

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Programa digital para el cálculo de parámetros de una línea de
transmisión trifásica no transpuesta

Luis René Barragán A.

Noviembre, 1980

Certifico que el presente trabajo fue realizado por el Sr. René Barragán A. bajo mi dirección.


Ing. José Barragán.

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

Al Sr. Ing. José Barragán, Director de Tesis por su constante ayuda durante la elaboración del presente trabajo, al Sr. Ing. Patricio Orbe por sus bien intencionados consejos y a todas las personas que de una u otra forma hicieron posible que esta tesis se realizara.

A mis padres, a mi esposa y
a mi hijo.

LISTA DE SIMBOLOS

L	Inductancia (Henrios)
e	Voltaje Inducido (Volts)
ϕ	Flujo magnético (Weber-espira)
ψ	Concatenamientos de flujo (Weber)
N	Número de espiras
μ_0	Permeabilidad o constante magnética del espacio = $4\pi \times 10^{-7}$ Henrios/mt
r	Radio de los conductores (mts)
D_{kj}	Distancia entre conductores k y j (mts)
X_l	Reactancia inductiva (ohms/Km)
Z	Impedancia serie (Ohms/km)
V	Caída de voltaje (Volts/Km)
I	Corriente (Amperios)
ρ	Resistividad de la tierra (Ohms-mt)
f	Frecuencia del sistema (ciclos/seg)
h_k, Y_k	Altura de conductor K (mts)
q, Q	Carga de los conductores (Coulomb/mts)
ϵ_0	Permitividad = 8.85×10^{-12} (Farads /mt)
D'_{kj}	Distancia del conductor K a la imagen del conductor j (mts)
P	Coefficientes de potencial (mts/farad)
X_c	Reactancia capacitiva (Ohms ⁻ Km)

I N D I C E

	Pag.
Capítulo I GENERALIDADES	
1.1 Introducción	1
1.2 Alcance y restricciones	2
Capítulo II DESARROLLO TEORICO	
2.1 Introducción	3
2.2 Inductancia	4
2.2.1 Inductancia en una línea monofásica de dos conductores	5
2.2.2 Inductancia de un sistema multiconductor	7
2.2.3 Impedancias de un sistema multiconductor	9
2.2.4 Consideración de hilos de guarda en líneas de transmisión	10
2.2.5 Consideración de haces de conductores en líneas de transmisión	13
2.2.6 Efectos del retorno por tierra en las impedancias de una línea de transmisión	15
2.2.7 Impedancias de circuitos en paralelo	18
2.2.8 Transformación de impedancias de componentes de fase a componentes de secuencia	21
2.3 Capacitancia	24
2.3.1 Reactancias y admitancias capacitivas de una línea monofásica de dos conductores	24

2.3.2	Reactancias y admitancias capacitivas de un sistema multiconductor	29
2.3.3	Consideración de hilos de guarda en líneas de transmisión	30
2.3.4	Consideración de haces de conductores en líneas de transmisión	32
2.3.5	Transformación de reactancias y admitancias capacitivas de componentes de fase a componentes de secuencia	34
Capítulo III DESCRIPCION DEL PROGRAMA		
3.1	Programa principal	36
3.2	Subrutinas	49
Capítulo IV MANUAL DE USO DEL PROGRAMA		
4.1	Objetivos	93
4.2	Descripción	93
4.3	Preparación de los datos de entrada	97
4.4	Salidad de estos	110
APENDICE		
1	Tablas de características eléctricas de conductores usados en líneas de transmisión	147
2	Tablas de características eléctricas de conductores usados como hilos de guarda	150
CONCLUSIONES		152
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		154

CAPITULO I

INTRODUCCION

El sitio importante que ocupa la electricidad en el sistema económico actual es el resultado de la industria eléctrica para generar y distribuir económicamente la energía eléctrica. Esto se realiza por medio de sistemas de transmisión y distribución que se originan en las centrales generadoras y se extienden al consumidor.

Dentro del diseño, operación y expansión de estos sistemas, es de fundamental importancia conocer los parámetros eléctricos de los conductores utilizados en la construcción de líneas aéreas de transmisión y distribución.

Inicialmente el cálculo de los parámetros de una línea de transmisión aérea se realizaba normalmente utilizando tablas y gráficos derivados del método de las distancias medias geométricas (DMG) y el radio medio geométrico (RMG).

Actualmente y debido a la demanda de energía pueden existir configuraciones muy variadas que van desde un simple sistema de tres conductores hasta un gran sistema multiconductor en el cual pueden estar incluidos hilos de guarda, haces de conductores y circuitos en paralelo por lo cual el cálculo por el método descrito sería un trabajo que consumiría considerable tiempo y labor. Afortunadamente con ayuda del computador digital esta labor se ve significativamente reducida permitiendo al ingeniero dedicarse a labores más creativas.

Esta tesis tiene por objeto disponer de un programa digital de cálculo que pueda analizar tanto un simple sistema de tres conductores como un gran sistema multiconductor de cualquier configuración geométrica.

Inicialmente se dan las consideraciones teóricas que se han desarrollado en base a las referencias 11, 12 principalmente y a continuación se da una descripción detallada del programa que se ha desarrollado en base a las referencias 1 y 3.

1.2 Alcance y restricciones

Los parámetros a determinarse son: Reactancias capacitivas, Admitancias e Impedancias serie.

Parámetros en OHMS/KM en OHMS para una longitud de línea dada y valores por unidad (P.U.) para una o más líneas de transmisión paralelas, con igual o diferente voltaje base, en la misma o en diferentes estructuras son opciones de cálculo dentro del programa.

Permite analizar sistemas que tengan un máximo de 35 conductores (conductores de fase, haces de conductores o hilos de guarda) y un máximo de 3 estructuras (torres) en paralelo que estén en el mismo derecho de vía.

CAPITULO II

2.1 INTRODUCCION

Una línea de transmisión aérea está constituida por los conductores, las estructuras de soporte, los aisladores y accesorios para sujetar los conductores a las estructuras de soporte y, en la mayor parte de las líneas de alta tensión, los hilos de guarda para proteger a la línea de posibles descargas atmosféricas.

Dentro de éstas, los elementos más importantes de una línea de transmisión son los conductores. Dependiendo del material de que estén hechos y de sus dimensiones, los conductores tienen una resistencia definida, por otra parte el campo magnético producido por la corriente alterna en un conductor se concatena con los otros y habrá una inductancia asociada a cada conductor. Existe una capacitancia entre cada par de conductores y entre cada conductor y tierra, y por otra parte, dado que el aislamiento no es perfecto y consecuentemente puede haber una corriente de dispersión a tierra, se presenta un efecto que puede ser representado como una resistencia de dispersión que se conecta entre el conductor y tierra.

Debido a que una línea de transmisión es el elemento más común en las redes de potencia, los valores de las cantidades mencionadas anteriormente se deben conocer, ya que los modelos matemáticos usados para su representación, al igual que sus constantes, son el primer tópico que deben conocer las personas interesadas en esta rama de la Ingeniería Eléctrica.

2.2 INDUCTANCIA

Cuando una corriente circula a través de un conductor se crea un campo magnético a su alrededor, las líneas del campo magnético forman un paso cerrado alrededor del conductor y una variación en el valor de la corriente que circula por el conductor origina un cambio en el número de líneas que concatenan el circuito y como se sabe, cualquier cambio en el flujo que concatene un circuito induce un voltaje en el conductor que es proporcional a la variación del mismo.

Si ϕ es el flujo que concatena el circuito, la relación del voltaje inducido a la variación del flujo en el circuito se puede expresar como:

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \quad (2-2-1)$$

Además se sabe que cuando la corriente en un circuito cambia, se tiene también un cambio en el campo magnético asociado y si se supone una permeabilidad constante en el medio, el número de concatenamientos es proporcional a la corriente, expresandose como:

$$e = L \frac{di}{dt} \quad (2-2-2)$$

De acuerdo a la ecuación 2-2-1 podemos escribir:

$$\begin{aligned} \frac{d\phi}{dt} &= L \frac{di}{dt} \\ L &= \frac{d\phi}{di} \quad (2-2-3) \end{aligned}$$

Si los concatenamientos de flujo varían linealmente:

$$L = \frac{\phi}{i} \quad (2-2-4)$$

2.2.1 INDUCTANCIA DE UNA LINEA MONOFASICA DE DOS CONDUCTORES

Normalmente las líneas de transmisión están formadas por multiconductores y la inductancia se estudia para esta condición, considerando la acción de cada conductor sobre los otros; por facilidad en el estudio, se iniciará con el caso más simple de una línea monofásica de dos conductores sólidos.

Sean los conductores:

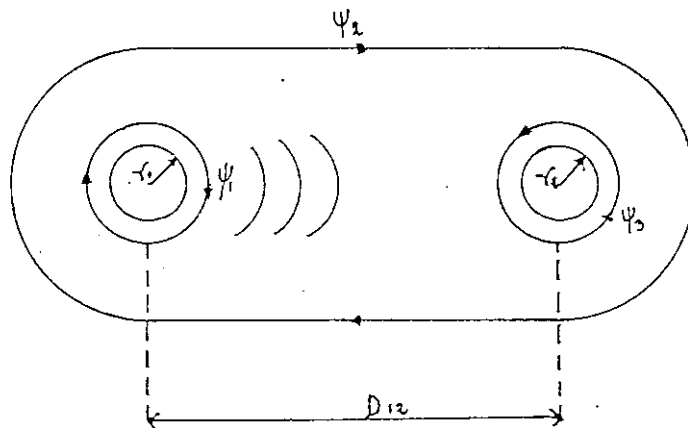


Fig. 1

Según la ecuación 2-2-4

$$L = \frac{\phi}{i}$$

y como $\phi = \psi N$ (2-2-5)

Circulando una corriente alterna por los conductores la inductancia se puede escribir:

$$L = \frac{\psi_t}{i} \quad (2-2-6)$$

En donde ψ_t es el valor RMS de los concatenamientos de flujo de la línea y:

$$\psi_t = \psi_{ext} + \psi_{int} \quad (2-2-7)$$

ψ_{ext} concatenamientos externos que concatenan toda la corriente.

ψ_{int} concatenamientos parciales que concatenan solo parte de la corriente.

La expresión del concatenamiento interno viene dada por la expresión:

$$\psi_{int} = \frac{\mu_0 I}{8 \pi} \quad (2-2-8)$$

y del concatenamiento externo:

$$\psi_{\text{ext}} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln \frac{D}{r} \quad (2-2-9)$$

$$\psi_t = \psi_{\text{int}} + \psi_{\text{ext}} = \frac{\mu_0 I}{8\pi} + \frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln \frac{D}{r} \quad (2-2-10)$$

De acuerdo a la ecuación 2-2-6 y considerando a ambos conductores tenemos:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left\{ (1/4 + \ln 1/r_1) + (1/4 + \ln 1/r_2) - 2 \ln 1/D_{12} \right\} \quad (2-2-11)$$

En donde:

$$L_{11} = \frac{\mu_0}{2\pi} (1/4 + \ln 1/r_1) \quad \text{Inductancia propia del conductor 1} \quad (2-2-12)$$

$$L_{22} = \frac{\mu_0}{2\pi} (1/4 + \ln 1/r_2) \quad \text{Inductancia propia del conductor 2} \quad (2-2-13)$$

$$L_{12} = L_{21} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln 1/D_{12} \quad \text{Inductancia m\u00fatua entre conductores 1 y 2} \quad (2-2-14)$$

$$\text{o } L_{1\phi} = L_{11} + L_{22} - 2L_{12} \quad (2-2-15)$$

2.2.2 INDUCTANCIA DE UN SISTEMA MULTICONDUCTOR

De igual forma como se procedi\u00f3 para el caso monof\u00e1sico, se procede para el caso trif\u00e1sico o para el caso de un sistema multiconductor:

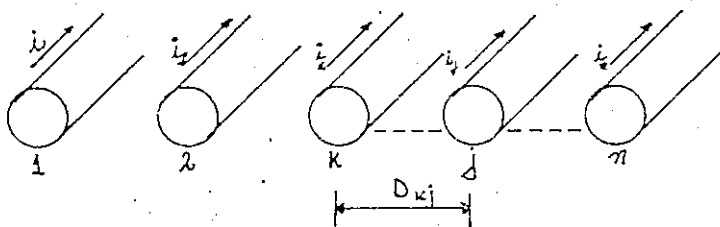


Fig. 2

en donde las ecuaciones resultantes son:

$$L_{kk} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{1}{r_k} \right) \quad \text{Inductancia propia del conductor } k \quad (2-2-16)$$

$$L_{kj} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{1}{D_{kj}} \quad \text{Inductancia mutua entre conductores } K-J \quad (2-2-17)$$

De acuerdo a la ecuación (2-2-2) tenemos:

$$e = L \frac{di}{dt}$$

$$e_k = L_{kk} \frac{di_k}{dt} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n L_{kj} \frac{di_j}{dt} \quad (2-2-18)$$

Que están en el dominio del tiempo. Expresándolas en el dominio de la frecuencia tendríamos:

$$V_k = j \omega L_{kk} i_k + j \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \omega L_{kj} i_j \quad (2-2-19)$$

o expresándolos en forma matricial tenemos:

$$[V] = j \omega [L] [i]$$

$$[V] = j X_l [i] \quad (2-2-20)$$

Siendo las matrices $[L]$ y $[X_1]$ matrices simétricas ya que las inductancias mútuas dependen de las distancias entre conductores:

$$D_{kj} = D_{jk} \quad \text{para } j \neq k$$

2.2.3 IMPEDANCIAS DE UN SISTEMA MULTICONDUCTOR

En corriente alterna la impedancia viene dada por:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = ZI$$

En un sistema multiconductor se cumple que:

$$[V] = [Z] [I] \quad (2-2-21)$$

En donde la matriz de impedancias viene a ser realmente la matriz de reactancias inductivas incluido el efecto de la resistencia del conductor, en donde:

$$Z_{kk} = R_{kk} + j X_{Lkk} \quad (2-2-22)$$

Dentro del programa se han utilizado las siguientes ecuaciones para el cálculo de la matriz de impedancias:

$$Z_{kk} = R_{kk} + j X_{P_{kk}} \times (f/60)$$

$$Z_{kj} = 0 - j X_{kj} \quad (2-2-23)$$

siendo:

R_{kk} = Resistencia del conductor en OHMS/KM según tablas

$X_{P_{kk}}$ = Reactancia inductiva a un π de separación en OHMS/KM según tablas

X_{kj} = $0.173623 (f/60) \log (D_{kj} \times 3.28083)$ OHMS/KM

2.2.4 CONSIDERACION DE HILOS DE GUARDA EN LINEAS DE TRANSMISION

El nivel de protección de un sistema eléctrico de potencia contra las descargas atmosféricas cuando se establecen hilos de guarda cobra gran interés por el servicio que prestan.

Estos hilos pueden ser de acero o de cobre con alma de acero y se conectan a las puntas altas de las torres de la línea sobre los conductores activos, paralelos a estos y sirven como pantalla protectora impidiendo que los rayos caigan directamente sobre los conductores.

Aunque en la práctica el hilo de guarda está conectado a tierra en cada torre, debido al espaciamiento uniforme que existe entre ellas, la corriente en las secciones intermedias es prácticamente nula, por lo tanto se puede considerar al hilo de guarda conectado en ambos extremos del sistema y con una corriente constante en toda su longitud.

Por cuanto el hilo de guarda es un elemento físico conectado a una estructura real el efecto que este produce sobre los conductores reales debe ser estudiado - por medio de una modelación matemática. Dentro de la modelación este hilo de guarda es absorbido por los demás conductores partiendo del hecho que el hilo de guarda - tiene potencial cero, obteniéndose en esta forma un circuito equivalente al real, sin hilo de guarda y los conductores de fase con impedancias menores a las reales.

Esto se puede comprender mejor mediante el siguiente ejemplo:

Sea una línea trifásica con un conductor de guarda (conductor g)

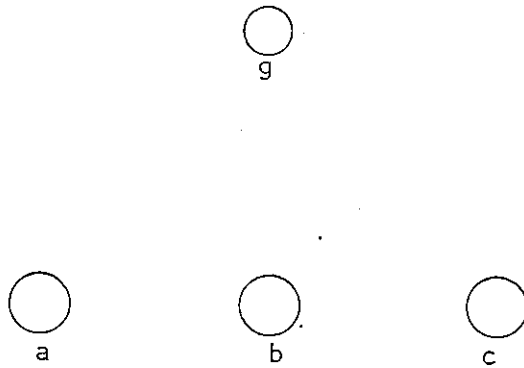


Fig. 4

La matriz de impedancia de todos los conductores sería:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ag} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bg} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cg} \\ Z_{ga} & Z_{gb} & Z_{gc} & Z_{gg} \end{bmatrix}$$

Llamando I_g la corriente que circula por el hilo de guarda, tendríamos:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ag} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bg} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cg} \\ Z_{ga} & Z_{gb} & Z_{gc} & Z_{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_g \end{bmatrix}$$

Siendo absorbidos los hilos de guarda, se producen impedancias menores a las reales, representadas por la siguiente matriz:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z'_{aa} & Z'_{ab} & Z'_{ac} \\ Z'_{ba} & Z'_{bb} & Z'_{bc} \\ Z'_{ca} & Z'_{cb} & Z'_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

El método de absorción de hilos de guarda se ha desarrollado según la referencia 1, y se explica detalladamente en el Capítulo III subrutina HACES.

2.2.5 CONSIDERACION DE HACES DE CONDUCTORES EN LINEAS DE TRANSMISION

Es práctica común en las líneas de transmisión trifásicas que transmiten cantidades considerables de potencia con tensiones elevadas, que se usen varios conductores por fase, lo que se conoce como haz de conductores.

Análogamente al caso de hilos de guarda, los haces de conductores, por representar un fenómeno físico real, deben ser estudiados por medio de un modelo matemático. Dentro del modelo, los haces conductores son absorbidos obteniéndose de esta forma un circuito equivalente de un conductor por fase.

Un caso muy común y relativamente sencillo que permite comprender el cálculo de la impedancia en estas líneas lo constituye el de dos conductores por fase como se indica en la siguiente figura:

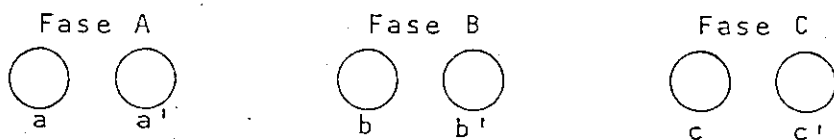


Fig-5

La matriz de impedancias para este caso sería:

$$\begin{array}{c}
 \left[\begin{array}{c} V_a \\ V_b \\ V_c \end{array} \right] = \left[\begin{array}{ccc|ccc}
 Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{aa'} & Z_{ab'} & Z_{ac'} \\
 Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{ba'} & Z_{bb'} & Z_{bc'} \\
 Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{ca'} & Z_{cb'} & Z_{cc'}
 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} I_a \\ I_b \\ I_c \end{array} \right] \\
 \hline
 \left[\begin{array}{c} V_{a'} \\ V_{b'} \\ V_{c'} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{ccc|ccc}
 Z_{a'a} & Z_{a'b} & Z_{a'c} & Z_{a'a'} & Z_{a'b'} & Z_{a'c'} \\
 Z_{b'a} & Z_{b'b} & Z_{b'c} & Z_{b'a'} & Z_{b'b'} & Z_{b'c'} \\
 Z_{c'a} & Z_{c'b} & Z_{c'c} & Z_{c'a'} & Z_{c'b'} & Z_{c'c'}
 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} I_{a'} \\ I_{b'} \\ I_{c'} \end{array} \right]
 \end{array}$$

como:

$$V_a = V_{a'}$$

$$V_b = V_{b'}$$

$$V_c = V_{c'}$$

Se puede obtener un circuito equivalente de un conductor por fase, aplicando el método de la referencia 1 y explicado detalladamente en el capítulo III subrutina HACES.

2.2.6 EFECTOS DEL RETORNO POR TIERRA EN LAS IMPEDANCIAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION.

En 1926 el Dr. John R. Carson desarrolló ecuaciones para las impedancias propias con retorno por tierra y las impedancias mútuas con retorno común por tierra, de donde los factores que influyen a estas impedancias pueden ser evaluados.

En caso de desequilibrio eléctrico producido en los conductores de una línea de transmisión, la corriente resultante del desequilibrio retorna por tierra por una serie de caminos irregulares y de sección variable, sin embargo, partiendo de la suposición de que la tierra tiene resistividad uniforme y es de extensión infinita, puede substituirse el circuito por un conductor ficticio colocado bajo tierra a una distancia D_e de los conductores de la línea, que es función de la resistividad del terreno y de la frecuencia del sistema

$$D_e = 658 \sqrt{\rho / f} \quad (\text{Mts}) \quad (2-2-24)$$

Las siguientes tablas nos permiten encontrar la profundidad de un conductor ficticio de retorno para valores de resistividad de tierra comunes en nuestro medio:

Tabla 2.1¹⁴

TIPO DE TERRENO	RESISTIVIDAD PROMEDIO (Ω -Mts)
Suelo orgánico húmedo	10
Suelo húmedo	100
Suelo seco	1000
Manto rocoso	10000

Tabla 2.2⁷⁻¹⁵

f = 60 ciclos/seg.

ρ (Ω -Mts)	De (Mts)
10	268.6
100	849.47
1000	2686.27
10000	8494.74

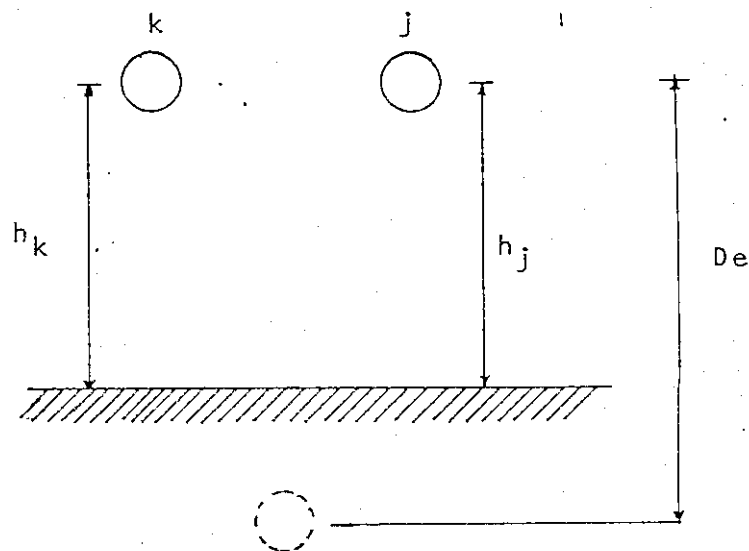


Fig. 6

Una solución equivalente derivada de una simplificación de la teoría de Carson dada en la referencia 2 nos permite estudiar el caso de un sistema multiconductor con retorno por tierra.

Sean:

Z_{kk} = Impedancia propia del conductor k antes de incluir el retorno por tierra.

Z_{kj} = Impedancia mútua entre conductores k y j antes de incluir el retorno por tierra.

Al incluir el efecto de retorno por tierra nos quedaría:

$$Z'_{kk} = Z_{kk} + \Delta R_{kk} + j \Delta X_{kk}$$

$$Z'_{kj} = Z_{kj} + \Delta R_{kj} + j \Delta X_{kj}$$

siendo Z'_{kk} y Z'_{kj} las impedancias propias y mútuas respectivamente al incluirse el efecto de retorno por tierra y ΔR_{kk} , ΔX_{kk} , ΔR_{kj} y ΔX_{kj} los términos de corrección de Carson dados por:

$$\Delta R_{kk} = 0.0592187 (f/60) - 0.06088 (f/60) (Y_k/10^3) \sqrt{f/\rho} + \text{-----} \quad (2-2-25)$$

$$\Delta R_{kj} = 0.0592187 (f/60) - 0.06088 (Y_k + Y_j) ((f/60)/2000) \sqrt{f/\rho} + \text{-----} \quad (2-2-26)$$

$$\Delta X_{kk} = 0.173623 (f/60) \log (2162.5361 \times \sqrt{\rho/f}) + 0.06088 (f/60) (Y_k/10^3) \sqrt{f/\rho} \\ \text{-----} \quad (2-2-27)$$

$$\Delta X_{kj} = 0.173623 (f/60) \log (2162.5361 \times \sqrt{\rho/f}) + 0.06088 (f/60) (Y_k + Y_j) / 2000 \\ \sqrt{f/\rho} \text{-----} \quad (2-2-28)$$

Dentro del programa se tienen tres posibles órdenes de corrección siendo estos:

1. Una no corrección, se la debe utilizar cuando no se tiene el sistema conectado a tierra.
2. Un primer orden de corrección en donde son utilizados los primeros términos de las series, se lo debe utilizar cuando se posee una sola torre.
3. Un segundo orden de corrección en el cual son usados los dos primeros términos de las series, se lo debe utilizar cuando se tienen torres adyacentes en el mismo derecho de vía.

Estos órdenes de corrección se explican en detalle en el capítulo III subrutina CARSON.

2.2.7 IMPEDANCIAS DE CIRCUITOS EN PARALELO

Consideremos una línea trifásica en doble circuito y con disposición como en la figura 7.

La matriz de impedancia de esta disposición sería:

$$\begin{array}{c|ccc|ccc|c}
 V_a & Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{aa'} & Z_{ab'} & Z_{ac'} & I_a \\
 V_b & Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{ba'} & Z_{bb'} & Z_{bc'} & I_b \\
 V_c & Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{ca'} & Z_{cb'} & Z_{cc'} & I_c \\
 \hline
 V_{a'} & Z_{a'a} & Z_{a'b} & Z_{a'c} & Z_{a'a'} & Z_{b'b'} & Z_{a'c'} & I_{a'} \\
 V_{b'} & Z_{b'a} & Z_{b'b} & Z_{b'c} & Z_{b'a'} & Z_{b'b'} & Z_{b'c'} & I_{b'} \\
 V_{c'} & Z_{c'a} & Z_{c'b} & Z_{c'c} & Z_{c'a'} & Z_{c'b'} & Z_{c'c'} & I_{c'}
 \end{array}$$

o bien:

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{AA} & Z_{AB} \\ Z_{AB} & Z_{BB} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \end{bmatrix}$$

Siendo las submatrices:

Z_{AA} = Matriz de impedancias propias del circuito A

Z_{AB} = Matriz de impedancias mutuas entre circuitos A y B

Dentro del programa existen dos subrutinas (Ver Capítulo III subrutinas ESCR12 y ESCR14) que imprimen las matrices propias y mutuas de los circuitos.

2.2.7.1 IMPEDANCIAS MUTUAS EN P.U. DE CIRCUITOS PARALELOS OPERADOS A DIFERENTE VOLTAJE BASE²

El programa presenta la facilidad de encontrar la matriz de impedancias en P.U. y siendo este un caso particular vamos a desarrollar las fórmulas que se han utilizado cuando se presente este caso.

Si por ejemplo, tenemos dos circuitos paralelos (en la misma torre o en diferentes torres) 1 y 2 con una potencia base de KVA por fase y un voltaje fase neutro de KV_1 para el circuito 1 y KV_2 para el circuito 2.

