

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

PROGRAMA DIGITAL PARA DETERMINAR
LA RADIO INTERFERENCIA DE LINEAS DE TRANSMISION

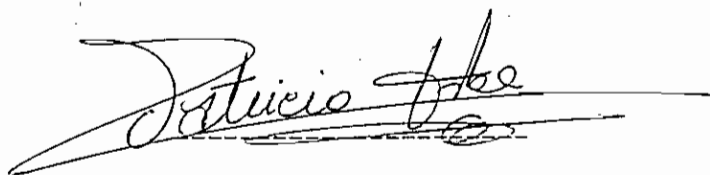
TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO ELECTRICO EN LA ESPECIALIZACION
POTENCIA

JOSE MARCELO CABRERA LOPEZ

Quito, Abril 1960

C E R T I F I C A D O

CERTIFICO QUE LA PRESENTE TESIS HA SIDO
REALIZADA EN SU TOTALIDAD POR EL SEÑOR
JOSE MARCELO CABRERA LOPEZ.

A handwritten signature in black ink, reading "Patricio Orbe G.", is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

ING. PATRICIO ORBE G.

DIRECTOR DE TESIS

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

Mi sincero agradecimiento al Señor Ingeniero Patricio Orbe Garcés por la ayuda prestada - en el desarrollo de esta tesis.

Quiero también dejar constancia de mi agradecimiento al personal del Centro de Cómputo - de la E.P.N. y a todas las personas que me - brindaron su colaboración.

DEDICATORIA

A Catalina, mis Padres y hermanas

I N D I C E

	Pag.
Lista de símbolos	1
 CAPITULO I : INTRODUCCION	
1.1	Historia 4
1.2	Métodos de cálculo empíricos y semi-empíricos 5
1.3	Métodos analíticos 7
1.4	Objetivo y alcance de la tesis 8
1.5	Justificación del programa 8
 CAPITULO II : ENFOQUE TEORICO DEL PROBLEMA	
2.1	Características generales de la radio interferencia 10
2.2	Determinación de la Función de Exitación
2.2.1	Introducción 12
2.2.2	Gráfico universal de la Función de Exitación máxima 13
2.2.3	Uso de la Función de Exitación 15
2.2.4	Lluvia artificial y natural 16
2.2.5	Determinación de la Función de Exitación bajo llu - via fuerte
2.2.5.1	Conductores simples 18
2.2.5.2	Haz de conductores 19
2.2.5.3	Ejemplo numérico de aplicación 23
2.2.6	Análisis de las variaciones en tiempo seco 23
2.2.7	Reglas para estimar la Función de Exitación en tiem po seco 27

	Pag.
2.2.8	Efecto de la frecuencia 28
2.3	Cálculo del gradiente superficial de un conductor 29
2.3.1	Matriz de coeficientes de potencial y de capacidad tancia 29
2.3.2	Líneas con varios circuitos 32
2.3.3	Efectos de los cables de guarda 33
2.3.4	Cálculo del radio equivalente en un haz de conductores 34
2.4	Constantes de la línea
2.4.1	Principio de cálculo de la radio interferencia 36
2.4.2	Efectos de la conducción de tierra en líneas aéreas 40
2.5	Cálculo de los Factores de Campo Modales 42
2.6	Recombinación de los modos 44
2.7	Medios de reducción de la radio interferencia 46
CAPITULO III : DESARROLLO DEL PROGRAMA DIGITAL	
3.1	Algoritmo de cálculo 49
3.2	Subrutinas utilizadas 57
CAPITULO IV : EJEMPLOS	
4.1	Ejemplos comparativos 60
4.1.1	Análisis de resultados 76
4.2	Ejemplos de aplicación 78

	Pag.
CAPITULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
APENDICE A : TEORIA DEL ANALISIS MODAL	
1 Desarrollo de la teoría	90
2 Propagación en una línea de transmisión con análisis modal	91
3 Conclusiones del análisis modal	96
APENDICE B : MANUAL DE USO DEL PROGRAMA	
1 Algoritmo utilizado	98
2 Descripción del programa	99
3 Nomenclatura	103
4 Forma de proporcionar los datos al programa	105
5 Alcance y restricciones	106
REFERENCIAS	111

LISTA DE SIMBOLOS

$B(n)$	Corrección debida al número de conductores de un haz
C	Capacitancia del conductor
D_{ij}	Distancia entre el conductor i y j
D'_{ij}	Distancia entre el conductor i y la imagen de j
\bar{E}	Amplitud esperada de campo debido a fuentes aleatorias
E_u	Campos reales de interferencia
e_n	Densidad de campo modal generada
e	Vector característico
G	Conductancia de línea
g_{max}	Gradiente superficial máximo
g_{min}	Gradiente superficial mínimo
g_p	Gradiente superficial promedio
h_i	Altura del conductor i sobre tierra
I	Corrientes de línea
I'	Corriente modal
i	Densidad de corriente inyectada por unidad de longitud
L	Inductancia de línea
L_e	Matriz modal de $ z \cdot y $
L_i	Matriz modal de $ y \cdot z $
m	Número de modos
N_p	Nivel máximo de interferencia en lluvia fuerte
N_s	Nivel de interferencia en tiempo seco
n	Número de conductores que forman el haz
d	Derivada parcial.

p	Coefficientes de potencial
P_t	Potencia de un circuito
Q	Carga superficial por unidad de longitud de un haz de conductores
q	Carga superficial por unidad de longitud de un conductor
R	Radio del círculo del haz de conductores
R_{eq}	Radio equivalente del conductor
$R_c(\omega)$	Resistencias propias de conductores
r	Radio del conductor
V	Voltaje de línea
v_k	Densidad de voltaje de interferencia
V'	Voltaje modal
x	Distancia entre la proyección vertical de un conductor y el punto de medida
Y	Admitancia shunt de la línea
Z	Impedancia longitudinal de la línea
Z_c	Impedancia característica
Z_c'	Impedancia característica modal
α	Constante de atenuación
β	Velocidad de propagación
ϵ	Constante dieléctrica del aire
ω	Frecuencia en radianes por segundo
γ_M	Factor de campo modal
Γ	Función de excitación
ΔL	Corrección de tierra para la inductancia

λ	Valores característicos
ΔP_i	Corrección de la parte imaginaria de P
ΔP_r	Corrección de la parte real de P
$\Delta \phi_{ki}$	Defasaje de ángulo de la componente de campo del modo k
$ T $	Matriz fila
$ t $	Matriz transpuesta.

C A P I T U L O I

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

1.1 HISTORIA

A fines del año 1950, ciertos requerimientos prácticos, al diseñar e instalar sistemas de transmisión de 400-500 KV, toman cierta importancia, a más de los estudios previos que existían sobre el efecto corona. En particular, con relación al ruido en la radio (RN), la Ingeniería se encaminó a establecer métodos para predecir el nivel de interferencia de los conductores, a fin de tener una guía para su selección. Debido a las muchas dificultades de los métodos analíticos, los primeros métodos de predicción fueron eminentemente empíricos. Todos estaban basados no solamente en datos experimentales, sino también en supuestos teóricos relacionados en general con el efecto corona. Además, debido a la naturaleza estadística del RN y por falta de datos adecuados de varias mediciones de la distribución de los niveles de interferencia, los métodos anteriores que principalmente se basaban en mediciones instantáneas, inicialmente fueron únicamente de carácter comparativo ya que proporcionaban tan solo variaciones del nivel de radio interferencia (RI) entre el conductor considerado y uno de referencia, considerando variaciones en los principales parámetros de diseño, pero para las mismas condiciones atmosféricas y superficiales.

En definitiva, se introdujo la noción de que debían-

existir ciertos límites de niveles de interferencia en el proyecto de una línea de transmisión y que estos niveles no debían ser mayores que aquellos existentes en una línea con un comportamiento aceptable. Al incrementarse el número de líneas experimentales y reales, se fueron desarrollando en mejor forma los métodos de predicción de RI, pero lo más importante es que paralelamente se desarrollaban los estudios teóricos - tanto de la generación de ruido, como de su propagación a lo largo de los conductores y transversalmente a la línea, por lo que los métodos de predicción adquirirían una naturaleza analítica. En verdad, aunque hoy-se los llama 'analíticos', tienen su contenido experimental y determinan el nivel de interferencia en una condición atmosférica bien definida, generalmente bajo condiciones de lluvia fuerte.

1.2 MÉTODOS DE CÁLCULO EMPÍRICOS Y SEMI-EMPÍRICOS

Generalmente estos métodos de predicción son sim - ples y fáciles de aplicarse mediante una ecuación que tiene como varia-bles al voltaje, gradiente superficial del conductor, frecuencia de medi-ción, constantes que dependen de las condiciones atmosféricas, altura so-bre el nivel del mar, altura de los conductores, densidad relativa del aire, distancia al punto de medición, diámetro del conductor, etc.

En la tabla 1.1 se mencionan los diferentes métodos y los niveles de interferencia para lluvia fuerte y buen tiempo, de una línea de referencia.¹¹

Es de destacar que los métodos mencionados se re -

METODOS EMPIRICOS		
METODO	NIVEL DE INTERFERENCIA (dB/1μV/m)	
	LLUVIA FUERTE PROMEDIO	BUEN TIEMPO
400 KV FG (Alemania)	73.7 ± 3	56.7 ± 5
ENEL (Italia)	68	59
SHLOBARA (Japón)	-	-
WESTINGHOUSE (USA)	70	46
EGU (Checoslovaquia)	-	37
ONTARIO HYDRO (Canadá)	Líneas horizontales 61 Líneas verticales 64	32 35
AEP TEST LINE (USA)	Lín. 500KV (2x4.07cm) 62.7 Lín. 750KV (4x3.15cm) 69.5 Lín. 750KV (4x3.03cm) 74.5	38.7 45.5 50.5
GE PROJECT EHV BASE CASE (USA)	-	-

T A B L A 1.1 Métodos Empíricos

fieren sea al campo electromagnético en el punto de medición o a la corriente de radio interferencia inyectada en los conductores. En este sentido, a más de otras aproximaciones, los métodos contienen un error, ya que el campo electromagnético o la corriente de radio interferencia no depende solamente de las características de los conductores, sino que también de la capacitancia de la línea. Para una mayor precisión, el cálculo debe estar relacionado con un parámetro único que exprese

la interferencia producida por un conductor o un haz. Este parámetro es la 'Función de Exitación', definida en los métodos analíticos.

1.3 MÉTODOS ANALÍTICOS

En la práctica, debido a la extrema complejidad del efecto corona que es el que origina la 'RE', no existe un método puramente analítico. Aunque los llamados métodos analíticos tienen un cierto contenido experimental, es sin embargo pequeño comparado con los análisis complejos que se involucran.

Básicamente los métodos analíticos son dos: El método Francés EDF y el Americano (Proyecto UHV). Ambos utilizan el concepto de la Función de Exitación como característica de un conductor o haz. Este parámetro define en mejor forma la generación de interferencia que la corriente inyectada que solamente es una cantidad derivada que depende de las capacitancias de la línea. La Función de Exitación puede ser determinada de dos formas, según el método a emplearse.

Para el método Francés, se puede deducir las Funciones de Exitación para lluvia fuerte, para diferentes configuraciones de haces de conductores con un máximo de 8 subconductores, de la Fig. 2.10, pudiéndose aplicar una corrección para otras condiciones ambientales.

Con relación al método Americano, así mismo se puede obtener la Función de Exitación de haces de conductores bajo condiciones de lluvia fuerte, de un gráfico similar. El método aplica una re-

ducción de 20 dB al nivel de mal tiempo, para obtener el nivel en buen tiempo.

La diferencia en la determinación de la Función de Excitación entre los dos métodos, está en la frecuencia de medición (0.5 MHz para el Francés y 1 MHz para el Americano), existiendo por lo tanto una pequeña diferencia del orden de 5 dB entre los dos métodos.

Establecida la Función de Excitación, se determina la corriente inyectada en cada conductor, por unidad de longitud y a continuación se pasa al estudio y cálculo de la propagación modal, obteniéndose las corrientes modales en función de atenuaciones y acoplamientos mutuos. Finalmente se suman las contribuciones de cada fase y se pasa a determinar el perfil lateral de la interferencia.

1.4 OBJETIVO Y ALCANCE DE LA TESIS

El objetivo de la presente tesis es escribir un programa digital para determinar el perfil lateral de la interferencia en la radio que produce una línea de transmisión, en condiciones de lluvia fuerte, que son los valores máximos que se pueden generar, basándose en el método Francés para la determinación de la Función de Excitación y en el análisis modal para la propagación y sumatorio de las corrientes (campos) de interferencia.

1.5 JUSTIFICACION DEL PROGRAMA

Con la creciente necesidad de transmitir grandes -

cantidades de energía a grandes distancias desde los centros de generación hasta los de consumo, se ha introducido y desarrollado líneas de transmisión operando a voltajes extra altos (EHV), desde hace unos 25 años, y además, a niveles de ultra-alto voltaje (UHV) que son ya considerados en el diseño de líneas de transmisión. Al mismo tiempo, los problemas relacionados con el medio ambiente de estas líneas se han incrementado. Uno de estos factores de mucha importancia, que se debe considerar es la interferencia en la radio (RI) generada debido al efecto corona de los conductores y del herraje. La calidad de recepción de la radio, especialmente en el rango de frecuencia de transmisión de amplitud de modulada (AM) en la vecindad de una línea de transmisión, está influenciada fuertemente por la RI producida por el efecto corona. Con el fin de comprender este efecto, se ha realizado mucha investigación respecto a esto pero se ha hecho mucho menos con respecto al fenómeno de la radio interferencia. Es esencial un estudio sistemático de esta influencia a fin de establecer límites de RI generados por las líneas de transmisión, y así es como en algunos países ya se han establecido límites legales de RI y en otros se siguen las recomendaciones de diseño de la IEEE.²⁷

En definitiva, al diseñar una línea de transmisión, entre otros problemas que la diseña debe enfrentarse al problema de que si recibirá o no quejas debido a la RI. Un diseño absolutamente libre de corona, no es posible con voltajes sobre los 100 KV, aunque el nivel real de ruido de las líneas de transmisión varía grandemente no sólo con el voltaje, sino con las condiciones atmosféricas y las condiciones de la superficie de los conductores. Por lo anotado es necesario estimar la RI de cualquier diseño de línea.

El método de cálculo presenta algunas innovaciones respecto a otras publicaciones³ como es el análisis complejo de valores y vectores característicos, y el empleo de un nuevo método para tratar la relación de fases entre los campos modales de interferencia.

C A P I T U L O II

ENFOQUE TERORICO DEL PROBLEMA

2.1. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA RADIO INTERFERENCIA.-

La radio interferencia de líneas de transmisión de alto voltaje está asociada con los modos pulsantes de las descargas de corona que se desarrollan en conductores de la línea y herrajes. El fenómeno en general es causado por pequeñas protuberancias sobre el conductor, tales como gotas de agua, suciedad, insectos, etc., las que aumentan la intensidad del campo eléctrico lo suficiente para producir corona a voltajes de operación normales. Estudios detallados de las características de la corriente de corona han mostrado que la corona positiva es la principal fuente de RI en las líneas de transmisión. Debido a la naturaleza pulsante de las descargas, el ruido generado tiene un ancho de banda considerable, pudiendo ir desde 0.1 a 10 MHz. Los resultados experimentales muestran una tendencia general de la RI a decrecer con el aumento de la frecuencia, es por esto que el nivel de RI es alto en el rango de frecuencia de radio-emisión de amplitud modulada (0.5-1.6 MHz) y luego decrece gradualmente a frecuencias más altas. Un ejemplo típico es el de la figura N^o 2.1⁴.

La RI de las líneas de transmisión se caracteriza por ser inestable por lo que la exacta predicción es ideal. En la referencia 2, se muestra que el nivel es estable y reproducible por lo menos en lluvia fuerte. Además, este nivel practicamente es el más alto producido por la línea. Esta propiedad conduce a considerar el nivel bajo lluvia fuerte como el nivel básico de una línea. La originalidad del método consiste en el uso sistemático de la "función de excitación", un concepto que hace posible caracterizar el nivel intrínscico de ruido de un conductor o haces de conductores. independientemente de

la línea.

La propiedad de reproductibilidad bajo lluvia fuerte ha sido usada para determinar experimentalmente la función de excitación básica de un gran número de conductores y de haces de conductores de varias geometrías en función del gradiente superficial, obteniéndose un gráfico universal.

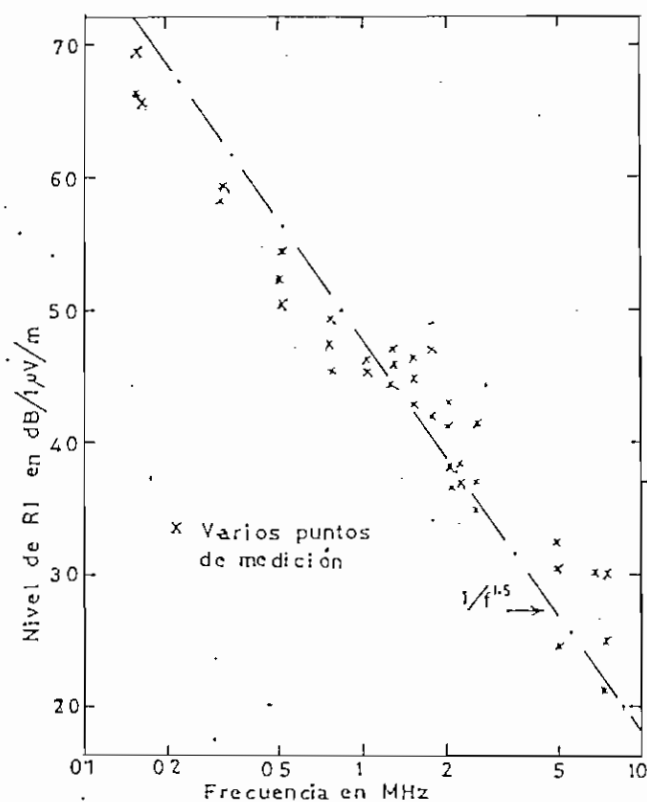


Fig. 2.1 Espectro Típico de Frecuencia de RI generada por Líneas de Transmisión de 735 KV

Luego se dan algunas reglas a fin de estimar la función de excitación en cualquier condición ambiental, principalmente en tiempo seco y bueno, a partir de los valores básicos del gráfico.

2.2. DETERMINACION DE LA FUNCION DE EXITACION ²

2.2.1 INTRODUCCION.

El campo de interferencia electromagnético de una línea de alto voltaje depende de muchos parámetros. Algunos están relacionados con las características geométricas y físicas de la línea, su posición en el espacio, y el gradiente eléctrico en la superficie de los conductores. Estos parámetros pueden determinarse con precisión y se los puede usar para desarrollar métodos de cálculo del nivel de interferencia; pero otros parámetros dependen especialmente del medio ambiente, como el estado de la superficie de los conductores y las condiciones climáticas. La influencia de estos últimos parámetros es más difícil estimar, en efecto, el estado de la superficie del conductor es prácticamente imposible de medir.

Debido a la existencia de este tipo de parámetros, el nivel de interferencia en tiempo seco es esencialmente inestable y fluctuante. La polución atmosférica, partículas vegetales y aún los insectos que se adhieren a los conductores, incrementan el número de descargas y por lo tanto el nivel de interferencia. Estas fluctuaciones, combinadas con aquellas debido a las variaciones de voltaje de la línea pueden alcanzar unos doce decibeles (dB), sin ser posible predecir exactamente los efectos del fenómeno. Por esto, un valor del campo de interferencia en tiempo seco solamente puede ser definido estrictamente en términos estadísticos, es decir, por el valor más probable, por su desviación estandard, por su curva de frecuencia, etc.

Por otro lado, se ha encontrado al menos un tipo de condición climática en la cual el nivel de interferencia es estable, reproducible y consecuentemente puede ser definido perfectamente: Bajo

lluvia fuerte, esto es para intensidades de lluvia mayores que un milímetro/hora. Esta notable propiedad hace considerar al nivel de interferencia bajo lluvia fuerte como el valor característico de cualquier línea de transmisión.

Además este valor bajo lluvia fuerte constituye en la práctica el nivel máximo que puede ser generado por la línea, por lo que constituye la referencia tope de todos los niveles.

Aprovechando las propiedades que tiene el nivel de interferencia bajo lluvia fuerte, ha sido posible determinar un gráfico universal. Este gráfico facilita el nivel de interferencia determinando la "función de excitación" de cualquier conductor o haz de conductores, como una función de su máximo gradiente superficial.

También se ha podido demostrar, como es posible estimar, por medio del mismo gráfico y por reglas simples, el nivel de interferencia bajo otras condiciones atmosféricas, especialmente en condiciones de buen tiempo.

2.2.2 GRAFICO UNIVERSAL DE LA FUNCION DE EXITACION MAXIMA.

Más de veinte mil medidas tomadas en un periodo de dos años (1.966 - 1.967) en la estación experimental "Les Renardières" de Francia, en tres tipos de haces de conductores, hizo posible demostrar la estabilidad y reproducibilidad de niveles de interferencia bajo lluvia fuerte. También se demostró que este nivel era independiente del estado de la superficie de los conductores cuando están secos, por lo que este nivel se le puede considerar en la práctica, como el máximo nivel del campo de interferencia generado por una línea. Por esta razón se considera como una dimensión característica.

