas de la subestación más expuestas a las descargas (ver Figuras (5.1), (5.2) y (5.3)). En la Tabla (5.3) se incluyen los resultados del análisis estadístico.

En los casos II y III se colocó cables de guardia adicionales en las líneas de los bordes de la subestación, a fin de evitar la incidencia de descargas directas en esas zonas.

Vale mencionar finalmente que el análisis estadístico de los resultados revela que la mayoría de fallas del sistema de apantallamiento son originados por corrientes bajas. Estas corrientes no producen contorneo (8) y pueden descargarse a través de los pararrayos.

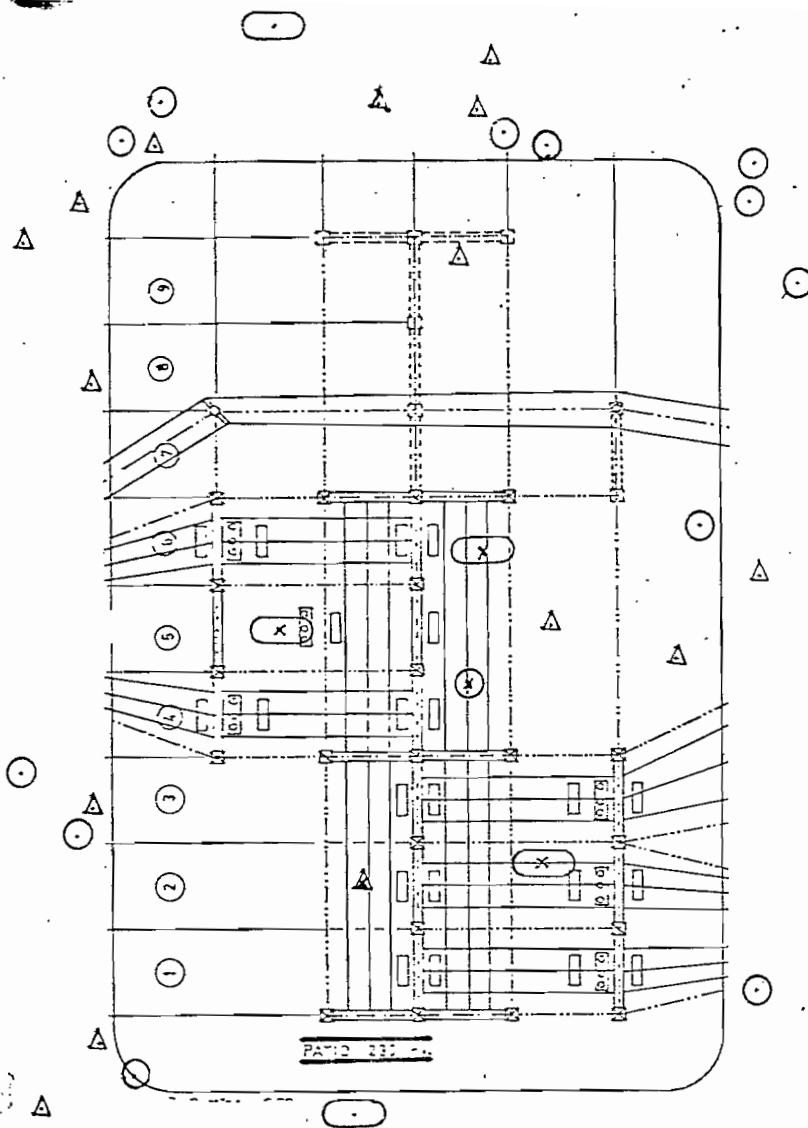

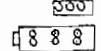

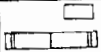




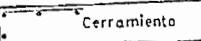




Fig. 5.1 Puntos de incidencia a tierra de las descargas atmosféricas que producen falla del apantallamiento según el programa reportado.

- Caso I
- △ Caso II
- Caso III

⊗ . △ . ⊗

Fallas reales del apantallamiento considerando la localización del equipo.

| LEYENDA : | |
|---|---|
|  Columna con mástil pararrayos | ----- Instalación futura |
|  Disyuntor |  Columna sin mástil pararrayos |
|  Seccionador |  Autotransformadores |
|  Pararrayos | ----- Conductor de Inse 1033.5 hcmx |
|  Divisor capacitativo de potencial | ----- Cable de acero de guardia |
|  Trampa de onda |  Cerramiento |
| |  Terciario y Reactores |
| |  Grupo diesel |

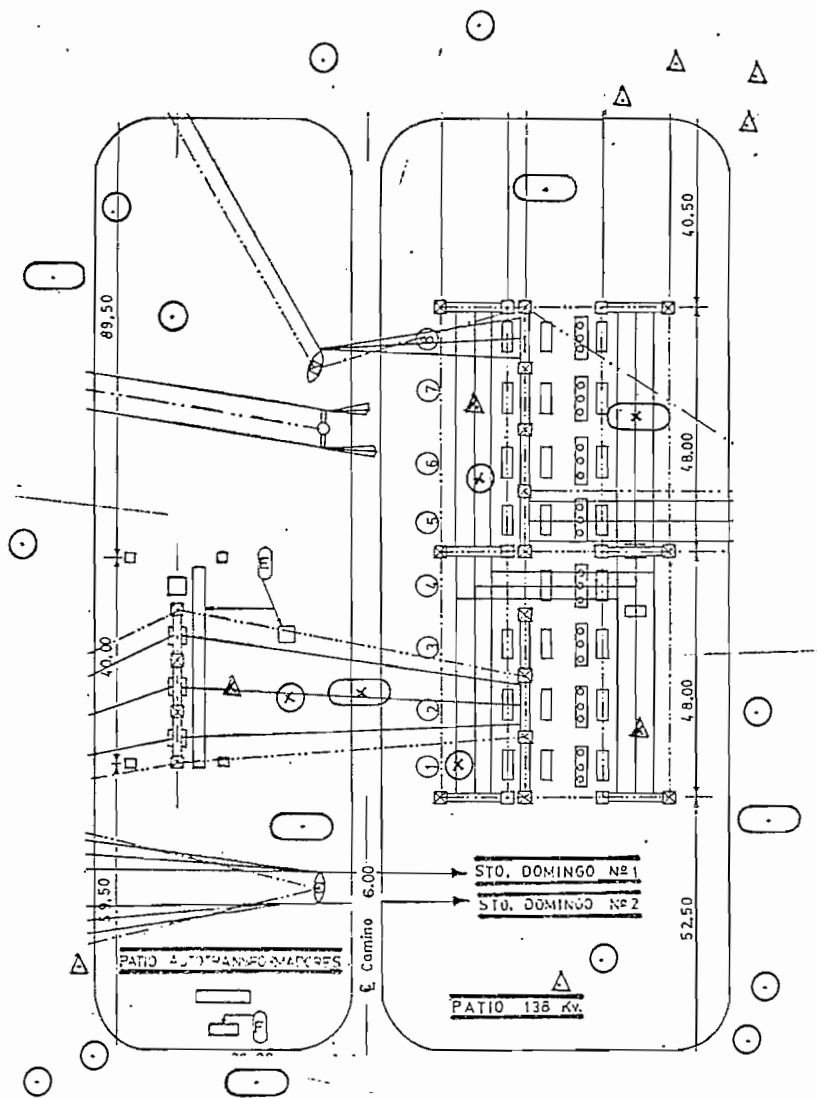


Fig. 5.2 Puntos de incidencia a tierra de las descargas atmosféricas que producen falla del apantallamiento según el programa reportado.

- Caso I
- △ Caso II
- Caso III

⊗ △ ⊗ Fallas reales del apantallamiento considerando la localización del equipo.

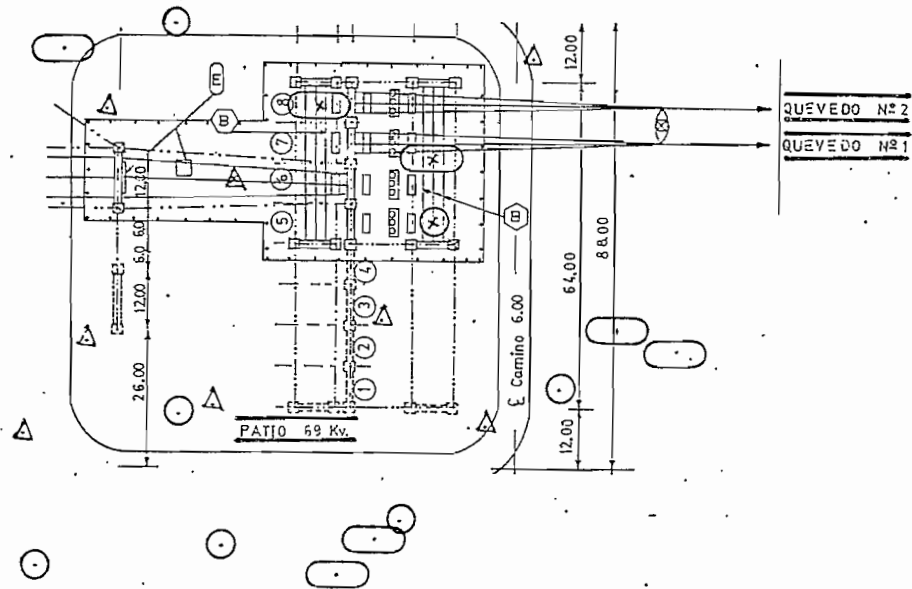


Fig. 5.3 Puntos de incidencia a tierra de las descargas atmosféricas que producen falla del apantallamiento según el programa reportado.

○ Caso I

△ Caso II

○ Caso III

⊗ △ ⊗

Fallas reales del apantallamiento considerando la localización del equipo.

C A P I T U L O V ICONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las medidas efectivas para la protección de subestaciones contra descargas atmosféricas directas, pueden determinarse únicamente con la ayuda de análisis de tipo económico y técnico, considerando la posibilidad de daño del equipo y los costos consiguientes. Los puntos más relevantes relativos al diseño del apantallamiento, pueden resumirse como sigue:

1. Se presenta un método simple, que permite evaluar varias alternativas de solución al problema del apantallamiento de subestaciones.
2. Se considera la influencia de la altura y tipo de conductores de apantallamiento, sobre la distribución de magnitudes de corriente.
3. La zona protegida es función de la altura de los conductores de apantallamiento, así como del riesgo de falla aceptado.
4. La zona protegida aumenta a medida que aumenta la am-

plitud de la corriente de la descarga.

5. Los conductores de apantallamiento deben diseñarse sobre la base de su área específica de protección, toda vez que constituye una medida más económica que el hacerlo sobre la base del nivel más alto de barras. Para ello, se han desarrollado curvas de la altura efectiva de los conductores de apantallamiento como función de la distancia protegida, para diferentes riesgos de falla del apantallamiento. Estas curvas pueden aplicarse para apantallar líneas de transmisión.
6. Cuando existe equipo vulnerable cerca de los bordes del área protegida de la subestación, es recomendable colocar conductores de apantallamiento sobre la línea de los bordes, a fin de evitar la incidencia de descargas directas en esas zonas.
7. Existe un efecto protector adicional de las torres, las cuales actúan como mástiles frente a las descargas atmosféricas y, por otro lado, al existir suficiente número de estructuras, un apantallamiento económico se consigue mediante la instalación de varillas de extensión sobre las torres.

4. A partir de los datos computados, relativos a los puntos de terminación de las descargas y amplitudes de corriente entregados por el programa, es posible colocar conductores de apantallamiento de modo que los aparatos más vulnerables reciban el grado más alto de protección.

5. Como toda técnica de muestreo estadístico, deben considerarse suficientes muestras con el fin de asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos. El número de muestras requerido depende del grado de confiabilidad que se desee asignar a la instalación. En el presente estudio se consideró un promedio de 500 años de simulación para cada caso analizado, es decir, alrededor de 5700 descargas. Esto, según los artículos técnicos consultados, es suficiente para garantizar resultados confiables.

6. Mediante el uso del programa, se podrán hacer estudios relativos al comportamiento del apantallamiento de subestaciones en operación o en proyecto. Cuando los resultados indiquen un índice alto de salidas debidas a falla del apantallamiento, se debe modificar la posición de los conductores de apantallamiento.

7. Para una evaluación completa de los resultados del programa, conviene compararlos contra el índice de salidas reales de la subestación. Desafortunadamente, en nuestro país se dispone de muy poca información en este campo, la cual podría ser de gran utilidad para tener una base de comparación sobre las zonas de protección de los conductores de apantallamiento. Por ello, es prioritario que en el futuro se lleven registros pormenorizados relativos a fallas del apantallamiento, considerando los puntos de incidencia de las descargas, localización del equipo afectado y de los conductores de guardia, lo cual permitirá sacar conclusiones aplicables en nuestro medio.

Según los métodos convencionales, la zona protegida es una zona promedio. Al comparar esta zona con aquella obtenida con el nuevo método reportado en este estudio, se observa excelente concordancia; sin embargo, en este último caso la zona protegida corresponde a un riesgo de falla específico.

El programa relativo a la evaluación del apantallamiento por el Método de Monte Carlo, está diseñado para proteger una subestación a un mismo nivel. Aunque los resultados entregados por el programa permiten determinar las zonas de la subestación más expuestas a las descargas, así como las fallas

reales del apantallamiento, sería interesante que en estudios posteriores se trate de dar mayor versatilidad a este programa, para lo cual se requiere ser capaz de modelar cualquier componente de la subestación (barras, transformadores, disyuntores, etc.), lo que permitirá hacer estudios de comportamiento de una gran variedad de subestaciones, por ejemplo aquellas que constan de varios patios localizados a diferentes niveles. En igual forma, se podrá analizar la influencia de árboles cercanos o de otros objetos. Para cumplir con estas exigencias, se recomienda consultar la referencia (2), en donde se presenta un método elegante para la evaluación completa del apantallamiento de una subestación.

Es importante, por otro lado, que en estos estudios se consideren las consecuencias derivadas de las descargas que penetran el sistema de apantallamiento, tomando en cuenta que las corrientes bajas podrían descargarse a través de los pararrayos y que las corrientes altas podrían provocar daños severos a los equipos. Por ello, es necesario definir la corriente crítica de la descarga, es decir, la amplitud máxima de la corriente de la descarga que se puede tolerar que penetre el sistema de apantallamiento. Todos estos criterios contribuirán a establecer un diseño económico y confiable de la subestación.

A P E N D I C E 1

DESARROLLO MATEMATICO DE LAS ECUACIONES A EMPLEARSE
PARA DETERMINAR EL PUNTO DE CORTE ENTRE LA TRAYECTORIA
DE LA DESCARGA Y LAS LINEAS DE INFLUENCIA DE LOS
DIFERENTES COMPONENTES DEL SISTEMA MODELADO

A P E N D I C E 1

DESARROLLO MATEMATICO DE LAS ECUACIONES A EMPLEARSE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE CORTE ENTRE LA TRAYECTORIA DE LA DESCARGA Y LAS LINEAS DE INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES COMPONENTES DEL MODELO

- A. CABLES DE GUARDIA (EXCLUYENDO SUS EXTREMOS) Y BORDES DEL PLANO A PROTEGERSE DE LA SUBESTACION (EXCLUYENDO SUS VERTICES)

A fin de plantear el problema de la forma más general posible, se asume que el cable de guardia puede tomar cualquier posición en el espacio.

Considérese que el cable de guardia está orientado según el eje W (Fig. 1). El lugar geométrico de las líneas de influencia del cable de guardia (excluyendo sus extremos) es un cilindro cuya ecuación es:

$$u^2 + v^2 = R^2 \quad (1)$$

$$0 \leq w \leq b$$

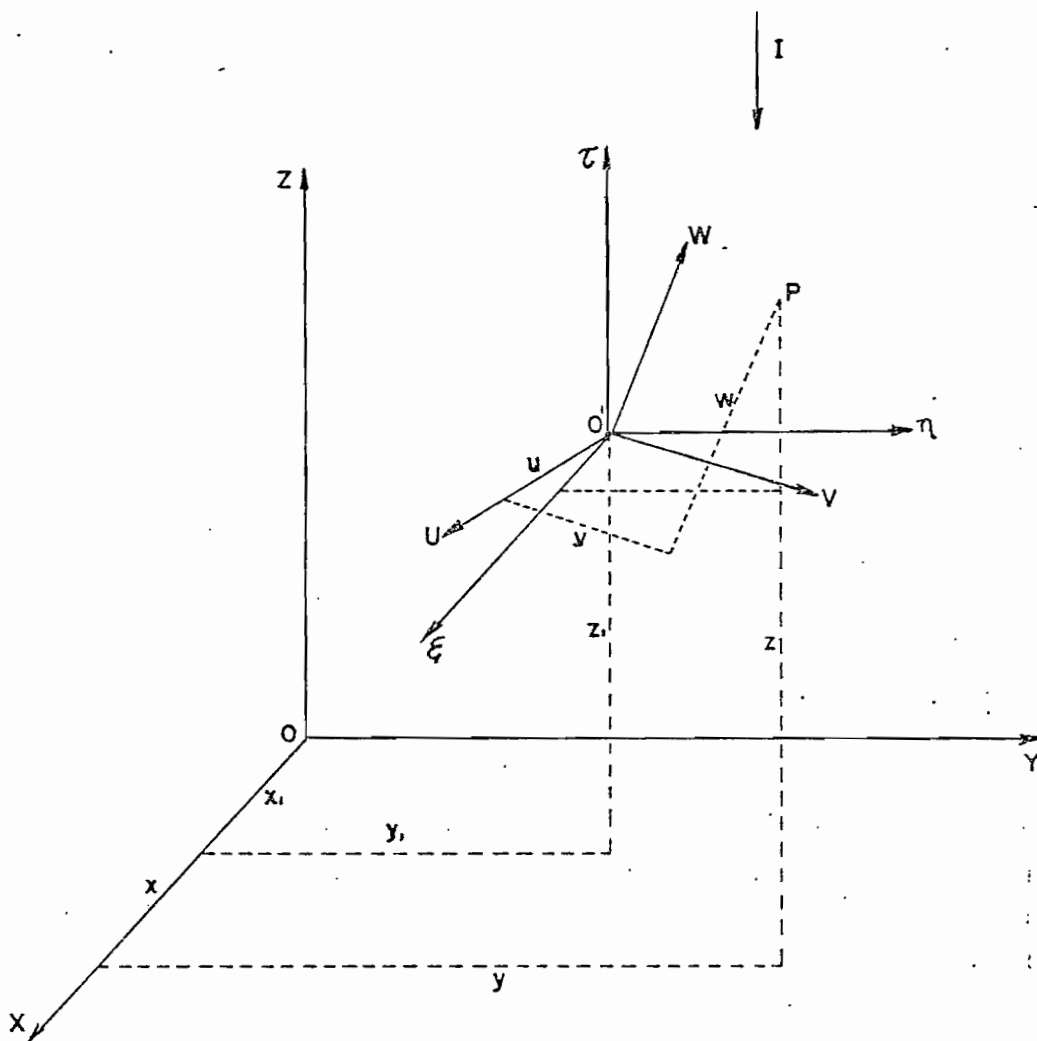


Fig. 1 Sistemas de coordenadas empleadas para la deducción de las ecuaciones.

