

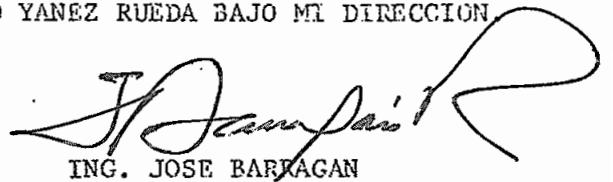
PROGRAMA DIGITAL PARA FORMACION DE ZBARRA TRIFASICA  
Y CALCULO DE CORTOCIRCUITOS EN SISTEMAS ELECTRICOS  
DE POTENCIA DESBALANCEADOS

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO  
EN LA ESPECIALIZACION DE ELECTRICA EN LA ESCUELA  
"POLITECNICA NACIONAL"

HUGO MARCELO YANEZ RUEDA

Quito, Marzo de 1.978

CERTIFICO QUE EL PRESENTE TRABAJO FUE  
ELABORADO EN FORMA TOTAL POR EL SEÑOR  
HUGO YANEZ RUEDA BAJO MI DIRECCION.



ING. JOSE BARRAGAN

## P R O L O G O

En la presente Tesis, se describe el método de cálculo de cortocircuitos para el caso de sistemas eléctricos de potencia desbalanceados. Se analizan en detalle los modelos utilizados para representar a los diferentes componentes de sistemas desbalanceados y la formulación misma del problema. El método utiliza la matriz impedancia de barra en forma trifásica conjuntamente con matrices de transformación de corrientes y voltajes o la matriz admitancia de falla para los casos de cortocircuitos metálicos o fallas francas y cortocircuitos con impedancias de falla respectivamente.

La parte práctica del trabajo es el desarrollo de un programa de computadora para la formación de la matriz impedancia de barra y su utilización en el análisis de cortocircuitos de sistemas eléctricos de potencia desbalanceados. La forma de preparación de los datos de entrada y la interpretación de los resultados de salida, se explican en una manera detallada para una fácil utilización del programa.

I N D I C E

PAGINA

CAPITULO I.- INTRODUCCION

I.1.	Generalidades.	1
I.2.	Objetivos del cálculo de cortocircuitos.	2
I.3.	Representación de los elementos de una red trifásica no balanceada.	3
I.3.1.	Representación en forma de Impedancia.	3
I.3.2.	Representación en forma de Admitancia.	4
I.3.3.	Representación del sistema para el cálculo de cortocircuitos.	5
I.4.	Ecuaciones de la red primitiva trifásica.	6
I.4.1.	En términos de componentes de fase.	6
I.4.2.	En términos de componentes de secuencia.	8

CAPITULO II.- CALCULO DE LOS PARAMETROS DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE POTENCIA DESBALANCEADO.

II.1.	Parámetros de líneas.	10
II.1.1.	Impedancias de líneas en forma trifásica.	10
II.1.2.	Impedancias de líneas con haces de conductores.	16
II.1.3.	Impedancias de línea con un cable de guardia.	21
II.1.4.	Impedancias de líneas con dos cables de guardia.	24
II.1.5.	Componentes de secuencia para redes con impedancias desbalanceadas.	26
II.1.5.1	Líneas de circuito simple.	26
II.1.5.2	Líneas de doble circuito.	29
II.2.	Parámetros de transformadores trifásicos.	32
II.2.1.	Utilización de la matriz de conexión.	33
II.2.2.	Matriz admitancia de nodo trifásica en sistemas de potencia.	35
II.2.3.	Componentes simétricas de transformadores trifásicos.	37

## I N D I C E

## PAGINA

### CAPITULO III.- FORMULACION MATEMATICA DEL PROBLEMA

III.1.	Algoritmo para la formación de ZBARRA trifásica.	43
III.1.1.	Adición de una rama.	44
III.1.2.	Adición de un enlace.	45
III.2.	Estudio de cortocircuitos.	47
III.2.1.	Corrientes y voltajes de falla para el caso de cortocircuitos con impedancia de falla.	47
III.2.2.	Cálculo de la matriz admitancia de falla.	50
III.2.3.	Cortocircuitos francos en sistemas desbalanceados y matrices de transformación de corrientes y voltajes.	52
III.2.4.	Corrientes de falla a través de los elementos de la red.	54
III.2.5.	Marco de referencia de componentes simétricas.	56
III.2.5.1.	Caso de cortocircuitos con admitancia de falla.	57
III.2.5.2.	Caso de fallas francas.	57

### CAPITULO IV.- PROGRAMA FORTRAN - DESCRIPCION

IV.1.	Introducción.	63
IV.2.	Variables del programa y arreglos de almacenamiento.	65
IV.2.1.	Variables del programa.	65
IV.2.2.	Arreglos de almacenamiento.	69
IV.3.	Descripción del programa.	71
IV.4.	Diagramas de flujo.	76
IV.5.	Entrada de datos.	79
IV.6.	Salida de resultados.	86

### CAPITULO V.- EJEMPLO DE APLICACION Y CONCLUSIONES

V.1.	Descripción del Sistema.	87
V.2.	Solución del problema.	128

I N D I C E

PAGINA

CAPITULO V.- CONTINUACION . . .

V.3. Conclusiones.

129

APENDICE : Listado del programa.

130

BIBLIOGRAFIA

160

C A P I T U L O I

## INTRODUCCION

I.1. GENERALIDADES

En los circuitos trifásicos simétricos con voltajes de generación balanceados, las corrientes y voltajes en condiciones normales de operación son igualmente balanceados. Durante fallas las corrientes que circulan en la red de secuencias, producen caídas de voltaje de la misma secuencia únicamente.

En un circuito trifásico asimétrico, como es el caso de líneas de transmisión sin transposiciones, las corrientes y voltajes son desbalanceados. En estas condiciones las corrientes de una determinada secuencia producen caídas de voltaje de su misma secuencia e igualmente voltajes inducidos en las demás secuencias, tanto en su propio circuito trifásico como en las demás que puedan estar en paralelo con él.

Un ejemplo donde se debería analizar los efectos de desbalance debido a la no transposición, son las líneas de extra alto voltaje. La industria de servicio eléctrico toma en cuenta que las pérdidas  $I^2R$  causadas por las corrientes circulantes en líneas paralelas no transpuestas pueden ser significativamente altas para tomar consideraciones desde un punto de vista económico y que, estas corrientes circulantes influyen en la selección de los relés por lo que deben ser investigadas.

Otro ejemplo donde debe considerarse el desbalance trifásico es en redes de bajo voltaje donde se ha acostumbrado representar estos circuitos como balanceados. Esta suposición no es correcta cuando se utilizan diferentes tamaños de conductores para las diferentes fases.

En todas estas situaciones los circuitos secuenciales son acoplados, de ahí que los métodos tradicionales para el análisis de cortocircuitos son extremadamente dificultosos para utilizarse, por lo que se ha desarrollado un método, objeto de esta tesis, que utiliza la matriz impedancia de barra en su forma trifásica.

El desarrollo de técnicas para aplicar computadoras en la formación de la matriz impedancia de barra hace posible la utilización - del Teorema de Thevenin para el cálculo de cortocircuitos, el que ha provisto de un camino eficiente en la determinación de las corrientes y voltajes de fallas, ya que estos valores pueden obtenerse con pocas operaciones que involucran sólomente una porción de la matriz impedancia de barra.

## I.2. OBJETIVOS DEL CALCULO DE CORTOCIRCUITOS

Cuando en una red de energía se produce una falla, la corriente que circula viene determinada por las fuerzas electromatrices de las máquinas y la falla. La corriente que pasa por una máquina síncronica, inmediatamente después de la falla, la que circula varios ciclos más tarde y la persistente o valor correspondiente al estado permanente de la falla - son completamente distintos a causa del efecto de la corriente en el rotor sobre el flujo que genera la tensión en la máquina.

La corriente de falla provoca esfuerzos electrodinámicos elevados que comprometen a los conductores y en la mayoría de los casos a los elementos de la estructura, a los herrajes, a las piezas de armazón de los aisladores y a la red de puesta a tierra en el punto de falla. Además, provoca perturbaciones en los circuitos de telecomunicaciones vecinos.

Un elemento del sistema donde se localiza una falla, - sea línea, transformador o juego de barras, debe ser eliminado en forma selectiva y en el más corto de los lapsos descritos arriba. Por consiguiente, es siempre necesario determinar el valor inicial de la corriente cuando se presenta una falla, así como para seleccionar un interruptor que tenga suficiente capacidad de carga momentánea como para la corriente que pueda interrumpir.

La salida del servicio de ciertos generadores y consecuente acumulación de las cargas debido a la eliminación de la falla, colocan al sistema en una situación transitoria anormal, que hay que tomar en cuenta al momento de elegir los sistemas de protección, con el fin de evitar la desconexión en cadena de los elementos sanos del sistema que se hallan -



temporalmente perturbados, lo que agravaría las consecuencias de la falla inicial.

### I.3. REPRESENTACION DE LOS ELEMENTOS DE UNA RED TRIFASICA NO BALANCEADA <sup>(3,6)</sup>

#### I.3.1 REPRESENTACION EN FORMA DE IMPEDANCIA

Esta representación se muestra en la figura siguiente:

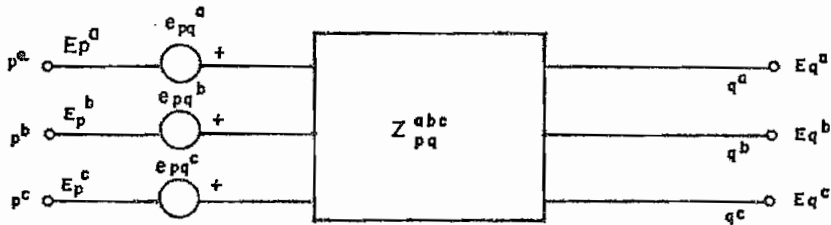


FIG. 1-1 Representación en forma de impedancia.

Las tensiones a través de cada fase del elemento serán:

$$v_{pq}^a = E_p^a - E_q^a$$

$$v_{pq}^b = E_p^b - E_q^b$$

$$v_{pq}^c = E_p^c - E_q^c$$

La ecuación representativa de un elemento trifásico en forma de impedancia es:

$$\begin{bmatrix} v_{pq}^a \\ v_{pq}^b \\ v_{pq}^c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{pq}^a \\ e_{pq}^b \\ e_{pq}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{pq}^{aa} & z_{pq}^{ab} & z_{pq}^{ac} \\ z_{pq}^{ba} & z_{pq}^{bb} & z_{pq}^{bc} \\ z_{pq}^{ca} & z_{pq}^{cb} & z_{pq}^{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{pq}^a \\ i_{pq}^b \\ i_{pq}^c \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Esta ecuación define claramente la naturaleza de  $z_{pq}^{abc}$  empleada en la representación. En efecto:

$z_{pq}^{kk}$  = Impedancia propia de la fase k del elemento.

$z_{pq}^{kj}$  = Impedancia m'utua entre las fases k y j del elemento donde k,j = a,b,c.

La ecuaci3n matricial anterior puede escribirse en forma m'as concisa como se da a continuaci3n:

$$v_{pq}^{abc} + e_{pq}^{abc} = z_{pq}^{abc} i_{pq}^{abc} \tag{1.2}$$

1.3.2. REPRESENTACION DE FORMA DE ADMITANCIA (3,6)

Corresponde a la representaci3n dual de la anterior:

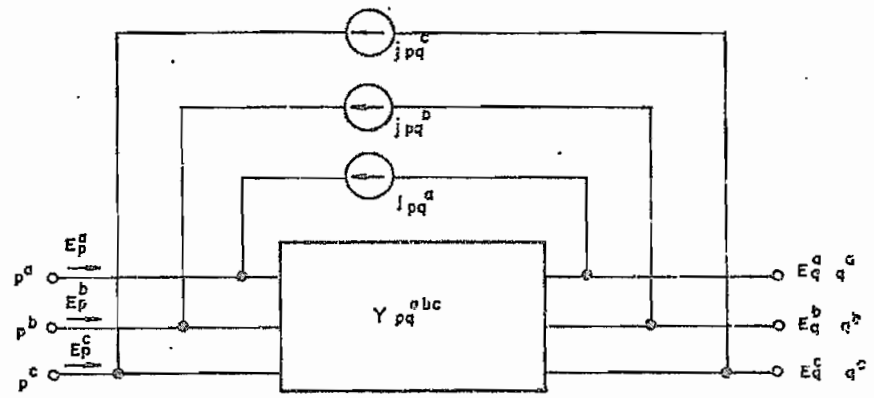


FIG. 1-2 Representaci3n en forma de admitancia.

Su ecuaci3n de equilibrio ser' a:

$$\begin{bmatrix} i_{pq}^a \\ i_{pq}^b \\ i_{pq}^c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} j_{pq}^a \\ j_{pq}^b \\ j_{pq}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{pq}^{aa} & y_{pq}^{ab} & y_{pq}^{ac} \\ y_{pq}^{ba} & y_{pq}^{bb} & y_{pq}^{bc} \\ y_{pq}^{ca} & y_{pq}^{cb} & y_{pq}^{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{pq}^a \\ v_{pq}^b \\ v_{pq}^c \end{bmatrix} \tag{1.3}$$

Las variables y par' ametros son:

$i_{pq}^a, i_{pq}^b, i_{pq}^c$  = Corrientes de los elementos para las fases a, b y c.

$j_{pq}^a, j_{pq}^b, j_{pq}^c$  = Fuentes de corriente en paralelo con las fases a, b y c, respectivamente.

$y_{pq}^{kk}$  Admitancia propia del elemento pq de la fase k.

$y_{pq}^{jk}$  Admitancia mútua entre las fases k y j del elemento k, j = a, b, c.

En forma simplificada tenemos:

$$i_{pq}^{abc} + j_{pq}^{abc} = y_{pq}^{abc} v_{pq}^{abc} \quad (1.4)$$

Se cumple que:  $y_{pq}^{abc} = (z_{pq}^{abc})^{-1}$  (1.5)

Las fuentes de corriente trifásicas en paralelo de la representación en forma de admitancia y las fuentes de voltaje trifásicas en serie de la representación en forma de admitancia, están relacionadas como en el caso de la representación monofásica, por tanto:

$$j_{pq}^{abc} = -y_{pq}^{abc} e_{pq}^{abc} \quad (1.6)$$

### I.3.3. REPRESENTACION DEL SISTEMA PARA EL CALCULO DE CORTOCIRCUITOS (6,11)

La representación del sistema de potencia en forma trifásica bajo condiciones de estado estacionario se indica en la Fig. 1-3.

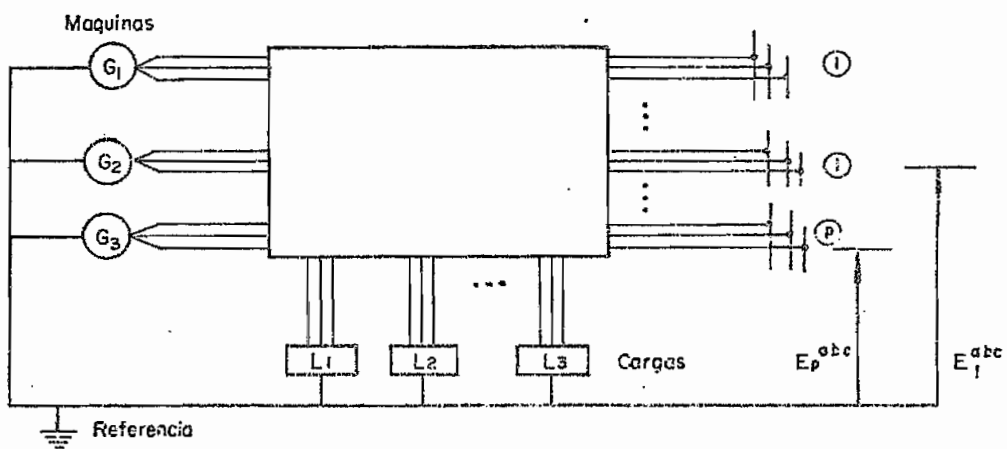


FIG. 1-3 Representación del sistema en estado estacionario.

Para los estudios de cortocircuito se obtiene bastante exactitud con una representación simplificada que se muestra en la Fig. 1-4, haciendo las siguientes consideraciones:

- Los generadores se representarán como una fuente de tensión constante - detrás de la reactancia subtransitoria o transitoria. Los generadores alimentan a la red desde el neutro del sistema.
- Las tensiones generadas por las máquinas (generadores), se asumen que - son iguales en magnitud y fase. Esto permite reemplazar todos los gene- radores por uno solo. Para cálculo de cortocircuitos se supone que el voltaje fase neutro generado es  $1\angle 0^\circ$  voltios por unidad.
- Cualquier carga conectada al sistema tiene una impedancia relativamente alta, de manera que resulte que la corriente de carga comparada con la de cortocircuito es despreciable. La red pasiva no incluye estas impe- dancias.
- Todos los transformadores se suponen trabajando en su razón nominal.

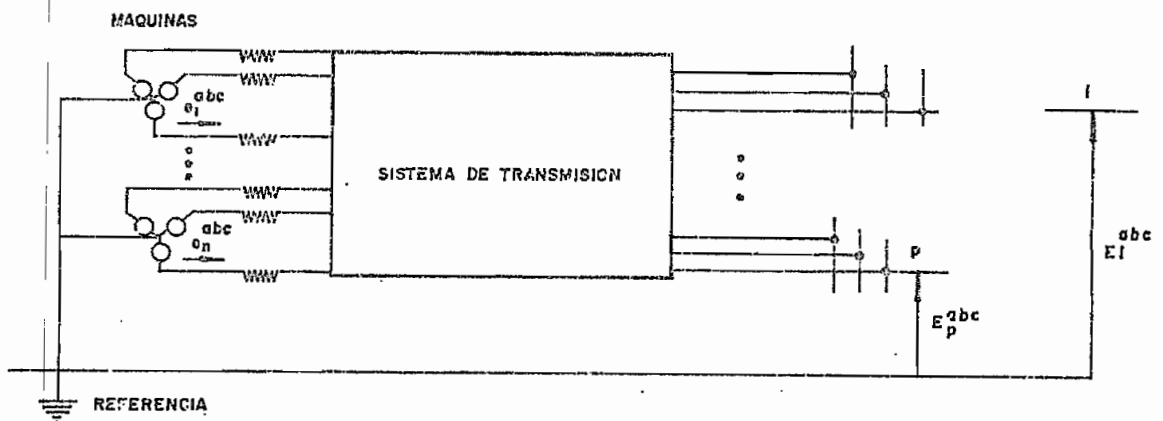


FIG. 1-4 Representación del sistema para el caso de - cortocircuitos.

La forma de cálculo de los parámetros de los diferentes elementos de un sistema desbalanceado se analizará en un capítulo posterior.

#### 1.4. ECUACIONES DE LA RED PRIMITIVA TRIFASICA (3-6)

##### 1.4.1. EN TERMINOS DE COMPONENTES DE FASE

A partir de las ecuaciones (1.2) y (1.4) y consideran-

do que la red tiene  $m$  elementos se obtiene:

$$v^{abc} + e^{abc} = \begin{bmatrix} z^{abc} \end{bmatrix} i^{abc} \quad (1.7)$$

O bien:

$$i^{abc} + j^{abc} = \begin{bmatrix} y^{abc} \end{bmatrix} v^{abc}$$

Donde los vectores están compuestos de  $m$  submatrices de dimensión  $(3 \times 1)$  y las matrices primitivas de impedancia y admitancia, se componen de  $(m \times m)$  submatrices de orden  $(3 \times 3)$ .

Ejemplo: Consideremos el sistema trifásico de 3 barras que se muestra en la Fig. 1-5.