La figura N^o 2.2 ilustra estas propiedades, mostrando el comportamiento de las variaciones en los niveles de interferencia, como una función de la intensidad de lluvia. En el caso de

lluvias ligeras, la diferencia de los niveles medidos es considerable, pero se reduce en la zona de saturación de lluvias

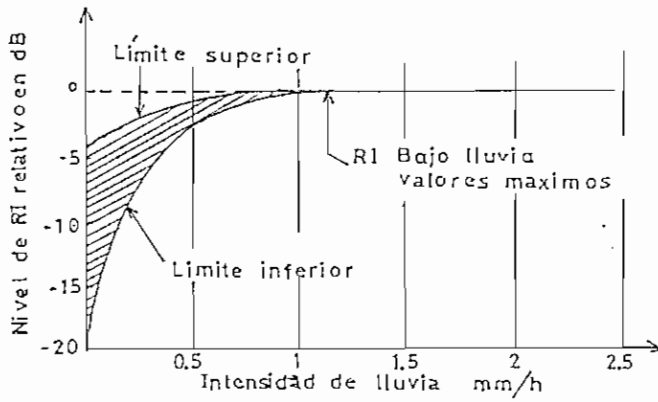


Fig. 2.2 Influencia de la intensidad de lluvia en el nivel de ruido

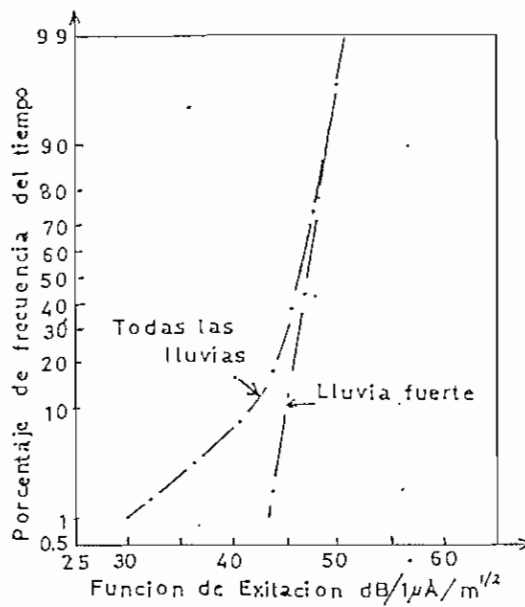


Fig. 2.3 Curva acumulativa de frecuencia, bajo lluvia

La figura N^o 2.3 muestra la curva de frecuencias - acumuladas de niveles bajo lluvia. Esta curva se obtuvo después de 18 meses de operación continua. En condiciones de lluvia ordinaria ($i = 1 \text{ mm/hr}$), se obtiene una marcada distribución asimétrica. Pero la distribución se hace Gaussiana, con una desviación estándar muy aceptable de 1.5 dB, cuando solamente se consideran medidas tomadas en lluvia saturada.

Finalmente, variando el nivel de voltaje de los haces, se establecieron curvas que dan, en condiciones de lluvia fuerte, la función de excitación en función del gradiente superficial.

Posteriormente, se realizaron experimentos de la - misma clase en 27 tipos diferentes de haces o conductores. El análi-sis del considerable número de valores obtenidos ha hecho posible ilustrar, con un alto grado de confianza, la influencia cuantitativa de parámetros tales como el gradiente superficial, el radio del conductor y el número de conductores del haz. La Agrupación conjunta de todos los resultados llevó al establecimiento de un gráfico que puede ser consi-derado como universal. Todas las funciones de excitación fueron deter-minadas para una frecuencia de 500 KHz.

2.2.3 USO DE LA FUNCION DE EXITACION

Las propiedades de la función de excitación y las - razones de su uso para expresar al nivel de interferencia de un conduc-tor o un haz se pueden resumir en lo siguiente:

El análisis matemático de los mecanismos involucra-dos durante la formación de corrientes de descarga muestra que la co-rriente inyectada por esta descarga en el conductor depende de la capa-citancia del conductor: Por esto, la misma descarga no genera la mis-ma corriente cuando el conductor es colocado en una jaula experimental que cuando está colocado en la línea. Por otro lado, la función de -

excitación tiene la propiedad de ser independiente de la capacitancia - del conductor.

Las propiedades anteriores se pueden expresar mediante la siguiente ecuación básica.

$$|i| = \frac{|c|}{2\pi\epsilon} \cdot \Gamma \quad (2.1)$$

Es por esto que se debe considerar a la función de excitación como la medida real específica de la causa de la interferencia. Viene expresada en $\mu A/m^{1/2}$. Generalmente se prefiere su correspondiente expresión logarítmica dada por:

$$\Gamma(\text{dB}) = 20 \log_{10} \frac{\Gamma}{1\mu A/m^{1/2}} \quad (2.2)$$

2.2.4 LLUVIA ARTIFICIAL Y NATURAL

Con el fin de acelerar los estudios, es tentador el uso de un sistema de distribución de lluvia artificial producido por un aparato llenado con tuberías de agua. Pronto se pudo notar que las curvas de la función de excitación obtenidas al variar el gradiente eléctrico no eran las mismas si las medidas eran tomadas bajo lluvia natural o artificial (Fig. 2.4). Con lluvia artificial, los niveles de interferencia son más altos con gradientes bajos, y ligeramente inferiores sobre los 20 KV/cm. Parte de esta diferencia es sin duda debido a la baja resistividad (2 KΩ . cm) del agua usada para la lluvia artificial, pero en definitiva la explicación de este fenómeno no ha sido dada claramente.

El uso de lluvia artificial hace posible obtener rápidamente comparaciones entre diferentes tipos de haces. Sin embargo, es mucho mejor realizar las medidas durante lluvia natural a fin

de obtener valores absolutos, que corresponderán a las condiciones de trabajo reales. Todos estos resultados experimentales fueron obtenidos en condiciones de lluvia natural con una intensidad instantánea variando de 0.6 a 40 mm/hora.

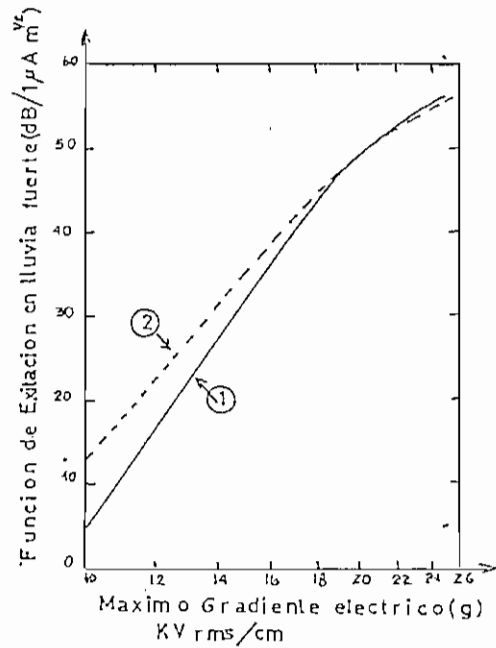


Fig. 2.4 Funciones de excitación bajo lluvia natural y artificial (Haz de 4x1.55cm de diámetro)

CURVA	1	2
Lluvia	Natural	Artificial
intensidad (mm/hr)	0.6-40	30
Resistividad (KΩ.cm)	15-30	2

2.2.5 DETERMINACION DE LA FUNCION DE EXITACION BAJO LLUVIA FUERTE

2.2.5.1 CONDUCTORES SIMPLES.

Con el fin de separar la influencia de los tres parámetros: gradiente, radio y número de conductores elementales, inicialmente se estudió el comportamiento de conductores simples. La Fig. 2.5 muestra un conjunto de curvas, $\Gamma = f(g)$ obtenidas para conductores simples de diferentes radios. Este gráfico muestra claramente dos rangos de gradientes, con una línea divisoria localizada al rededor de 17 KVrms/cm, donde el fenómeno físico en la formación de descargas es diferente.

En el rango de "gradientes bajos", la pendiente de la función de excitación es independiente del radio de los conductores. La función de excitación varía con el logaritmo del gradiente. Las curvas establecidas para varios radios de conductores son estrictamente paralelas y son deducidas una de otra por la traslación paralela del eje de Γ . Esta traslación puede ser hecha en la forma de una función lineal del radio del conductor.

Por lo tanto, para rangos de gradientes bajos es posible determinar los resultados experimentales por medio de la siguiente ecuación, donde Γ_1' es la función de excitación de un conductor.

$$\Gamma_1' = 155 \cdot \log_{10} \frac{g}{11.1} + 11.5r \quad (2.3)$$

Decir que la función de excitación crece logarítmicamente es lo mismo que reconocer que la amplitud de impulsos grandes de corrientes de interferencia aumenta con la fuerza del gradiente.

En el rango de gradientes altos, se impone un proceso de saturación sobre el anterior. Sobre los 17 KVrms/cm. el número de descargas se incrementa lo suficiente para las cargas espaciales generadas, limitando el gradiente superficial real, el que entonces se

incrementa menos rápidamente que el voltaje aplicado.

El conjunto de curvas de la Fig. 2.5 muestra que - la saturación es más marcada y empieza más temprano, mientras más grande es el radio del conductor. Esto se puede explicar de la siguiente - forma: Para un gradiente superficial dado, un incremento en el radio de un conductor resulta en una menor divergencia del campo eléctrico al a lejarse de la superficie del conductor. La región donde reinan campos intensos se hace mayor, pudiendo desarrollarse más las descargas y formarse cargas espaciales en gran número. Por ésto, la limitación del cam po real en la vecindad inmediata al conductor, ocurre en los gradientes bajos.

Con el fin de tomar en cuenta este fenómeno, esta función $\Gamma'(g,r)$ se ha representado por medio del conjunto de curvas de la Fig. 2.6 , donde el radio del conductor entra tanto como un parámetro debido a la forma, así como un parámetro de amplitud. Las curvas Γ' están grafizadas como una función del gradiente y pueden ser definidas por la expresión:

$$\Gamma_1 = \Gamma'(g,r) + 11.5r \quad (2.4)$$

Para gradientes bajos, Γ_1 coincide con Γ_1' , puesto que la influencia de la saturación todavía no ha intervenido.

2.2.5.2 HAZ DE CONDUCTORES

El resultado más importante de los experimentos -

es el hecho que las curvas de la Función de Exitación para un haz de conductores de un radio dado, en función del gradiente, son estrictamente paralelas unas con otra y con aquellas del mismo conductor simple (Fig. 2.7). Esta propiedad es cierta para un rango de gradientes de 10 a 25 KVrms/cm.

Por esta razón, es posible deducir las curvas relacionadas con un haz, de la curva de un conductor simple, definidas anteriormente, por medio de una traslación paralela al eje de Γ y variando con el número n de conductores del haz. Sin embargo, esta traslación a $f(n)$ es ligeramente influenciada por el radio del conductor simple. En definitiva, se puede escribir la siguiente ecuación:

$$\Gamma = \Gamma(g, r) + (11.5 + \log_{10} n^2) r - B(n) \quad (2.5)$$

El término $B(n)$ representa la corrección principal debido al número de conductores en el haz. El término $(\log_{10} n^2) r$ introduce una corrección de segundo orden, que toma en cuenta el radio del conductor, reduciendo el grado de la corrección principal $B(n)$, cuando se incrementa el radio del conductor elemental (Fig. 2.6).

La Fig. 2.8, que es complementaria con la 2.6, da mayor precisión en la lectura de la pendiente de la Función de Exitación en lluvia, variando con el gradiente superficial.

Es de notarse que en la ecuación 2.5, el radio medio geométrico del haz de conductores no aparece. Se ha llevado a cabo experimentos adicionales a fin de determinar su posible influencia en

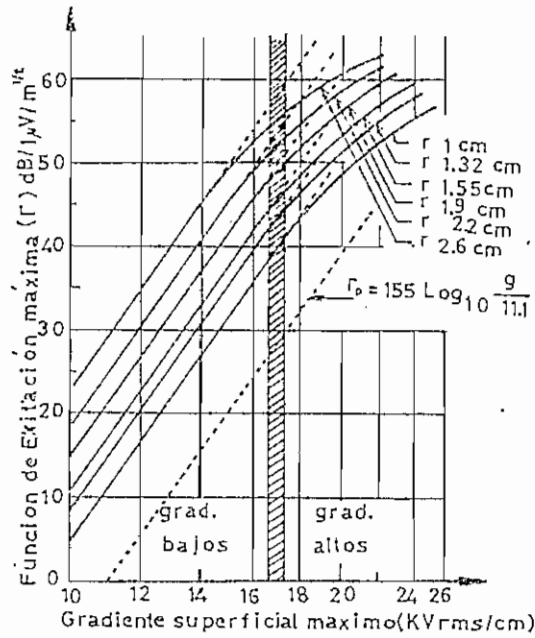


Fig. 2.5 Funciones de Excitación máximas en lluvia fuerte, para conductores simples.

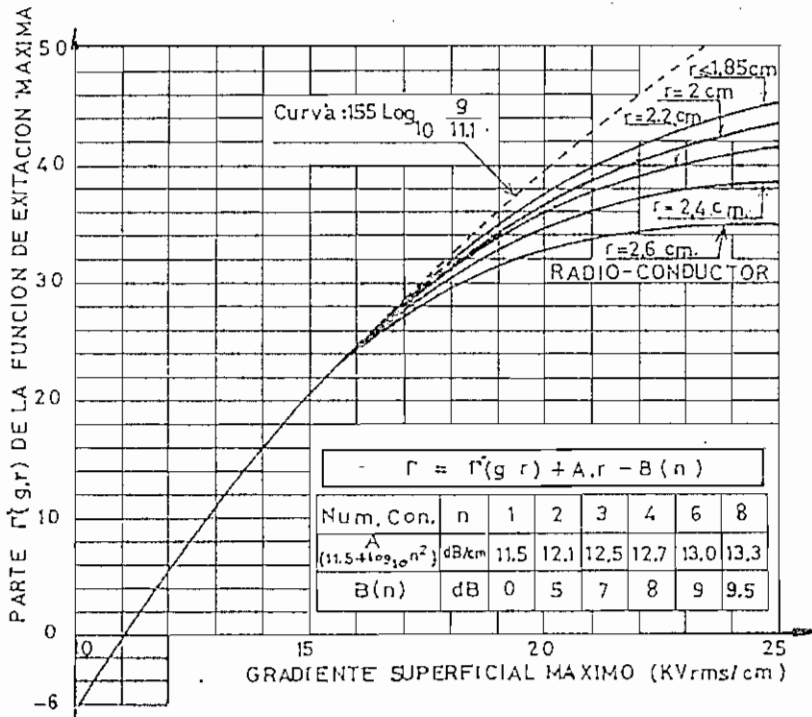


Fig. 2.6 Gráfico para determinar la función de Excitación en lluvia fuerte .

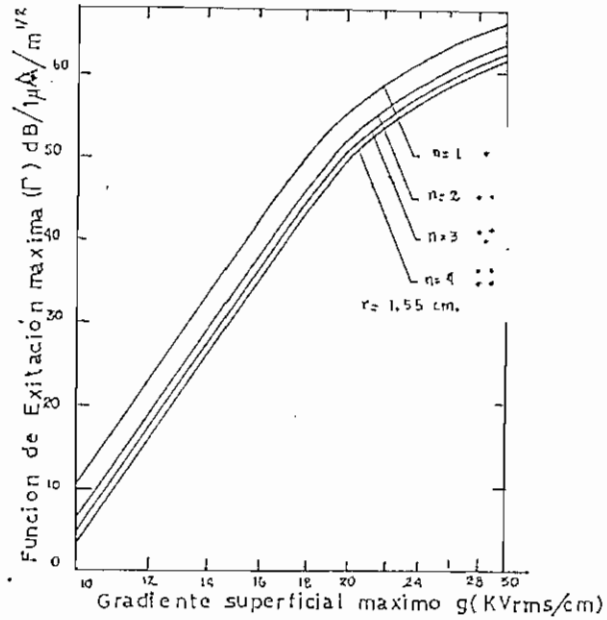


Fig. 2.7 Funciones de Excitación máximas para haces de n conductores.

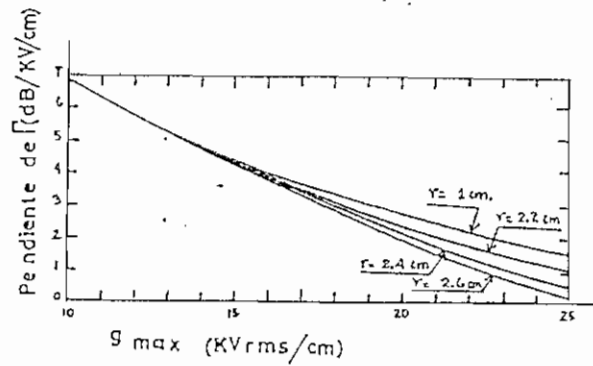


Fig. 2.8 Pendientes de las Funciones de Excitación bajo lluvia fuerte.

la Función de Excitación. Los resultados obtenidos mostraron que esta influencia era nula, al menos para las configuraciones de haces usadas en la práctica. En verdad, la relación del radio geométrico con el radio del conductor elemental siempre es escogida por razones que nada tienen que ver con el efecto corona, desde valores en el orden de 10 a 15. Por otro lado, el radio del haz debe ser tomado en cuenta en el cálculo del gradiente superficial.

2.2.5.3. EJEMPLO NUMERICO DE APLICACION

Se demostrará mediante un ejemplo numérico la utilización de la Fig. 2.6. Para hacerlo, se tomará una línea experimental de 750 KV, equipada con haces de cuatro conductores con un radio de 1.55 cm.

Gradiente:	$g = 19.3 \text{ KV}_{\text{rms}}/\text{cm}$	$\Gamma'(g, r) = 35.3 \text{ dB}$
Radio :	$r = 1.55 \text{ cm.}$	$A(r) = 19.7 \text{ dB}$
Número :	$n = 4$	$-B(n) = -8.0 \text{ dB}$
		$\text{Función de Excitación } 47.0 \text{ dB}$

A partir de la Función de excitación así determinada, es posible calcular, solamente como resultado de los parámetros geométricos, el perfil lateral del campo de interferencia de una línea dada.

2.2.6 ANALISIS DE LAS VARIACIONES EN TIEMPO SECO

Los experimentos realizados revelaron una diferencia entre el nivel promedio de 'buen tiempo' y el nivel promedio de

'lluvias intensas', de 15 dB a 19 dB, pero se llegó a la conclusión de que a partir de la base sólida que constituye el nivel máximo en lluvia fuerte, es posible descubrir los parámetros que determinan la diferencia entre este nivel y el instantáneo en tiempo seco. Se han hecho muchos estudios con el fin de tratar de relacionar las variaciones del nivel en tiempo seco con parámetros meteorológicos tales como temperatura, humedad absoluta o relativa, viento, radiaciones solares, etc., pero ninguno de estos estudios ha hecho posible establecer leyes claras o reglas de trabajo definidas. Por esta razón, se proponen unas pocas reglas simples para hacer estimaciones, basadas en los análisis cualitativos de muchos histogramas y curvas desarrolladas anualmente sobre niveles de interferencia. Estas últimas revelan esencialmente tres tipos de variaciones globales: Variaciones diarias, variaciones por las estaciones, y finalmente variaciones debidas al estado superficial de los conductores.

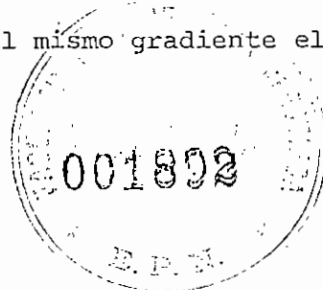
En prolongado tiempo seco sin rocío matinal, se pueden confirmar algunas variaciones diarias. El nivel de interferencia en la noche es de 5 a 8 dB inferior al nivel promedio de la tarde. El nivel se incrementa lentamente durante el día, alcanzando un máximo entre las 2pm y las 4 pm, para luego decrecer nuevamente. Este efecto podría ser relacionado con la temperatura, o mejor dicho a la diferencia de temperatura entre el conductor y el medio ambiente, y posiblemente a las variaciones de voltaje de la línea durante el día. Este fenómeno ocasiona una variación de alrededor de 3 dB en el nivel promedio.

del día.

De la misma manera, se puede observar las variaciones en las estaciones de el nivel en tiempo seco, y probablemente algunas variaciones son originadas por el efecto de la temperatura, pero el parámetro preponderante es en verdad la polución estacional. En primavera y verano, partículas vegetales o de origen industrial, o aún insectos que se adhieren a los conductores, constituyen fuentes de corriente de interferencia. Las lluvias de otoño lavan los conductores nuevamente, mejorando su superficie en el invierno. Las fluctuaciones naturales debidas al estado superficial estacional dependen de las regiones a través de las cuales pasa la línea de transmisión, y podrían ser completamente diferentes en zonas de polución industrial que en campo abierto. Las variaciones debidas a las estaciones están entre 3 y 12 dB.

Aparte del estado superficial debido a la estación, definido ya, se presenta un efecto importante que puede ser llamado el "estado superficial intrínscico". Este es un estado superficial que no cambia excepto quizás muy lentamente con el paso de los años. A continuación se cita algunos ejemplos:

-Un conductor nuevo presenta un estado superficial más o menos bueno, dependiendo del cuidado con el que se lo manejó. Las abolladuras y rasguños originadas en su tendido, posiblemente han dañado su superficie; será causa de un nivel promedio de interferencia más alto que conductores en buena condición y sujetos al mismo gradiente eléctrico



-Durante los primeros meses de operación con voltaje, el conductor se cubre de polvo que se carboniza por medio de las descargas que genera el conductor. Este polvo finalmente forma una fina capa negruzca que cubre la superficie del conductor de una manera uniforme. Este es el muy bien conocido fenómeno de envejecimiento, durante el cual los niveles de interferencia decrecen unos 6 dB. El envejecimiento dura varios meses.

-En un conductor nuevo puede existir algo de grasa artificial, dependiendo de la forma en que fué fabricado. También se ha observado que la grasa utilizada en el trenzado se esparce sobre la superficie del conductor en climas cálidos y su efecto es entonces extremadamente perjudicial ya que retiene partículas e insectos de toda clase los que se acumulan en la parte inferior de los conductores, formando protuberancias ásperas que causan descargas intensas. Otra razón por la que esta grasa es perjudicial desde el punto de vista de la interferencia es porque estas protuberancias no son lavadas con las lluvias. Por esta razón, el incremento del nivel de interferencia en condiciones atmosféricas buenas, es casi permanente. En definitiva, se establece que la presencia de grasa modifica el "estado superficial-intrínseco".