Los vectores unitarios en el sistema de coordenadas ξ, η, ζ (o X, Y, Z) están definidos por:

$$\bar{i} \quad (1, 0; 0) \quad (4)$$

$$u = -\frac{\ell m}{ab} \xi + \frac{\ell^2 + n^2}{ab} \eta - \frac{nm}{ab} \zeta \quad (13)$$

$$v = -\frac{n}{a} \xi + \frac{\ell}{a} \zeta \quad (14)$$

$$w = \frac{\ell}{b} \xi + \frac{m}{b} \eta + \frac{n}{b} \zeta \quad (15)$$

Reemplazando (13) y (14) en (1) se tiene:

$$\begin{aligned} & \left(-\frac{\ell m}{ab} \xi + \frac{\ell^2 + n^2}{ab} \eta - \frac{nm}{ab} \zeta \right)^2 + \left(-\frac{n}{a} \xi + \frac{\ell}{a} \zeta \right)^2 = \\ & = R^2 \end{aligned} \quad (16)$$

Desarrollando, agrupando y simplificando la ecuación (16), se llega a una ecuación de la forma:

$$A \zeta^2 + B \zeta + C = 0 \quad (17)$$

Donde:

$$A = \left(\frac{n^2 m^2}{a^2 b^2} + \frac{\ell^2}{a^2} \right)$$

$$B = \left(\frac{2 \ell m^2 n}{a^2 b^2} - \frac{2 \ell n}{a^2} \right) \xi - \frac{2mn}{b^2} \eta$$

$$(m = n = 0)$$

$$\zeta^2 + \eta^2 - R^2 = 0 \quad (22)$$

$$w = \frac{l}{b} \xi$$

c) Si $l = 0$ (m y n diferentes de cero), se aplicará las ecuaciones (17) y (23).

$$w = \frac{(m^2 + n^2)^{1/2}}{m} \eta \quad (23)$$

B. COORDENADAS DE LOS CABLES DE GUARDIA, MASTILES Y VERTICES DEL PLANO A PROTEGERSE DE LA SUBESTACION

El lugar geométrico de las líneas de influencia de estos componentes, es una esfera cuya ecuación es:

$$\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 = R^2 \quad (24)$$

Para un componente de coordenadas $P_1(x_1, y_1, z_1)$, la solución viene dada por:

$$Z = \zeta + z_1 = \sqrt{R^2 - (x-x_1)^2 - (y-y_1)^2} + z_1 \quad (25)$$

A P E N D I C E 2

RESULTADOS DEL PROGRAMA RELATIVO A LA EVALUACION
DEL APANTALLAMIENTO DE LA SUBESTACION QUEVEDO
MEDIANTE EL METODO DE MONTE CARLO

RESULTADOS

CALCULO ALATORIO DEL RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE UNA SUBESTACION.
ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTE-
CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGEMETRICO DE WHITEHEAD.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL - QUITO - ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA - POTENCIA -
TESIS DE GRADO MAX G. MOLINA EUSTAMANTE
CASO I: SUBESTACION "GUEVEDO", PATIO 230 KV
DISENO ORIGINAL (INCEL)

FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A
TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA = 1.000
NUMERO DE AÑOS DE SIMULACION = 150

NIVEL ISOCERAUNICO = 30
NUMERO DE CABLES DE GUARDIA = 27
NUMERO DE MASTILES = 21

CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCERAUNICO DE
LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 0.15440
ALTURA DEL EQUIPO PROTEGIDO = 19.000 MTS.
LONGITUD DE LA SUBESTACION = 119.000 MTS
ANCHO DE LA SUBESTACION = 183.000 MTS.

Caso 1
17 km
18 km
19 km
20 km
21 km

CALCULO ALEATORIO DEL RIESGO DE FALTA DEL BLINDAJE DE UNA SUBESTACION.
ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTE-
CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.-QUITO-ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA-POTENCIA-
TESIS DE GRADO MAX G. MOLINA EUSTAMANTE 1979
CASO I: SUBESTACION "CUEVEDO", PATIOS AUTOTRANSF. Y 138 KV
DISEÑO ORIGINAL (INCEL)

FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A
TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA=1.000
NUMERO DE ANOS DE SIMULACION=150

NIVEL ISOCERAUNICO= 30
NUMERO DE CABLES DE GUARDIA= 22
NUMERO DE MASTILES= 21.

CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCERAUNICO DE
LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA=0.15440
ALTURA DEL EQUIPO PROTEGIDO= 15.000 MTS.
LONGITUD DE LA SUBESTACION= 123.500 MTS.
ANCHO DE LA SUBESTACION= 183.000 MTS.

0750 T
030 / 138 KV

CÁLCULO ALEATORIO DEL RIESGO DE FALTA DEL BLINDAJE DE UNA SUBESTACION.
ANÁLISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TÉCNICA DE SIMULACION DE MONTE-CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGEOMÉTRICO DE WHITEHEAD.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - QUITO - ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA - POTENCIA -
TESIS DE GRADO MAX G. MOLINA EUSTAMANTE
CASO I: SUBESTACION "QUEVEDO", PATIO 69 KV
DISEÑO ORIGINAL (INCEL)

1979

FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRÍTICA DE ARQUEO A TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA=1.000
NUMERO DE AÑOS DE SIMULACION=150

NIVEL ISOCEVANUICC= 30
NUMERO DE CABLES DE GUARDIA= 15
NUMERO DE MASTILES= 5

CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCEVANUICC DE LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA=0.15440
ALTURA DEL EQUIPO PROTEGIDO= 11.500 MTS.
LONGITUD DE LA SUBESTACION= 83.500 MTS.
ANCHO DE LA SUBESTACION= 82.000 MTS.

CASO I
69 KV

47

47

CALCULO ALATORIO DEL RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE UNA SUBSTACION.
ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTE-
CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL - QUITO - ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA - POTENCIA -
TESIS DE GRADO MAX G. MOLINA EUSTAMANTE
CASO II SUBSTACION "QUEVEDO", PATIO 230 KV
DISENO DE INCEL REFORMADO

FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARGUED A
TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA=1.000
NUMERO DE AÑOS DE SIMULACION=200

NIVEL ISOCEVANICO= 30
NUMERO DE CABLES DE GUARDIA= 15
NUMERO DE MASTILES= 0

CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCEVANICO DE
LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA=0.15440
ALTURA DEL EQUIPO PROTEGIDO= 19.000 MTS.
LONGITUD DE LA SUBSTACION= 119.000 MTS.
ANCHO DE LA SUBSTACION= 183.000 MTS.

CASO II
230 KV

1979

CALCULO ALEATORIO DEL RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE UNA SUBSTACION.
ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTE-
CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL - QUITO - ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA - POTENCIA -
TESIS DE GRADO MAX G. MOLINA EUSTAMANTE 1979
CASO II: S/E "QUEVEDO", PATIOS AUTOTRANSF. Y 138 KV
DISEÑO DE INECEL REFORMADO

FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A
TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA = 1.000
NUMERO DE AÑOS DE SIMULACION = 200

NIVEL ISOCERAUNICO = 30
NUMERO DE CABLES DE GUARDIA = 12
NUMERO DE MASTILES = 0

CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCERAUNICO DE
LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 0.15440
ALTURA DEL EQUIPO PROTEGIDO = 15.000 MTS.
LONGITUD DE LA SUBSTACION = 123.500 MTS.
ANCHO DE LA SUBSTACION = 183.000 MTS.

CASO II
230 / 138 KV

17/11

17/11

CALCULO ALEATORIO DEL RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE UNA SUBESTACION.
ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTE-
CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL - QUITO - ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA - POTENCIA -
TESIS DE GRADO MAX G. MOLINA EUSTAMANTE
CASO II: SUBESTACION "QUEVEDO", PATIO 69 KV
DISEÑO DE INCECEL REFORMADO

1979

FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARROLD A
TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA=1.000
NUMERO DE AÑOS DE SIMULACION=200

NIVEL ISOCERAUNICO= 30
NUMERO DE CABLES DE GUARDIA= 9
NUMERO DE MASTILES= 2

CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCERAUNICO DE
LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA=0.15440
ALTURA DEL EQUIPO PROTEGIDO= 11.500 MTS.
LONGITUD DE LA SUBESTACION= 83.500 MTS.
ANCHO DE LA SUBESTACION= 82.000 MTS.

CASO II
69 KV

CALCULO ALEATORIO DEL RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE UNA SUBESTACION.
ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTE-
CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGOMETRICO DE WHITEHEAD.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL -QUITO-ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA -POTENCIA-
TESIS DE GRADO MAX G. MOLINA EUSTAMANTE 1979
CASO III: SUBESTACION "QUEVEDO", PATIO 230 KV
DISEÑO DE ACUERDO AL NUEVO METODO PRESENTADO EN ESTE TRABAJO

FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A
TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA=1.000
NUMERO DE AÑOS DE SIMULACION=150

NIVEL ISOCERAUNICO= 30
NUMERO DE CABLES DE GUARDIA= 5
NUMERO DE MASTILES= 0

CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCERAUNICO DE
LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA=0.15440
ALTURA DEL EQUIPO PROTEGIDO= 19.000 MTS.
LONGITUD DE LA SUBESTACION= 119.000 MTS.
ANCHO DE LA SUBESTACION= 183.000 MTS.

CASO III
230 KV

1979

1979

CALCULO ALATORIO DEL RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE UNA SUBESTACION.
ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTE-
CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGOMETRICO DE WHITEHEAD.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL -QUITO-ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA -POTENCIA-
TESIS DE GRADO MAX G. MOLINA BUSTAMANTE 1979
CASO III: S/E "QUEVEDO", PATIOS AUTOTRANSF. Y 138 KV
DISEÑO DE ACUERDO AL NUEVO METODO PRESENTADO EN ESTE TRABAJO

FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A
TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA=1.000
NUMERO DE AÑOS DE SIMULACION=150

NIVEL ISOCERAUNICO= 30
NUMERO DE CABLES DE GUARDIA= 5
NUMERO DE MASTILES= 0

CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCERAUNICO DE
LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA=0.15440
ALTURA DEL EQUIPO. PROTEGIDO= 15.000 MTS.
LONGITUD DE LA SUBESTACION= 123.500 MTS
ANCHO DE LA SUBESTACION= 183.000 MTS.

CASO III
930 / 138 KV

7 17 19 79

RECEIVED

ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTE-CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL - QUITO - ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA - POTENCIA -
TESIS DE GRADO MAX G. MOLINA EUSTAMANTE 1979
CASO III: SUBESTACION "QUEVEDO", PATIO 65 KV
DISEÑO DE ACUERDO AL NUEVO METODO PRESENTADO EN ESTE TRABAJO

FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA=1.000
NUMERO DE AÑOS DE SIMULACION=200

NIVEL ISOCERAUNICO= 30
NUMERO DE CABLES DE GUARDIA= 3
NUMERO DE MASTILES= 0

CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCERAUNICO DE LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA=0.15440
ALTURA DEL EQUIPO PROTEGIDO= 11.500 MTS.
LONGITUD DE LA SUBESTACION= 89.500 MTS
ANCHO DE LA SUBESTACION= 82.000 MTS.

CASO III
69 KV

A N E X O 1

MANUAL DE USO

PROGRAMA PARA EL DISEÑO DEL APANTALLAMIENTO DE SUBESTACIONES
CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS DIRECTAS

I. ALGORITMO DE SOLUCION

El algoritmo de solución consta de un programa principal y cuatro subprogramas que operan de la siguiente forma:

1. Lectura de datos generales del programa y datos del caso a ser analizado.
2. Se calcula el área protegida (AP) de la subestación para una altura efectiva especificada de los conductores de apantallamiento, de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$AP = (AP_1 + AP_2) \text{ (m}^2\text{)}$$

Siendo:

$$AP_1 = \int_{I_{\min}}^{I_0} K_2 (7.1 \times I^{0.75})^{K_1} \cdot G(I) \, dI \text{ (m}^2\text{)}$$

$$AP_2 = \int_{I_0}^{I_{\max}} K_2 \{H (2. \times 7.1 \times I^{0.75} - H)\}^{K_1/2} \cdot G(I) \, dI \text{ (m}^2\text{)}$$

G(I) es la función densidad de probabilidad de magnitudes de corriente de las descargas, definida por:

II. VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROGRAMA

2.1 Variables de entrada. Forma de proporcionar los datos

```
READ (1.5) ICOD1, ICOD2, ICOD3, GFD,L  
5' FORMAT (3I1, 2F10.3)
```

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|----------|--------|----------|---|
| ICOD1 | Entera | 1 | Igual a 0 si se desean resultados para cables de guardia y mástiles; igual a 1 para cables de guardia, e igual a 2 para mástiles. |
| ICOD2 | Entera | 2 | Igual a 0 para el Caso A e igual a 1 para el Caso B. No se especifica si ICOD3 = 1. |
| ICOD3 | Entera | 3 | Igual a 1 si se desea obtener los resultados de los casos A y B, caso contrario no se especifica. |

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|----------|------|----------|--|
| GFD | Real | 4-13 | Densidad de descargas a tierra (descargas/Km. ² por año). |
| L | Real | 14-23 | Longitud que se considera para el cable de guardia (m.). No se especifica si ICOD1 = 2. |

Si ICOD2 = 0 o ICOD3 = 1, se deberá perforar la siguiente tarjeta de lectura:

030 → para modificar el archivo de datos y quitar esta tarjeta

READ (1,3) N1, N2, N3, M1, M2, M3

3 FORMAT (6I3)

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|----------|--------|----------|---|
| N1 | Entera | 1-3 | <u>Valor inicial</u> de la altura efectiva (m.), mayor o igual que uno. |
| N2 | Entera | 4-6 | <u>Valor final</u> de la altura efectiva (m.), mayor o igual que N1. |

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|----------|--------|----------|---|
| N2 | Entera | 4-6 | Similar a la tarjeta anterior. |
| N3 | Entera | 7-9 | Similar a la tarjeta anterior. |
| N | Entera | 10-12 | Número de riesgos de falla del apantallamiento que se considera, menor o igual que 7. |

READ (1.4) (RIESGO(K), K = 1,N)

4 FORMAT (7F10.1)

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|------------|------|----------|--|
| RIESGO (K) | Real | 1-10 | Riesgo de falla del apantallamiento (años/descarga). |
| RIESGO (K) | Real | 11-20 | Riesgo de falla del apantallamiento (años/descarga). |
| RIESGO (K) | Real | 21-30 | Riesgo de falla del apantallamiento (años/descarga). |
| RIESGO (K) | Real | 31-40 | Riesgo de falla del apantallamiento (años/descarga). |

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|------------|------|----------|---|
| RIESGO (K) | Real | 41-50 | Riesgo de falla del apantallamiento (años/descarga).. |
| RIESGO (K) | Real | 51-60 | Riesgo de falla del apantallamiento (años/descarga). |
| RIESGO (K) | Real | 61-70 | Riesgo de falla del apantallamiento (años/descarga). |

NOTA: Se anexan hojas indicativas (esquema Nº 1).

2.2 Variables de Salida

| VARIABLE | DESCRIPCION |
|----------|--|
| CTE1 | Constante K_1 |
| CTE2 | Constante K_2 |
| CFD | Densidad de descargas a tierra (descargas/ Km^2 por año). |
| H | Altura efectiva de los cables de guardia o mástiles (m.). |
| AP | Area protegida de la subestación (m^2). |

| VARIABLE | DESCRIPCION |
|------------|---|
| AREA | Area que se desea proteger de la subestación (m. ²) Caso A. |
| DESC | Número de descargas (por año) que producen falla del apantallamiento, Caso A. |
| RISK | Riesgo de falla del apantallamiento (años/descarga), Caso A. |
| XP (K) | Distancia protegida por los conductores de apantallamiento (m.), Caso B. |
| RIESGO (K) | Riesgo de falla del apantallamiento (años/descarga), Caso B. |

III. FORMA DE UTILIZAR EL PROGRAMA GRABADO EN EL DISCO Y EN LA CINTA

Para utilizar el programa en cualquiera de los dos casos, se deberán perforar las tarjetas de control que se indican en el esquema N^o 2.

IV. RESTRICCIONES

Ninguna.

| Programa | Instrucciones | Simbolo | de Perforación | Perforación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------|---------|----------------|-------------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Programador M. M. B. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha 1979 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Programa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Comentario | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. De Continuation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Proposición | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESQUEMA N° 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (continuation) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROPOSICION FORTRAN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Secuencia de Identificación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |

* \$ E O U

78

78

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

RESULTADOS CASO A

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE CABLES DE GUARDIA

LONGITUD = 30.48 MTS.