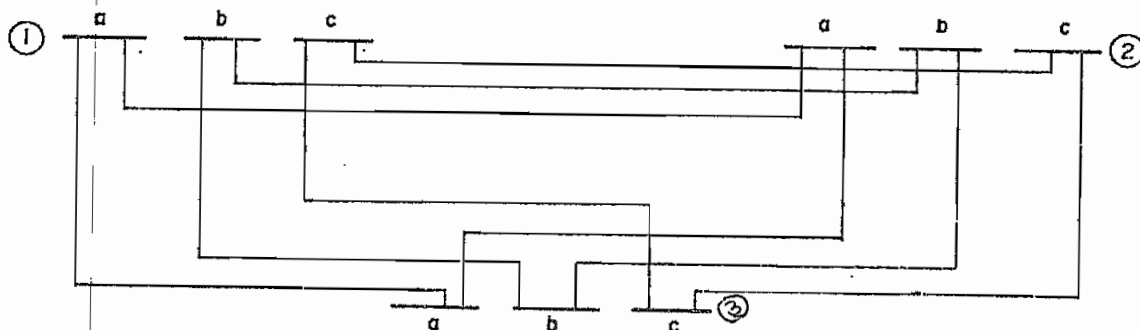


FIG. 1-5

Donde tenemos que:

$$v^{abc} = \begin{bmatrix} v_{12}^{abc} \\ v_{13}^{abc} \\ v_{23}^{abc} \end{bmatrix} ; v_{12}^{abc} = \begin{bmatrix} v_{12}^a \\ v_{12}^b \\ v_{12}^c \end{bmatrix} ; v_{13}^{abc} = \begin{bmatrix} v_{13}^a \\ v_{13}^b \\ v_{13}^c \end{bmatrix} ; v_{23}^{abc} = \begin{bmatrix} v_{23}^a \\ v_{23}^b \\ v_{23}^c \end{bmatrix}$$

$$e^{abc} = \begin{bmatrix} e_{12}^{abc} \\ e_{13}^{abc} \\ e_{23}^{abc} \end{bmatrix} ; e_{12}^{abc} = \begin{bmatrix} e_{12}^a \\ e_{12}^b \\ e_{12}^c \end{bmatrix} ; e_{13}^{abc} = \begin{bmatrix} e_{13}^a \\ e_{13}^b \\ e_{13}^c \end{bmatrix} ; e_{23}^{abc} = \begin{bmatrix} e_{23}^a \\ e_{23}^b \\ e_{23}^c \end{bmatrix}$$

.../...

$$z^{abc} = \begin{bmatrix} z_{12,12}^{abc} & z_{12,13}^{abc} & z_{12,23}^{abc} \\ z_{13,12}^{abc} & z_{13,13}^{abc} & z_{13,23}^{abc} \\ z_{23,12}^{abc} & z_{23,13}^{abc} & z_{23,23}^{abc} \end{bmatrix} ; z_{12,12}^{abc} = \begin{bmatrix} z_{12,12}^{aa} & z_{12,12}^{ab} & z_{12,12}^{ac} \\ z_{12,12}^{ba} & z_{12,12}^{bb} & z_{12,12}^{bc} \\ z_{12,12}^{ca} & z_{12,12}^{cb} & z_{12,12}^{cc} \end{bmatrix} ; \text{etc.}$$

#### I.4.2. EN TERMINOS DE COMPONENTES DE SECUENCIA.

La matriz impedancia representativa de un transformador con conexiones A-Y no se encuentra definida en componentes de fase, estándolo en componentes simétricas ( ver numeral II.2.3 ), por lo tanto, los datos de entrada para ZBARRA en el estudio de cortocircuitos deben estar en componentes simétricas si se tiene un sistema con transformadores con la conexión antes mencionada. Además, todos los elementos conectados entre tierra y las barras, como el caso de generadores y condensadores sincrónicos, están dados en componentes simétricas.

Para transformar las componentes de fase ( a, b, c ) en componentes de secuencia cero ( 0 ), positiva ( 1 ) y negativa ( 2 ), conocidas como componentes simétricas, se utiliza la matriz de transformación que se da a continuación:

$$T = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

Que tiene las siguientes características:

- Es simétrica.
- Es unitaria:  $(T^*)^t T = U$
- Su inversa es igual a su conjugada:  $T^* = T^{-1}$

Utilizando esta matriz de transformación las variables de fase se expresan en términos de las componentes de secuencia de la manera siguiente:

.../...

$$\begin{aligned}
 v_{pq}^{abc} &= T v_{pq}^{012} \\
 e_{pq}^{abc} &= T e_{pq}^{012} \\
 i_{pq}^{abc} &= T i_{pq}^{012} \\
 j_{pq}^{abc} &= T j_{pq}^{012}
 \end{aligned}
 \tag{1.9}$$

(1.4) Reemplazando las relaciones dadas por (1.9) en (1.2) y obtenemos:

$$\begin{aligned}
 T v_{pq}^{012} + T e_{pq}^{012} &= z_{pq}^{abc} T i_{pq}^{012} \\
 T i_{pq}^{012} + T j_{pq}^{012} &= y_{pq}^{abc} T v_{pq}^{012}
 \end{aligned}$$

Premultiplicando por  $T^{-1}$  a ambos lados de la igualdad:

$$\begin{aligned}
 v_{pq}^{012} + e_{pq}^{012} &= T^{-1} z_{pq}^{abc} T i_{pq}^{012} \\
 i_{pq}^{012} + j_{pq}^{012} &= T^{-1} y_{pq}^{abc} T v_{pq}^{012}
 \end{aligned}$$

De donde definimos:

$$\begin{aligned}
 z_{pq}^{012} &= T^{-1} z_{pq}^{abc} T \\
 y_{pq}^{012} &= T^{-1} y_{pq}^{abc} T
 \end{aligned}
 \tag{1.10}$$

Y las ecuaciones de equilibrio en términos de componentes de secuencia son:

$$\begin{aligned}
 v_{pq}^{012} + e_{pq}^{012} &= z_{pq}^{012} i_{pq}^{012} \\
 i_{pq}^{012} + j_{pq}^{012} &= y_{pq}^{012} v_{pq}^{012}
 \end{aligned}
 \tag{1.11}$$

C A P I T U L O   I I

CALCULO DE LOS PARAMETROS DE LOS ELEMENTOS DE UN SEP DESBALANCEADO

II.1.    CALCULO DE PARAMETROS DE LINEAS

II.1.1. IMPEDANCIAS DE LINEA TRIFASICA CON RETORNO POR TIERRA (7,10)

En la Fig. 2-1 se da el circuito representativo en el que se identifican a las impedancias, voltajes y corrientes.

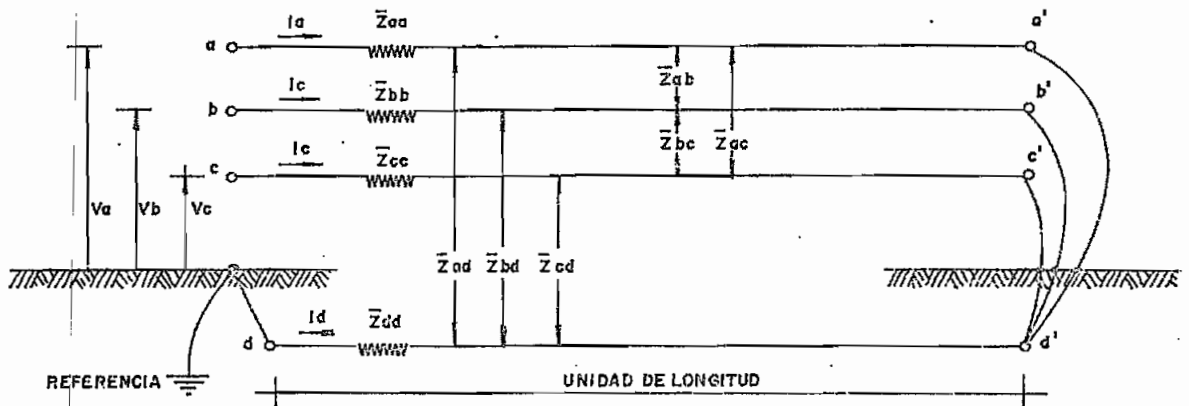


FIG. 2-1. Línea trifásica con retorno por tierra.

Todos los conductores son puestos a tierra en el punto  $a' - b' - c'$ , tenemos por tanto:

$$I_d = -(I_a + I_b + I_c) \quad (2.1)$$

Luego podemos escribir las ecuaciones de caída de voltaje en la dirección del flujo de corriente como sigue:

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \\ V_{dd'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a - V_{a'} \\ V_b - V_{b'} \\ V_c - V_{c'} \\ V_d - V_{d'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{z}_{aa} & \bar{z}_{ab} & \bar{z}_{ac} & \bar{z}_{ad} \\ \bar{z}_{ba} & \bar{z}_{bb} & \bar{z}_{bc} & \bar{z}_{bd} \\ \bar{z}_{ca} & \bar{z}_{cb} & \bar{z}_{cc} & \bar{z}_{cd} \\ \bar{z}_{da} & \bar{z}_{db} & \bar{z}_{dc} & \bar{z}_{dd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_d \end{bmatrix} = \left[ \frac{V}{\text{unidad de longitud.}} \right] \quad (2.2)$$

.../...



Nosotros llamaremos a estas ecuaciones "ecuaciones primitivas de voltaje". La impedancia de la línea es usualmente definida como la relación de voltaje para la corriente vista dentro de la línea en un terminal. Seleccionando el terminal izquierdo como voltaje de referencia y resolviendo (2.2) para los voltajes  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$ . Podemos hacer esto puesto que la corriente  $I_d$  es conocida y porque podemos escribir que:

$$V_{a'} - V_{d'} = 0, V_{b'} - V_{d'} = 0, V_{c'} - V_{d'} = 0 \quad (2.3)$$

Para las condiciones en el terminal receptor de la línea. Puesto que  $V_d = 0$ , podemos realizar la siguiente operación:

$$\begin{aligned} V_a - (V_{a'} - V_{d'}) &= (\bar{z}_{aa} - 2\bar{z}_{ad} + \bar{z}_{dd}) I_a + \\ &+ (\bar{z}_{ab} - \bar{z}_{ad} - \bar{z}_{bd} + \bar{z}_{dd}) I_b + \\ &+ (\bar{z}_{ac} - \bar{z}_{ad} - \bar{z}_{cd} + \bar{z}_{dd}) I_c \end{aligned} \quad (2.4)$$

Por conveniencia escribimos este resultado como: --  
 $V_a = z_{aa} I_a + z_{ab} I_b + z_{ac} I_c$ , donde definimos a las nuevas impedancias --  
 $z_{aa}$ ,  $z_{ab}$ ,  $z_{ac}$ , nótese que cuando  $I_b = I_c = 0$ ,  $z_{aa}$  es exactamente la impedancia para línea monofásica con retorno por tierra:

$$\begin{aligned} z_{aa} &= \bar{z}_{aa} + \bar{z}_{dd} - 2\bar{z}_{ad} \\ &= (r_a + r_d) + j\omega k \ln \frac{D_{ad}^2}{\text{RMG}_a} \quad \Omega/\text{u.l.} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Donde:

- $r_d$  = Resistencia de tierra.
- $r_a$  = Resistencia del conductor a.
- $D_{ad}$  = Distancia entre el conductor a y el conductor ficticio de retorno por tierra.
- $\text{RMG}_a$  = Radio medio geomético del conductor a.

Además:

$$\begin{aligned} r_d &= 1,588.f. 10^{-3} \quad \Omega/\text{milla} \\ D_{ad}^2 &= D_t^2 = 2160 \sqrt{\frac{P}{f}} \quad \text{pies} \end{aligned}$$

$P$  = Resistividad del terreno en  $\Omega \cdot m$

$f$  = Frecuencia en  $H_z$

$\omega$  = 376.991 rad/seg cuando  $f = 60 H_z$

La constante  $K$  depende del tipo de unidad de longitud como se indica a continuación:

UNIDAD DE LONGITUD	$K$	$\omega K$
Km	$2 \times 10^{-4}$	0.07539
Milla	$3.219 \times 10^{-4}$	0.12134

Para trabajar con logaritmos decimales, o en base 10, - multiplicamos a los factores anteriores para 2,3025 respectivamente, obteniéndose:

UNIDAD DE LONGITUD	$K$	$\omega K$
km	$4,605 \times 10^{-4}$	0.1736
Milla	$7,411 \times 10^{-4}$	0.2794

En función de estos valores la ecuación (2.5) toma la - forma:

$$z_{aa} = (r_a + 0.09528) + j 0.2794 \log \frac{D_{ad}^2}{RMG_a} \quad \text{milla} \quad (2.6)$$

Si repetimos la operación hecha con  $z_{aa}$  para las fases b y c, obtenemos el siguiente resultado:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad V/u.1. \quad (2.7)$$

Donde para un circuito bilateral pasivo lineal existe reciprocidad entre impedancias mútuas  $z_{ab} = z_{ba}$ ,  $z_{ac} = z_{ca}$ , etc.

Los elementos de la ecuación anterior se calculan como se indica a continuación:

Impedancias propias:

$$\begin{aligned} z_{aa} &= \bar{z}_{aa} - 2\bar{z}_{ad} + \bar{z}_{dd} & \Omega/u.1. \\ z_{bb} &= \bar{z}_{bb} - 2\bar{z}_{bd} + \bar{z}_{dd} & \Omega/u.1. \\ z_{cc} &= \bar{z}_{cc} - 2\bar{z}_{cd} + \bar{z}_{dd} & \Omega/u.1. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Impedancias mütuas:

$$\begin{aligned} z_{ab} &= \bar{z}_{ab} - \bar{z}_{ad} - \bar{z}_{bd} + \bar{z}_{dd} & \Omega/u.1. \\ z_{bc} &= \bar{z}_{bc} - \bar{z}_{bd} - \bar{z}_{ca} + \bar{z}_{dd} & \Omega/u.1. \\ z_{ac} &= \bar{z}_{ac} - \bar{z}_{ad} - \bar{z}_{cd} + \bar{z}_{dd} & \Omega/u.1. \end{aligned} \quad (2.9)$$

En función de las distancias física involucradas tenemos:

Impedancias primitivas propias:

$$\begin{aligned} \bar{z}_{aa} &= r_a + j\omega k \left( \ln \frac{2S}{\text{RMG}_a} - 1 \right) & \Omega/u.1. \\ \bar{z}_{bb} &= r_b + j\omega k \left( \ln \frac{2S}{\text{RMG}_b} - 1 \right) & \Omega/u.1. \\ \bar{z}_{cc} &= r_c + j\omega k \left( \ln \frac{2S}{\text{RMG}_c} - 1 \right) & \Omega/u.1. \\ \bar{z}_{dd} &= r_d + j\omega k \left( \ln \frac{2S}{\text{RMG}_d} - 1 \right) & \Omega/u.1. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Impedancias primitiva mütuas entre fases:

$$\begin{aligned} \bar{z}_{ab} &= j\omega k \left( \ln \frac{2S}{D_{ab}} - 1 \right) & \Omega/u.1. \\ \bar{z}_{bc} &= j\omega k \left( \ln \frac{2S}{D_{bc}} - 1 \right) & \Omega/u.1. \\ \bar{z}_{ca} &= j\omega k \left( \ln \frac{2S}{D_{ca}} - 1 \right) & \Omega/u.1. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Impedancias primitivas mútuas entre fases y tierra:

$$\bar{z}_{ad} = j\omega k \left( \ln \frac{2S}{D_{ad}} - 1 \right) \quad \Omega/\text{u.l.}$$

$$\bar{z}_{bd} = j\omega k \left( \ln \frac{2S}{D_{bd}} - 1 \right) \quad \Omega/\text{u.l.} \quad (2.12)$$

$$\bar{z}_{cd} = j\omega k \left( \ln \frac{2S}{D_{cd}} - 1 \right) \quad \Omega/\text{u.l.}$$

En las ecuaciones anteriores:

$D_{ab}$  = Distancia entre los conductores a y b, etc.

$S$  = Longitud del conductor.

$$D_{ad} = D_{bd} = D_{cd} = \sqrt{Dt}$$

Las ecuaciones (2.8) a (2.12) representan las impedancias de un circuito desbalanceado en su forma más general.

Para el caso en que utiliza el mismo conductor en las tres fases:

$\text{RMG}_a = \text{RMG}_b = \text{RMG}_c = \text{RMG} = \text{Radio medio geométrico del conductor.}$

En la tabla 2-1 se da el radio medio geométrico de varios conductores en función de su radio exterior  $r$ .

TABLA 2.1. RADIO MEDIO GEOMETRICO DE DIVERSOS CONDUCTORES

TIPO DE CONDUCTOR	RMG
ALAMBRE CILINDRICO	0.779 r
Cable de un solo material	
7 hilos	0.726 r
19 hilos	0.758 r
37 hilos	0.768 r
61 hilos	0.772 r
91 hilos	0.774 r
127 hilos	0.776 r
Conductor de aluminio con alma de acero, ACSR:	
30 hilos (2 capas)	0.826r
26 hilos (2 capas)	0.809r
54 hilos (3 capas)	0.810r
1 capa	0.55 a 0.70r

Además, el radio medio geométrico del conductor ficticio de retorno por tierra por definición es igual a 1, luego podemos resumir:

$$z_{aa} = (r_a + r_d) + j\omega k \ln \frac{Dt}{\text{RMG}} \quad \Omega/\text{u.l.}$$

$$z_{bb} = (r_b + r_d) + j\omega k \ln \frac{Dt}{\text{RMG}} \quad \Omega/\text{u.l.}$$

$$z_{cc} = (r_c + r_d) + j\omega k \ln \frac{Dt}{\text{RMG}} \quad \Omega/\text{u.l.}$$

$$z_{ab} = r_d + j\omega k \ln \frac{Dt}{D_{ab}} \quad \Omega/\text{u.l.}$$

$$z_{bc} = r_d + j\omega k \ln \frac{Dt}{D_{bc}} \quad \Omega/\text{u.l.}$$

$$z_{ca} = r_d + j\omega k \ln \frac{Dt}{D_{ca}} \quad \Omega/\text{u.l.}$$

(2.13)

.../...

Los resultados anteriores son interesante, ya que los términos de impedancias mútuas tienen componentes resistivos. Esto es debido al retorno común de tierra.

II.1.2 IMPEDANCIAS DE LINEAS CON HACES DE CONDUCTORES (7,14)

Consideramos la línea de transmisión que se indica en la Fig. 2-2 que consiste de cuatro conductores aéreos con retorno por tierra común. Este sistema es similar al de la Fig. 2-1 y las impedancias primitivas son calculadas con relaciones similares a las (2.10) a (2.12) que pueden ser escritas por inspección. Además, como en el caso previamente estudiado, tenemos:

$$I_a + I_b + I_c + I_x = -I_d \quad [A] \quad (2.14)$$

Entonces podemos escribir la ecuación primitiva:

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \\ V_{xx'} \\ V_{dd'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a - V_{a'} \\ V_b - V_{b'} \\ V_c - V_{c'} \\ V_x - V_{x'} \\ 0 - V_{d'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{z}_{aa} & \bar{z}_{ab} & \bar{z}_{ac} & \bar{z}_{ax} & \bar{z}_{ad} \\ \bar{z}_{ba} & \bar{z}_{bb} & \bar{z}_{bc} & \bar{z}_{bx} & \bar{z}_{bd} \\ \bar{z}_{ca} & \bar{z}_{cb} & \bar{z}_{cc} & \bar{z}_{cx} & \bar{z}_{cd} \\ \bar{z}_{xa} & \bar{z}_{xb} & \bar{z}_{xc} & \bar{z}_{xx} & \bar{z}_{xd} \\ \bar{z}_{da} & \bar{z}_{db} & \bar{z}_{dc} & \bar{z}_{dx} & \bar{z}_{dd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_x \\ I_d \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

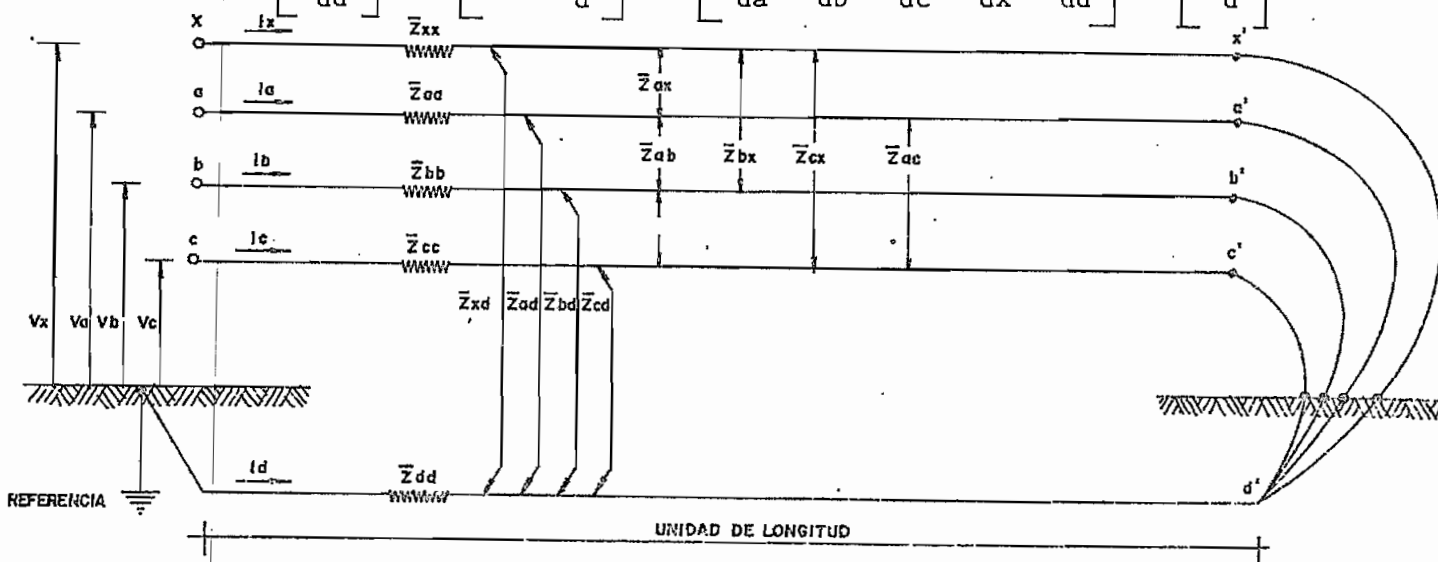


FIG. 2-2 Cuatro conductores con retorno por tierra.

Donde los elementos de la matriz primitiva de impedancias son todos definidos por:

$$\bar{z}_{pp} = r_p + j\omega K \left( \ln \frac{2S}{\text{RMG}_p} - 1 \right) \Omega / \text{unidad de longitud}$$

Para  $p = a, b, c, x$ .

$$y \quad \bar{z}_{pq} = j\omega k \left( \ln \frac{2S}{D_{pq}} - 1 \right) \Omega / \text{unidad de longitud} \quad (2.16)$$

$p, q = a, b, c, x, d \quad p \neq q$

De las ecuaciones anteriores, por un método similar al descrito en el punto anterior podemos obtener:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} & z_{ax} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} & z_{bx} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} & z_{cx} \\ z_{xa} & z_{xb} & z_{xc} & z_{xx} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_x \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Donde los términos de la matriz son definidos en función de las impedancias primitivas como:

$$z_{pq} = \bar{z}_{pq} - \bar{z}_{pd} - \bar{z}_{qd} + \bar{z}_{dd} \quad \Omega / \text{u.l.} \quad (2.18)$$

$p, q = a, b, c, x$ .