Con I_1 amperios circulando en el circuito 1, el voltaje inducido en el circuito 2 sería:

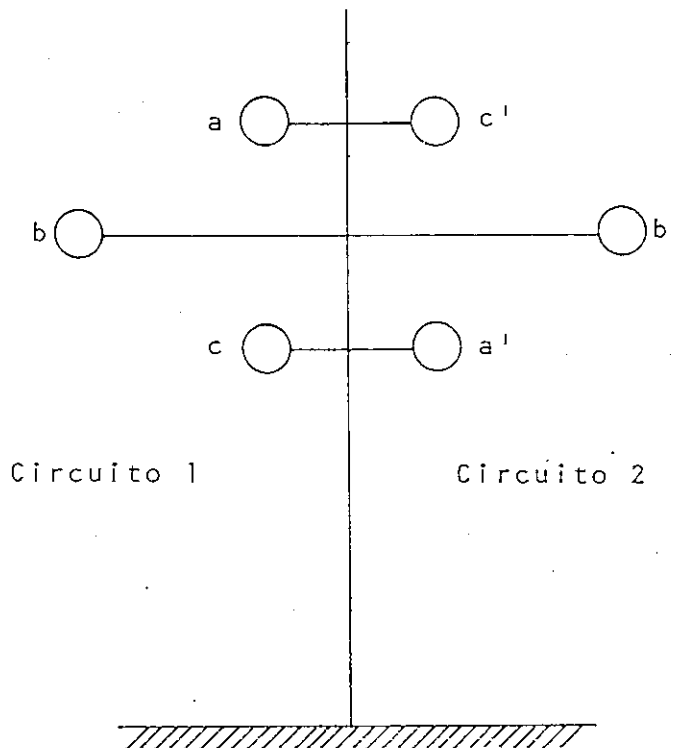


Fig. 7

$$V_2 = I_1 \times Z_{12} \quad \Rightarrow \quad Z_{12} = \frac{V_2}{I_1}$$

$$Z_{pu} = \frac{Z \text{ (OHMS)}}{Z_{base}} \quad Z_b = \frac{V_2}{I_1} = \frac{V_2}{\frac{KVA}{KV_1}}$$

$$Z_b = \frac{V_2 \times KV_1}{KVA} \times \frac{1000}{1000} = \frac{KV_2 \times KV_1}{MVA}$$

$$Z_{pu} = Z \text{ (OHMS)} \times \frac{MVA}{KV_2 \times KV_1} \quad (2-2-29)$$

2.2.8 TRANSFORMACION DE IMPEDANCIAS DE COMPONENTES DE FASE A COMPONENTES DE SECUENCIA.

Consideremos la ecuación matricial de una línea trifásica en circuito simple y con retorno por neutro físico o por tierra:

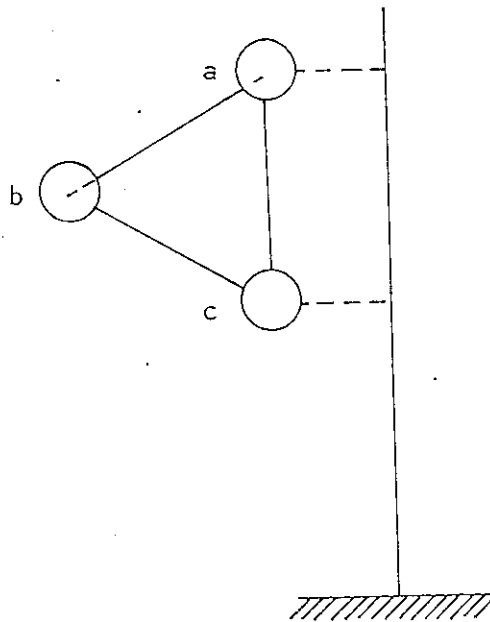


Fig. 8

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

o bien:

$$[V_\phi] = [Z_\phi] [I_\phi] \quad (2-2-30)$$

Empleando la matriz de transformación a componentes de secuencia:

$$\begin{bmatrix} V_\phi \\ I_\phi \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} \quad (2-2-31)$$

donde:

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$[V]_s$, $[I]_s$ - Matrices en componentes de secuencia

$[V]_\phi$, $[I]_\phi$ - Matrices en componentes de fase.

Reemplazando 2-2-31 en 2-2-30 se tiene:

$$[Z_s] = [T]^{-1} [Z_\phi] [T] \quad (2-2-32)$$

Esta ecuación nos permite transformar una matriz de impedancias de componentes de fase a componentes de secuencia. Siendo:

$$|Z_s| = \begin{matrix} 0 \\ + \\ - \end{matrix} \begin{bmatrix} z_{00} & z_{01} & z_{02} \\ z_{10} & z_{11} & z_{12} \\ z_{20} & z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$$

y se cumple que:

$$z_{11} = z_{22} \neq z_{00}$$

$$z_{01} \neq z_{10}, z_{02} \neq z_{20}, z_{12} \neq z_{21}$$

2.3 CAPACITANCIA

Al aplicar una diferencia de potencial entre los extremos de dos conductores separados por un dieléctrico estos conductores adquieren una carga eléctrica, q , que es proporcional al voltaje aplicado y a una constante de proporcionalidad C llamada capacitancia, que depende de la naturaleza del dieléctrico, de las dimensiones de los conductores y de su separación.

$$q = CV \quad (2-3-1)$$

Si el voltaje aplicado es función armónica del tiempo la carga eléctrica será también una función armónica del tiempo, produciéndose una corriente de carga y descarga de la misma frecuencia que el voltaje aplicado y adelantada 90° respecto a este.

2.3.1 REACTANCIAS Y ADMITANCIAS CAPACITIVAS DE UNA LINEA MONOFÁSICA DE DOS CONDUCTORES.

Usualmente en el cálculo de las reactancias y admitancias capacitivas se deben hacer las siguientes consideraciones:

- La superficie de tierra se supone como un plano equipotencial de potencial cero. Esta suposición está desde luego limitada por la irregularidad del terreno y el tipo de tierra. Sin embargo, esta suposición permite entender el efecto de una tierra conductora en el cálculo de las reactancias y admitancias capacitivas.
- La carga sobre cada conductor se supone uniformemente distribuida sobre la superficie del conductor. En realidad la densidad de carga es algo mayor en la parte de la superficie del conductor más próximo al otro conductor, debido a la atracción mutua entre cargas de signo opuesto. El error que se comete al tomar en cuenta esta consideración es despreciable.
- La tensión en cada conductor, respecto a tierra se supone constante en toda su longitud.

- Los conductores se suponen ubicados a una altura constante respecto a la superficie de tierra, cilíndricos y paralelos entre sí. Aunque esto en la práctica no es real el programa corrige la altura del conductor por efecto del combeo en la siguiente forma:

$$Y'_k = Y_k - \frac{2}{3} \text{ Flecha.}$$

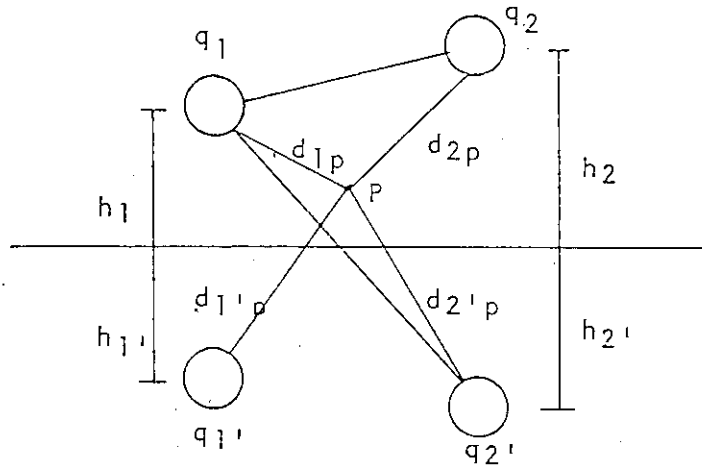


Fig. 9

Aplicando el método de las imágenes para un sistema monofásico de dos hilos tenemos que el potencial a un punto P viene dado Por:

$$V_p = \frac{q_1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{d_{1p}} + \frac{q_{1'}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{d_{1'p}} + \frac{q_2}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{d_{2p}} + \frac{q_{2'}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{d_{2'p}}$$

(Volts) (2-3-2)

001912

Trasladando el punto P sucesivamente a los conductores 1 y 2 tenemos:

$$V_1 = \frac{q_1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{r_1} + \frac{q_{1'}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{2h_1} + \frac{q_2}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{D_{12}} + \frac{q_{2'}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{D_{12}},$$

(volts)

(2-3-3)

$$V_2 = \frac{q_1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{D_{12}} + \frac{q_{1'}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{D_{21}}, \quad \frac{q_2}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{r_2} + \frac{q_{2'}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1}{2h_2}$$

(volts)

Considerando que:

$$q_{1'} = -q_1, \quad q_{2'} = -q_2 \quad \text{y} \quad D_{12'} = D_{21'}$$

Se tiene que:

$$V_1 = \left(\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_1}{r_1} \right) q_1 + \left(\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D'_{12}}{D_{12}} \right) q_2$$

(2-3-4)

$$V_2 = \left(\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D'_{12}}{D_{12}} \right) q_1 + \left(\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_2}{r_2} \right) q_2$$

o bien:

$$V_1 = P_{11} q_1 + P_{12} q_2$$

$$V_2 = P_{21} q_1 + P_{22} q_2$$

en donde:

P_{ij} = Coeficientes de potencial (metros/farad)

o en forma matricial tenemos:

$$[V] = [P] [q] \quad (2-3-5)$$

$$[q] = [P]^{-1} [V] = [C] [V] \quad (2-3-6)$$

Si la carga es senoidal la corriente también lo será:

$$q_k = Q_k \text{ Sen } \omega t$$

entonces:

$$i_k = \frac{dq_k}{dt} = \omega Q_k \text{ Sen } (\omega t + \pi/2)$$

o sea la carga está retrasada 90° respecto a la corriente capacitiva.

Pasándole al dominio de la frecuencia:

$$I_k = j\omega Q_k \quad (2-3-7)$$

$$Q_k = -\frac{j}{\omega} I_k$$

Reemplazando en la ecuación 2-3-5 tiene

$$[V] = \frac{-j}{\omega} [P] [I] \quad (2-3-8)$$

Pero $-j \frac{P_{kk}}{\omega} = -j X_{kk}$ Reactancia capacitiva propia del conductor K

$-j \frac{P_{kj}}{\omega} = -j X_{kj}$ Reactancia capacitiva mutua entre conductores K y J.

Por lo tanto:

$$[V] = -j [X_c] [I] \quad (2-3-9)$$

Siendo $[X_c]$ la matriz de reactancias capacitivas.

De la ecuación 2-3-5 tenemos:

$$[V] = [P] [q]$$

Reemplazando 2-3-7 tenemos:

$$\begin{aligned} [V] &= \frac{-j}{\omega} [P] [I] \\ [I] &= j\omega [C] [V] \end{aligned} \quad (2-3-10)$$

Pero:

$$\begin{aligned} j\omega C_{kk} &= jY_{kk} && \text{Admitancia capacitiva propia con-} \\ & && \text{ductor K} \\ j\omega C_{kj} &= jY_{kj} && \text{Admitancia capacitiva m\u00fatua entre} \\ & && \text{conductores K y J} \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$[I] = j [Y] [V] \quad (2-3-11)$$

2.3.2 REACTANCIAS Y ADMITANCIAS CAPACITIVAS DE UN SISTEMA MULTICONDUCTOR

El mismo método de las imágenes empleado en el sistema monofásico se puede generalizar para un sistema multiconductor.

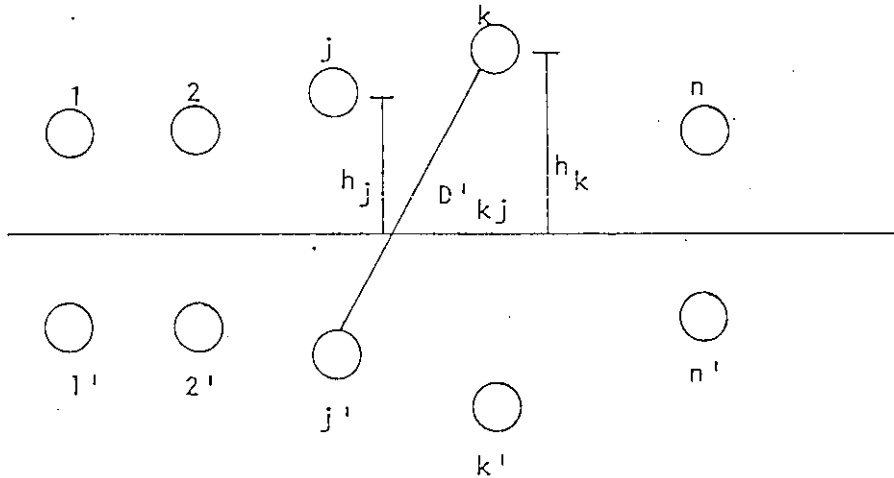


Fig. 10

$$\begin{aligned}
 V_1 &= P_{11} q_1 + P_{12} q_2 + \dots + P_{1n} q_n \\
 V_2 &= P_{21} q_1 + P_{22} q_2 + \dots + P_{2n} q_n \\
 \vdots & \\
 V_n &= P_{n1} q_1 + P_{n2} q_2 + \dots + P_{nn} q_n
 \end{aligned}$$

o bien:

$$[V] = [P] [q]$$

Siendo:

$$\begin{aligned}
 P_{kk} &= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_k}{r_k} \\
 P_{kj} &= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D'_{kj}}{D_{kj}}
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la ecuación 2-3-9 tenemos:

$$[V] = -j[X_c] [I]$$

y de acuerdo a la ecuación 2-3-11 tenemos:

$$[I] = [Y] [V]$$

Siendo $[X]$ y $[Y]$ matrices cuadradas simétricas, ya que:

$$D'_{kj} = D'_{jk}$$

$$D_{kj} = D_{jk}$$

Dentro del programa se forma la matriz de reactivancias capacitivas que en el mismo se la denomina matriz P para diferenciarla con la matriz de impedancias serie, con las siguientes ecuaciones:

$$P_{kk} = -6.596 \times 10^{-6} (1/f) \log (4xy_k/\text{dia}_k) \quad \text{OHMS-KM}$$

$$P_{kj} = -6.596 \times 10^{-6} (1/f) \log (D'_{kj}/D_{kj}) \quad \text{OHMS-KM}$$

En donde:

dia_k = diámetro de los conductores (mts)

f = Frecuencia del sistema (ciclos/seg)

y = Altura de los conductores (metros)

D'_{kj} = Distancia del conductor k a la imagen del conductor j (mts)

D_{kj} = Distancia del conductor k al conductor j (mts)

2.3.3. CONSIDERACION DE HILOS DE GUARDA EN LINEAS DE TRANSMISION

Tal como se desarrolló en el caso de las impedancias, consideramos a la línea de transmisión mediante un modelo equivalente al original.

Siendo el caso de las admitancias igual al de las reacciones capacitivas, sólo vamos a estudiar este último.

Sea una línea de transmisión como la de la figura:

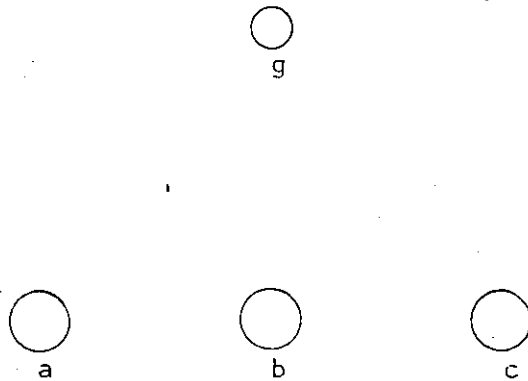


Fig. 11

se cumple que:

$$[V] = [P] [q]$$

por medio de la ecuación 2-3-9 podemos escribir:

$$[V] = -j [X_c] [I]$$

o:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ 0 \end{bmatrix} = -j \begin{bmatrix} X_{aa} & X_{ab} & X_{ac} & X_{ag} \\ X_{ba} & X_{bb} & X_{bc} & X_{bg} \\ X_{ca} & X_{cb} & X_{cc} & X_{cg} \\ X_{ga} & X_{gb} & X_{gc} & X_{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_g \end{bmatrix}$$

Dentro del programa la matriz de admitancias se forma como la inversa de la matriz de reactancias capacitivas.

En la modelación estos hilos de guarda son absorbidos, obteniéndose reactancias capacitivas menores a las reales. El método de absorción es el de la referencia 1 y se explica en detalle en el capítulo III subrutina HACES.

2.3.4 CONSIDERACION DE HACES DE CONDUCTORES EN LINEAS DE TRANSMISION

Sea una línea trifásica, con dos conductores por fase como la de la figura:

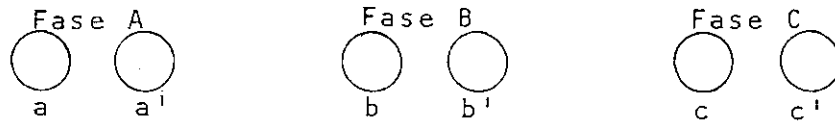


Fig. 12

La matriz de reactancias capacitivas para este caso sería:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ \hline V_{a'} \\ V_{b'} \\ V_{c'} \end{bmatrix} = -j \begin{bmatrix} X_{aa} & X_{ab} & X_{ac} & | & X_{aa'} & X_{ab'} & X_{ac'} \\ X_{ba} & X_{bb} & X_{bc} & | & X_{ba'} & X_{bb'} & X_{bc'} \\ X_{ca} & X_{cb} & X_{cc} & | & X_{ca'} & X_{cb'} & X_{cc'} \\ \hline X_{a'a} & X_{a'b} & X_{a'c} & | & X_{a'a'} & X_{a'b'} & X_{a'c'} \\ X_{b'a} & X_{b'b} & X_{b'c} & | & X_{b'a'} & X_{b'b'} & X_{b'c'} \\ X_{c'a} & X_{c'b} & X_{c'c} & | & X_{c'a'} & X_{c'b'} & X_{c'c'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ \hline I_{a'} \\ I_{b'} \\ I_{c'} \end{bmatrix}$$

como:

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a'} \\ V_b &= V_{b'} \\ V_c &= V_{c'} \end{aligned}$$

Se puede obtener un circuito equivalente de un conductor por fase, aplicando el método de la referencia 1 y explicado en detalle en el capítulo III subrutina HACES.

2.3.5 TRANSFORMACION DE REACTANCIAS Y ADMITANCIAS CAPACITIVAS DE COMPONENTES DE FASE A COMPONENTES DE SECUENCIA

Considremos una línea trifásica como la de la figura:

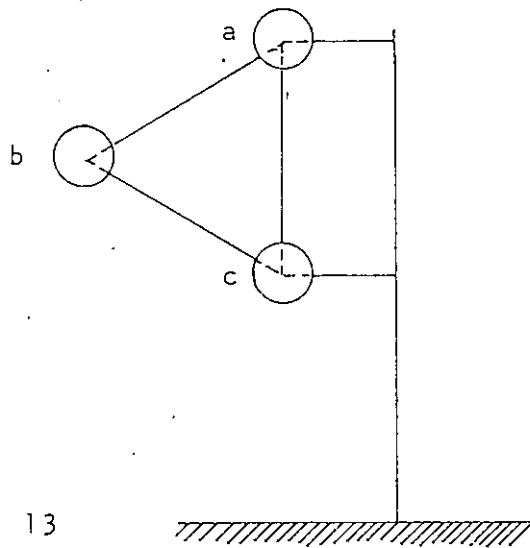


Fig. 13

La matriz de reactancias capacitivas en componentes de fase sería:

$$[V_{\phi}] = -j [X_{c\phi}] [I_{\phi}] \quad (2-3-12)$$

Utilizando la matriz de transformación a componentes de secuencia tendríamos:

$$[V_{\phi}] = [T] V_s \quad (2-3-13)$$

$$[I_{\phi}] = [T] I_s$$

Donde:

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

Siendo:

$[V_s]$, $[I_s]$ - Matrices en componentes de secuencia

$[V]$, $[I]$ - Matrices en componentes de fase

Reemplazando 2-3-13 en 2-3-12 se tiene:

$$[X_s] = [T]^{-1} [X] [T] \quad (2-3-14)$$

Dentro del programa, las admitancias capacitivas de secuencia se encuentran invirtiendo la matriz de reactancias capacitivas de secuencia.

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

3.1 PROGRAMA PRINCIPAL

El programa consta de tres etapas:

En la primera el computador forma matrices con tantas líneas y columnas como conductores existan en la configuración. Estas matrices así formadas pueden estar en OHMS/KM, OHMS o en P.U.

En la segunda, se combinan los subconductores (haces) y los hilos de guarda son eliminados matemáticamente para obtener un solo conductor por fase del circuito.

En la tercera etapa, se calculan las matrices en componentes de secuencia.

Las correcciones aplicadas a la impedancia para reflejar la influencia de retorno por tierra se basan en la consideración de la infinita serie de Carson.

La técnica de inversión de matrices utilizada en este programa es la misma que se describe en la referencia. Se ahorra considerable tiempo de computación utilizando este método y tomando ventaja de la simetría de las matrices.

ECUACIONES UTILIZADAS

El programa principal calcula las matrices Z y P

y determina el flujo lógico del problema. Las ecuaciones utilizadas en los cálculos son:

$$P_{kk} = -6.596 \times 10^6 (1/f) \log (4 \times Y_k / \text{DIA}_k) \quad \text{Ohm} - \text{KM}$$

$$P_{kj} = -6.596 \times 10^6 (1/f) \log (D'_{kj} / D_{ij}) \quad \text{"} \quad \text{"}$$

$$X_{kj} = 0.173623 (f/60) \log (D_{ij} \times 3.28083) \quad \text{Ohm/Km}$$

$$Z_{kk} = R_{kk} + j X P_{kk} (f/60) \quad \text{"}$$

$$Z_{kj} = 0 - j X_{kj} \quad \text{"}$$

$$P_{kk} = 0 + j P_{kk} \quad \text{Ohm} - \text{Km}$$

$$P_{kj} = 0 + j P_{kj} \quad \text{"}$$

$$D_{kj} = ((X_k - X_j)^2 + (Y_k - Y_j)^2)^{1/2} = \text{DISTAN}(k,j) \text{ Mts}$$

$$D'_{kj} = ((X_k - X_j)^2 + (Y_k - Y'_j)^2)^{1/2} = \text{IMAGEN}(k,j) \quad \text{"}$$

$$X_k, Y_k = \text{Coordenadas del conductor } k \text{ (mts)}$$

$$X'_k, Y'_k = \text{Coordenadas de la imagen del conductor } k \text{ (mts)}$$

$$\text{DIA} = \text{Diámetro de los conductores (mts)}$$

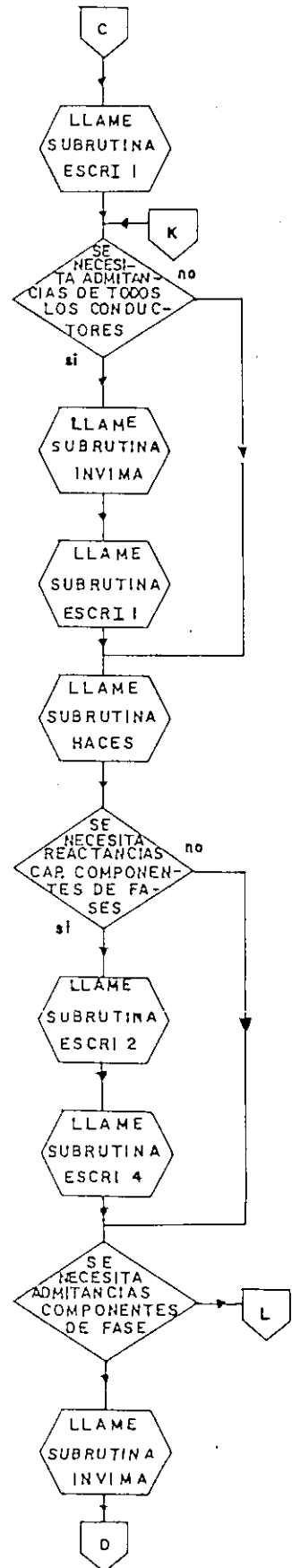
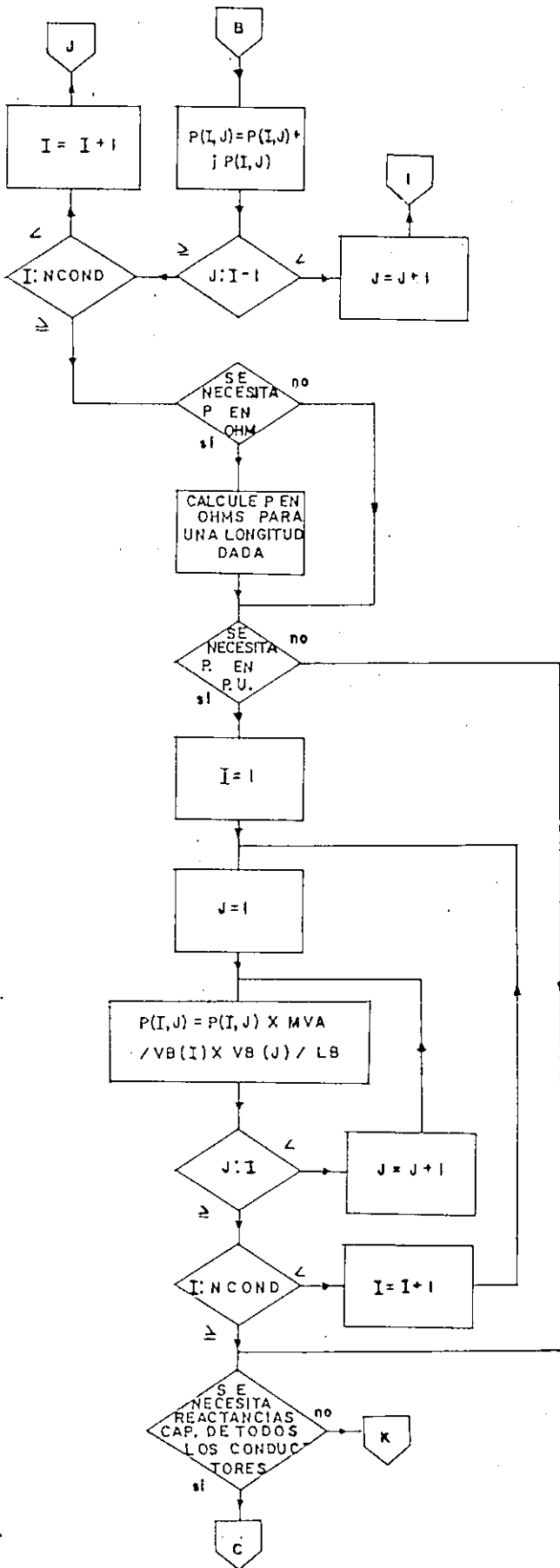
$$f = \text{Frecuencia del sistema (ciclos/seg)}$$

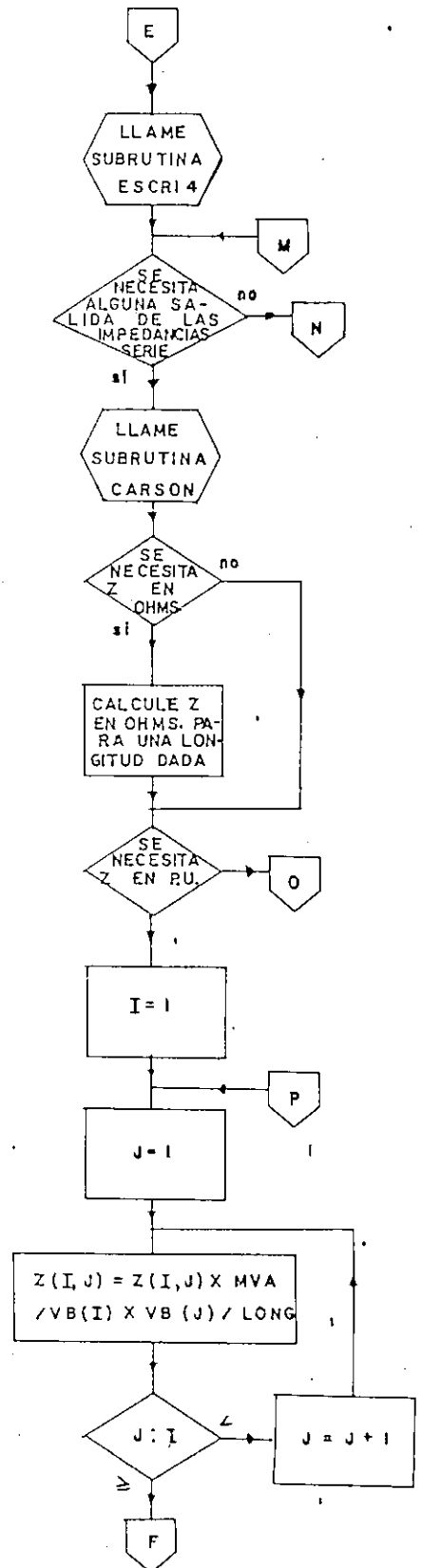
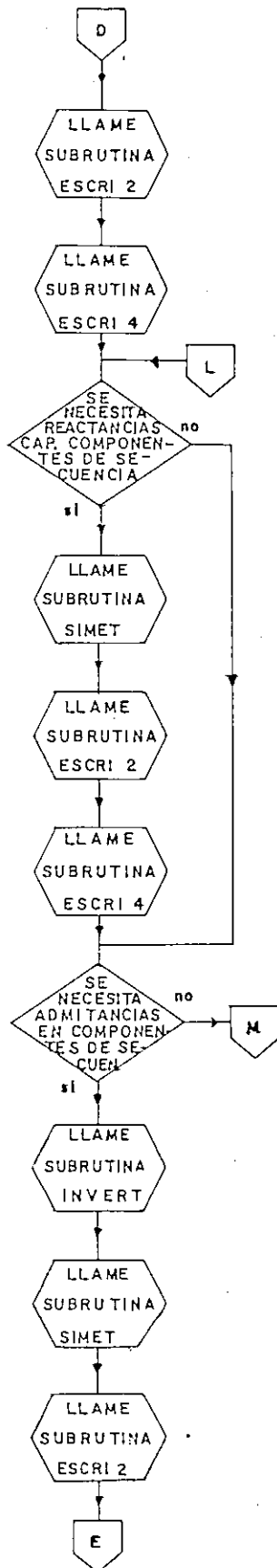
1 VARIABLES DIMENSIONADAS