K1 = 1.0

K2 = 60.960C

DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3.860 DESCARGAS/(KM²*ANG)

| ALURA (MT.) | AREA PROTEGIDA (M ²) | DISTANCIA PROTEGIDA (MT.) | AREA A PROTEGERSE (M ²) | FALTA DEL BLINDAJE DE LA S/E (POR ANG) | RIESGO DE FALTA DEL BLINDAJE DE LA S/E (ANGS) |
|-------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|--|---|
| 5.00 | 304.80 | 1.1765E-03 | 1.1765E-02 | 8.4996E 02 | 8.4996E 02 |
| 10.00 | 609.60 | 2.3531E-03 | 2.3531E-02 | 4.2498E 02 | 4.2498E 02 |
| 15.00 | 914.40 | 3.5296E-03 | 3.5296E-02 | 2.8332E 02 | 2.8332E 02 |
| 20.00 | 1219.20 | 4.7061E-03 | 4.7061E-02 | 2.1249E 02 | 2.1249E 02 |
| 25.00 | 1524.00 | 5.8826E-03 | 5.8826E-02 | 1.6999E 02 | 1.6999E 02 |
| 30.00 | 1828.80 | 7.0592E-03 | 7.0592E-02 | 1.4166E 02 | 1.4166E 02 |
| 35.00 | 2133.60 | 8.2357E-03 | 8.2357E-02 | 1.2142E 02 | 1.2142E 02 |
| 40.00 | 2438.40 | 9.4122E-03 | 9.4122E-02 | 1.0624E 02 | 1.0624E 02 |
| 45.00 | 2743.20 | 1.0589E-02 | 1.0589E-02 | 9.4440E 01 | 9.4440E 01 |
| 50.00 | 3048.00 | 1.1765E-02 | 1.1765E-02 | 8.4996E 01 | 8.4996E 01 |
| 55.00 | 3352.80 | 1.2942E-02 | 1.2942E-02 | 7.7269E 01 | 7.7269E 01 |
| 60.00 | 3657.60 | 1.4118E-02 | 1.4118E-02 | 7.0830E 01 | 7.0830E 01 |

1.00 595.22

| | | | | | |
|-------|---------|------------|------------|------------|------------|
| 10.00 | 609.60 | 4.0052E-05 | 4.0052E-05 | 2.4967E 04 | 2.4967E 04 |
| 15.00 | 914.40 | 1.2166E-03 | 1.2166E-03 | 8.2198E 02 | 8.2198E 02 |
| 20.00 | 1219.20 | 2.3931E-03 | 2.3931E-03 | 4.1787E 02 | 4.1787E 02 |
| 25.00 | 1524.00 | 3.5696E-03 | 3.5696E-03 | 2.8014E 02 | 2.8014E 02 |
| 30.00 | 1828.80 | 4.7462E-03 | 4.7462E-03 | 2.1070E 02 | 2.1070E 02 |
| 35.00 | 2133.60 | 5.9227E-03 | 5.9227E-03 | 1.6884E 02 | 1.6884E 02 |
| 40.00 | 2438.40 | 7.0992E-03 | 7.0992E-03 | 1.4086E 02 | 1.4086E 02 |
| 45.00 | 2743.20 | 8.2757E-03 | 8.2757E-03 | 1.2084E 02 | 1.2084E 02 |
| 50.00 | 3048.00 | 9.4523E-03 | 9.4523E-03 | 1.0579E 02 | 1.0579E 02 |
| 55.00 | 3352.80 | 1.0629E-02 | 1.0629E-02 | 9.4084E 01 | 9.4084E 01 |
| 60.00 | 3657.60 | 1.1805E-02 | 1.1805E-02 | 8.4708E 01 | 8.4708E 01 |

16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

PRODUC

13931

| ALTIMA (MT.) | AREA PROTEGIDA (M2.) | DISTANCIA PROTEGIDA (MT.) | AREA A PROTEGERSE (M2.) | FALLA DEL BLINDAJE DE DESCARGAS-GUE-FRUDGEN | RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE LA S/E (ANOS) |
|--------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|---|---|
| 15.00 | 914.40 | 2.7381E-04 | 3.6522E 03 | 2.7381E-04 | 3.6522E 03 |
| 20.00 | 1219.20 | 1.4503E-03 | 6.2950E-02 | 1.4503E-03 | 6.2950E-02 |
| 25.00 | 1524.00 | 2.6269E-03 | 3.6068E 02 | 2.6269E-03 | 3.6068E 02 |
| 30.00 | 1828.80 | 3.8034E-03 | 2.6292E-02 | 3.8034E-03 | 2.6292E-02 |
| 35.00 | 2133.60 | 4.9759E-03 | 2.0081E 02 | 4.9759E-03 | 2.0081E 02 |
| 40.00 | 2438.40 | 6.1564E-03 | 1.6243E-02 | 6.1564E-03 | 1.6243E-02 |
| 45.00 | 2743.20 | 7.3330E-03 | 1.3637E 02 | 7.3330E-03 | 1.3637E 02 |
| 50.00 | 3048.00 | 8.5095E-03 | 1.1752E-02 | 8.5095E-03 | 1.1752E-02 |
| 55.00 | 3352.80 | 9.6860E-03 | 1.0324E 02 | 9.6860E-03 | 1.0324E 02 |
| 60.00 | 3657.60 | 1.0863E-02 | 9.2059E-01 | 1.0863E-02 | 9.2059E-01 |
| 20.00 | 1215.20 | 7.3750E-04 | 1.3559E 03 | 7.3750E-04 | 1.3559E 03 |
| 25.00 | 1524.00 | 1.9140E-03 | 5.2246E 02 | 1.9140E-03 | 5.2246E 02 |
| 30.00 | 1828.80 | 3.0906E-03 | 3.2357E 02 | 3.0906E-03 | 3.2357E 02 |
| 35.00 | 2133.60 | 4.2671E-03 | 2.3435E 02 | 4.2671E-03 | 2.3435E 02 |
| 40.00 | 2438.40 | 5.4436E-03 | 1.6370E 02 | 5.4436E-03 | 1.6370E 02 |
| 45.00 | 2743.20 | 6.6201E-03 | 1.5105E 02 | 6.6201E-03 | 1.5105E 02 |
| 50.00 | 3048.00 | 7.7967E-03 | 1.2826E 02 | 7.7967E-03 | 1.2826E 02 |
| 55.00 | 3352.80 | 8.9732E-03 | 1.1144E 02 | 8.9732E-03 | 1.1144E 02 |
| 60.00 | 3657.60 | 1.0150E-02 | 9.8525E 01 | 1.0150E-02 | 9.8525E 01 |

LONGITUD= 30.48 MTS.

K1=1.0

K2= 60.5600

DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3.860 DESCARGAS/(KM2*ANG)

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE CABLES DE GUARDIA

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE CABLES DE GUARDIA

LONGITUD = 30.48 MTS.

K1 = 1.0

K2 = 60.5600

DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3.860 DESCARGAS/(KM2*ANO)

ALtura (MT.) AREA DISTANCIA AREA A PROTEGIDA (M2.)
 EFECTIVA PROTEGIDA (M2.) DISTANCIA AREA A PROTEGIDA (M2.)
 FALLA-DEL-BLINDAJE-DE LA S/E (POR ANO) DESCARGAS QUE PRODUCE
 DEL-BLINDAJE-DE LA S/E (ANOS) RIESGO DE FALLA

| | | | | | |
|-------|---------|------------|------------|------|---------|
| 20.00 | 1219.20 | 1.4555E-04 | 6.8706E 03 | 4-00 | 1181.45 |
| 25.00 | 1524.00 | 1.3221E-03 | 7.5639E 02 | | |
| 30.00 | 1828.80 | 2.4986E-03 | 4.0022E 02 | | |
| 35.00 | 2133.60 | 3.6751E-03 | 2.7210E 02 | | |
| 40.00 | 2438.40 | 4.8517E-03 | 2.0612E 02 | | |
| 45.00 | 2743.20 | 6.0282E-03 | 1.6589E 02 | | |
| 50.00 | 3048.00 | 7.2047E-03 | 1.3880E 02 | | |
| 55.00 | 3352.80 | 8.3812E-03 | 1.1931E 02 | | |
| 60.00 | 3657.60 | 9.5578E-03 | 1.0463E 02 | 5.00 | 1314.52 |
| 25.00 | 1524.00 | 3.5168E-04 | 2.6435E 03 | | |
| 30.00 | 1828.80 | 1.5282E-03 | 6.5436E 02 | | |
| 35.00 | 2133.60 | 2.7047E-03 | 3.6572E 02 | | |
| 40.00 | 2438.40 | 3.8813E-03 | 2.6765E 02 | | |
| 45.00 | 2743.20 | 5.0578E-03 | 1.9771E 02 | | |
| 50.00 | 3048.00 | 6.2343E-03 | 1.6040E 02 | | |
| 55.00 | 3352.80 | 7.4108E-03 | 1.3494E 02 | | |
| 60.00 | 3657.60 | 8.5874E-03 | 1.1645E 02 | | |

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
99
100

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE CABLES DE GUARDIA

LONGITUD = 30.48 MTS.
 K1=1.0
 K2=60.9600
 DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3.860 DESCARGAS/(KM2*ANO)

| ALTURA EFECTIVA (MT.) | AREA PROTEGIDA (M2.) | DISTANCIA PROTEGIDA (MT.) | AREA A PROTEGERSE (M2.) | DESCARGAS QUE PRODUCEN FALLA DEL BLINDAJE DE LA S/E (POR AÑO) | RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE LA S/E (AÑOS) |
|-----------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|---|---|
| 7.00 | 1539.97 | 30.00 | 1828.80 | 1.1149E-03 | 8.9694E 02 |
| | | 35.00 | 2133.60 | 2.2914E-03 | 4.3641E 02 |
| | | 40.00 | 2436.40 | 3.4680E-03 | 2.8835E 02 |
| | | 45.00 | 2743.20 | 4.6445E-03 | 2.1531E 02 |
| | | 50.00 | 3048.00 | 5.8210E-03 | 1.7179E 02 |
| | | 55.00 | 3352.80 | 6.9975E-03 | 1.4291E 02 |
| | | 60.00 | 3657.60 | 8.1741E-03 | 1.2234E 02 |
| 8.00 | 1637.95 | 30.00 | 1828.80 | 7.3666E-04 | 1.3575E 03 |
| | | 35.00 | 2133.60 | 1.9132E-03 | 5.2269E-02 |
| | | 40.00 | 2436.40 | 3.0897E-03 | 3.2365E 02 |
| | | 45.00 | 2743.20 | 4.2662E-03 | 2.3440E-02 |
| | | 50.00 | 3048.00 | 5.4428E-03 | 1.8373E 02 |
| | | 55.00 | 3352.80 | 6.6193E-03 | 1.5107E-02 |
| | | 60.00 | 3657.60 | 7.7958E-03 | 1.2827E 02 |
| 9.00 | 1728.38 | 30.00 | 1828.80 | 3.8762E-04 | 2.5799E 03 |
| | | 35.00 | 2133.60 | 1.5641E-03 | 6.3933E 02 |
| | | 40.00 | 2436.40 | 2.7407E-03 | 3.6487E 02 |
| | | 45.00 | 2743.20 | 3.9172E-03 | 2.5528E 02 |
| | | 50.00 | 3046.00 | 5.0937E-03 | 1.5632E 02 |
| | | 55.00 | 3352.80 | 6.2702E-03 | 1.5948E 02 |
| | | 60.00 | 3657.60 | 7.4468E-03 | 1.3429E 02 |
| 10.00 | 1812.36 | 30.00 | 1828.80 | 6.3444E-05 | 1.5762E-04 |
| | | 35.00 | 2133.60 | 1.2400E-03 | 8.0647E 02 |
| | | 40.00 | 2436.40 | 2.4165E-03 | 4.1282E-02 |
| | | 45.00 | 2743.20 | 3.5930E-03 | 2.7832E 02 |
| | | 50.00 | 3046.00 | 4.7695E-03 | 2.0966E-02 |
| | | 55.00 | 3352.80 | 5.9461E-03 | 1.6818E 02 |
| | | 60.00 | 3657.60 | 7.1226E-03 | 1.4040E-02 |

03631

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE CABLES DE GUARDIA

LONGITUD=30.48 MTS.

K1=1.0

K2=60.9600

DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3.860 DESCARGAS/(KM2*ANO)

| | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|------------|-----------------------|-----------------|
| ALTIMA | AREA | DISTANCIA | AREA A | DESCARGAS QUE PRODUCE | RIESGO DE FALLA |
| (MT.) | (M2.) | (MT.) | (M2.) | DE LA BLINDAJE DE | DEL BLINDAJE DE |
| EFFECTIVA | PROTEGIDA | PROTEGIDA | PROTEGERSE | PALTA-DEL | LA S/E (ANES) |
| | | | | LA S/E (FOR ANG) | |

11-00

1890.75

35.00

2133.60

9.3741E-04

1.0668E 03

40.00

243E.40

2.1139E-03

4.7305E 02

45.00

2743.20

3.2905E-03

3.0391E 02

50.00

3048.00

4.4670E-03

2.2386E 02

55.00

3352.80

5.6435E-03

1.7719E 02

60.00

3657.60

6.8200E-03

1.4663E 02

12*00

1964.19

35.00

2133.60

6.5393E-04

1.5292E 03

40.00

243E.40

1.8305E-03

5.4631E 02

45.00

2743.20

3.0070E-03

3.3256E 02

50.00

3048.00

4.1835E-03

2.3903E 02

55.00

3352.80

5.2600E-03

1.8657E 02

60.00

3657.60

6.5366E-03

1.5259E 02

13*00

2033.36

35.00

2133.60

3.8653E-04

2.5845E 03

40.00

243E.40

1.5635E-03

6.3561E 02

45.00

2743.20

2.7400E-03

3.6457E 02

50.00

3048.00

3.9165E-03

2.5533E 02

55.00

3352.80

5.0930E-03

1.5625E 02

60.00

3657.60

6.2656E-03

1.8550E 02

14*00

2058.57

35.00

2133.60

1.3521E-04

7.3956E-03

40.00

243E.40

1.3117E-03

7.6234E 02

45.00

2743.20

2.4883E-03

4.0189E-02

50.00

3048.00

3.6648E-03

2.7287E 02

55.00

3352.80

4.8413E-03

2.0656E-02

60.00

3657.60

6.0178E-03

1.6617E 02

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
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
99
100

DISFNC DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE CABLES DE GUARDIA

LONGITUD= 30.48 MTS.

K1=1.0

K2=60.960C

DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3.860 DESCARGAS/(KM2*ANO)

| ALtura (MT.) | AREA PROTEGIDA (M2.) | DISTANCIA PROTEGIDA (MT.) | AREA A PROTEGERSE (M2.) | DESCARGAS QUE PRCCUCEN FALTA DEL BLINDAJE DE LA S/E (POR ANO) | RIESGC DE FALTA DEL BLINDAJE DE LA S/E (ANOS) |
|--------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|---|---|
|--------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|---|---|

| | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|
| 15.00 | 2160.20 | 40.00 | 2438.40 | 1.0738E-03 | 9.3124E 02 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|

| | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|
| 16.00 | 2218.60 | 40.00 | 2438.40 | 8.4844E-04 | 1.1786E 03 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|

| | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|
| 17.00 | 2274.03 | 40.00 | 2438.40 | 6.3448E-04 | 1.5761E 03 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|

| | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|
| 18.00 | 2326.72 | 40.00 | 2438.40 | 4.3104E-04 | 2.3200E-03 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|

| | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|
| 19.00 | 2376.93 | 40.00 | 2438.40 | 2.3728E-04 | 4.2144E 03 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|

| | | | | | |
|-------|--|-------|---------|------------|------------|
| 60.00 | | 60.00 | 3657.60 | 4.9434E-03 | 2.0229E 02 |
|-------|--|-------|---------|------------|------------|

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION-MEDIANTE CABLES DE GUARDIA.

LONGITUD= 30.4E MTS.

K1=1.0

K2=60.9600

DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3.660 DESCARGAS/(KM2*ANO)

PRODUCIDO POR OFFSETCC S.A

| | | | | | | | |
|--|-------|-------|---------|-------|---------|------------|------------|
| ALTIMA | (MT.) | 20.00 | 2424.80 | 40.00 | 2438.40 | 5.2493E-05 | 1.9050E 04 |
| EFFECTIVA | (MT.) | 21.00 | 2470.51 | 45.00 | 2743.20 | 1.0526E-03 | 9.5002E 02 |
| AREA | (M2.) | 22.00 | 2514.15 | 45.00 | 2743.20 | 8.8397E-04 | 1.1313E 03 |
| DISTANCIA | (MT.) | 23.00 | 2555.99 | 45.00 | 2743.20 | 7.2261E-04 | 1.3839E-03 |
| AREA PROTEGIDA | (M2.) | 24.00 | 2596.02 | 45.00 | 2743.20 | 5.6810E-04 | 1.7602E 03 |
| AREA A PROTEGERSE | (M2.) | 25.00 | 2636.3E | 50.00 | 3048.00 | 2.2291E-03 | 4.4861E-02 |
| FALLA DEL BLINDAJE DE LA S/E (PGR ANC) | | 26.00 | 2676.60 | 60.00 | 3657.60 | 4.5822E-03 | 2.1824E-02 |
| DESCARGAS QUE PRODUCEN DEL BLINDAJE DE LA S/E (ANGS) | | 27.00 | 2716.90 | 60.00 | 3657.60 | 4.4135E-03 | 2.2656E 02 |
| | | 28.00 | 2757.20 | 60.00 | 3657.60 | 4.2522E-03 | 2.3517E 02 |
| | | 29.00 | 2797.50 | 60.00 | 3657.60 | 4.091E-03 | 2.4404E 02 |
| | | 30.00 | 2837.80 | 60.00 | 3657.60 | 3.930E-03 | 2.5291E-02 |
| | | 31.00 | 2878.10 | 60.00 | 3657.60 | 3.769E-03 | 2.6178E-02 |
| | | 32.00 | 2918.40 | 60.00 | 3657.60 | 3.608E-03 | 2.7065E-02 |
| | | 33.00 | 2958.70 | 60.00 | 3657.60 | 3.447E-03 | 2.7952E-02 |
| | | 34.00 | 2999.00 | 60.00 | 3657.60 | 3.286E-03 | 2.8839E-02 |
| | | 35.00 | 3039.30 | 60.00 | 3657.60 | 3.125E-03 | 2.9726E-02 |
| | | 36.00 | 3079.60 | 60.00 | 3657.60 | 2.964E-03 | 3.0613E-02 |
| | | 37.00 | 3119.90 | 60.00 | 3657.60 | 2.803E-03 | 3.1500E-02 |
| | | 38.00 | 3160.20 | 60.00 | 3657.60 | 2.642E-03 | 3.2387E-02 |
| | | 39.00 | 3200.50 | 60.00 | 3657.60 | 2.481E-03 | 3.3274E-02 |
| | | 40.00 | 3240.80 | 60.00 | 3657.60 | 2.320E-03 | 3.4161E-02 |
| | | 41.00 | 3281.10 | 60.00 | 3657.60 | 2.159E-03 | 3.5048E-02 |
| | | 42.00 | 3321.40 | 60.00 | 3657.60 | 2.000E-03 | 3.5935E-02 |
| | | 43.00 | 3361.70 | 60.00 | 3657.60 | 1.841E-03 | 3.6822E-02 |
| | | 44.00 | 3402.00 | 60.00 | 3657.60 | 1.682E-03 | 3.7709E-02 |
| | | 45.00 | 3442.30 | 60.00 | 3657.60 | 1.523E-03 | 3.8596E-02 |
| | | 46.00 | 3482.60 | 60.00 | 3657.60 | 1.364E-03 | 3.9483E-02 |
| | | 47.00 | 3522.90 | 60.00 | 3657.60 | 1.205E-03 | 4.0370E-02 |
| | | 48.00 | 3563.20 | 60.00 | 3657.60 | 1.046E-03 | 4.1257E-02 |
| | | 49.00 | 3603.50 | 60.00 | 3657.60 | 8.87E-04 | 4.2144E-02 |
| | | 50.00 | 3643.80 | 60.00 | 3657.60 | 7.28E-04 | 4.3031E-02 |
| | | 51.00 | 3684.10 | 60.00 | 3657.60 | 5.69E-04 | 4.3918E-02 |
| | | 52.00 | 3724.40 | 60.00 | 3657.60 | 4.10E-04 | 4.4805E-02 |
| | | 53.00 | 3764.70 | 60.00 | 3657.60 | 2.51E-04 | 4.5692E-02 |
| | | 54.00 | 3805.00 | 60.00 | 3657.60 | 9.2E-05 | 4.6579E-02 |
| | | 55.00 | 3845.30 | 60.00 | 3657.60 | 7.6E-05 | 4.7466E-02 |
| | | 56.00 | 3885.60 | 60.00 | 3657.60 | 6.0E-05 | 4.8353E-02 |
| | | 57.00 | 3925.90 | 60.00 | 3657.60 | 4.4E-05 | 4.9240E-02 |
| | | 58.00 | 3966.20 | 60.00 | 3657.60 | 2.8E-05 | 5.0127E-02 |
| | | 59.00 | 4006.50 | 60.00 | 3657.60 | 1.2E-05 | 5.1014E-02 |
| | | 60.00 | 4046.80 | 60.00 | 3657.60 | 6.4E-06 | 5.1901E-02 |

DISENO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION-MEDIANTE CABLES DE GUARDIA.

LONGITUD= 30,48 MTS.