Ahora supongamos que el conductor  $x$  es conectado en paralelo con el conductor  $a$ , por tanto, sus caídas de voltaje serán iguales.

$$V_{xx'} = V_{aa'}$$

De donde:  $V_x - V_a = 0$  (2.19)

Haciendo uso de esta propiedad:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} & z_{ax} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} & z_{bx} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} & z_{cx} \\ (z_{xa} - z_{aa}) & (z_{xb} - z_{ab}) & (z_{xc} - z_{ac}) & (z_{xx} - z_{ax}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_x \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Puesto que los conductores a y x están en paralelo, forman una nueva fase a compuesta o "conductores en haz" como se indica en la Fig. 2-3, donde definimos la nueva corriente de la fase a como:

$$\hat{I}_a = I_a + I_x \quad (2.21)$$

Podemos añadir ahora un producto  $zI_x$  y substraer quedando la ecuación invariable. Este total reemplaza  $I_a$  en (2.20) por (2.21) y reemplazando la cuarta columna de la matriz de impedancias por la diferencia entre la cuarta y primera columna, el resultado es:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} & z_{ax} - z_{aa} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} & z_{bx} - z_{ba} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} & z_{cx} - z_{ca} \\ (\bar{z}_{xa} - \bar{z}_{ax}) & (\bar{z}_{xb} - \bar{z}_{ab}) & (\bar{z}_{xc} - \bar{z}_{ac}) & \hat{z}_{xx} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a + I_x \\ I_b \\ I_c \\ I_x \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

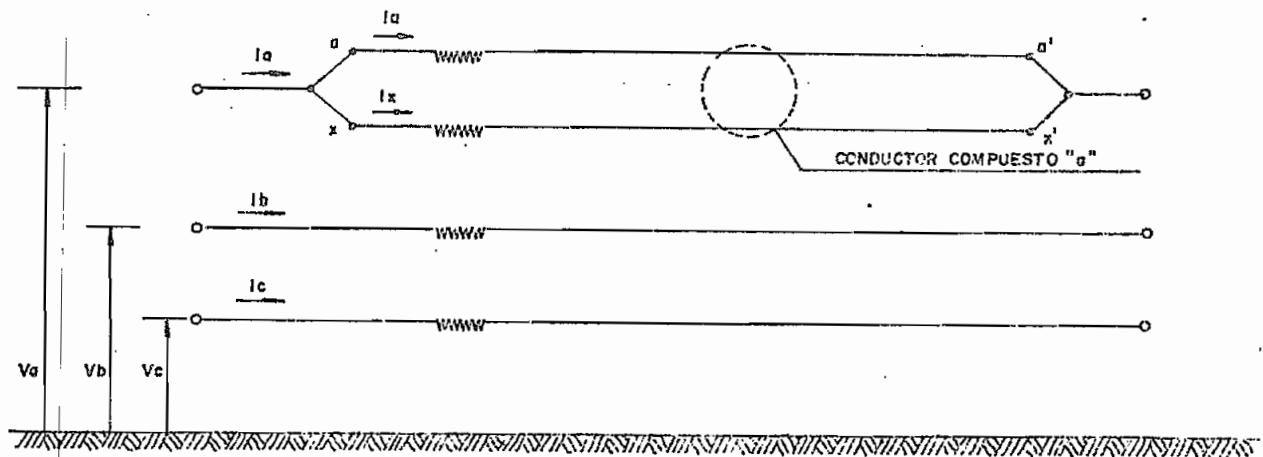


FIG. 2-3 Línea trifásica con conductores en haz en la fase a.



En la ecuación anterior:

$$\hat{z}_{xx} = z_{xx} - z_{ax} - z_{xa} + z_{aa}$$

Escribiendo (2.22) en la forma de partición de matrices:

$$\begin{bmatrix} V_{abc} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 & Z_2 \\ Z_3 & Z_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{I}_{abc} \\ I_x \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Por ecuación de matrices, método de Kron, obtenemos:

$$V_{abc} = (Z_1 - Z_2 Z_4^{-1} Z_3) \hat{I}_{abc} \quad (2.24)$$

El efecto de añadir el conductor x a la fase a incrementa el radio medio geométrico de la fase a. Esto hace que se reduzca la impedancia de la fase a pero además, reduce todas las otras impedancias propias y mútuas. La totalidad de la reducción es dada por la matriz  $Z_2 Z_4^{-1} Z_3$ , cada término de la cual, para este caso simple, se puede calcular por la fórmula:

$$(Z_2 Z_4^{-1} Z_3)_{pq} = \frac{(z_{px} - z_{pa})(z_{xq} - z_{aq})}{z_{xx} - z_{ax} - z_{xa} - z_{aa}} \quad (2.25)$$

$$p, q = a, b, c.$$

Esta misma idea puede extenderse a cualquier número de conductores añadidos que pueden ser paralelos con cualquier fase. La adición puede ser hecha una a la vez o simultáneamente. De un interés particular es el caso en el que se añaden tres conductores a la configuración a-b-c con un conductor añadido por cada fase. El circuito se muestra en la Fig. 2-4 donde los conductores r, s, t son compuestos con los conductores a, b y c respectivamente.

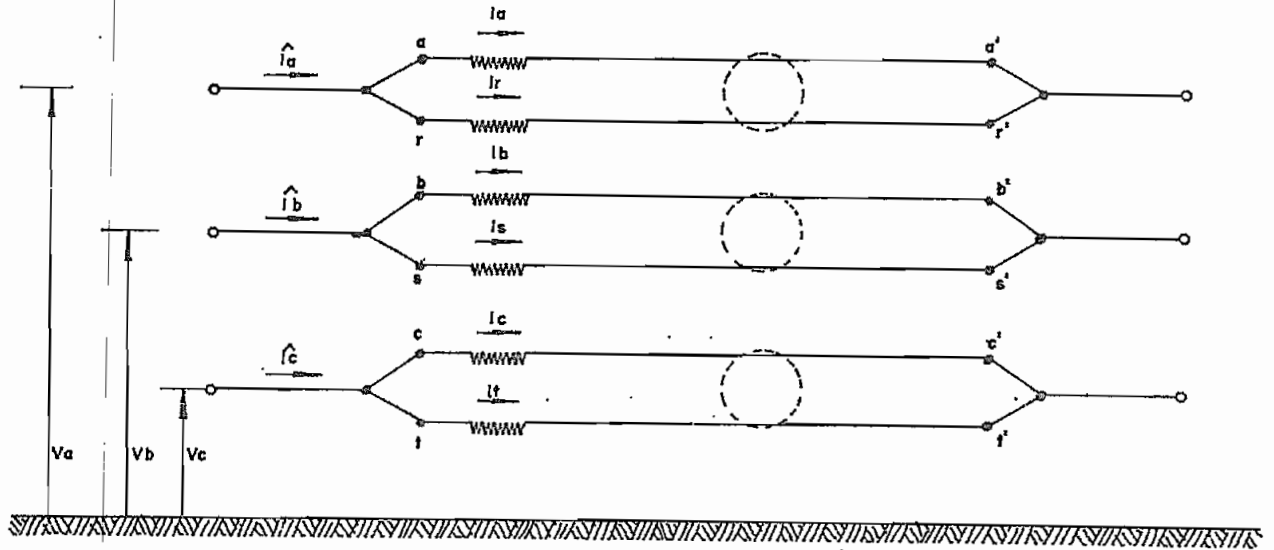


FIG. 2-4 Línea trifásica con conductores en haz en las tres fases.

Antes de considerar los conductores en haz, tenemos una ecuación similar a la (2.17) pero incluyendo los seis conductores.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_r \\ V_s \\ V_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} & z_{ar} & z_{as} & z_{at} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} & z_{br} & z_{bs} & z_{bt} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} & z_{cr} & z_{cs} & z_{ct} \\ z_{ra} & z_{rb} & z_{rc} & z_{rr} & z_{rs} & z_{rt} \\ z_{sa} & z_{sb} & z_{sc} & z_{sr} & z_{ss} & z_{st} \\ z_{ta} & z_{tb} & z_{tc} & z_{tr} & z_{ts} & z_{tt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_r \\ I_s \\ I_t \end{bmatrix} \quad \text{V/u.l.} \quad (2.26)$$

Considerando los conductores en haz en cada una de las fases:

$$V_r - V_a = 0, \quad V_s - V_b = 0, \quad V_t - V_c = 0 \quad (2.27)$$

Además :

$$\hat{I}_a = I_a + I_r, \quad \hat{I}_b = I_b + I_s, \quad \hat{I}_c = I_c + I_t \quad (2.28)$$

Entonces por la técnica utilizada anteriormente podemos alterar (2.26) para escribir:

$V_a$	$z_{aa}$	$z_{ab}$	$z_{ac}$	$(z_{ar}-z_{aa})$	$(z_{as}-z_{ab})$	$(z_{at}-z_{ac})$	$I_a$
$V_b$	$z_{ba}$	$z_{bb}$	$z_{bc}$	$(z_{br}-z_{ba})$	$(z_{bs}-z_{bb})$	$(z_{bt}-z_{bc})$	$I_b$
$V_c$	$z_{ca}$	$z_{bc}$	$z_{cc}$	$(z_{cr}-z_{ca})$	$(z_{cs}-z_{cb})$	$(z_{ct}-z_{cc})$	$I_c$
0	$(z_{ra}-z_{aa})$	$(z_{rb}-z_{ab})$	$(z_{rc}-z_{ac})$	$\hat{z}_{rr}$	$\hat{z}_{rs}$	$\hat{z}_{rt}$	$I_r$
0	$(z_{sa}-z_{ba})$	$(z_{sb}-z_{bb})$	$(z_{sc}-z_{bc})$	$\hat{z}_{sr}$	$\hat{z}_{ss}$	$\hat{z}_{st}$	$I_s$
0	$(z_{ta}-z_{ca})$	$(z_{tb}-z_{bc})$	$(z_{tc}-z_{cc})$	$\hat{z}_{tr}$	$\hat{z}_{ts}$	$\hat{z}_{tt}$	$I_t$

(2.2)

Donde los elementos denominados  $\hat{z}$ , pueden ser descritos por la fórmula:

$$\hat{z}_{pq} = z_{pq} - z_{iq} - z_{ph} + z_{ih} \quad (2.3)$$

$$i, h = a, b, c.$$

$$p, q = r, s, t.$$

Luego de haber factorado (2.29) aplicamos (2.23) para encontrar la nueva matriz impedancia dada por (2.24) o sea:

$$Z \text{ nueva} = Z_1 - Z_2 Z_4^{-1} Z_3 \quad (2.3)$$

Aquí tenemos que invertir la matriz  $3 \times 3$   $Z_4$

La técnica descrita permitirá el cálculo de la matriz impedancia a-b-c de una línea con conductores en haz, donde cada fase consiste de dos conductores. El mismo resultado puede obtenerse aplicando (2.23) con los subíndices apropiados y añadiendo el segundo conductor a cada fase u no a la vez. En cualquiera de los dos casos el trabajo total es el mismo.

### II.1.3. IMPEDANCIAS DE LINEA CON UN CABLE DE GUARDIA (7,14)

En muchas líneas de transmisión, se añaden conductores sobre los conductores de fase para proteger la línea contra descargas atmosféricas directas. La determinación de su posición es un tema que no nos concierne en este tópico. Concentraremos nuestro estudio en el efecto que dichos conductores tienen en la impedancia de línea.

Consideremos la configuración de la línea dada en la Fig. 2-5, donde un conductor de tierra denominado  $w$  está conectado sólidamente a tierra en cada terminal. La ecuación de voltajes de este arreglo es exactamente la misma que para la Fig. 2-2 dado por la expresión (2.15) primitiva se escribiría como:

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \\ V_{ww'} \\ V_{dd'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a - V_{a'} \\ V_b - V_{b'} \\ V_c - V_{c'} \\ V_w - V_{w'} \\ V_d - V_{d'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{z}_{aa} & \bar{z}_{ab} & \bar{z}_{ac} & \bar{z}_{aw} & \bar{z}_{ad} \\ \bar{z}_{ba} & \bar{z}_{bb} & \bar{z}_{bc} & \bar{z}_{bw} & \bar{z}_{bd} \\ \bar{z}_{ca} & \bar{z}_{cb} & \bar{z}_{cc} & \bar{z}_{cw} & \bar{z}_{cd} \\ \bar{z}_{wa} & \bar{z}_{wb} & \bar{z}_{wc} & \bar{z}_{ww} & \bar{z}_{wd} \\ \bar{z}_{da} & \bar{z}_{db} & \bar{z}_{dc} & \bar{z}_{dw} & \bar{z}_{dd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_w \\ I_d \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

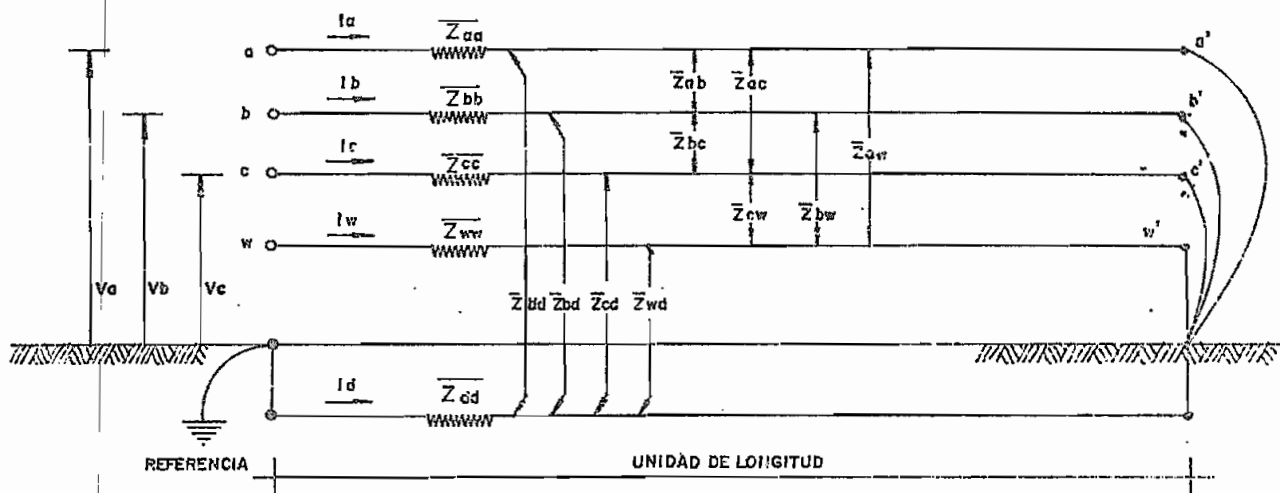


FIG. 2-5 Línea trifásica con un cable de guardia.

Ahora tenemos el conductor  $w$  en paralelo con el conductor de tierra  $d$ , la corriente de retorno se dividirá entre los dos conductores, o sea:

$$I_a + I_b + I_c = -(I_d + I_w)$$

De donde:

$$I_d = -(I_a + I_b + I_c + I_w) \quad (2.33)$$

Utilizando este resultado en (2.32) y eliminando  $V_{dd}$ , obtenemos:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ \dots \\ V_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} & z_{aw} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} & z_{bw} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} & z_{cw} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{wa} & z_{wb} & z_{wc} & z_{ww} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ \dots \\ I_w \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

Donde como en el caso anterior:

$$z_{pq} = \bar{z}_{pq} - \bar{z}_{pd} - \bar{z}_{dq} + \bar{z}_{dd} \quad (2.35)$$

$$p, q = a, b, c,$$

Utilizando las relaciones (2.2) a (2.12) podemos escri

bir:

$$z_{pq} = (r_a + r_d) + j\omega k \ln \frac{D_t}{RMC_p}, \quad p = q$$

$$z_{pq} = rd + j\omega k \ln \frac{D_t}{D_{pq}}, \quad p \neq q \quad (2.36)$$

Como  $V_w = 0$  (2.34) puede reducirse inmediatamente a -

la forma:

$$V_{abc} = (Z_1 - Z_2 Z_4^{-1} Z_3) I_{abc} = \hat{Z}_{abc} I_{abc} \quad (2.37)$$

Donde la partici3n de Z es definida en (2.23). Realizando la operaci3n indicada en (2.37) obtenemos:

$$\hat{Z}_{abc} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} z_{aw} \\ z_{bw} \\ z_{cw} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ z_{ww} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{wa} & z_{wb} & z_{wc} \end{bmatrix}$$

.../...

$$\hat{z}_{abc} = \begin{bmatrix} a & & \\ & b & \\ & & c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & (z_{aa} - \frac{z_{aw} z_{wa}}{z_{ww}}) & (z_{ab} - \frac{z_{aw} z_{wb}}{z_{ww}}) & (z_{ac} - \frac{z_{aw} z_{wc}}{z_{ww}}) \\ b & (z_{ba} - \frac{z_{bw} z_{wb}}{z_{ww}}) & (z_{bb} - \frac{z_{bw} z_{wb}}{z_{ww}}) & (z_{bc} - \frac{z_{bw} z_{wc}}{z_{ww}}) \\ c & (z_{ca} - \frac{z_{cw} z_{wc}}{z_{ww}}) & (z_{cb} - \frac{z_{cw} z_{wc}}{z_{ww}}) & (z_{cc} - \frac{z_{cw} z_{wc}}{z_{ww}}) \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

O cada elemento de la matriz reducida es de la forma:

$$\hat{z}_{pq} = z_{pq} - \frac{z_{pw} z_{wq}}{z_{ww}} \quad (2.39)$$

p,q (fila, columna) = a, b, c.

Cada elemento de la matriz es más pequeño debido a la corrección del factor que involucra la impedancia mútua con el cable de guardia.

En muchas líneas de interés podemos asumir que los tres conductores de fase tienen igual impedancia propia o sea:  $z_{aa} = z_{bb} = z_{cc}$ .

#### II.1.4. IMPEDANCIA DE LINEAS CON DOS CABLES DE GUARDIA (7,14)

Un sistema de tres conductores de fase y dos cables de guardia es analizado exactamente como el caso de un cable de guardia. Consideremos el sistema de la Fig. 2-6 donde los cables de guardia  $u$  y  $w$  en paralelo con los conductores de fase son conectados sólidamente a tierra en cada terminal de la línea, se puede escribir la ecuación primitiva de voltajes como sigue:

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \\ V_{uu'} \\ V_{ww'} \\ V_{dd'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a - V_{a'} \\ V_b - V_{b'} \\ V_c - V_{c'} \\ V_u - V_{u'} \\ V_w - V_{w'} \\ V_d - V_{d'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{z}_{aa} & \bar{z}_{ab} & \bar{z}_{ac} & \bar{z}_{au} & \bar{z}_{aw} & \bar{z}_{ad} \\ \bar{z}_{ba} & \bar{z}_{bb} & \bar{z}_{bc} & \bar{z}_{bu} & \bar{z}_{bw} & \bar{z}_{bd} \\ \bar{z}_{ca} & \bar{z}_{cb} & \bar{z}_{cc} & \bar{z}_{cu} & \bar{z}_{cw} & \bar{z}_{cd} \\ \bar{z}_{ua} & \bar{z}_{ub} & \bar{z}_{uc} & \bar{z}_{uu} & \bar{z}_{uw} & \bar{z}_{ud} \\ \bar{z}_{wa} & \bar{z}_{wb} & \bar{z}_{wc} & \bar{z}_{wu} & \bar{z}_{ww} & \bar{z}_{wd} \\ \bar{z}_{da} & \bar{z}_{db} & \bar{z}_{dc} & \bar{z}_{du} & \bar{z}_{dw} & \bar{z}_{dd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_u \\ I_w \\ I_d \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

V/u.l.

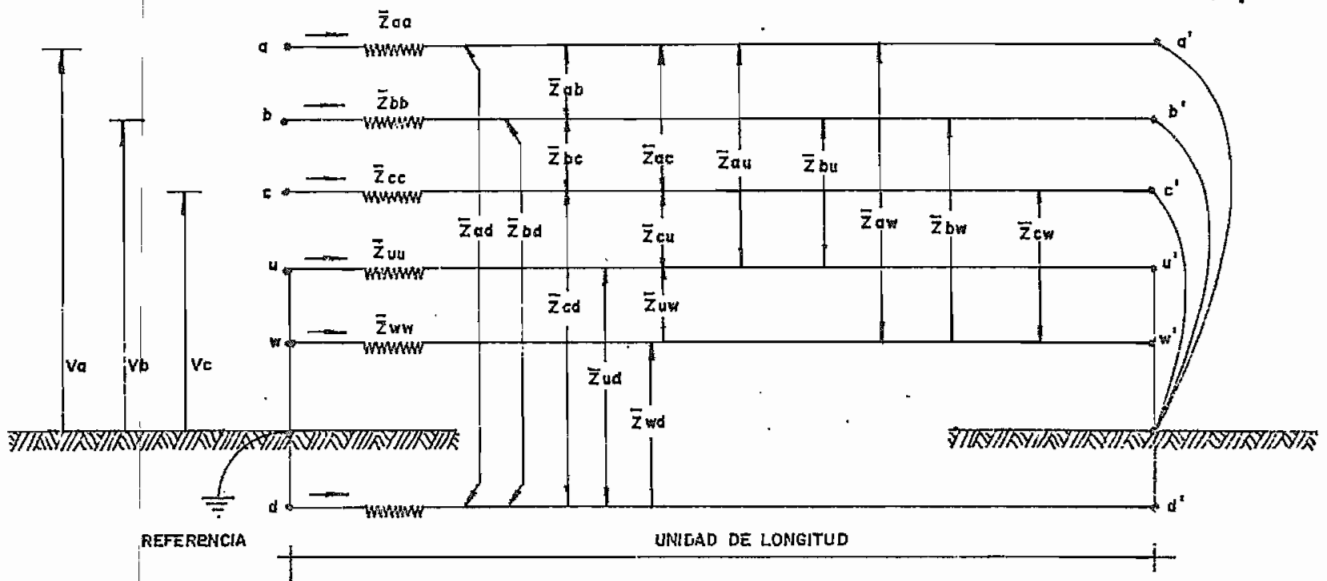


FIG. 2-6 Línea trifásica con dos cables de guardia.