Puesto que la diferencia entre el nivel en lluvia fuerte y el nivel promedio en tiempo seco, para un conductor en un estado "normal", es de 16 a 17 dB, ésta puede alcanzar hasta unos 25 dB para un conductor muy limpio y descender hasta 10 dB para un conductor muy -

sucio. Otro efecto de carácter general es la saturación a niveles ascendentes el que se hace visible en el estudio de la Función de Excitación en lluvia, en función del gradiente, así como cuando origina una reducción de las fluctuaciones en el nivel para gradientes altos como para estados superficiales malos.

2.2.7 REGLAS PARA ESTIMAR LA FUNCION DE EXITACION EN TIEMPO SECO

Las consideraciones anteriores muestran cuan difícil es determinar parámetros cuantitativos para el cálculo del nivel de interferencia en tiempo seco. Es muy difícil ver como los factores influyentes más importantes, como los estados superficiales estacional e intrínscico, podrían ser definidos e incorporados en una ecuación, y sobre todo, es difícil establecer como podrían ser predeterminados.

Sin embargo, queda la posibilidad, utilizando el análisis de muchos histogramas obtenidos experimentalmente, y tomando en cuenta las varias observaciones hechas, establecer reglas para realizar los siguientes cálculos simples aproximados:

Si se define a N_p como el nivel máximo en lluvia fuerte y a N_s al nivel en tiempo seco, se puede escribir:

$N_s = N_p - 17 \text{ dB}$: Estado superficial normal

$N_s = N_p - 14 \text{ dB}$: Estado superficial malo

$N_s = N_p - 20 \text{ dB}$: Estado superficial muy bueno

Se define un estado superficial normal si los conductores están razonablemente limpios y envejecidos; un estado superfi -

cial malo, para conductores con grasa o muy contaminados; y un estado superficial muy bueno para conductores limpios en una zona sin polución.

2.2.8 EFECTO DE LA FRECUENCIA

Las Funciones de Excitación determinadas fueron establecidas para una frecuencia de 0.5 MHz y se ha comprobado por medio de experimentos que el espectro de un campo de interferencia, en la práctica no depende de su nivel o de las condiciones atmosféricas. Además, aproximadamente es el mismo para todas las líneas. Tomando como base al campo calculado a 0.5 MHz, es posible deducir el campo de interferencia para otra frecuencia, y es así como se ha determinado un espectro estándar obtenido con numerosas medidas, que se muestra en la Fig. 2.9.

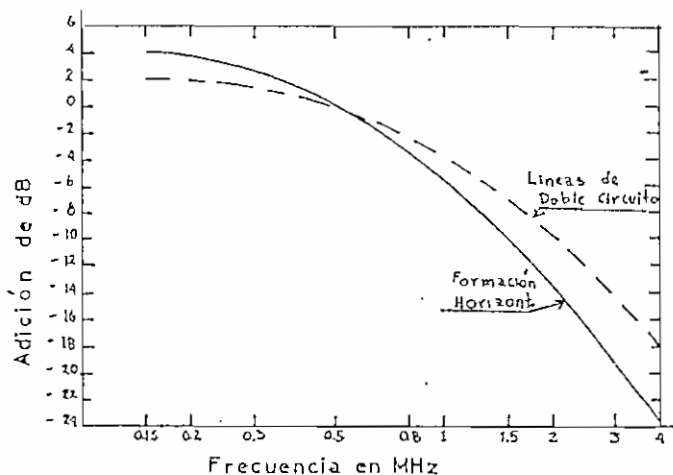


Fig. 2.9 Espectro típico de un campo de RI para líneas de alto voltaje (referencia 0.5 MHz)

Este espectro es aplicable a todas las líneas y si es necesaria una corrección del nivel de interferencia debida a la frecuencia, se la puede tomar de este gráfico.

2.3 CALCULO DEL GRADIENTE SUPERFICIAL DE UN CONDUCTOR ¹¹

Uno de los parámetros predominantes en el nivel de interferencia de una línea, y especialmente en la magnitud del efecto corona, es el campo eléctrico en la superficie del conductor, o lo que es lo mismo, el gradiente superficial.

Debido a la estrecha vinculación entre el efecto corona y el valor de este campo eléctrico, es necesario el uso de un método de cálculo que dé valores de campo, con una precisión del orden del 1%.

Puesto que ordinariamente los conductores son cableados, el verdadero campo superficial varía alrededor de sus circunferencias, en un valor promedio. Se acostumbra a calcular el campo superficial de un conductor liso con el mismo diámetro externo, aún cuando se deba tomar algún factor experimental de cableado.

En forma general, el gradiente superficial se calcula según el teorema de Gauss:

$$g = \frac{q}{2\pi\epsilon r} \quad (2.9)$$

2.3.1 MATRIZ DE COEFICIENTES DE POTENCIAL Y DE CAPACITANCIA

La relación usada para el cálculo de las cargas - llevadas por los conductores de una línea con varios conductores, es la siguiente ecuación matricial:

$$\{q\} = |C| \cdot \{v\} \quad (2.10)$$

Para determinar $|C|$, primeramente se calculan los coeficientes de potencial de la línea. Estos se obtienen por la directa aplicación de la teoría de las imágenes. La tierra, considerada a un plano de potencial cero, es reemplazada por las imágenes de los conductores referidos a este plano. Se designan i, j, \dots , a los conductores para-lelos reales, e i', j', \dots , a sus imágenes, en la Fig. 2.10

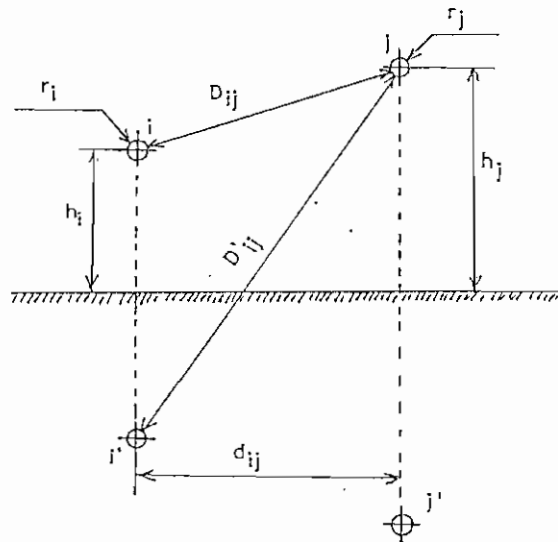


Fig. 2.10 Cálculo de los coeficientes de potencial

Según esta notación, se tiene:

$$D'_{ij} = \sqrt{(h_j + h_i)^2 + d_{ij}^2}$$

$$D_{ij} = \sqrt{(h_j - h_i)^2 + d_{ij}^2} \quad (2.11)$$

Entonces, los coeficientes de potencial están definidos por:

$$\begin{aligned} P_{ii} &= \frac{1}{2\pi\epsilon} \cdot \text{Ln} \frac{2h_i}{r_i} \\ P_{ij} &= \frac{1}{2\pi\epsilon} \cdot \text{Ln} \frac{D_{ij}}{D_{ij}} \end{aligned} \quad (2.12)$$

donde $P_{ij} = P_{ji}$

En la práctica, la altura h de los conductores varía a lo largo de un vano, así como entre uno y otro vano, por lo que las alturas h en los cálculos del gradiente son alturas promedio, definidas por:

$$h(\text{promedio}) = \text{altura de enganche} - 2/3 \text{ flecha media} \quad (2.13)$$

Una vez obtenidos los coeficientes de potencial, se procede a construir la matriz cuadrada de coeficientes de potencial:

$$|P| = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{1i} & \dots & P_{1n} \\ P_{j1} & P_{ji} & \dots & P_{jn} \\ P_{n1} & P_{ni} & \dots & P_{nn} \end{vmatrix} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \cdot |A|$$

donde la matriz $|A|$ quedaría definida en la ecuación 2.12

Finalmente, por inversión de $|P|$, se obtiene $|C|$:

$$|C| = |P|^{-1} = \kappa \cdot |A|^{-1} \quad (2.14)$$

La matriz $|C|$ permite el cálculo de las cargas llevadas por cada conductor, en función de sus respectivos potenciales.

En el caso de líneas trifásicas, la carga en un conductor y en consecuencia su gradiente superficial, no necesariamente alcanzan su máximo al mismo tiempo que el voltaje del conductor. Este fenómeno surge por las diferencias de fase entre conductores, por lo que si por ejemplo se define una secuencia de fases por $1, a^2, a$, donde a es el operador $1 \angle 120^\circ$, la matriz columna de voltajes se puede escribir:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = V \begin{bmatrix} 1 + j0 \\ -1/2 + j\sqrt{3}/2 \\ -1/2 - j\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

2.3.2 LINEAS CON VARIOS CIRCUITOS

A menudo se encuentra que varios circuitos trifásicos son llevados en las mismas estructuras, en cuyos casos, el cálculo preciso de los gradientes requiere el manejo de las matrices $|P|$ y $|C|$ de orden mayor, que en el caso de un doble circuito, sería 6. La inversión de tales matrices es impracticable sin el uso de un computador.

Se debe tomar en cuenta la posición relativa entre fases en cada circuito, la cual afecta a las cargas en los conductores, de manera que es importante considerar este efecto en el cálculo de gradientes en la línea que tenga doble circuito.

Generalmente, el arreglo convencional de fases para

un circuito doble es: A,B,C en un circuito, y C',B',A', en el otro circuito, de manera que el vector que multiplicaría a V en la ecuación 2.15, se define por: $1, a^2, a, a, a^2, 1$

Si una configuración plana de dos circuitos, esto es, dos circuitos horizontales, está definida por $1, a, a^2$ y $1, a, a^2$, tendrá gradientes más altos que una configuración $1, a, a^2$ y $a^2, a, 1$.

2.3.3 EFECTOS DE LOS CABLES DE GUARDA

Cuando una línea tiene cables de guarda, los cálculos serán en principio los mismos. La existencia de tales cables debe ser tomada en cuenta en la formación de la matriz de coeficientes de potencial; por otro lado, el potencial de los cables de guarda en la columna de voltajes, será evidentemente cero

Los cables de guarda incrementan el orden de las matrices, pero por un arreglo, este orden puede ser reducido al de una línea sin cables de guarda, para lo cual la ecuación matricial de los coeficientes de potencial se escribe de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} V_c \\ - \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{cc} & P_{cg} \\ \text{---} & \text{---} \\ P_{gc} & P_{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_c \\ - \\ q_g \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

En esta ecuación aparecen submatrices relacionando a conductores de fase (subíndice c), cables de guarda (subíndice g) y acoplamientos (subíndice cg). Los q_g de la ecuación 2.16 se pueden -

expresar unicamente en función de q_c , obteniéndose:

$$\{V_c\} = \begin{vmatrix} P_{cc} - P_{cg} \cdot P_{gg}^{-1} \cdot P_{gc} \end{vmatrix} \{q_c\} \quad (2.17)$$

Esta ecuación matricial es por lo tanto de orden menor e igual al número de fases de la línea, pero sin embargo, el efecto de los cables de guarda es relativamente pequeño ya que incrementan el gradiente de un conductor de fase apenas del 1 al 3%, razón por la que es suficiente despreciar su presencia en el proceso de cálculo de gradientes y a veces, compensa esta omisión con un incremento del 2% en el gradiente.

En la ejecución del programa digital se eliminan a los cables de guarda tanto de la matriz de coeficientes de potencial, como de las matrices de impedancia serie y admitancia shunt.

2.3.4 CALCULO DEL RADIO EQUIVALENTE EN UN HAZ DE CONDUCTORES

Las líneas de transmisión que operan sobre los 300 KV están constituídas por haces de varios conductores por fase. Esta configuración permite disminuir los gradientes superficiales del conductor a niveles tolerables.

Un haz de conductores está caracterizado por los parámetros de la Fig. 2.11, donde D está definida por:

$$D = 2 R \text{ Sen } \pi/n \quad (2.18)$$

El radio equivalente se define como el radio de un

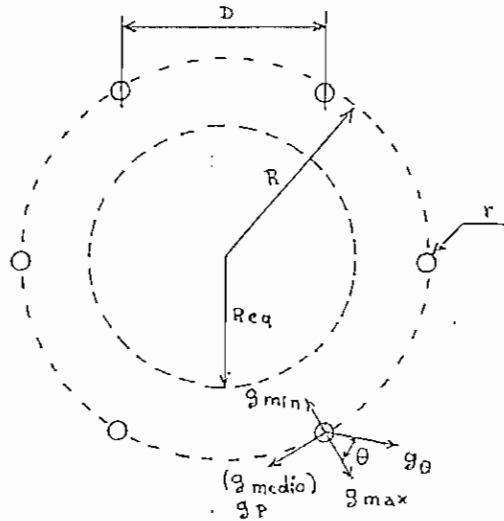


Fig 2.11 Características de un haz

conductor cilíndrico imaginario que tendría las mismas capacitancias - que el haz de conductores real con respecto a todos los conductores ve cinos. Viene dado por:

$$R_{eq} = R \sqrt{\frac{n \cdot r}{R}} \quad (2.19)$$

Para el cálculo del gradiente superficial del haz, primeramente se determina la carga total Q con la introducción del radio equivalente en la expresión para los coeficientes de potencial. El gradiente promedio de un conductor está dado por:

$$g_p = \frac{1}{n} \frac{Q}{2 \pi \epsilon r} \quad (2.20)$$

puesto que la carga total del haz está igualmente distribuída en los n

conductores del haz, pero debido al efecto de apantallamiento mutuo, el gradiente real es mayor hacia el exterior y menor hacia el interior del haz.

Los gradientes máximo y mínimo de los conductores están definidos por:

$$g_{\max} = g_p \left[1 + \frac{(n-1) r}{R} \right] \quad (2.21)$$

$$g_{\min} = g_p \left[1 - \frac{(n-1) r}{R} \right] \quad (2.22)$$

En forma feneral se asume que el campo varía alrededor del conductor de acuerdo a la siguiente expresión:

$$g_{\theta} = g_p \left[1 + \frac{(n-1) r}{R} \cdot \cos \theta \right] \quad (2.23)$$

2.4 CONSTANTES DE LA LINEA

2.4.1 PRINCIPIO DE CALCULO DE LA RADIO INTERFERENCIA

Una vista general de los pasos básicos en la predicción de la RI en líneas de transmisión se da en la Fig. 2.12. Los rectángulos superiores contienen los datos de entrada necesarios, mientras que los inferiores, las principales operaciones matemáticas. El establecer la generación de RN (Función de Excitación), es en verdad el paso central del método de cálculo.

En el cálculo de el campo de interferencia a ni -

vel de tierra se asume que es originado por la corriente total de RI - en los conductores de la sección transversal considerada.

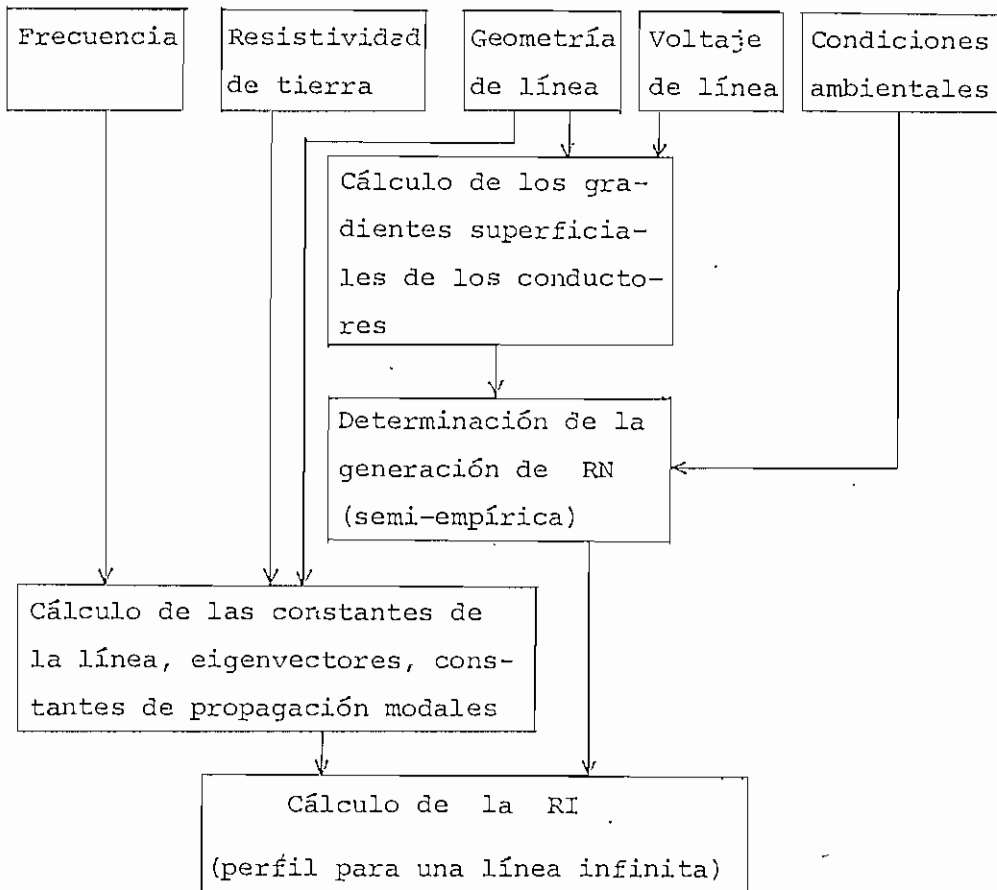


Fig. 2.12 Bosquejo general de la predicción de RN

Esta corriente de RI está compuesta de contribuciones de un gran número de fuentes distintas localizadas a distancias diferentes. Por esto, una parte importante del cálculo de RI consiste en el análisis de la propagación de señales de alta frecuencia a lo largo de las líneas. La ecuación de una línea de transmisión para un solo conductor y las ecuaciones diferenciales resultantes de voltaje y co -

corriente tienen una solución fácil, que esencialmente es un término exponencial en x (la distancia viajada) para la onda viajera. Por esto, asumiendo una inyección uniforme de corriente de RI y considerando una relación aleatoria entre las fuentes que la producen, la corriente total de RI puede ser calculada sin dificultad si es que se conocen las constantes de atenuación⁷.

Para el análisis de una línea polifásica es apropiado el uso de componentes. Las componentes simétricas no son prácticas para las altas frecuencias consideradas donde la asimetría de la línea no puede ser negada. Sin embargo, las "componentes modales" son adecuadas para este propósito. Los "modos" de propagación para altas frecuencias aplicando los factores de corrección para tierra de Carson se encuentran en la referencia 6. En resumen el análisis se le puede ver como sigue:

Si $|Z|$ y $|Y|$ son las matrices de impedancia serie y admitancia shunt de una línea polifásica, entonces las ecuaciones de la línea de transmisión se las puede escribir:

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dx^2} |V| &= |Z| |Y| |V| \\ \frac{d^2}{dx^2} |I| &= |Y| |Z| |I| \end{aligned} \tag{2.24}$$

Las ecuaciones representan un sistema de dos ecuaciones diferenciales para los voltajes y corrientes de la línea en términos de x . Se las puede volver a escribir sin ningún cambio en su va-

lidez de la siguiente forma:

$$|L_e|^{-1} \frac{d^2}{dx^2} |V| = |L_e|^{-1} |Z| |Y| |L_e| |L_e|^{-1} |V| \quad (2.25)$$

$$|L_i|^{-1} \frac{d^2}{dx^2} |I| = |L_i|^{-1} |Y| |Z| |L_i| |L_i|^{-1} |I|$$

$|L_e|$ y $|L_i|$ son matrices cuadradas que se las puede encontrar ⁸, de tal manera que los productos $|L_e|^{-1} |Z| |Y| |L_e|$ y $|L_i|^{-1} |Y| |Z| |L_i|$ se hacen matrices diagonales. Por esto, las ecuaciones diferenciales para las componentes de voltajes $|L_e|^{-1} |V|$ y para las componentes de corriente $|L_i|^{-1} |I|$ resultan con coeficientes diagonales. Esto, hablando prácticamente, es equivalente a poner en dirección paralela sistemas enteramente desacoplados. Cada sistema (modo) está descrito por una simple ecuación diferencial con una solución como la de una línea monofásica. Los voltajes y corrientes modales en cualquier punto a lo largo de la línea pueden ser retransformados a las componentes de la línea por medio de las matrices $|L_e|$ y $|L_i|$. A las columnas de estas matrices se las llama vectores característicos o eigenvectores (de la matriz $|Z| \cdot |Y|$ y $|Y| \cdot |Z|$, respectivamente) y a los términos de la matriz diagonal resultante se los llama valores característicos, o eigenvalores.

Para este análisis, las matrices $|Z|$ y $|Y|$ incluyen la resistencia de los conductores para alta frecuencia y el efecto de las pérdidas de tierra. Por supuesto que esto da como resultado tér

menos complejos pero además de un incremento en la precisión, se tiene la gran ventaja de que los valores característicos están directamente relacionados con las constantes de propagación de los modos.

En el algoritmo de esta Tesis no se incluye cálculo de la impedancia serie de la línea con las condiciones antes mencionadas. El cálculo de esta impedancia es objeto de otra Tesis de la que se toman sus datos¹⁰, los que constituyen datos de entrada de esta Tesis.

2.4.2 . EFECTOS DE LA CONDUCCION DE TIERRA EN LINEAS AEREAS

El efecto de un plano conductor finito en propagación electro-magnética, producido por conductores paralelos por los que atravieza una corriente, ha sido intensamente estudiado en este siglo - empezando en 1.909 con la solución de Sommerfeld a la radiación bipolar oscilante cercana a un plano conductor ¹², con el problema de la propagación de ondas en telegrafía inalámbrica. Por lo general, el trabajo ha sido enfocado hacia la solución de problemas en el diseño de antenas de radio, sin embargo, se ha escrito varios trabajos que tiene que ver directamente con el efecto de una tierra conductora en la propagación en líneas aéreas. El primero y muy a menudo citado es Carson ¹³, que proporciona correcciones a los parámetros de impedancia longitudinal, tanto de resistencia como de inductancia. Posteriormente Wise^{14,15} extendió el análisis de las correcciones de Carson, incluyendo los efectos de permeabilidad y permitividad relativas de la tierra mayores que la unidad. La corrección para los términos de la admitancia de una lí-

nea de transmisión fueron desarrollados por Sundel¹⁶, para conductores en la tierra. Wise¹⁷ y Arismunandar¹⁸ han realizado las correcciones para la admitancia de líneas aéreas.