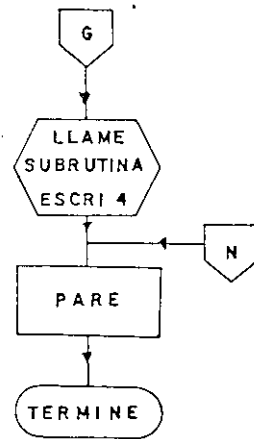
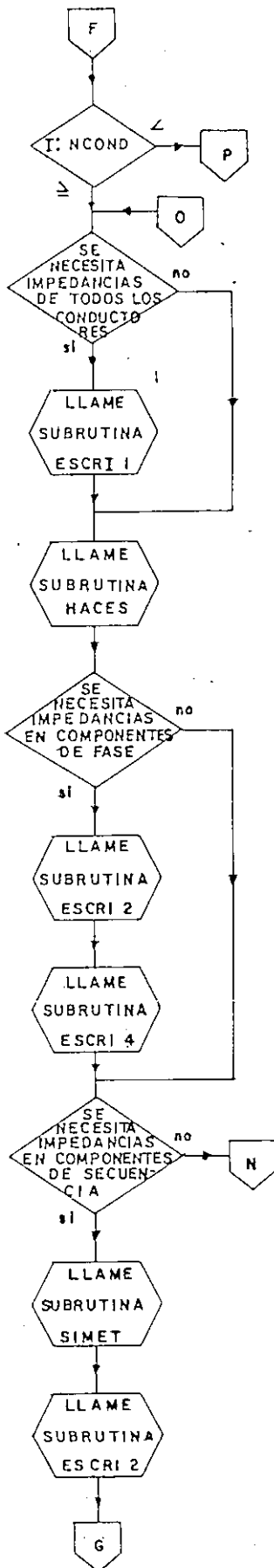
Z	Matriz cuadrada utilizada para guardar los parámetros electromagnéticos.
P	Matriz cuadrada utilizada para guardar los parámetros electrostáticos
FLECH	Flecha de los conductores
R	Resistencia de los conductores
XP	Reactancia inductiva de los conductores a un pie de separación
INFO	Información que va a ser impresa
NCLASE	Clase de conductor (conductor principal, - subconductor o hilo de guarda
NTIPO	Tipo de conductor (de acuerdo a la tabla - de voltaje base)
X	Coordenadas horizontales de los conductores
Y	Coordenadas verticales de los conductores
DIA	Diámetro de los conductores
VB	Voltaje base de las estructuras

2 VARIABLES NO DIMENSIONADAS

NCOND	Número de conductores
RHO	Resistividad de tierra
FREC	Frecuencia del sistema
CTIPO	Tipo de corrección de Carson requerida
NCAL	Tipo de cálculo requerido (Ohms, Ohms/km, P.U.)
CALCUL	Tipo de cálculo requerido (Electrostáticos, Electromagnéticos, o ambos)
PSAL	Tipo de salida para reactancias capacitivas
CSAL	Tipos de salida para admitancias capacitivas
ZSAL	Tipos de salida para impedancias serie
MVAB	MVA base del sistema
LONG	Longitud de la configuración







```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C          TESIS DE GRADO
C
C      'CALCULO DE PARAMETROS DE UNA L/T NO TRANSPUESTA'
C
C  PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO ELECTRICO
C
C          REALIZADA POR: L. RENE BARRAGAN A.
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

```

```

COMPLEX Z,P
DIMENSION Z(35,35),P(35,35),FLECH(35),R(35),XP(35),INFG(77),E(35,3
15),VB(5)
COMMON NCLASE(25),NTIPO(35),X(35),Y(35),DIA(35)
INTEGER CALCUL,PSAL,CSAL,ZSAL,CTIPO,TEST
REAL LONG,MVAB,LE
1000 WRITE(3,20)
80 FORMAT(1H1)
201 READ(1,200,END=100)TEST,INFG
200 FORMAT(13,77A1)
WRITE(3,203)INFO
203 FORMAT(77A1)
IF(TEST.EQ.999) GO TO 202
GO TO 201
202 READ(1,1)NCOND,RHO,FREC,CTIPO,CALCUL,NCAL,PSAL,CSAL,ZSAL,MVAB,LCNG
1 FORMAT(14,2F10.0,5I4,2F10.0)
KKK=NCOND
IF(LONG.EQ.0.)LONG=1.
IF(LONG.EQ.1.)GO TO 220
LE=LCNG/2.
GO TO 219
220 LE=1.
219 READ(1,215)(VB(I),I=1,3)
215 FORMAT(3F10.0)
WRITE(3,80)
3 FORMAT(1H1,///,7X,'DATOS DE INFORMACION DEL SISTEMA',/,6X,9(' - -
1),///,5X,'NO. DE CONDUCTORES =',I3,///,5X,'RESISTIVIDAD DE TIERRA =
2',F6.2,///,5X,'FRECUENCIA DEL SISTEMA =',F6.2,///,5X,'TIPO DE CORREC
3CION DE CARSON =',I1,///,5X,'POSIBLES TIPOS DE CALCULO:',/,/,15X
4,'1- PARAMETROS ELECTROMAGNETICOS',/,15X,'2- PARAMETROS ELECTROEST
5TATICOS',/,15X,'3- PARAMETROS ELECTROESTATICOS Y ELECTROMAGNETICOS'
6,/,5X,'TIPO DE CALCULO REQUERIDO =',I2,///,5X,'MVA BASE DEL SISTEM
7A =',F8.2,///,5X,'LONGITUD(KM) =',F8.2,///,5X,'VOLTAJE BASE DE LAS E
8STRUCTURAS :')
DO 216 I=1,3
VB(I)=ABS(VB(I))
WRITE(3,217)I,VB(I)
217 FORMAT(//,15X,'TORRE ',I2,1X,'=' ,F8.2,' KV')
L=L+1
IF(VB(L).EQ.0.)GO TO 218
216 CONTINUE
218 GO TO(4,5,6),NCAL
4 WRITE(3,110)
110 FORMAT(//,5X,'VALORES SON CALCULADOS EN OHMS/KM Y/O MHCS/KM',/,5X,
145(' *'))
GO TO 113
5 WRITE(3,111)LCNG,
111 FORMAT(//,5X,'VALORES SON CALCULADOS EN OHMS Y/O EN MHCS PARA UNA
1 LONGITUD DE LA LINEA DE ',F8.3,/,5X,83(' *'))
GO TO 113
6 WRITE(3,112)MVAB,LCNG
112 FORMAT(//,5X,'VALORES SON CALCULADOS EN P.U. PARA UNA BASE DE ',F8
1.2,' MVA', ' LONGITUD DE ',F8.3,' KMS',/,5X,85(' *'))
WRITE(3,80)
113 WRITE(3,7)
7 FORMAT(//,7X,'DATOS DE LCS CONDUCTORES',/,6X,' - - - - -
1- - - ',/,1X,'NO. COND.',6X,'R(OHM/KM)',5X,'X(OHM/KM)',6X,'DIAMETRO
2(MTS)',6X,'X(MTS)',8X,'Y(MTS)',6X,'FLECHA(MTS)',6X,'CLASE',6X,'TIP

```

```

30')
C  LECTURA DE LOS DATOS DE LOS CONDUCTORES
    DO 8 I=1,NCOND
    READ(1,9)P(I),XP(I),DIA(I),X(I),Y(I),FLECH(I),NCLASE(I),NTIPC(I)
9  FORMAT(6F10.0,2I4)
    DIA(I)=DIA(I)/100.
    WRITE(3,15)I,F(I),XP(I),DIA(I),X(I),Y(I),FLECH(I),NCLASE(I),NTIPC(
11)
15  FORMAT(15,4X,F13.4,2X,F13.4,6X,F10.6,3X,F13.2,2(1X,F13.2),4X,I8,2X
1,IE)
8  Y(I)=Y(I)-(FLECH(I)*2./3.)
    WRITE(3,80)
    GO TO(12,16,12),CALCUL
12  DO 10 I=1,NCOND
    Z(I,I)=CMPLX(F(I),XP(I)*FREC/60.)
    IF(I.EQ.1)GO TO 10
    L=I-1
    DO 11 J=1,L
    Z(I,J)=CMPLX(0.,-2.89372E-3*FREC*ALOG10(DISTAN(I,J)*3.280839))
11  CONTINUE
10  CONTINUE
    IF(CALCUL.NE.3)GO TO 56
16  DO 13 I=1,NCOND
    P(I,I)=CMPLX(0.,-6.5967EE/FREC*ALOG10(4.*Y(I)/DIA(I)))
    IF(I.EQ.1)GO TO 13
    L=I-1
    DO 14 J=1,L
    P(I,J)=CMPLX(0.,-6.5967EE/FREC*ALOG10(IMAGEN(I,J)/DISTAN(I,J)))
14  CONTINUE
13  CONTINUE
    IF(NCAL.EQ.1)GO TO 18
    IF(NCAL.EQ.3) GO TO 20
    DO 120 I=1,NCOND
    DO 120 J=1,I
120  P(I,J)=P(I,J)/LONG
    GO TO 18
20  LONG=ABS(LONG)
    DO 21 I=1,NCOND
    DO 21 J=1,I
    L=IABS(NTIPO(I))
    K=IABS(NTIPO(J))
21  P(I,J)=((P(I,J)*MVAB/(VB(K)*VB(L)))/LB)
18  DO 22 I=1,NCOND
    DO 22 J=1,I
22  B(I,J)=AIMAG(P(I,J))
    IF(PSAL.EQ.0)GO TO 32
    GO TO(24,32,24,32,24,32,24),PSAL

C
C
C  ESCRIBA MATRIZ DE REACTANCIAS CAPACITIVAS NCONDUCTORES
    DO 209 I=1,NCOND
    DO 209 J=1,I
209  P(I,J)=CMPLX(-0.,AIMAG(P(I,J)))
24  WRITE(3,161)
161  FORMAT(////////,120('*'))
    WRITE(3,150)
150  FORMAT(/,10X,'MATRIZ DE REACTANCIAS CAPACITIVAS')
    L=I
    CALL ESCRIB(NCAL,L) /
    WRITE(3,152)
152  FORMAT(/,10X,'CIRCUITO ORIGINAL')
    WRITE(3,153)
153  FORMAT(/,10X,'CONDUCTORES SIGUEN EL MISMO ORDEN QUE LA ENTADA EN
1 LAS TARJETAS DE DATOS')
    WRITE(3,160)
160  FORMAT(//,120('*'),////////)
    CALL ESCRIB(NCOND,P)
32  IF(CSAL.EQ.0) GO TO 33
    GO TO(28,33,28,33,28,33,28),CSAL
28  CALL INVIMA(NCOND,P)
C  ESCRIBA MATRIZ DE ADMITANCIAS NCONDUCTORES
    WRITE(3,161)
    WRITE(3,158)
158  FORMAT(/,10X,'MATRIZ DE ADMITANCIAS')
    L=3
    CALL ESCRIB(NCAL,L)
    WRITE(3,152)
    WRITE(3,153)
    WRITE(3,160)
    CALL ESCRIB(NCOND,P)

```

```

33 IF (PSAL.LE.1.AND.CSAL.LE.1) GO TO 56
DO 35 I=1,NCOND
DO 35 J=1,I
35 P(I,J)=CMPLX(0.,B(I,J))
ASIMILA LOS CONDUCTORES DE GUARDA Y HACES DE CONDUCTORES
CALL HACES(NCCND,P)
DO 131 I=1,NCCND
DO 121 J=1,I
P(I,J)=CMPLX(-0.,AIMAG(P(I,J)))
131 B(I,J)=AIMAG(P(I,J))
IF (PSAL.EQ.0) GO TO 38
GO TO (38,37,37,38,38,37,37),PSAL
C
C
C
C
ESCRIBA MATRIZ EQUIVALENTE ASIMILADGS HACES Y CABLES DE GUARDA
MATRIZ DE REACTANCIAS CAPACITIVAS. COMPONENTES DE FASE
37 WRITE(3,161)
WRITE(3,207)
207 FORMAT(/,10X,'REACTANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS')
KK=2
L=1
CALL ESCRIB(NCAL,L)
WRITE(3,221)
221 FORMAT(/,10X,'CIRCUITO EQUIVALENTE')
WRITE(3,160)
CALL ESCRIB2(KK,NCOND,P)
WRITE(3,161)
WRITE(3,205)
205 FORMAT(/,10X,'REACTANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS')
L=1
CALL ESCRIB(NCAL,L)
WRITE(3,221)
WRITE(3,160)
CALL ESCRIB4(KK,NCOND,P)
38 IF (CSAL.EQ.0) GO TO 48
GO TO (43,42,42,43,43,42,42),CSAL
C
C
C
MATRIZ DE ADMITANCIAS SHUNT. COMPONENTES DE FASE
42 CALL INVIMA(NCCND,P)
KK=2
WRITE(3,161)
WRITE(3,171)
171 FORMAT(/,10X,'ADMITANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS')
WRITE(3,154)
154 FORMAT(/,10X,'COMPONENTES DE FASE')
L=3
CALL ESCRIB(NCAL,L)
WRITE(3,221)
WRITE(3,160)
CALL ESCRIB2(KK,NCOND,P)
WRITE(3,161)
WRITE(3,173)
173 FORMAT(/,10X,'ADMITANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS')
WRITE(3,154)
L=3
CALL ESCRIB(NCAL,L)
WRITE(3,221)
WRITE(3,160)
CALL ESCRIB4(KK,NCOND,P)
48 IF (PSAL.LT.4.AND.CSAL.LT.4) GO TO 56
43 DO 36 I=1,NCOND
DO 36 J=1,I
36 P(I,J)=CMPLX(0.,B(I,J))
MATRIZ DE COMPONENTES SIMETRICOS
CALL SIMET(NCCND,P)
IF (PSAL.EQ.0) GO TO 54
GO TO (50,50,50,49,49,49,49),PSAL
C
C
C
MATRIZ DE REACTANCIAS CAPACITIVAS. COMPONENTES DE FRECUENCIA
49 WRITE(3,161)
L=1
DO 126 I=1,NCCND
DO 126 J=1,NCCND
126 P(I,J)=P(J,I)
KK=1
WRITE(3,210)
210 FORMAT(/,10X,'REACTANCIAS CAPACITIVAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS')
WRITE(3,206)

```

```

206 FORMAT(/,10X,'COMPONENTES DE SECUENCIA')
L=1
CALL ESCRIB(NCAL,L)
WRITE(3,221)
WRITE(3,160)
CALL ESCRI2(KK,NCOND,P)
WRITE(3,161)
*WRITE(3,211)
211 FORMAT(/,10X,'REACTANCIAS CAPACITIVAS MUTUAS DE LOS CIRCUITOS')
WRITE(3,156)
156 FORMAT(/,10X,'COMPONENTES DE SECUENCIA')
L=1
CALL ESCRIB(NCAL,L)
WRITE(3,221)
WRITE(3,160)
CALL ESCRI4(KK,NCOND,P)
54 IF(CSAL.LT.4)GO TO 56
DO 212 I=1,NCCND
DO 212 J=1,I
212 P(I,J)=CMPLX(0.,E(I,J))
50 GO TO(56,56,56,55,55,55,55),CSAL

```

C
C
C

```

MATRIZ DE ADMITANCIAS SHUNT. COMPONENTES DE SECUENCIA
55 CALL INVIMA(NCGND,P)
CALL SIMET(NCGND,P)
L=3
DO 208 I=1,NCCND
DO 208 J=1,NCCND
208 P(I,J)=P(J,I)
KK=1
WRITE(3,161)
WRITE(3,171)
WRITE(3,156)
L=2
CALL ESCRIB(NCAL,L)
WRITE(3,221)
WRITE(3,160)
CALL ESCRI2(KK,NCOND,P)
WRITE(3,161)
WRITE(3,173)
WRITE(3,156)
L=3
CALL ESCRIB(NCAL,L)
WRITE(3,221)
WRITE(3,160)
CALL ESCRI4(KK,NCOND,P)
56 IF(ZSAL.EQ.0)GO TO 100
NCCND=KKK
CALL CARSON(RHO,FREC,CTIPO,Z,NCOND)
IF(NCAL.EQ.1)GO TO 19
IF(NCAL.EQ.3)GO TO 124
LONG=ABS(LONG)
DO 121 I=1,NCCND
DO 121 J=1,I
121 Z(I,J)=Z(I,J)*LONG
GO TO 19
124 DO 123 I=1,NCCND
DO 123 J=1,I
L=IABS(NTIPO(I))
K=IABS(NTIPO(J))
123 Z(I,J)=((Z(I,J)*MVAB/(VB(K)*VB(L)))*LONG)
19 GO TO(60,61,60,61,60,61,60),ZSAL

```

C
C
C

```

MATRIZ DE IMPEDANCIAS SERIE. NCONDUCTORES
60 WRITE(3,161)
WRITE(3,159)
159 FORMAT(/,10X,'MATRIZ DE IMPEDANCIAS SERIE')
L=2
CALL ESCRIB(NCAL,L)
*WRITE(3,152)
WRITE(3,153)
WRITE(3,160)
CALL ESCRI1(NCCND,Z)
51 IF(ZSAL.LE.1)GO TO 100
GO TO(66,65,65,66,66,65,65),ZSAL

```

C
C
C

MATRIZ DE IMPEDANCIAS SERIE. COMPONENTES DE FASE

```

65 CALL HACES(NCCND,Z)
   KK=2
   WRITE(3,161)
   WRITE(3,170)
170 FORMAT(/,10X,'IMPEDANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS')
   WRITE(3,154)
   L=2
   CALL ESCRI3(NCAL,L)
   WRITE(3,221)
   WRITE(3,160)
   CALL ESCRI2(KK,NCOND,Z)
   WRITE(3,161)
   WRITE(3,172)
172 FORMAT(/,10X,'IMPEDANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS')
   WRITE(3,154)
   L=2
   CALL ESCRI3(NCAL,L)
   WRITE(3,221)
   WRITE(3,160)
   CALL ESCRI4(KK,NCOND,Z)
C   MATRIZ DE COMPONENTES SIMETRICOS
66 IF(ZSAL.LT.4)GC TO 100
C
C   MATRIZ DE IMPEDANCIAS SERIE. COMPONENTES DE SECUENCIA
GO TO(100,100,100,70,70,70,70),ZSAL
70 CALL SIMET(NCCND,Z)
   KK=1
   WRITE(3,161)
   WRITE(3,170)
   WRITE(3,156)
   L=2
   CALL ESCRI3(NCAL,L)
   WRITE(3,221)
   WRITE(3,160)
   CALL ESCRI2(KK,NCOND,Z)
   WRITE(3,161)
   WRITE(3,172)
   WRITE(3,156)
   WRITE(3,221)
   WRITE(3,160)
   CALL ESCRI4(KK,NCOND,Z)
GO TO 1000
100 STGP
END

```

3.2 SUBRUTINAS

1. SUBRUTINA CARSON

La subrutina Carson corrige los coeficientes de la matriz de impedancias serie para efectos de retorno por tierra.

Estos términos de corrección son los siguientes:

$$\Delta R_{kk} = 0.0592187 (f/60) - 0.06088 (f/60) (Y_k/10^3) \sqrt{f/\rho} + \dots$$

$$\Delta R_{kj} = 0.0592187 (f/60) - 0.06088 (f/60) ((Y_k + Y_j)/2000) \sqrt{f/\rho} + \dots$$

$$\Delta X_{kk} = 0.173623 (f/60) \log (2162.5361 X \sqrt{\rho/f}) + 0.06088 (f/60) (Y_k/10^3) \sqrt{f/\rho} \dots$$

$$\Delta X_{kj} = 0.173623 (f/60) \log (2162.5361 X \sqrt{\rho/f}) + 0.06088 (f/60) ((Y_k + Y_j) / 2000) \sqrt{f/\rho} \dots$$

La forma de corrección es la siguiente:

Sea:

Z_{kk} y Z_{kj} Coeficientes de la matriz de impedancias sin incluir el efecto de retorno por tierra

Z'_{kk} y Z'_{kj} Coeficientes de la matriz de impedancias incluido el efecto de retorno por tierra.

Tenemos que:

$$Z'_{kk} = Z_{kk} + \Delta R_{kk} + j \Delta X_{kk}$$

$$Z'_{kj} = Z_{kj} + \Delta R_{kj} + j \Delta X_{kj}$$

La solución de Carson para los problemas de retorno por tierra se presentan en forma de series infinitas. Los términos de corrección utilizadas en la parte superior han sido extraídos de una equivalente, pero menos formidable serie infinita, dadas en la referencia. 5

Esta subrutina permite tres posibles órdenes de corrección:

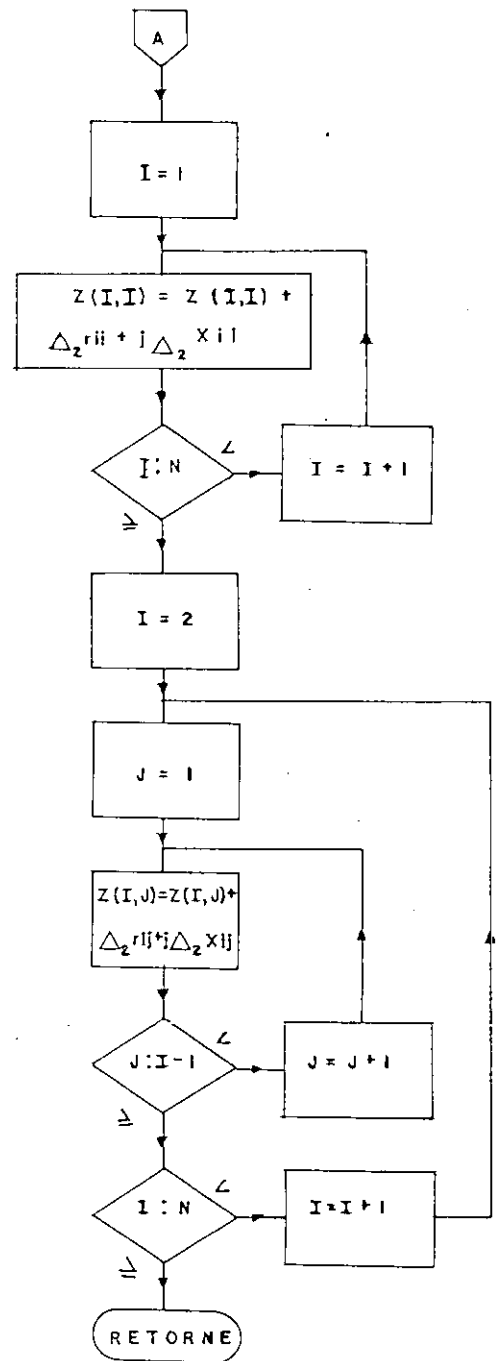
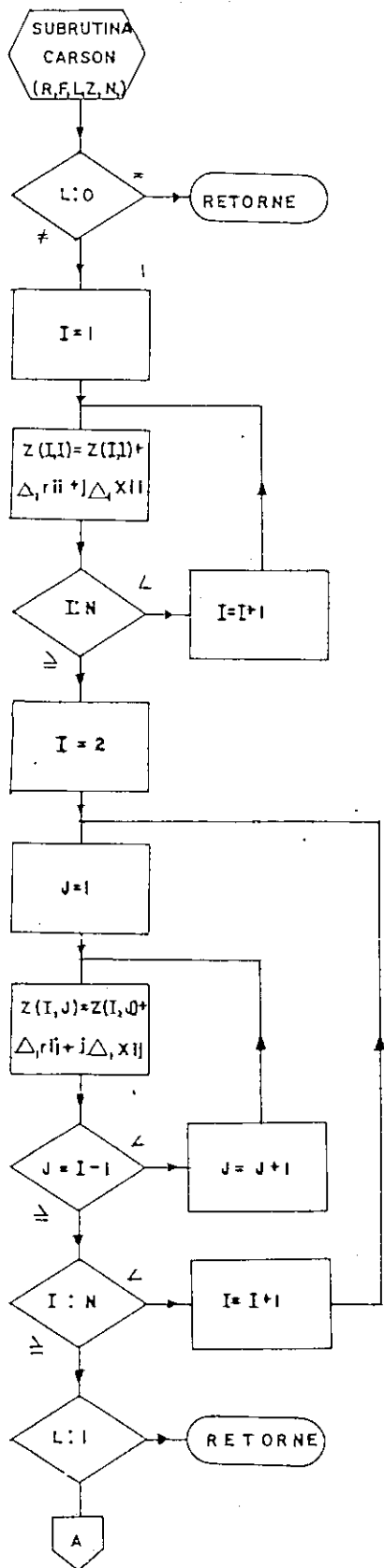
- ✓ 1. No corrección (no existe retorno por tierra)
2. Primer orden de corrección (solo son utilizados los primeros términos de las series)
3. Segundo orden de corrección (Solo son utilizados los dos primeros términos de las series)

La no corrección se la debe utilizar cuando no se tiene el sistema conectado a tierra. El primer orden de corrección es el comunmente más utilizado, desprecia la altura del conductor respecto a tierra y se lo utiliza cuando se dispone de configuraciones de una sola estructura. El segundo orden de corrección considera la altura del conductor respecto a tierra y se le utiliza cuando se dispone de configuraciones con torres adyacentes.

VARIABLES

Z	Matriz de impedancias serie
R	Resistividad de tierra
F	Frecuencia del sistema
L	Tipo de corrección utilizada
N	Número de conductores
Y_K	Altura de los conductores

SUBROUTINA CARSON



```

SUBROUTINE CAFSCN(R,F,L,Z,N)
COMPLEX Z
DIMENSION Z(35,35)
ESTA SUBROUTINA REALIZA LAS CORRECCIONES DE CARSCN PARA RETORNO POR TIERRA
R=RESISTIVIDAD DE LA TIERRA,F=FRECUENCIA DEL SISTEMA,L=TIPO DE CCFREC
COMMON NCLASE(35),NTIPO(25),X(35),Y(35),DIA(35)
NCOND=N
IF(L.EQ.0) RETURN
DO 1 I=1,NCOND
Z(I,I)=Z(I,I)+CMPLX(586.97E-6*F,2.8937E-3*F*ALOG10(2162.54*SQRT(F/
1F)))
DO 2 J=1,I
IF(J.EQ.I)GO TO 2
Z(I,J)=Z(I,J)+CMPLX(986.97E-6*F,2.8937E-3*F*ALOG10(2162.54*SQRT(F/
1F)))
2 CONTINUE
1 CONTINUE
IF(L.EQ.1) RETURN
DO 3 I=1,NCOND
Z(I,I)=Z(I,I)+CMPLX(-1.014699E-6*F*Y(I)*SQRT(F/R),1.014699E-6*F*Y(
1I)*SQRT(F/R))
DO 4 J=1,I
IF(J.EQ.I)GO TO 4
Z(I,J)=Z(I,J)+CMPLX(-507.3495E-9*(Y(I)+Y(J))*SQRT(F/R)*F,507.3495E
1-9*F*(Y(I)+Y(J))*SQRT(F/R))
4 CONTINUE
3 CONTINUE
RETURN
END

```

2. SUBROUTINA INVERT

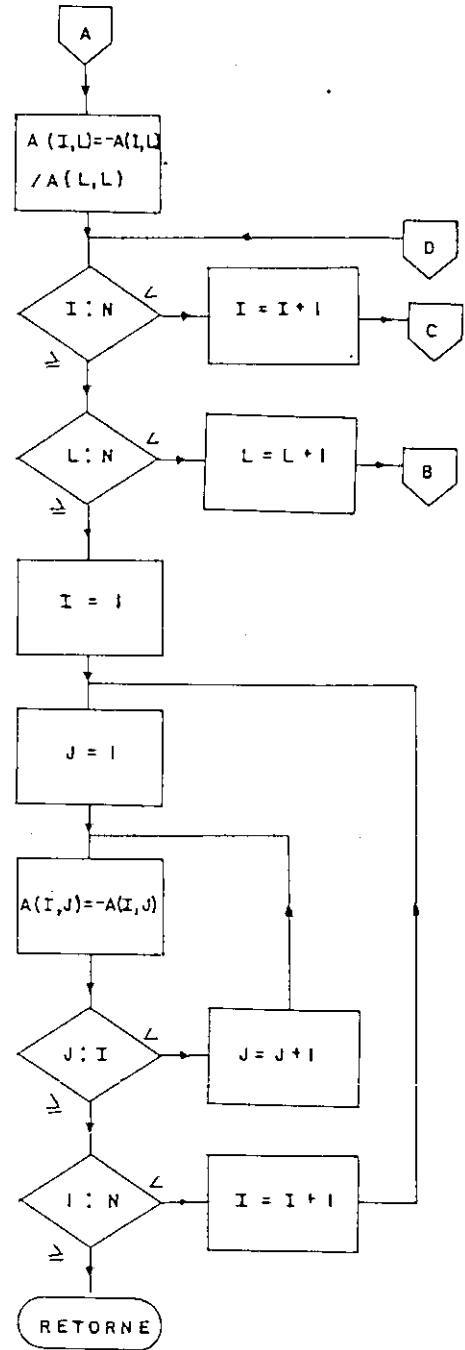
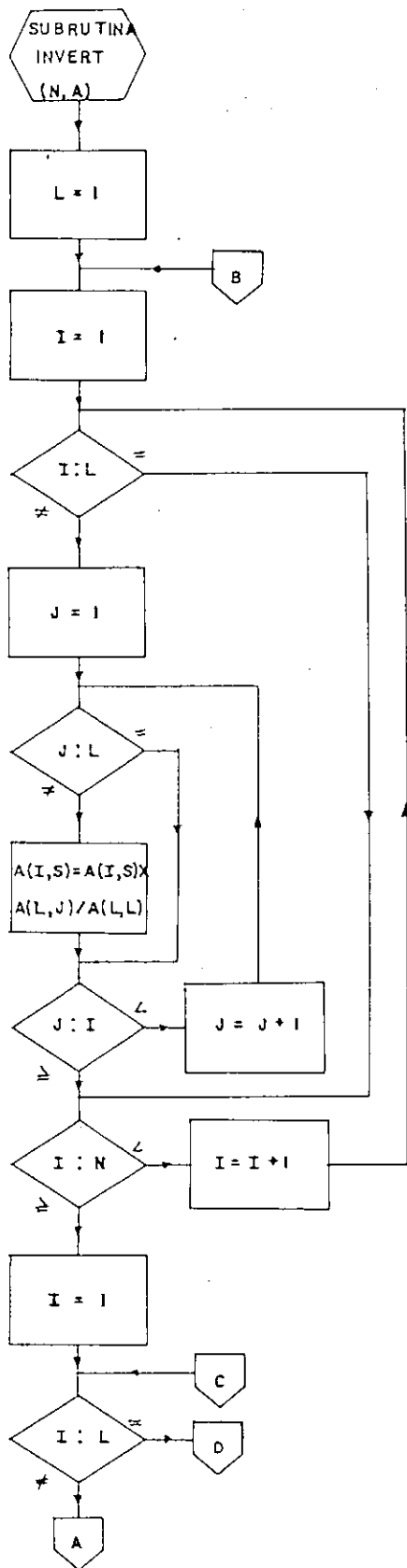
La subrutina INVERT invierte una matriz simétrica compleja, guardada en forma triangular inferior, utilizando el método desarrollado por SHIPLEY - COLEMAN⁴.