Entonces la corriente de retorno se divide entre d, u y

w :

$$\begin{aligned}
 I_a + I_b + I_c &= - ( I_d + I_u + I_w ) \\
 I_d &= - ( I_a + I_b + I_c + I_u + I_w )
 \end{aligned}
 \tag{2.41}$$

Haciendo esta sustitución en (2.40) y eliminando  $V_{dd}$ , obtenemos:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_{u=0} \\ V_{w=0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} & z_{au} & z_{aw} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} & z_{bu} & z_{bw} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} & z_{cu} & z_{cw} \\ z_{ua} & z_{ub} & z_{uc} & z_{uu} & z_{uw} \\ z_{wa} & z_{wb} & z_{wc} & z_{wu} & z_{ww} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_u \\ I_w \end{bmatrix} \quad V/u.l. \tag{2.42}$$

Donde se define:

$z_{pq} = \bar{z}_{pq} - \bar{z}_{pd} - \bar{z}_{dq} + \bar{z}_{dd}$  ; p, q = a, b, c, u, w , exactamente como en los casos anteriores.

Esta ecuación matricial debe reducirse a un sistema de

.../...

001791

tercer orden con las variables suscritas a, b y c. Llamando a la matriz impedancia resultante por  $\hat{Z}_{abc}$ , tenemos:

$$\hat{Z}_{abc} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} z_{au} & z_{aw} \\ z_{bu} & z_{bw} \\ z_{cu} & z_{cw} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{uu} & Y_{uw} \\ Y_{wu} & Y_{ww} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{ua} & z_{ub} & z_{uc} \\ z_{wa} & z_{wb} & z_{wc} \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

Donde hemos definido:

$$\begin{bmatrix} y_{uu} & y_{uw} \\ y_{wu} & y_{ww} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{uu} & z_{uw} \\ z_{wu} & z_{ww} \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{\det Z_{uw}} \begin{bmatrix} z_{ww} & -z_{uw} \\ -z_{wu} & z_{uu} \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Y donde  $Z_{uw} = z_{uu} z_{ww} - z_{uw} z_{wu}$ . Cada elemento de la ecuación (2.43) puede calcularse como:

$$\hat{z}_{pq} = z_{pq} - \frac{z_{pu} z_{ww} z_{uq} - z_{pu} z_{uw} z_{wq} - z_{pw} z_{ww} z_{uq} + z_{pw} z_{uu} z_{wq}}{z_{uu} z_{ww} - z_{uw}^2} \quad (2.45)$$

p,q (fila, columna) = 1, b, c.

Para líneas de circuitos múltiples en paralelo se sigue el mismo procedimiento descrito en los puntos anteriores, obteniéndose expresiones iguales a las dadas por las ecuaciones (2.39) y (2.45) para calcular los elementos de las matrices reducidas.

## II.1.5. COMPONENTES DE SECUENCIA PARA REDES CON IMPEDANCIAS DESBALANCEADAS

### II.1.5.1 LINEAS DE CIRCUITO SIMPLE (7)

Para simplificar la escritura de fórmulas, se introducirá la siguiente notación en adelante:

$$\bar{V}_{pq}^{abc} = V_{pq}^f = \begin{bmatrix} V_{pq}^a & V_{pq}^b & V_{pq}^c \end{bmatrix}^t$$

$$\bar{V}_{pq}^{012} = V_{pq}^s = \begin{bmatrix} V_{pq}^0 & V_{pq}^1 & V_{pq}^2 \end{bmatrix}^t$$



$$\begin{bmatrix} z_{pq}^{abc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{pq}^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{pq}^{aa} & z_{pq}^{ab} & z_{pq}^{ac} \\ z_{pq}^{ba} & z_{pq}^{bb} & z_{pq}^{bc} \\ z_{pq}^{ca} & z_{pq}^{cb} & z_{pq}^{cc} \end{bmatrix}$$

(2.46)

$$\begin{bmatrix} z_{pq}^{012} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{pq}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{pq}^{00} & z_{pq}^{01} & z_{pq}^{02} \\ z_{pq}^{10} & z_{pq}^{11} & z_{pq}^{12} \\ z_{pq}^{20} & z_{pq}^{21} & z_{pq}^{22} \end{bmatrix}$$

Y notaciones similares para otras variables que no se indican. Consideremos una red bilateral con impedancias desbalanceadas como se indica en la Fig. 2-7.

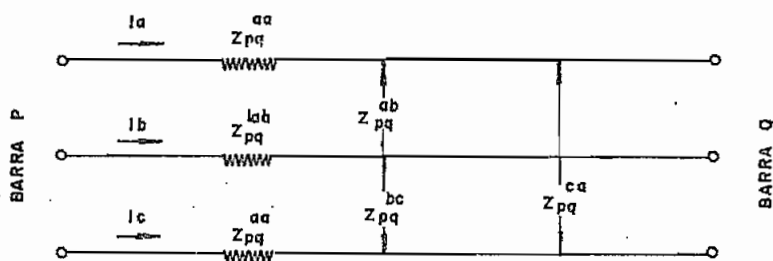


FIG. 2-7 Red bilateral con impedancias desbalanceadas.

Para esta red tenemos:

$$\bar{V}_{pq}^f = \begin{bmatrix} z_{pq}^f \end{bmatrix} \bar{I}_{pq}^f \quad (2.47)$$

Pasando a componentes simétricas tenemos:

$$\begin{aligned} [T] \bar{V}_{pq}^s &= \begin{bmatrix} z_{pq}^f \end{bmatrix} [T] \bar{I}_{pq}^s \\ \bar{V}_{pq}^s &= [T]^{-1} \begin{bmatrix} z_{pq}^f \end{bmatrix} [T] \bar{I}_{pq}^s \\ \bar{V}_{pq}^s &= \begin{bmatrix} z_{pq}^s \end{bmatrix} \bar{I}_{pq}^s \end{aligned}$$

(2.48)

.../...

De donde se deduce que:

$$\begin{bmatrix} z_{pq}^s \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} z_{pq}^f \end{bmatrix} [T] \quad (2.49)$$

Desarrollando esta última expresión llegamos a obtener:

$$\begin{bmatrix} z_{pq}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{so} + 2z_{mo} & z_{s2} - z_{m2} & z_{s1} - z_{m1} \\ z_{s1} - z_{m1} & z_{so} - z_{mo} & z_{s2} + 2z_{m2} \\ z_{s2} - z_{m2} & z_{s1} + 2z_{m1} & z_{so} - z_{mo} \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

Donde:

$$\begin{aligned} z_{so} &= 1/3 ( z_{pq}^{aa} + z_{pq}^{bb} + z_{pq}^{cc} ) \\ z_{s1} &= 1/3 ( z_{pq}^{aa} + az_{pq}^{bb} + a^2 z_{pq}^{cc} ) \\ z_{s2} &= 1/3 ( z_{pq}^{aa} + a^2 z_{pq}^{bb} + a z_{pq}^{cc} ) \\ z_{mo} &= 1/3 ( z_{pq}^{bc} + z_{pq}^{ca} + z_{pq}^{ab} ) \\ z_m &= 1/3 ( z_{pq}^{bc} + az_{pq}^{ca} + a^2 z_{pq}^{ab} ) \\ z_{m2} &= 1/3 ( z_{pq}^{bc} + a^2 z_{pq}^{ca} + az_{pq}^{ab} ) \end{aligned} \quad (2.51)$$

Según la igualdad (2.50), existe acoplamiento entre secuencias y este acoplamiento es no recíproco. Existen algunos casos en que esta igualdad se simplifica. Para el caso de elementos estáticos balanceados, que es el caso de líneas transpuestas, se tiene que:

$$\begin{aligned} z_{pq}^{aa} &= z_{pq}^{bb} = z_{pq}^{cc} = z^p \\ z_{pq}^{ab} &= z_{pq}^{bc} = z_{pq}^{ca} = z^m \end{aligned}$$

Por lo tanto, la igualdad (2.50) se reduce a:

$$\begin{bmatrix} z_{pq}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z^p + 2z^m & 0 & 0 \\ 0 & z^p - z^m & 0 \\ 0 & 0 & z^p - z^m \end{bmatrix} \quad (2.52)$$

.../...

En máquinas sincrónicas y de inducción, tenemos un caso especial. La matriz  $z_{pq}^f$  tiene la forma de matriz circulante, así:

$$\begin{bmatrix} z_{pq}^f \\ z_{pq}^f \\ z_{pq}^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{pq}^k & z_{pq}^m & z_{pq}^n \\ z_{pq}^n & z_{pq}^k & z_{pq}^m \\ z_{pq}^m & z_{pq}^n & z_{pq}^k \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

Pasando a componentes simétricas:

$$\begin{bmatrix} z_{pq}^s \\ z_{pq}^s \\ z_{pq}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{pq}^k + z_{pq}^m + z_{pq}^n & 0 & 0 \\ 0 & z_{pq}^k + a^2 z_{pq}^m + a z_{pq}^n & 0 \\ 0 & 0 & z_{pq}^k + a z_{pq}^m + a^2 z_{pq}^n \end{bmatrix}$$

Y nos queda una matriz diagonalizada.

#### II.1.5.2. LINEAS DE DOBLE CIRCUITO ( 14 )

Considérese un circuito formado por los conductores equivalentes a, b y c y otro formado por los conductores d, e y f; en donde a y d, b y c, c y f indican conductores de la misma fase relativa. La representación matricial del sistema de ecuaciones será:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_d \\ V_e \\ V_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} & z_{ad} & z_{ac} & z_{af} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} & z_{bd} & z_{bc} & z_{bf} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} & z_{cd} & z_{ce} & z_{cf} \\ z_{da} & z_{db} & z_{dc} & z_{dd} & z_{de} & z_{df} \\ z_{ea} & z_{eb} & z_{ec} & z_{ed} & z_{ee} & z_{ef} \\ z_{fa} & z_{fb} & z_{fc} & z_{fd} & z_{fe} & z_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_d \\ I_e \\ I_f \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

Que puede representarse por submatrices en la siguiente forma:

.../...

Reemplazando los valores del  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $V_x$ ,  $V_y$  por sus equivalentes obtenemos de (2.56), (2.57) y (2.58).

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V_x^s \\ V_y^s \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} T^{-1} \\ T^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{xx}^f \\ Z_{yx}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x^s \\ I_x^s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T^{-1} \\ T^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{xy}^f \\ Z_{yy}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_y^s \\ I_y^s \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} V_x^s \\ V_y^s \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} T^{-1} \\ T^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{xx}^f \\ Z_{yx}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x^s \\ I_x^s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T^{-1} \\ T^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{xy}^f \\ Z_{yy}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_y^s \\ I_y^s \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.60)$$

Que en forma matricial se expresa:

$$\begin{bmatrix} V_x^s \\ V_y^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T^{-1} & Z_{xx}^f & T & T^{-1} & Z_{xy}^f & T \\ T^{-1} & Z_{yx}^f & T & T^{-1} & Z_{yy}^f & T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x^s \\ I_x^s \\ I_y^s \\ I_y^s \end{bmatrix} \quad (2.61)$$

Don la matriz  $\begin{bmatrix} T^{-1} & Z_{xx}^f & T \end{bmatrix}$  representa la matriz de impedancias secuenciales propias y m\u00fatuas inherentes al circuito x.

La matriz  $\begin{bmatrix} T^{-1} & Z_{yy}^f & T \end{bmatrix}$  representa la matriz de impedancias secuenciales propias y m\u00fatuas inherentes al circuito y.

Las matrices  $\begin{bmatrix} T^{-1} & Z_{xy}^f & T \end{bmatrix}$  y  $\begin{bmatrix} T^{-1} & Z_{yx}^f & T \end{bmatrix}$  representan matrices de impedancias secuenciales m\u00fatuas entre las secuencias de los circuitos x i y.

En forma expandida la expresi\u00f3n dada por (2.61) es la siguiente, en donde los sub\u00edndices sin prima corresponden a la secuencia del circuito x y aquellos con prima, a la secuencia del circuito y:

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \\ V_{0'} \\ V_{1'} \\ V_{2'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{00} & z_{01} & z_{02} & z_{00'} & z_{01'} & z_{02'} \\ z_{10} & z_{11} & z_{12} & z_{10'} & z_{11'} & z_{12'} \\ z_{20} & z_{21} & z_{22} & z_{20'} & z_{21'} & z_{22'} \\ z_{0'0} & z_{0'1} & z_{0'2} & z_{0'0'} & z_{0'1'} & z_{0'2'} \\ z_{1'0} & z_{1'1} & z_{1'2} & z_{1'0'} & z_{1'1'} & z_{1'2'} \\ z_{2'0} & z_{2'1} & z_{2'2} & z_{2'0'} & z_{2'1'} & z_{2'2'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \\ I_{0'} \\ I_{1'} \\ I_{2'} \end{bmatrix} \quad (2.62)$$

## II.2. PARAMETROS DE TRANSFORMADORES TRIFASICOS ( 12 )

Como una ilustración considérese el transformador tipo núcleo de tres brazos de la Fig. 2-8. Por simplicidad no se considera el de vanado terciario de tal manera que el circuito primitivo es solamente de doce terminales completamente acoplados.

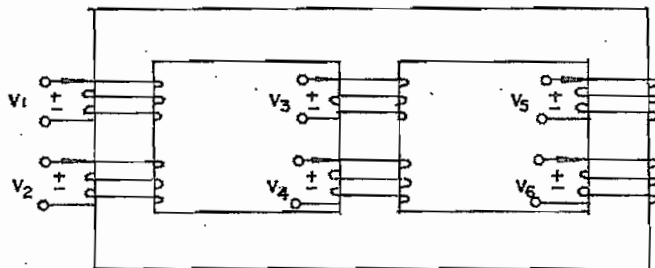


FIG. 2-8 Circuito primitivo de doce terminales acoplados.

La matriz admitancia primitiva de cortocircuito es la que se indica a continuación:

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \\ i_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} & y_{15} & y_{16} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} & y_{25} & y_{26} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} & y_{34} & y_{35} & y_{36} \\ y_{41} & y_{42} & y_{43} & y_{44} & y_{45} & y_{46} \\ y_{51} & y_{52} & y_{53} & y_{54} & y_{55} & y_{56} \\ y_{61} & y_{62} & y_{63} & y_{64} & y_{65} & y_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{bmatrix} \quad (2.63)$$

En sentido riguroso, debería hacerse 21 pruebas separadas de cortocircuito para obtener los valores de la matriz simétrica de admitancias de la ecuación (2.63). Además, el propósito de este análisis es entender las diferencias substanciales entre las características de un banco trifásico y un transformador tipo núcleo común. Por esto, se hacen algunas suposiciones algebraicas para simplificar el estudio tales como: una distribución perfectamente simétrica del flujo. Las medidas de cortocircuito previamente mencionadas pueden ser realizadas para cualquier caso especial justificado.

.../...

Asumiendo la simetría del flujo, la ecuación (2.63) puede aparecer como en (2.64). Donde, los signos propios de los valores de las admitancias de cortocircuito se han escrito y, las bobinas 1, 3 y 5 son consideradas como bobinas primarias y las 2, 4 y 6 como secundarias.

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \\ i_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_p & -y_m & y'_m & y''_m & y'_m & y''_m \\ -y_m & y_s & y''_m & y'''_m & y''_m & y'''_m \\ y'_m & y''_m & y_p & -y_m & y'_m & y''_m \\ y''_m & y'''_m & -y_m & y_s & y''_m & y'''_m \\ y'_m & y''_m & y'_m & y''_m & y_p & -y_m \\ y''_m & y'''_m & y''_m & y'''_m & -y_m & y_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{bmatrix} \quad (2.64)$$

Nótese que la Fig. 2-8 no representa alguna conexión para el transformador. Los pares terminales pueden ser conectados en cualquiera de las seis conexiones trifásicas. Esto se cubrirá posteriormente en el análisis de las matrices de conexión. Por comparación, consideremos la matriz primitiva de admitancias para tres transformadores monofásicos dada por (2.65), suponiendo los tres transformadores idénticos para una coherencia algebraica. La ausencia de las admitancias primitivas mutuas con prima en el banco trifásico serán mostradas para jugar un rol importante en el modelo final de conexión trifásica.

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \\ i_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_p & -y_m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -y_m & y_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & y_p & -y_m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -y_m & y_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & y_p & -y_m \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -y_m & y_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{bmatrix} \quad (2.65)$$

### II.2.1. UTILIZACION DE LA MATRIZ DE CONEXION

Hemos discutido los parámetros de las matrices primiti

vas; ahora podemos desarrollar el tipo de conexión y su aplicación para modelar transformadores trifásicos. Por brevedad sólo consideraremos un ejemplo, este es para la conexión  $Y_4 - \Delta$  que es la más interesante las seis conexiones más comunes. Sin embargo, se puede aplicar estos principios para obtener -- cualquiera de las otras configuraciones, aún incluyendo bancos desbalanceados.

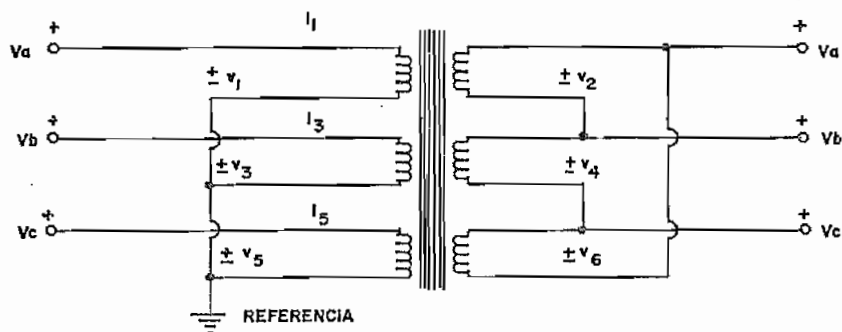


FIG. 2-9

Consideremos la conexión  $Y_4 - \Delta$  y asumamos que esta representa el aparato de núcleo común no conectado de la Fig. 2-8. En la Fig. 2-9 los voltajes de nodo son representados con letras mayúsculas, donde el lado  $Y$  tiene subíndices de fase minúsculas y el lado  $\Delta$ , subíndices mayúsculas. Todos los voltajes están con respecto a tierra como referencia. Los voltajes de rama primitivos son designados por minúsculas  $v_i$  con subíndices numéricos.

De acuerdo a la conexión de la Fig. 2-9, la relación simple entre los voltajes primitivos de rama y los voltajes de nodo se indican en (2.66), en la que la matriz de unos y ceros determina la conexión física en un sentido matemático. Esta es la matriz de conexión.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

que se puede observar como:

$$\begin{bmatrix} V_{RAMA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{NODO} \end{bmatrix} \quad (2.67)$$

Ahora el objetivo es aplicar la teoría de la matriz de conexión de Kron  $N$  a la matriz primitiva de admitancias para obtener la matriz admitancia de nodo para el circuito acoplado. Esto se obtiene por la relación expresada en (2.68), en donde  $Y_{PRIMITIVA}$  es la matriz primitiva de admitancias de (2.64) y  $N^t$  es la traspuesta de  $N$ .

$$Y_{NODO} = N^t Y_{PRIMITIVA} N \quad (2.68)$$

Cuando se realiza a derechas la multiplicación de estas matrices, la matriz admitancia de nodo resultante para la conexión de  $Y_{\rightarrow} - \Delta$  de la Fig. 2-9 se obtiene en cantidades de fase. Como se indica en (2.69), tomando en cuenta que  $y_p = y_s$ .

$$\begin{bmatrix} Y_{NODO} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_s & y'_m & y'_m & -(y_m + y''_m) & (y_m + y''_m) & 0 \\ y'_m & y_s & y'_m & 0 & -(y_m + y''_m) & (y_m + y''_m) \\ y'_m & y'_m & y_s & (y_m + y''_m) & 0 & -(y_m + y''_m) \\ \hline -(y_m + y''_m) & 0 & (y_m + y''_m) & 2(y_s + y'''_m) & -(y_s - y'''_m) & -(y_s - y'''_m) \\ (y_m + y''_m) & -(y_m + y''_m) & 0 & -(y_s - y'''_m) & 2(y_s - y'''_m) & -(y_s - y'''_m) \\ 0 & (y_m + y''_m) & -(y_m + y''_m) & -(y_s - y'''_m) & -(y_s - y'''_m) & 2(y_s - y'''_m) \end{bmatrix} \quad (2.69)$$

Por comparación de las matrices primitivas de admitancias de las ecuaciones (2.64) y (2.65), es fácil ver que los valores con prima desaparecen cuando la matriz primitiva de admitancias de un banco trifásico es sustituida en (2.68)

## II.2.2. MATRIZ ADMITANCIA DE NODO TRIFASICA EN SISTEMAS DE POTENCIA

La matriz admitancia de nodo de la ecuación (2.69) no está lista todavía para utilizarse en un modelo de sistema trifásico. Puesto que las admitancias primitivas fueron consideradas para estar en bases en

..//..



en por unidad, cuando los voltajes primario y secundario estaban en su voltaje nominal por unidad, 1.0, cualquier modelo de transformador  $Y-\Delta$  así obtenido debe considerar una efectiva relación de vueltas de  $\sqrt{3}$  de acuerdo si los dos voltajes  $Y$  y  $\Delta$  están en 1.0 p.u.; por lo cual, los cuadrantes derecho superior e izquierdo inferior deben ser divididos por  $\sqrt{3}$ , mientras que el cuadrante derecho inferior es dividido por 3. Entonces las submatrices pueden ser utilizadas para formar la matriz admitancia de nodo trifásica de sistema para estudio de sistemas de potencia desbalanceados. En este ejemplo el cuadrante superior izquierdo representa la submatriz de admitancia propia trifásica de el lado  $Y$  del transformador mientras que el cuadrante inferior derecho es la submatriz de admitancias propias trifásica del lado  $\Delta$ .