2.4.3 DESCRIPCION GENERAL DE UNA LINEA POLIFASICA

La descripción eléctrica de una línea polifásica - sobre una tierra perfectamente conductora es:

$$\begin{aligned} |Z(\omega)|_{pe} &= |Rc(\omega)| + j\omega k_1 |A| \text{ ohms/km} \\ |Y(\omega)|_{pe} &= 0 + j\omega k_2 |A|^{-1} \text{ mhos/km} \end{aligned} \quad (2.26)$$

La matriz $|A|$ es definida como en el cálculo de - gradiente superficial del conductor y K_1 , K_2 son constantes que dependen del sistema de unidades.

En general, las correcciones de tierra para los términos de la impedancia longitudinal $|Z|$ cambian tanto a la parte real como a la imaginaria

$$\begin{aligned} |Z(\omega)| &= |\Delta R|_{ec} + j\omega |\Delta L|_{ec} + |Z(\omega)|_{pe} \\ |Z(\omega)| &= |Rc| + |\Delta R|_{ec} + j\omega \{ |\Delta L|_{ec} + k_1 |A| \} \end{aligned} \quad (2.27)$$

La corrección de tierra para la matriz admitancia, - se añade a la matriz de coeficientes de potencial

$$|P(\omega)|_{pe} = |P(\omega)|_{pe} + |\Delta PR|_{ec} + j |\Delta PI|_{ec} \quad (2.28)$$

En definitiva se pueden anotar las siguientes con-

clusiones con referencia a la conducción de tierra.⁶

- En general, la corrección de tierra para los términos de la admitancia no tienen mayor influencia para frecuencias de 1 - MHz.

- Las correcciones de tierra de Carson para la resistencia son proporcionales a la frecuencia y a la raíz cuadrada de la misma, en las regiones de baja y alta frecuencia, respectivamente.

- Las correcciones de tierra producen efectos predominantes para líneas aéreas sobre una tierra imperfecta.

- Los efectos de una alta constante dieléctrica relativa de la tierra tienen influencia solamente para frecuencias superiores a 0.5 MHz y cuando tanto la resistividad de tierra como la constante dieléctrica son altas.

- Las correcciones de tierra afectan significativamente los vectores característicos para frecuencias entre 60 Hz y 1 MHz.

2.5 CALCULO DE LOS FACTORES DE CAMPO MODALES

Un factor de campo modal puede ser definido como el campo electrostático originado por un voltaje unitario del modo en consideración, con todos los demás voltajes modales iguales a cero en el mismo instante. Los voltajes de fase atribuibles a los voltajes modales unitarios, están directamente dados por la matriz de transformación para los voltajes. $|L_e|$. Las columnas (vectores característicos) de esta ma

triz representan los modos mientras que cada elemento en una columna se atribuye a una fase.¹

Las densidades de carga $\{q\}$ en las fases se obtienen por la multiplicación de los voltajes de fase $\{V\}$ con el inverso de la matriz de coeficientes de Maxwell (2.10) con $|A|$ como ya se definió y ϵ es la constante dieléctrica del medio aislante:

$$\{q\} = 2\pi \epsilon |A|^{-1} \{V\}$$

$$\{q\} = |C| \{V\}$$

El campo electrostático a nivel de tierra en cualquier punto cercano a un conductor eléctrico, en función de la densidad de carga q y la distancia involucrada se expresa mediante la ecuación:

$$E = \frac{q}{2\pi \epsilon} \cdot \frac{2h}{h^2 + x^2} \quad (2.29)$$

Las contribuciones de campo eléctrico de cada fase pueden ser superpuestas linealmente. Reemplazando la constante K en (2.29) se obtiene:

$$|E| = \frac{1}{2\pi \epsilon} |q| K_i \quad (2.30)$$

donde

$$K_i = \frac{h_i}{h_i^2 + x_i^2}$$

$$|E| = |K|^T |A|^{-1} |V| \quad (2.31)$$

donde $|K|^T$ es una matriz fila con un elemento para cada fase.

Aplicando esta definición para los factores de campo modales, se obtiene:

$$|Y_m|^T = |K|^T |A|^{-1} |Le| \quad (2.32)$$

2.6 RECOMBINACION DE LOS MODOS

Se ha visto que las corrientes de ruido de radio (RN) en cualquier sección de una línea de transmisión normalmente están compuestas de contribuciones de diferentes distancias, por lo que el cálculo de RN involucra la propagación de altas frecuencias a lo largo de un sistema de conductores paralelos. Para este propósito, como se estudiado, una transformación a modos no acoplados es la más apropiada. Dentro de cada modo, las corrientes de fase (voltajes, campos) se presentan en una proporción característica y se propagan como una señal a lo largo de una línea monofásica. La recombinación de las corrientes RN o voltajes o campos en el punto de medición, presentan una dificultad: Las amplitudes y relaciones de fase entre las componentes modales dependen de la distancia viajada, y las diferentes contribuciones están esparcidas a lo largo de toda la línea y su relación de fase es aleatoria. Este problema ha sido ya estudiado antes y generalmente se aceptaba una relación de fase aleatoria entre los modos, como una aproximación. Puesto que esta aproximación no es tan satisfactoria, se presentó una solución matemática por G.W. Juette y G.M. Roe los que parten de un análisis modal completo como el descrito anteriormente.

En la referencia 7 se encuentra descrito todo el

desarrollo matemático en el que se parte del análisis de una línea monofásica extendiéndose al infinito en ambas direcciones desde un punto de observación, para pasar luego al análisis polifásico. Se asume una distribución de fuentes uniforme y las ecuaciones se obtienen para señales sinusoidales representando una parte del espectro de ruido.

Las constantes de propagación de la línea $\alpha + j\beta$ determinan la atenuación y defasaje con las que las corrientes, voltajes y campos viajan a lo largo de la línea.

Como resultado del análisis matemático se obtiene la amplitud del campo de RN a una distancia lateral dada causado por una generación de ruido distribuida uniformemente en una fase de una línea polifásica. El resultado fue obtenido por procedimientos de algebra tomando en consideración los pulsos de RN y conservando el carácter vectorial (fase) de los modos. El resultado final es la siguiente ecuación:

$$\bar{E}^2 = \sum_{k=1}^m \sum_{f=1}^m \left[2V_k \gamma_k V_f \gamma_f \frac{(\alpha_k + \alpha_f) \cos(\Delta\beta_k - \Delta\beta_f) + (\beta_k - \beta_f) \sin(\Delta\theta_k - \Delta\theta_f)}{(\alpha_k + \alpha_f)^2 + (\beta_k - \beta_f)^2} \right] \quad (2.33)$$

Para fines de cálculos prácticos, la ecuación (2.33) puede ser simplificada por medio de las siguientes suposiciones:

$$\cos(\Delta\theta_k - \Delta\theta_f) = \pm 1 \quad (2.34)$$

$$\sin(\Delta\theta_k - \Delta\theta_f) = 0$$

$$(\beta_k - \beta_f) = (\alpha_k - \alpha_f) \quad (2.35)$$

Las dos primeras suposiciones resultan del hecho -

que $(\Delta\phi_k - \Delta\phi_\ell)$ en todos los casos es muy cercano a 0° ó 180° . Usualmente la definición de los factores de campo modales incluirán el efecto de un defasamiento de 180° en cada modo por lo que en este caso se aplicaría el signo positivo.

El análisis de ondas electromagnéticas transversales (TEM) entre conductores con pérdidas, muestran con una buena aproximación, que $(\alpha - \beta)$ es constante para un dieléctrico dado a una frecuencia dada, de manera que se cumple:

$$\alpha_k - \beta_k \approx \alpha_\ell - \beta_\ell$$

$$\alpha_k - \alpha_\ell \approx \beta_k - \beta_\ell$$

Con estas aproximaciones, la expresión general 2.33 para una línea polifásica se simplifica a:

$$\bar{E}^2 = \sum_{k=1}^m \sum_{\ell=1}^m \left[V_k \ Y_k \ V_\ell \ Y_\ell \ \frac{\alpha_k + \alpha_\ell}{\alpha_k^2 + \alpha_\ell^2} \right] \quad (2.36)$$

2.7 MEDIOS DE REDUCCION DE LA RADIO INTERFERENCIA

La reducción de la interferencia en la radio se la puede hacer sea disminuyendo la generación o modificando las características de propagación.

Por lo general, los voltajes de las líneas son ya establecidos y el control del campo eléctrico en la superficie del conductor, o sea la generación, se lo realiza sea usando tamaños de conducto

res adecuados o haces de conductores. La reducción del campo eléctrico por estos métodos es solamente una fase de la generación. La generación de RI en condiciones atmosféricas normales también es afectada por las condiciones superficiales provenientes del proceso de cableado y por contaminantes atmosféricos. Es inevitable un moderado porcentaje de apriete superficial en el anclaje; sin embargo, pronto se cubre con residuos de contaminantes ambientales sin causar mayores daños superficiales.

La reducción de la generación de RI durante lluvias se ha demostrado²² envolviendo al conductor con una ligera cinta de algodón la que cambia las formas de las gotas que se adhieren en forma ventajosa. El resultado experimental muestra que un cambio de las características de tensión superficial del sistema, es benéfica.

Se ha demostrado^{9,23,24} mediante el uso de circuitos de prueba que la RI es generada durante el medio ciclo positivo del voltaje del conductor tanto para buen tiempo como para mal tiempo. Se supuso que polarizando negativamente a la línea con corriente continua durante la operación de a-c se reduciría la RI, pero los experimentos no han sido determinantes.

El cambio de las características de propagación de la línea reducirá la RI. Se presentan dos caminos para disminuir la energía de interferencia proveniente de un punto distante. La energía puede ser reflejada hacia su origen, atenuada o ambas cosas. Se han diseñado filtros para el trabajo de reflexión y un diseño particular fue

reportado por investigadores japoneses²⁵. Los haces de conductores de la línea son usados como filtros de un cuarto de onda con un buen funcionamiento. El segundo camino es la atenuación de la energía de interferencia y está relacionado con el incremento de pérdidas del conductor y para muchos casos, particularmente para los modos línea a línea, esta pérdida es apreciada. Entre los métodos propuestos para este fin es envolver al conductor con una cinta magnética de un alto μ para disminuir el camino de la corriente²⁶.

En la actualidad los métodos prácticos de reducción de RI son:⁹

- una adecuada configuración de conductores dimensionados debidamente.
- un cuidadoso anclaje.
- uso de filtros.

CAPITULO III

DESARROLLO DEL PROGRAMA DIGITAL

3.1 ALGORITMO DE CALCULO

El primer paso en el análisis de propagación en líneas de transmisión es establecer las matrices de impedancia serie y admitancia shunt (términos propios y mutuos). En la referencia 10 está hecho esto, de manera que en este trabajo se debe tener como dato la matriz impedancia serie en la que se debe incluir la resistencia de los conductores para altas frecuencias y el efecto de la conductividad a tierra. El cálculo de la matriz admitancia por el contrario, es parte de este trabajo y se la obtiene de la matriz de capacitancias:

$$|Y| = 0 + j\omega |C| \quad (3.1)$$

En el cálculo de las matrices impedancia y admitancia se eliminan los cables de guarda, considerandolos a un potencial de tierra en cualquier punto.

Con los datos de entrada al programa (que incluye $|Z|$), se puede proceder al cálculo de:

- radio equivalente, con la ecuación (2.19)
- matriz de coeficientes de potencial ó la matriz $|A|$, con las ecuaciones (2.12)
- matriz de capacitancia con la ecuación (2.14)
- cargas llevadas por cada conductor, con la ecuación (2.10).

- gradientes promedio y máximo con las ecuaciones (2.20) y (2.21).
- función de excitación en condiciones de lluvia fuerte, con la ecuación (2.5)
- impedancia característica de la línea con la ecuación (A.16) ó (A.18), del apéndice A
- constantes de propagación modales, de los valores característicos.
- vectores característicos (matriz $|L_e|$) del producto de $|Z| |Y|$.
- Factores de campo modales, con la ecuación (2.32)

Una vez obtenidos estos parámetros básicos, se asume una función de excitación unitaria ($\Gamma=1$) en cada fase. Las contribuciones de las fases son tratadas separadamente durante los cálculos. Solamente al final se introducen las funciones de excitación reales y se suman las contribuciones de todas las fases. Se debe tener cuidado al interpretar las ecuaciones matriciales puesto que las filas y columnas de las matrices tienen diferentes significado (fases, modos, origen de interferencia, etc.)

Con estas premisas se calcula la densidad de corriente inyectada, para una línea infinita, de manera que la mitad de la corriente inyectada fluye en una dirección y no se necesite considerar reflexiones.

$$|i| = 1/2 |A|^{-1} \quad (3.2)$$

Esta ecuación es la misma que (2.1) si asumimos $\Gamma = 1$ y tomamos la mitad de la corriente indicada. $|i|$ es una matriz cuadrada en la que cada fila corresponde a una fase portadora de corriente, y cada columna a una fase generadora de ruido.

Si se multiplica a la densidad de corriente inyectada $|i|$ con la impedancia característica $|Z_c|$, se obtiene la densidad de voltaje $|v|$

$$|v| = |Z_c| |i| \quad (3.3)$$

A continuación se introduce la matriz de transformación para los voltajes $|Le|$ (vectores característicos de $|Z| \cdot |Y|$, obteniéndose la matriz de voltajes modales $|v_M|$, que es una matriz cuadrada en la que cada fila es un modo y cada columna una fase generadora de ruido.

$$|v_M| = |Le|^{-1} |v| \quad (3.4)$$

En (3.5), cada densidad de voltaje modal es multiplicada con el respectivo factor de campo modal, obteniéndose la densidad de campo modal generada. Los factores de campo modal son arreglados en una matriz diagonal γ_M para este propósito. Las filas de la matriz $|e_M|$ corresponden a los modos, mientras que cada columna continua correspondiendo a fase generadora de ruido.

$$|e_M| = \gamma_M |v_M| \quad (3.5)$$

Hasta aquí el análisis no incluye el efecto de la -

propagación. $|e_m|$ es el campo de interferencia electrostático modal a una distancia lateral, viajando en una dirección, generado por unidad - de longitud de línea y con una función de excitación unitaria en cada fa se. Las contribuciones de las fases todavía están separadas en $|e_m|$. - La propagación y el sumatorio de las contribuciones de interferencia de toda la línea, en términos de las componentes modales así como la re-combinación de los modos está detallada en la referencia 7 y explicada en forma resumida en el punto (2.6). Aplicando la ecuación (2.36), se obtiene $|Eu^2|^T$ que representa el cuadrado del campo de interferencia en un punto de medida para una función de excitación unitaria.

$$|Eu^2|^T = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m |\text{Real}\{e_k\} \cdot \text{Real}\{e_l\} \frac{\alpha_k + \alpha_l}{\alpha_k^2 + \alpha_l^2}|^T \quad (3.6)$$

Los elementos de la matriz fila $|Eu^2|^T$ deben ser - multiplicados por las funciones de excitación reales, para obtener los campos verdaderos.

$$|E^2|^T = |Eu^2|^T \Gamma^2 \quad (3.7)$$

La manera más adecuada de sumar las contribuciones de cada fase, las que actúan a diferentes tiempos dentro de cada ciclo de 60 Hz, depende de las características del circuito receptor. Sin em bargo, al no tener ninguna información sobre este punto, es razonable - simplemente sumar los orígenes de RN generados por cada fase.

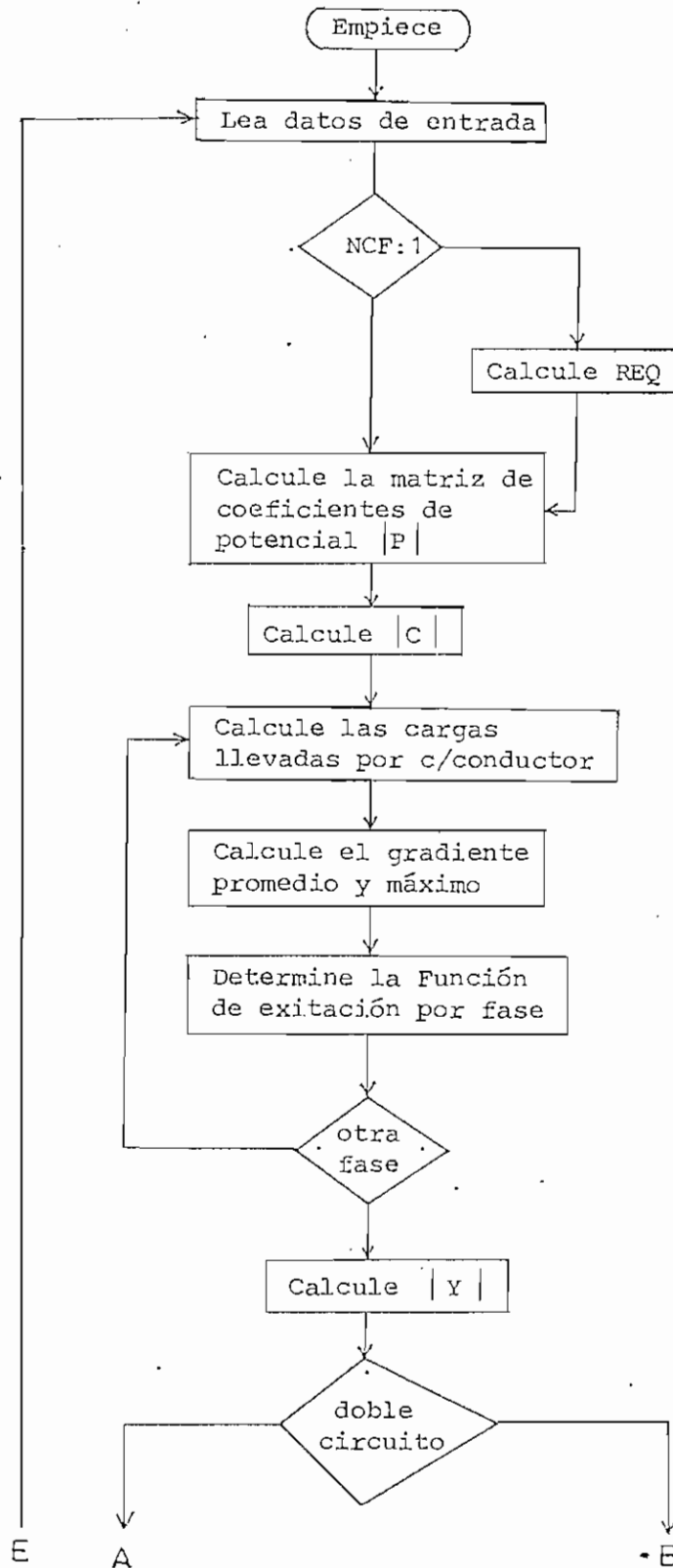
$$E^2 = |E^2|^T |1| \quad (3.8)$$

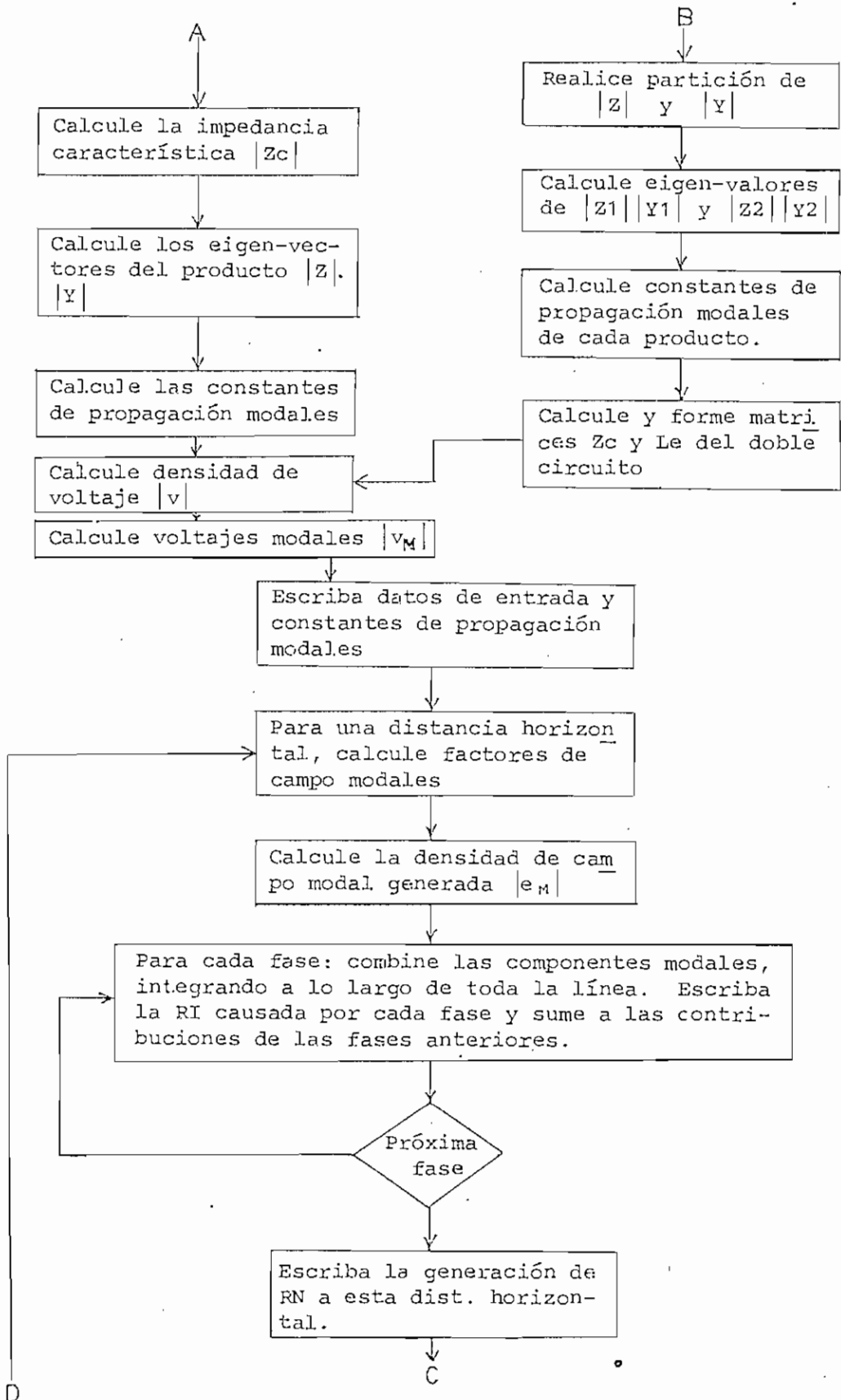
donde $|1|$ es un vector columna con 3 o 6 elementos unitarios dependien-

do si son líneas de un solo circuito o de dos circuitos.