La matriz simétrica es reemplazada por su inversa.

VARIABLES

N	Número de conductores
A	matriz compleja a invertirse

SUBROUTINA INVERT



```

SUBROUTINE INVERT(N,A)
ESTA SUBROUTINA INVIERTE UNA MATRIZ COMPLEJA SEGUN EL METODO DESARROLLADO POR
SHIPLEY Y COLEMAN
TODAS LAS OPERACIONES LAS REALIZA EN LA TRIANGULAR INFERIOR
N=NUMERO DE CONDUCTORES , A=MATRIZ A INVERTIRSE
COMPLEX A
DIMENSION A(35,35)
DO 1 L=1,N
DO 2 I=1,N
IF(I.EQ.L) GO TO 2
II=AMAX0(I,L)
LL=AMIN0(I,L)
DO 5 J=1,I
IF(J.EQ.L) GO TO 5
JJ=AMIN0(J,L)
LLL=AMAX0(J,L)
IF(CABS(A(II,LL)*A(LLL,JJ)).LT.1.E-20) GO TO 5
A(I,J)=A(I,J)-A(II,LL)*A(LLL,JJ)/A(L,L)
5 CONTINUE
2 CONTINUE
DO 3 I=1,N
IF(I.EQ.L) GO TO 3
II=AMIN0(L,I)
LL=AMAX0(L,I)
A(LL,II)=-A(LL,II)/A(L,L)
3 CONTINUE
1 A(L,L)=-1./A(L,L)
DO 4 I=1,N
DO 4 J=1,I
4 A(I,J)=-A(I,J)
RETURN
END

```

3. SUBROUTINA INVIMA

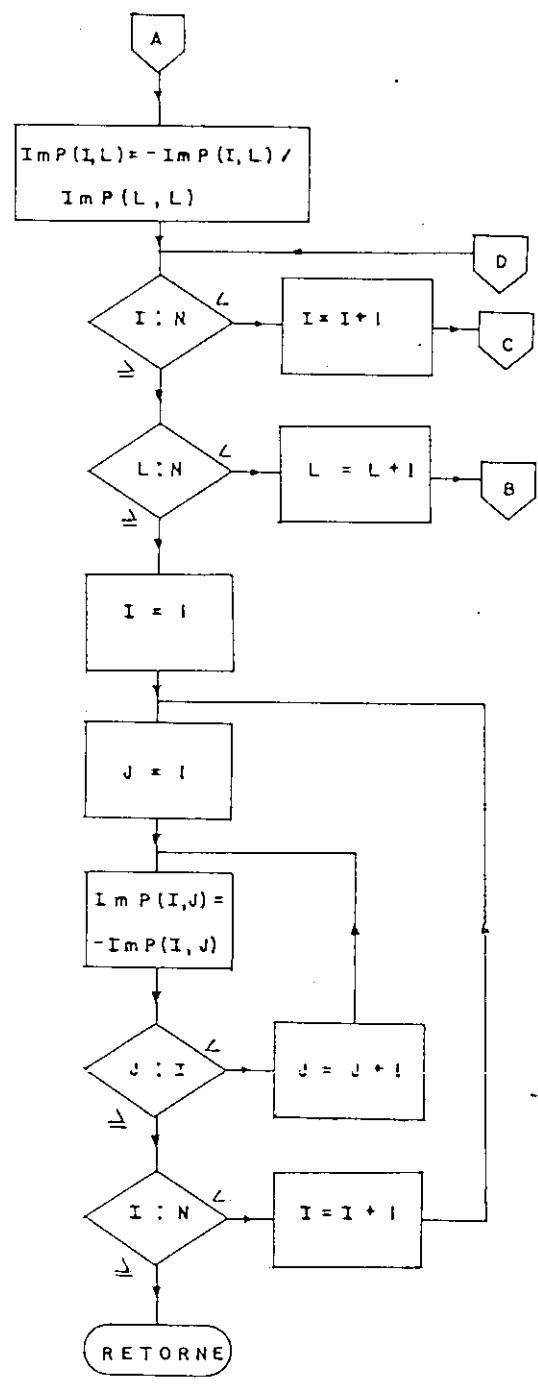
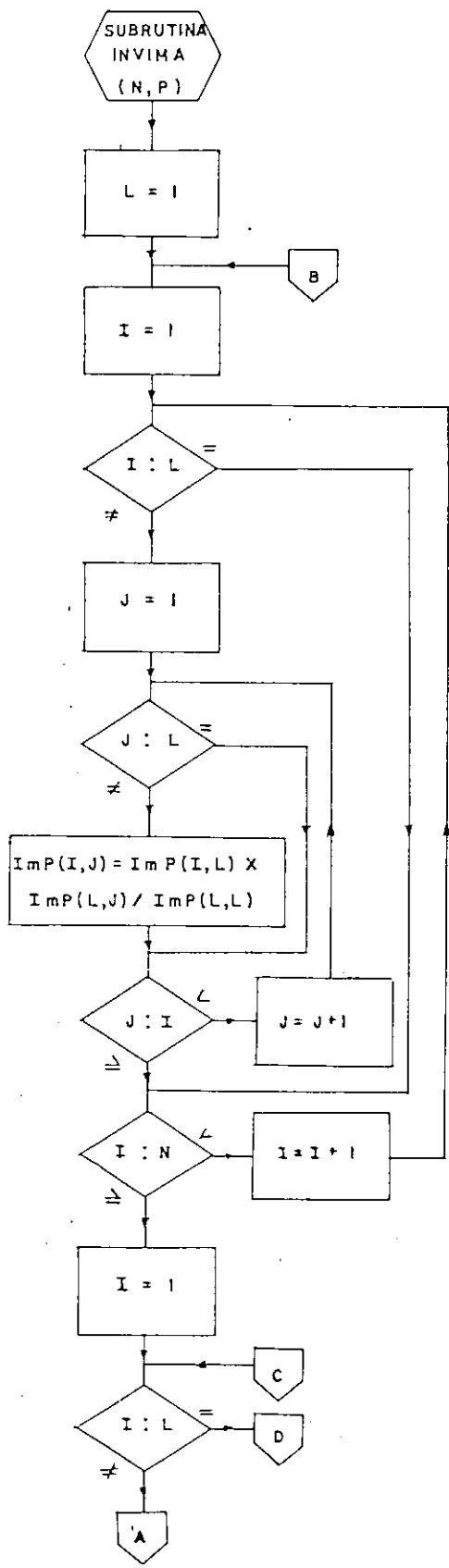
La subrutina INVIMA invierte una matriz simétrica imaginaria, guardada en forma triangular inferior, utilizando el método desarrollado por SHIPLEY - COLEMAN.⁴

La matriz imaginaria simétrica es reemplazada por su inversa.

VARIABLES

N	Número de conductores
P	Matriz imaginaria a invertirse

SUBROUTINA INVIMA



```

SUBROUTINE INVIMA(N,P)
C ESTA SUBROUTINA INVIERTA UNA MATRIZ IMAGINARIA DEJANDO INVARIABLE LA PARTE
C SIGUE EL METODO DESARROLLADO POR SHIPLEY Y CLEMAN
C TODAS LAS OPERACIONES LAS REALIZA EN LA TRIANGULAR INFERIOR
C N=NUMERO DE CONDUCTORES , P=MATRIZ A INVERTIRSE
COMPLEX P
DIMENSION P(35,35),Y(35)
DO 1 L=1,N
DO 2 I=1,N
IF(I.EQ.L)GO TO 2
II=AMAX0(I,L)
LL=AMIN0(I,L)
DO 5 J=1,I
IF(J.EQ.L)GO TO 5
JJ=AMIN0(J,L)
LLL=AMAX0(J,L)
Y(I)=AIMAG(P(II,LL))*AIMAG(P(LLL,JJ))
IF(ABS(Y(I)).LT.1.E-20)GO TO 5
P(I,J)=P(I,J)-CMPLX(0.,Y(I)/AIMAG(P(L,L)))
5 CONTINUE
2 CONTINUE
DO 3 I=1,N
IF(I.EQ.L)GO TO 3
II=AMIN0(L,I)
LL=AMAX0(L,I)
P(LL,II)=CMPLX(REAL(P(LL,II)),-AIMAG(P(LL,II))/AIMAG(P(L,L)))
3 CONTINUE
1 P(L,L)=CMPLX(REAL(P(L,L)),-1./AIMAG(P(L,L)))
RETURN
END

```

4. SUBROUTINA HACES

La subrutina HACES combina los haces de conductores para obtener un conductor equivalente por fase y asimila los hilos de guarda de las matrices Z y P del programa principal realizando todas las operaciones en la triangular inferior de la matriz. Los hilos de guarda se considera que están sólidamente puestos a tierra y no tienen f. e. m.

ASIMILACION DE HILOS DE GUARDA¹

La forma de asimilación de los hilos de guarda se puede comprender mejor mediante el siguiente ejemplo en el cual el cuarto conductor se considera que es el hilo de guarda (conductor g)

Ejemplo:

$$\begin{vmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ag} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bg} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cg} \\ Z_{ga} & Z_{gb} & Z_{gc} & Z_{gg} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_g \end{vmatrix}$$

Despejando I_g se tiene:

$$I_g = -(Z_{gg})^{-1} (Z_{ga} I_a + Z_{gb} I_b + Z_{gc} I_c)$$

Sustituyendo este valor en las tres primeras ecuaciones se obtiene el siguiente sistema reducido:

$$\begin{vmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z'_{aa} & Z'_{ab} & Z'_{ac} \\ Z'_{ba} & Z'_{bb} & Z'_{bc} \\ Z'_{ca} & Z'_{cb} & Z'_{cc} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{vmatrix}$$

en donde:

$$Z'_{kj} = Z_{kj} - Z_{kg} (Z_{gg})^{-1} Z_{gj} \quad \text{para } k \neq g, j \neq g$$

El mismo procedimiento es utilizado para la matriz P en donde $V = P \times q$

COMBINACION DE HACES DE CONDUCTORES¹

La subrutina combina haces de conductores para obtener un solo conductor equivalente por fase.

El siguiente ejemplo ilustra el método:

Se considera que el conductor n forma un haz de conductores con el conductor a ($V_n = V_a$)

$$\begin{vmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cn} \\ Z_{na} & Z_{nb} & Z_{nc} & Z_{nn} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_n \end{vmatrix}$$

Sustrayendo la fila 4 de la 1 tenemos:

$$\begin{array}{c|cccc|c} V_a & Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} & I_a \\ V_b & Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} & I_b \\ V_c & Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cn} & I_c \\ 0 & Z_{na} - Z_{aa} & Z_{nb} - Z_{ab} & Z_{nc} - Z_{ac} & Z_{nn} - Z_{an} & I_n \end{array}$$

Para restaurar la simetría sustraemos la columna 4 de la columna 1:

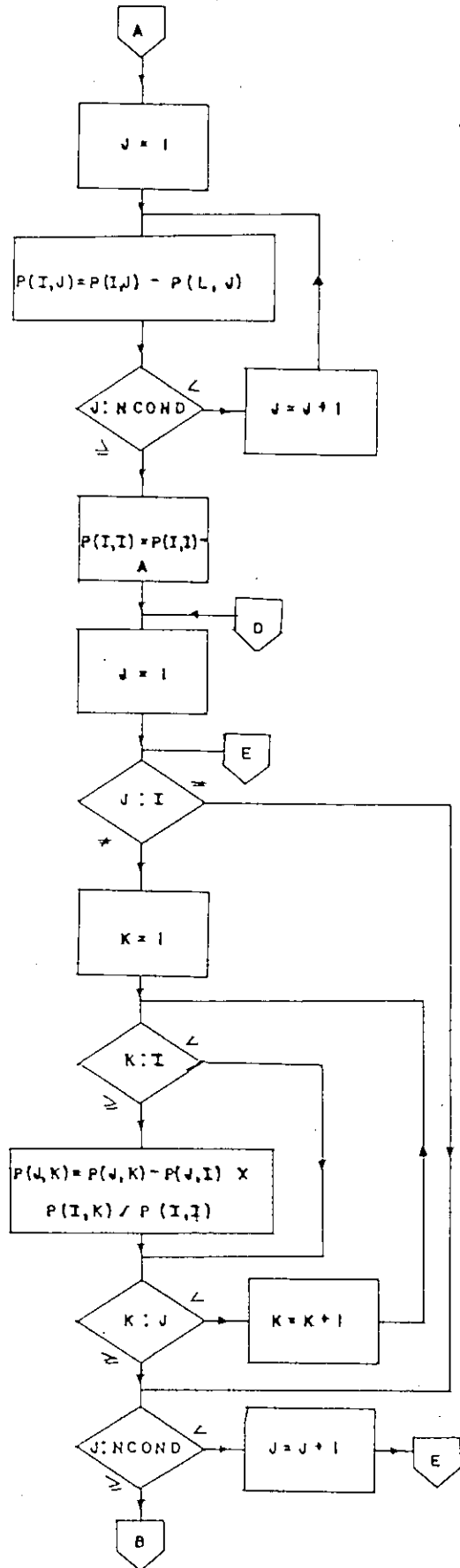
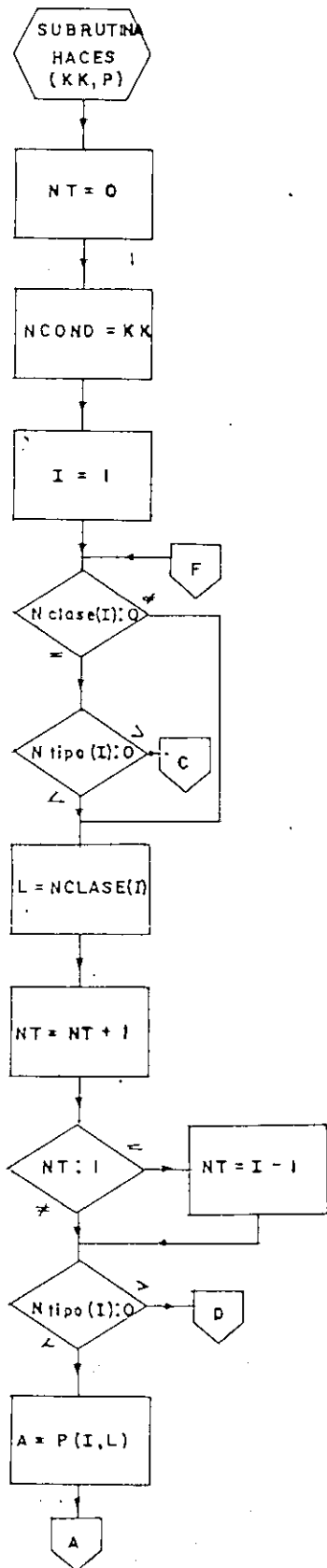
$$\begin{array}{c|cccc|c} V & Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} - Z_{aa} & I_a + I_n \\ V & Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} - Z_{ba} & I_b \\ V & Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cn} - Z_{ca} & I_c \\ 0 & Z_{na} - Z_{aa} & Z_{nb} - Z_{ab} & Z_{nc} - Z_{ac} & Z_{nn} - Z_{an} - Z_{na} + Z_{aa} & I_n \end{array}$$

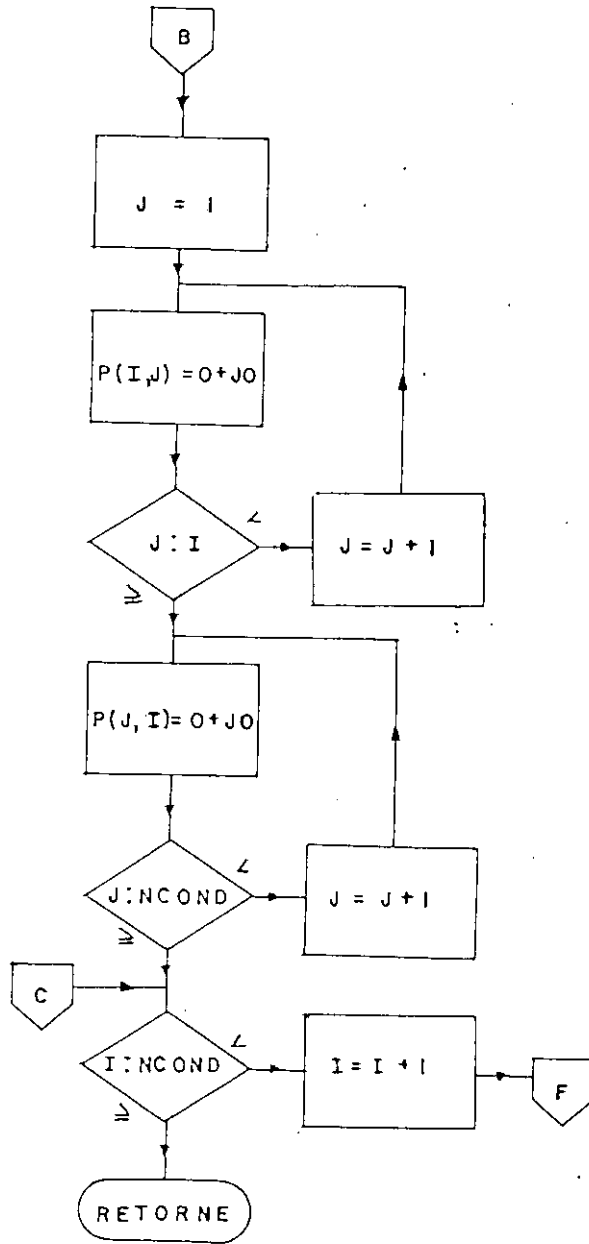
La matriz obtenida es semejante a la matriz que teníamos inicialmente con los hilos de guarda. Se despeja I_n reemplazándole en las tres primeras ecuaciones, obteniéndose de esta forma un circuito equivalente de un conductor por fase. El mismo procedimiento se puede seguir cualquiera sea el número de haces involucrados en el cálculo.

VARIABLES

KK	Número de conductores
P	Matriz a reducirse

SUBROUTINA HACES





SUBROUTINE HACES(KK,P)
 ESTA SUBROUTINA COMBINA LOS HACES DE CONDUCTORES PARA OBTENER UN CONDUCTOR EQUIVALENTE POR FASE Y ASIMILA LOS HILOS DE GUARDA
 TODAS LAS OPERACIONES LAS REALIZA EN LA TRIANGULAR INFERIOR DE LA MATRIZ
 KK=NUMERO DE CONDUCTORES , P=MATRIZ A MODIFICARSE

```

  COMPLEX P,A
  DIMENSION P(35,35)
  COMMON NCLASE(35),NTIPO(35),X(35),Y(35),DIA(35)
  NCGND=KK
  NT=0
  DO 1 I=1,NCGND
  IF((NCLASE(I).EQ.0).AND.(NTIPO(I).GT.0))GO TO 1
  L=NCLASE(I)
  NT=NT+1
  IF(NT.EQ.1) KK=I-1
  IF(NTIPO(I).LT.0)GO TO 2
  A=P(I,L)
  DO 3 J=1,NCGND
  JJ=AMINO(I,J)
  II=AMAXO(I,J)
  LL=AMAXO(J,L)
  JJJ=AMINO(J,L)
  3 P(II,JJ)=P(II,JJ)-P(LL,JJJ)
  P(I,I)=P(I,I)-A
  2 DO 4 J=1,NCGND
  IF(J.EQ.I) GO TO 4
  DO 6 K=1,J
  IF(K.EQ.I) GO TO 6
  JJJ=AMAXO(J,I)
  KKK=AMINO(K,I)
  LL=AMINO(I,J)
  LLL=AMAXO(K,I)
  P(J,K)=P(J,K)-P(JJJ,LL)*P(LLL,KKK)/P(I,I)
  6 CONTINUE
  4 CONTINUE
  DO 5 J=1,NCGND
  JJ=AMAXO(J,I)
  LL=AMINO(J,I)
  5 P(JJ,LL)={0.,0.}
  1 CONTINUE
  RETURN
  ENC

```

5. SUBROUTINA SIMET

La subrutina SIMET transforma las matrices P y Z del programa principal de componentes de fase a componentes de secuencia.

La matriz antes de la transformación es de orden $N \times N$ donde N es un múltiplo de 3, o en su defecto $N = 3 \times C$ en donde C es el número de circuitos de la configuración.

La subrutina divide la matriz original en submatrices de orden 3×3 , y estas submatrices son individualmente transformadas.

El método de transformación es el utilizado en la referencia¹ y en el caso más simple para un solo circuito tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

o en notación abreviada:

$$[V] = [Z] [I]$$

Los voltajes en componentes de secuencia, están definidos como:

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

En donde:

$$\begin{aligned}
 a &= 1 \angle 120^\circ \\
 a^2 &= 1 \angle 240^\circ \\
 T^{-1} &= 1/3 \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{vmatrix}
 \end{aligned}$$

$$[V_s] = [T]^{-1} [V_\phi]$$

En forma similar, la corriente en componentes de secuencia viene dada por:

$$[I_s] = [T]^{-1} [I_\phi]$$

y como:

$$[V_s] = [Z_s] [I_s] = [T]^{-1} [Z_\phi] [T] [I_s]$$

Siendo:

$$[Z_s] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & + & - \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ + \\ - \end{matrix} & \begin{vmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{vmatrix} \end{matrix}$$

Siendo $[Z_s]$ una matriz no simétrica ya que $Z_{01} \neq Z_{10}, \neq Z_{20}, \text{etc.}$

Esto sucede siempre que los conductores tengan disposición asimétrica. Salvo el caso que los conductores estén simétricamente dispuestos es posible obtener una matriz de impedancias diagonalizadas o impedancias por fase, en cuyo caso la matriz de componentes de secuencia también sería una matriz diagonalizada pudiéndose obtener diagramas de secuencia independientes entre sí.

Existe un artificio¹ por el cual a esta matriz se la puede convertir en una matriz simétrica. La ecuación de la impedancia en componentes de secuencia viene dada por:

$$[Z_s] = [T]^{-1} [Z_\phi] [T]$$

a esta ecuación, multiplicándola y dividiendo para $[T]$ nos queda:

$$\begin{aligned} [Z_s] &= [T]^{-1} [Z_\phi] [T] [T]^{-1} [T] \\ &= 3 Z_t [T] [T] \end{aligned}$$

En-donde:

$$Z_t = 1/3 [T]^{-1} [Z_\phi] [T]^{-1}$$

con lo cual hemos convertido a la matriz Z_t en una matriz simétrica, intercambiadas, eso sí, sus columnas 2 y 3 respecto a la matriz original.

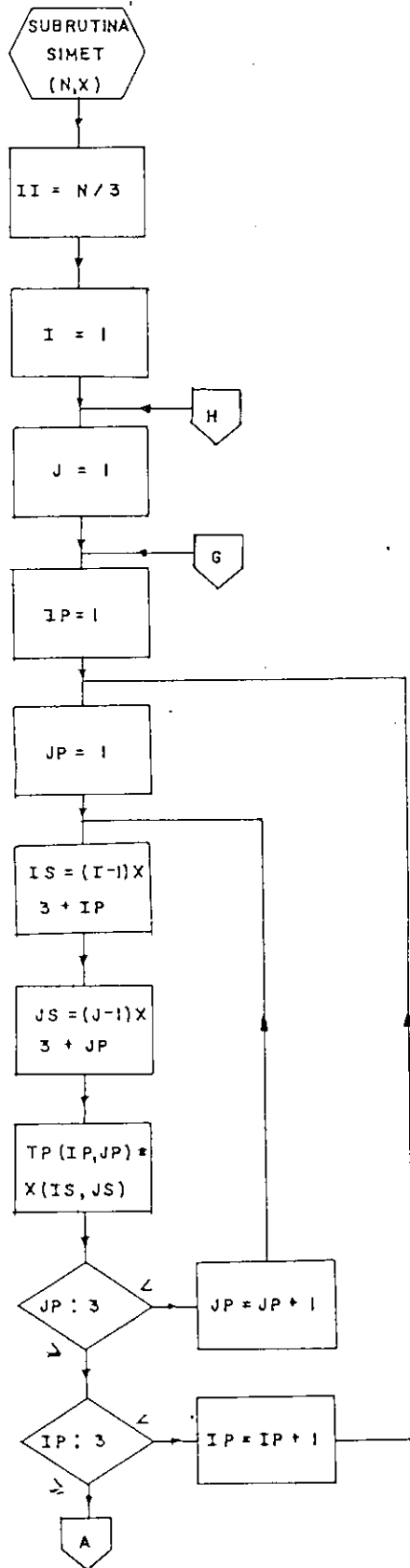
$$Z_t = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & - & + \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ + \\ - \end{matrix} & \begin{vmatrix} Z_{00} & Z_{02} & Z_{01} \\ Z_{10} & Z_{12} & Z_{11} \\ Z_{20} & Z_{22} & Z_{21} \end{vmatrix} \end{matrix}$$

Aprovechando la simetría de la matriz por medio de este artificio, todas las operaciones dentro de la subrutina se realizan en la triangular inferior de la matriz, - ahorrando en esta forma tiempo y memoria del computador.