K1=1,0

K2=60,9600

DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3.860 DESCARGAS/(KM2*ANO)

PRODUCCION POR DEFSETEC 14

| ALTIMA EFFECTIVA AREA PROTEGIDA (MT.) | DISTANCIA PROTEGIDA (MT.) | AREA A PROTEGERSE (M2.) | DESCARGAS QUE PRDUCEN FALLA DEL BLINDAJE DE LA S/E (POR ANO) | RIESGC DE FALLA DEL BLINDAJE DE LA S/E (ANOS) |
|---|---------------------------------|-------------------------------|--|---|
| 25.00 | 2634.35 | 2743.20 | 4.2000E-04 | 2.3810E 03 |
| 26.00 | 2671.15 | 2743.20 | 2.7796E-04 | 3.5976E 03 |
| 27.00 | 2706.61 | 2743.20 | 1.4163E-04 | 7.0606E 03 |
| 28.00 | 2740.42 | 2743.20 | 1.0711E-05 | 9.3361E 04 |
| 29.00 | 2773.02 | 3048.00 | 1.0614E-03 | 9.4212E 02 |
| 30.00 | 2804.35 | 3048.00 | 9.4047E-04 | 1.0633E 03 |

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE MASTILES

$K1=2.0$
 $K2=3.1416$

DENSIDAD DE DESCARGAS-A-TIERRA = 3.860 DESCARGAS/(KM2*ANC)

ALtura (MT.) AREA PROTEGIDA (M2.) DISTANCIA PROTEGIDA (MT.) AREA A PROTEGERSE (M2.)
 DESCARGAS-OVE-PRCOGEN FALTA DEL BLINDAJE DE LA S/E (FCR ANC)
 CEL BLINDAJE DE LA S/E (ANCS) RIESGO-DE-FALTA

| ALtura (MT.) | AREA PROTEGIDA (M2.) | DISTANCIA PROTEGIDA (MT.) | AREA A PROTEGERSE (M2.) | DESCARGAS-OVE-PRCOGEN | FALTA DEL BLINDAJE DE LA S/E (FCR ANC) | CEL BLINDAJE DE LA S/E (ANCS) | RIESGO-DE-FALTA |
|--------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-----------------|
| 5.00 | 100.00 | 3.860E-04 | 2.5907E 03 | 3.8600E-04 | 1.5440E-03 | 6.4767E-02 | 2.5907E 03 |
| 10.00 | 400.00 | 1.5440E-03 | 6.4767E-02 | 1.5440E-03 | 3.4740E-03 | 2.6785E 02 | 1.5440E 02 |
| 15.00 | 900.00 | 3.4740E-03 | 2.6785E 02 | 3.4740E-03 | 6.1760E-03 | 1.6192E 02 | 3.4740E 02 |
| 20.00 | 1600.00 | 6.1760E-03 | 1.6192E 02 | 6.1760E-03 | 9.6500E-03 | 1.0363E 02 | 6.1760E 02 |
| 25.00 | 2500.00 | 9.6500E-03 | 1.0363E 02 | 9.6500E-03 | 1.3896E-02 | 7.1963E-01 | 9.6500E 02 |
| 30.00 | 3600.00 | 1.3896E-02 | 7.1963E-01 | 1.3896E-02 | 1.8914E-02 | 5.2871E 01 | 1.3896E 02 |
| 35.00 | 4900.00 | 1.8914E-02 | 5.2871E 01 | 1.8914E-02 | 2.4704E-02 | 4.0479E-01 | 1.8914E 02 |
| 40.00 | 6400.00 | 2.4704E-02 | 4.0479E-01 | 2.4704E-02 | 3.1266E-02 | 3.1584E 01 | 2.4704E 02 |
| 45.00 | 8100.00 | 3.1266E-02 | 3.1584E 01 | 3.1266E-02 | 3.8600E-02 | 2.5907E-01 | 3.1266E 02 |
| 50.00 | 10000.00 | 3.8600E-02 | 2.5907E-01 | 3.8600E-02 | 4.6706E-02 | 2.1411E 01 | 3.8600E 02 |
| 55.00 | 12100.00 | 4.6706E-02 | 2.1411E 01 | 4.6706E-02 | 5.584E-02 | 1.7991E-01 | 4.6706E 02 |
| 60.00 | 14400.00 | 5.584E-02 | 1.7991E-01 | 5.584E-02 | 6.685E-05 | 1.1276E 04 | 5.584E 02 |
| 10.00 | 400.00 | 3.8685E-05 | 1.1276E 04 | 3.8685E-05 | 2.0187E-03 | 4.5537E 02 | 1.1276E 04 |
| 15.00 | 900.00 | 2.0187E-03 | 4.5537E 02 | 2.0187E-03 | 4.7207E-03 | 2.1183E 02 | 2.0187E 03 |
| 20.00 | 1600.00 | 4.7207E-03 | 2.1183E 02 | 4.7207E-03 | 8.1947E-03 | 1.2203E 02 | 4.7207E 03 |
| 25.00 | 2500.00 | 8.1947E-03 | 1.2203E 02 | 8.1947E-03 | 1.2441E-02 | 8.0381E 01 | 8.1947E 03 |
| 30.00 | 3600.00 | 1.2441E-02 | 8.0381E 01 | 1.2441E-02 | 1.7459E-02 | 5.7278E 01 | 1.2441E 02 |
| 35.00 | 4900.00 | 1.7459E-02 | 5.7278E 01 | 1.7459E-02 | 2.3249E-02 | 4.2013E 01 | 1.7459E 02 |
| 40.00 | 6400.00 | 2.3249E-02 | 4.2013E 01 | 2.3249E-02 | 2.9811E-02 | 3.3545E 01 | 2.3249E 02 |
| 45.00 | 8100.00 | 2.9811E-02 | 3.3545E 01 | 2.9811E-02 | 3.7145E-02 | 2.6522E 01 | 2.9811E 02 |
| 50.00 | 10000.00 | 3.7145E-02 | 2.6522E 01 | 3.7145E-02 | 4.5251E-02 | 2.2059E 01 | 3.7145E 02 |
| 55.00 | 12100.00 | 4.5251E-02 | 2.2059E 01 | 4.5251E-02 | 5.4129E-02 | 1.8475E 01 | 4.5251E 02 |
| 60.00 | 14400.00 | 5.4129E-02 | 1.8475E 01 | 5.4129E-02 | | | 5.4129E 02 |

PRODUCIDO POR OFFSETEC SA

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
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
99
100

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE BASTILLES

K1=2.0

K2= 3.1416

CENSIDAD DE DESCARGAS-A TIERRA = 3*860-DESCARGAS/(K2*ANC)

ALTIMA (MT.) AREA PROTEGIDA (M2.) DISTANCIA PROTEGIDA (MT.) AREA-A PROTEGERSE (M2.) DESCARGAS QUE PRODUCEN FALTA DEL BLINDAJE DE LA S/E (POR ANC) LA S/E (ANOS) RIESGO DE FALTA DEL BLINDAJE DE LA S/E (ANOS)

| | | | | | |
|-------|----------|------------|------------|------|---------|
| 15.00 | 900.00 | 5.8506E-04 | 1.7092E 03 | 2.00 | 748*43 |
| 20.00 | 1600.00 | 3.2871E-03 | 3.0422E 02 | 2.00 | |
| 25.00 | 2500.00 | 6.7610E-03 | 1.4791E 02 | 2.00 | |
| 30.00 | 3600.00 | 1.1007E-02 | 9.0851E 01 | 2.00 | |
| 35.00 | 4900.00 | 1.6025E-02 | 6.2402E 01 | 2.00 | |
| 40.00 | 6400.00 | 2.1815E-02 | 4.6840E 01 | 2.00 | |
| 45.00 | 8100.00 | 2.8377E-02 | 3.6240E 01 | 2.00 | |
| 50.00 | 10000.00 | 3.5711E-02 | 2.8003E 01 | 2.00 | |
| 55.00 | 12100.00 | 4.3817E-02 | 2.2822E 01 | 2.00 | |
| 60.00 | 14400.00 | 5.2695E-02 | 1.8977E 01 | 2.00 | |
| 20.00 | 1600.00 | 1.8751E-03 | 5.2330E 02 | 3.00 | 1114.22 |
| 25.00 | 2500.00 | 5.3491E-03 | 1.8695E 02 | 3.00 | |
| 30.00 | 3600.00 | 9.6951E-03 | 1.0422E 02 | 3.00 | |
| 35.00 | 4500.00 | 1.4613E-02 | 6.6432E 01 | 3.00 | |
| 40.00 | 6400.00 | 2.0403E-02 | 4.5012E 01 | 3.00 | |
| 45.00 | 8100.00 | 2.6565E-02 | 3.7085E 01 | 3.00 | |
| 50.00 | 10000.00 | 3.4299E-02 | 2.5155E 01 | 3.00 | |
| 55.00 | 12100.00 | 4.2405E-02 | 2.3582E 01 | 3.00 | |
| 60.00 | 14400.00 | 5.1283E-02 | 1.9500E 01 | 3.00 | |

PRODUCIDO POR OFFSETEC S.A

DISIGNO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION-MEDIANTE-MASTILES

K1=2.0

K2= 3.1416

DENSIDAD-DE-DESCARGAS-A-TIERRA - 3.860-DESCARGAS/(KM2*ANG)

PRODUCIDO POR OFFICE 3.0

ALTIMA (MT*) AREA PROTEGIDA (M2*) DISTANCIA (MT*) AREA-A PROTEGERSE (M2*) DESCARGAS-QUE-PRODUCEN (LA S/E (POR ANG) LA S/E (ANCS) RIESGO DE-FALLA DEL BLINDAJE DE

| | | | | | | |
|----|-------|----------|------------|------------|-------|---------|
| 1 | 20.00 | 3600.00 | 4.1644E-03 | 2.4013E 02 | 7.00 | 2521.15 |
| 2 | 35.00 | 4900.00 | 9.1824E-03 | 1.0090E 02 | | |
| 3 | 40.00 | 6400.00 | 1.4972E-02 | 6.6790E 01 | | |
| 4 | 45.00 | 8100.00 | 2.1534E-02 | 4.6437E 01 | | |
| 5 | 50.00 | 10000.00 | 2.8868E-02 | 3.4640E 01 | | |
| 6 | 55.00 | 12100.00 | 3.6974E-02 | 2.7046E 01 | | |
| 7 | 60.00 | 14400.00 | 4.5852E-02 | 2.1809E 01 | | |
| 8 | 30.00 | 3600.00 | 1.5791E-03 | 6.3326E 02 | 9.00 | 3150.90 |
| 9 | 35.00 | 4900.00 | 6.5571E-03 | 1.5158E 02 | | |
| 10 | 40.00 | 6400.00 | 1.2387E-02 | 8.0729E 01 | | |
| 11 | 45.00 | 8100.00 | 1.8949E-02 | 5.273E 01 | | |
| 12 | 50.00 | 10000.00 | 2.6283E-02 | 3.8047E 01 | | |
| 13 | 55.00 | 12100.00 | 3.4389E-02 | 2.5079E 01 | | |
| 14 | 60.00 | 14400.00 | 4.3267E-02 | 2.3112E 01 | | |
| 15 | 30.00 | 3600.00 | 3.1908E-04 | 3.1240E 03 | 10.00 | 3517.34 |
| 16 | 35.00 | 4900.00 | 5.3371E-03 | 1.8737E 02 | | |
| 17 | 40.00 | 6400.00 | 1.1127E-02 | 8.5871E 01 | | |
| 18 | 45.00 | 8100.00 | 1.7689E-02 | 5.6532E 01 | | |
| 19 | 50.00 | 10000.00 | 2.5023E-02 | 3.5963E 01 | | |
| 20 | 55.00 | 12100.00 | 3.3129E-02 | 3.0185E 01 | | |
| 21 | 60.00 | 14400.00 | 4.2007E-02 | 2.3806E 01 | | |

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE MASTILES

K1=2.0
 K2=3.1416
 DENSIDAD DE DESCARGAS-A TIERRA=37860 DESCARGAS/(KM2*ANO)

| ALTIMURA EFECTIVA (MT.) | AREA PROTEGIDA (M2.) | DISTANCIA PROTEGIDA (MT.) | AREA A PROTEGERSE (M2.) | DESCARGAS QUE PRODUCEN FALLA DEL BLINDAJE DE LA S/E (POR AÑO) | RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE LA S/E (AÑOS) |
|-------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|---|---|
| 11.00 | 3838.16 | 35.00 | 4900.00 | 4.0987E-03 | 2.4396E 02 |
| | | 40.00 | 6400.00 | 9.8887E-03 | 1.0113E 02 |
| | | 45.00 | 8100.00 | 1.6451E-02 | 6.0786E 01 |
| | | 50.00 | 10000.00 | 2.3785E-02 | 4.2044E-01 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 3.1891E-02 | 3.1357E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 4.0769E-02 | 2.4529E-01 |
| 12.00 | 4153.37 | 35.00 | 4900.00 | 2.8820E-03 | 3.4698E 02 |
| | | 40.00 | 6400.00 | 8.6720E-03 | 1.1531E 02 |
| | | 45.00 | 8100.00 | 1.5234E-02 | 6.5643E 01 |
| | | 50.00 | 10000.00 | 2.2568E-02 | 4.4311E 01 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 3.0674E-02 | 3.2601E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 3.9552E-02 | 2.5283E 01 |
| 13.00 | 4463.00 | 35.00 | 4900.00 | 1.6868E-03 | 5.9283E-02 |
| | | 40.00 | 6400.00 | 7.4768E-03 | 1.3375E 02 |
| | | 45.00 | 8100.00 | 1.4039E-02 | 7.1231E-01 |
| | | 50.00 | 10000.00 | 2.1373E-02 | 4.6788E 01 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 2.9479E-02 | 3.3623E-01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 3.8357E-02 | 2.6071E 01 |
| 14.00 | 4767.07 | 35.00 | 4900.00 | 5.1311E-04 | 1.5485E 03 |
| | | 40.00 | 6400.00 | 6.3031E-03 | 1.5665E 02 |
| | | 45.00 | 8100.00 | 1.2865E-02 | 7.7750E 01 |
| | | 50.00 | 10000.00 | 2.0159E-02 | 4.5607E 01 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 2.8305E-02 | 3.5325E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 3.7183E-02 | 2.6894E 01 |

PRODUCCION POR OFICINA SA
 1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE-DE-LA-SUBESTACION-MEDIANTE-MASTILES

K1=2.0
K2= 3.1416

DENSIDAD-DE-DESCARGAS-A-TIERRA--3*860-DESCARGAS/(KM2*ANC)

PRODUCIDO POR OFFSETEC S.A

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|------|-------|-----------|-------|--------|-------|------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|---------------|
| ALTURA | (MT.) | AREA | (M2.) | DISTANCIA | (MT.) | AREA-A | (M2.) | DESCARGAS-QUE-PRODUCEN | FALLA DEL BLINDAJE DE | RIESGGO-DE-FALLA | DEL BLINDAJE DE | LA S/E (ANOS) |
|--------|-------|------|-------|-----------|-------|--------|-------|------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|---------------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 15.00 | 5065.64 | 40.00 | 6400.00 | 5.1506E-03 | 1.5415E 02 | 40.00 | 6400.00 | 5.1506E-03 | 5.1506E-03 | 1.5415E 02 | 40.00 | 6400.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 16.00 | 5358.79 | 40.00 | 6400.00 | 4.0151E-03 | 2.4881E 02 | 45.00 | 8100.00 | 1.0581E-02 | 1.0581E-02 | 9.4505E 01 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 17.00 | 5646.58 | 40.00 | 6400.00 | 2.9022E-03 | 3.4285E 02 | 45.00 | 8100.00 | 5.4702E-03 | 1.0581E-02 | 1.0581E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 18.00 | 5929.07 | 40.00 | 6400.00 | 1.8178E-03 | 5.5012E 02 | 45.00 | 8100.00 | 8.3798E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 19.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 20.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 21.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 22.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 23.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 24.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 25.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 26.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 27.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 28.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 29.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 30.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 31.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 32.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|
| 33.00 | 6206.32 | 40.00 | 6400.00 | 7.4759E-04 | 1.2376E 03 | 45.00 | 8100.00 | 7.2096E-03 | 1.5714E-02 | 1.5714E 02 | 45.00 | 8100.00 |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------|---------|

DISEÑO DEL SISTEMA DE BILINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE MASTILES

$$K1 = 2.0$$

$$K2 = 3.1416$$

DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3.60-DESCARGAS/(KM²*ANG)

ALTIMERA (MT.)
 EFECTIVA (MT.)
 AREA PROTEGIDA (M²)
 DISTANCIA PROTEGIDA (MT.)
 AREA-A PROTEGERSE (M²)
 DESCARGAS QUE PRODUCEN LA S/E (PCR ANC)
 RIESGO DE FALLA DEL BILINDAJE DE LA S/E (ARCS)

PRODUCIDO POR OFFICEC S.A.

| | | | | | |
|-------|---------|-------|----------|------------|------------|
| 20.00 | 6478.41 | 45.00 | 8100.00 | 6.2593E-03 | 1.5576E 02 |
| | | 50.00 | 10000.00 | 1.3593E-02 | 7.3266E 01 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 2.1699E-02 | 4.6084E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 3.0577E-02 | 3.2704E 01 |
| 21.00 | 6745.41 | 45.00 | 8100.00 | 5.2287E-03 | 1.5125E 02 |
| | | 50.00 | 10000.00 | 1.1552E-02 | 8.6568E 01 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 1.9658E-02 | 5.0871E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 2.8536E-02 | 3.5044E 01 |
| 23.00 | 7264.35 | 45.00 | 8100.00 | 3.2256E-03 | 3.1002E 02 |
| | | 50.00 | 10000.00 | 1.0560E-02 | 5.4701E 01 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 1.8666E-02 | 5.3574E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 2.7544E-02 | 3.6206E 01 |
| 24.00 | 7516.44 | 45.00 | 8100.00 | 2.2525E-03 | 4.4354E 02 |
| | | 50.00 | 10000.00 | 9.5865E-03 | 1.0421E 02 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 1.7693E-02 | 5.6521E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 2.6571E-02 | 3.7636E 01 |

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE MASTILES

$$K1=2.0$$

$$K2=3.1416$$

DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3*BEG-DESCARGAS/(KM2*AND)

PRODUCIDO POR OFFSETEC S.A

| ALTIMETRIA (MT.) | AREA PROTEGIDA (M2.) | DISTANCIA PROTEGIDA (MT.) | AREA A PROTEGERSE (M2.) | FALLA DEL BLINDAJE DE DESCARGAS QUE PRODUCEN LA S/E (PCR ANC) | RIESGGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE LA S/E (ANGS) |
|------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|---|--|
| 25.00 | 7763.69 | 45.00 | 8100.00 | 1.2982E-03 | 7.7032E 02 |
| | | 50.00 | 10000.00 | 8.6322E-03 | 1.1585E 02 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 1.6738E-02 | 5.9744E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 2.5616E-02 | 3.5038E 01 |
| 26.00 | 8006.18 | 45.00 | 8100.00 | 3.6215E-04 | 2.7613E 03 |
| | | 50.00 | 10000.00 | 7.6961E-03 | 1.2594E 02 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 1.5802E-02 | 6.3282E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 2.4680E-02 | 4.0518E 01 |
| 27.00 | 8243.96 | 50.00 | 10000.00 | 6.7783E-03 | 1.4753E 02 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 1.4884E-02 | 6.7185E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 2.3762E-02 | 4.2083E 01 |
| 28.00 | 8477.12 | 50.00 | 10000.00 | 5.8783E-03 | 1.7012E 02 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 1.3584E-02 | 7.1505E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 2.2862E-02 | 4.3740E 01 |
| 29.00 | 8705.71 | 50.00 | 10000.00 | 4.9959E-03 | 2.0016E 02 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 1.3102E-02 | 7.6325E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 2.1580E-02 | 4.5456E 01 |
| 30.00 | 8929.80 | 50.00 | 10000.00 | 4.1309E-03 | 2.4208E 02 |
| | | 55.00 | 12100.00 | 1.2237E-02 | 8.1720E 01 |
| | | 60.00 | 14400.00 | 2.1115E-02 | 4.7360E 01 |