Si no hay acoplamiento de líneas de transmisión, estas submatrices pueden utilizarse directamente como bloques de formación en una manera análoga en la formación de la matriz admitancia de nodo de secuencia positiva utilizada para modelos de flujos de potencia. Si hay líneas paralelas trifásicas que presentan considerable acoplamiento, entonces se debe considerar medios más sofisticados de desarrollo de las submatrices de transformadores en la matriz de nodo del sistema.

La tabla 2.2 ilustra las submatrices utilizadas en la formación de la matriz admitancia de nodo trifásica para las seis conexiones más comunes de bancos de transformadores trifásicos, por lo que no aparecen los valores prima de  $y_m$ .

Normalmente estos valores prima de  $y_m$  son considerablemente pequeños en magnitud que los valores sin prima, luego las características de un transformador trifásico tipo núcleo común no son radicalmente diferentes que las de un banco trifásico. En efecto, los valores numéricos de  $y_s$ ,  $y_p$  y  $y_m$  son aproximadamente iguales, por lo tanto, podemos referirnos a ellos como  $y_t$ , la admitancia de dispersión en por unidad que puede ser obtenida por la prueba de cortocircuito.

Con objeto de formar la tabla 2.2, los tres tipos básicos de submatrices para las diferentes conexiones se definieron como:

$$\begin{aligned}
 Y_I &= \begin{bmatrix} y_t & 0 & 0 \\ 0 & y_t & 0 \\ 0 & 0 & y_t \end{bmatrix} \\
 Y_{II} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2y_t & y_t & y_t \\ -y_t & 2y_t & -y_t \\ -y_t & -y_t & 2y_t \end{bmatrix} \\
 Y_{III} &= \frac{\sqrt{3}}{3} \begin{bmatrix} -y_t & y_t & 0 \\ 0 & -y_t & y_t \\ 0 & 0 & -y_t \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{2.70}$$

TABLA 2.2 SUBMATRICES BASICAS UTILIZADAS EN LA FORMULACION DE ADMITANCIAS DE NODO PARA LAS SEIS CONEXIONES MAS COMUNES DE TRANSFORMADORES TRIFASICOS

CONEXION DEL TRANSFORMADOR		SUBMATRICES DE ADMITANCIAS PROPIAS		SUBMATRICES DE ADMITANCIAS MUTUAS
Barra p	Barra q	Barra p	Barra q	
$Y_{\rightarrow}$	$Y_{\rightarrow}$	$Y_I$	$Y_I$	$-Y_I$
$Y_{\rightarrow}$	$Y$	$Y_{II}$	$Y_{II}$	$-Y_{II}$
$Y_{\rightarrow}$	$\Delta$	$Y_I$	$Y_{II}$	$Y_{III}$
$Y$	$Y$	$Y_{II}$	$Y_{II}$	$-Y_{II}$
$Y$	$\Delta$	$Y_{II}$	$Y_{II}$	$Y_{III}$
$\Delta$	$\Delta$	$Y_{II}$	$Y_{II}$	$-Y_{II}$

### II.2.3. COMPONENTES SIMETRICAS DE TRANSFORMADORES TRIFASICOS

El transformador de núcleo común con conexión  $Y_{\rightarrow} / \Delta_{\rightarrow}$  mo  
 .../...

delado como en la ecuación (2.69) se examina en detalle. Consideremos primero la submatriz de admitancia propia del transformador de la Fig. 2-9, por medio de la relación.

$$y_{pp}^{012} = y_{pp}^s T^{-1} y_{pp}^{abc} T$$

$$y_{pp}^s = T^{-1} \begin{bmatrix} y_p & y_m' & y_m' \\ y_m' & y_p & y_m' \\ y_m' & y_m' & y_p \end{bmatrix} T$$

Obtenemos:

$$y_{pp}^s = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ y_p + 2y_m' & 0 & 0 \\ 0 & y_p - y_m' & 0 \\ 0 & 0 & y_p - y_m' \end{bmatrix} \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{matrix} \quad (2.71)$$

Nótese que la admitancia propia de secuencia cero no es igual a las admitancias propias de secuencia positiva y negativa en los transformadores trifásicos. Si se utiliza un banco trifásico  $y_m'$  debería ser cero y todas las tres admitancias propias son iguales.

Ahora, aplicando la transformación a componentes simétricas a la submatriz de admitancias propias del lado delta del transformador de la Fig. 2-9, recordando que se aplicó la relación de vueltas  $\sqrt{3}$ .

$$y_{ss}^{012} = \frac{1}{3} T^{-1} \begin{bmatrix} 2(y_s - y_m''') & -(y_s - y_m''') & -(y_s - y_m''') \\ -(y_s - y_m''') & 2(y_s - y_m''') & -(y_s - y_m''') \\ -(y_s - y_m''') & -(y_s - y_m''') & 2(y_s - y_m''') \end{bmatrix} T$$

Obtenemos:

$$y_{ss}^{012} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & y_s - y_m''' & 0 \\ 0 & 0 & y_s - y_m''' \end{bmatrix} \quad (2.72)$$

.../...

Aquí se verifica que no existe la admitancia propia de secuencia cero en el lado delta de un transformador balanceado y que las admitancias propias de secuencia positiva y negativa son reducidas por  $y_m''$ .

Finalmente, las submatrices de admitancias mütuas de la ecuación (2.69) modificadas por la relación de vueltas, se transforma para encontrar las admitancias de transferencia de secuencia que enlazan los lados Y y Delta del modelo del transformador en los circuitos secuenciales.

$$y_{ps}^{012} = \frac{\sqrt{3}}{3} T^{-1} \begin{bmatrix} (y_m + y_m'') & (y_m + y_m'') & 0 \\ 0 & -(y_m + y_m'') & (y_m + y_m'') \\ (y_m - y_m'') & 0 & -(y_m + y_m'') \end{bmatrix} T \quad (2.73)$$

$$y_{ps}^{012} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(y_m + y_m'') \angle 30^\circ & 0 \\ 0 & 0 & -(y_m + y_m'') \angle -30^\circ \end{bmatrix}$$

Nótese que el defasaje en la admitancia de transferencia de circuito de secuencia positiva es  $30^\circ$  adelante, mientras que para la admitancia de transferencia de circuito de secuencia negativa es  $30^\circ$  atrás. Además, es aparente que en vista de que la admitancia de transferencia de secuencia cero es cero, no puede pasar corriente de secuencia cero entre los lados Y y Delta de un transformador balanceado. Esto es obvio por una simple observación de la conexión trifásica. Lo que no es obvio, sin embargo, es que la existencia de  $y_m''$  que representa los efectos de acoplamiento del núcleo común, aumenta la admitancia de transferencia del transformador en los circuitos de secuencia positiva y negativa.

Los resultados de las ecuaciones (2.71), (2.72) y (2.73) se pueden utilizar para formar los tres circuitos modelos de componentes simétricos de un transformador trifásico de núcleo común Fig. 2-10 a 2-12.

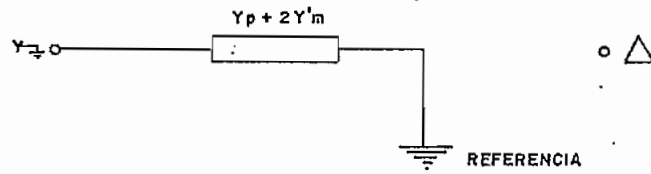


FIG. 2-10 Modelo de admitancia de nodo de secuencia cero para un transformador tipo núcleo común con conexión estrella - Delta.

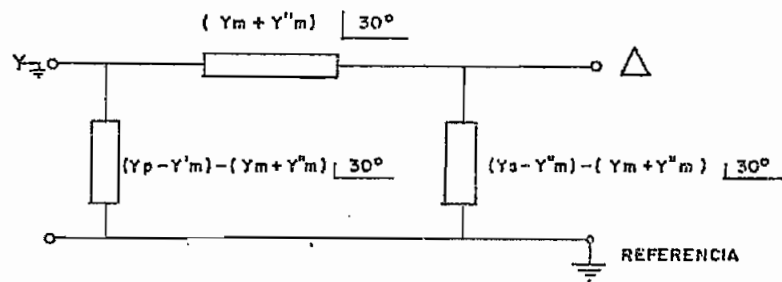


FIG. 2-11 Modelo de admitancia de nodo de secuencia positiva para un transformador tipo núcleo común con conexión estrella - Delta.

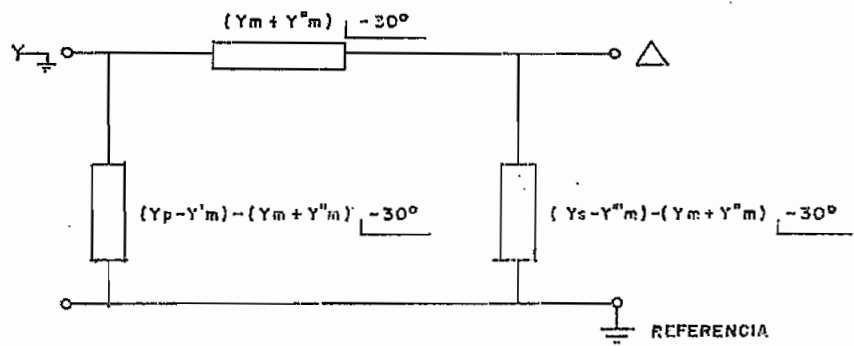


FIG. 2-12 Modelo de admitancia de nodo de secuencia negativa para un transformador tipo núcleo común con conexión estrella - Delta.

La inconveniencia de los modelos equivalentes de secuencia positiva y negativa para el transformador  $Y-\Delta$ , puede evitarse si se ignora el defasaje de  $30^\circ$  inherente a los transformadores  $Y-\Delta$ . Como previamente se dijo, los ingenieros usualmente ignoran el defasaje en el modelo y consideran sus efectos en los resultados. Si se hace ésto y si además se asume que  $y'_m$ ,  $y''_m$  i  $y'''_m$  son aproximadamente iguales ó que son ceros en un banco trifásico, las figuras anteriores 2-11 y 2-12, se reducen a la Fig. 2-13.

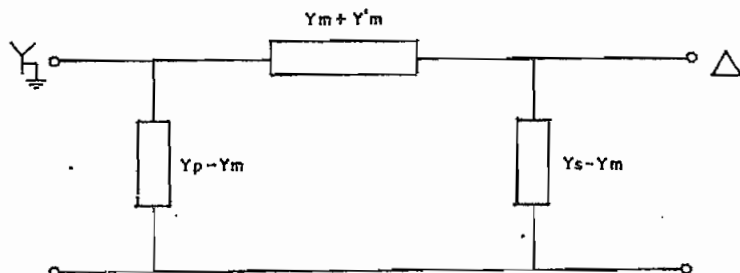


FIG. 2-13 Modelo de secuencia positiva para un transformador ignorando el defasaje.

Puesto que  $y_p$  es ligeramente mayor que  $y_m$ , es justificable considerar a  $y_p - y_m$  i  $y_s - y_m$  como circuito abierto.

Bajo estas consideraciones y, tomando en cuenta que, como dijimos anteriormente, los valores de  $y_m$  que representan los efectos del núcleo común, son despreciables frente a los valores sin prima, obtenemos el modelo convencional que se indica en la Fig. 2-14.

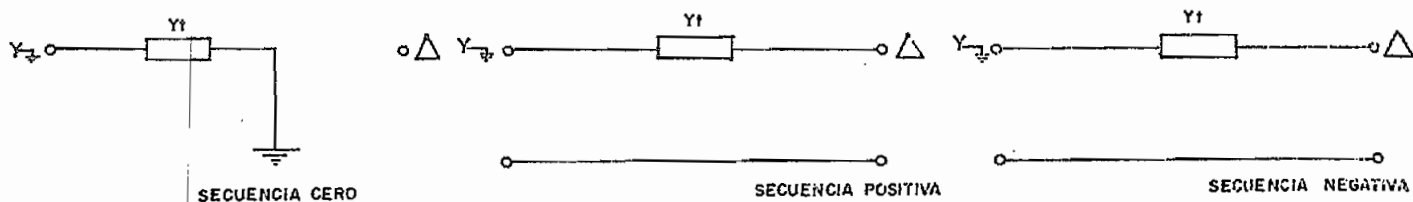


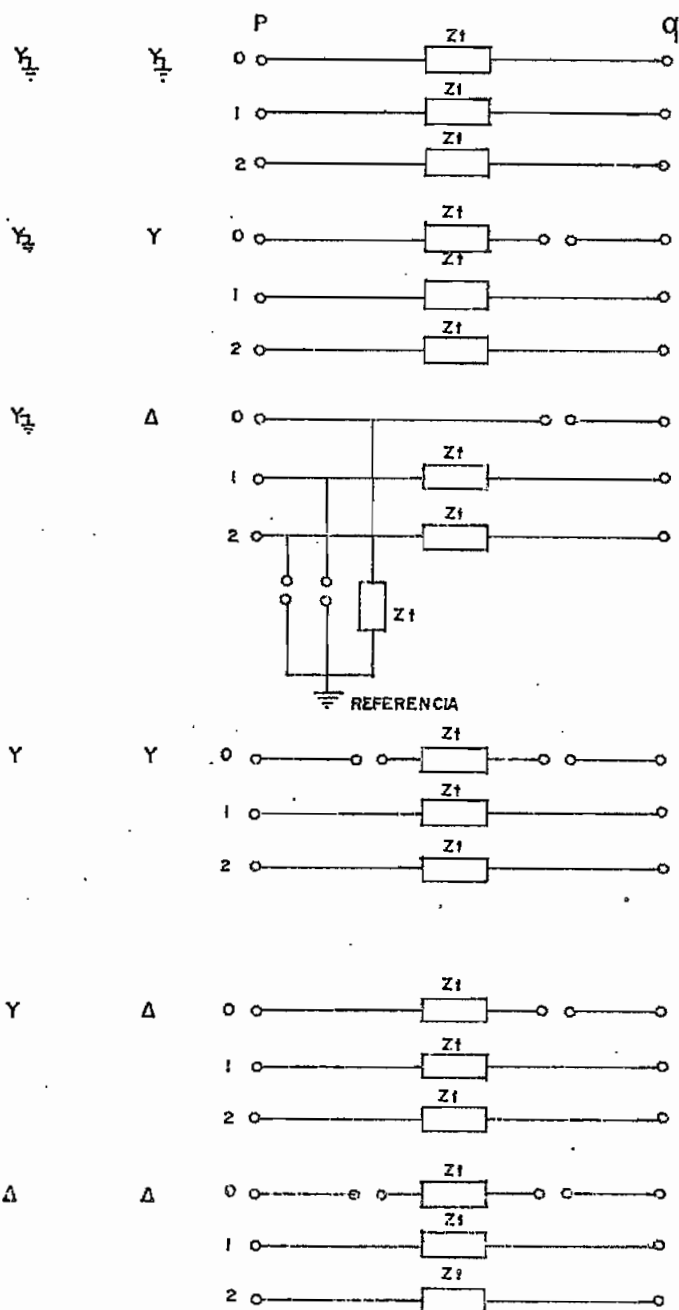
FIG. 2-14 Modelo convencional de un transformador trifásico.

Haciendo las mismas consideraciones con los otros tipos de conexiones y representando en forma de impedancia, obtenemos los modelos que se indican en la tabla N° 2.3.

TABLA N° 2.3 MODELOS DE TRANSFORMADORES TRIFASICOS

TIPO DE CONEXION                      MODELO EN COMPONENTES SIMETRICAS

Barra p    Barra q



C A P I T U L O    I I I

FORMULACION MATEMATICA DEL PROBLEMA

III. 1. ALGORITMO PARA LA FORMACION DE ZBARRA TRIFASICA (3,6)

Las ecuaciones representativas de un circuito trifásico parcial en el marco de referencia de barras en forma de impedancia son:

$$\bar{E}_B^f = Z_B^f \bar{I}_B^f \quad (3.1)$$

Donde:  $\bar{E}_B^f$  = Vector trifásico de voltajes de barra, medidos con respecto a la barra de referencia.

$\bar{I}_B^f$  = Vector trifásico de corrientes de barra.

$Z_B^f$  = Matriz trifásica de impedancias de barra.

La matriz de impedancias de barra contiene las impedancias de punto motriz, o propias, de cada una de las barras del sistema con respecto a la barra de referencia que ha sido escogida como tal arbitrariamente. Las impedancias de punto motriz de una barra es la impedancia equivalente entre ella y referencia. Además, contiene las impedancias de transferencia entre cada barra del sistema y cada una de las demás barras con respecto a la barra de referencia.

Si al sistema parcialmente formado se añade un nuevo elemento, las características de la matriz parcial cambian de la forma siguiente:

- a) Si el elemento añadido es rama, aumenta una barra en el sistema; la dimensión de la impedancia de barra aumenta en una fila y una columna.
- b) Si el elemento es enlace, la matriz impedancia de barra no cambia de dimensión, pero tiene que ser modificada completamente.

Consideraremos separadamente los casos en que el elemento añadido es rama o enlace.



## III.1.1. ADICION DE UNA RAMA

La ecuación representativa de un circuito trifásico parcial con una rama añadida p-q, en términos de cantidades trifásicas es:

$$\begin{bmatrix} E_1^f \\ \dots \\ E_p^f \\ \dots \\ E_m^f \\ \dots \\ E_q^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11}^f & \dots & Z_{1p}^f & \dots & Z_{1m}^f & Z_{1q}^f \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{p1}^f & \dots & Z_{pp}^f & \dots & Z_{pm}^f & Z_{pq}^f \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{m1}^f & \dots & Z_{mp}^f & \dots & Z_{mm}^f & Z_{mq}^f \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{q1}^f & \dots & Z_{qp}^f & \dots & Z_{qm}^f & Z_{qq}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1^f \\ \dots \\ I_p^f \\ \dots \\ I_m^f \\ \dots \\ I_q^f \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

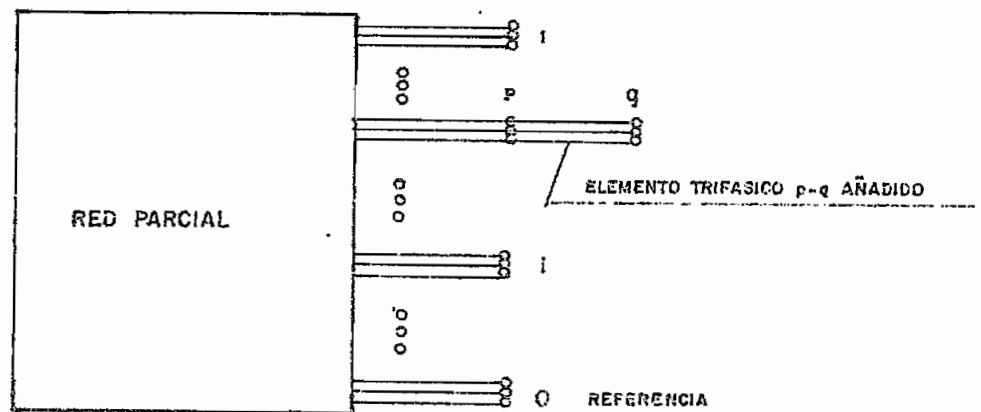


FIG. 3-1 Adición de una rama.

Donde los elementos  $Z_{iq}^f$ ,  $Z_{qi}^f$  y  $Z_{qq}^f$  se calcularán con las siguientes relaciones <sup>(6)</sup>, en el caso más general:

$$\begin{aligned} Z_{qi}^f &= Z_{pi}^f + (y_{pq,pq}^f)^{-1} \bar{y}_{pq,rs}^f (\bar{Z}_{ri}^f - \bar{Z}_{si}^f) \\ Z_{iq}^f &= Z_{ip}^f + (\bar{Z}_{ir}^f - \bar{Z}_{is}^f) \bar{y}_{pq,rs}^f (y_{pq,pq}^f)^{-1} \\ Z_{qq}^f &= Z_{pq}^f + (y_{pq,pq}^f)^{-1} \left[ U + \bar{y}_{pq,rs}^f (\bar{Z}_{rq}^f - \bar{Z}_{sq}^f) \right] \end{aligned} \quad (3.3)$$

Si no hay acoplamiento mutuo entre la rama añadida y los elementos del circuito, los elementos  $y_{pq,rs}^f$  son ceros y  $(y_{pq,pq}^f)^{-1} = Z_{pq,pq}^f$

.../...