Por último, se extrae la raíz cuadrada de E^2 , obteniéndose el perfil de interferencia producido por la línea y expresado en microvoltios/metro. Finalmente, el perfil de interferencia se lo expresa en decibelios sobre 1 microvoltio/metro, para lo cual se utiliza la ecuación (2.2).

La Fig. 3.13 representa el diagrama de flujo general de los pasos necesarios para determinar el perfil de interferencia.





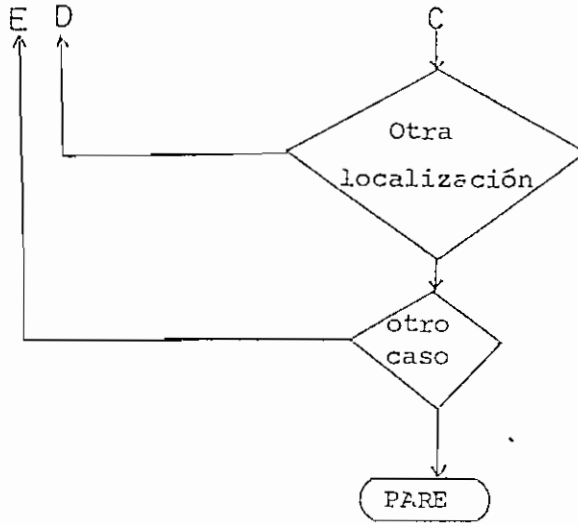


Fig. 3.13 Diagrama de flujo del programa de cálculo RN

3.2 SUBROUTINAS UTILIZADAS

- SUBROUTINA BUFFER.- Esta subrutina se utiliza para reordenar los datos de una matriz de entrada o de salida de las subrutinas HMVCO3, HMVCO5 ó HMRQO4, debido a su dimensionamiento variable.
- SUBROUTINA FEX.- Se la usa en el caso de que los gradientes máximos calculados por fase sean mayores que los 15KV/cm. A esta subrutina entran como datos el radio del conductor el gradiente máximo, y el gráfico de la figura 2.6 en forma de matriz.
- SUBROUTINA FIGURA.- Esta subrutina pertenece al Centro de Cómputo de la Escuela Politécnica Nacional y su propósito es graficar una función. Es utilizada para graficar RI total, generada en función de la distancia horizontal tomada desde la proyección horizontal de la fase 1 sobre tierra hasta 200 mts.
- SUBROUTINA INC.- Se utiliza para invertir un número complejo en doble precisión.
- SUBROUTINA HMRQO4.- Esta subrutina pertenece al Centro de Cómputo de la Escuela Politécnica Nacional y su propósito es obtener la raíz cuadrada de una matriz compleja de doble precisión.

El método de cálculo utilizado es la aplicación del Teorema de Sylvestér, de manera que la matriz a la que se va a extraer la raíz cuadrada debe tener todos sus valores característicos distintos, de lo contrario, aparecerá el mensaje "este método no resuelve el proble

ma cuando hay dos o más valores característicos iguales", acompañado de: "resultados indeseables de la raíz cuadrada de la matriz".

- SUBROUTINA HMVCO3.- Esta subrutina pertenece al Centro de Cómputo de la Escuela Politécnica Nacional y su propósito es estudiar una matriz compleja en doble precisión para obtener:

- Los coeficientes de su polinomio característico
- Los eigenvalores (valores característicos)
- Los eigenvectores
- La matriz inversa
- El valor de su determinante

- SUBROUTINA HMVCO5.- Pertenece al Centro de Cómputo de la Escuela Politécnica Nacional y su propósito es obtener valores característicos de una matriz compleja de doble precisión.

- SUBROUTINA MAX.- Esta subrutina es usada para calcular la matriz de coeficiente de protección de Maxwell, en base al radio equivalente y a la matriz de coordenadas de los conductores.

- SUBROUTINA MCL.- Esta subrutina se utiliza solamente para el caso de líneas con doble circuito y su propósito es realizar la partición de las matrices $|Z|$ y $|Y|$ del doble circuito para proceder al cálculo de las constantes de propagación, matriz de vectores característicos, matriz de impedancia característica. Finalmente se forman las mencionadas matrices del doble circuito y se entregan estos resultados al programa principal.

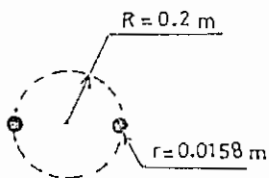
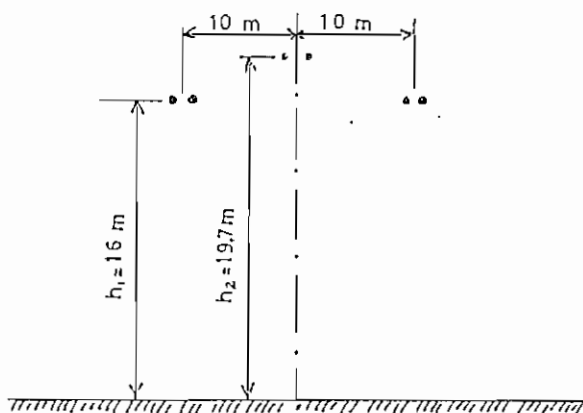
- SUBROUTINA MMC.- El objeto de esta subrutina es multiplicar dos matrices complejas en doble precisión.
- SUBROUTINA MODO.- Esta subrutina se utiliza para recombinar los modos de cada fase según la ecuación (2.36).
- SUBROUTINA OUT PUT.- El propósito de esta subrutina es escribir los - datos de entrada y salida del programa.
- SUBROUTINA REG.- El propósito de esta subrutina es multiplicar una matriz no compleja de doble precisión , por una constante.

CAPITULO IV

EJEMPLOS

4.1 EJEMPLOS COMPARATIVOS

1.- Se desea determinar la interferencia de la línea de transmisión "LE CHESNOY - VIELMOULIN" ,de la referencia 3, cuyas características son las siguientes:



Haz de conductores de Aluminio de 595 -
mm²

Número de conductores/fase = 2

Resistividad de tierra = 100 Ω.m

La forma de proporcionar los datos de entrada al programa, se muestra a continuación, así como los resultados.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

NOMBRE DEL PROGRAMA: CALCULO DE LA RADIO INTERFERENCIA EN LINEAS DE TRANSMISION

No. _____

Programador: Marcelo Cabrera Jr.

Fecha: Abril de 1990

Hojas: _____ de _____

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
LINEA DE 38.0 KV "LE CHESNOY - VILMOULIN"																																																																																																			
CONDUCTORES DE ALUMINIO DE 595 MILIMETROS CUADRADOS																																																																																																			
0.5																																																																																																			
380.																																																																																																			
1																																																																																																			
2.																																																																																																			
0.10158																																																																																																			
0.2																																																																																																			
0.0																																																																																																			
0.0																																																																																																			
1.0																																																																																																			
19.7																																																																																																			
20.																																																																																																			
16.																																																																																																			
114.0913																																																																																																			
33972.8784																																																																																																			
102.8679																																																																																																			
905.855																																																																																																			
112.2414																																																																																																			
535.282																																																																																																			
102.8679																																																																																																			
96.7548																																																																																																			
4078.9143																																																																																																			
102.8679																																																																																																			
905.855																																																																																																			
114.0913																																																																																																			
3972.8784																																																																																																			
1																																																																																																			

LÍNEA DE 380 KV TÍPICA CHESNOY - VIELMOGULÍN

CONDUCTORES DE ALUMINIO DE 595 MILÍMETROS CUADRADOS

COORDENADAS DE LOS CONDUCTORES (METROS)

(X)	(Y)
0.0	16.00
10.00	19.70
20.00	16.00

FRECUENCIA (MEGA HERTZ) = 0.50
 VOLTAJE DE LA LÍNEA (KILOVOLTIOS) = 380.00
 NÚMERO DE CIRCUITOS TRIFÁSICOS = 1
 NÚMERO DE CONDUCTORES POR FASE = 2
 RADIO DEL SUBCONDUCTOR (METROS) = 0.01580
 RADIO DEL CÍRCULO PRIMITIVO (METROS) = 0.20000
 FLECHA DE LOS CONDUCTORES (METROS) = 0.0

CONSTANTES DE PROPAGACIÓN MODALES (NP/METRO)

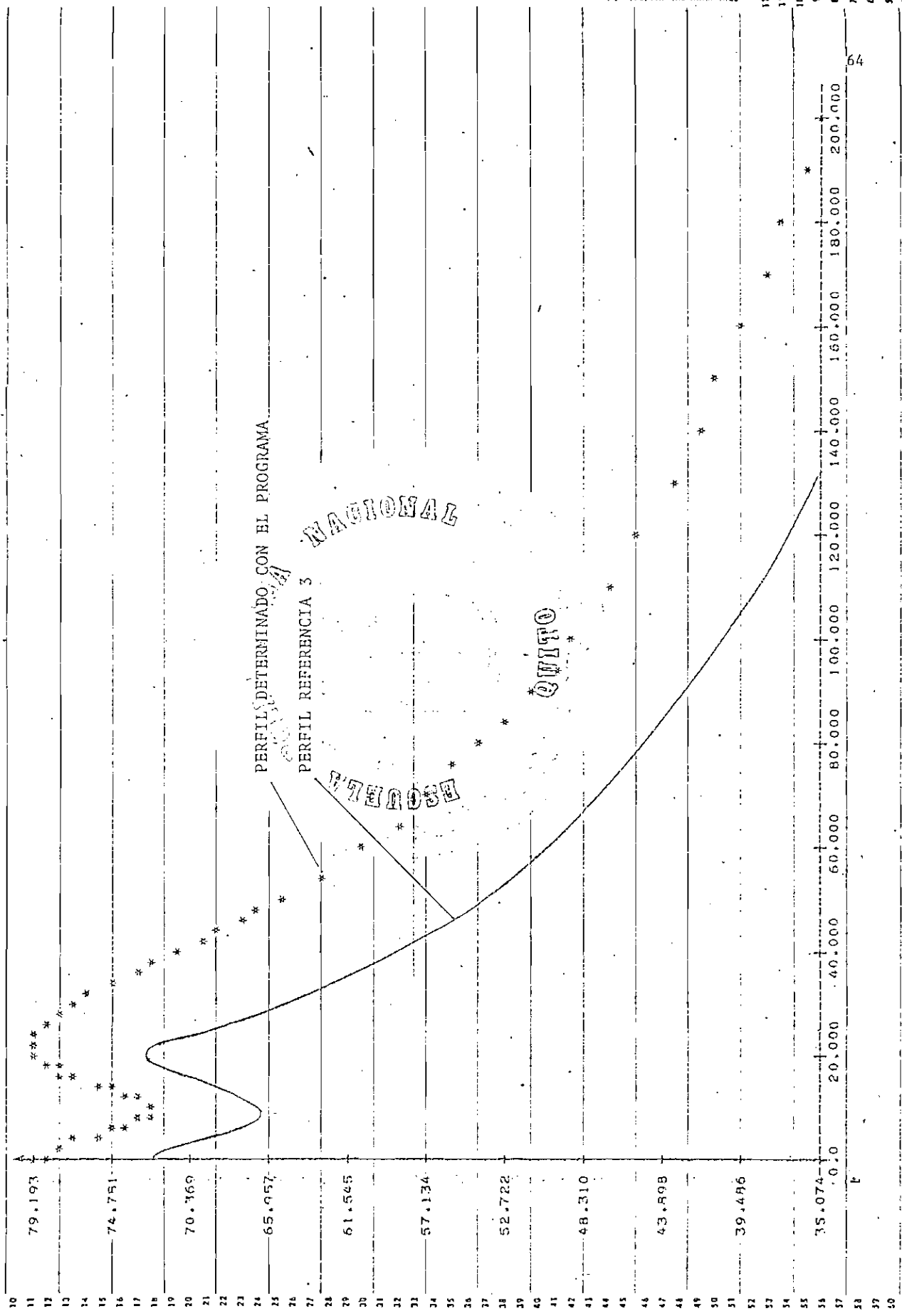
MOD0(1) = 0.287830-05 J 0.105830-01
 MOD0(2) = 0.317610-03 J 0.109420-01
 MOD0(3) = 0.426200-05 J 0.105980-01

VELOCIDADES DE PROPAGACIÓN MODALES (KM/SEG)

MOD0(1) = 296952.81
 MOD0(2) = 287124.69
 MOD0(3) = 276431.13

30870

DISTANCIA HORIZONTAL (METROS)	NIVEL DE INTERFERENCIA: DE 1-MICROVOLTIO/M			
	TOTAL	FASE A	FASE B	FASE C
0.0	78.846	75.645	61.302	75.859
1.0	78.493	75.102	62.892	75.606
2.0	78.015	74.357	64.526	75.212
3.0	77.411	73.376	66.061	74.669
4.0	76.696	72.108	67.422	73.954
5.0	75.854	70.479	68.577	73.037
6.0	74.944	68.378	69.519	71.871
7.0	74.014	65.667	70.245	70.386
8.0	73.164	62.472	70.760	68.475
9.0	72.545	60.799	71.068	65.998
10.0	72.315	62.953	71.170	62.956
11.0	72.544	65.975	71.068	60.800
12.0	73.163	68.473	70.760	62.470
13.0	74.012	70.384	70.245	65.665
14.0	74.943	71.869	69.519	68.376
15.0	75.853	73.036	68.577	70.478
16.0	76.685	73.953	67.422	72.107
17.0	77.410	74.667	66.061	73.375
18.0	78.014	75.210	64.526	74.357
19.0	78.492	75.605	62.892	75.102
20.0	78.845	75.868	61.302	75.645
22.0	79.193	76.051	59.072	76.227
24.0	79.109	75.950	58.432	76.262
26.0	78.665	75.343	58.162	75.872
28.0	77.939	74.602	57.493	75.159
30.0	77.008	73.692	56.388	74.211
32.0	75.937	72.659	55.071	73.102
34.0	74.780	71.576	53.864	71.887
36.0	73.577	70.446	53.061	70.609
38.0	72.360	69.304	52.738	69.301
40.0	71.149	68.166	52.749	67.984
42.0	69.959	67.043	52.894	66.674
44.0	68.798	65.943	53.040	65.381
46.0	67.674	64.870	53.129	64.113
48.0	66.588	63.828	53.143	62.873
50.0	65.543	62.817	53.086	61.664
55.0	63.106	60.427	52.686	58.783
60.0	60.906	58.224	52.043	56.101
65.0	58.918	56.194	51.264	53.606
70.0	57.114	54.316	50.417	51.291
75.0	55.470	52.575	49.541	49.110
80.0	53.962	50.953	48.661	47.076
85.0	52.573	49.439	47.790	45.167
90.0	51.287	48.020	46.936	43.371
95.0	50.091	46.686	46.104	41.679
100.0	48.973	45.428	45.296	40.082
110.0	46.937	43.112	43.755	37.146
120.0	45.122	41.024	42.312	34.519
130.0	43.484	39.126	40.963	32.166
140.0	41.992	37.387	39.698	30.060
150.0	40.623	35.786	38.510	28.176
160.0	39.357	34.392	37.392	26.491
170.0	38.180	32.922	36.337	24.984
180.0	37.080	31.631	35.338	23.634
190.0	36.047	30.421	34.391	22.420
200.0	35.074	29.292	33.490	21.324
220.0	33.281	27.167	31.813	19.418
240.0	31.659	25.301	30.278	17.806
260.0	30.179	23.586	28.865	16.406
280.0	28.817	22.015	27.556	15.164
300.0	27.555	20.567	26.337	14.040



PERFIL DETERMINADO CON EL PROGRAMA

PERFIL REFERENCIA 3

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

QUITO

79,193

74,751

70,369

65,957

61,545

57,134

52,722

48,310

43,898

39,486

35,074

0.0 20,000 40,000 60,000 80,000 100,000 120,000 140,000 160,000 180,000 200,000

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
QUITO

76.051
71.374
66.697
62.020
57.344
52.667
47.990
43.313
39.636
33.959
29.282

0.0 20.000 40.000 60.000 80.000 100.000 120.000 140.000 160.000 180.000 200.000

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 OFICIO

11	71,170	**	
12		**	*
13		*	*
14		*	*
15		*	*
16	67,402	*	*
17		*	*
19		*	*
20	63,634	*	*
21		*	*
23		*	*
24	59,866	*	*
25		*	*
26		*	*
27		*	*
28		*	*
29	56,008	*	*
30		*	*
31		*	*
32		*	*
33	52,330	*	*
34		*	*
35		*	*
36		*	*
37		*	*
38	40,562	*	*
39		*	*
40		*	*
41		*	*
42	44,794	*	*
43		*	*
44		*	*
45		*	*
46		*	*
47	41,025	*	*
48		*	*
49		*	*
50		*	*
51		*	*
52	37,258	*	*
53		*	*
54		*	*
55		*	*
56	33,480	*	*
57	0.0	*	*
58	20,000	*	*
59	40,700	*	*
60	60,000	*	*
61	80,000	*	*
62	100,000	*	*
63	120,000	*	*
64	140,000	*	*
65	160,000	*	*
66	180,000	*	*
67	200,000	*	*

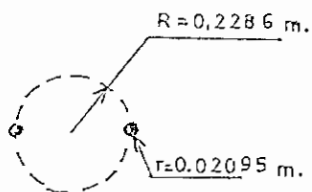
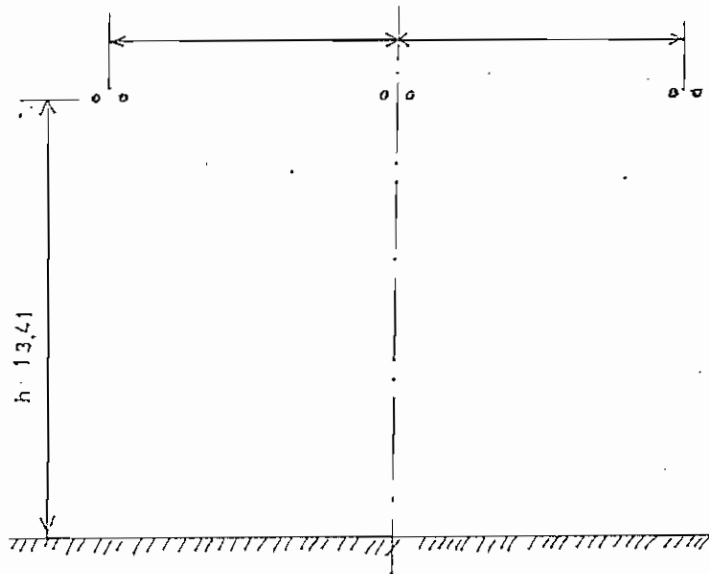
ESCUOLA
POLITÉCNICA NACIONAL

* 1980

10	
11	76.262
12	
13	
14	
15	70.769
16	
17	
18	
19	
20	65.275
21	
22	
23	
24	
25	59.781
26	
27	
28	
29	54.287
30	
31	
32	
33	48.793
34	
35	
36	
37	43.290
38	
39	
40	
41	
42	
43	37.805
44	
45	
46	
47	32.712
48	
49	
50	
51	
52	26.818
53	
54	
55	
56	21.324
57	0.0
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	

20.000 40.000 60.000 80.000 100.000 120.000 140.000 160.000 180.000 200.000

2- De la referencia 1 ,se toma como ejemplo la línea de 500 Kv de las siguientes características:



Haz de 2 conductores por fase

Resistividad de tierra = $66.67 \Omega\text{m}$

Frecuencia = 1 MHz

La forma de proporcionar los datos al programa se muestra a continuación, y seguidamente los resultados.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

NOMBRE DEL PROGRAMA CALCULO DE LA RADIO INTERFERENCIA DE LINEAS DE TRANSMISION No. _____

Programador: Marcelo Cabrera L. Fecha: Abril de 1980 Hojo No. _____ de _____

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
LINEA DE 500 KV.																																																																																																			
CONDUCTORES DE ALUMINIO																																																																																																			
1.0																																																																																																			
5000.																																																																																																			
1																																																																																																			
2.																																																																																																			
0.02095																																																																																																			
0.2286																																																																																																			
0.0																																																																																																			
0.0																																																																																																			
13.41																																																																																																			
10.97																																																																																																			
13.41																																																																																																			
21.95																																																																																																			
13.41																																																																																																			
1																																																																																																			

LINEA DE 500 KV

CONDUCTOR DE ALUMINIO

COORDENADAS DE LOS CONDUCTORES (METROS)

(X)	(Y)
0.0	13.41
10.97	13.41
21.95	13.41

FRECUENCIA (MEGA HERTZ) = 1.00
 VOLTAJE DE LA LINEA (KILOVOLTIOS) = 500.00
 NUMERO DE CIRCUITOS TRIFASICOS = 1
 NUMERO DE CONDUCTORES POR FASE = 2.
 RADIO DEL SUBCONDUCTOR (METROS) = 0.02095
 RADIO DEL CIRCULO PRIMITIVO (METROS) = 0.22860
 FLECHA DE LOS CONDUCTORES (METROS) = 0.0