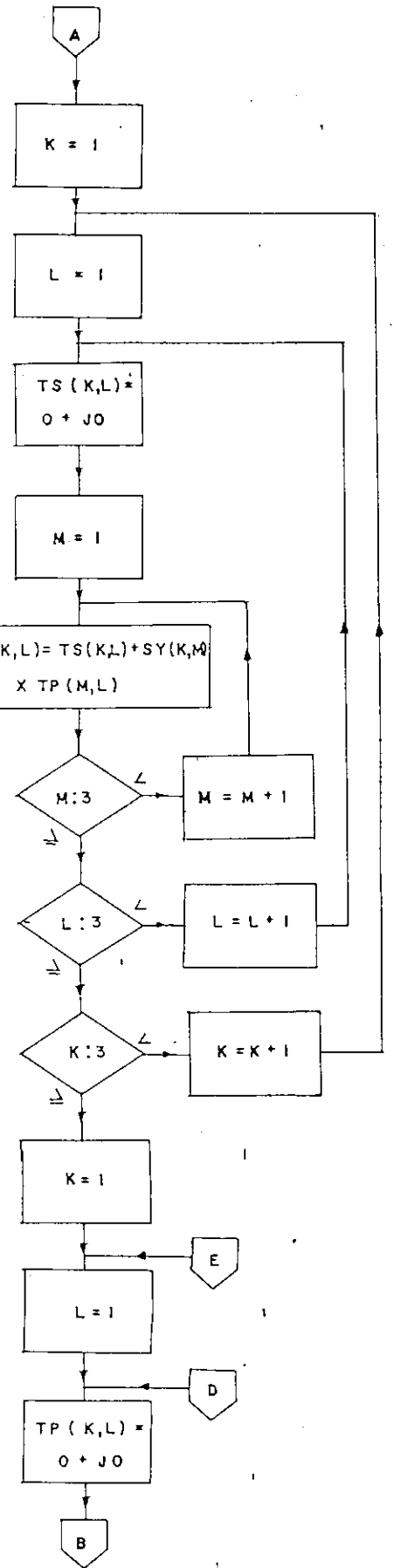
VARIABLES

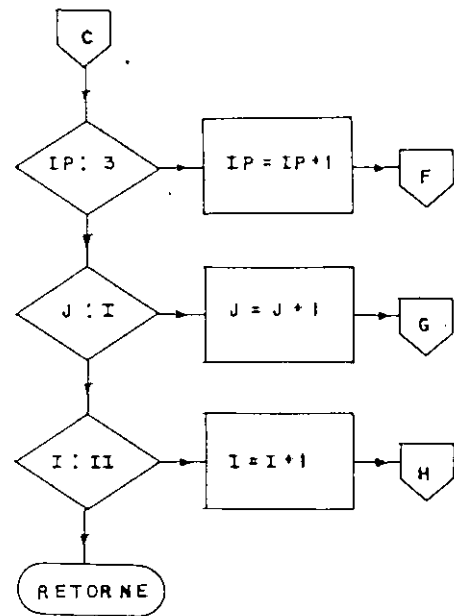
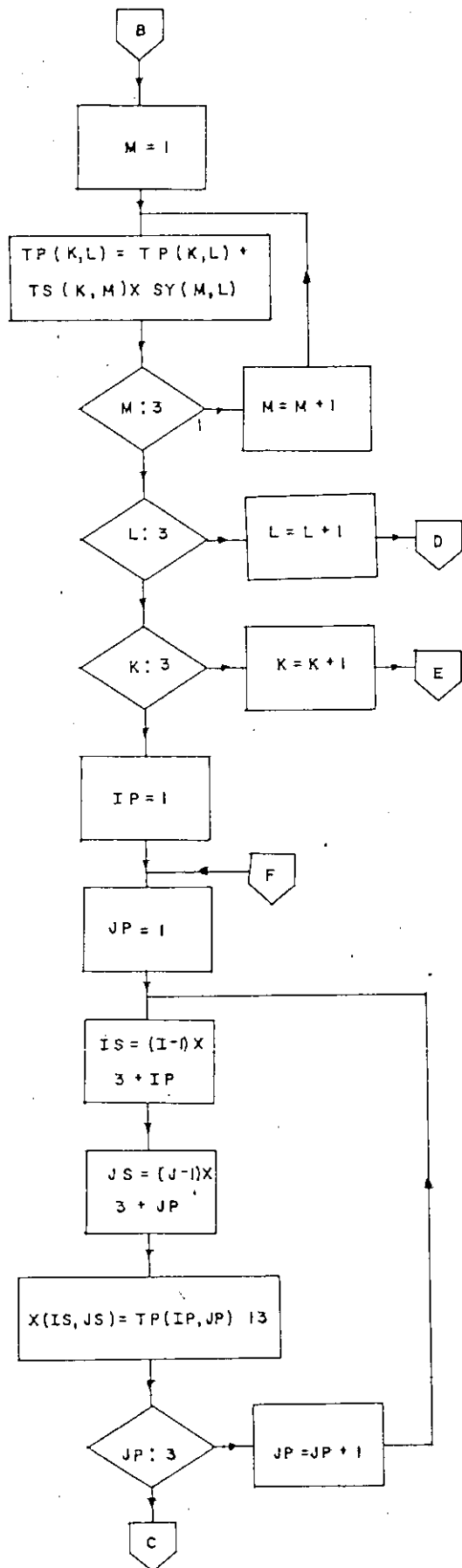
N	Número de conductores
X	Matriz a transformarse
SY	Matriz inversa de componentes de secuencia

SUBROUTINA SIMET



$$SY = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$





```

SUBROUTINE SIMET(N,X)
C ESTA SUBROUTINA CONVIERTE LA MATRIZ DE COMPONENTES DE FASE EN COMPONENTES DE SE-
C CUENCIA
C TODAS LAS OPERACIONES LAS REALIZA EN LA TRIANGULAR INFERIOR DE LA MATRIZ
C N=NUMERO DE CONDUCTORES , X=MATRIZ A TRANSFORMARSE ,SY=MATRIZ INVERSA DE COMPO-
C NENTES DE SECUENCIA
      COMPLEX X,SY,TS,TP
      DIMENSION X(3S,3S),SY(3,3),TS(3,3),TP(3,3)
C DESIGNA LA MATRIZ INVERSA DE COMPONENTES SIMETRICOS
C
C      I      1      1      1      I
C      I      I      I
C (1/3)*      I      1      A      A**2I
C      I      1A**2      AI
      DATA ((SY(I,J),I=1,3),J=1,3)/4*(1.,0.),(-.5.,.8660255),(-.5,-.86602
      5)
01) ILF013I SYNTAX
      ISS=(1.,0.),(-.5,-.8660255),(-.5.,.8660255)/
      CREALIZA LA PARTICION DE LA MATRIZ A UNA 3 POR 3
      II=N/3
      DO 1 I=1,II
      DO 1 J=1,I
      DO 2 IP=1,3
      DO 2 JP=1,3
      IS=(I-1)*3+IP
      JS=(J-1)*3+JP
      IIS=AMAX0(IS,JS)
      JJS=AMIN0(IS,JS)
      2 TP(IP,JP)=X(IIS,JJS)
      DO 3 K=1,3
      DO 3 L=1,3
      TS(K,L)=(0.,0.)
      DO 3 M=1,3
      CMULTIPLICA LA MATRIZ INVERSA DE COMPONENTES SIMETRICOS POR LA PARTICION DE LA
      C MATRIZ ORIGINAL
      3 IS(K,L)=SY(K,M)*TP(M,L)+TS(K,L)
      DO 4 K=1,3
      DO 4 L=1,3
      TP(K,L)=(0.,0.)
      DO 4 M=1,3
      C A LA MATRIZ RESULTADO LE MULTIPLICA POR LA MATRIZ INVERSA DE COMPONENTES SIMET-
      C RICOS
      4 TP(K,L)=TS(K,M)*SY(M,L)+TP(K,L)
      DO 1 IP=1,3
      DO 1 JP=1,3
      IS=(I-1)*3+IP
      JS=(J-1)*3+JP
      IIS=AMAX0(IS,JS)
      JJS=AMIN0(IS,JS)
      C A LA MATRIZ RESULTADO LE DIVIDE PARA TRES CON LO QUE LOS COMPONENTES DE FASE
      C QUECAN EN COMPONENTES SIMETRICOS
      1 X(IIS,JJS)=TP(IP,JP)/3.
      RETURN
      ENC

```


6. SUBROUTINA ESCRI I

Esta subrutina sirve para imprimir matrices complejas

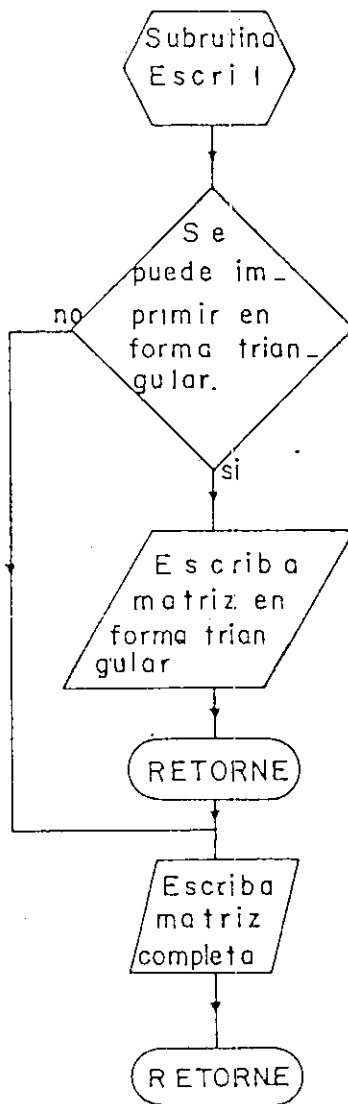
Si el orden de la matriz es menor o igual a 8, la imprime en forma triangular inferior pudiéndose encontrar el resto de términos por simetría con la diagonal principal, en caso contrario, la matriz se imprime completa.

En la primera línea de impresión escribe la parte real del complejo y en la segunda su parte imaginaria.

VARIABLES

N	Número de conductores
P	Matriz original
A	Vector, sirve para guardar la parte real de P
B	Vector, sirve para guardar la parte imaginaria de P

SUBROUTINA ESCRI I



```

SUBROUTINE FSCR11(N,P)
C ESTA SUBROUTINA SIRVE PARA IMPRIMIR MATRICES COMPLEJAS , EN LA PRIMERA LINEA
C ESCRIBE LA PARTE REAL Y EN LA SEGUNDA LA PARTE IMAGINARIA
C N=NUMERO DE CONDUCTORES , P=MATRIZ A IMPRIMIRSE
COMPLEX P
DIMENSION P(35,35),A(35,35),E(35,35)
DO 1 I=1,N
DO 1 J=1,N
P(I,J)=P(J,I)
A(I,J)=REAL(P(I,J))
B(I,J)=AIMAG(P(I,J))
1 CONTINUE
IF(N-P)2,2,3
DO 4 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=1,I)
5 FORMAT(/,4X,8E13.4)
4 WRITE(3,6)(B(I,J),J=1,I)
6 FORMAT(4X,8E13.4,/)
RETURN
3 IF(N-P)7,7,8
DO 9 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=1,N)
9 WRITE(3,6)(B(I,J),J=1,N)
8 IF(N-16)10,10,11
10 WRITE(3,12)
12 FORMAT(/,5X,'COLUMNS 1 A LA 8',/)
DO 12 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=1,8)
13 WRITE(3,6)(B(I,J),J=1,8)
WRITE(3,14)N
14 FORMAT(/,5X,'COLUMNS 9 A LA',I4,/)
DO 15 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=9,N)
15 WRITE(3,6)(B(I,J),J=9,N)
RETURN
11 IF(N-24)16,16,17
16 WRITE(3,12)
DO 18 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=1,8)
18 WRITE(3,6)(B(I,J),J=1,8)
WRITE(3,19)
19 FORMAT(/,5X,'COLUMNS 9 A LA 16',/)
DO 20 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=9,16)
20 WRITE(3,6)(B(I,J),J=9,16)
WRITE(3,21)N
21 FORMAT(/,5X,'COLUMNS 17 A LA',I4,/)
DO 22 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=17,N)
22 WRITE(3,6)(B(I,J),J=17,N)
RETURN
17 IF(N-32)23,23,24
23 WRITE(3,12)
DO 25 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=1,8)
25 WRITE(3,6)(B(I,J),J=1,8)
WRITE(3,19)
DO 26 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=9,16)
26 WRITE(3,6)(B(I,J),J=9,16)
WRITE(3,27)
27 FORMAT(/,5X,'COLUMNS 17 A LA 24',/)
DO 28 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=17,24)
28 WRITE(3,6)(B(I,J),J=17,24)
WRITE(3,29)N
29 FORMAT(/,5X,'COLUMNS 25 A LA',I4,/)
DO 30 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=25,N)
30 WRITE(3,6)(B(I,J),J=25,N)
RETURN
24 WRITE(3,12)
DO 31 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=1,8)
31 WRITE(3,6)(B(I,J),J=1,8)
WRITE(3,19)
DO 32 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=9,16)
32 WRITE(3,6)(B(I,J),J=9,16)
WRITE(3,27)

```

```
DO 33 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=17,24)
33 WRITE(3,6)(B(I,J),J=17,24)
WRITE(3,34)
34 FORMAT(//,5X,'COLUMNS 25 A LA 32',//)
DO 35 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=25,32)
35 WRITE(3,6)(B(I,J),J=25,32)
WRITE(3,36)N
36 FORMAT(//,'COLUMNS 33 A LA',I4,//)
DO 37 I=1,N
WRITE(3,5)(A(I,J),J=33,N)
37 WRITE(3,6)(B(I,J),J=33,N)
RETURN
END
```

7. SUBROUTINA ESCR1 2

Desglosa las matrices de reactancias, admitancias capacitivas y/o impedancias propias de los diferentes circuitos del sistema.

Esto se puede comprender mejor mediante el siguiente ejemplo:

Supongamos que tenemos un sistema formado por dos - circuitos trifásicos A y B en paralelo, la matriz de impedancia serie para este caso sería:

$$Z = \begin{array}{c|ccc|ccc} & Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{aa'} & Z_{ab'} & Z_{ac'} \\ & Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{ba'} & Z_{bb'} & Z_{bc'} \\ & Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{ca'} & Z_{cb'} & Z_{cc'} \\ & & & & & & \\ \hline & Z_{a'a} & Z_{a'b} & Z_{a'c} & Z_{a'a'} & Z_{a'b'} & Z_{a'c'} \\ & Z_{b'a} & Z_{b'b} & Z_{b'c} & Z_{b'a'} & Z_{b'b'} & Z_{b'c'} \\ & Z_{c'a} & Z_{c'b} & Z_{c'c} & Z_{c'a'} & Z_{c'b'} & Z_{c'c'} \end{array}$$

o en forma matricial reducida:

$$Z = \begin{array}{c|c} Z_{p_A} & Z_{m_{AB}} \\ \hline Z_{m_{BA}} & Z_{p_B} \end{array}$$

siendo las submatrices:

Z_{p_A} , Z_{p_B} Impedancias propias de los circuitos A y B

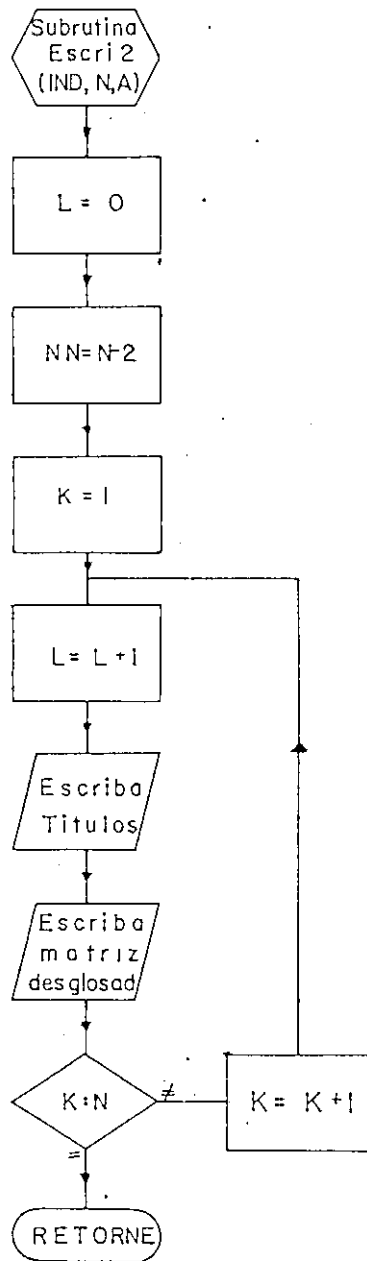
$Z_{m_{AB}} = Z_{m_{BA}}$ Impedancias mútuas entre cir-circuitos A y B

Procede en forma similar en las matrices de reactancias y admitancias capacitivas.

VARIABLES

IND	Indicador para escritura de títulos
N	Número de conductores
A	Matriz a desglosarse
L, NN, LL	Contadores

SUBROUTINA ESCRI 2



```

SUBROUTINE ESCFI2(IND,N,A)
C ESTA SUBROUTINA IMPRIME LAS SUBMATRICES PROPIAS DEL SISTEMA
C IND=INDICADOR PARA TITULOS , N=NUMERO DE CONDUCTORES , A=MATRIZ A DESGLOS
  COMPLEX A
  DIMENSION A(35,35)
  DO 2 I=1,N
  DO 2 J=1,N
  2 A(I,J)=A(J,I)
  L=0
  NN=N-2
  DO 1 K=1,NN,3
  L=L+1
  WRITE(3,14)L
14 FORMAT(//,55X,'CIRCUITO',I3)
  LL=K+2
  GO TO(5,6),INC
  5 WRITE(3,3)
  3 FORMAT(//,30X,'SECUENCIA CERO',17X,'SECUENCIA NEGATIVA',12X,'SECUE
  INCIA POSITIVA')
  GO TO 9
  6 WRITE(3,11)
11 FORMAT(//,25X,'FASE A',34X,'FASE B',29X,'FASE C')
  9 GO TO(7,8),INC
  7 WRITE(3,4)((A(I,J),J=K,LL),I=K,LL)
  4 FORMAT(/,5X,'SECUENCIA CERO',3(3X,E13.4,1X,'+J',1X,E13.4),/,1X,'SE
  CUENCIA POSITIVA',3(3X,E13.4,1X,'+J',1X,E13.4),/,1X,'SECUENCIA NEG
  2ATIVA',3(3X,E13.4,1X,'+J',1X,E13.4))
  GO TO 1
  8 WRITE(3,15)((A(I,J),J=K,LL),I=K,LL)
15 FORMAT(/,2X,'FASE A',3(4X,E13.4,2X,'+J',2X,E13.4),/,2X,'FASE B',3(
  14X,E13.4,2X,'+J',2X,E13.4),/,2X,'FASE C',3(4X,E13.4,2X,'+J',2X,E13
  2.4))
  1 CONTINUE
  RETURN
  END

```


8 SUBROUTINA ESCRI 3

En vista de la cantidad de casos posibles a analizarse, se vió la necesidad de implementar una subrutina para impresión de títulos. Esta subrutina imprime los títulos en todas las posibles salidas de las matrices que de seen.

VARIABLES

N, L Indicadores para escritura de títulos.

```
SUBROUTINE ESCRIB(N,L)
  GO TO(1,2,17),L
  1 GO TO(3,4,5),N
  3 WRITE(3,6)
  6 FORMAT(/,10X,'CHMS-KM')
  GO TO 9
  4 WRITE(3,7)
  7 FORMAT(/,10X,'CHMS')
  GO TO 9
  5 WRITE(3,8)
  8 FORMAT(/,10X,'VALORES SGN CALCULADOS EN P.U.')
```

```
  9 RETURN
  2 GO TO(10,11,12),N
 10 WRITE(3,13)
 13 FORMAT(/,10X,'OHMS/KM')
```

```
  GO TO 16
 11 WRITE(3,7)
  GO TO 16
 12 WRITE(3,8)
 16 RETURN
 17 GO TO(18,19,20),N
 18 WRITE(3,21)
 21 FORMAT(/,10X,'MHOS/KM')
```

```
  GO TO 23
 19 WRITE(3,22)
 22 FORMAT(/,10X,'MHOS')
```

```
  GO TO 23
 20 WRITE(3,8)
 23 RETURN
  END
```

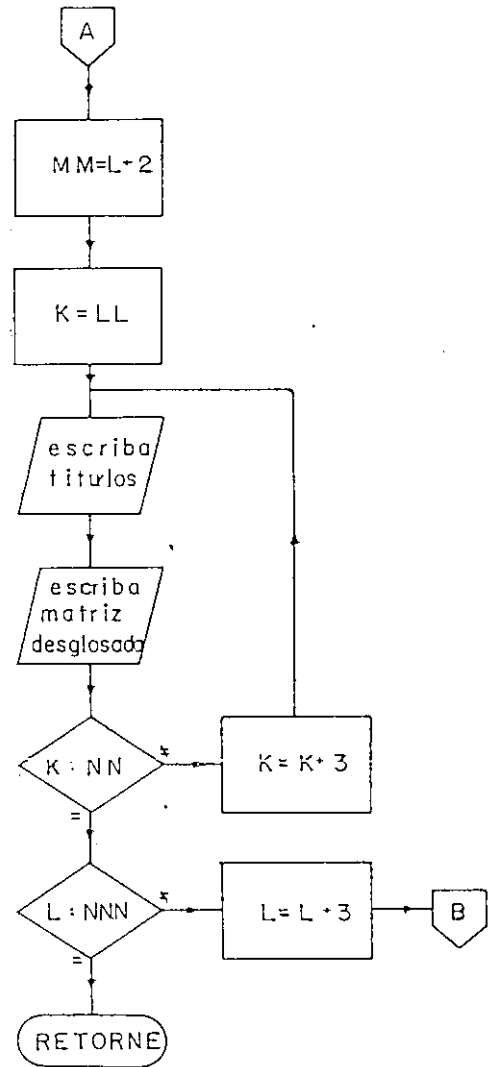
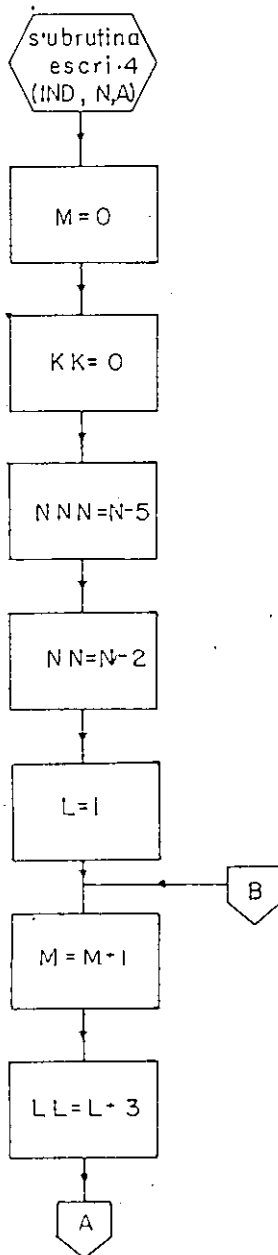
9. SUBROUTINA ESCRI 4

Desglosa las impedancias y/o reactancias y admitancias capacitivas mütuas de los diferentes circuitos envueltos en la configuración a analizarse.

VARIABLES

IND Indicador para escritura de títulos
N Número de conductores
A Matriz a transformarse
El resto de variables son contadores

SUBROUTINA ESCRI 4



```

SUBROUTINE ESCRI4(IND,N,A)
C ESTA SUBROUTINA IMPRIME LAS SUBMATRICES MUTUAS DEL SISTEMA
C IND=INDICADOR PARA TITULOS , N=NUMERO DE CONDUCTORES , A=MATRIZ A DESGLOS
  COMPLEX A
  DIMENSION A(35,35)
  M=0
  KK=0
  NNN=N-5
  NN=N-2
  DO 1 L=1,NNN,3
  M=M+1
  KK=K+1
  LL=L+3
  MM=L+2
  DO 2 K=LL,NN,3
  WRITE(3,13)M,KK
13  FORMAT(//,50X,'CIRCUITO',I4,2X,'AL',I4)
  LLL=K+2
  GO TO(5,6),IND
  5  WRITE(3,3)
  3  FORMAT(//,30X,'SECUENCIA CERC',17X,'SECUENCIA NEGATIVA',12X,'SECUE
  INCIA POSITIVA')
  GO TO 9
  6  WRITE(3,11)
11  FOFMAT(//,25X,'FASE A',34X,'FASE B',29X,'FASE C')
  9  GO TO(7,8),IND
  7  WRITE(3,4)((A(I,J),J=L,MM),I=K,LLL)
  4  FORMAT(/,5X,'SECUENCIA CERC',3(3X,E13.4,1X,'+J',1X,E13.4),/,1X,'SE
  1  CUENCIA POSITIVA',3(3X,E13.4,1X,'+J',1X,E13.4),/,1X,'SECUENCIA NEG
  2  ATIVA',3(3X,E13.4,1X,'+J',1X,E13.4))
  GO TO 10
  8  WRITE(3,12)((A(I,J),J=L,MM),I=K,LLL)
12  FORMAT(/,2X,'FASE A',3(4X,E13.4,2X,'+J',2X,E13.4),/,2X,'FASE B',3(
  14X,E13.4,2X,'+J',2X,E13.4),/,2X,'FASE C',3(4X,E13.4,2X,'+J',2X,E13
  2.4))
10  KK=KK+1
  2  CONTINUE
  1  CONTINUE
  RETURN
  END

```

10. FUNCION IMAGEN

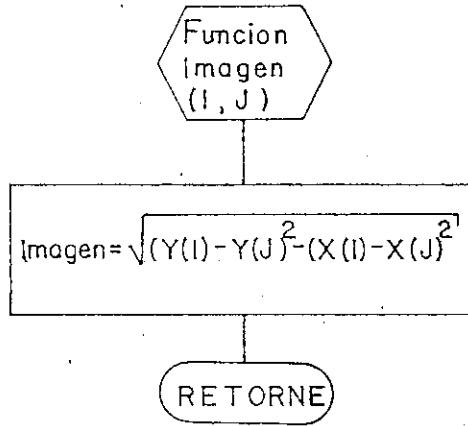
La función IMAGEN es un subprograma utilizado para calcular la distancia entre un conductor l y la imagen de un conductor j . l y j son argumentos de IMAGEN.

$$\text{IMAGEN}(I, J) = \sqrt{(Y(I) + Y(J))^2 + (X(I) - X(J))^2}$$

VARIABLES

X, Y Coordenadas de los conductores

FUNCION IMAGEN



```
FUNCTION IMAGEN(I,J)
C ESTA FUNCION CALCULA LAS DISTANCIAS ENTRE CONDUCTORES Y SUS IMAGENES
COMMON NCLASE(35),NTIPO(35),X(35),Y(35),DIA(35)
IMAGEN=SQRT((Y(I)+Y(J))**2+(X(I)-X(J))**2)
RETURN
END
```


11. FUNCION DISTAN

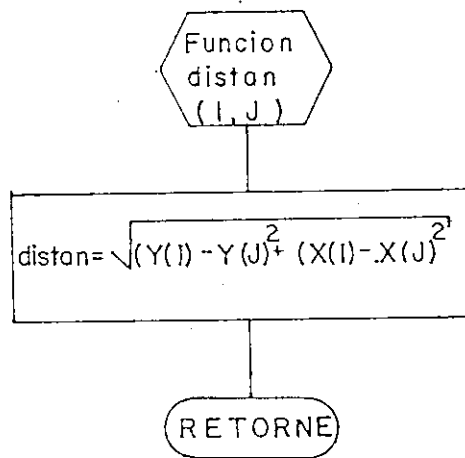
La función DISTAN es un subprograma utilizado para calcular la distancia entre un conductor i y un conductor j. i y j son argumentos de DISTAN

$$\text{DISTAN (I,J)} = \sqrt{(Y(I) - Y(J))^2 - (X(I) - X(J))^2}$$

VARIABLES

X,Y Coordenadas de los conductores

FUNCION DISTAN



```
FUNCTION DISTAN(I,J)
C ESTA FUNCION CALCULA LAS DISTANCIAS ENTRE CONDUCTORES
COMMON NCLASE(35),NTIPO(35),X(35),Y(35),DIA(35)
DISTAN=SQRT((Y(I)-Y(J))**2+(X(I)-X(J))**2)
RETURN
END
```

CAPITULO IV

MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

4.1 OBJETIVOS

El programa ha sido desarrollado para calcular a una frecuencia determinada los parámetros electromagnéticos (impedancias serie) y/o los parámetros electroestáticos (reactancias y admitancias capacitivas) de una línea de transmisión con cualquier configuración geométrica de hasta 35 conductores.

El programa se preparó para la computadora IBM/370/125 de la Escuela Politécnica Nacional, con un compilador Watfiv, utilizando lenguaje Fortram IV.

4.2 DESCRIPCION DEL PROGRAMA

El programa consta de un programa principal, nueve subrutinas y dos funciones.

PROGRAMA PRINCIPAL

El programa principal maneja la entrada de datos, controla el flujo lógico del programa y llama a todas las subrutinas cuando sean necesarias. La simetría de la matriz es tomada en cuenta en todos los cálculos para lograr ventaja tanto en el tiempo de ejecución como en espacio de memoria ocupada en el computador.

SUBROUTINAS

1. SUBROUTINA CARSON

Carson corrige la matriz de impedancias serie por - efectos del retorno por tierra.

El usuario puede utilizar tres diferentes grados de corrección:

1. Una no corrección, cuando no se tiene el sistema conectado a tierra (CTIPO = 0)
2. Un primer orden de corrección se utiliza cuando se - tienen configuraciones de una sola estructura (CTIPO=1)
3. Un segundo orden de corrección se utiliza cuando se - tienen configuraciones de dos o más estructuras en - el mismo derecho de vía (CTIPO = 2).

2. SUBROUTINA INVERT

INVERT es llamada por el programa principal siempre - que se necesite invertir una matriz compleja. Se utiliza el método SHIPLEY - COLEMAN.⁴

3. SUBROUTINA INVIMA

INVIMA es llamada por el programa principal siempre - que se necesite invertir una matriz imaginaria. Se utiliza el método de SHIPLEY - COLEMAN.⁴

4. SUBROUTINA HACES

HACES reduce conductores paralelos (haces de conductores) a un conductor equivalente y asimila los hilos de guarda.