Entonces las ecuaciones anteriores se reducen a:

$$\begin{aligned} Z_{qi}^f &= Z_{pi}^f \\ Z_{iq}^f &= Z_{ip}^f \\ Z_{qq}^f &= Z_{pq}^f + z_{pq,pq}^f \end{aligned} \quad (3.4)$$

Si además  $p$  es el nodo de referencia, los elementos  $Z_{qi}^f$  y  $Z_{iq}^f$  son ceros y  $Z_{qq}^f = z_{pq,pq}^f$ .

Cuando los elementos del sistema son balanceados:  $Z_{qi}^f = Z_{iq}^f$ , en caso contrario se utilizan las relaciones dadas en la ecuación (3.3).

### III.1.2. ADICION DE UN ENLACE

En este caso la matriz impedancia de barra correspondiente a la red parcial no aumenta su dimensión pero todos los elementos deben ser recalculados como consecuencia del enlace agregado. El procedimiento consiste en conectar en serie con el enlace una fuente de tensión  $e_1$ , tal que la corriente en el enlace sea cero como se indica en la Fig. 3-2.

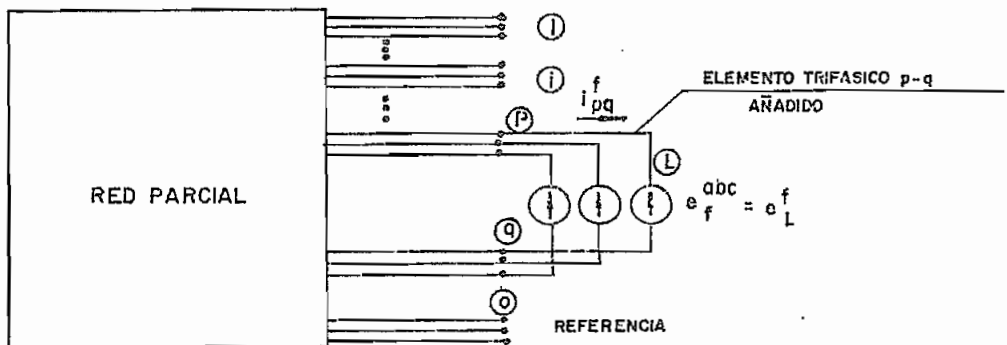


FIG. 3-2 Adición de un enlace.

Puesto que la corriente  $i_{pq}^f = 0$ , la barra ficticia 1 - permite tratar al elemento añadido como si fuese rama, en estas condiciones:

.../...

$$\begin{bmatrix} E_1^f \\ \vdots \\ E_p^f \\ \vdots \\ E_m^f \\ \dots \\ e_1^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11}^f & \dots & Z_{1p}^f & \dots & Z_{1m}^f & Z_{11}^f \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{p1}^f & \dots & Z_{pp}^f & \dots & Z_{pm}^f & Z_{p1}^f \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{m1}^f & \dots & Z_{mp}^f & \dots & Z_{mm}^f & Z_{m1}^f \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{11}^f & \dots & Z_{1p}^f & \dots & Z_{1m}^f & Z_{11}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1^f \\ \dots \\ I_p^f \\ \dots \\ I_m^f \\ \dots \\ I_1^f \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Donde los elementos  $Z_{il}^f$ ,  $Z_{li}^f$  y  $Z_{ll}^f$  están dados por:

$$\begin{aligned} Z_{li}^f &= Z_{pi}^f - Z_{qi}^f + (y_{pq,pq}^f)^{-1} \bar{y}_{pq,rs}^f (\bar{Z}_{ri}^f - \bar{Z}_{si}^f) \\ Z_{il}^f &= Z_{ip}^f - Z_{iq}^f + (\bar{Z}_{ir}^f - \bar{Z}_{is}^f) \bar{y}_{pq,rs}^f (y_{pq,pq}^f)^{-1} \\ Z_{ll}^f &= (Z_{p1}^f - Z_{q1}^f) + (y_{pq,pq}^f)^{-1} \left[ U + \bar{y}_{pq,rs}^f (\bar{Z}_{r1}^f - \bar{Z}_{s1}^f) \right] \end{aligned} \quad (3.6)$$

Si no hay acoplamiento mutuo entre el enlace añadido y los demás elementos del circuito parcial, las relaciones anteriores se reducen a:

$$\begin{aligned} Z_{li}^f &= Z_{pi}^f - Z_{qi}^f \\ Z_{il}^f &= Z_{ip}^f - Z_{iq}^f \\ Z_{ll}^f &= Z_{p1}^f - Z_{q1}^f + z_{pq,pq}^f \end{aligned} \quad (3.7)$$

y si además p es el nodo de referencia:

$$\begin{aligned} Z_{li}^f &= -Z_{qi}^f \\ Z_{il}^f &= -Z_{iq}^f \\ Z_{ll}^f &= Z_{q1}^f + z_{pq,pq}^f \end{aligned} \quad (3.8)$$

Si los elementos son balanceados  $Z_{1i} = Z_{i1}$

Ahora tenemos que recalcular los elementos de la matriz Zbarra eliminando al nodo 1, para lo cual cortocircuitamos la fuente de voltaje de enlace  $e_1^f$ . De la ecuación (3.5), obtenemos por lo tanto:

$$\bar{E}_B^f = Z_B^f \bar{I}_B^f + \bar{Z}_{i1}^f I_1^f \quad (3.9)$$

y:

$$e_1^f = \bar{Z}_{1j}^f \bar{I}_B^f + Z_{11}^f I_1^f = 0 \quad (3.10)$$

$$i, j = 1, 2 \dots n.$$

Resolviendo para  $I_1$  de (3.10) y sustituyendo en (3.9)

$$\bar{E}_B^f = \left[ Z_B^f + \bar{Z}_{i1}^f (Z_{11}^f)^{-1} \bar{Z}_{1j}^f \right] \bar{I}_B^f \quad (3.11)$$

Entonces:

$$Z_{ij}^f \text{ (modificado)} = Z_{ij}^f \text{ (antes eliminación)} - Z_{i1}^f (Z_{11}^f)^{-1} Z_{1j}^f \quad (3.12)$$

### III.2. CALCULO DE CORTOCIRCUITOS

#### III.2.1. CORRIENTES Y VOLTAJES DE FALLA PARA EL CASO DE CORTOCIRCUITOS CON IMPEDANCIA DE FALLA (3,6)

La representación del sistema con una falla en la barra p se muestra en la Fig. 3-3. En esta representación, por medio del teorema de Thevenin, la impedancia interna es representada por la matriz impedancia de barra incluyendo las reactancias de las máquinas y el voltaje de circuito abierto es representado por los voltajes de barra previos a la falla.

La ecuación representativa del sistema durante la falla es:

$$\bar{E}_{\text{Barra}}^r (F) = \bar{E}_{\text{Barra}}^r (0) - Z_{\text{Barra}}^f \bar{I}_{\text{Barra}}^f \quad (3.1)$$

El vector de voltajes no conocidos es:

.../...

$$\bar{E}_{Barra}^f(F) = \begin{bmatrix} E_{1(F)}^f \\ \dots \\ E_p^f(F) \\ \dots \\ E_n^f(F) \end{bmatrix}$$

Donde los elementos son los vectores trifásicos de voltaje  $E_i^f(F)$   $i = 1, 2, \dots, n$ .

El vector de voltajes conocidos antes de la falla es:

$$\bar{E}_B^f(0) = \begin{bmatrix} E_{1(0)}^f \\ \dots \\ E_p^f(0) \\ \dots \\ E_n^f(0) \end{bmatrix}$$

El vector de corrientes durante la falla en la barra p:

$$\bar{I}_B^f(F) = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \\ I_p^f(F) \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}$$

La matriz impedancia trifásica es:

$$Z_E^f = \begin{bmatrix} Z_{11}^f & \dots & Z_{ip}^f & \dots & Z_{ln}^f \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{pa}^f & \dots & Z_{pp}^f & \dots & Z_{pn}^f \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{ml}^f & \dots & Z_{np}^f & \dots & Z_{nn}^f \end{bmatrix}$$

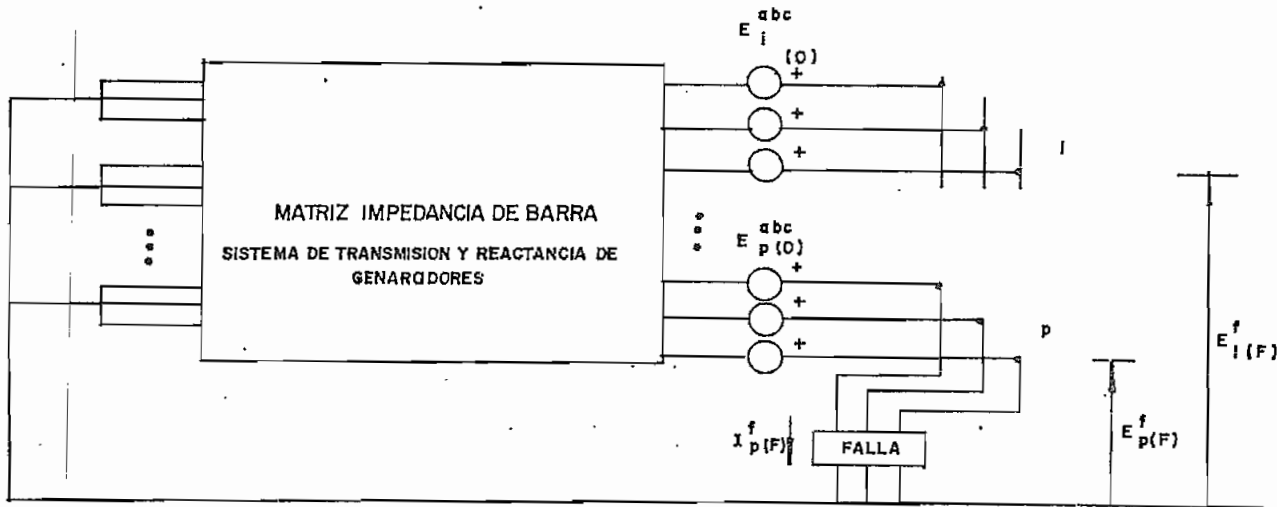


FIG.3-3 Representación del sistema con falla en la barra p.

La ecuación (3-13) puede ser escrita como:

$$\begin{aligned}
 E_{1(F)}^f &= E_{1(0)}^f - Z_{1p}^f I_p^f(F) \\
 \vdots & \\
 E_{p(F)}^f &= E_{p(0)}^f - Z_{pp}^f I_p^f(F) \\
 \vdots & \\
 E_{n(F)}^f &= E_{n(0)}^f - Z_{np}^f I_p^f(F)
 \end{aligned} \tag{3.14}$$

El vector de voltajes trifásicos en la barra fallada p es:

$$E_{p(F)}^f = Z_F^f I_p^f(F) \tag{3.15}$$

Donde  $Z_F^f$  es la matriz impedancia trifásica de la falla. Los elementos de esta matriz 3 x 3 dependen del tipo de falla y de la impedancia de falla. Sustituyendo (3.15) en (3.14).

$$I_p^f(F) = (Z_F^f + Z_{pp}^f)^{-1} E_p^f(0) \tag{3.16}$$

Luego:

$$E_{p(F)}^f = Z_F^f (Z_F^f + Z_{pp}^f)^{-1} E_p^f(0) \tag{3.17}$$

La tensión postfalla en una barra no fallada cualquiera será:

$$E_{i(F)}^f = E_{i(0)}^f - Z_{ip}^f (Z_F^f + Z_{pp}^f)^{-1} E_{p(0)}^f \quad (3.18)$$

$$i = 1, 2, \dots, n ; i \neq p$$

Debido a que en algunos casos la matriz impedancia de falla no está definida, utilizaremos la matriz admitancia de falla que si lo está, es decir:

$$Y_F^f = (Z_F^f)^{-1} \quad (3.19)$$

Por lo tanto las expresiones anteriores en función de  $Y_F^f$  son:

$$I_{p(F)}^f = (Z_F^f)^{-1} E_{p(F)}^f = Y_F^f E_{p(F)}^f$$

$$E_{p(F)}^f = (U + Z_{pp}^f Y_F^f) E_{p(0)}^f$$

(3.20)

$$I_{p(F)}^f = Y_F^f (U + Z_{pp}^f Y_F^f)^{-1} E_{p(0)}^f$$

$$E_{i(F)}^f = E_{i(0)}^f - Z_{ip}^{abc} Y_F^f (U + Z_{pp}^f Y_F^f)^{-1} E_{p(0)}^f ; i \neq p$$

### III.2.2 CALCULO DE LA MATRIZ ADMITANCIA DE FALLA ( 3 )

Una falla se produce en cualquier barra, a través de un circuito cuya representación más general se da en la Fig. 3-4.

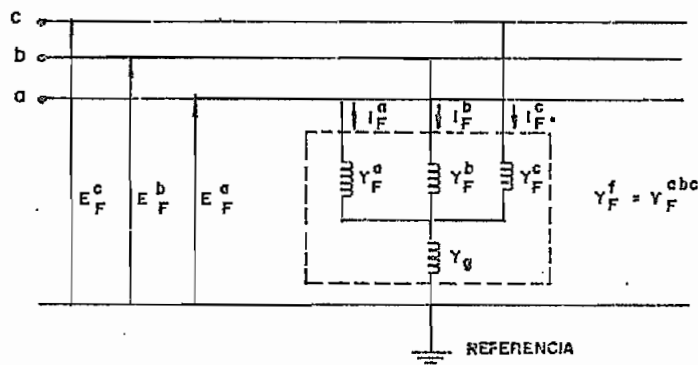


FIG. 3-4 Circuito equivalente de una falla.

La ecuación de comportamiento del circuito es:

$$\bar{I}_F^f = [Y_F^f] \bar{E}_F^f \quad (3.21)$$

Que en forma expandida tiene la forma:

$$\begin{bmatrix} I_F^a \\ I_F^b \\ I_F^c \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_F^a & 0 & 0 & -y_F^a \\ 0 & y_F^b & 0 & -y_F^b \\ 0 & 0 & y_F^c & -y_F^c \\ -y_F^a & -y_F^b & -y_F^c & y_F^a + y_F^b + y_F^c + y_g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_F^a \\ E_F^b \\ E_F^c \\ E_F^n \end{bmatrix}$$

$$0: \begin{bmatrix} I_F^f \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_F^{ff} & Y_F^{fn} \\ Y_F^{nf} & Y_F^{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_F^f \\ E_F^n \end{bmatrix}$$

Eliminando el nodo n:

$$\bar{I}_F^f = \left( [Y_F^{ff}] - \frac{\bar{Y}_F^{fn} \bar{Y}_F^{nf}}{Y_F^{nn}} \right) E_F^f \quad (3.22)$$

De donde se deduce que:

$$[Y_F^f] = [Y_F^{ff}] - \frac{\bar{Y}_F^{fn} \bar{Y}_F^{nf}}{Y_F^{nn}} \quad (3.23)$$

$$[Y_F^f] = \begin{bmatrix} y_F^a & 0 & 0 \\ 0 & y_F^b & 0 \\ 0 & 0 & y_F^c \end{bmatrix} - \frac{\begin{bmatrix} -y_F^a & -y_F^b & -y_F^c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -y_F^a & -y_F^b & -y_F^c \end{bmatrix}}{y_F^a + y_F^b + y_F^c + y_g} \quad (3.24)$$

Si definimos:  $y_F^l = (y_F^a + y_F^b + y_F^c + y_g)$ , la ecuación

(3.24) se reduce a:

.../...



$$\begin{bmatrix} Y_F^f \end{bmatrix} = y_F^1 \begin{bmatrix} y_F^a (y_F^b + y_F^c + y_g) & -y_F^a & y_F^b & -y_F^a & y_F^c \\ -y_F^a & y_F^b & y_F^b (y_F^a + y_F^c + y_g) & -y_F^b & y_F^c \\ -y_F^a & y_F^c & -y_F^b & y_F^c & y_F^c (y_F^a + y_F^b + y_g) \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

En la tabla III.1 se dan las formas que toma esta matriz para los diferentes tipos de falla.

### III.2.3. CORTOCIRCUITOS FRANCO EN SISTEMAS DESBALANCEADOS Y MATRICES DE TRANSFORMACION DE CORRIENTES Y VOLTAJES ( 12 )

Para el caso de cortocircuitos francos en sistema desbalanceados, al utilizar la representación de la falla en forma de admitancia o impedancia, se introducen errores grandes, por lo que se ha desarrollado un método que utiliza matrices de transformación de corrientes y voltajes que se obtienen considerando las "condiciones de borde" de la falla.

Los valores conocidos durante la falla son los componentes de  $E_p^f(0)$  y  $Z_{pp}^f$  y algunos componentes de  $V_p^f(F)$  e  $I_p^f(F)$  dependiendo del tipo de falla, por ejemplo: los voltajes de las fases fallosas y las corrientes en las fases no fallosas son ceros. Estos voltajes y corrientes conocidos en la falla son utilizados para obtener una matriz de transformación de voltajes S y una matriz de transformación de corrientes W. Estas matrices se utilizan para resolver la ecuación (3.13) para encontrar las condiciones de falla en una falla franca.

Para construir las matrices de transformación válidas se deben cumplir las tres condiciones siguientes:

1.  $SE_p^f(F) = \bar{0}$
2.  $WI_p^f(F) = \bar{0}$
3.  $|S + W| \neq 0$

(3.26)

Donde:

S = Matriz de transformación de voltajes

W = Matriz de transformación de corrientes

$|S + W|$  = Determinante de de la matriz S + W

Premultiplicando ambos lados de la ecuación (3.13) por S y tomando en cuenta la relación 1.

$$SE_p^f(F) = SE_p^f(0) - SZ_{pp}^f \cdot I_p^f(F) \quad (3.27)$$

$$SE_p^f(0) = SZ_{pp}^f \cdot I_p^f(F)$$

Ya que la condición 2. indica que  $WI_p^f(F) = 0$ , podemos añadirla a la derecha de la ecuación (3.27) sin que cambie la igualdad:

$$SE_p^f(0) = (W + SZ_{pp}^f) \cdot I_p^f(F) \quad (3.28)$$

Donde el rango de  $SZ_{pp}^f$  se determina por el rango de S, debido a que el rango de S es menor o igual al rango de  $Z_{pp}^f$ , por lo tanto, si el determinante de S + W no es cero, la inversa de (S + W) y de  $(W + SZ_{pp}^f)$  existe, condición 3. Entonces, y sólo entonces es posible que exista una solución única para la corriente de falla:

$$I_p^f(F) = (W + SZ_{pp}^f)^{-1} SE_p^f(0) \quad (3.29)$$

La teoría anterior muestra que si las tres condiciones son sucesivas, es posible una solución única de la corriente de falla. Sin embargo no indica cómo se forman estas matrices de transformación, o si S y W son únicas para cada tipo de falla.

Además, hay más de una serie de matrices S y W para cada tipo de falla, esto se puede demostrar de la manera siguiente: si a los dos lados de las condiciones 1. y 2. de la ecuación (3.26) se multiplica por una constante diferente de cero, esta igualdad no cambia:

$$cSE_p^f(F) = \bar{0}$$

$$cWI_p^f(F) = \bar{0}$$

$$y \quad |cS + cW| = c^n |S + W| \neq 0$$

.../...

Por lo tanto,  $cS$  y  $cW$  son también matrices de transformación válidas, por lo que se ve que hay un número infinito. Ver tabla III.2.

Reemplazando la ecuación (3.29) en la (3.13) obtenemos:

$$\bar{E}_p^f(F) = \bar{E}_p^f(0) - Z_{pp}^f (W + SZ_{pp}^f)^{-1} SE_p^f(0) \quad (3.30)$$

Y en las barras no falladas:

$$\bar{E}_i^f(F) = \bar{E}_i^f(0) - Z_{ip}^f (W - SZ_{pp}^f)^{-1} SE_p^f(0) \quad (3.31)$$

#### III.2.4. CORRIENTES DE FALLA A TRAVÉS DE LOS ELEMENTOS DE LA RED.

A partir de la ecuación de equilibrio de la red primitiva y suponiendo nulas todas las fuentes de corrientes de ramas, se tiene:

$$\bar{I}_L^f = [Y_F^f] \bar{V}_F^f \quad (3.32)$$

Donde:

$\bar{I}_L^f$  = Vector corriente de falla a través de todos los elementos de la red del sistema.

$\bar{V}_F^f$  = Vector tensiones postfalla a través de todos los elementos de la red del sistema.

$[Y_F^f]$  = Matriz primitiva de admitancia del sistema.

Las características de cada uno de los elementos de la ecuación (3.32) se indican a continuación:

$$\bar{I}_L^f = \begin{bmatrix} I_{12}^f(F) \\ \dots \\ I_{ij}^f(F) \\ \dots \\ I_{(n-1)n}^f(F) \end{bmatrix} ; I_{ij}^f(F) = \begin{bmatrix} I_{ij}^a(F) \\ I_{ij}^b(F) \\ I_{ij}^c(F) \end{bmatrix}$$

$$\bar{V}_F^f = \begin{bmatrix} V_{12}^f(F) \\ \dots \\ V_{ij}^f(F) \\ \dots \\ V_{(n-1)n}^f(F) \end{bmatrix} ; V_{ij}^f(F) = \begin{bmatrix} V_{ij}^a(F) \\ V_{ij}^b(F) \\ V_{ij}^c(F) \end{bmatrix}$$

.../...