CONSTANTES DE PROPAGACION MODALES (NR/METRO)

MOD0(1) = 0.307420-05 J 0.212290-01
 MOD0(2) = 0.552930-03 J 0.218020-01
 MOD0(3) = 0.356330-05 J 0.212710-01

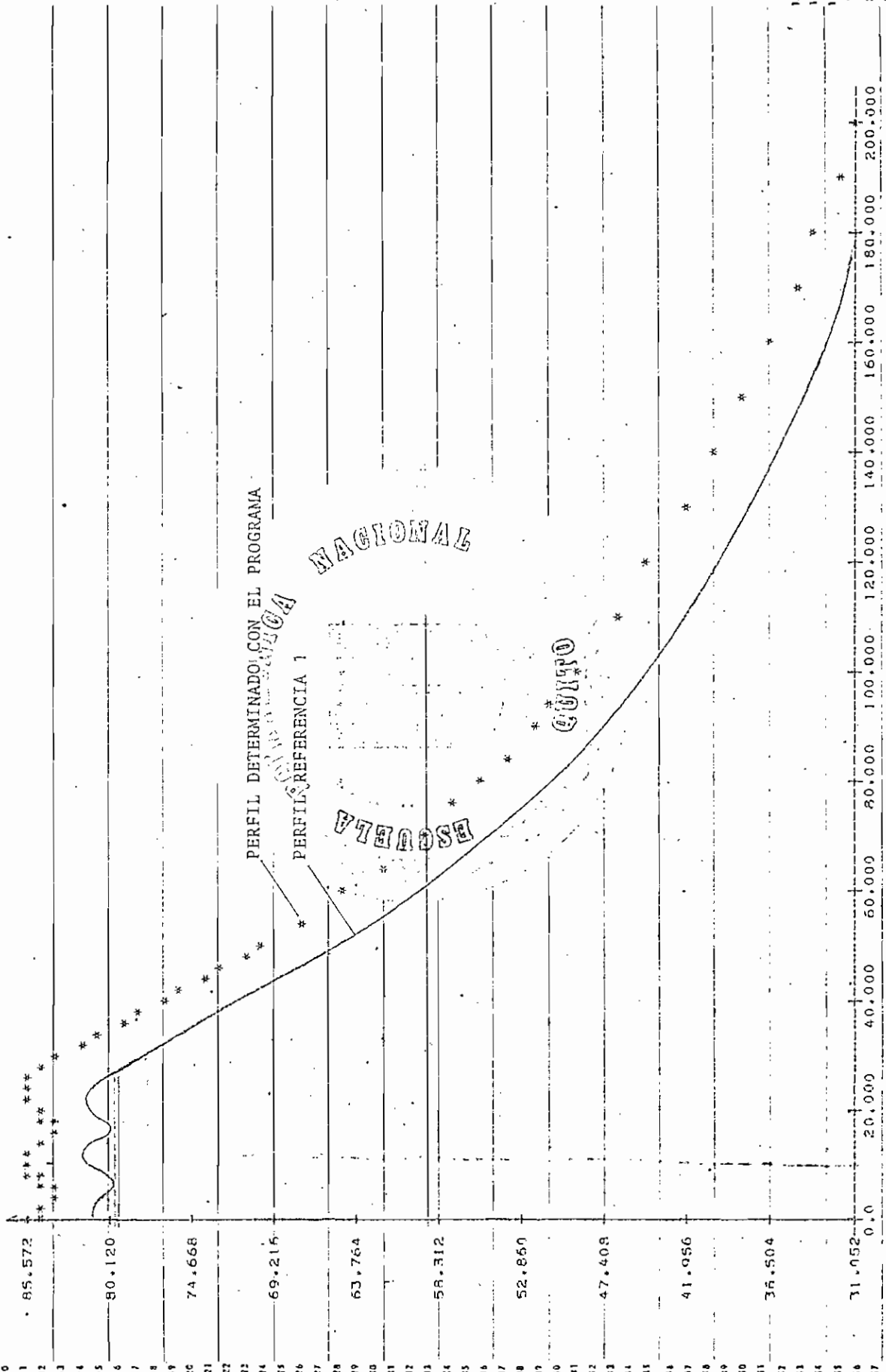
VELOCIDADES DE PROPAGACION MODALES (KM/SEG)

MOD0(1) = 295966.38
 MOD0(2) = 288192.56
 MOD0(3) = 295390.00

STANCIA HORIZONTAL
(METROS)

NIVEL DE INTERFERENCIA: DR/1-MICROVOLTIO/M)
TOTAL FASE A FASE B FASE C

STANCIA HORIZONTAL (METROS)	TOTAL	FASE A	FASE B	FASE C
0.0	85.315	88.009	71.336	87.487
1.0	85.024	87.408	71.309	87.514
2.0	84.675	86.538	75.490	87.443
3.0	84.338	85.343	79.425	87.273
4.0	84.103	83.735	82.442	86.997
5.0	84.045	81.565	84.759	86.608
6.0	84.185	78.552	86.551	86.090
7.0	84.476	74.199	87.924	85.415
8.0	84.827	69.523	88.947	84.540
9.0	85.144	72.566	89.653	83.396
10.0	85.359	76.949	90.066	81.872
11.0	85.432	79.909	90.197	79.776
12.0	85.351	81.067	90.051	76.753
13.0	85.129	83.466	89.622	72.291
14.0	84.808	84.593	88.900	69.635
15.0	84.458	85.456	87.861	74.477
16.0	84.173	86.122	86.466	78.744
17.0	84.043	86.633	84.648	81.700
18.0	84.112	87.015	82.299	83.835
19.0	84.355	87.284	79.237	85.417
20.0	84.694	87.450	75.251	86.593
22.0	85.328	87.482	71.477	88.035
24.0	85.572	87.136	76.564	88.559
26.0	85.317	86.446	78.705	88.399
28.0	84.622	85.474	79.148	87.736
30.0	83.598	84.293	78.667	86.722
32.0	82.352	82.978	77.648	85.479
34.0	80.975	81.598	76.311	84.102
36.0	79.531	80.169	74.793	82.657
38.0	78.067	78.751	73.190	81.190
40.0	76.611	77.355	71.529	79.730
42.0	75.182	75.993	69.874	78.296
44.0	73.792	74.672	68.240	76.898
46.0	72.445	73.395	66.642	75.543
48.0	71.145	72.164	65.088	74.233
50.0	69.893	70.977	63.585	72.970
55.0	66.964	68.196	60.068	70.007
60.0	64.302	65.660	56.909	67.309
65.0	61.873	63.337	54.103	64.840
70.0	59.646	61.199	51.630	62.571
75.0	57.595	59.219	49.463	60.476
80.0	55.697	57.380	47.568	58.533
85.0	53.933	55.563	45.905	56.723
90.0	52.286	54.055	44.438	55.030
95.0	50.743	52.543	43.132	53.441
100.0	49.293	51.117	41.958	51.944
110.0	46.634	49.489	39.914	49.192
120.0	44.247	46.115	38.164	46.712
130.0	42.086	43.953	36.621	44.458
140.0	40.115	41.971	35.231	42.395
150.0	38.307	40.142	33.960	40.495
160.0	36.639	39.446	32.785	38.735
170.0	35.093	36.867	31.699	37.099
180.0	33.655	35.391	30.661	35.572
190.0	32.311	34.006	29.692	34.140
200.0	31.052	32.703	28.775	32.795
220.0	28.753	30.310	27.076	30.328
240.0	26.700	28.159	25.527	28.115
260.0	24.850	26.209	24.105	26.115
280.0	23.170	24.431	22.789	24.293
300.0	21.633	22.797	21.565	22.624



9	
10	
11	88.009
12	*****
13	*
14	*
15	*
16	52.478
17	*
18	*
19	*
20	76.948
21	*
22	*
23	*
24	*
25	71.017
26	*
27	*
28	*
29	*
30	65.886
31	*
32	*
33	*
34	60.355
35	*
36	*
37	*
38	54.825
39	*
40	*
41	*
42	49.295
43	*
44	*
45	*
46	*
47	43.764
48	*
49	*
50	*
51	38.233
52	*
53	*
54	*
55	*
56	32.703
57	0.0
58	20.000
59	40.000
60	60.000
61	80.000
62	100.000
63	120.000
64	140.000
65	160.000
66	180.000
67	200.000
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	*

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

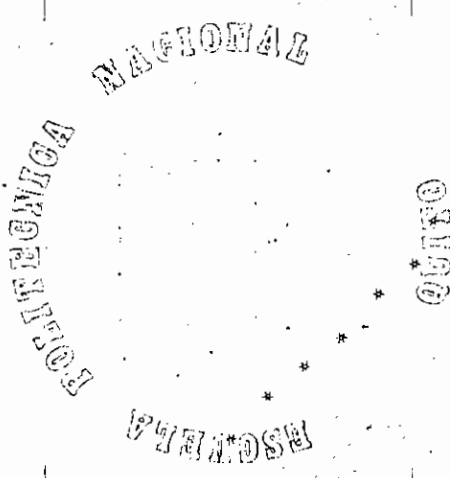
QUITO

ESCUOLA POLITÉCNICA NACIONAL
QUITO

VS 23.05490 M04 010 23004

10	
11	90.197
12	**
13	*
14	*
15	*
16	84.055
17	*
18	*
19	*
20	**
21	77.913
22	*
23	*
24	*
25	71.771
26	*
27	*
28	*
29	65.620
30	*
31	*
32	*
33	59.485
34	*
35	*
36	*
37	53.334
38	*
39	*
40	*
41	*
42	47.202
43	*
44	*
45	*
46	*
47	41.050
48	*
49	*
50	*
51	34.917
52	*
53	*
54	*
55	*
56	28.775
57	0.0
58	20.000
59	40.000
60	60.000
61	80.000
62	100.000
63	120.000
64	140.000
65	160.000
66	180.000
67	200.000
68	*
69	*
70	*
71	*
72	*
73	*
74	*

88.559
 82.992
 77.406
 71.820
 65.253
 60.677
 55.100
 49.524
 43.947
 38.371
 32.795



0.0	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000	180.000	200.000
-----	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

4.11 ANALISIS DE RESULTADOS

Para el primer ejemplo, los niveles de interferencia calculados con el programa de esta tesis difieren con los establecidos en la referencia base del ejemplo, en unos 5 dB para los valores máximos calculados por el método propuesto en tal referencia.

Como probable causa que origine esta diferencia de valores, está la matriz impedancia serie de la línea, la que constituye un dato de entrada básico para el análisis de la propagación, de manera que cualquier variación en ella, produce cambios significativos en las constantes de propagación de la línea, y por lo tanto, en el cálculo de la interferencia. La principal dificultad que se tuvo al manejar esta matriz, que es objeto de otra tesis fué la falta de datos específicos de los conductores de la línea, y el cálculo para altas frecuencias, que no se garantiza plenamente.

En cuanto a la distribución del perfil de interferencia, éste es perfectamente comparable con el de la referencia.

Por último, debe destacarse que la segunda parte de los cálculos involucrados en la referencia 3, constituyen una aproximación, mientras que los establecidos en este trabajo, constituyen una innovación.

En el caso del segundo ejemplo, tomado de la referencia 1, se destaca el hecho de que no se calcula la generación de in-

terferencia en el ejemplo descrito, sin⁰. que se asume una generación , basada en el método de cálculo que se propone en la referencia 9, el - cual tiene una serie de factores que se suman al nivel base de inter- ferencia para obtener el nivel en mal tiempo. Para una línea de 500 KV estos factores pueden sumar unos 23 dB , de manera que si se suma a - los valores mostrados en la referencia 1, se tendrá la comparación de - seada:

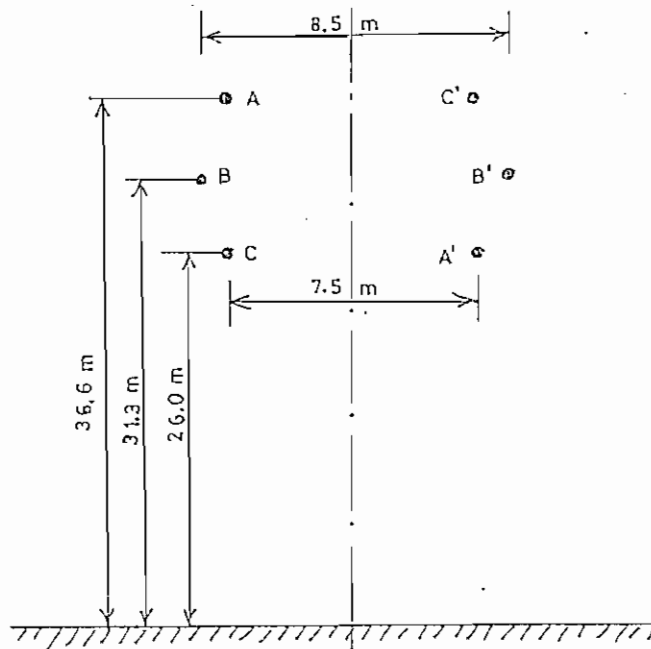
Nivel de RI en el centro de la línea	
Referencia 1	82 dB
Resultado de Tesis	85 dB

Esta comparación es bastante aceptable, pero sin em bargo, puede ser mayor, debido a que los factores de adición mencionados solamente fueron estimados con el objeto de lograr la comparación de resultados.

Como comentario final, se establece el hecho de - que es difícil llegar a resultados más exactos con respecto a los de las referencias por la ausencia de ciertos datos (para calcular Z) y por depender de un trabajo¹⁰ que no es enfocado al estudio de Radio - interferencia.

4.2 EJEMPLOS DE APLICACION

1 - Como primer ejemplo, se estudiará la línea de transmisión "Paute-Guayaquil", cuyas características son las siguientes:



La forma de proporcionar los datos de entrada al programa, se muestra a continuación, así como los resultados del programa digital.

DETERMINACION DE LA RADIO INTERFERENCIA PRODUCIDA
 POR UNA LINEA DE TRANSMISION DE ALTA TENSION

 LINEA DE 230 KV 'PAUTE-GUAYAQUIL' LINEA DE DOBLE CIRCUITO

CONDUCTORES ACSR 1113 MCM BLUEJAY

COORDENADAS DE LOS CONDUCTORES (METROS)
 (X) (Y)

0.50	24.14
0.0	18.84
0.50	13.54
8.00	24.14
8.50	18.84
8.00	13.54

FRECUENCIA (MEGA HERTZ) = 0.50
 VOLTAJE DE LA LINEA (KILOVOLTIOS) = 230.00
 NUMERO DE CIRCUITOS TRIFASICOS = 2
 NUMERO DE CONDUCTORES POR FASE = 1
 RADIO DEL SUBCONDUCTOR (METROS) = 0.01600
 FLECHA DE LOS CONDUCTORES (METROS) = 18.12

CONSTANTES DE PROPAGACION MODALES (ND/METRO)

MOD0(1) =	0.503990-05	J	0.106550-01
MOD0(2) =	0.334370-03	J	0.109310-01
MOD0(3) =	0.113960-04	J	0.106260-01
MOD0(4) =	0.484340-05	J	0.106610-01
MOD0(5) =	0.376640-05	J	0.106180-01
MOD0(6) =	0.447150-05	J	0.106460-01

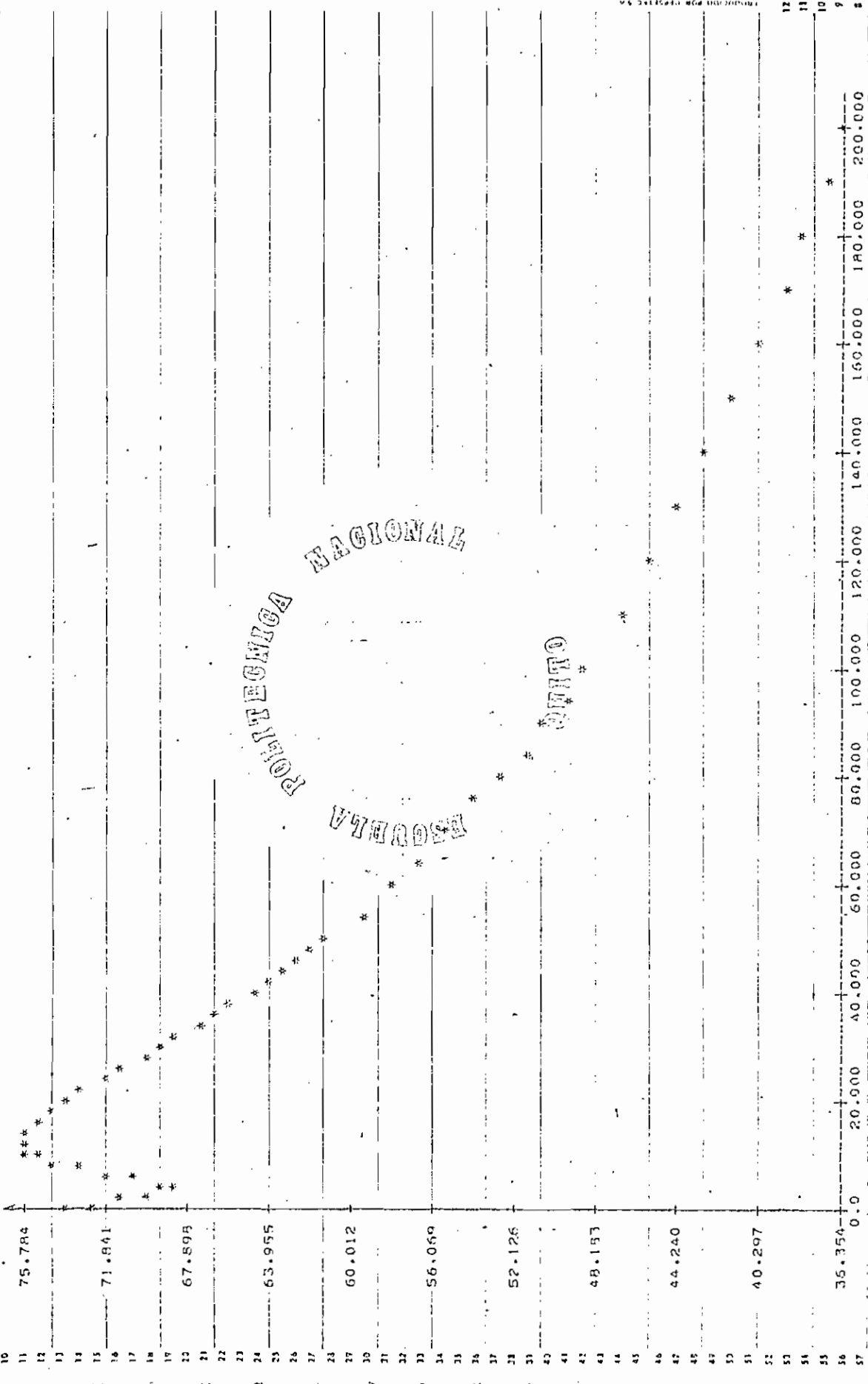
VELOCIDADES DE PROPAGACION MODALES (KM/SEG)