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
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
99
100

CASO B

DISEÑO DEL SISTEMA DE BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE BASTILES

$K1=2.0$
 $K2=3.1416$

DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3.0×10^{-6} DESCARGAS/(KM²*AÑO)

| ALTIMETRIA (MT.) | AREA PROTEGIDA (M ²) | 1000.0 | 2000.0 | 5000.0 | 10000.0 | 20000.0 | 50000.0 | 100000.0 - RIESGOS |
|------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------------------|
|------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------------------|

| | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.0 | 0.0 | 8.05 | 5.69 | 3.60 | 2.54 | 1.80 | 1.14 | 0.80 |
| 1.00 | 377.02 | 12.61 | 11.25 | 10.35 | 10.04 | 9.87 | 9.78 | 9.74 |
| 2.00 | 748.43 | 15.87 | 14.82 | 14.14 | 13.91 | 13.80 | 12.73 | 13.70 |
| 3.00 | 1114.22 | 18.53 | 17.63 | 17.07 | 16.88 | 16.79 | 16.73 | 16.71 |
| 4.00 | 1474.38 | 20.82 | 20.02 | 19.53 | 19.37 | 19.28 | 19.23 | 19.22 |
| 5.00 | 1828.92 | 22.85 | 22.12 | 21.68 | 21.53 | 21.46 | 21.41 | 21.40 |
| 6.00 | 2177.84 | 24.66 | 24.02 | 23.61 | 23.47 | 23.40 | 23.36 | 23.35 |
| 7.00 | 2521.15 | 26.26 | 25.74 | 25.36 | 25.23 | 25.17 | 25.13 | 25.12 |
| 8.00 | 2858.83 | 27.52 | 27.33 | 26.98 | 26.85 | 26.79 | 26.76 | 26.75 |
| 9.00 | 3150.90 | 29.37 | 28.81 | 28.47 | 28.36 | 28.30 | 28.27 | 28.26 |
| 10.00 | 3517.34 | 30.72 | 30.19 | 29.87 | 29.76 | 29.71 | 29.68 | 29.66 |
| 11.00 | 3838.16 | 32.00 | 31.49 | 31.18 | 31.08 | 31.03 | 31.00 | 30.99 |
| 12.00 | 4153.37 | 33.21 | 32.72 | 32.42 | 32.32 | 32.27 | 32.24 | 32.23 |
| 13.00 | 4463.00 | 34.36 | 33.88 | 33.60 | 33.50 | 33.45 | 33.42 | 33.41 |
| 14.00 | 4767.07 | 35.45 | 34.99 | 34.71 | 34.62 | 34.57 | 34.54 | 34.53 |
| 15.00 | 5065.64 | 36.49 | 36.04 | 35.77 | 35.68 | 35.63 | 35.60 | 35.60 |
| 16.00 | 5358.79 | 37.48 | 37.04 | 36.78 | 36.69 | 36.65 | 36.62 | 36.61 |
| 17.00 | 5646.58 | 38.42 | 38.00 | 37.74 | 37.66 | 37.61 | 37.59 | 37.58 |
| 18.00 | 5929.07 | 39.33 | 38.92 | 38.67 | 38.58 | 38.54 | 38.52 | 38.51 |
| 19.00 | 6206.32 | 40.20 | 39.80 | 39.55 | 39.47 | 39.43 | 39.41 | 39.40 |
| 20.00 | 6478.41 | 41.04 | 40.64 | 40.40 | 40.32 | 40.28 | 40.26 | 40.25 |
| 21.00 | 6745.41 | 41.85 | 41.46 | 41.22 | 41.14 | 41.10 | 41.08 | 41.07 |
| 22.00 | 7007.36 | 42.62 | 42.24 | 42.01 | 41.93 | 41.89 | 41.87 | 41.86 |
| 23.00 | 7264.35 | 43.37 | 42.99 | 42.77 | 42.69 | 42.65 | 42.63 | 42.62 |
| 24.00 | 7516.44 | 44.09 | 43.72 | 43.50 | 43.42 | 43.39 | 43.36 | 43.36 |
| 25.00 | 7763.69 | 44.78 | 44.42 | 44.20 | 44.13 | 44.09 | 44.07 | 44.06 |
| 26.00 | 8006.18 | 45.46 | 45.10 | 44.88 | 44.81 | 44.77 | 44.75 | 44.75 |
| 27.00 | 8243.96 | 46.11 | 45.75 | 45.54 | 45.47 | 45.43 | 45.41 | 45.41 |
| 28.00 | 8477.12 | 46.72 | 46.39 | 46.18 | 46.11 | 46.07 | 46.05 | 46.04 |
| 29.00 | 8705.71 | 47.24 | 47.00 | 46.79 | 46.72 | 46.69 | 46.67 | 46.66 |
| 30.00 | 8925.80 | 47.53 | 47.59 | 47.39 | 47.32 | 47.28 | 47.26 | 47.26 |

DISEÑO DEL SISTEMA DE RINDAJE DE UNA SUBESTACION

BLINDAJE DE LA SUBESTACION MEDIANTE CABLES DE GUARDOIA

LONGITUD = 30.48 MTS.

K1 = 1.0

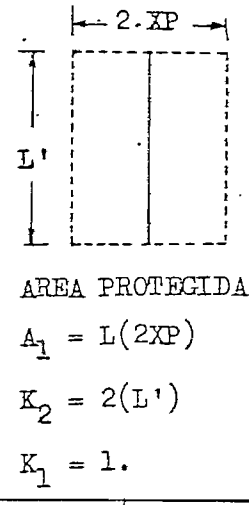
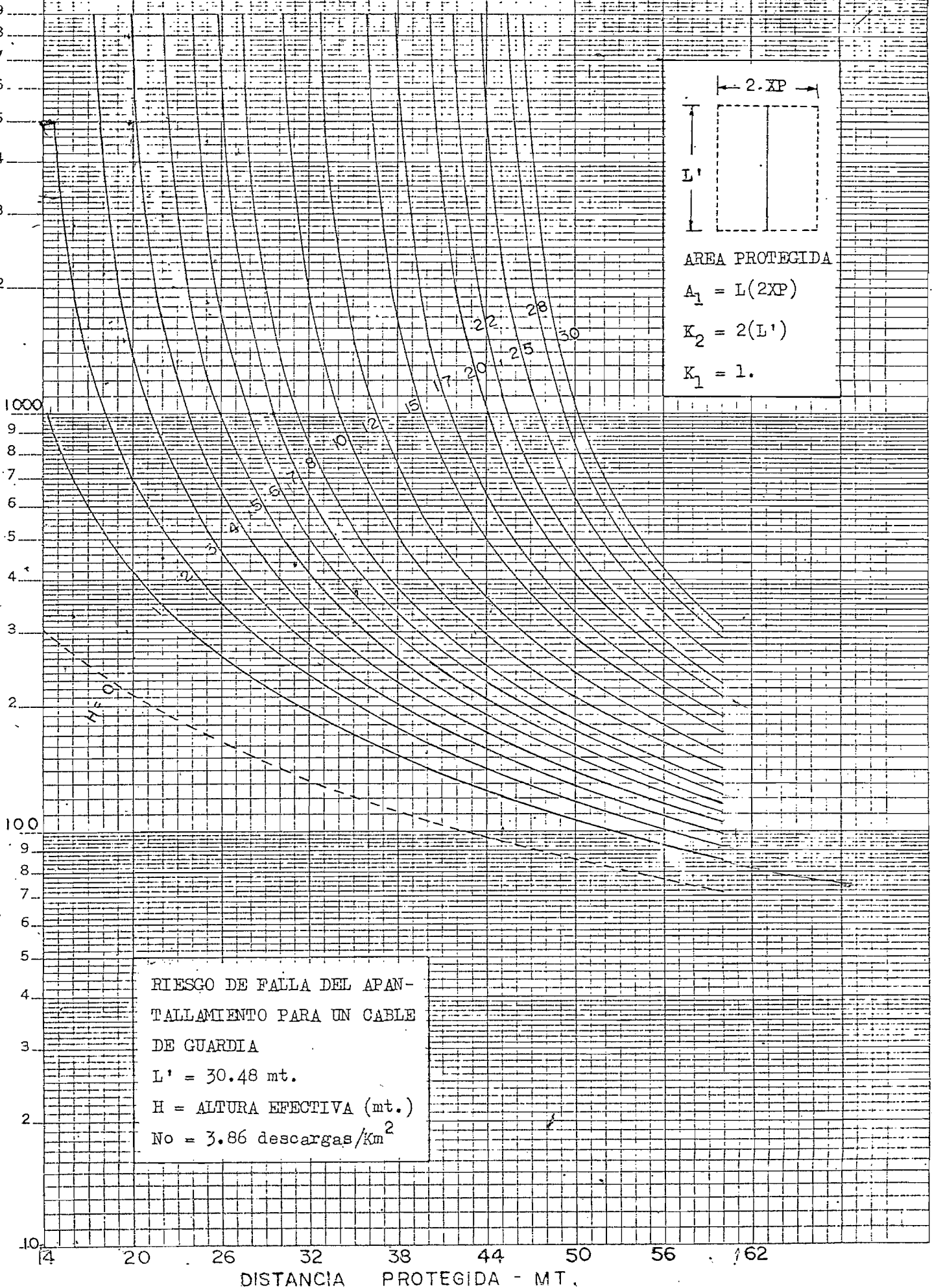
K2 = 60.9600

DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA = 3.860 DESCARGAS/(KM2*ANO)

| ALtura (Mts.) | AREA PROTEGIDA (M2.) | 1000.0 | 2000.0 | 5000.0 | 10000.0 | 20000.0 | 50000.0 | 100000.0 - RIESGOS |
|---------------|----------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------------------|
|---------------|----------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------------------|

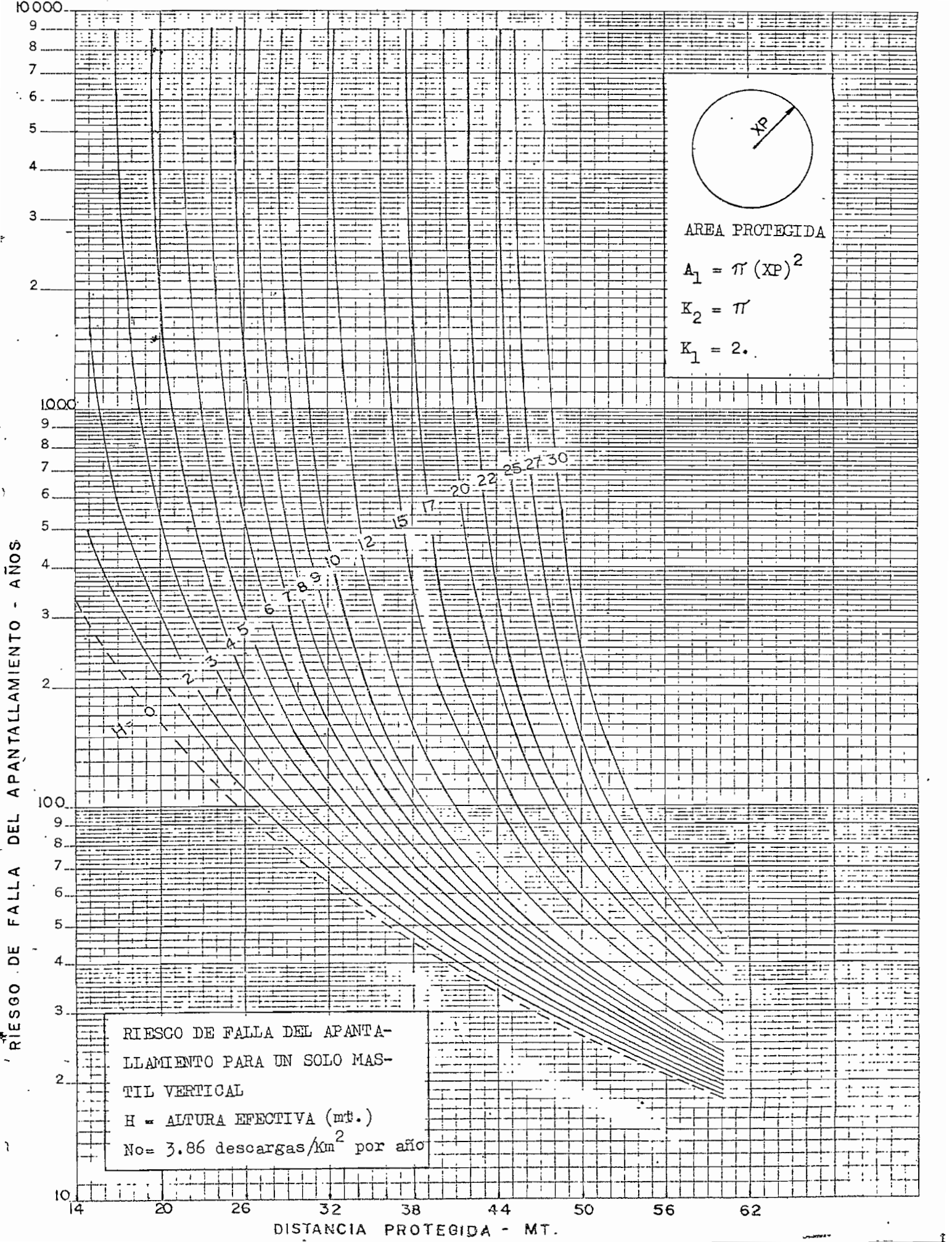
| | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.00 | 0.00 | 4.25 | 2.12 | 0.85 | 0.42 | 0.21 | 0.08 | 0.04 |
| 1.00 | 599.22 | 14.06 | 11.95 | 10.68 | 10.25 | 10.04 | 9.51 | 9.87 |
| 2.00 | 843.47 | 18.09 | 15.96 | 14.69 | 14.26 | 14.05 | 13.92 | 13.88 |
| 3.00 | 1028.14 | 21.12 | 18.99 | 17.72 | 17.29 | 17.08 | 16.95 | 16.91 |
| 4.00 | 1181.49 | 23.63 | 21.51 | 20.23 | 19.81 | 19.59 | 19.47 | 19.42 |
| 5.00 | 1314.52 | 25.81 | 22.69 | 22.41 | 21.99 | 21.78 | 21.65 | 21.61 |
| 6.00 | 1432.89 | 27.76 | 25.63 | 24.36 | 23.93 | 23.72 | 23.59 | 23.55 |
| 7.00 | 1539.97 | 29.81 | 27.39 | 26.11 | 25.69 | 25.47 | 25.35 | 25.30 |
| 8.00 | 1637.95 | 31.12 | 28.99 | 27.72 | 27.29 | 27.08 | 26.95 | 26.91 |
| 9.00 | 1728.38 | 32.60 | 30.48 | 29.20 | 28.78 | 28.57 | 28.44 | 28.40 |
| 10.00 | 1812.36 | 33.96 | 31.86 | 30.58 | 30.16 | 29.94 | 29.82 | 29.77 |
| 11.00 | 1890.75 | 35.27 | 33.14 | 31.87 | 31.44 | 31.23 | 31.10 | 31.06 |
| 12.00 | 1964.19 | 36.47 | 34.35 | 33.07 | 32.65 | 32.43 | 32.31 | 32.26 |
| 13.00 | 2033.36 | 37.61 | 35.48 | 34.21 | 33.78 | 33.57 | 33.44 | 33.40 |
| 14.00 | 2098.57 | 38.68 | 36.55 | 35.28 | 34.85 | 34.64 | 34.51 | 34.47 |
| 15.00 | 2160.20 | 39.65 | 37.56 | 36.29 | 35.86 | 35.65 | 35.52 | 35.48 |
| 16.00 | 2218.60 | 40.64 | 38.52 | 37.24 | 36.82 | 36.61 | 36.48 | 36.44 |
| 17.00 | 2274.03 | 41.55 | 39.43 | 38.15 | 37.73 | 37.52 | 37.39 | 37.35 |
| 18.00 | 2326.73 | 42.42 | 40.29 | 39.02 | 38.59 | 38.38 | 38.25 | 38.21 |
| 19.00 | 2376.92 | 43.24 | 41.12 | 39.84 | 39.42 | 39.20 | 39.08 | 39.03 |
| 20.00 | 2424.80 | 44.03 | 41.90 | 40.63 | 40.20 | 39.99 | 39.86 | 39.82 |
| 21.00 | 2470.51 | 44.78 | 42.65 | 41.38 | 40.95 | 40.74 | 40.61 | 40.57 |
| 22.00 | 2514.19 | 45.49 | 43.37 | 42.09 | 41.67 | 41.46 | 41.33 | 41.29 |
| 23.00 | 2555.99 | 46.18 | 44.05 | 42.78 | 42.35 | 42.14 | 42.01 | 41.97 |
| 24.00 | 2596.02 | 46.84 | 44.71 | 43.44 | 43.01 | 42.80 | 42.67 | 42.63 |
| 25.00 | 2634.39 | 47.46 | 45.34 | 44.07 | 43.64 | 43.43 | 43.30 | 43.26 |
| 26.00 | 2671.19 | 48.07 | 45.94 | 44.67 | 44.24 | 44.03 | 43.90 | 43.86 |
| 27.00 | 2706.51 | 48.65 | 46.52 | 45.25 | 44.82 | 44.61 | 44.48 | 44.44 |
| 28.00 | 2740.42 | 49.20 | 47.08 | 45.80 | 45.38 | 45.17 | 45.04 | 45.00 |
| 29.00 | 2773.02 | 49.74 | 47.61 | 46.34 | 45.91 | 45.70 | 45.57 | 45.53 |
| 30.00 | 2804.35 | 50.25 | 48.13 | 46.85 | 46.43 | 46.22 | 46.09 | 46.05 |

RIESGO DE FALLA DEL APANTALLAMIENTO - AÑOS



RIESGO DE FALLA DEL APANTALLAMIENTO PARA UN CABLE DE GUARDIA
 $L' = 30.48$ mt.
 $H =$ ALTURA EFECTIVA (mt.)
 $N_0 = 3.86$ descargas/ km^2

DISTANCIA PROTEGIDA - MT.



AREA PROTEGIDA

$$A_1 = \pi (XP)^2$$

$$K_2 = \pi$$

$$K_1 = 2$$

RIESGO DE FALLA DEL APANTALLAMIENTO PARA UN SOLO MASTIL VERTICAL
 $H =$ ALTURA EFECTIVA (mt.)
 $N_0 = 3.86$ descargas/ km^2 por año

RIESGO DE FALLA DEL APANTALLAMIENTO - AÑOS

DISTANCIA PROTEGIDA - MT.