Los vectores  $\bar{I}_{L(F)}$  y  $\bar{V}_{(F)}$  tienen dimensión  $(m \times 1)$ , siendo  $m$  el número de elementos. Cada vector está compuesto de  $m$  submatrices de dimensión  $3 \times 1$ .

$$[Y^f] = \begin{bmatrix} y_{12,12}^f & \cdots & y_{12,kl}^f & \cdots & y_{12,n(n-1)}^f \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{ij,12}^f & \cdots & y_{ij,kl}^f & \cdots & y_{ij,n(n-1)}^f \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{n(n-1),12}^f & \cdots & y_{n(n-1),kl}^f & \cdots & y_{n(n-1),n(n-1)}^f \end{bmatrix}$$

Esta matriz tiene dimensión  $(m \times m)$ ;  $n$  representa el número de barras. Cada elemento de esta matriz es una submatriz de dimensión  $(3 \times 3)$ :

$$y_{ij,kl}^f = \begin{bmatrix} y_{ij,kl}^{aa} & y_{ij,kl}^{ab} & y_{ij,kl}^{ac} \\ y_{ij,kl}^{ba} & y_{ij,kl}^{bb} & y_{ij,kl}^{bc} \\ y_{ij,kl}^{ca} & y_{ij,kl}^{cb} & y_{ij,kl}^{cc} \end{bmatrix}$$

Donde:  $y_{ij,kl}^{aa}$  = Admitancia mútua entre la fase a del elemento  $ij$  y la fase a del elemento  $kl$ .

$y_{ij,kl}^{ab}$  = Admitancia mútua entre la fase a del elemento  $ij$  y la fase b del elemento  $kl$ .

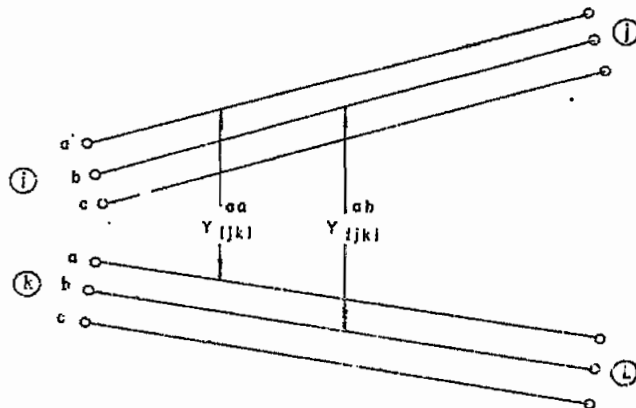


FIG. 3-5

A partir de la ecuación (3.32), la corriente de falla - del elemento  $ij$  está dada por:

$$I_{ij}^f = \bar{y}_{ij,rs}^f \bar{V}_{rs(F)}^f \quad (3.33)$$

con  $r = 1, 2, \dots, n$

$s = 1, 2, \dots, n$

$r \neq s$

Por otra parte  $V_{rs(F)}^f = \bar{E}_r^f - \bar{E}_s^f$ , luego la ecuación final será:

$$I_{ij}^f = \bar{y}_{ij,rs}^f (\bar{E}_r^f - \bar{E}_s^f) \quad (3.34)$$

### III.2.5. MARCO DE REFERENCIA DE COMPONENTES SIMÉTRICAS

Las ecuaciones para el cálculo de corrientes y voltajes de falla en términos de componentes simétricas se pueden derivar de las ecuaciones en términos de componentes de fase aplicando la transformación correspondiente de la siguiente forma:

Para las matrices de impedancia y admitancia:

$$\text{Impedancia primitiva: } \begin{bmatrix} z_{ij,kl}^{012} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{ij,kl}^S \end{bmatrix} = T^{-1} Z_{ij,kl}^f T$$

$$\text{Admitancia primitiva: } \begin{bmatrix} y_{ij,kl}^{012} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{ij,kl}^S \end{bmatrix} = T^{-1} Y_{ij,kl}^f T$$

$$\text{Impedancia de barra: } \begin{bmatrix} z_B^{012} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_B^S \end{bmatrix} = T^{-1} Z_B^f T$$

$$\text{Impedancia de falla: } \begin{bmatrix} z_F^{012} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_F^S \end{bmatrix} = T^{-1} Z_F^f T$$

Para las tensiones y las corrientes:

$$E_p^S(0) = E_p^{012}(0) = T^{-1} E_p^f(0) ; E_p^f(0) = T E_p^S(0)$$

$$I_p^S(F) = I_p^{012}(F) = T^{-1} I_p^f(F) ; I_p^f(F) = T I_p^S(F)$$

.../...

### III.2.5.1. CASO DE CORTOCIRCUITOS CON ADMITANCIA DE FALLA

Haciendo uso de las transformaciones indicadas obtenemos las siguientes fórmulas en términos de componentes simétricas:

Corriente de falla en la barra fallada:

$$I_{p(F)}^S = I_{p(F)}^{012} = Y_F^S (U + Z_{pp}^S Y_F^S)^{-1} E_{p(0)}^S \quad (3.35)$$

Tensiones de falla en las barras no falladas:

$$E_{i(F)}^S = E_{i(F)}^{012} = E_{i(0)}^S - Z_{ip}^S Y_F^S (U + Z_{pp}^S)^{-1} E_{p(0)}^S \quad (3.36)$$

Donde:

$$i \neq p$$

Tensiones de falla en la barra fallada:

$$E_{p(F)}^S = E_{p(F)}^{012} = (U + Z_{pp}^S Y_F^S)^{-1} E_{p(0)}^S \quad (3.37)$$

Corriente de falla en un elemento ij:

$$I_{ij}^S = I_{ij}^{012} = \bar{y}_{ij,rs}^S (E_{r(F)}^S - E_{s(F)}^S) \quad (3.38)$$

### III.2.5.2. CASO DE FALLAS FRANCAS

Reemplazando las transformaciones en (3.28):

$$ST E_{p(0)}^S = (W + ST Z_{pp}^S T^{-1}) T I_{p(F)}^S \quad (3.39)$$

De donde:

$$I_{p(F)}^S = (WT + ST Z_{pp}^{012})^{-1} ST E_{p(0)}^S$$

En esta ecuación WT y ST son las matrices de transformación de voltajes y corrientes respectivamente para el marco de referencia de componentes simétricas, o sea:

$$I_{p(F)}^S = (W^S + S^S Z_{pp}^S)^{-1} S^S E_{p(0)}^S \quad (3.40)$$

.../...

En la tabla N° III.2. se dan las matrices de transformación para los dos marcos de referencia.

Para las tensiones de barra obtenemos, por lo tanto:

$$E_{i(F)}^S = E_{i(0)}^S - z_{ip} (W^S + S^S + Z_{pp}^S)^{-1} S^S E_{p(0)}^S \quad (3.41)$$

La expresión para el cálculo de corrientes de falla en los elementos i-j será similar a la dada por la ecuación (3.38).

TABLA III.1. MATRICES ADMITANCIAS DE FALLA

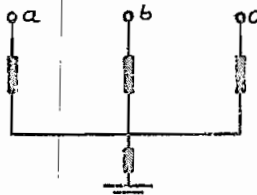
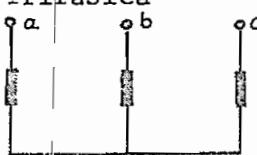
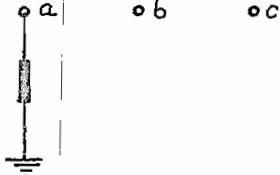
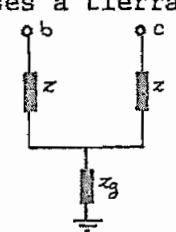
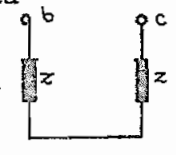
TIPO DE FALLA	COMPONENTES DE FASE	COMPONENTES SIMETRICAS
1. Tres fases a tierra 	$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} Y_0 + 2Y & Y_0 - Y & Y_0 - Y \\ Y_0 - Y & Y_0 + 2Y & Y_0 - Y \\ Y_0 - Y & Y_0 - Y & Y_0 + 2Y \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} Y_0 & 0 & 0 \\ 0 & Y & 0 \\ 0 & 0 & Y \end{bmatrix}$
2. Trifásica 	$\frac{y}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$	$y \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
3. Línea a tierra 	$\begin{bmatrix} y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\frac{y}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

TABLA III.1. CONTINUACION

TIPO DE FALLA	COMPONENTES DE FASE	COMPONENTES SIMETRICAS
4. Dos fases a tierra o a 	$Y_0 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z + Z_g & -Z_g \\ 0 & -Z_g & Z + Z_g \end{bmatrix}$	$Y_E \begin{bmatrix} 2Z & -Z & -Z \\ -Z & 2Z + 3Z_g & -(Z + 3Z_g) \\ -Z & -(Z + 3Z_g) & (2Z + 3Z_g) \end{bmatrix}$
5. Bifásica o a 	$Y_0 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$	$Y_E \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$

En la tabla anterior:

$$Y_0 = 1/(Z + 3Z_g)$$

$$Y_2 = 1/(Z^2 + 2ZZ_g)$$

$$Y_E = 1/3(Z^2 + 2ZZ_g)$$



TABLA III.2. MATRICES DE TRANSFORMACION DE CORRIENTES Y VOLTAJES PARA VARIOS TIPOS DE FALLAS.

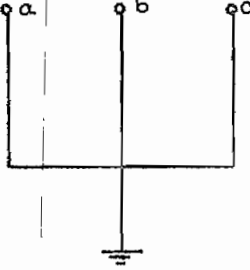
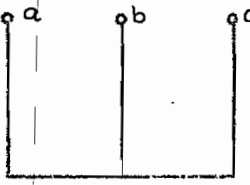
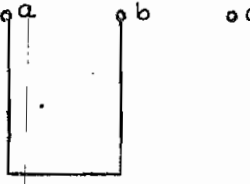
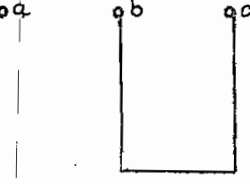
TIPO DE FALLA	COMPONENTES DE FASE	COMPONENTES SIMETRICAS
<p>1. Tres fases a tierra</p> 	$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ $W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$S^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$ $W^S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
<p>2. Trifásica</p> 	$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$ $W = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$S^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-a^2 & 1-a \\ 0 & a^2-a & a-a^2 \end{bmatrix}$ $W^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
<p>3. Bifásica (a-b)</p> 	$S = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$S^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 1-a^2 & 1-a \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $W^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1+a^2 & 1+a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$
<p>4. Bifásica (b-c)</p> 	$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $W = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$S^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & a^2-a & a-a^2 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $W^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 2 & a^2+a & a^2+a \end{bmatrix}$

TABLA III.2. CONTINUACION

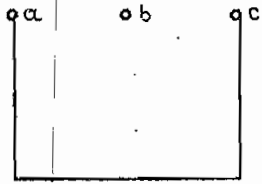
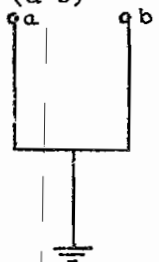
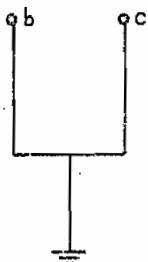
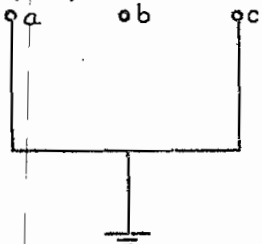
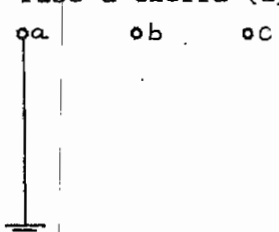
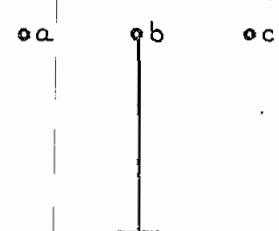
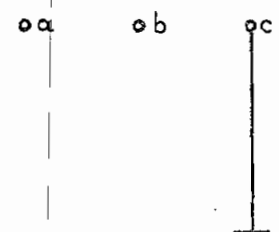
TIPO DE FALLA	COMPONENTES DE FASE	COMPONENTES SIMETRICAS
5. Bifásica (c-a) 	$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ $W = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$S^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & a-1 & a^2-1 \end{bmatrix}$ $W^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 2 & 1+a & 1+a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
6. Dos fases - tierra (a-b) 	$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$S^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $W^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$
7. Dos fases - tierra (b-c) 	$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ $W = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$S^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$ $W^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
8. Dos fases - tierra (c-a) 	$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ $W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$S^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$ $W^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & a^2 & a \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

TABLA III.2. CONTINUACION

TIPO DE FALLA	COMPONENTES DE FASE	COMPONENTES SIMETRICAS
9. Fase a tierra (a) 	$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$S^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $W^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$
10. Fase a tierra (b) 	$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $W = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$S^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & a^2 & a \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $W^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$
11. Fase a tierra (c) 	$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ $W = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$S^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$ $W^S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

C A P I T U L O    I V

PROGRAMA EN FORTRAN - DESCRIPCION

IV.1. INTRODUCCION

En este capítulo se hará la descripción del programa en lenguaje FORTRAN IV para computadora, el que ha sido probado en la computadora existente en la "Escuela Politécnica Nacional".

El método empleado en el programa para el cálculo de cortocircuitos es a base de la matriz trifásica de impedancia de barra, según lo explicado en el capítulo anterior.

Se puede calcular la matriz ZBARRA trifásica como también la matriz equivalente para un número determinado de barras, su inversa  $Y_{EQ}$  y, la matriz impedancia para un sistema equivalente en el que no se consideran acoplamientos mutuos.

En base al cálculo de ZBARRA trifásica se determinan las corrientes y tensiones de falla para las barras y elementos del sistema. El programa analiza una barra cada vez para un tipo de falla y calcula los valores anteriormente descritos en los dos marcos de referencia: componentes de fase y componentes simétricas.

La red debe reunir las siguientes condiciones para ser analizada:

- a) Los valores de impedancias están dados en por unidad. ✓
- b) El número máximo de barras, exceptuando a tierra, es de 29. ✓
- c) Los elementos del sistema se han dividido en dos clases para facilitar la entrada de datos: elementos conectados entre barras y elementos conectados entre barra y referencia o shunts, como se indican en la Fig. 4-1 y 4-2.

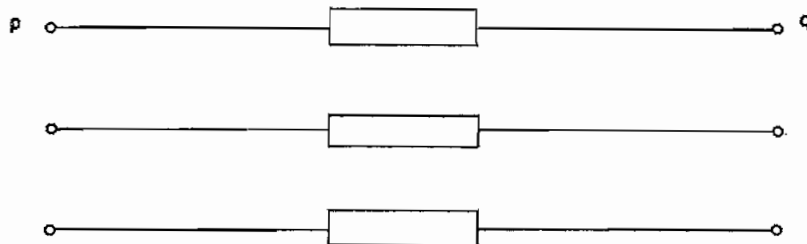


FIG. 4-1 Elemento conectado entre barras.

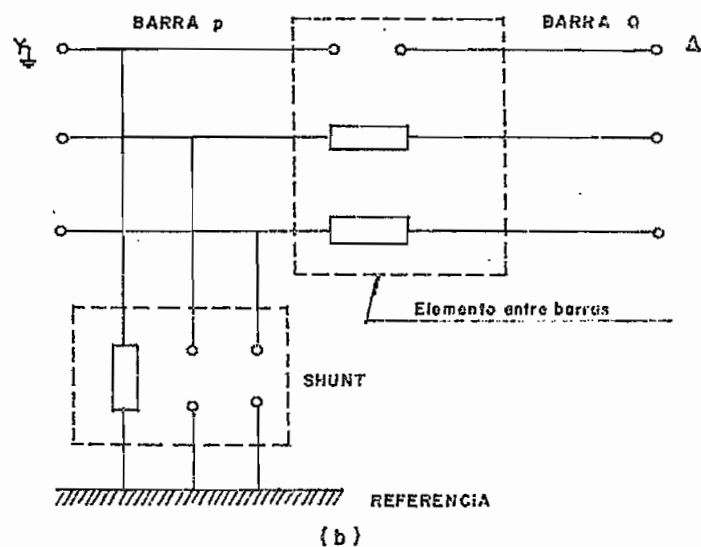
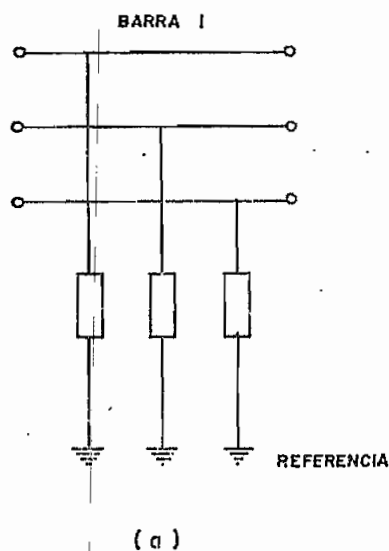


FIG. 4-2 (a) Elemento conectado entre una barra del sistema y referencia.

(b) Caso particular para transformador con conexión  $Y_*/\Delta$ .

Los elementos conectados entre barras constituyen todas las líneas y transformadores del sistema los elementos entre una barra cualquiera y referencia son los generadores, motores, condensadores sincrónicos.

Los transformadores con conexión  $Y_*/\Delta$ , tienen un modelo ya deducido en el capítulo II que se indica en la Fig. 4-2 (b), por lo tanto, tendrán su representación en la entrada de datos tanto en los elementos conectados entre barras como en los elementos shunts.

- d) Se ha previsto la entrada de la admitancia de las líneas para el caso en que se necesite considerar los efectos de la misma en el estudio de cortocircuitos.
- e) El número máximo de elementos, líneas o transformadores más shunts y, cuando el caso lo requiera, admitancias de línea, es de 70.
- f) Máximo número de acoplamientos mutuos, 30, siempre que los elementos acoplados formando "grupos" no excedan de 8.
- g) Se puede realizar el estudio de cortocircuitos hasta en 12 barras.
- h) Cuando se considera las admitancias de las líneas, el número máximo de líneas y shunts es de 40.
- i) No podrán existir elementos desconectados, como ejemplo consideremos el transformador representado en la Fig. 4-2 (b); la impedancia de secuencia cero entre las barras es infinita, en forma similar los valores correspondientes a secuencia positiva y negativa entre el lado Y y referencia. Bajo estas circunstancias se tiene una buena aproximación con un número muy grande. Si la entrada es en valores en por unidad, estos valores están en el rango de 0.01 a 1, en comparación con estos valores 100 es un número muy grande y provee una buena aproximación para infinito.