5. SUBROUTINA SIMET

SIMET transforma las matrices de componentes de fase (a, b, c) a matrices de componentes de secuencia (0, 1, 2).

6. SUBROUTINA ESCRI 1

Esta subrutina imprime matrices complejas, en la primera línea imprime la parte real del complejo y en la segunda su parte imaginaria.

7. SUBROUTINA ESCRI 2

Esta subrutina escribe las impedancias propias y/o reactancias y admitancias capacitivas propias de los circuitos envueltos en la configuración a analizarse.

8. SUBROUTINA ESCRI 3

Realiza la impresión de títulos.

9. SUBROUTINA ESCRI 4

Escribe las impedancias mútuas y/o reactancias y admitancias capacitivas mútuas de los circuitos envueltos.

en la configuración a analizarse.

10. FUNCION IMAGEN

Calcula las distancias entre los conductores y sus imágenes.

11. FUNCION DISTAN

Calcula las distancias entre conductores

Tanto el programa principal como todas las subrutinas y funciones se explican en forma detallada y con sus respectivos diagramas de flujo en el capítulo III.

4.3 PREPARACION DE LOS DATOS DE ENTRADA.

Existen tres tipos o grupos de tarjetas de datos.

1. Tarjetas de información general
2. Tarjetas de datos del sistema
3. Tarjetas de datos de los conductores

1. TARJETAS DE INFORMACION GENERAL

Cualquier número de tarjetas (ver Fig.4.1)

Campo N°1 Indicador de fin de lectura

Columnas: 1-3

Formato: 13

Procedimiento: Entre el número 999 en la última tarjeta variable del programa: TEST

Campo N°2 Información general acerca del problema

Columnas: 4-80

Formato: 77 A1

Procedimiento: Entre cualquiera información que Ud. desee salga en el listado. Cada tarjeta es reproducida en el listado antes de la ejecución del programa. La última tarjeta del grupo de información debe contener el número 999 que es el indicador de fin de lectura (TEST) y que indica al computador que debe continuar con el programa.

Variable del programa: INFO

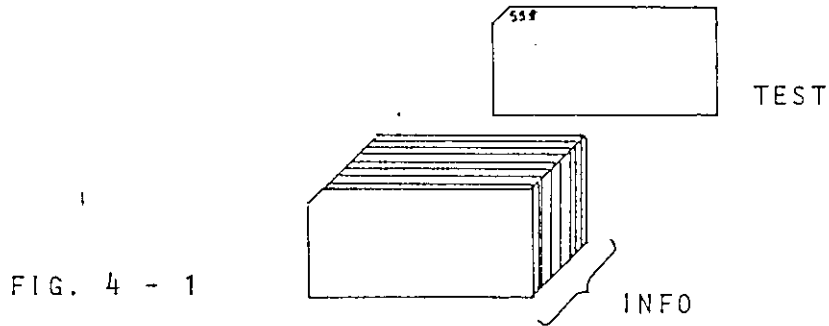


FIG. 4 - 1

2. TARJETAS DE DATOS DEL SISTEMA

Consta de dos tarjetas de datos, la primera tarjeta contiene la siguiente información (ver Fig.4.2).

Campo N°1 Número de conductores

Columnas 1 - 4

Formato 14

Procedimiento: Entre el número de conductores del tipo de disposición que se requiere analizar.

Variable del programa: NCOND, constante - entera hasta 35

Campo N°2 Resistividad de la tierra

Columnas 5 - 14

Formato F10.0

Procedimiento: entre la resistividad de tierra en OHMS - METRO

Variable del programa: RHO, constante - real.

Campo N^o3 Frecuencia del sistema

Columnas 15 - 24

Formato F10.0

Procedimiento: Entre la frecuencia del sistema en cilcos/seg.

Variable del programa: FREC, constante - real.

Campo N^o 4 Tipo de corrección para retorno por tierra (CARSON)

Columnas 25-28

Formato I4

Procedimiento: Entre 0 para no corrección

1 para el primer orden de corrección

2 para el segundo orden de corrección

Variable del programa: CTIPO, constante - entera

Campo N^o5 Tipo de cálculo requerido

Columnas 29 - 32

Formato I4

Procedimiento: Entre: 1 si se requieren sólo los parámetros electromagnéticos

2 solamente para parámetros electrostáticos

3 Para parámetros electromagnéticos y electrostáticos.

Variable del programa: CALCUL, constante - entera.

Campo N°6 Tipo de cálculo requerido

Columnas 33- 36

Formato 14

Procedimiento: Entre: 1 para cálculo en
OHMS/KM

2 Para cálculo de va-
lores en OHMS para
una longitud dada

3 Para cálculo en P.U
para una base dada

Variable del programa: NCAL, constante entera.

Campo N°7 Salida deseada para reactancias capacitivas

Columnas: 37 - 40

Formato 14

Procedimiento: Entre cero o blanco, no salida.

1 Reactancias capacitivas de
todos los conductores

2 Reactancias capacitivas en
componentes de fase

3 Reactancias capacitivas de
todos los conductores y en
componentes de fase

4 Reactancias capacitivas en
componentes de secuencia

5 Reactancias capacitivas de
todos los conductores y en
componentes de secuencia

6 Reactancias capacitivas en
componentes de fase y en -
componentes de secuencia

7 Reactancias capacitivas de
todos los conductores, en -
componentes de fase y en -
componentes de secuencia.

Variable: del programa: PSAL, constante entera.

Campo N° 8 Salida deseada para admitancias capacitivas

Columnas 41 - 44

Formato 14

Procedimiento: Entre: cero o blanco no salida

- 1 Admitancia de todos los conductores
- 2 Admitancias en componentes de fase
- 3 Admitancias de todos los conductores y en componentes de fase
- 4 Admitancias en componentes de secuencia
- 5 Admitancias de todos los conductores y en componentes de secuencia
- 6 Admitancias en componentes de fase y de secuencia
- 7 Admitancias de todos los conductores, en componentes de fase y en componentes de secuencia

Variable del programa: CSAL, constante entera.

Campo N°9 Salida deseada para impedancias serie

Columnas 45 - 48

Formato 14

Procedimiento: Entre cero o blanco, no salida

- 1 Impedancia serie de todos los conductores
- 2 Impedancias serie en componentes de fase

- 3 Impedancias serie de todos los conductores y en componentes de fase
- 4 Impedancias serie en componentes de secuencia
- 5 Impedancias serie de todos los conductores y en componentes de secuencia
- 6 Impedancias serie en componentes de fase y de secuencia
- 7 Impedancias serie de todos los conductores, en componentes de fase y en componentes de secuencia.

Variable del programa: ZSAL, constante entera.

Campo N°10 Base MVA
 Columnas 49 - 58
 Formato F10.0
 Procedimiento: Valores en P.U. son obtenidos entrando la potencia base en MVA

Variable del programa: MVAB, constante real.

Campo N° 11 Longitud de la configuración
 Columnas 59-68
 Formato F10.0
 Procedimiento: Entre la longitud en KMS, si no se considera ninguna longitud, el programa asume la longitud de un kilómetro.

Variable del programa: LONG, constante real.

La segunda tarjeta nos permite entrar voltajes bases de hasta tres estructuras en paralelo, cuando se requieran valores en P.U. ver fig. 4 - 2.

Campo N^o1 Voltaje base de la estructura
N^o1

Columnas 1-10

Formato F10.0

Procedimiento: Entre el voltaje base de -
la primera estructura en -
KV

Variable del programa VB constante real

Campo N^o2 Voltaje base de la estructura
N^o2

Columnas 11-20

Formato F10.0

Procedimiento: Entre el voltaje base de -
la segunda estructura en -
KV

Variable del programa VB constante real

Campo N^o3 Voltaje base de la estructura -
N^o 3

Columnas 21-30

Formato F10.0

Procedimiento: Entre el voltaje base de -
la tercera estructura en -
KV

Variable del programa VB constante real

FORMA DE INTRODUCIR LOS DATOS DEL SISTEMA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE

HUJA DE CODIFICACION

PROGRAMADO POR

PAGINA

DE

VERIFICADO POR

FECHA

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
PROGRAMA		R H O	F R E C	CTIPO	CALCUL	NCAL	PSAL	CSAL	ZSAL	M V A B	L O N G																																																																				
N CON D		(F10.0)	(F10.0)	(4)	(14)	(14)	(14)	(14)	(14)	(F10.0)	(F10.0)																																																																				
V B # 1																																																																															
V B # 2																																																																															
V B # 3																																																																															
V B # 4																																																																															
V B # 5																																																																															
V B # 6																																																																															
V B # 7																																																																															
V B # 8																																																																															
V B # 9																																																																															
V B # 10																																																																															
V B # 11																																																																															
V B # 12																																																																															
V B # 13																																																																															
V B # 14																																																																															
V B # 15																																																																															
V B # 16																																																																															
V B # 17																																																																															
V B # 18																																																																															
V B # 19																																																																															
V B # 20																																																																															
V B # 21																																																																															
V B # 22																																																																															
V B # 23																																																																															
V B # 24																																																																															
V B # 25																																																																															
V B # 26																																																																															
V B # 27																																																																															
V B # 28																																																																															
V B # 29																																																																															
V B # 30																																																																															
V B # 31																																																																															
V B # 32																																																																															
V B # 33																																																																															
V B # 34																																																																															
V B # 35																																																																															
V B # 36																																																																															
V B # 37																																																																															
V B # 38																																																																															
V B # 39																																																																															
V B # 40																																																																															
V B # 41																																																																															
V B # 42																																																																															
V B # 43																																																																															
V B # 44																																																																															
V B # 45																																																																															
V B # 46																																																																															
V B # 47																																																																															
V B # 48																																																																															
V B # 49																																																																															
V B # 50																																																																															
V B # 51																																																																															
V B # 52																																																																															
V B # 53																																																																															
V B # 54																																																																															
V B # 55																																																																															
V B # 56																																																																															
V B # 57																																																																															
V B # 58																																																																															
V B # 59																																																																															
V B # 60																																																																															
V B # 61																																																																															
V B # 62																																																																															
V B # 63																																																																															
V B # 64																																																																															
V B # 65																																																																															
V B # 66																																																																															
V B # 67																																																																															
V B # 68																																																																															
V B # 69																																																																															
V B # 70																																																																															
V B # 71																																																																															
V B # 72																																																																															
V B # 73																																																																															
V B # 74																																																																															
V B # 75																																																																															
V B # 76																																																																															
V B # 77																																																																															
V B # 78																																																																															
V B # 79																																																																															
V B # 80																																																																															

3. TARJETAS DE DATOS DE LOS CONDUCTORES

Una tarjeta por cada conductor, las tres primeras tarjetas deben representar las fases a, b, c del primer circuito las tres siguientes deben, en forma similar representar las fases a, b, c del segundo circuito y así sucesivamente para todos los circuitos.

Siguiendo a éstas, deben venir una tarjeta por cada subconductor (conductores en haz). Finalmente, debe haber una tarjeta por cada hilo de guarda. (ver figura 4.3)

Cada una de las tarjetas de datos de los conductores con tiene la siguiente información:

Campo N°1 Resistencia del conductor

Columnas 1-10

Formato F10.0

Procedimiento: Entre la resistencia del conductor en OHMS/KM según tablas

Variable del programa: R, parte real de Z, cons
tante compleja

Campo N°2 Reactancia inductiva del conductor

Columnas 11-20

Formato F10.0

Procedimiento: Entre la reactancia inductiva del conductor a un pié. de separación según tablas

Variable del programa: XP, parte imaginaria Z,
constante compleja.

Campo N°3: Diámetro del conductor

Columnas 21-30

Formato F10.0

Procedimiento: Entre el diámetro exterior
del conductor en cmts.

Variable del programa: DIA, constante real

Campo N°4 Distancia horizontal

Columnas 31-40

Formato F10.0

Procedimiento: Entre la distancia horizontal
en metros desde un eje
común de referencia

Variable del programa: X, constante real

Campo N° 5 Distancia vertical

Columnas 41-50

Formato F10.0.

Procedimiento: Entre la altura del conduct
tor desde tierra en metros

Variable del programa: Y, constante real

Campo N°6 Flecha de los conductores

Columnas 51-60

Formato F10.0

Procedimiento: Entre la flecha del conduct
tor a la mitad del vano en
metros.

Variable del programa: FLECH, constante -
real

Campo N°7 Clase de conductor

Columnas 61-64

Formato I4

Procedimiento: Entre 0 para conductores - principales o hilos de - guarda

Para subconductores, entre el número del conductor - (de acuerdo con la entrada de las tarjetas de datos)

con el cual el subconductor va a estar en haz.

Variable del programa: NCLASE, constante entera

Campo N°8 Tipo de conductor

Columnas 65-68

Formato 14

Procedimiento: Entre + i para conductores principales y subconductores y -i, para hilos de - guarda, siendo i el voltaje base en la lista de voltajes base. El conductor - debe asociarse al voltaje base de la estructura que - lo sostiene, para el cálculo en P.U. de circuitos en estructuras paralelas con igual o diferente voltaje base.

i puede variar de 1 a 3.

Variable: del programa: NTIPO, constante entera.

Se insiste en las secuencias de fases, a, b, c para los conductores principales, en este grupo de tarjetas de datos como requerimiento para una correcta transformación a componentes de secuencia.

Generalmente en el diseño de líneas de transmisión se necesita correr ejemplos con varios tipos de conductor y diferentes configuraciones geométricas, dentro del programa existe la posibilidad de correr el número de ejemplos que se requiera, uno a continuación de otro como se indica en la Fig. 4.4.

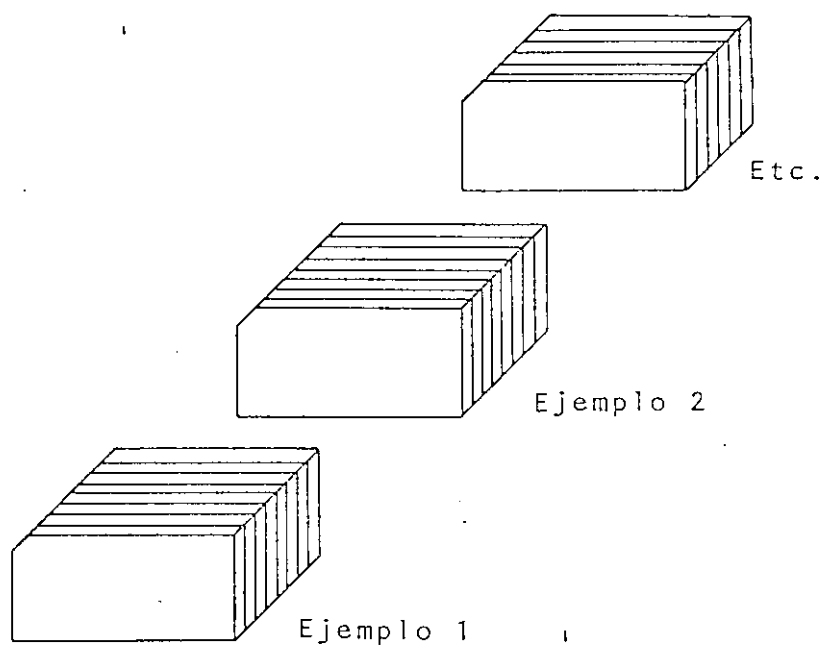


Figura 4 - 4

4.4 SALIDA DE DATOS

La primera página del listado es una reproducción de tarjetas de información. Cada tarjeta es impresa exactamente igual a como ha sido leída. La segunda página lleva los datos de información del sistema y la tercera, los datos de los conductores.

Si se requiere la salida de la configuración original, con todos los conductores considerados, la forma de salida es la siguiente:

Si la configuración a analizarse contiene un número máximo de ocho conductores, la matriz se imprime en forma triangular inferior, donde puede encontrarse el resto de términos por simetría con la diagonal principal.

Para sistemas más grandes, se imprime toda la matriz, a causa del espacio limitado, sin embargo, se puede imprimir a un tiempo un ancho de ocho columnas simultáneamente, por lo tanto, para matrices mayores a ocho conductores, se dividirá la impresión en submatrices de ocho columnas con el número de filas que contenga, indicando, en cada caso, las columnas que han sido consideradas. Todas las matrices contienen dos líneas de impresión, la primera corresponde a la parte real del complejo y la segunda línea a su parte imaginaria.

La configuración equivalente será impresa como circuitos trifásicos, dependiendo el número del circuito a como se hayan introducido las tarjetas de datos. Por ejem-

plo: si se tiene dos circuitos trifásicos A y B, y en las tarjetas de datos se introdujo primeramente las fases a, b, c del circuito A, y a continuación las fases a, b, c del circuito B, el circuito A será numerado como circuito 1 y como 2 el B.

4.5 RESTRICCIONES

- El programa ha sido desarrollado solo para líneas de transición trifásicas no transpuestas.
- El programa opera con un número máximo de treinta y cinco conductores.
- El número máximo de estructuras en paralelo a igual o diferente voltaje base para cálculos en P.U. es de tres.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

HOLLA DE COORDINACION - PROGRAMADO POR VERIFICADO POR PAGINA DE DE
DEPARTAMENTO DE PROGRAMADO POR VERIFICADO POR PAGINA DE DE
PROGRAMA FECHA

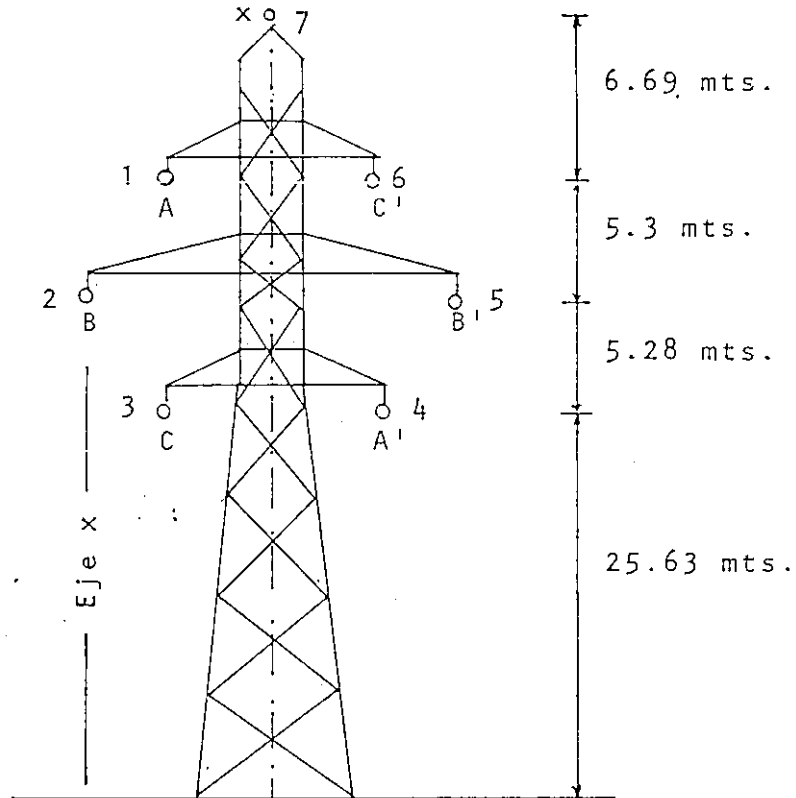
PROGRAMA	FECHA	PAGINA	DE
TARJETAS DE CONTROL PARA UTILIZAR EL PROBAMA CON LA CINTA			
CODIGO DE CUENTA			
* OPERADOR CARQUE LA CINTA DE ELECTRICA			
* EN LA UNIDAD 280 GRACIAS			
!! PAUSE			
NTC FSH, X'280', 3, 17			
NTC FSR, X'280', 1, 17			
!! ASSIGN SYSIPT, X'280'			
!! OPTION LINK, NOLIST			
ACTION CANCEL, NOMP			
!! EXEC LINKEDT			
!! ASSIGN SYSIPT, X'00C'			
!! EXEC			
DATOS			
/*			
/*			
NTC 280, X'280'			
* \$ \$ E0J			

CAPITULO V

EJEMPLOS DE APLICACION

Ejemplo N°1

Línea de transmisión del S.N.I. Zona 1



Conductor: 1113 KCM, ACSR, Bluejay

Hilo de guarda: 3/8 de pulg. acero

Frecuencia = 60 (Hz)

Resistividad de la tierra = 150 (ohm-m)

Coordenadas Horizontales de los conductores desde el eje de referencia:

Conductor 1		0.4998 mts.
"	2	0.0000 mts.
"	3	0.4998 mts.
"	4	8.001 mts.
"	5	8.5008 mts.
"	6	8.001 mts.
"	7	4.2489 mts.

Los datos completos se indican a continuación.

 DATOS DE INFORMACION DEL SISTEMA

NO. DE CONDUCTORES = 7
 RESISTIVIDAD DE TIERRA =150.00
 FRECUENCIA DEL SISTEMA = 60.00
 TIPO DE CORRECCION DE CARSON =1
 POSIBLES TIPOS DE CALCULO:

- 1- PARAMETROS ELECTROMAGNETICOS
- 2- PARAMETROS ELECTROESTATICOS
- 3- PARAMETROS ELECTROESTATICOS Y ELECTROMAGNETICOS

TIPO DE CALCULO RECUERION = 3

MVA BASE DEL SISTEMA = 0.00

LONGITUD(KM) = 1.00

VOLTAJE BASE DE LAS ESTRUCTURAS :

TORRE 1 = 0.00 KV

VALORES SON CALCULADOS EN OHMS/KM Y/O MHOS/KM

 DATOS DE LOS CONDUCTORES

COND.	R(OHM/KM)	X(OHM/KM)	DIAMETRO(MTS)	X(MTS)	Y(MTS)	FLECHA(MTS)	CLASE	TIPO
0.0588	0.2398	0.031953	0.031953	0.50	36.21	18.11	0	1
0.0588	0.2398	0.031953	0.031953	0.00	30.91	18.11	0	1
0.0588	0.2398	0.031953	0.031953	0.50	25.63	18.13	0	1
0.0588	0.2398	0.031953	0.031953	8.00	25.63	18.13	C	1
0.0588	0.2398	0.031953	0.031953	8.50	30.71	18.11	0	1
0.0588	0.2398	0.031953	0.031953	8.00	36.21	18.11	C	1
4.5556	1.1000	0.009525	0.009525	4.25	42.90	15.42	0	-1

MATRIZ DE ADMITANCIAS

MHOS/KM

CIRCUITO ORIGINAL

CONDUCTORES SIGUEN EL MISMO ORDEN QUE LA ENTRADA EN LAS TARJETAS DE DATOS

-0.0000E 00										
0.3027E-05										
-0.0000E 00	-0.0000E 00									
-0.5501E-06	0.3126E-05									
-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00								
-0.2107E-06	-0.5238E-06	0.3107E-05								
-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00							
-0.1395E-06	-0.2218E-06	-0.3460E-06	0.3107E-05							
-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00						
-0.2470E-06	-0.3700E-06	-0.2218E-06	-0.5238E-06	0.3126E-05						
-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00					
-0.4043E-06	-0.2470E-06	-0.1395E-06	-0.2107E-06	-0.5501E-06	0.3027E-05					
-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00				
-0.3577E-06	-0.1607E-06	-0.6467E-07	-0.8466E-07	-0.1607E-06	-0.3577E-06	0.2392E-05				

ADMITANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS

COMPONENTES DE FASE

MHOS/KM

CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1

FASE A

FASE B

FASE C

FASE A	-0.0000E 00	+J	0.3027E-05	-0.0000E 00	+J	-0.5501E-06	-0.0000E 00	+J	-0.2107E-06
FASE B	-0.0000E 00	+J	-0.5501E-06	-0.0000E 00	+J	0.3126E-05	-0.0000E 00	+J	-0.5238E-06
FASE C	-0.0000E 00	+J	-0.2107E-06	-0.0000E 00	+J	-0.5238E-06	-0.0000E 00	+J	0.3107E-05

CIRCUITO 2

FASE A

FASE B

FASE C

FASE A	-0.0000E 00	+J	0.3107E-05	-0.0000E 00	+J	-0.5238E-06	-0.0000E 00	+J	-0.2107E-06
FASE B	-0.0000E 00	+J	-0.5238E-06	-0.0000E 00	+J	0.3126E-05	-0.0000E 00	+J	-0.5501E-06
FASE C	-0.0000E 00	+J	-0.2107E-06	-0.0000E 00	+J	-0.5501E-06	-0.0000E 00	+J	0.3027E-05

ADMITANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS

COMPONENTES DE FASE

MHOS/KM

CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1 AL 2

FASE A

FASE B

FASE C

FASE A	-0.0000E 00	+J	-0.1395E-06	-0.0000E 00	+J	-0.2218E-06	-0.0000E 00	+J	-0.3460E-06
FASE B	-0.0000E 00	+J	-0.2470E-06	-0.0000E 00	+J	-0.2700E-06	-0.0000E 00	+J	-0.2218E-06
FASE C	-0.0000E 00	+J	-0.4043E-06	-0.0000E 00	+J	-0.2470E-06	-0.0000E 00	+J	-0.1395E-06

 ADMITANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS
 COMPONENTES DE SECUENCIA
 MHOS/KM
 CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.0000E 00 +J	0.2230E-05	0.9249E-07 +J	0.1808E-07	-0.9249E-07 +J	0.1808E-07
SECUENCIA POSITIVA	0.5249E-07 +J	0.1808E-07	0.2014E-06 +J	-0.1253E-06	0.1516E-12 +J	0.3515E-05
SECUENCIA NEGATIVA	-0.9249E-07 +J	0.1808E-07	0.1516E-12 +J	0.3515E-05	-0.2014E-06 +J	-0.1253E-06

CIRCUITO 2

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.0000E 00 +J	0.2230E-05	0.5190E-07 +J	0.7106E-07	-0.6190E-07 +J	0.7106E-07
SECUENCIA POSITIVA	0.6190E-07 +J	0.7106E-07	0.2092E-06 +J	-0.1118E-06	-0.2463E-12 +J	0.3515E-05
SECUENCIA NEGATIVA	-0.6190E-07 +J	0.7106E-07	-0.2463E-12 +J	0.3515E-05	-0.2092E-06 +J	-0.1118E-06

 ADMITANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS
 COMPONENTES DE SECUENCIA
 MHOS/KM
 CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1 AL 2

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.0000E 00 +J	-0.7454E-06	0.9121E-08 +J	-0.2256E-07	-0.9121E-08 +J	-0.2256E-07
SECUENCIA POSITIVA	-0.1498E-07 +J	0.1918E-07	-0.1190E-06 +J	0.6868E-07	-0.2266E-08 +J	0.9830E-07
SECUENCIA NEGATIVA	0.1498E-07 +J	0.1918E-07	0.2266E-08 +J	0.9830E-07	0.1190E-06 +J	0.6868E-07

MATRIZ DE IMPECANCIAS SERIE

CHMS/KM
 CIRCUITO ORIGINAL
 CONDUCTORES SIGUEN EL MISMO ORDEN QUE LA ENTRADA EN LAS TARJETAS DE DATOS

0.1181E 00							
0.8534E 00							
0.5922E-01	0.1181E 00						
0.3978E 00	0.8534E 00						
0.5922E-01	0.5922E-01	0.1181E 00					
0.3460E 00	0.3980E 00	0.8534E 00					
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.1181E 00				
0.3307E 00	0.3535E 00	0.2720E 00	0.8534E 00				
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.1181E 00			
0.3534E 00	0.3626E 00	0.3535E 00	0.3980E 00	0.8534E 00			
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.1181E 00		
0.3720E 00	0.3534E 00	0.3307E 00	0.3460E 00	0.3978E 00	0.8534E 00		
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.4615E 01	
0.3560E 00	0.3227E 00	0.3002E 00	0.3002E 00	0.3227E 00	0.3560E 00	0.1714E 01	

IMPEDANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS
 COMPONENTES DE FASE
 CHMS/KM
 CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1

FASE A			FASE B			FASE C			
FASE A	0.1370E 30	+J	0.8367E 00	0.7756E-01	+J	0.3823E 00	0.7411E-01	+J	0.3313E 00
FASE B	0.7759E-01	+J	0.3823E 00	0.1145E 00	+J	0.4390E 00	0.7439E-01	+J	0.3344E 00
FASE C	0.7616E-01	+J	0.3313E 00	0.7439E-01	+J	0.3944E 00	0.1320E 00	+J	0.2466E 00

CIRCUITO 2

FASE A			FASE B			FASE C			
FASE A	0.1320E 00	+J	0.4405E 00	0.7439E-01	+J	0.3444E 00	0.7616E-01	+J	0.3313E 00
FASE B	0.7433E-01	+J	0.3444E 00	0.1145E 00	+J	0.4390E 00	0.7759E-01	+J	0.3823E 00
FASE C	0.7616E-01	+J	0.3313E 00	0.7759E-01	+J	0.3823E 00	0.1385E 00	+J	0.2466E 00

IMPEDANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS
 COMPONENTES DE FASE
 CHMS/KM
 CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1 AL 2

FASE A			FASE B			FASE C			
FASE A	0.7616E-01	+J	0.3160E 00	0.7439E-01	+J	0.3399E 00	0.7320E-01	+J	0.3551E 00
FASE B	0.7759E-01	+J	0.3379E 00	0.7568E-01	+J	0.3482E 00	0.7429E-01	+J	0.3356E 00
FASE C	0.7971E-01	+J	0.3553E 00	0.7759E-01	+J	0.3379E 00	0.7616E-01	+J	0.3160E 00

IMPEDANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS
 COMPONENTES DE SECUENCIA
 CHMS/KM
 CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.2871E 00	+J	0.1571E 01	-0.1171E-01	+J	-0.9167E-02
SECUENCIA POSITIVA	-0.1171E-01	+J	-0.9167E-02	-0.2978E-01	+J	0.1748E-01
SECUENCIA NEGATIVA	0.1688E-01	+J	-0.1136E-01	0.5899E-01	+J	0.4727E 00

CIRCUITO 2

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.2471E 00	+J	0.1571E 01	-0.1828E-01	+J	-0.8532E-02
SECUENCIA POSITIVA	-0.1828E-01	+J	-0.8532E-02	-0.2994E-01	+J	0.1734E-01
SECUENCIA NEGATIVA	0.1374E-01	+J	-0.2582E-02	0.5899E-01	+J	0.4727E 00

IMPEDANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS
 COMPONENTES DE SECUENCIA
 CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1 AL 2

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.2281E 00	+J	0.1017E 01	-0.5929E-01	+J	-0.2642E-02
SECUENCIA POSITIVA	-0.7122E-02	+J	-0.2527E-02	0.1941E-01	+J	-0.1161E-01
SECUENCIA NEGATIVA	0.2582E-02	+J	0.8989E-03	-0.1674E-01	+J	-0.1556E-01

COMPARACION DE RESULTADOS

IMPEDANCIAS SERIE (OHMS/HILLA)
COMPONENTES DE FASE
PROPIAS CIRCUITO 1

INECEL			PROGRAMA		
A	B	C	A	B	C
0.2196+J1.3514	0.1219+J0.6197	0.1199+J0.5370	0.2230+J1.3460	0.1249+J0.6153	0.1226+J0.5332
0.1219+J0.6197	0.2139+J1.3541	0.1175+J0.6219	0.1249+J0.6153	0.2165+J1.3500	0.1197+J0.6187
0.1199+J0.5370	0.1175+J0.6219	0.2107+J1.3554	0.1226+J0.5332	0.1197+J0.6187	0.2125+J0.1353

PROPIAS CIRCUITO 2

0.2107+J1.3554	0.1175+J0.6219	0.1199+J0.5370	0.2125+J1.3530	0.1197+J0.6187	0.1226+J0.5332
0.1175+J0.6219	0.2139+J1.3541	0.1219+J0.6197	0.1197+J0.6187	0.2165+J1.3500	0.1249+J0.6153
0.1199+J0.5370	0.1219+J0.6197	0.2196+J1.3514	0.1226+J0.5332	0.1249+J0.6153	0.2230+J1.3460

MUTUAS ENTRE CIRCUITOS 1 y 2

0.1199+J0.5124	0.1175+J0.5503	0.1160+J0.5808	0.1226+J0.5085	0.1197+J0.6470	0.1178+J0.5780
0.1218+J0.5482	0.1191+J0.5642	0.1175+J0.5503	0.1249+J0.5438	0.1218+J0.5604	0.1197+J0.5470
0.1249+J0.5767	0.1218+J0.5482	0.1199+J0.5124	0.1283+J0.5718	0.1249+J0.5438	0.1226+J0.5085

ADMITANCIAS (MICROMHOS/HILLA)

ADMITANCIAS PROPIAS DEL CIRCUITO 1

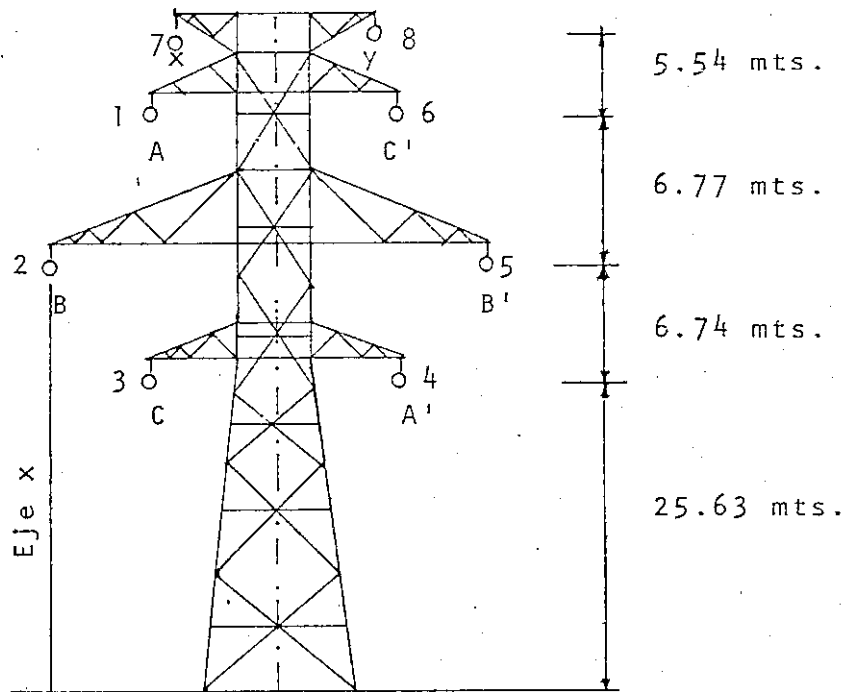
0.0000+J4.8894	0.0000-J0.8968	0.0000-J0.3460	0.0000+J4.8710	0.0000-J0.8853	0.0000-J0.3391
0.0000-J0.8968	0.0000+J5.0468	0.0000-J0.8474	0.0000-J0.8853	0.0000+J5.0300	0.0000-J0.8429
0.0000-J0.3460	0.0000-J0.8474	0.0000+J5.0097	0.0000-J0.3391	0.0000-J0.8429	0.0000+J4.9990
0.0000+J5.0097	0.0000-J0.8474	0.0000-J0.3460	0.0000+J4.9990	0.0000-J0.8429	0.0000-J0.3391
0.0000-J0.8474	0.0000+J5.0468	0.0000-J0.8968	0.0000-J0.8429	0.0000+J5.0300	0.0000-J0.8853
0.0000-J0.3460	0.0000-J0.8968	0.0000+J4.8896	0.0000-J0.3391	0.0000-J0.8853	0.0000+J4.8710

MUTUAS ENTRE CIRCUITOS 1 y 2

0.0000-J0.2849	0.0000-J0.3590	0.0000-J0.5560	0.0000-J0.2244	0.0000-J0.3569	0.0000-J0.5568
0.0000-J0.4003	0.0000-J0.4387	0.0000-J0.3591	0.0000-J0.3975	0.0000-J0.4346	0.0000-J0.3569
0.0000-J0.6553	0.0000-J0.4003	0.0000-J0.2249	0.0000-J0.6506	0.0000-J0.3975	0.0000-J0.2244

Ejemplo N°2

Línea de transmisión del S.N.I. Zona 2



Conductor: 1113 MCM, ACSR, Bluejay

Hilo de guarda: 3/8 pulg. acero

Frecuencia = 60 (Hz)

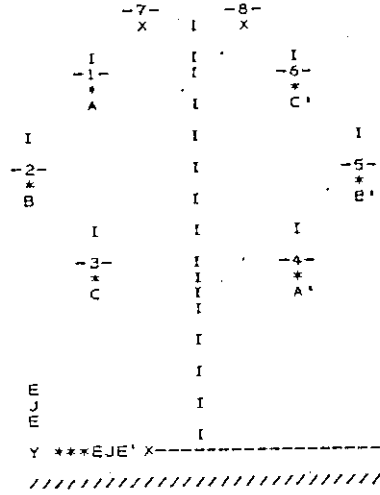
Resistividad de la tierra = 300 (ohm-m)

Coordenadas Horizontales de los conductores desde el eje de referencia:

Conductor	1	1.2496	mts.
"	2	0.080	"
"	3	1.2496	"
"	4	9.7536	"
"	5	11.003	"
"	6	9.7536	"
"	7	2.4993	"
"	8	8.5039	"

Los datos completos se indican a continuación.

L/T 230 KV, COBLE TERNA, ACSR 1113 KCM, ZCNA 2, HG 3/8 EHS
 TORRE 230 KV, ZONA 2, S.N. I.



CIRCUITO 1: FASES A, B, C CONDUCTORES 1, 2, 3 RESPECTIVAMENTE
 CIRCUITO 2: FASES A, B, C CONDUCTORES 4, 5, 6 RESPECTIVAMENTE

 DATOS DE INFORMACION DEL SISTEMA

N. DE CONDUCTORES = 8
 RESISTIVIDAD DE TIERRA = 300.00
 FRECUENCIA DEL SISTEMA = 60.00
 FACTOR DE CORRECCION DE CARSON = 1
 TIPOS DE CALCULO:

- 1- PARAMETROS ELECTROMAGNETICOS
- 2- PARAMETROS ELECTROESTATICOS
- 3- PARAMETROS ELECTROESTATICOS Y ELECTROMAGNETICOS

TIPO DE CALCULO REQUERIDO = 3
 ALTURA BASE DEL SISTEMA = 0.00
 LONGITUD(KM) = 1.00

ALTURA BASE DE LAS ESTRUCTURAS :

TORRE 1 = 0.00 KV

VALORES SON CALCULADOS EN OHMS/KM Y/O MHOS/KV

 DATOS DE LOS CONDUCTORES

D.	R(OHM/KM)	X(OHM/KM)	DIAMETRO(MTS)	X(MTS)	Y(MTS)	FLECHA(MTS)	CLASE	TIPO
0.0588	0.2399	0.031953	1.25	35.14	18.14	C	1	
0.0588	0.2399	0.031953	0.00	32.37	18.12	C	1	
0.0588	0.2399	0.031953	1.25	25.63	18.13	C	1	
0.0588	0.2399	0.031953	9.75	25.63	18.13	C	1	
0.0588	0.2399	0.031953	11.00	32.37	18.14	C	1	
0.0588	0.2399	0.031953	9.75	35.14	17.61	C	1	
4.5556	1.1000	0.007525	2.50	44.68	15.31	C	-1	
4.5556	1.1000	0.005525	8.50	44.68	15.31	C	-1	

 MATRIZ DE ADMITANCIAS
 MHOS/KM
 CIRCUITO ORIGINAL
 CONDUCTORES SIGUEN EL MISMO ORDEN QUE LA ENTRADA EN LAS TARJETAS DE DATOS

-0.0300F 00									
0.3006E-05									
-0.0000E 00	-0.0000E 00								
-0.4788E-06	0.3028E-05								
-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00							
-0.1709E-06	-0.4472E-06	0.3046E-05							
-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00						
-0.1163E-06	-0.1985E-06	-0.3286E-06	0.3046E-05						
-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00					
-0.2145E-06	-0.2356E-06	-0.1994E-06	-0.4452E-06	0.3028E-05					
-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00				
-0.3591E-06	-0.2392E-06	-0.1123E-06	-0.1655E-06	-0.4643E-06	0.3002E-05				
-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00			
-0.4355E-06	-0.1594E-06	-0.7697E-07	-0.5757E-07	-0.1183E-06	-0.2702E-06	0.2485E-05			
-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00	-0.0000E 00		
-0.2593E-06	-0.1187E-06	-0.5784E-07	-0.7719E-07	-0.1600E-06	-0.4156E-06	-0.4520E-06	0.2485E-05		

 ADMITANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS
 COMPONENTES DE FASE
 MHOS/KM
 CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1

	FASE A			FASE B			FASE C		
FASE A	-0.0000E 00	+J	0.3006E-05	-0.0000E 00	+J	-0.4788E-06	-0.0000E 00	+J	-0.1709E-06
FASE B	-0.0000E 00	+J	-0.4788E-06	-0.0000E 00	+J	0.3028E-05	-0.0000E 00	+J	-0.4472E-06
FASE C	-0.0000E 00	+J	-0.1709E-06	-0.0000E 00	+J	-0.4472E-06	-0.0000E 00	+J	0.3046E-05

CIRCUITO 2

	FASE A			FASE B			FASE C		
FASE A	-0.0000E 00	+J	0.3006E-05	-0.0000E 00	+J	-0.4492E-06	-0.0000E 00	+J	-0.1655E-06
FASE B	-0.0000E 00	+J	-0.4492E-06	-0.0000E 00	+J	0.3028E-05	-0.0000E 00	+J	-0.4643E-06
FASE C	-0.0000E 00	+J	-0.1655E-06	-0.0000E 00	+J	-0.4643E-06	-0.0000E 00	+J	0.3002E-05

 ADMITANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS
 COMPONENTES DE FASE
 MHOS/KM
 CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1 AL 2

	FASE A			FASE B			FASE C		
FASE A	-0.0000E 00	+J	-0.1163E-06	-0.0000E 00	+J	-0.1709E-06	-0.0000E 00	+J	-0.3286E-06
FASE B	-0.0000E 00	+J	-0.2145E-06	-0.0000E 00	+J	-0.2356E-06	-0.0000E 00	+J	-0.1985E-06
FASE C	-0.0000E 00	+J	-0.3591E-06	-0.0000E 00	+J	-0.2697E-06	-0.0000E 00	+J	-0.1123E-06

IMPEDANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS
COMPONENTES DE FASE
OHMS/KM
CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1

	FASE A		FASE B		FASE C	
FASE A	0.1519E 00	+J	0.3791E 00	0.9778E-01	+J	0.3586E 00
FASE B	0.9778E-01	+J	0.3686E 00	0.1519E 00	+J	0.8466E 00
FASE C	0.9458E-01	+J	0.3197E 00	0.9028E-01	+J	0.3792E 00

CIRCUITO 2

	FASE A		FASE B		FASE C	
FASE A	0.1465E 00	+J	0.3593E 00	0.9025E-01	+J	0.3739E 00
FASE B	0.9025E-01	+J	0.3739E 00	0.1519E 00	+J	0.8466E 00
FASE C	0.9475E-01	+J	0.3164E 00	0.9795E-01	+J	0.3866E 00

IMPEDANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS
COMPONENTES DE FASE
OHMS/KM
CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1 AL 2

	FASE A		FASE B		FASE C	
FASE A	0.9458E-01	+J	0.3071E 00	0.9025E-01	+J	0.3375E 00
FASE B	0.9772E-01	+J	0.3273E 00	0.9305E-01	+J	0.3363E 00
FASE C	0.1032E 00	+J	0.3483E 00	0.9791E-01	+J	0.3265E 00

IMPEDANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS
COMPONENTES DE SECUENCIA
OHMS/KM
CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.3418E 00	+J	0.1555E 01	-0.6728E-02	+J	-0.1028E-01
SECUENCIA POSITIVA	-0.6728E-02	+J	-0.1028E-01	-0.2992E-01	+J	0.1719E-01
SECUENCIA NEGATIVA	0.1028E-01	+J	-0.1525E-01	0.5922E-01	+J	0.4918E 00

CIRCUITO 2

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.3422E 00	+J	0.1551E 01	-0.2343E-01	+J	-0.8609E-02
SECUENCIA POSITIVA	-0.2147E-01	+J	-0.8509E-02	-0.2992E-01	+J	0.1609E-01
SECUENCIA NEGATIVA	0.1279E-01	+J	0.1377E-01	0.5924E-01	+J	0.4927E 00

IMPEDANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS
COMPONENTES DE SECUENCIA
CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1 AL 2

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.3031E 00	+J	0.8922E 00	0.7035E-02	+J	-0.2016E-02
SECUENCIA POSITIVA	-0.4987E-02	+J	-0.4404E-01	0.2247E-01	+J	-0.1329E-01
SECUENCIA NEGATIVA	-0.1092E-02	+J	0.7724E-02	-0.5957E-01	+J	-0.2123E-01

COMPARACION DE RESULTADOS

IMPEDANCIAS SERIE (OHMS/MILLA)

COMPONENTES DE FASE

PROPIAS CIRCUITO 1

INECEL

C

A

PROGRAMA

B

C

A	0.2588+J1.3553	0.1557+J0.5965	0.1508+J0.5174	0.2606+J1.3520	0.1574+J0.5931	0.1522+J0.5145
B	0.1557+J0.5965	0.2431+J1.3652	0.1442+J0.6040	0.1574+J0.5931	0.2404+J1.3620	0.1453+J0.6016
C	0.1508+J0.5174	0.1442+J0.6040	0.2350+J1.3703	0.1522+J0.5145	0.1453+J0.6016	0.2357+J1.3680

PROPIAS CIRCUITO 2

A	0.2350+J1.3703	0.1443+J0.6004	0.1508+J0.5174	0.2357+J1.3680	0.1452+J0.6018	0.1525+J0.5124
B	0.1443+J0.6004	0.2434+J1.4650	0.1559+J0.6000	0.1452+J0.6018	0.2444+J1.3620	0.1576+J0.5890
C	0.1508+J0.5174	0.1559+J0.6000	0.2588+J1.3553	0.1525+J0.5124	0.1576+J0.5890	0.2613+J1.3510

MUTUAS ENTRE CIRCUITOS 1 Y 2

A	0.1508+J0.4972	0.1442+J0.5376	0.1403+J0.5804	0.1522+J0.4943	0.1452+J0.5352	0.1411+J0.5785
B	0.1558+J0.5313	0.1485+J0.5440	0.1443+J0.5363	0.1573+J0.5268	0.1497+J0.5412	0.1452+J0.5353
C	0.1639+J0.5685	0.1556+J0.7303	0.1508+J0.4972	0.1661+J0.5613	0.1576+J0.5254	0.1524+J0.4927

ADMITANCIAS (MICRONHOS/MILLA)

A	0.0000+J4.8505	0.0000-J0.7705	0.0000-J0.2788	0.0000+J4.8380	0.0000-J0.7705	0.0000-J0.2751
B	0.0000-J0.7705	0.0000+J4.8863	0.0000-J0.7356	0.0000-J0.7705	0.0000+J4.8730	0.0000-J0.7197
C	0.0000-J0.2788	0.0000-J0.7356	0.0000+J4.9163	0.0000-J0.2751	0.0000-J0.7197	0.0000+J4.9030

PROPIAS CIRCUITO 2

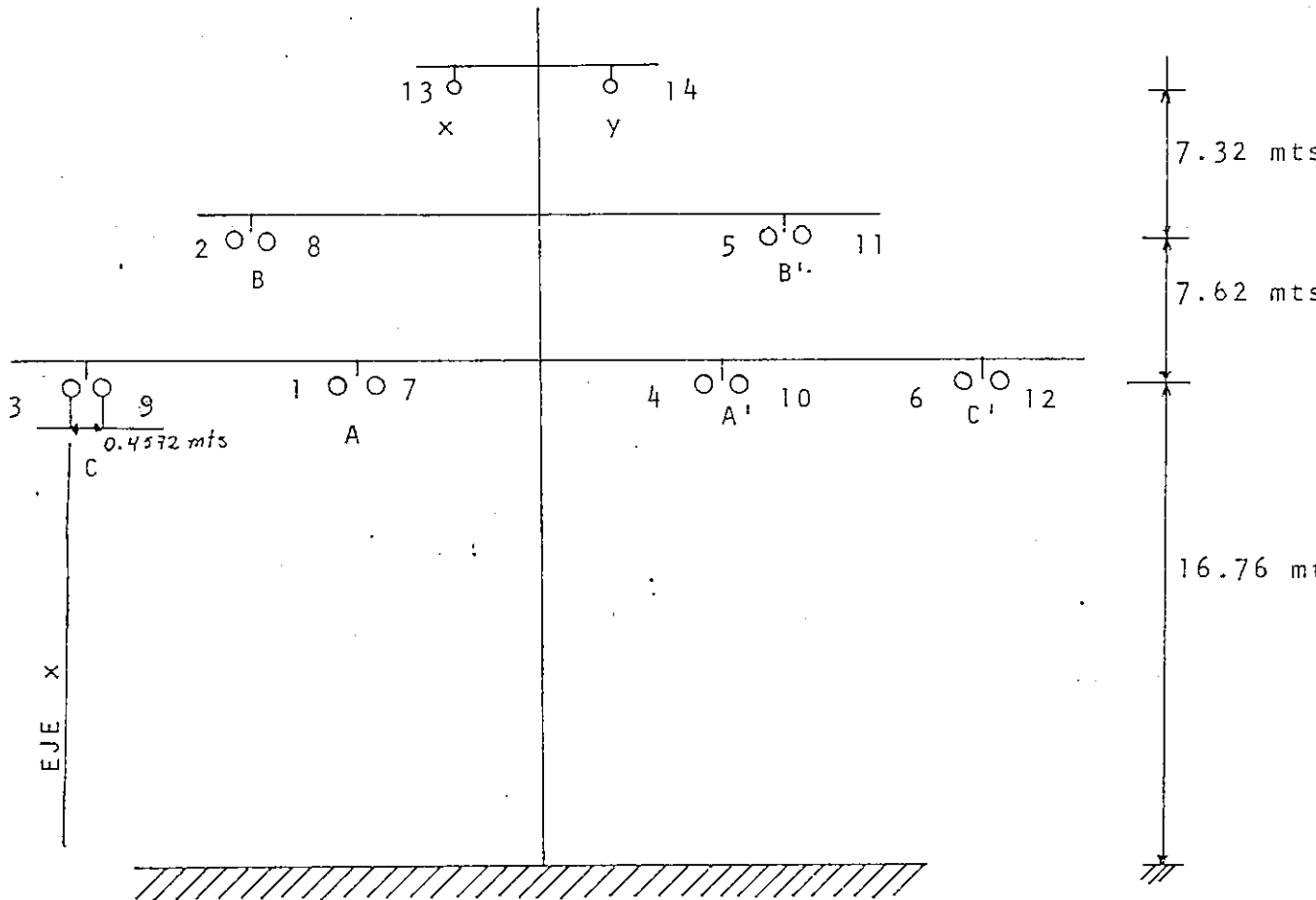
A	0.0000+J4.9112	0.0000-J0.7565	0.0000-J0.2788	0.0000+J4.9002	0.0000-J0.7230	0.0000-J0.2664
B	0.0000-J0.7165	0.0000+J4.8857	0.0000-J0.7910	0.0000-J0.7230	0.0000+J4.8680	0.0000-J0.7473
C	0.0000-J0.2788	0.0000-J0.7910	0.0000+J4.8564	0.0000-J0.2664	0.0000-J0.7473	0.0000+J4.8320

MUTUAS ENTRE CIRCUITOS 1 Y 2

A	0.0000-J0.1890	0.0000-J0.3184	0.0000-J0.5364	0.0000-J0.1872	0.0000-J0.3195	0.0000-J0.5289
B	0.0000-J0.3470	0.0000-J0.3734	0.0000-J0.3130	0.0000-J0.3453	0.0000-J0.3792	0.0000-J0.3208
C	0.0000-J0.5826	0.0000-J0.3410	0.0000-J0.1877	0.0000-J0.5779	0.0000-J0.3367	0.0000-J0.1808

Ejemplo N°3

Línea de transmisión tomada de la Referencia 17.



Conductor 795 KCM, ACSR

Hilo de guarda 3/8 pulg. acero

Frecuencia = 60 (Hz)

Resistividad de la tierra = 100 (ohm-mt)

Coordenadas Horizontales de los conductores desde el eje de referencia:

Conductor	1	7.0104	mts.
"	2	3.9624	"
"	3	0.0000	"
"	4	14.9352	"
"	5	17.9832	"
"	6	21.9476	"
"	7	7.4676	"
"	8	4.4196	"
"	9	0.4572	"
"	10	15.3924	"
"	11	18.4404	"
"	12	22.4028	"
"	13	7.4676	"
"	14	14.9352	"

Los datos completos se indican a continuación:

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE

DEPARTAMENTO DE

PROGRAMADO POR

VERIFICADO POR

PAGINA DE

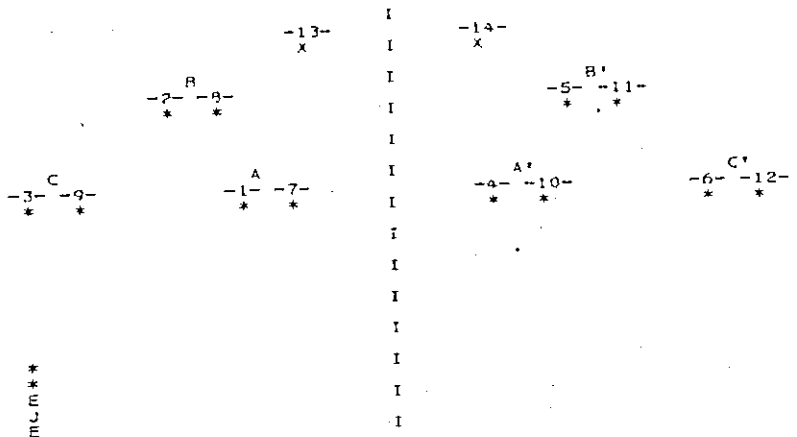
FECHA

HOJA DE CODIFICACION

PROGRAMA

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
LÍNEA DOBLE CURCUITO, 345 KV, 2-795																											KCT		ACSR		H6		3/8		EHS																																												
																											-13-		I																																																		
																											X		I																																																		
																											-14-		I																																																		
																											X		I																																																		
																											-2-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-8-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-9-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-3-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-7-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-1-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-10-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-6-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-12-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-11-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-6-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-11-		I																																																		
																											*		I																																																		
																											-12-		I																																																		
																											*		I																																																		

DOBLE CIRCUITO, 345 KV, 2-795 KCM ACSP, HG 3/3 ** ACERO EH S(40 AMP.)
 LO TOMADO DEL PROCEDINGS DE LA IEEE JULIO 1974



X EJE Y ***-----
 //

- UITO 1 :FASE A :CCNDUCTORES 1,7
- FASE B :CCNDUCTORES 2,8
- FASE C :CONDUCTORES 3,9

- UITO 2 :FASE A :CCNDUCTORES 4,10
- FASE B :CONDUCTORES 5,11
- FASE C :CONDUCTORES 6,12

 DATOS DE INFORMACION DEL SISTEMA

Nº. DE CONDUCTORES = 14

RESISTIVIDAD DE TIERRA = 100.00

FRECUENCIA DEL SISTEMA = 60.00

TIPO DE CORRECCION DE CARSON = 1

POSIBLES TIPOS DE CALCULO:

- 1- PARAMETROS ELECTROMAGNETICOS
- 2- PARAMETROS ELECTROESTATICOS
- 3- PARAMETROS ELECTROESTATICOS Y ELECTROMAGNETICOS

TIPO DE CALCULO REQUERIDO = 2

*** BASE DEL SISTEMA = 0.00

LONGITUD(KM) = 1.00

VOLTAJE BASE DE LAS ESTRUCTURAS :

TORRE 1 = 0.00 KV

LOS VALORES SON CALCULADOS EN OHMS/KM Y/O VHS/KM

 DATOS DE LOS CONDUCTORES

Nº.	R(OHM/KM)	X(OHM/KM)	DIAMETRO(MTS)	X(VTS)	Y(MTS)	FLECHA(MTS)	CLASE	TIPO
1	0.0900	0.2479	0.028143	7.01	16.76	8.05	C	1
2	0.0800	0.2479	0.028143	3.96	24.38	8.05	C	1
3	0.0800	0.2479	0.028143	0.00	16.76	8.05	C	1
4	0.0800	0.2479	0.028143	14.94	16.76	8.05	C	1
5	0.0800	0.2479	0.028143	17.98	16.76	8.05	C	1
6	0.0800	0.2479	0.028143	21.95	16.76	8.05	C	1
7	0.0800	0.2479	0.028143	7.47	16.76	8.05	C	1
8	0.0900	0.2479	0.028143	4.47	24.38	8.05	C	1
9	0.0800	0.2479	0.028143	0.44	16.76	8.05	C	1
10	0.0800	0.2479	0.028143	15.39	16.76	8.05	C	1
11	0.0800	0.2479	0.028143	18.44	24.38	8.05	C	1
12	4.3455	1.7361	0.009575	22.40	16.76	4.7	C	1
13	4.3495	1.7361	0.009575	7.47	31.70	4.7	C	1
14	4.3495	1.7361	0.009575	14.54	31.70	4.7	C	1

ADMITANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS
COMPONENTES DE FASE
MHOS/KM
CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1