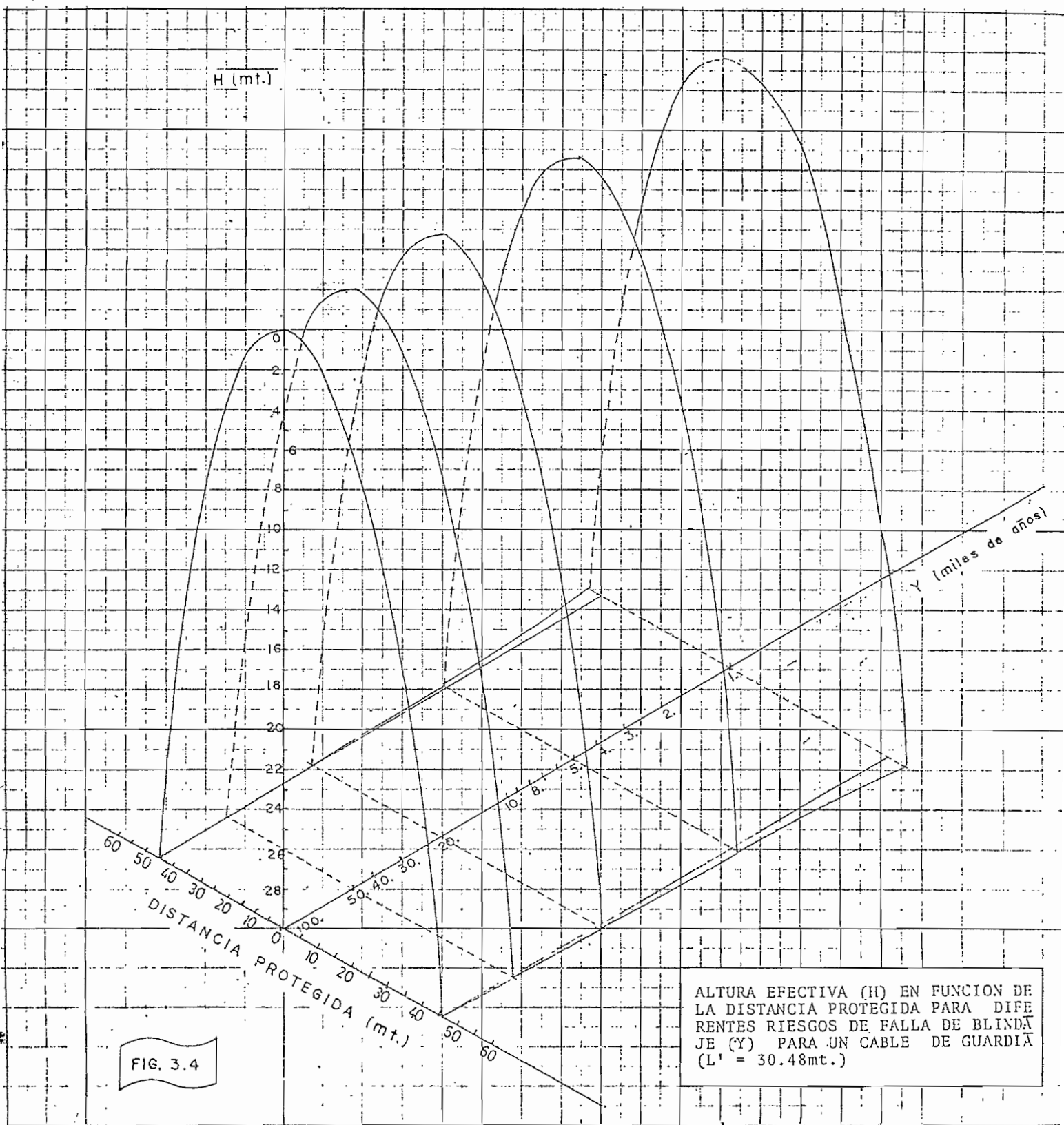
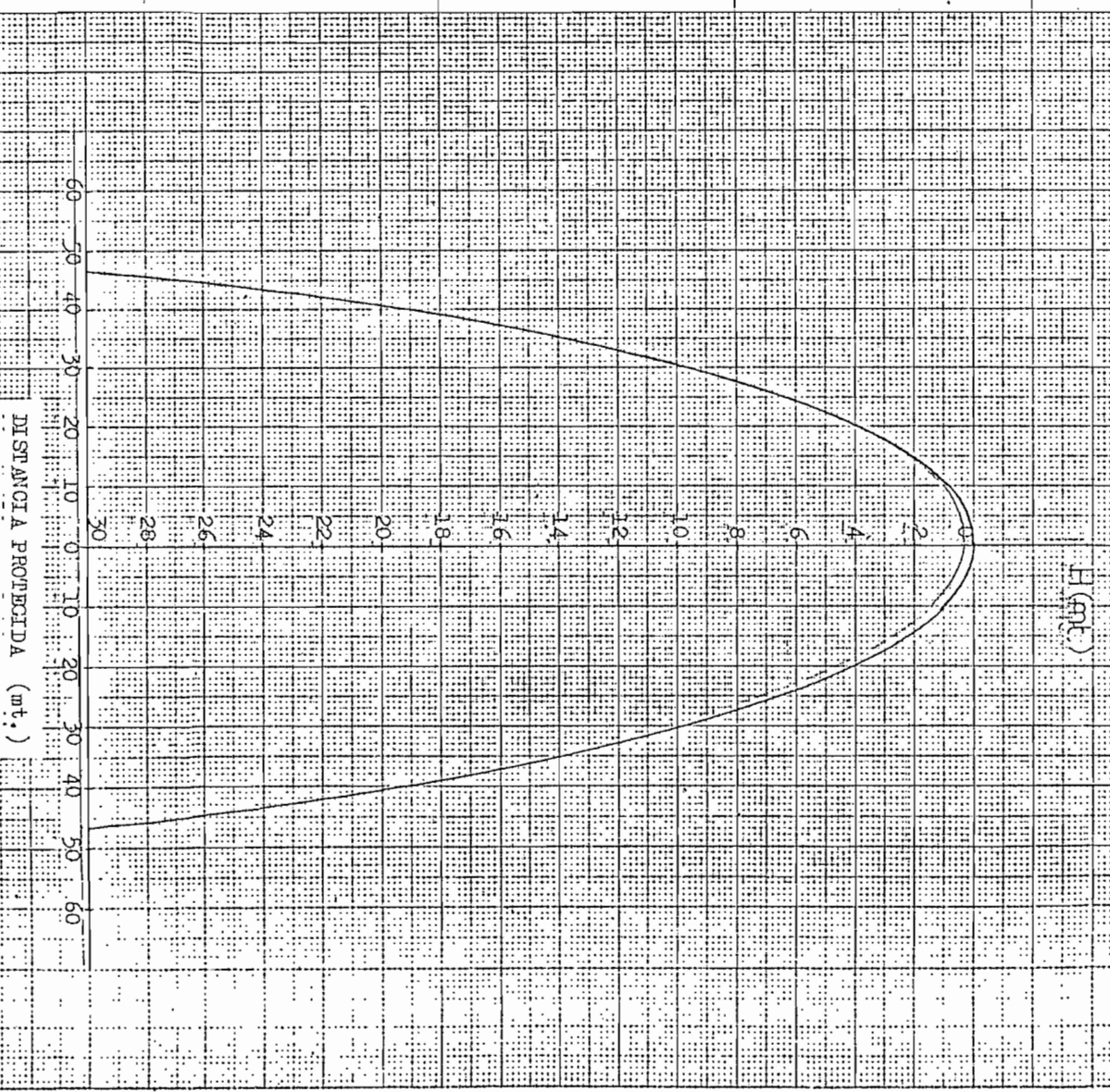


FIG. 3.4

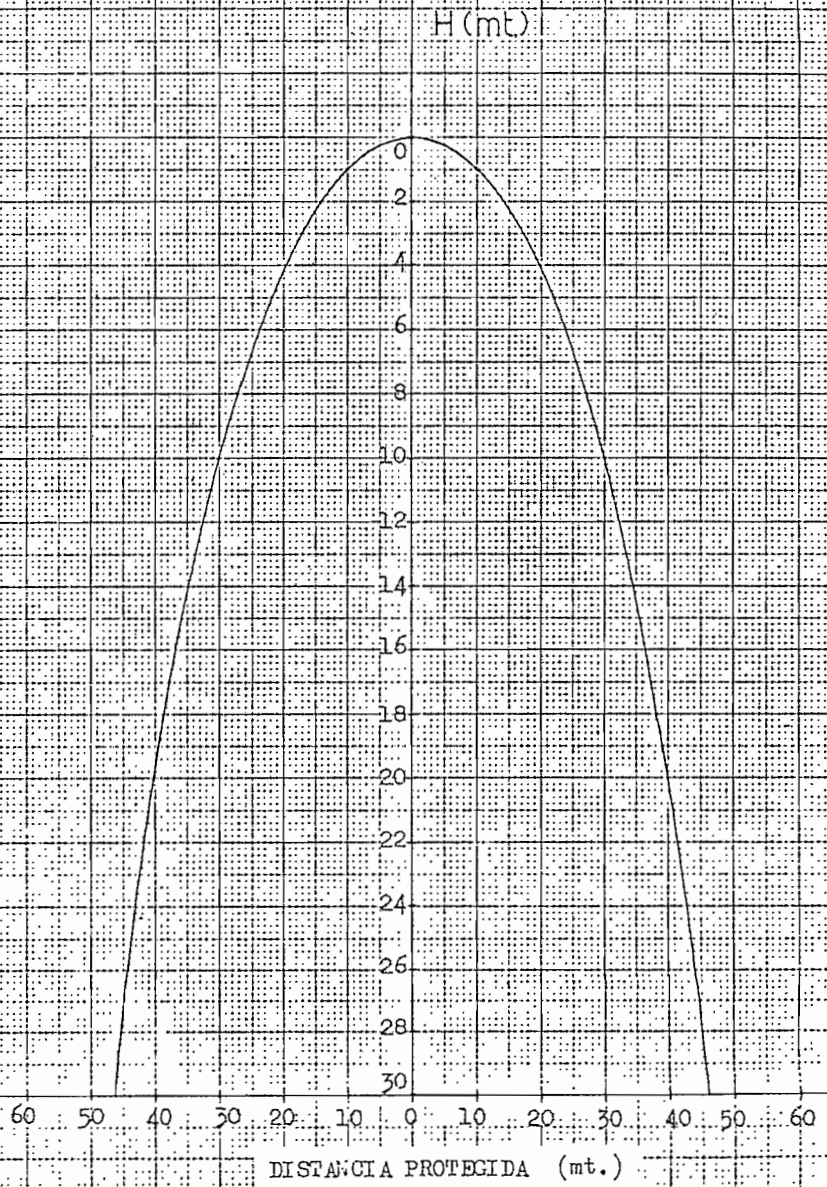
ALTURA EFECTIVA (H) EN FUNCION DE LA DISTANCIA PROTEGIDA PARA DIFERENTES RIESGOS DE FALLA DE BLINDAJE (Y) PARA UN CABLE DE GUARDIA ($L' = 30.48\text{mt.}$)

ALTURA EFECTIVA (H) EN
SOLUCIÓN DE LA DISTANCIA
PROTEGIDA PARA UN CABLE
DE CANTADA DE LONGITUD
L = 30.48 mt.
PRESIÓN DE VENTA DE AIRE
TALVE = 5000 AOS.

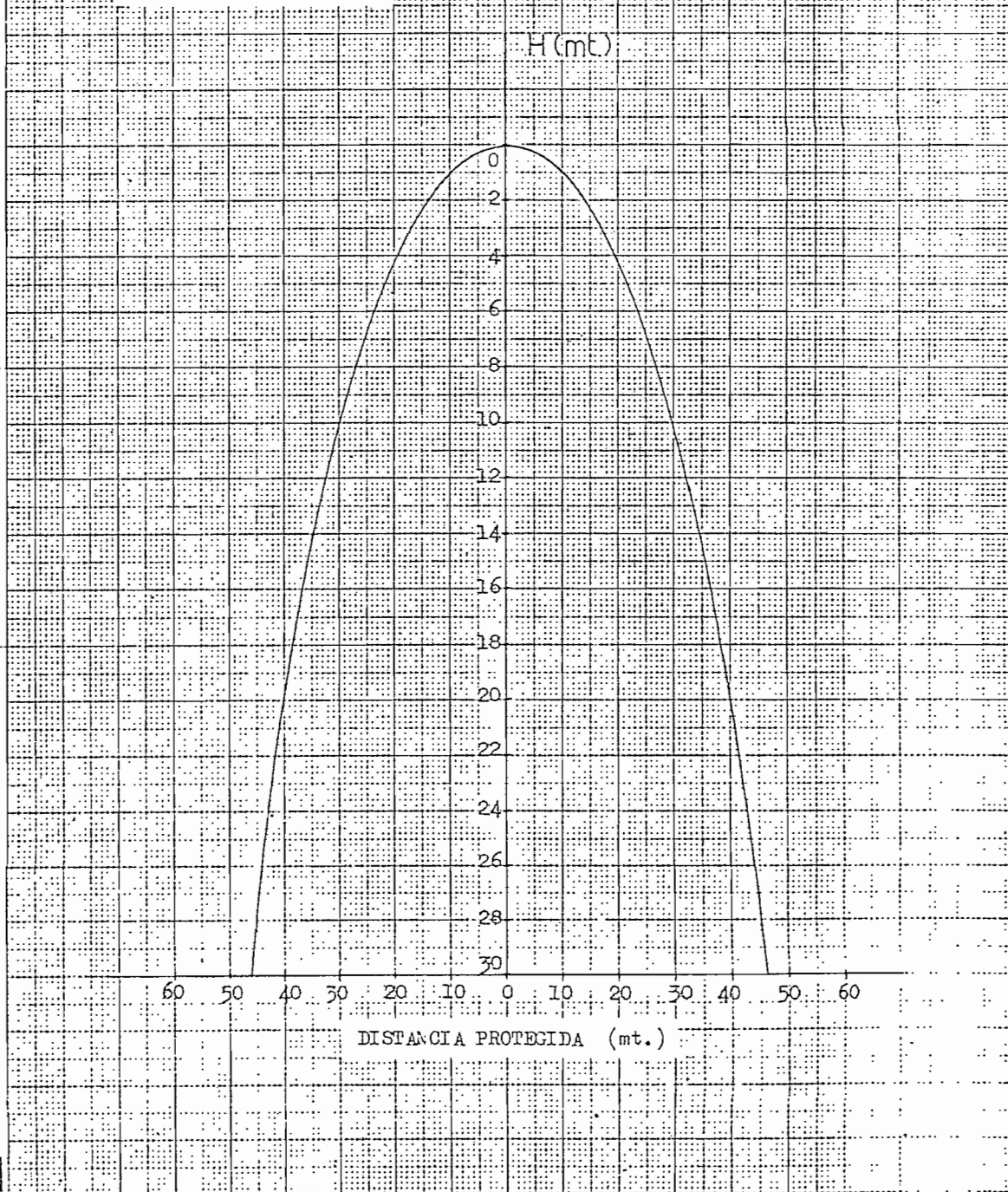


Spiras

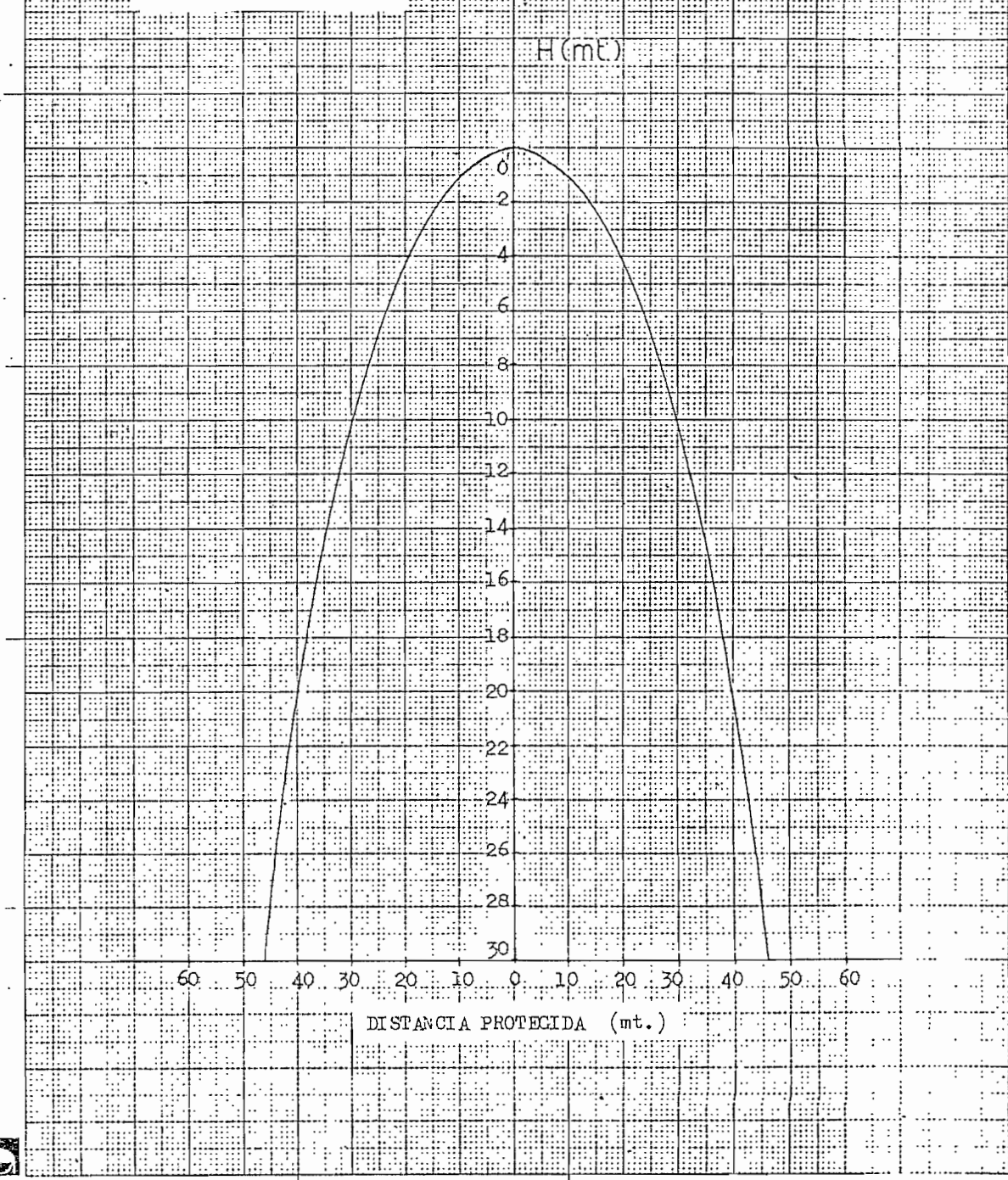
ALTURA EFECTIVA (H) EN
FUNCIÓN DE LA DISTANCIA
PROTEGIDA PARA UN CABLE
DE GUARDIA DE LONGITUD
 $L' = 30.48$ mt.
RIESGO DE FALLA DE BLEN
DAJE = 10000 AÑOS.