MOD0(1) =	294834.94
MOD0(2) =	287405.63
MOD0(3) =	295662.38
MOD0(4) =	294690.06
MOD0(5) =	295890.94
MOD0(6) =	295099.00

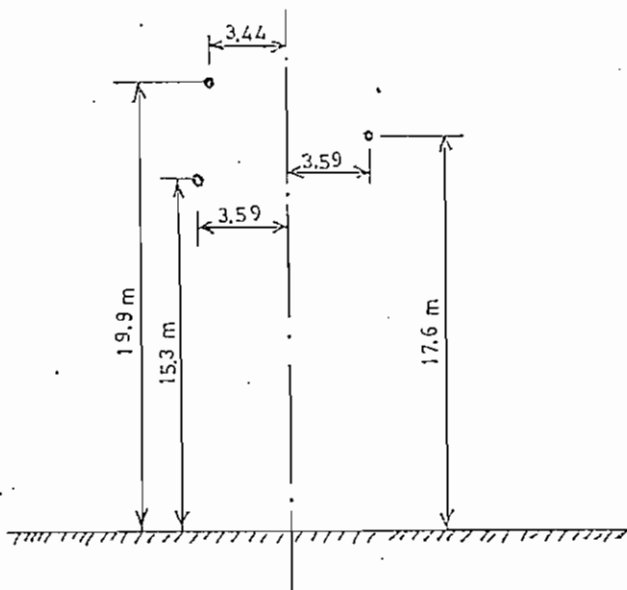
DISTANCIA HORIZONTAL (METROS)	TOTAL	N I V E L D E I N T E R F E R E N C I A (DECIBELIOS/1 MICROVOLTIO/METRO)					FASE C'	FASE B'	FASE A'
		FASE A	FASE H	FASE C	FASE C'	FASE B'			
0.0	73.915	56.094	61.510	71.088	59.576	63.872	67.823		
1.0	72.650	56.238	59.551	70.113	59.257	62.852	66.078		
2.0	71.203	56.603	57.558	68.710	58.857	61.507	64.067		
3.0	69.692	57.095	56.443	66.852	58.411	59.825	62.758		
4.0	68.255	57.533	57.124	64.608	57.901	57.952	62.584		
5.0	66.990	58.162	58.888	62.893	57.362	56.560	65.777		
6.0	70.427	59.647	60.706	63.212	56.838	56.807	67.830		
7.0	71.955	59.071	62.222	65.072	55.309	58.521	69.469		
8.0	73.272	59.425	63.400	67.004	56.133	60.562	70.649		
9.0	74.281	59.710	64.274	68.531	56.128	62.379	71.435		
10.0	74.995	59.929	64.891	69.635	56.422	63.872	71.889		
11.0	75.455	60.089	65.292	70.388	56.977	65.065	72.062		
12.0	75.705	60.194	65.510	70.859	57.703	66.000	71.958		
13.0	75.784	60.252	65.576	71.105	58.497	66.717	71.734		
14.0	75.725	60.255	65.516	71.172	59.282	67.245	71.302		
15.0	75.558	60.279	65.350	71.097	60.007	67.612	70.730		
16.0	75.308	61.174	65.099	70.910	60.548	67.839	70.044		
17.0	74.995	60.972	64.776	70.635	61.194	67.945	69.265		
18.0	74.633	60.937	64.396	70.291	61.645	67.946	68.414		
19.0	74.236	60.768	63.970	69.893	62.007	67.856	67.507		
20.0	73.814	60.569	63.507	69.456	62.284	67.690	66.560		
22.0	72.920	60.092	62.492	68.408	62.618	67.167	64.601		
24.0	71.991	58.527	61.418	67.478	62.710	66.455	62.635		
26.0	71.051	57.898	60.296	66.474	65.614	66.479	60.742		
28.0	70.115	57.226	59.156	65.391	62.373	64.679	58.987		
30.0	69.180	56.531	58.011	64.361	62.024	63.692	57.415		
32.0	68.281	55.826	56.871	63.356	61.592	62.674	56.048		
34.0	67.393	55.123	55.745	62.379	61.101	61.642	54.893		
36.0	66.527	54.429	54.636	61.433	60.567	60.610	53.896		
38.0	65.680	53.751	53.548	60.519	60.003	59.585	53.054		
40.0	64.866	53.092	52.484	59.637	59.418	58.575	52.324		
42.0	64.072	52.454	51.444	58.786	58.821	57.582	51.676		
44.0	63.301	51.830	50.429	57.965	58.218	56.614	51.096		
46.0	62.557	51.243	49.440	57.174	57.612	55.668	50.539		
48.0	61.834	50.670	48.476	56.411	57.008	54.746	50.022		
50.0	61.134	50.117	47.537	55.674	56.409	53.849	49.527		
55.0	59.477	48.916	45.299	53.938	54.941	51.715	47.357		
60.0	57.942	47.618	43.209	52.330	53.530	49.722	44.254		
65.0	56.517	46.507	41.254	50.961	52.184	47.881	46.200		
70.0	55.190	45.468	39.429	49.687	50.904	46.160	45.152		
75.0	53.940	44.491	37.722	48.205	49.689	44.552	44.225		
80.0	52.786	43.568	36.125	47.005	48.537	43.047	43.298		
85.0	51.693	42.692	34.620	45.877	47.443	41.634	42.409		
90.0	50.662	41.854	33.228	44.814	46.403	40.305	41.556		
95.0	49.686	41.061	31.714	43.809	45.413	39.051	40.737		
100.0	48.761	40.297	30.289	42.850	44.470	37.866	39.951		
110.0	47.304	38.865	28.475	41.088	42.709	35.677	38.651		
120.0	45.470	37.538	26.448	39.477	41.096	33.696	37.089		
130.0	44.041	36.301	24.681	37.998	39.510	31.850	35.804		
140.0	42.713	35.143	23.103	36.632	38.234	30.233	34.604		
150.0	41.479	34.056	21.683	35.364	36.953	28.704	33.477		
160.0	40.326	33.071	20.399	34.179	35.756	27.287	32.416		
170.0	39.245	32.061	19.228	33.060	34.633	25.966	31.414		
180.0	38.227	31.141	18.154	32.025	33.575	24.730	30.465		
190.0	37.265	30.267	17.162	31.039	32.576	23.570	29.564		
200.0	36.354	29.433	16.241	30.105	31.630	22.478	28.706		
220.0	34.567	27.975	14.572	28.373	29.876	20.468	27.105		
240.0	33.122	26.643	13.088	26.797	28.290	18.655	25.638		
260.0	31.707	25.119	11.748	25.351	26.816	17.005	24.283		
280.0	30.308	23.886	10.523	24.015	25.464	15.403	23.025		
300.0	29.141	22.735	9.3921	22.774	24.208	14.098	21.852		

ESTACION DE TRANSMISION





2 - Para el segundo ejemplo de aplicación, se tomará la línea de 138 KV "Pucará - Ambato" , de las siguientes características:



La forma de entrada de datos, así como los resultados, se muestran a continuación .

 LINEA DE 138 KV 'DUCARA-A'3ATO'

CONDUCTOR ACSR 477 MCM FLICKER

COORDENADAS DE LOS CONDUCTORES (METROS)

(X)	(Y)
0.0	9.90
0.15	14.50
7.17	12.20

FRECUENCIA (MEGA HERTZ) = 0.50
 VOLTAJE DE LA LINEA (KILOVOLTIOS) = 138.00
 NUMERO DE CIRCUITOS TRIFASICOS = 1
 NUMERO DE CONDUCTORES POR FASE = 1
 RADIO DEL SUBCONDUCTOR (METROS) = 0.01074
 FLECHA DE LOS CONDUCTORES (METROS) = 8.10

CONSTANTES DE PROPAGACION MODALES (NP/METRO)

MOD0(1) = 0.178750-04 J 0.140710-01
 MOD0(2) = 0.737540-05 J 0.137690-01
 MOD0(3) = 0.303040-03 J 0.130640-01

VELOCIDADES DE PROPAGACION MODALES (KM/SEG)

MOD0(1) = 223269.88
 MOD0(2) = 228162.25
 MOD0(3) = 240472.88

TANCIA HORIZONTAL
(METROS)

NIVEL DE INTERFERENCIA (DB/1-MICROVOLTIO/M)
TOTAL FASE A FASE B FASE C

TANCIA HORIZONTAL (METROS)	TOTAL	FASE A	FASE B	FASE C
0.0	59.812	58.761	52.080	46.477
1.0	59.404	58.237	52.520	44.224
2.0	58.795	57.365	52.862	42.843
3.0	58.107	56.155	53.109	44.702
4.0	57.528	54.658	53.295	47.793
5.0	57.235	53.013	53.429	50.364
6.0	57.270	51.495	53.505	52.256
7.0	57.514	50.470	53.507	53.589
8.0	57.800	50.106	53.417	54.477
9.0	58.004	50.137	53.223	55.009
10.0	58.069	50.423	52.919	55.250
11.0	57.976	50.580	52.505	55.257
12.0	57.735	50.593	51.991	55.063
13.0	57.364	50.451	51.398	54.718
14.0	56.882	50.172	50.710	54.248
15.0	56.313	49.779	49.972	53.682
16.0	55.675	49.295	49.187	53.042
17.0	54.985	48.743	48.367	52.346
18.0	54.259	48.140	47.525	51.611
19.0	53.507	47.500	46.669	50.848
20.0	52.740	46.836	45.806	50.068
22.0	51.188	45.469	44.087	48.488
24.0	49.648	44.093	42.405	46.915
25.0	48.145	42.738	40.780	45.376
28.0	46.694	41.422	39.225	43.886
30.0	45.302	40.153	37.745	42.453
32.0	43.972	38.936	36.342	41.080
34.0	42.703	37.772	35.013	39.766
35.0	41.494	36.659	33.757	38.511
38.0	40.342	35.597	32.569	37.312
40.0	39.244	34.582	31.445	36.166
42.0	38.197	33.611	30.382	35.071
44.0	37.198	32.682	29.374	34.023
46.0	36.243	31.793	28.418	33.020
48.0	35.330	30.941	27.510	32.058
50.0	34.455	30.122	26.646	31.135
55.0	32.420	28.213	24.658	28.992
60.0	30.576	26.473	22.880	27.024
65.0	28.893	24.878	21.276	25.231
70.0	27.348	23.407	19.816	23.580
75.0	25.922	22.044	18.477	22.053
80.0	24.597	20.774	17.242	20.634
85.0	23.363	19.587	16.095	19.310
90.0	22.207	18.472	15.024	18.069
95.0	21.122	17.421	14.020	16.993
100.0	20.098	16.429	13.074	15.803
110.0	18.212	14.594	11.333	13.777
120.0	16.508	12.930	9.7587	11.947
130.0	14.954	11.408	8.3215	10.281
140.0	13.527	10.007	6.9986	8.7518
150.0	12.208	8.7085	5.7725	7.3401
160.0	10.981	7.4990	4.6298	6.0295
170.0	9.8348	6.3673	3.5594	4.8071
180.0	8.7594	5.3040	2.5527	3.6619
190.0	7.7467	4.3014	1.6022	2.5851
200.0	6.7896	3.3530	0.70196	1.5692
220.0	5.0204	1.5976	-0.96768	-0.30468
240.0	3.4148	0.24102E-02	-2.4890	-2.0003
260.0	1.9452	-1.4593	-3.8964	-3.5483
280.0	-0.59032	-2.8080	-5.1789	-4.9717
300.0	-0.66642	-4.0599	-6.3812	-6.2890

PRODUCIDO POR INTERTEC SA

1		
2		
3		
4		
5		
6		
7	59.812	
8	*	
9	*	
10	*	
11	*	
12	*	
13	*	
14		
15		
16	49.208	
17	*	
18	*	
19	*	
20		
21	43.905	
22	*	
23	*	
24	*	
25	*	
26	38.603	
27	*	
28	*	
29	*	
30	*	
31	*	
32		
33		
34	27.999	
35	*	
36	*	
37	*	
38	*	
39	*	
40	22.696	
41	*	
42	*	
43	*	
44	17.394	
45	*	
46	*	
47	*	
48	*	
49	*	
50	*	
51	*	
52	6.790	
53	0.0	
54	20.000	
55	40.000	
56	60.000	
57	80.000	
58	100.000	
59	120.000	
60	140.000	
61	160.000	
62	180.000	
63	200.000	
64		
65		
66	87	
67		
68		
69		
70		

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 QUITO

C A P I T U L O V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La principal característica de la interferencia - generada por una línea de transmisión , es su inestabilidad ya que depende de muchos parámetros imposibles de cuantificar, por lo que sería un trabajo inútil tratar de predecir con exactitud este nivel de interferencia.

En definitiva, el método analítico del presente - trabajo, así como el de los existentes solamente dan una idea bastante real de la interferencia que produciría una línea en determinadas - condiciones, por lo que muy bien se puede tomar como referencia los resultados de este programa a fin de tener un criterio base para el disño de una línea de transmisión o para verificación de las condiciones - en las que operan líneas existentes.

Los niveles calculados corresponden a los máximos que pueden generarse, y en base a estos, se puede estimar la interfe-rencia que se generaría en otras condiciones ambientales.

En análisis de la distribución del perfil de interferencia total, así como de cada fase, es perfectamente comparable con los mostrados en las referencias 1 y 3 y da una idea de la forma en - que se distribuye la interferencia al alejarse de la línea. Se puede - ver que los perfiles de todas las líneas son muy similares, sufriendo variaciones al acercarse al centro de la línea, dependiendo de su geo-

metría.

Las frecuencias de cálculo recomendadas son de 0.5 o 1 MHz , frecuencias que corresponden a las de trasmisión de radio en Amplitud Modulada y en las que se determina la interferencia.

En los cálculos de $|Z|$ y $|Y|$, se eliminan los cables de guarda y se considera que las líneas no son transpuestas.

A P E N D I C E A

TEORIA DEL ANALISIS MODAL

1. DESARROLLO DE LA TEORIA

En la actualidad, muy a menudo se mencionan a los "modos de propagación" en líneas de transmisión. Las señales modales en líneas polifásicas son definidas como señales de frecuencia constante que se propaga sin distorsión. Este concepto es extremadamente útil en el análisis de propagación de ondas viajeras y de corriente portadora, así como también en el cálculo del ruido de radio (radiointerferencia de líneas de transmisión).

El concepto de los modos de propagación ha sido desarrollado por J. R. Carson y R. S. Hoyt¹⁹ y se ha hecho un riguroso estudio analítico del problema de propagación por S.O.Rice. El trabajo inicial de análisis modal en cálculos de diseño para radio-interferencia de líneas de transmisión fué llevado a cabo por G.E.Adams²⁰, usando las constantes de la línea calculadas para una tierra perfecta, o sea para una tierra con conductividad infinita. Esta aproximación produjo resultados satisfactorios en el cálculo de radio-interferencia de líneas. Más recientemente se ha extendido el análisis modal de la propagación, incluyendo las correcciones de tierra de Carson al calcular los modos¹³.

Mientras se ha desarrollado varias técnicas para obtener las señales modales, hay poco que discutir de las relaciones entre ellas, así por ejemplo, Adams produce las relaciones modales a partir de

la matriz de impedancia característica, mientras que Mc Elroy y Smith²¹ usan la matriz de constantes de propagación para obtener las transformaciones de corrientes de voltaje. Ambas técnicas producen resultados similares, pero no se ha establecido una relación entre los dos métodos.

2. PROPAGACION EN UNA LINEA DE TRANSMISION CON ANALISIS MODAL⁵

Las ecuaciones diferenciales que describen a ondas electromagnéticas en un sistema de transmisión polifásico son:

$$\begin{aligned} - \frac{d|v|}{dx} &= |L| \frac{d|i|}{dt} + |R| |i| \\ - \frac{di}{dx} &= |C| \frac{d|v|}{dt} + |G| |v| \end{aligned} \quad (A.1)$$

Si a las ecuaciones (A.1) se aplica la transformada de Fourier, se pasa a las ecuaciones al dominio de la frecuencia.

$$\begin{aligned} - \frac{d|v|}{dx} &= |Z(\omega)| |I| \\ - \frac{d|I|}{dx} &= |Y(\omega)| |V| \end{aligned} \quad (A.2)$$

La solución simultánea de (A.2) da dos ecuaciones independientes:

$$\frac{d^2 |v|}{dx^2} = |Z(\omega)| |Y(\omega)| |v|$$

$$\frac{d^2 |I|}{dx^2} = |Y(\omega)| |Z(\omega)| |I| \quad (A.3)$$

Las ecuaciones (A.3) son resueltas asumiendo una solución para una línea de longitud infinita de la forma:

$$|V| = e^{-|\lambda_e| x} |V_0| \quad (A.4)$$

$$|I| = e^{-|\lambda_i| x} |I_0|$$

donde $|V_0|$ e $|I_0|$ son matrices columna de constantes a determinarse por las condiciones de límites.

Ahora para la solución del problema de propagación en una línea de transmisión, en componentes modales se parte de las ecuaciones (A.2). Para iniciar, se asume que los modos existen. Las cantidades modales están relacionadas con las cantidades de fase por:

$$|L_e| |V'| = |V| \quad (A.5)$$

$$|L_i| |I'| = |I|$$

Usando (A.5) en (A.2) se obtiene:

$$\begin{aligned} -|L_e| \frac{d|V'|}{dx} &= |Z(\omega)| |L_i| |I'| \\ -|L_i| \frac{d|I'|}{dx} &= |Y(\omega)| |L_e| |V'| \end{aligned} \quad (A.6)$$

La solución simultánea de (A.6) proporciona dos -

ecuaciones independientes.

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dx^2} |V'| &= |L_e|^{-1} \{ |Z(\omega)| |Y(\omega)| \} |L_e| |V'| \\ \frac{d^2}{dx^2} |I'| &= |L_i|^{-1} \{ |Y(\omega)| |Z(\omega)| \} |L_i| |I'| \end{aligned} \quad (A.7)$$

Estas ecuaciones pueden ser resueltas asumiendo una solución para una línea de longitud infinita, de la forma:

$$\begin{aligned} |V'| &= e^{-|\lambda_e'| x} |V'_0| \\ |I'| &= e^{-|\lambda_i'| x} |I'_0| \end{aligned} \quad (A.8)$$

Las soluciones modales son escogidas de tal forma que no exista acoplamiento entre los modos cuando se aplica a la línea una señal de frecuencia constante. Este propósito se podrá obtener si $|\lambda_e'|$ y $|\lambda_i'|$ son matrices diagonales.

Substituyendo (A.8) en (A.7), se tiene:

$$\begin{aligned} |\lambda_e'|^2 |V'| &= |L_e|^{-1} \{ |Z(\omega)| |Y(\omega)| \} |L_e| |V'| \\ |\lambda_i'|^2 |I'| &= |L_i|^{-1} \{ |Y(\omega)| |Z(\omega)| \} |L_i| |I'| \end{aligned} \quad (A.9)$$

Para que estas soluciones sean válidas para cualquier $|V'|$ e $|I'|$, es necesario que:

$$\begin{aligned} |\lambda_e'|^2 &= |L_e|^{-1} \{ |Z(\omega)| |Y(\omega)| \} |L_e| \\ |\lambda_i'|^2 &= |L_i|^{-1} \{ |Y(\omega)| |Z(\omega)| \} |L_i| \end{aligned} \quad (A.10)$$

Interpretando a $|\lambda_e'|^2$ y $|\lambda_i'|^2$ como matrices diagonales iguales a los valores característicos del cuadrado de la matriz de coeficientes de propagación de las fases, las transformaciones $|L_e|$ y $|L_i|$ quedan definidas por estas ecuaciones.

Una importante observación para su uso en el análisis es:

$$\begin{aligned} |\lambda_e'| &= |L_e|^{-1} \{ |Z(\omega)| \quad |Y(\omega)|^{1/2} \} |L_e| \\ |\lambda_i'| &= |L_i|^{-1} \{ |Y(\omega)| \quad |Z(\omega)|^{1/2} \} |L_i| \end{aligned} \quad (\text{A.11})$$

La impedancia característica modal está definida como: la matriz que relaciona corriente modal y voltaje modal:

$$|V'| = |Zc'| |I'| \quad (\text{A.12})$$

Substituyendo (A.8) en (A.6) se obtiene:

$$|\lambda_i'| |I'| = |L_i|^{-1} |Y(\omega)| |L_e| |V'| \quad (\text{A.13})$$

$$|V'| = |L_e|^{-1} |Y(\omega)|^{-1} |L_i| |\lambda_i'| |I'|$$

Comparando (A.12) con (A.13)

$$|Zc'| = |L_e|^{-1} |Y(\omega)|^{-1} |L_i| |\lambda_i'| \quad (\text{A.14})$$

Usando la segunda ecuación de (A.11), la ecuación (A.14) puede ser escrita como:

$$|Zc'| = |L_e|^{-1} |Y(\omega)|^{-1} \{ |Y(\omega)| |Z(\omega)| \}^{1/2} |L_i|$$

$$|Z_c'| = |L_e|^{-1} |Z_c| |L_i| \quad (\text{A.15})$$

ya que
$$|Z_c| = |Y(\omega)|^{-1} \{ |Y(\omega)| |Z(\omega)| \}^{1/2} \quad (\text{A.16})$$

Por lo que la impedancia característica modal puede ser obtenida de los parámetros conocidos de la línea de transmisión.

Todo el análisis hasta aquí realizado es perfectamente aplicable para líneas con circuitos simples, donde las matrices son de orden 3x3. En el caso de tener líneas con doble circuito, el orden de las matrices $|Z|$ y $|Y|$ será lógicamente 6x6, y como en el caso general existe un eje de simetría entre los dos circuitos, las mencionadas matrices son factorizadas de la siguiente forma:²⁸

$|Z|$ tiene la siguiente forma

$$|Z| = \begin{vmatrix} Z_s & Z_m \\ Z_m & Z_s \end{vmatrix}$$

en la que Z_s y Z_m son matrices de orden 3. Luego se procede a calcular las matrices $|Z_1|$ y $|Z_2|$ de tal forma que:

$$|Z_1| = |Z_s| + |Z_m| \quad (\text{A.17})$$

$$|Z_2| = |Z_s| - |Z_m|$$

De igual forma se realiza el cálculo con la matriz $|Y|$ para obtenerse $|Y_1|$ y $|Y_2|$, de tal manera que se realiza un análisis paralelo con $|Z_1| |Y_1|$ y $|Z_2| |Y_2|$ para obtenerse las matrices diagonales $|\lambda_1|$ y $|\lambda_2|$, conjuntamente con las matrices de vectores caracte-

rísticos $|L_{e1}|$ y $|L_{e2}|$.

Las matrices de impedancia característica se calculan :

$$\begin{aligned} |Z_{c1}| &= |L_{e1}| |\lambda_1|^{-1/2} |L_{e1}|^{-1} |Z_1| \\ |Z_{c2}| &= |L_{e2}| |\lambda_2|^{-1/2} |L_{e2}|^{-1} |Z_2| \end{aligned} \quad (\text{A.18})$$

ó mediante la ecuación (A.16)

Para regenerar las matrices $|Z_c|$ y $|L_e|$ del doble-circuito, se procede:

$$|Z_c| = \begin{vmatrix} \frac{Z_{c1} + Z_{c2}}{2} & \frac{Z_{c1} - Z_{c2}}{2} \\ \frac{Z_{c1} - Z_{c2}}{2} & \frac{Z_{c1} + Z_{c2}}{2} \end{vmatrix} \quad (\text{A.19})$$

$$|L_e| = \begin{vmatrix} L_{e1} & L_{e2} \\ L_{e1} & -L_{e2} \end{vmatrix} \quad (\text{A.20})$$

3. CONCLUSIONES DEL ANALISIS MODAL

-Las matrices de transformación modal se las puede obtener de la matriz de constantes de propagación cuando en la descripción de las constantes de la línea se incorporan los efectos de tierra

-Cuando se asume una tierra sin pérdidas, no se pueden determinar las transformaciones modales a partir de las constantes

de propagación.

-Las matrices de constantes de propagación de voltajes y corrientes en cantidades de fase son transpuestas mientras que las modales son iguales.

-Las transformaciones modales de corriente y voltaje están relacionadas por: $|L_i| = |L_e|_t$

-Las transformaciones modales son ortogonales.

A P E N D I C E B

MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

TITULO: " PROGRAMA DIGITAL PARA DETERMINAR LA RADIO INTERFERENCIA DE LINEAS DE TRASMISION"

OBJETIVO: El objetivo de esta Tesis es desarrollar un programa digital que determine el perfil lateral de la interferencia que produce una línea aérea.