FASE A

FASE B

FASE C

FASE A	-0.0000E 00	+J	0.4175E-05	-0.0000E 00	+J	-0.5656E-06	-0.0000E 00	+J	-0.6374E-06
FASE B	-0.0000E 00	+J	-0.5656E-06	-0.0000E 00	+J	0.3885E-05	-0.0000E 00	+J	-0.5564E-06
FASE C	-0.0000E 00	+J	-0.6374E-06	-0.0000E 00	+J	-0.5964E-06	-0.0000E 00	+J	0.4041E-06

CIRCUITO 2

FASE A

FASE B

FASE C

FASE A	-0.0000E 00	+J	0.4429E-05	-0.0000E 00	+J	-0.1316E-05	-0.0000E 00	+J	-0.4538E-06
FASE B	-0.0000E 00	+J	-0.1316E-05	-0.0000E 00	+J	0.5403E-05	-0.0000E 00	+J	-0.1115E-05
FASE C	-0.0000E 00	+J	-0.4538E-06	-0.0000E 00	+J	-0.1115E-05	-0.0000E 00	+J	0.4172E-06

ADMITANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS
COMPONENTES DE FASE
MHOS/KM
CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1 AL 2

FASE A

FASE B

FASE C

FASE A	-0.0000E 00	+J	-0.5069E-06	-0.0000E 00	+J	-0.2315E-06	-0.0000E 00	+J	-0.1385E-06
FASE B	-0.0000E 00	+J	-0.2227E-06	-0.0000E 00	+J	-0.3079E-06	-0.0000E 00	+J	-0.1187E-06
FASE C	-0.0000E 00	+J	-0.1232E-06	-0.0000E 00	+J	-0.1006E-06	-0.0000E 00	+J	-0.3484E-07

ADMITANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS
COMPONENTES DE SECUENCIA
MHOS/KM
CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1

SECUENCIA CERO

SECUENCIA NEGATIVA

SECUENCIA POSITIVA

SECUENCIA CERO	0.0000E 00	+J	0.2832E-05	0.2536E-07	+J	0.6457E-07	-0.2536E-07	+J	-0.6857E-07
SECUENCIA POSITIVA	0.2536E-07	+J	0.6857E-07	-0.3408E-07	+J	0.7562E-07	0.2842E-12	+J	0.4635E-05
SECUENCIA NEGATIVA	-0.2536E-07	+J	0.6457E-07	0.2842E-12	+J	0.4635E-05	0.8408E-07	+J	0.7562E-07

CIRCUITO 2

SECUENCIA CERO

SECUENCIA NEGATIVA

SECUENCIA POSITIVA

SECUENCIA CERO	0.0000E 00	+J	0.2879E-05	-0.2218E-06	+J	-0.1095E-06	0.2218E-06	+J	-0.1095E-06
SECUENCIA POSITIVA	-0.2218E-06	+J	-0.1095E-06	0.6666E-06	+J	-0.3193E-06	0.5664E-13	+J	0.5763E-05
SECUENCIA NEGATIVA	0.2218E-06	+J	-0.1095E-06	0.5664E-13	+J	0.5763E-05	-0.9666E-06	+J	-0.3293E-06

ADMITANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS
COMPONENTES DE SECUENCIA
MHOS/KM
CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1 AL 2

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.0000E 00 +J	-0.6222E-06	0.1004E-06 +J	-0.1622E-06	-0.1004E-06 +J	-0.1622E-06
SECUENCIA POSITIVA	0.1417E-06 +J	-0.1243E-06	0.5407E-06 +J	-0.4892E-07	0.2249E-07 +J	-0.1107E-06
SECUENCIA NEGATIVA	-0.1417E-06 +J	-0.1243E-06	-0.2549E-07 +J	-0.1107E-06	-0.5407E-06 +J	-0.4892E-07

MATRIZ DE IMPECANCIAS SERIE

OHMS/KM

CIRCUITO ORIGINAL

CONDUCTORES SIGUEN EL MISMO ORDEN QUE LA ENTRADA EN LAS TARJETAS DE DATOS

COLUMNAS 1 A LA 8

0.1392E 00	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.3462E 00	0.3500E 00	0.3619E 00	0.3526E 00	0.3281E 00	0.3048E 00	0.3577E 00	0.3514E 00
0.5922E-01	0.1392E 00	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.3500E 00	0.8462E 00	0.3465E 00	0.3132E 00	0.2998E 00	0.2846E 00	0.3483E 00	0.3577E 00
0.5922E-01	0.5922E-01	0.1392E 00	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.3619E 00	0.3465E 00	0.2462E 00	0.3048E 00	0.2908E 00	0.2758E 00	0.3571E 00	0.3446E 00
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.1392E 00	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.3526E 00	0.3132E 00	0.3048E 00	0.8462E 00	0.4247E 00	0.2619E 00	0.3571E 00	0.3154E 00
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.1392E 00	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.3281E 00	0.2598E 00	0.2908E 00	0.4247E 00	0.8462E 00	0.4049E 00	0.3313E 00	0.3522E-01
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.1392E 00	0.5922E-01	0.5922E-01
0.3048E 00	0.2846E 00	0.2758E 00	0.3619E 00	0.4049E 00	0.8462E 00	0.3072E 00	0.2822E 00
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.5677E 00	0.3483E 00	0.3571E 00	0.3571E 00	0.3313E 00	0.3072E 00	0.8462E 00	0.3500E 00
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.3514E 00	0.5677E 00	0.3446E 00	0.3154E 00	0.3017E 00	0.2662E 00	0.3500E 00	0.8462E 00
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.3669E 00	0.3483E 00	0.3577E 00	0.3072E 00	0.2928E 00	0.2774E 00	0.2619E 00	0.3465E 00
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.3483E 00	0.3111E 00	0.3026E 00	0.5677E 00	0.4369E 00	0.3669E 00	0.3526E 00	0.3132E 00
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.3111E 00	0.3072E 00	0.2810E 00	0.3483E 00	0.3554E 00	0.3483E 00	0.3122E 00	0.3096E 00
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.3026E 00	0.2830E 00	0.2743E 00	0.3571E 00	0.3966E 00	0.5677E 00	0.3048E 00	0.2846E 00
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.2945E 00	0.3341E 00	0.2879E 00	0.2879E 00	0.2824E 00	0.2742E 00	0.2945E 00	0.3322E 00
0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01	0.5922E-01
0.2872E 00	0.3069E 00	0.2732E 00	0.2945E 00	0.2923E 00	0.2669E 00	0.2879E 00	0.3087E 00

0.5922E-01 0.3669E 00	0.5922E-01 0.3484E 00	0.5922E-01 0.3111E 00	0.5922E-01 0.3026E 00	0.5922E-01 0.2945E 00	0.5922E-01 0.2872E 00
0.5922E-01 0.3483E 00	0.5922E-01 0.3111E 00	0.5922E-01 0.3072E 00	0.5922E-01 0.2930E 00	0.5922E-01 0.2841E 00	0.5922E-01 0.2769E 00
0.5922E-01 0.3677E 00	0.5922E-01 0.3026E 00	0.5922E-01 0.2810E 00	0.5922E-01 0.2743E 00	0.5922E-01 0.2679E 00	0.5922E-01 0.2732E 00
0.5922E-01 0.3072E 00	0.5922E-01 0.3677E 00	0.5922E-01 0.3483E 00	0.5922E-01 0.3571E 00	0.5922E-01 0.2879E 00	0.5922E-01 0.2945E 00
0.5922E-01 0.2928E 00	0.5922E-01 0.4369E 00	0.5922E-01 0.3554E 00	0.5922E-01 0.3066E 00	0.5922E-01 0.2824. 00	0.5922E-01 0.2933E 00
0.5922E-01 0.2774E 00	0.5922E-01 0.1669E 00	0.5922E-01 0.1443E 00	0.5922E-01 0.5677E 00	0.5922E-01 0.2742E 00	0.5922E-01 0.2886E 00
0.5922E-01 0.3619E 00	0.5922E-01 0.3526E 00	0.5922E-01 0.3132E 00	0.5922E-01 0.3048E 00	0.5922E-01 0.2945E 00	0.5922E-01 0.2879E 00
0.5922E-01 0.3465E 00	0.5922E-01 0.3132E 00	0.5922E-01 0.3096E 00	0.5922E-01 0.2846E 00	0.5922E-01 0.3352E 00	0.5922E-01 0.3087E 00
0.1392E 00 0.8462E 00	0.5922E-01 0.3049E 00	0.5922E-01 0.2846E 00	0.5922E-01 0.2733E 00	0.5922E-01 0.2986E 00	0.5922E-01 0.2742E 00
0.5922E-01 0.3048E 00	0.1392E 00 0.8462E 00	0.5922E-01 0.3500E 00	0.5922E-01 0.3619E 00	0.5922E-01 0.2872E 00	0.5922E-01 0.2945E 00
0.5922E-01 0.2846E 00	0.5922E-01 0.3520E 00	0.1392E 00 0.8462E 00	0.5922E-01 0.3465E 00	0.5922E-01 0.3069E 00	0.5922E-01 0.3341E 00
0.5922E-01 0.2758E 00	0.5922E-01 0.3619E 00	0.5922E-01 0.3465E 00	0.1392E 00 0.8462E 00	0.5922E-01 0.2732E 00	0.5922E-01 0.2879E 00
0.5922E-01 0.2886E 00	0.5922E-01 0.2872E 00	0.5922E-01 0.3069E 00	0.5922E-01 0.3732E 00	0.4409E 01 0.2334E 01	0.5922E-01 0.3571E 00
0.5922E-01 0.2742E 00	0.5922E-01 0.2945E 00	0.5922E-01 0.3241E 00	0.5922E-01 0.2879E 00	0.5922E-01 0.3571E 00	0.4409E 01 0.2334E 01

IMPEDANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS
COMPONENTES DE FASE
OHMS/KM
CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1

FASE A

FASE B

FASE C

FASE A	0.1193E 00	+J	0.6791E 00	0.8165E-01	+J	0.3203E 00	0.7823E-01	+J	0.3351E 00
FASE B	0.8165E-01	+J	0.3203E 00	0.1245E 00	+J	0.6747E 00	0.8071E-01	+J	0.3177E 00
FASE C	0.7935E-01	+J	0.3351E 00	0.8071E-01	+J	0.3177E 00	0.1175E 00	+J	0.6809E 00

CIRCUITO 2

FASE A

FASE B

FASE C

FASE A	0.1207E 00	+J	0.6725E 00	0.8048E-01	+J	0.3613E 00	0.7927E-01	+J	0.3307E 00
FASE B	0.8048E-01	+J	0.3613E 00	0.1214E 00	+J	0.5712E 00	0.7951E-01	+J	0.2463E 00
FASE C	0.7937E-01	+J	0.3307E 00	0.7951E-01	+J	0.3463E 00	0.1122E 00	+J	0.6760E 00

IMPEDANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS
COMPONENTES DE FASE
OHMS/KM
CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1 AL 2

FASE A

FASE B

FASE C

FASE A	0.7942E-01	+J	0.3236E 00	0.8179E-01	+J	0.2840E 00	0.7659E-01	+J	0.2774E 00
FASE B	0.8022E-01	+J	0.2925E 00	0.8277E-01	+J	0.2738E 00	0.7528E-01	+J	0.2602E 00
FASE C	0.7854E-01	+J	0.2772E 00	0.8072E-01	+J	0.2561E 00	0.7765E-01	+J	0.2454E 00

 IMPEDANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS
 COMPONENTES DE SECUENCIA
 OHMS/KM
 CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.2809E 00 +J	0.1327E 01	0.5275E-02 +J	0.6748E-02	-0.6507E-02 +J	0.5244E-03
SECUENCIA POSITIVA	0.5775E-02 +J	0.6748E-02	0.6643E-02 +J	-0.6360E-02	0.4018E-01 +J	0.3539E 00
SECUENCIA NEGATIVA	-0.6907E-02 +J	0.8244E-03	0.4018E-01 +J	0.3539E 00	-0.6857E-02 +J	-0.6160E-02

CIRCUITO 2

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.2797E 00 +J	0.1333E 01	0.2241E-01 +J	0.1712E-01	-0.2157E-01 +J	0.1465E-01
SECUENCIA POSITIVA	0.2241E-01 +J	0.1712E-01	-0.4849E-01 +J	0.1589E-01	0.4033E-01 +J	0.2945E 00
SECUENCIA NEGATIVA	-0.2157E-01 +J	0.1465E-01	0.4033E-01 +J	0.2945E 00	0.4853E-01 +J	0.1645E-01

 IMPEDANCIAS MUTUAS ENTRE CIRCUITOS
 COMPONENTES DE SECUENCIA
 CIRCUITO EQUIVALENTE

CIRCUITO 1 AL 2

	SECUENCIA CERO		SECUENCIA NEGATIVA		SECUENCIA POSITIVA	
SECUENCIA CERO	0.2397E 00 +J	0.8315E 00	-0.8370E-02 +J	0.3375E-01	0.7070E-02 +J	0.2513E-01
SECUENCIA POSITIVA	-0.1255E-01 +J	0.2834E-01	0.6679E-03 +J	0.4142E-02	-0.1178E-02 +J	0.7712E-02
SECUENCIA NEGATIVA	0.1274E-01 +J	0.2527E-01	0.1486E-02 +J	0.7774E-02	-0.7712E-03 +J	0.4213E-02

COMPARACION DE RESULTADOS

 IMPEDANCIAS SERIE (OHMS/MILLA)
 COMPONENTES DE FASE
 PROPIAS CIRCUITO 1

	A	B	C	A	B	C
	0.1904+j1.0961	0.1295+j0.5189	0.1246+j0.5423	0.1919+j1.0920	0.1314+j0.5150	0.1260+j0.5392
	0.1295+j0.5189	0.1979+j1.0903	0.1280+j0.5147	0.1314+j0.5150	0.2000+j1.0858	0.1298+j0.5112
	0.1246+j0.5423	0.1280+j0.5147	0.1878+j1.0986	0.1260+j0.5392	0.1298+j0.5112	0.1890+j1.0958

PROPIAS CIRCUITO 2

	0.1904+j1.0961	0.1295+j0.5189	0.1246+j0.5423	0.1942+j1.0822	0.1277+j0.5322	0.1277+j0.5322
	0.1295+j0.5189	0.1979+j1.0903	0.1280+j0.5147	0.1295+j0.5814	0.1953+j0.9192	0.127 +j0.5573
	0.1246+j0.5423	0.1290+j1.0986	0.1878+j1.0986	0.1277+j0.5322	0.127 +j0.5573	0.1902+j1.0910

MUTUAS ENTRE CIRCUITO 1 Y 2

	0.1260+j0.5261	0.1294+j0.4599	0.1245+j0.4505	0.1281+j0.5207	0.1291+j0.4707	0.1264+j0.4461
	0.1294+j0.4599	0.1333+j0.4510	0.1278+j0.4152	0.1291+j0.4707	0.1332+j0.4406	0.1299+j0.4121
	0.1245+j0.4505	0.1278+j0.4152	0.1231+j0.4051	0.1247+j0.4461	0.1299+j0.4121	0.1249+j0.4015

APENDICE I

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE CABLES UTILIZADOS
COMO CONDUCTORES DE FASE

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL CABLE ACSR 5.6

CALIBRE CIRCULAR MILS	HILOS		DIAMETRO EXTERIOR (cm.)	APROXIMADA CAPACIDAD DE CONDUCTI- ON DE CO- RRIENTE (Amp.)*	RESISTENCIA (OHMS/KM) AC-60 Hz 25°C	REACTANCIA INDUCTIVA A UN PIE DE SEPARACION (OHMS/KM) 60 Hz					
	AL.	ACERO				INDIVIDUAL	HACES DE CONDUCTORES SEPARACION (cm.)				
							15.24	22.86	30.48	38.1	45.72
1 590 000	54	19	3.9243	1380	0.0367	0.2230	0.1734	0.1524	0.1385	0.1281	0.1195
1 510 500	54	19	3.8252	1340	0.0386	0.2249	0.1727	0.1536	0.1401	0.1296	0.1210
1 431 000	54	19	3.7211	1300	0.0407	0.2268	0.1738	0.1546	0.1412	0.1307	0.1222
1 351 000	54	19	3.6169	1250	0.0431	0.2292	0.1749	0.1559	0.1424	0.1319	0.1234
1 272 000	54	19	3.5102	1200	0.0458	0.2311	0.1765	0.1575	0.1439	0.1335	0.1249
1 192 500	54	19	3.3985	1160	0.0489	0.2336	0.1781	0.1590	0.1455	0.1350	0.1265
1 113 000	54	19	3.2842	1110	0.0524	0.2361	0.1796	0.1606	0.1471	0.1366	0.1281
1 033 500	54	7	3.1648	1060	0.0564	0.2392	0.1814	0.1622	0.1488	0.1384	0.1298
954 000	54	7	3.0378	1010	0.0610	0.2423	0.1834	0.1644	0.1509	0.1405	0.1319
900 000	54	7	2.9514	970	0.0646	0.2441	0.1847	0.1656	0.1521	0.1416	0.1330
874 500	54	7	2.9108	950	0.0671	0.2454	-	-	-	-	-
795 000	54	7	2.7762	900	0.0739	0.2491	0.1874	0.1683	0.1548	0.1443	0.1357
795 000	26	7	2.8143	900	0.0727	0.2479	0.1870	0.1679	0.1544	0.1439	0.1354
795 000	30	19	2.8956	910	0.0727	0.2441	0.1847	0.1656	0.1521	0.1416	0.1350
715 500	54	7	2.6314	830	0.0820	0.2528	-	-	-	-	-
715 500	26	7	2.6695	840	0.0813	0.2516	0.1893	0.1703	0.1567	0.1463	0.1377
715 500	30	19	2.7457	840	0.0813	0.2479	0.1870	0.1679	0.1544	0.1439	0.1354
666 600	54	7	2.5400	800	0.0876	0.2560	-	-	-	-	-
636 000	54	7	2.4815	770	0.0919	0.2572	-	-	-	-	-
636 000	26	7	2.7146	780	0.0913	0.2560	0.1905	0.1730	0.1595	0.1490	0.1405
636 000	30	19	2.5882	780	0.0913	0.2522	0.1897	0.1707	0.1520	0.1416	0.1330
605 000	54	7	2.4206	750	0.0963	0.2591	-	-	-	-	-
605 000	26	7	2.4536	760	0.0956	0.2578	0.1550	0.1398	0.1289	0.1205	0.1136
556 500	26	7	2.3545	730	0.1043	0.2609	0.1565	0.1412	0.1304	0.1220	0.1152
556 500	30	7	2.4206	730	0.1043	0.2578	0.1550	0.1398	0.1289	0.1205	0.1012
500 000	36	7	2.2961	690	0.1161	0.2615	-	-	-	-	-
477 000	26	7	2.1793	670	0.1217	0.2671	0.1597	0.1444	0.1335	0.1252	0.1183
477 000	30	7	2.2428	670	0.1217	0.2634	0.1578	0.1425	0.1316	0.1232	0.1163
397 500	26	7	1.9888	590	0.1460	0.2740	0.1631	0.1478	0.1370	0.1286	0.1217
397 500	30	7	2.0472	600	0.1460	0.2702	0.1613	0.1460	0.1352	0.1267	0.1199
336 400	26	7	1.8313	530	0.1727	0.2802	0.1662	0.1509	0.1401	0.1317	0.1248
336 400	30	7	1.8821	530	0.1727	0.2765	0.1644	0.1491	0.1383	0.1299	0.1230
300 000	26	7	1.7272	490	0.1932	0.2845	0.1685	0.1532	0.1423	0.1339	0.1270
300 000	30	7	1.7780	500	0.1932	0.2808	-	-	-	-	-
226 800	26	7	1.6306	460	0.2174	0.2889	-	-	-	-	-

* Para el conductor a 75°C, aire a 25°C, velocidad de viento 2.25 Km/hora.

Nota: Cuando se tenga que considerar algún conductor que no esté incluido dentro de estas tablas basta transformar las unidades del sistema inglés al sistema MKS.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL CABLE DE ALUMINIO DESNUDO A.S.C. ¹⁶

CALIBRE AWG. o CIRCULAR MILS	Nº HILOS	DIAMETRO EXTERIOR (cm.)	RESISTENCIA (OHMS/KM)		REACTANCIA INDUCTIVA A UN PIE DE SEPARACION (OHMS/KM) 60 Hz
			25°C	50°C	
1 590 000	61	3.691	0.0395	0.0429	0.2311
1 510 500	61	3.600	0.0413	0.4498	0.2330
1 431 000	61	3.503	0.0434	0.0471	0.2348
1 351 500	61	3.401	0.0456	0.0497	0.2373
1 272 000	61	3.302	0.0481	0.0524	0.2392
1 192 500	61	3.195	0.0512	0.0556	0.2417
1 113 000	61	3.087	0.0545	0.0594	0.2441
1 033 500	37	2.975	0.0582	0.0636	0.2479
954 000	37	2.856	0.0627	0.0683	0.2510
874 500	37	2.733	0.0683	0.0745	0.2541
795 000	37	2.604	0.0745	0.0813	0.2578
715 500	61	2.611	0.0826	0.0907	0.2609
715 500	37	2.471	0.0826	0.0907	0.2615
636 000	37	2.331	0.0925	0.1019	0.2659
556 500	37	2.179	0.1056	0.1155	0.2709
556 500	19	2.175	0.1056	0.1155	0.2721
477 000	19	2.012	0.1224	0.1348	0.2783
397 500	19	1.836	0.1472	0.1609	0.2845
336 400	19	1.692	0.1733	0.1901	0.2914
266 800	19	1.506	0.2181	0.2398	0.3001
266 800	7	1.488	0.2181	0.2398	0.3038
4/0	7	1.326	0.2746	0.3019	0.3125
3/0	7	1.179	0.3467	0.3809	0.3218
2/0	7	1.055	0.4281	0.4796	0.3305
1/0	7	0.936	0.5499	0.6045	0.3392

APENDICE II

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE CABLES UTILIZADOS COMO
HILOS DE GUARDA

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL CABLE DE ACERO⁶

GRADO	DIAMETRO		RESISTENCIA (OHMS/KM) AC-60 Hz		REACTANCIA INDUCTIVA A UN PIE DE SEPARACION (OHMS/KM)		
	cm.	Pulg.	* I=0	I=30	I=0	60 Hz	I=30
Ordinario	0.635	1/4	5.9030	7.0836	0.8680		2.3258
Ordinario	0.7143	9/32	4.4117	5.7166	0.7473		1.9097
Ordinario	0.7937	5/16	3.3554	4.6602	0.5208		1.5625
Ordinario	0.9525	3/8	2.6718	4.0389	0.3965		1.3888
Ordinario	1.2700	1/2	1.4291	2.6718	0.4380		1.0496
E.B.	0.6350	1/4	4.9709	7.4564	0.7473		2.7777
E.B.	0.7143	9/32	3.7282	6.2137	0.7024		2.3477
E.B.	0.7937	5/16	3.0447	4.9709	0.6116		1.8268
E.B.	0.9525	3/8	2.2990	4.3494	0.5208		1.6153
E.B.	1.2700	1/2	1.3048	3.0447	0.4380		1.1628
E.B.B.	0.6350	1/4	4.3495	7.9535	1.0416		3.1939
E.B.B.	0.7143	9/32	3.3554	6.7729	0.7024		2.7857
E.B.B.	0.7937	5/16	2.4854	5.5923	0.6116		2.2569
E.B.B.	0.9525	3/8	2.1747	4.9088	0.5208		1.9366
E.B.B.	1.2700	1/2	1.2427	3.5418	0.4380		1.4577

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL CABLE ALUMOWELD⁶

HILOS (AWG)	DIAMETRO (cm.)	RESISTENCIA		REACTANCIA INDUCTIVA A UN PIE DE SEPARACION (OHMS/KM) 60 Hz
		AC-25°C 60 Hz	AC-75°C 60 Hz	
7 N°5	1.3868	0.7705	1.037	0.4393
7 N°6	1.2344	0.9544	1.2489	0.4480
7 N°7	1.0998	1.2035	1.5347	0.4567
7 N°8	0.9779	1.5161	1.9013	0.4654
7 N°9	0.8712	1.9138	2.3612	0.4741
7 N°10	0.7772	2.4109	2.9390	0.4828
3 N°5	0.9956	1.7274	2.2120	0.4393
3 N°6	0.8864	2.1810	2.7402	0.4480
3 N°7	0.7899	2.7464	3.3989	0.4567
3 N°8	0.7035	3.4672	4.2377	0.4654
3 N°9	0.6273	4.3744	5.2940	0.4741
3 N°10	0.5588	5.5115	6.6300	0.4828

* Corriente de conducción en Amperios.

CONCLUSIONES

- Los fundamentos de la inducción electromagnética y electrostática han sido estudiados, obteniéndose formulaciones matemáticas confiables para cualquier tipo de configuración de una línea de transmisión.

- Las fórmulas obtenidas pueden ser fácilmente interpretadas en lenguaje Fortran, de tal manera que la utilización del computador se facilita y consecuentemente aumenta su capacidad de cálculo.

- Como se vió en los resultados obtenidos en el capítulo V el programa calcula con gran precisión los parámetros de una línea de transmisión encontrándose pequeñas diferencias entre los resultados obtenidos en el programa y los resultados obtenidos en las referencias allí señaladas, debiéndose estas pequeñas diferencias al cambio de unidades del sistema Inglés al sistema Decimal y viceversa.

- El programa desarrollado es sumamente flexible ya que además de permitir el acceso al mismo de cualquier persona puede optimizarse o considerar casos que no se han incluido dentro del programa, variando pocas instrucciones dentro del mismo.

La flexibilidad del programa llega a hacerse patente, cuando se consideran algunas de sus posibles aplicaciones.

- Resultados confiables para la determinación de impedancias y admitancias en estudios de flujo de carga, estabilidad, cortocircuitos.

- Las capacitancias e inductancias pueden ser fácilmente evaluadas removiendo el factor $2\pi f$.

- Aunque dentro del computador, no se incluyen voltajes y corrientes, pueden ser incluidos fácilmente, si se consideran las ecuaciones:

$$V = Z I \quad \text{e} \quad I = Y V$$

- Estudios de protección - coordinación
- Estudios de Desbalanceamiento electromagnético y radiointerferencia¹⁴

REFERENCIAS

- 1 ELECTROMAGNETIC AND ELECTROSTATIC TRANSMISSION LINE PARAMETERS BY DIGITAL COMPUTERS. M.H. Hesse. IEEE Transactions (Power Apparatus and Systems) junio 1963, pp. 282-291
- 2 CIRCUIT ANALYSIS OF A-C POWER SYSTEMS. Edith Clarke. Jhon Wiley & Sons Inc. Vol 1, pp. 372-384.
- 3 DIGITAL CALCULATION OF OVERHEAD TRANSMISSION LINE CONSTANTS. D. Coleman, F. Watts, R.B. Shipley. AIEE Transactions (Power Apparatus and Systems). Febrero 1959 pp. 1266-1270
- 4 A NEW DIRECT MATRIX INVERSION METHOD R.B. Shipley, D. Coleman. AIEE Communications and Electronics, Noviembre 1959, pp. 568-572.
- 5 ELECTRICAL TRANSMISSION AND DISTRIBUTION REFERENCE BOOK. Westinghouse Electric Corporation.
6. E.H.V. TRANSMISSION LINE REFERENCE BOOK. Edison Electric Institute
7. LINEAS DE TRANSMISION Y REDES DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA. G. Enriquez Harper. Limusa Vol. 1, México 1980.
8. ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA William D. Stevenson. Mc Graw Hill México 1965.
9. REDES ELECTRICAS. J. Viqueira Landa Representaciones y servicios de ingeniería. Vol 1 y 2, México 1973.
- 10 TECNICA DE LAS ALTAS TENSIONES. G. Enriquez Harper Limusa. Vol 1. México 1974.
- 11 ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA Hernan Sanhueza . Escuela Politécnica Nacional Dpto. de Potencia, Quito, 1974.
- 12 PROGRAMA PARA EL CALCULO DIGITAL DE LOS PARAMETROS DE LINEAS DE TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA. Jorge Santillan. Tesis de grado Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1974.
- 13 PROGRAMA DIGITAL PARA EL CALCULO MATRICIAL DE PARAMETROS ELECTRICOS EN LINEAS DE TRANSMISION Wilson R. Chiluíza, Tesis de Grado Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1979.

14. ANALISIS DEL DESBALANCIAMIENTO ELECTROMAGNETICO EN LINEAS AEREAS, Washington H. Cañar Tesis de Grado. Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1979.
15. EXPERIMENTACION DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE MALLAS DE TIERRA.
Jaime Freire H. Tesis de Grado Escuela Politécnica Nacional, Quito 1978.
16. CATALOGO DE CONDUCTORES ELECTRICOS. CABLEC
17. POWER SYSTEMS MODELING. Mo-Shing Chen, William E. Dillon
Proceedings of the IEEE. Julio 1974.