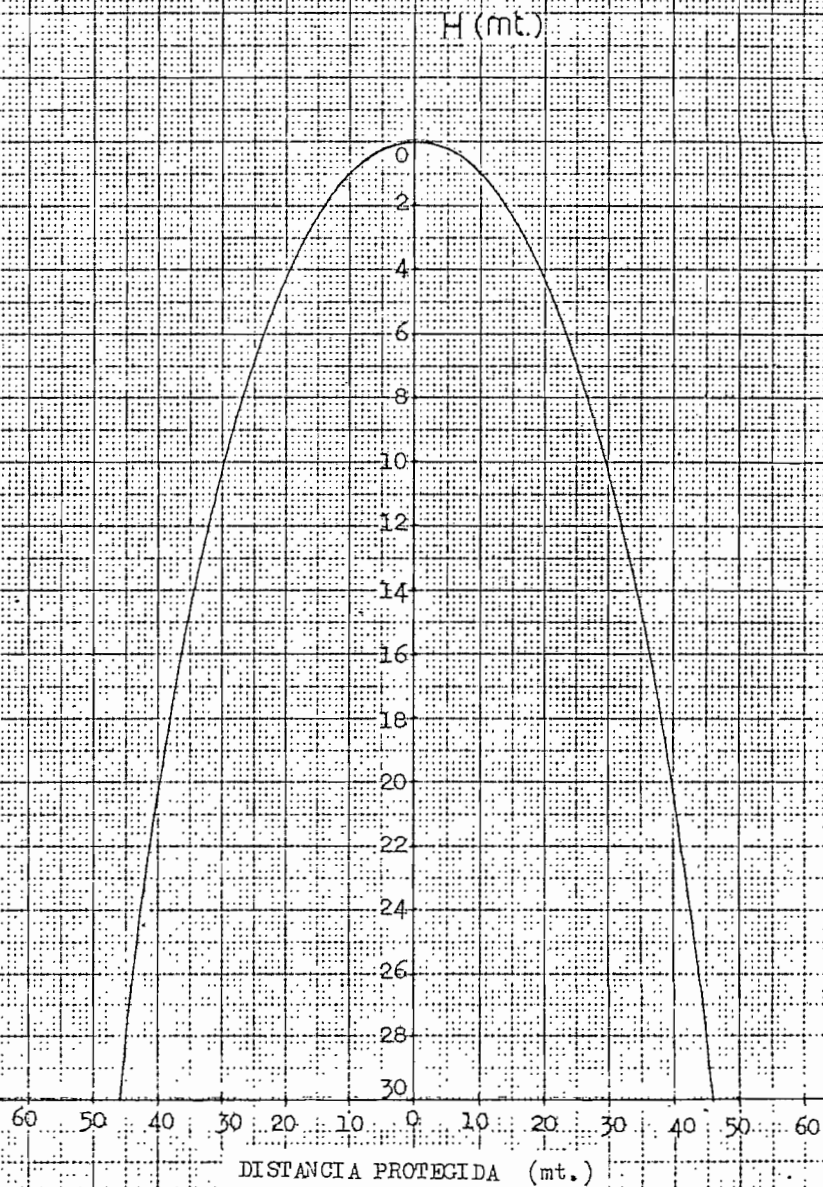
ALTURA EFECTIVA (H) EN
FUNCIÓN DE LA DISTANCIA
PROTEGIDA PARA UN CABLE
DE GUARDA DE LONGITUD
 $L' = 30.48$ mt.
RIESGO DE FALLA DE ELIM
DATE = 20000 AÑOS.



ALTURA EFECTIVA (H) EN
FUNCIÓN DE LA DISTANCIA
PROTEGIDA PARA UN CABLE
DE GUARDA DE LONGITUD
L' = 30.48 mt.
RIESGO DE FALLA DE BLTH
DAJE = 50000 AÑOS.



ALTURA EFECTIVA (H) EN
FUNCIÓN DE LA DISTANCIA
PROTEGIDA PARA UN CABLE
DE GUARDIA DE LONGITUD
 $L' = 30.49$ mt.
RIESGO DE FALLA DE BLMH
DAJE = 100000 AÑOS.



A N E X O 2

MANUAL DE USO

PROGRAMA PARA EVALUAR EL APANTALLAMIENTO DE SUBESTACIONES

MEDIANTE LA TÉCNICA DE SIMULACION DE MONTE CARLO Y

EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO TRIDIMENSIONAL

I. ALGORITMO QUE SE UTILIZA PARA LA SOLUCION DEL PROGRAMA

Se realiza el cálculo aleatorio del riesgo de falla del apantallamiento de una subestación mediante la técnica de simulación de Monte Carlo y el empleo del modelo electrogeométrico tridimensional.

En la técnica de Monte Carlo, los varios parámetros de la descarga son seleccionados aleatoriamente de sus distribuciones probabilísticas. Para cada descarga, los parámetros son usados como datos de entrada en el modelo electrogeométrico para predecir el eventual punto de incidencia de la descarga.

El problema se resuelve mediante un programa principal y tres subprogramas, que operan de la siguiente forma:

1. Lectura y escritura de datos generales.
2. Lectura de los datos de los conductores de apantallamiento.
3. Determinación de los cuatro vértices del plano a protegerse de la subestación.
4. Cálculo del área de la subestación.

II. DIAGRAMA DE FLUJO

Los diagramas de flujo del programa general, así como de la simulación de Monte Carlo y de la Subrutina PCOR 1, se presentan en las Figuras 2, 3 y 4 respectivamente.

III. VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROGRAMA

3.1 Variables de entrada. Forma de proporcionar los datos

- a) Lectura del número "sebo" del generador de números pseudo-aleatorios.

READ 6, X

6 FORMAT (19)

456789123

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|----------|--------|----------|--|
| X | Entera | 1-9 | Sebo del generador de números pseudo-aleatorios. |

- b) Lectura de datos generales.

READ 2, CASG, NLIN, NA

2 FORMAT (F10.0, 213)

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|-------------------------|--------|----------|--|
| CASG ✓ | Real | 1-10 | Factor que relaciona la distancia crítica de arqueo a tierra con la correspondiente a los cables de guardia o mástiles (Ksg.). |
| NLIN X | Entera | 11-13 | Número de tarjetas a emplearse para títulos del trabajo. |
| NA ✓ revisar 6200 | Entera | 14-16 | Número de años de simulación. |

c) Lectura de títulos del trabajo

~~READ 3, (T1T(I), I = 1, JI)~~
~~3 FORMAT (20 A4)~~

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|----------------|---------|----------|---|
| TIT | Literal | 1-80 | Título del trabajo; el número de tarjetas será el especificado en NLIN. |

d) Lectura de datos generales y características de la subestación que se desea proteger.

READ 7, NI, NG, NM, CKO, HO, L, W, AE

7 FORMAT (313, 5F10.4)

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|----------|--------|---------------------|---|
| NI | Entera | 1-3 <i>30</i> | Nivel isocerámico. |
| NG | Entera | 4-6 <i>25</i> | Número de cables de guardia. |
| NM | Entera | 7-9 <i>21</i> | Número de mástiles. |
| CKO | Real | 10-19 <i>0.1544</i> | Constante que relaciona el nivel isocerámico y la densidad de descargas a tierra (C). |
| HO | Real | 20-29 <i>19.</i> | Altura del plano protegido de la subestación (m.). |
| L | Real | 30-39 <i>119.</i> | Longitud de la subestación (m.). |
| W | Real | 40-49 <i>183.</i> | Ancho de la subestación (m.). |
| AE | Real | 50-59 <i>1609.</i> | Lado del área cuadrada alrededor de la subestación sobre la cual se considera la incidencia de las descargas (m.). Si no se especifica se toma un valor de 1609 m. (una milla). |

e) Lectura de las coordenadas de los dos extremos de los cables de guardia (dos cables de guardia por tarjeta). Deberá perforarse siempre que NG sea diferente de cero.

READ (1,8) (XG1(I), YG1(I), ZG1(I), XG2(I), YG2(I), ZG2(I),

I = 1, NG).

8 FORMAT (12 F6.1)

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|----------|------|------------|---|
| XG1(I) | Real | 1-6 /5. | Abscisa media del extremo 1 del cable de guardia (I) (m.). |
| " | " | 37-42 49.5 | " " |
| YG1(I) | Real | 7-12 41.5 | Ordenada media del extremo 1 del cable de guardia (I) (m.). |
| " | " | 43-48 20.5 | " " |
| ZG1(I) | Real | 13-18 23.8 | Altura media del extremo 1 del cable de guardia (I) (m.). |
| " | " | 49-54 23.8 | " " |
| ZG2(I) | Real | 19-24 /5.0 | Abscisa media del extremo 2 del cable de guardia (I) (m.). |
| " | " | 55-60 49.5 | " " |

| VARIABLE | TIPO | COLUMNAS | DESCRIPCION |
|----------|------|----------|--|
| YM(J) | Real | 7-12 | Ordenada media del mástil (J) (m.). |
| " | " | 25-30 | " " |
| " | " | 43-48 | " " |
| " | " | 61-66 | " " |
| ZM(J) | Real | 13-18 | Altura media del mástil (J) (m.). |
| " | " | 31-36 | " " |
| " | " | 49-54 | " " |
| " | " | 67-72 | " " |

NOTA: Se anexan hojas indicativas (esquema Nº 1).

Todas las coordenadas están referidas al punto O de la Fig. 1.

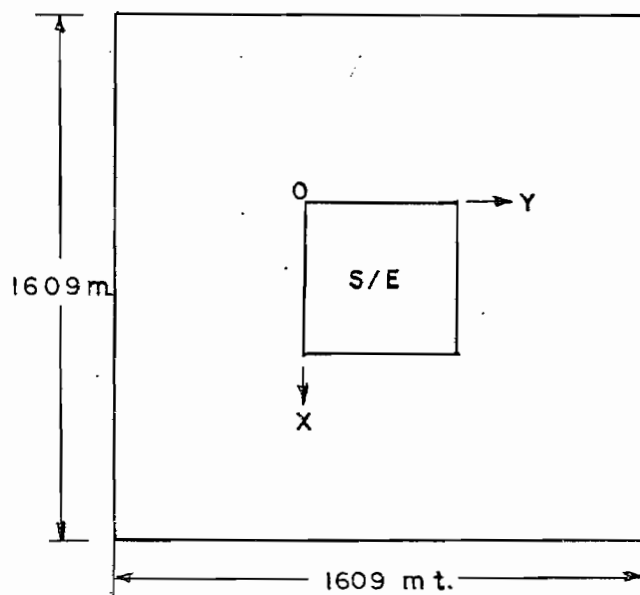


Fig. 1. Sistema de coordenadas a emplearse para los datos de entrada.

3.2 VARIABLES de salida

| VARIABLE | DESCRIPCION |
|----------|---|
| EA | Exposición del área protegida de la subestación (%). |
| NIG | Número de descargas incidentes sobre los cables de guardia y/o mástiles, (por año). |
| NIT | Número de descargas a tierra, (por año). |
| NRAY | Número de descargas simuladas por año. |
| NSAL | Número de salidas de la subestación por falla del apantallamiento (por año). |
| NY | Contador de años. |
| YA | Riesgo de falla del apantallamiento (años/descarga). |

En caso de que ocurra una falla del apantallamiento, el programa entrega las tres variables siguientes:

| | |
|-----|--|
| XG | Abscisa del punto de incidencia de la descarga a tierra (m.). |
| YG | Ordenada del punto de incidencia de la descarga a tierra (m.). |
| COR | Magnitud de la corriente de la descarga (I en KA). |

3.3 Variables auxiliares importantes

| VARIABLE | DESCRIPCION |
|----------|--|
| AS | Area alrededor de la subestación sobre la cual se considera la incidencia de las descargas ($m.^2$). |
| AP | Area total de la subestación a protegerse ($m.^2$). |
| ENE | Número promedio de fallas del apantallamiento de la subestación por año. |
| NDA | Número de descargas sobre el área AS por año. |
| NDIA | Contador del número de días para un año de simulación. |
| NPRT | Niveles de probabilidad de descargas por tormenta. |
| NRT | Número de descargas por tormenta. |
| PRT | Promedio de descargas por tormenta. |
| PTA | Probabilidad de tormenta al año. |
| RS | Distancia crítica de arqueo (r_{sc}) |
| XB1(I) | Coordenadas que definen las posiciones |
| YB1(I) | de los cuatro vértices del plano protegido de la subestación (m.). |
| ZB1(I) | |

IV. FORMA DE UTILIZAR EL PROGRAMA GRABADO EN EL DISCO Y EN LA CINTA

En el esquema Nº 2 se presentan las tarjetas de control requeridas para la utilización del programa en cualquiera de los dos casos.

V. RESTRICCIONES

El programa está diseñado para evaluar el apantallamiento de una subestación protegida a un mismo nivel. Los resultados entregados por el programa permiten determinar las zonas de la subestación más expuestas a las descargas atmosféricas, así como las fallas del apantallamiento sobre la base del modelo electrogeométrico; sin embargo, no es posible modelar los diferentes componentes de la subestación (barras, transformadores, disyuntores, etc.).

VI. EJEMPLOS

El programa se aplicó a la Subestación Quevedo del Sistema Ecuatoriano. El patio de 230 KV tiene las siguientes características:

Superficie: $119 \times 183 \text{ m.}^2$

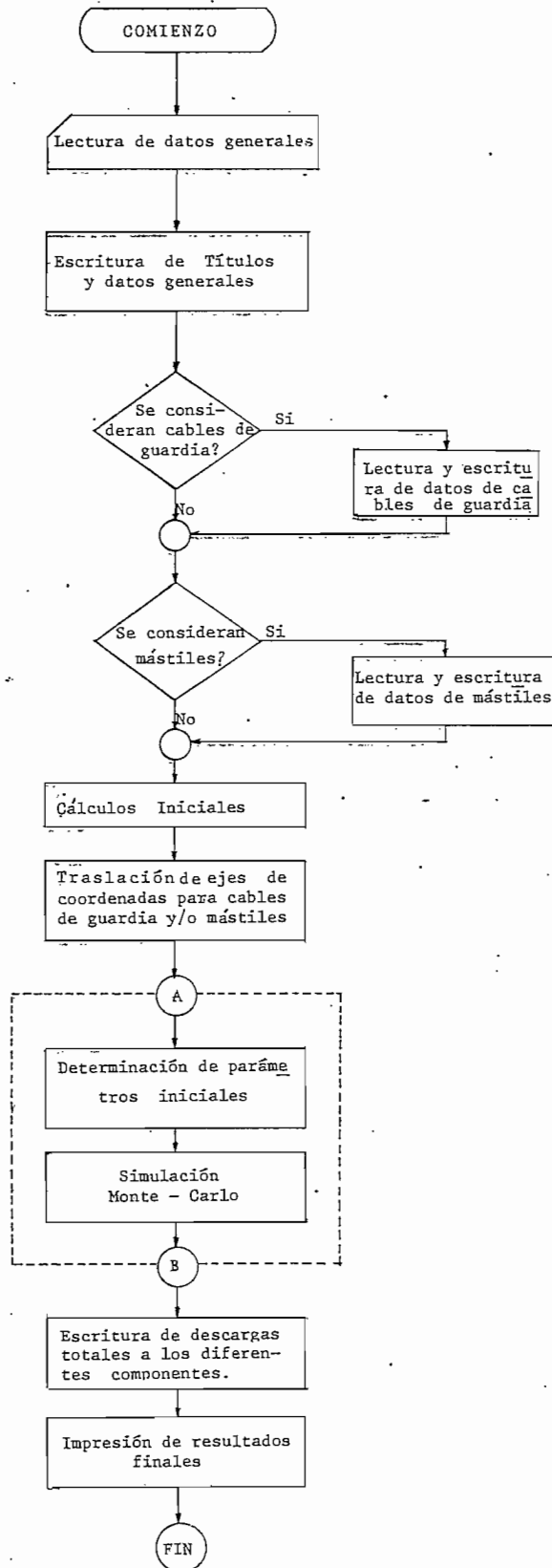


Fig. 2 Diagrama de flujo general del programa empleado para evaluar el apantallamiento de subestaciones contra descargas atmosféricas mediante la técnica de simulación de Monte Carlo.