1. ALGORITMO UTILIZADO

Básicamente el algoritmo de cálculo se divide en dos bloques:

El primero, es la determinación de la generación de RI (Radio Interferencia), representada con la función de excitación (Γ). Su determinación se basa en el cálculo matemático de los gradientes superficiales de los conductores (g) y en curvas experimentales, razón por la que se puede hablar de un método semi-empírico.

$$\Gamma = \Gamma(g,r) + (11.5 + \log_{10} n^2) r - B(n)$$

El término $B(n)$ representa una corrección debida al número n de conductores que forman un haz.

El segundo, consiste en el cálculo de las constantes de la línea, análisis de vectores característicos, determinación

de las constantes de propagación modales. Con estos parámetros se va calculando el perfil lateral de RI a varias distancias horizontales, esto, es, distancias contadas desde la proyección vertical de la fase 1 (más exterior) sobre tierra. Finalmente se combinan las señales modales de una misma fase y se suman las contribuciones de todas las fases, obteniéndose el perfil de RI generado por la línea de transmisión.

2. DESCRIPCION DEL PROGRAMA

El algoritmo de solución se muestra a continuación y está formado de un programa principal y 13 subrutinas. De las 13 subrutinas, 3 pertenecen al Centro de Computo de la Escuela Politécnica Nacional y su propósito es

subrutina FIGURA: graficar una función

subrutina HMRQ04: extraer la raíz cuadrada de una matriz compleja en doble precisión

subrutina HMVCO3: obtener vectores característicos y la inversa de una matriz compleja de doble precisión.

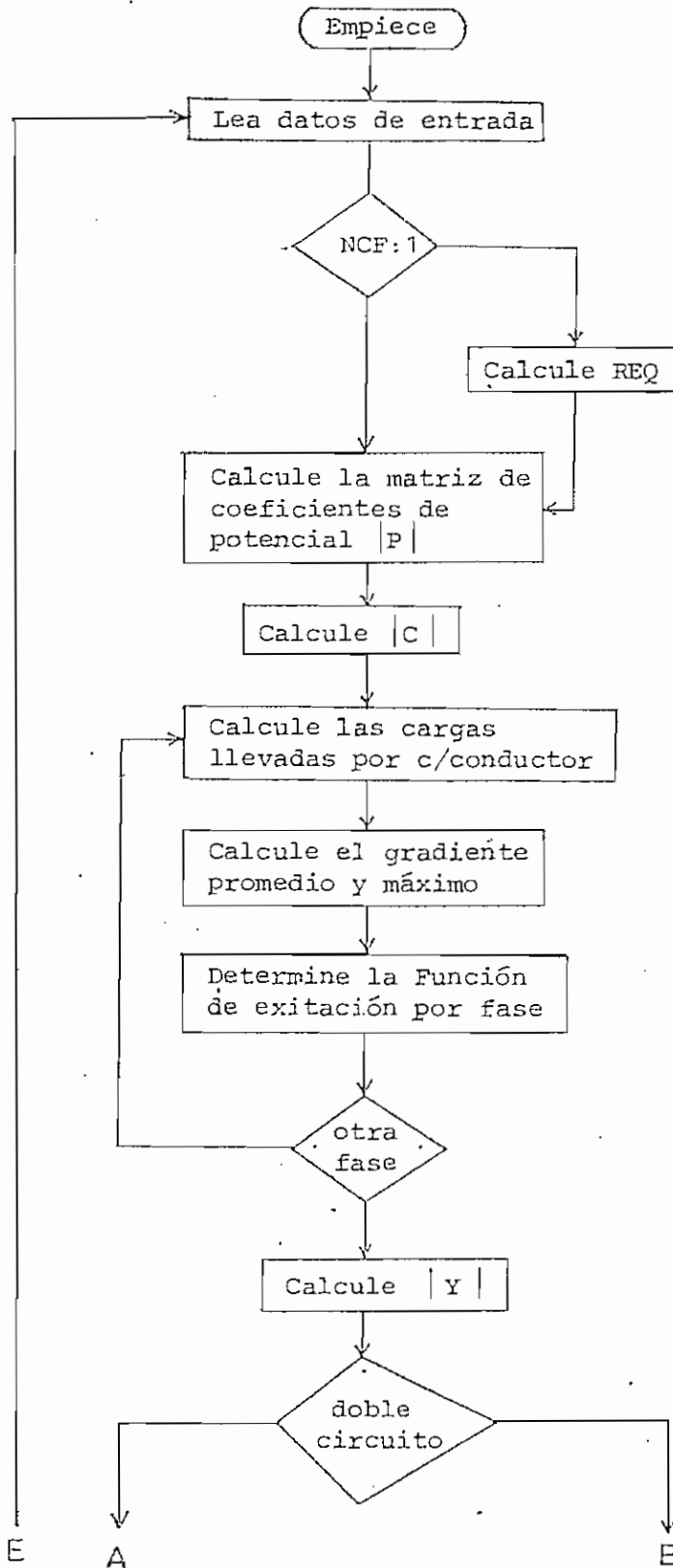
subrutina HMVCO5: obtener valores característicos de una matriz compleja en doble precisión

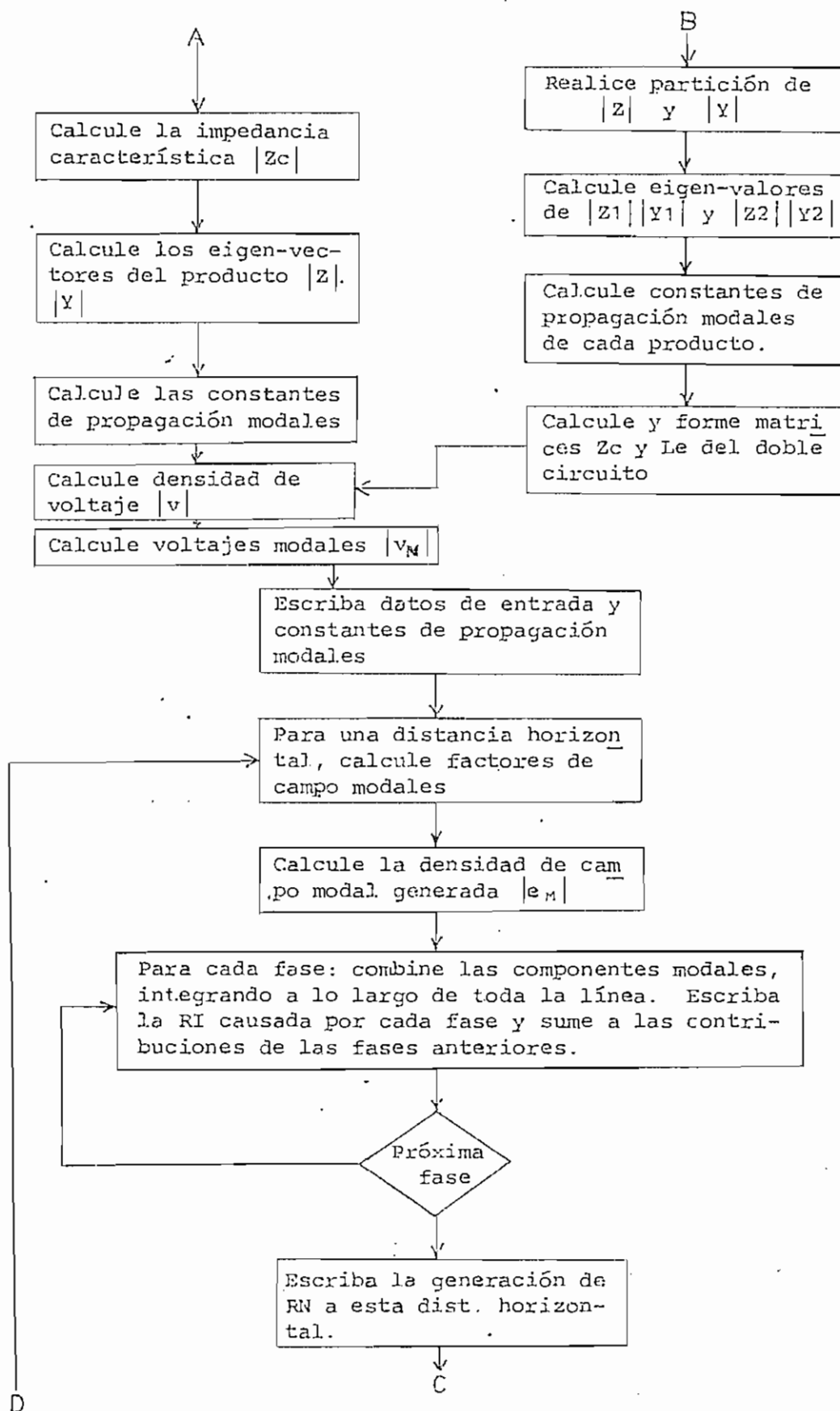
El propósito de las restantes subrutinas es:

subrutina BUFFER: reordenar los términos de una matriz compleja de doble precisión.

subrutina FEX: determinar la función de excitación para gradientes mayores a 15 KV/cm.

subrutina INC: invertir un número complejo en doble precisión.





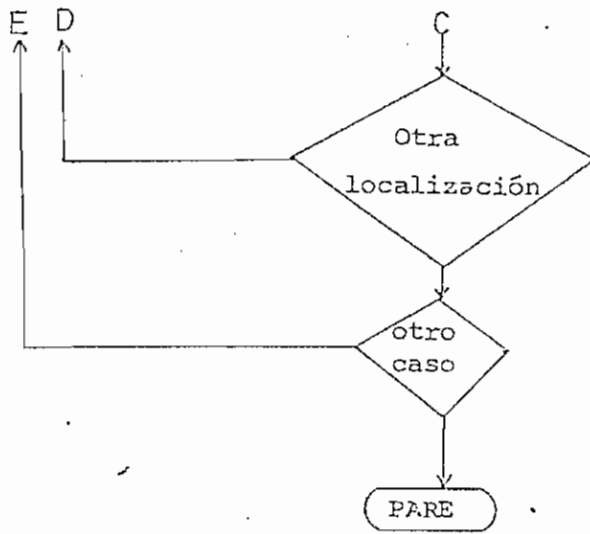


Fig. 3.13 Diagrama de flujo del programa de cálculo RN

subrutina MAX: calcular la matriz de coeficientes de potencial de Maxwell.

subrutina MCL: calcular valores característicos matriz modal - e impedancia característica, para el caso de dobles circuitos.

subrutina MMC: multiplicar dos matrices complejas de doble precisión.

subrutina MODO: recombinar las señales modales de cada fase.

subrutina OUT PUT: escribir datos de entrada y resultados

subrutina REG: multiplicar una matriz no compleja por una constante .

3. NOMENCLATURA

a) VARIABLES DE ENTRADA

<u>SIMBOLO</u>	<u>FORMATO</u>	<u>DESCRIPCION</u>
TITULO	20A4	Título de la línea a la que se va a determinar el perfil lateral de RI.
COND	20A4	Cualquier descripción del tipo de conductor utilizado en la L/T.
H	F10.5	Frecuencia de medición en MHz
V	F10.5	Voltaje de la línea entre fases, en KV.

NC	I1	Número de circuitos trifásicos de la L/T
NCF	F10.5	Número de conductores por fase
RSC	F10.5	Radio del conductor (sub-conductor) de fase, en mts.
* RCP	F10.5	Radio del círculo primitivo (círculo del haz), en mts.
SAG	F10.5	Flecha del conductor, en mts.
(X , Y)	2F10.5	Coordenadas de los centros geométricos de cada fase, en mts.
Z	6F10.4	Matriz impedancia serie de la línea en ohmios/km.
GFAS	I1	Indicador que vale 1 si se desea los graficos de la distribución de la radio interferencia de c/fase - caso contrario, vale 0

b) VARIABLES DE SALIDA

SIMBOLODESCRIPCION

R(i)

Constantes de propagación modales ($\alpha_i + j\beta_i$) en Neper/metro del modo i

DL

Distancia horizontal (distancia -

hasta la proyección horizontal de -
 la fase más exterior sobre tierra)
 X (i) Nivel de interferencia en decibels/1
 $\mu\text{V/m}$, de la fase i, a una distancia
 horizontal. .

4. FORMA DE PROPORCIONAR LOS DATOS AL PROGRAMA

Sea cual fuese el caso que se estudie, siempre deben ir todas las variables de entrada excepto la marcada con el asterisco, la que no se pondrá en el caso de tener un conductor por fase, -
 pues no existiría el círculo que formaría un haz de conductores.

Para las coordenadas de los conductores, cada tarjeta contiene abscisa y ordenada de una fase y se considera que el sistema de referencia pasa por el centro de la fase 1 (más exterior) y a nivel del suelo. Si existe solamente un circuito habrán solamente tres tarjetas, y si existen dos circuitos habrán seis tarjetas.

Si se considera una flecha, la altura de los conductores (ordenada) es la de anclaje en la torre pero si la flecha es cero, la altura deberá ser la promedio o media.

Los datos para la matriz de impedancia serie se meten por filas con un máximo de tres números complejos en cada tarjeta. Los cables de guarda deben ser eliminados de esta matriz, atribuyéndolos un potencial cero en cualquier punto. En el caso de un sólo

círculo tendremos tres tarjetas y en el de dos circuitos, doce.

La forma de proporcionar los datos al programa se ilustra a continuación; en hojas de codificación, al igual que la forma de utilizar el programa grabado en cinta o disco.

5. ALCANCE Y RESTRICCIONES

El programa ha sido realizado para el computador - IBM 370/125 de la Escuela Politécnica Nacional y tiene los siguientes alcances y restricciones:

- El programa opera para circuitos simples o doble trifásicos de C.A.
- Opera con 1,2,3,4,6,8, conductores por fase
- Las frecuencias para el cálculo son 0,5MHz ó 1MHz. Si se desea el cálculo para otra frecuencia, se puede aplicar una corrección (ver punto 2.2.8 del desarrollo de la tesis).
- El programa opera para cualquier voltaje incluyendo niveles UHV
- Los conductores de las fases pueden tener un radio de máximo 2.7 cm.
- El programa calcula la RI para líneas que tengan un gradiente superficial de los conductores de máximo 25KV/cm.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Potencia

HOJA DE CONFIGURACION DATOS DE ENTRADA

PROGRAMADO POR: Marcelo Cabrera L.

PAGINA 1 DE 2

VEN: 10/03/80

FECHA: Abril de 1980

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

TITULO

COND

H

V

Nc

NCF

RSC

RCP

SAG

X1 Y1

X2 Y2

X3 Y3

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE Ingeniería Eléctrica

DEPARTAMENTO DE Potencia

HORA DE CODIFICACION DATOS DE ENTRADA

PROGRAMADO POR Marcelo Cabrera L.

PAGINA 2 DE 2

PROGRAMA Cálculo de la Radio Interferencia en L/T

VERIFICADO POR

FECHA Abril de 1980

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

X4 Y4

X5 Y5

X6 Y6

Z₁₁ Real Z₁₁ Img. Z₁₂ Real Z₁₂ Img. Z₁₃ Real Z₁₃ Img.

Z₁₄ Real Z₁₄ Img. Z₁₅ Real Z₁₅ Img. Z₁₆ Real Z₁₆ Img.

Z₂₁ Real Z₂₁ Img. Z₂₂ Real Z₂₂ Img. Z₂₃ Real Z₂₃ Img.

Z₆₁ Real Z₆₁ Img. Z₆₂ Real Z₆₂ Img. Z₆₃ Real Z₆₃ Img.

Z₆₄ Real Z₆₄ Img. Z₆₅ Real Z₆₅ Img. Z₆₆ Real Z₆₆ Img.

GFAS

HOJA DE CODIFICACION FORTRAN

PROGRAMA: CALCULO DE LA RI EN L/T PROGRAMADOR: Marcelo Cabrera L. HOJA N° DE

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
UTILIZACION DEL PROGRAMA GRABADO EN CINTA																																																																															
CODIGO DE CUENTA																																																																															
* Ø PERADOR CARGUE LA CINTA DE ELECTRICA																																																																															
* EN LA UNIDAD 280. GRACIAS																																																																															
// PAUSE																																																																															
MITC FSI F, X' 280', 116																																																																															
// ASSGN: SYSIPT, X' 280'																																																																															
// ØPTIØN LINK, INØLIST																																																																															
ACTIØN CANCEL, INØMAP																																																																															
// EXEC FIFØRTAIN																																																																															
// EXEC LINKEDIT																																																																															
// ASSGN: SYSIPT, X' 010C'																																																																															
// EXEC																																																																															
DATØS																																																																															
// *																																																																															
// Ø																																																																															
MITC REW, X' 280'																																																																															
* Ø Ø EØJ																																																																															

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

HOJA DE CALIFICACION FORTRAN

PROGRAMA: CALCULO DE LA BI EN L/T PROGRAMADOR: Marcelo Cabrera L. HOJA N° DE

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
UTILIZACION DEL PROGRAMA GRABADO EN DISCO																																																																															
CÓDIGO DE CUENTA																																																																															
// EXECLRUJIDØ																																																																															
DATOS																																																																															
//*																																																																															
//&																																																																															
* SIGEØJ																																																																															

R E F E R E N C I A S

1. G.W. Juette, G.K. Carter, K.W. Priest: " Calculation of the radio interference statistics of transmission lines " , IEEE, T-PAS Vol 91 , pp 92-98 , Jan/Feb 72 .
2. M.R. Moreau, C.H. Gary : " Predetermination of the radio interference level of high voltage transmission lines " , Part 1 :Predetermination of the excitation function ; T- PAS 72 Jan/Feb - 284-291 ,
3. M.R. Moreau, C.H. Gary: " Predetermination of the interference level for high voltage transmission lines " , Part II : Field - calculatin method ; T-PAS 72 Jan/Feb 292-304
4. P.Sarma Maruvada, N. Giao Trinh: " A basis for setting limits - to radio interference from high voltage transmission lines " - IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. Pas-94, no. 5, September/October 1.975.
5. D.E. Hedman " Propagation on overhead transmission lines ", IEEE TRANS (power apparatus and Systems), Vol.84, pp.200-205, March 1.965.
6. D.E. Hedman " Propagation on overhead transmission lines " , IEEE T-PAS , Vol.84, pp. 205-211, March 1.965. .
7. G.W. Juette, G.M. Roe: " Modal components in multiphase transmi

- ssion line radio noise analysis ". IEEE, T-PAS , Vol.Pas-90,no.2, March/April, 1.970.
8. Close, Roy, DeRusso. " State variables for Engineers ", John Wiley & Sons, Inc, Troy, New York, July 1965.
 9. " EHV Transmission line Reference Book ". Edison electric Institute 1.968.
 10. Chiluisa Carrillo Wilson Raúl: " Programa digital para el cálculo matricial de parámetros eléctricos en líneas de transmisión ", Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 1.979.
 11. Cigre: "Interferences Produced by Corona Effect of Electric Systems". Int. Conf. on L. A. V. Electric Systems, 112, bd Haussman Paris.
 12. Sommerfield, A "The propagation of waves in wireless telegraphy, - Ann. Physik, Vol. 28, 1.909, p 665.
 13. Carson, J.R. "Wave propagation in overhead wire and ground return," Bell Sys.Tech. J. Vol. 5, Oct.1.926, pp 539-554.
 14. Wise, W.H. , " Effect of ground permeability on ground return circuits", ibid, Vol.10, Jul 1.931, pp 472-484
 15. Wise, W.H. " Propagation of high - frequency currents in ground - return circuits, Proc. IRE, Vol. 22, Apr. 1.934, pp 522-527.
 16. Sunde, E.D. " Earth-Conduction Effects in Transmission Systems" , Princeton , N.J. : Van Nostrand, 1.948.

17. Wise, W.H. : " Potential coefficients for ground return circuits", Bell Sys. Tech. J., Vol.27, 1.948, pp 365-371.
18. Arismunandar, A. " Capacitive correction factors for transmission line to include finite conductivity and dielectric constant of the earth", IEEE , T-PAS , Vol.82, 1.963 (Special Supplement), pp 436-458.
19. Carson, J.R., and R.S. Hoyt, " Propagation of periodic currents over a system of parallel wires" , Bell.Sys. Tech. J., Vol.6, Jul 1.927, pp 495-545.
20. Adams, G.E. : " Wave propagation along unbalanced high voltage - transmission lines, AIEE, T-PAS , Vol.78, Aug 1.959, pp 639-647.
21. McElroy, A.J., and M.H.Smith, Propagation of switching Wavefront - on EHV transmission lines", AIEE, T-PAS , Vol. 81, 1.962 (Feb 1.963 section), pp 983-998.
22. J. King, S. Kagaya, M.Takaora.: Corona Noise Tests on Extra-High-Voltage Transmission Lines With the Enclosed - Type Concentric Cylinder ", Electro Technical Journal of Japan, Vol.4, no.4, pp 127-131, December 1.958.
23. T.W. Liao, W.A. Keen, Jr. D.R. Powell, " Relationship Between Corona and Radio Influence on Transmission Lines, Laboratory Studies: Part I, Point and Conductor Corona ", AIEE Transactions , Pt.III (Power Apparatus and Systems), Vol.76, pp. 530-540, August 1.957.

24. V. I. Popkov , " Problems of Suppression of Radio Interference - Caused by Corona Discharges ", Izvestia akad.nauk USSR, Section - Energetika I Avtomat, Vl.12, no.4, pp. 64-77, 1.961 (in Russian).
25. H. Nakamura, Y. Sawada,"Development of a New Wave Trap by Parallel Subconductors." Tokyo, Japan: Technical Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry, Classification no.41, February 1, 1.963.
26. D. B. Clark and Robert D. Hitchcock, " Contiguous Wrapping of Transmission Line Conductors With High- μ Tape for Large Radio Interference Attenuation", U.S. Naval Civil Engineering Laboratory, Technical report 062, March 7 1960.
27. IEEE Radio Noise Subcommittee Report, " Radio Noise design guide for high voltage transmission lines ", IEEE, T-PAS, Vol. 90, March April 1.971, pp. 833-842.
28. R. H. Galloway, B. Sc.,W. B. Shorrocks, L. M. Wedepohl, "Calculation of electrical parameters for short and long polyphase transmission lines". PROC, IEE,Vol III, N°12, December 1964.