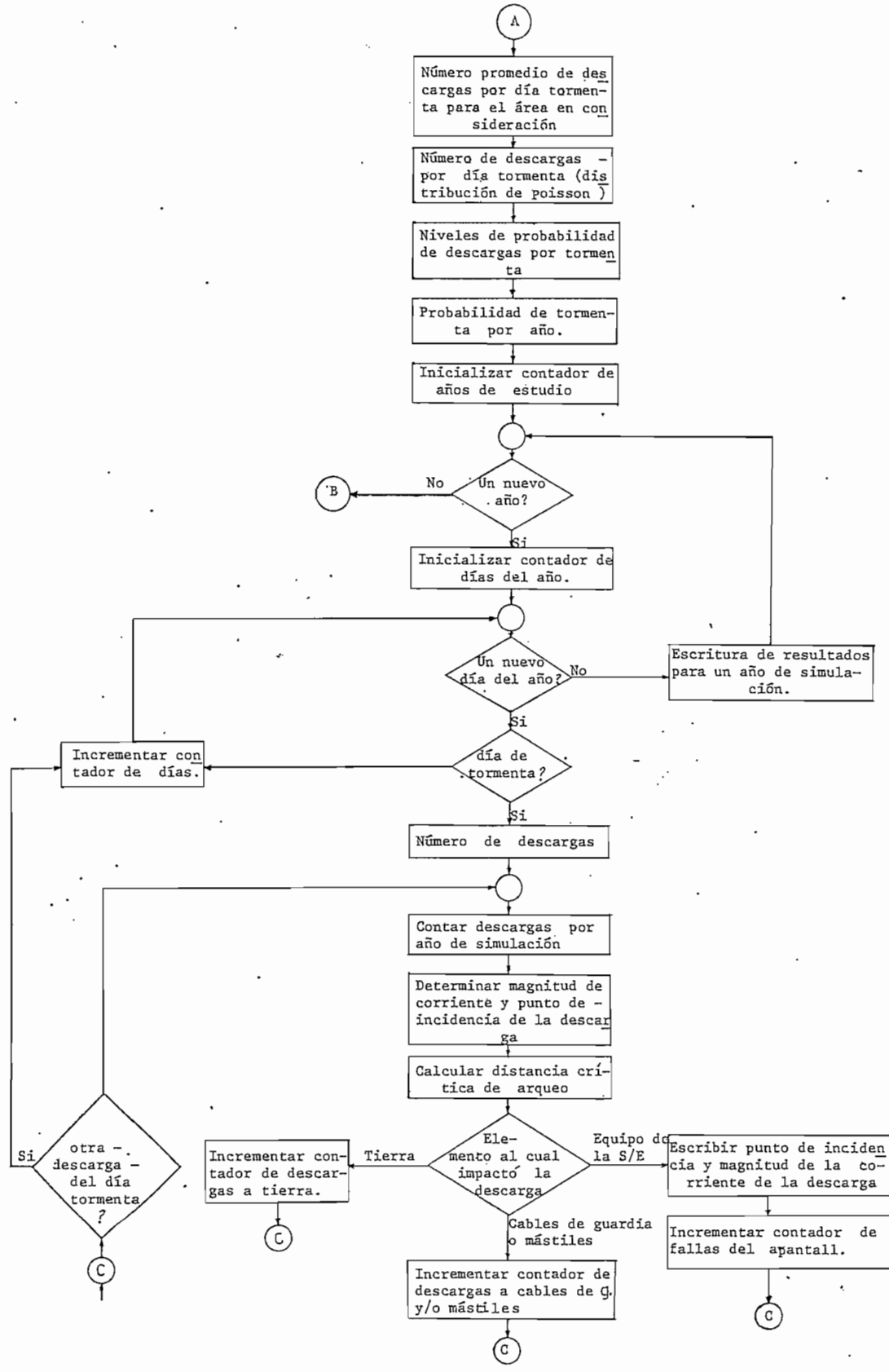


Fig. 3 Diagrama de flujo de la simulación de Monte Carlo (7)

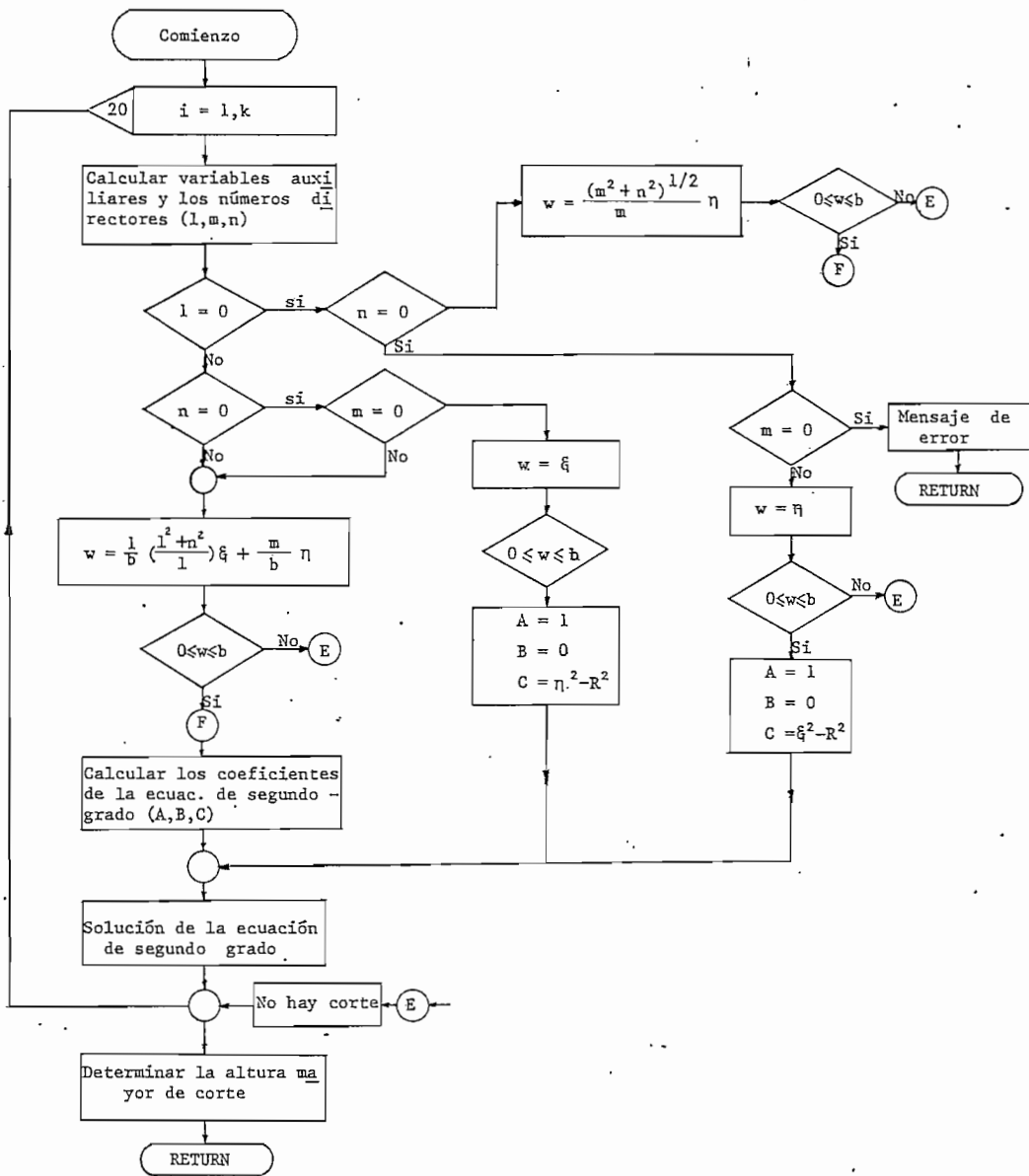


Fig. 4 Diagrama de flujo de la Subrutina PCOR1

```

*****
4 *****
5 *****
6 *****
7 *****
8 *****
9 *****
10 ***TRANSFERENCIA DE TARJETAS A IMPRESORA***
11 // EXEC PROC=34FL
12
13 C CALCULO ALATORIO DEL RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE UNA SUBESTACION
14 C ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE
15 C MONTE-CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD
16 COMMON XC,VG,RS
17 REAL L,ND A
18 INTEGER X
19 DIMENSION XG1(50),XG1(50),ZG1(50),XG2(50),YG2(50),ZG2(50)
20 DIMENSION XM(100),YM(100),ZM(100)
21 DIMENSION T1(120),XB1(4),YB1(4),ZB1(4),XB2(4),YB2(4),ZB2(4)
22 C LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS GENERALES
23 PRINT 1001
24 WRITE(3,1)
25 FORMAT(//,2X,*,CALCULO ALATORIO DEL RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE
26 *DE UNA SUBESTACION,/,2X,*,ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA
27 *TECNICA DE SIMULACION DE MONTE-/,2X,*,CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO
28 *ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD,////)
29 READ 6,X
30 C 6
31 FORMAT(19)
32 READ 2,CASG,NFIN,NA
33 FORMAT(F10.0,2I3)
34 J1=NFIN*20
35 READ 3,(T1(1),I=1,J1)
36 C 3
37 FORMAT(20A4)
38 PRINT 4,(T1(1),I=1,J1)
39 C 4
40 FORMAT(6(2X,20A4/))
41 PRINT 5,CASG,NA
42 FORMAT(//,2X,*,FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A
43 */,2X,*,TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA=*,F5.3
44 */,2X,*,NUMERO DE AROS DE SIMULACION=*,I3//)
45 READ 7,N1,NG,NM,CMD,HO,L,M,NAE
46 C 7
47 FORMAT(2I3,SF10.4)
48 PRINT 6A,N1,NG,NM,CMD,HO,L,M,NA
49 FORMAT(2X,*,NIVEL (OCERAVUNIC)=*,I3/2X,*,NUMERO DE CABLES DE GUARDIA
50 */,13/2X,*,NUMERO DE MASTILES=*,I3/2X,*,CONSTANTE QUE RELACIONA EL
51 *NIVEL (OCERAVUNIC) DE /,2X,*,LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS
52 *A TIERRA=*,F7.5/2X,*,ALTURA DEL EQUIPO PROTEGIDO=*,F7.3,*,MIS,*/2X
53 *LONGITUD DE LA SUBESTACION=*,F8.3,*,MIS,*/2X,*,ANCHO DE LA SUBESTA
54 *CION=*,F8.3,*,MIS,*/2X,////)
55 PRINT 1001
56 1001 FORMAT(1,1,////)
57 C
58 SI SE CONSIDERAN CABLES DE GUARDIA
59 IF(NG,75,76,75)
60 READ(1,8)(XG1(I),YG2(I),ZG2(I),I=1,NG)
61 PRINT 4A
62 FORMAT(//,2X,*,COORDENADAS DE LOS CABLES DE GUARDIA
63 * (METROS),/,10X,CABLE,9X,*,X,5X,*,Y,5X,*,Z,////)
64 PRINT 14A,(I,XG1(I),YG2(I),ZG2(I),I=1,NG)
65 GO TO 48
66 WRITE(3,45)
67 FORMAT(3,45)
68 C
69 SI SE CONSIDERAN CABLES DE GUARDIA
70 IF(NM,77,78,77)
71 READ(1,8)(XM(J),YM(J),ZM(J),J=1,NM)
72 FORMAT(12F6.1)
73 PRINT 46
74 C
75 COORDENADAS DE LOS MASTILES (METROS),/,10X,*,MASTIL,
76 * 8X,*,X,9X,*,Y,9X,*,Z,////)
77 PRINT 146,(J,XM(J),YM(J),ZM(J),J=1,NM)
78 FORMAT(10X,I3,5X,3F10.3/)

```

LISTADO

C CALCULO ALATORIO DEL RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE UNA SUBESTACION

C ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE

C MONTE-CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD

C COMMON XC,VG,RS

C REAL L,ND A

C INTEGER X

C DIMENSION XG1(50),XG1(50),ZG1(50),XG2(50),YG2(50),ZG2(50)

C DIMENSION XM(100),YM(100),ZM(100)

C DIMENSION T1(120),XB1(4),YB1(4),ZB1(4),XB2(4),YB2(4),ZB2(4)

C LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS GENERALES

C PRINT 1001

C WRITE(3,1)

C FORMAT(//,2X,*,CALCULO ALATORIO DEL RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE

C *DE UNA SUBESTACION,/,2X,*,ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA

C *TECNICA DE SIMULACION DE MONTE-/,2X,*,CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO

C *ELECTROGEOMETRICO DE WHITEHEAD,////)

C READ 6,X

C 6

C FORMAT(19)

C READ 2,CASG,NFIN,NA

C FORMAT(F10.0,2I3)

C J1=NFIN*20

C READ 3,(T1(1),I=1,J1)

C 3

C FORMAT(20A4)

C PRINT 4,(T1(1),I=1,J1)

C 4

C FORMAT(6(2X,20A4/))

C PRINT 5,CASG,NA

C FORMAT(//,2X,*,FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A

C */,2X,*,TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA=*,F5.3

C */,2X,*,NUMERO DE AROS DE SIMULACION=*,I3//)

C READ 7,N1,NG,NM,CMD,HO,L,M,NAE

C 7

C FORMAT(2I3,SF10.4)

C PRINT 6A,N1,NG,NM,CMD,HO,L,M,NAE

C FORMAT(2X,*,NIVEL (OCERAVUNIC)=*,I3/2X,*,NUMERO DE CABLES DE GUARDIA

C */,13/2X,*,NUMERO DE MASTILES=*,I3/2X,*,CONSTANTE QUE RELACIONA EL

C *NIVEL (OCERAVUNIC) DE /,2X,*,LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS

C *A TIERRA=*,F7.5/2X,*,ALTURA DEL EQUIPO PROTEGIDO=*,F7.3,*,MIS,*/2X

C *LONGITUD DE LA SUBESTACION=*,F8.3,*,MIS,*/2X,*,ANCHO DE LA SUBESTA

C *CION=*,F8.3,*,MIS,*/2X,////)

C PRINT 1001

C 1001 FORMAT(1,1,////)

C

C SI SE CONSIDERAN CABLES DE GUARDIA

C IF(NG,75,76,75)

C READ(1,8)(XG1(I),YG2(I),ZG2(I),I=1,NG)

C PRINT 4A

C FORMAT(//,2X,*,COORDENADAS DE LOS CABLES DE GUARDIA

C * (METROS),/,10X,CABLE,9X,*,X,5X,*,Y,5X,*,Z,////)

C PRINT 14A,(I,XG1(I),YG2(I),ZG2(I),I=1,NG)

C GO TO 48

C WRITE(3,45)

C FORMAT(3,45)

C

C SI SE CONSIDERAN CABLES DE GUARDIA

C IF(NM,77,78,77)

C READ(1,8)(XM(J),YM(J),ZM(J),J=1,NM)

C FORMAT(12F6.1)

C PRINT 46

C COORDENADAS DE LOS MASTILES (METROS),/,10X,*,MASTIL,

C * 8X,*,X,9X,*,Y,9X,*,Z,////)

C PRINT 146,(J,XM(J),YM(J),ZM(J),J=1,NM)

C FORMAT(10X,I3,5X,3F10.3/)

RETURN

C FUNCION GENERADORA DE NUMEROS PSEUDOALEATORIOS

C FUNCION RAND(X)

INTEGER X

IY=X*65539

IF(IY)S,6,6

IY=(Y+2147483647+I

X=IY

RAND=X*.4656613E-9

RETURN

DATOS DE ENTRADA

456789123

6200

1. ESCUELA POLITECNICA NACIONAL -QUITO-ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA -POTENCIA-

TESIS DE GRADO

CASO I: SUBESTACION "CUEVEDOM", PATIO 230 KV

DISEÑO ORIGINAL (INTEL)

19.

30 25 210.1544

15.0 77.5

23.8

41.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

20.5

3.09 SEGUNDOS FECHA: 15/10/79 ***

** EPN MSJS TIEMPO DE UCF UTILIZADO POR EL PROGRAMA TESIS

TIEMPO DE UCF 3.09 SG

TARJETAS LEIDAS \$9.27

LINEAS ESCRITAS \$9.27

PAGINAS \$9.27

COSTO DEL PROGRAMA TESIS \$9.27

Handwritten notes: "de guard 12. mes / 65", "Hochle / lined / 21", "1979"

Table with multiple columns of numerical data, likely representing time or cost components for the program. Includes values like 20.5, 117.5, 100.5, etc.

CALCULO ALATORIO DEL RIESGO DE FALLA DEL BLINDAJE DE UNA SUBESTACION.
ANALISIS EN TRES DIMENSIONES MEDIANTE LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTE-CARLO Y EL EMPLEO DEL MODELO ELECTROGOMETRICO DE WHITEHEAD.

ESCUELA POLITECNICA-NACIONAL -QUITO-ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA -POTENCIA-

TESIS DE GRADO MAX G. MOLINA BUSTAMANTE 1979

CASO III: SUBESTACION "QUEVEDO", PATIO 230 KV

DISEÑO DE ACUERDO AL NUEVO METODO PRESENTADO EN ESTE TRABAJO

FACTOR QUE RELACIONA LA DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO A TIERRA CON LA CORRESPONDIENTE A LOS CABLES DE GUARDIA=1.000 KXX X
NUMERO DE AÑOS DE SIMULACION=150 41

NIVEL ISOCERAUNICO= 30 49
NUMERO DE CABLES DE GUARDIA= 5 20
NUMERO DE MASTILES= 0 20

CONSTANTE QUE RELACIONA EL NIVEL ISOCERAUNICO DE LA REGION CON LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA=0.15440 X 20
ALTURA DEL EQUIPO PROTEGIDO= 19.000 MTS
LONGITUD DE LA SUBESTACION= 119.000 MTS
ANCHO DE LA SUBESTACION= 183.000 MTS.

0.000800
23.800
49.500

7 PAVONA

ESQUEMA

R E F E R E N C I A S

- (1) LINCK H., "Shielding of modern substations against direct lightning strokes". IEEE Trans., Vol. PAS-94, Nº 5, Sept./Oct. 1975, pp. 1674-1679.
- (2) SARGENT M.A., "Monte Carlo simulation of the lightning performance of overhead shielding networks of high voltage stations". IEEE Trans., Vol. PAS-91, Nº 4, July/Aug. 1972, pp. 1651-1656.
- (3) SARGENT M.A., "The frequency distribution of current magnitudes of lightning strokes to tall structures". IEEE Trans. PAS-91, Nº 5, Sept./Oct. 1972, pp. 2224-2229.
- (4) MOUSA A.M., "Shielding of high-voltage and extra-high voltage substations". IEEE Trans. PAS-95, Nº 4, July/Aug. 1976, pp. 1303-1310.
- (5) MORENO M., VELASQUEZ R., "Programa digital para determinar el comportamiento de líneas de transmisión a descargas atmosféricas". Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones de la Industria

Eléctrica, México, 1975.

- (6) MORENO BARRAZA M., "Simulación digital del comportamiento de una línea de transmisión considerando el efecto de las descargas atmosféricas". . Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica, México, 1976.
- (7) RIOFRIO REYES C., "Comportamiento de líneas de transmisión a descargas atmosféricas directas. Modelos de Análisis". Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador, 1977.
- (8) LEWIS W. W., "The protection of transmission systems against Lightning". General Electric Company, New York, 1950.
- (9) EHV Transmission Line Reference Book, Capítulo 8, Edison Electric Institute, 1968.
- (10) GILMAN D.W., WHITEHEAD E.R., "The mechanism of lightning flashover on high-voltage and extra-high-voltage transmission lines". Electra, Nº 27, March 1973, pp. 65-95.

- (11) BEWLEY L. V., "Traveling Waves on Transmission Systems",
Capítulo 14, Secciones 10, 11, 12 y 13, 1963.
- (12) LINCK H., SARGENT M.A., "Lightning performance of modern transmission lines", CIGRE Paper Nº 33-09, 1974, pp. 1-11.
- (13) KAWAMURA T., KOUNO T., KOJIMA S., NUMAJIRI F.,
"Statistical approach to the insulation co-ordination of sub-stations against lightning overvoltage".
CIGRE Paper Nº 33-06, 1974, pp. 1-8.
- (14) BRAUNSTEIN A., "Lightning strokes to power transmission lines and the shielding effect of ground wires". IEEE Trans., PAS-89. Nº 8, Nov./Dec. 1970, pp. 1900-1910.
- (15) DRAGAN G., POPESCU A., "Analysis of protection schemes against atmospheric overvoltages in high voltage and very high voltage sub-stations". CIGRE Paper Nº 33-15, 1974, pp. 1-9.
- (16) BELIAEV A., DMOKHOVSKAYA L., PECHENKIN J., POPOV S.,
"Lightning protection of substations of 220 KV and above". CIGRE Paper Nº 33-11, 1970, pp. 1-6.

- (17) WAGNER C.F., McCANN C.D., MACLANE G.L., "Shielding of transmission Lines". AIEE Trans., Vol. 60, 1941, pp. 313-328.
- (18) WAGNER C.F., McCANN C.D., LEAR C.M., "Shielding of substations". AIEE Trans., Vol. 61, February 1942, pp. 96-100.
- (19) BROWN G.W., WHITEHEAD E.R., "Field and analytical studies of transmission line shielding, Part II". IEEE Trans., PAS-88, May 1969, pp. 617-626.
- (20) CURRIE J.R., CHOY L.A., DARVENIZA M., "Monte Carlo determination of the frequency of lightning strokes and shielding failures on transmission lines". IEEE Trans. PAS-91, 1972, 2305-2312.
- (21) ARMSTRONG H.R., WHITEHEAD E.R., "Field and analytical studies of transmission line shielding". IEEE Trans. PAS-87, 1968, pp. 270-281.
- (22) GOLDE R.H., "The frequency of occurrence and the distribution of lightning flashes to transmission lines". IEEE Trans. PAS-61, 1945, pp. 902-910.