#### IV.2. VARIABLES DEL PROGRAMA Y ARREGLOS DE ALMACENAMIENTO

##### IV.2.1. VARIABLES DEL PROGRAMA

###### VARIABLES DIMENSIONADAS:

LOP	Barra de partida de un elemento del sistema (P)
LOQ	Barra receptora de un elemento del sistema (Q)
LN	Número de la línea P-Q
R	Resistencia del elemento P-Q
X	Reactancia del elemento P-Q
BEG	Conductancia del elemento P-Q
BBB	Susceptancia del elemento P-Q

MU	Número de acoplamientos mutuos de la línea P-Q	/
LOMP	Barra de partida de una línea acoplada (MP)	/
LOMQ	Barra receptora de una línea acoplada (MQ)	/
LPMM	Número de línea acoplada MP-MQ	/
LOR	Barra de partida de una línea acoplada con MP-MQ (R)	/
LOS	Barra receptora de una línea acoplada con MP-MQ (S)	/
LMN	Número de la línea R-S	/
RM	Resistencia mutua entre MP-MQ y R-S	/
XM	Reactancia mutua entre MP-MQ y R-S	/
RBUS	Parte real de la matriz ZBARRA	/
LOB	Lista de barras del sistema formado	/
LOM	Un arreglo para almacenar indicadores de rama en la formación de la matriz de elementos	/
LM	Un arreglo para almacenar indicadores de rama y mutuales en la formación de la matriz de elementos	/
YR	Parte real de la matriz de elementos	/
YX	Parte imaginaria de la matriz de elementos	/
LOYP	Un arreglo de indicadores para localizar elementos en la matriz ZBARRA para el desarrollo de los factores de corrección por acoplamiento mutuo.	/
LOYQ	Lo mismo que LOYP	/
IL	Lista índice generada por la subrutina INPUT para dirigir la secuencia de elementos a añadir.	/
IEQB	Lista de barras equivalentes	/
RM1	Parte real del factor de corrección por acoplamiento mutuo, ZML1, de los términos no diagonales cuando un elemento añadido añade una nueva barra o cierra un lazo.	/
RM2	Parte real del factor de corrección por acoplamiento mutuo ZML2, de los términos no diagonales cuando el elemento añade una nueva barra o cierra un lazo.	/

XM1 Parte imaginaria del factor de corrección por acoplamiento mútuo, ZML1 ✓  
 XM2 Parte imaginaria del factor de corrección por acoplamiento mútuo, ZML2. ✓  
 RNB Parte real del factor de corrección por acoplamiento mútuo, ZNB, para los términos diagonales cuando el elemento añade una nueva barra. ✓  
 XNB Parte imaginaria del factor de corrección, ZNB, para los términos diagonales cuando el elemento añade una nueva barra. ✓  
 RRML Parte real del factor de corrección, ZZML, para los términos diagonales cuando el elemento cierra un lazo. ✓  
 XXML Parte imaginaria del factor de corrección, ZZML, para los términos diagonales cuando el elemento cierra un lazo. ✓  
 SIGN Arreglo utilizado para guardar el signo de RM y XM. ✓  
 TEMP 1, TEMP 2  
 TEMP 3, TEMP 4  
 TEMP 5, TEMP 6 Arreglos de almacenamiento temporal utilizados para cálculos. ✓  
 IFBUS Lista de barras a fallar.  
 ZF Impedancia de falla.  
 IFAULT Vector de corrientes totales de falla.  
 EFAULT Voltajes de barra post-falla.  
 T Matriz de transformación a componentes simétricas  $T(ABC) \rightarrow T(012)$ .  
 TC Matriz de transformación a componentes de fase  $T(012) \rightarrow T(ABC)$   
 YFAULT Matriz de admitancias de falla.  
 ABSV Valor absoluto de una cantidad compleja.  
 ANGL Angulo entre el valor absoluto y referencia.  
 EPO Voltajes antes de la falla.  
 XBUS Parte imaginaria de la matriz ZBARRA. ✓



## VARIABLES NO DIMENSIONADAS:

NB	Número de barras del sistema.	/
NL	Número de líneas, computadas por el programa para incluir elementos shunts cuando son considerados.	/
NREF	Nombre del nodo de referencia.	/
NM	Número total de acoplamientos mútuos.	/
NZI	Tamaño máximo de las matrices de elementos (YR y YX).	/
INDB	Variable opcional de salida adicional.	/
NEQB	Número de barras equivalentes.	/
IFR	Indicador utilizado para dirigir la subrutina error.	/
ICOB	Contador de barras que indica el tamaño de la matriz formada.	/
ICOMU	Contador de los acoplamientos mútuos, va de uno a MU.	/
ICOM	Lista indicadora de la columna de una matriz de elementos reunida (YR y YX).	/
IC	Lista indicadora de la fila de una matriz de elementos reunida (YR y YX).	/
IPROG	Variable que controla la salida de ZBARRA y cotocircuitos o el almacenamiento en cinta de ZBARRA.	/
IBUS	Barra específica bajo falla dentro del programa.	/

## VARIABLES INDICADORAS:

III = 1	El elemento no es acoplado con el sistema parcialmente formado.	/
III = 0	El elemento es acoplado con el sistema parcialmente formado.	/
IT = 1	El elemento no es conectado a referencia y añade una nueva barra.	/

IT = 0	El elemento es conectado a referencia y añade <u>u</u> una nueva barra.
IT = 2	El elemento cierra un lazo.
ITT = 0	El elemento es conectado a referencia y cierra un lazo.
ITT = 1	El elemento no es conectado a referencia y cierra un lazo.

#### IV.2.2. ARREGLOS DE ALMACENAMIENTO.

##### 1. Matriz impedancia de barra trifásica.

ZBARRA(I, J, K) y la matriz admitancia de elementos YZ (I, J, K)

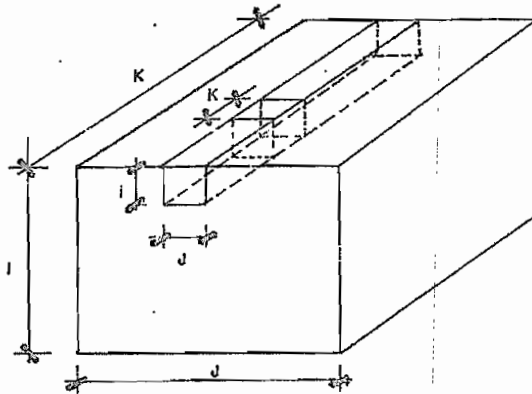


FIG. 4-3

Donde ( I ) y ( J ) es la localización de una matriz de elemento. El índice ( K ) localiza las componentes de esta matriz. Estas componentes son almacenadas en un vector cuya posición se determina por el siguiente arreglo de números de la matriz 3 x 3.

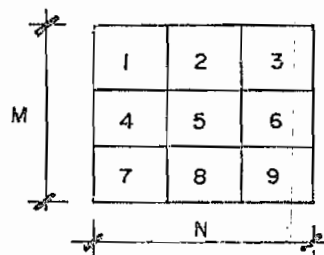


FIG. 4-4

La posición K en la Fig.4-3 correspondiente a la posición ( m - n ) en la Fig.4-4 pueden calcularse por la ecuación siguiente:

$$K = ( m - 1 ) \cdot 3 + n$$

2. Impedancia trifásica de línea,  $z ( I, J, K )$

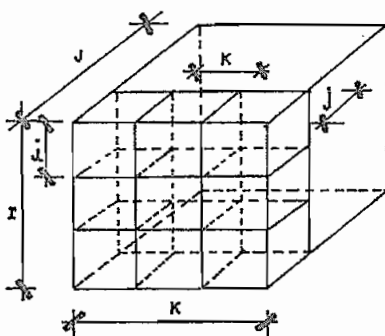


FIG. 4-5

Donde ( J ) y ( K ) localizan las componentes de fase o secuencia e ( I ) localiza estos valores correspondientes para elementos específicos del sistema.

3. Voltajes de falla EFAULT ( I, J )

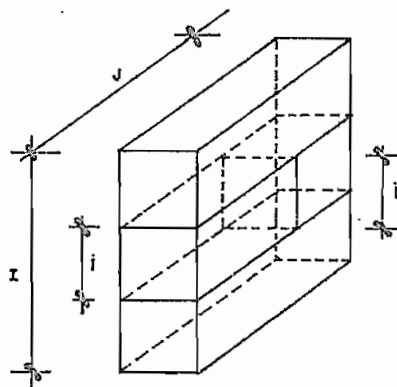


FIG. 4-6

Donde ( J ) indica los voltajes de fase o secuencia e ( I ) localiza su posición correspondiente de barra.

4. Otras variables dimensionadas.

Son almacenadas en forma de matrices cuadradas o vectores columna. En el caso de las matrices, el primer índice se refiere a la fila y el segundo a la columna.

#### IV.3. DESCRIPCION DEL PROGRAMA

El programa de FORTRAN de aplicación consta de una parte principal y 26 subrutinas que son llamadas en forma secuencial por una variable de transferencia LINK, cuyo valor es determinado por la subrutina anteriormente llamada. Además todos los requerimientos de almacenamiento para el área son cargados a esta parte principal del programa.

A continuación vamos a detallar las funciones de cada una de las subrutinas.

- ① ✓ SUBROUTINA ERROR.- Es llamada por el resto de subrutinas cuando se ha detectado una situación de error e imprime un mensaje de error apropiado y termina la ejecución del programa. ✓
- ② ✓ SUBROUTINA INVERT (A, LT).- Esta subrutina invierte una matriz real de dimensión  $3 \times 3$ , consta de dos argumentos: A, que es la matriz a invertir y LT, un arreglo utilizado para indicar el elemento pivote utilizado según el método de Shipley. ✓
- ③ ✓ SUBROUTINA CVERT (A, B, E, F, C, D).- Es una subrutina que calcula  $A + JB = (C + JD)^{-1} (E + JF)$ , donde A, B, C, D, E y F son matrices reales de dimensión  $3 \times 3$  que son los argumentos de la subrutina. ✓
- ④ ✓ SUBROUTINA DET (A, B).- Esta subrutina evalúa el determinante de una matriz real  $3 \times 3$  y coloca este valor en B. A y B son los argumentos de la subrutina. ✓
- ✓ SUBROUTINA ZB3PM1.- Añade la primera rama a la matriz ZBARRA y analiza si la segunda línea tiene líneas mutuamente acopladas con ella, entonces retorna el control al programa principal con una información adecuada. ✓

✓ SUBROUTINA INPUT.- Es una subrutina que realiza las siguientes funciones:

- 1.- Lee los datos y chequea si hay errores en los mismos.
- 2.- Si tierra es referencia, lee los datos shunts.
- 3.- Si tierra es referencia y no se ignora las admitancias de la línea, su ma estas admitancias a cada barra y las almacena como impedancias desde tierra hacia la respectiva barra.
- 4.- Lee los datos mútuos.
- 5.- Genera una lista índice IL (I) que es requerida por todas las subrutinas ZB3PM para dar la secuencia en que se añadirán las líneas. La lis ta índice se forma de acuerdo a la siguiente lógica:
  - a) El primer número de la lista índice asigna a un elemento que parte desde la barra de referencia.
  - b) Los siguientes números de la lista índice se asignan a los elementos que guardan relación con el subsistema parcialmente formado.
  - c) Los elementos son arreglados de tal manera que la barra p está siem pre en el subsistema parcialmente formado.
- 6.- Lee en la lista de barras si la variable de salida opcional INDB no es cero.

✓ SUBROUTINA OUTPU.- Es una subrutina que puede escribir la matriz completa - ZBARRA o en su defecto, ZEQUIVALENTE de barra, en inversa YEQUIVALENTE y ZEL. La subrutina realiza las siguientes operaciones:

- 1.- Imprime el nombre, fecha como también la barra de referencia.
- 2.- Escribe los datos del sistema seguidos por la lista de impedancias mú tuas.
- 3.- Parte con la primera barra de la lista de barras o de la lista de barras equivalentes y escribe el nombre de la barra y las impedancias - propias y de transferencia en forma de columna. Un contador del índi

ce de páginas guarda las barras y las páginas en que aparecen. Si se requiere escribir YEQ o ZEL, retorna el control al programa principal con una información de control que da la lógica de la salida.

Si no se requiere la salida de ninguna de las matrices anteriores, ésta subrutina sólo escribe los datos del sistema y transfiere el control al programa principal.

- ✓ SUBROUTINA ZEL ( NEQB, YR, YX, INDI, INDJ ).- Calcula la impedancia de un -  
circuito equivalente desde la  
matriz YEQ, que es un circuito N que no tiene acoplamientos mútuos, donde N  
es el número equivalente de barras sin tomar en cuenta a referencia.
- ✓ SUBROUTINA INVRT ( YR, YX, IR, ID, L ).- Es una subrutina que invierte ( YR +  
JYX ), J es complejo, YR y YX con ma  
trices de IR x IR, cuyos elementos son matrices 3 x 3 almacenadas como arre  
glos de 1 x 9 en tercera dimensión. En otras palabras, YR y YX son matrices  
IR x IR x 9. INVRT tiene cinco argumentos YR, YX, IR, ID y L. YR y YX son  
las matrices que se van a invertir, IR e ID son las dimensiones de YR y YX -  
y L, el tamaño actual de YR y YX por el método de obtención de ZBARRA.
- ✓ SUBROUTINA ZB3PM4.- Construye la matriz ZPRIMITIVA y calcula la matriz YPRI  
MITIVA por inversión de la anterior, luego retorna el -  
control al programa principal con una información adecuada de control.
- ✓ SUBROUTINA ZB3PM6.- Calcula los factores de corrección por acoplamiento mú  
tuo RM1, RM2, XM1, XM2 y retorna al programa principal  
con la información.
- ✓ SUBROUTINA ZB3PM2.- Esta subrutina es llamada por el programa principal y a  
ñade una nueva rama. La subrutina primero chequea si -  
la línea añadida cierra un enlace, si es así, retorna el control al progra  
ma principal con información lógica, de otra manera, añade la nueva línea y  
al final retorna el control al programa principal.

- ✓SUBROUTINA ZB3PM3.- Es llamada por el programa principal siempre que una línea añadida cierra un lazo. Después que añade la línea retorna el control al programa principal con una información de control adecuada. Además, chequea si la nueva línea a añadirse es acoplada con las otras líneas.
- ×SUBROUTINA MAIN.- Lee las barras a fallar, impedancia de falla y el tipo de falla a analizar, luego llama a las subrutinas necesarias para el cálculo de cortocircuitos.
- ×SUBROUTINA POLAR ( A, B, C ).- Convierte cantidades complejas de la forma rectangular a la forma polar.
- ×SUBROUTINA CNVERT ( A ).- Calcula la inversa de la matriz compleja A.
- ×SUBROUTINA MULC ( A, B, C ).- Multiplica dos matrices complejas 3 x 3.
- ×SUBROUTINA CMULV ( A, B, C ).- Multiplica una matriz compleja 3 x 3 por un vector 3 x 1.
- ×SUBROUTINA YFALT ( ZF, T, TC, YFAULT, IPRG ).- Calcula la matriz admitancia de falla para los marcos de referencia de fases o de componentes simétricas.
- ×SUBROUTINA IFALT ( YFAULT, RBUS, XBUS, IBUS, IFAULT, TC, T, EFAULT, IPRG, IX ).- Calcula la corriente total de falla en la barra fallada y escribe los resultados en los dos marcos de referencia.
- ×SUBROUTINA EFALT ( IFAULT, TC, NB, IBUS, EFAULT, LOB, RBUS, XBUS, T, IPRG, IX ).- Calcula todos los voltajes de barra utilizando la ecuación: ---  

$$VBARRA (F) = EBARRA (0) - ZBARRA \cdot IBARRA (F);$$
y escribe los resultados en dos marcos de referencia.
- ×SUBROUTINA BOLFAL.- Calcula la corriente de falla en el caso de cortocir-

cuitos francos utilizando las matrices de transformación.

×SUBROUTINA ILINE.- Calcula el flujo de corrientes en todos los elementos - del sistema durante la falla analizada.

×SUBROUTINA EDIT.- Esta subrutina es llamada por el programa principal cuando se requiera almacenar ZBARRA en cinta para utilizarse en estudios de flujos de carga.

×SUBROUTINA ZB3PM5.- Subrutina auxiliar en la formación de ZBARRA.

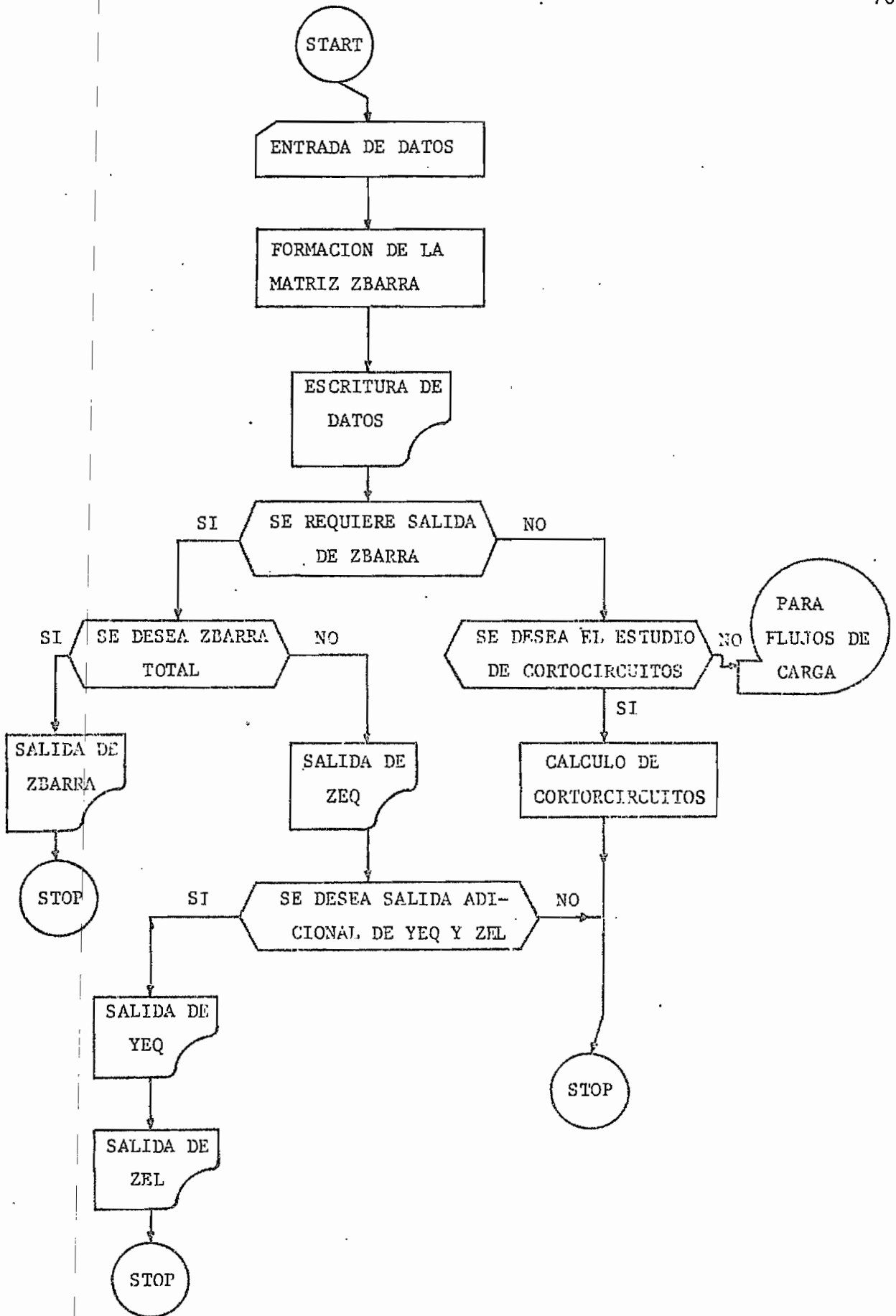
×SUBROUTINA DET.- Calcula el determinante de una matriz de dimensión 3 x 3.

×SUBROUTINA MUL ( A, B, C ).- MUL es una subrutina que calcula el producto de dos matrices reales de dimensión 3 x 3. A, B y C son los argumentos de la subrutina.

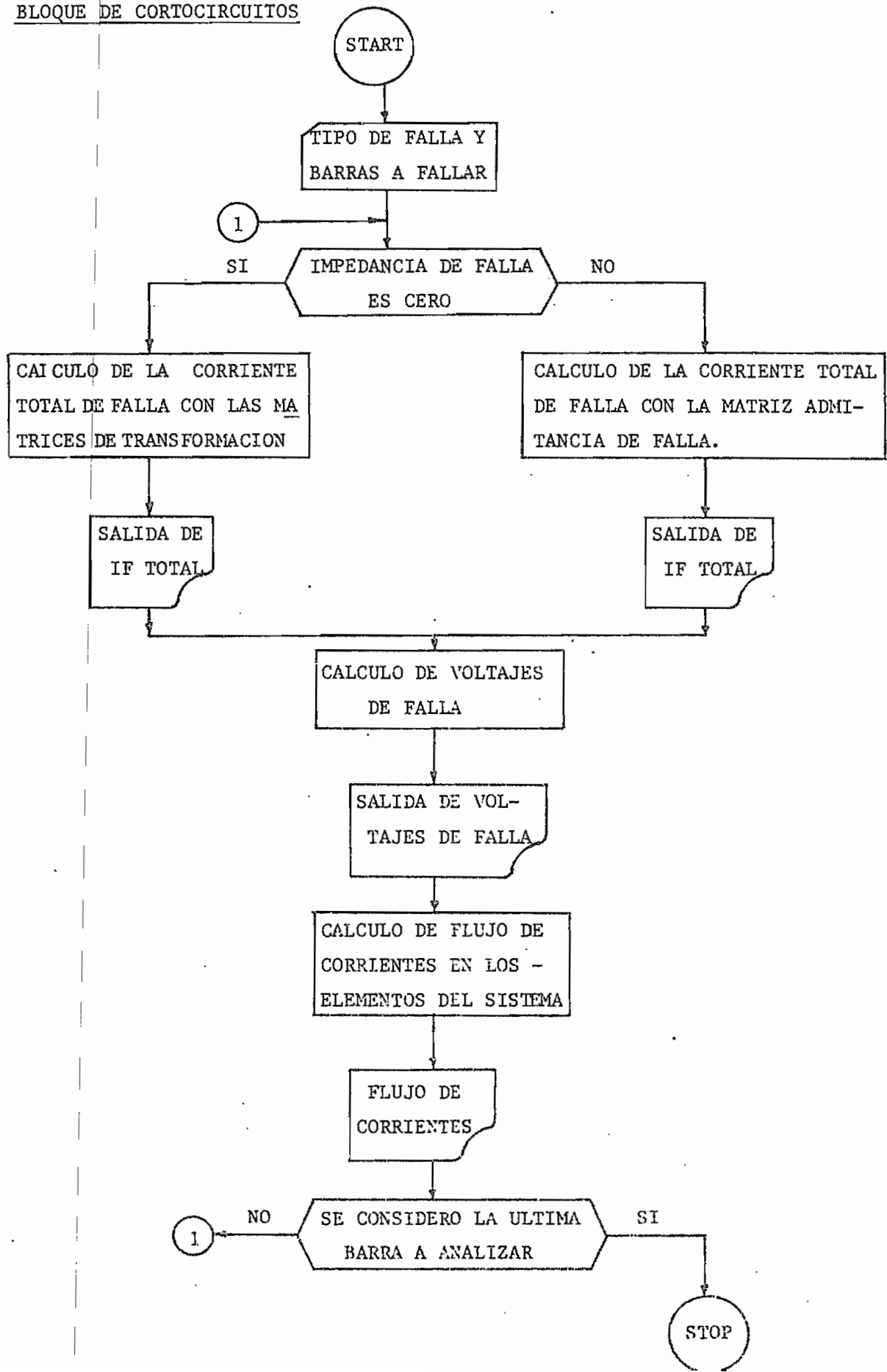
#### IV.4. DIAGRAMAS DE FLUJO

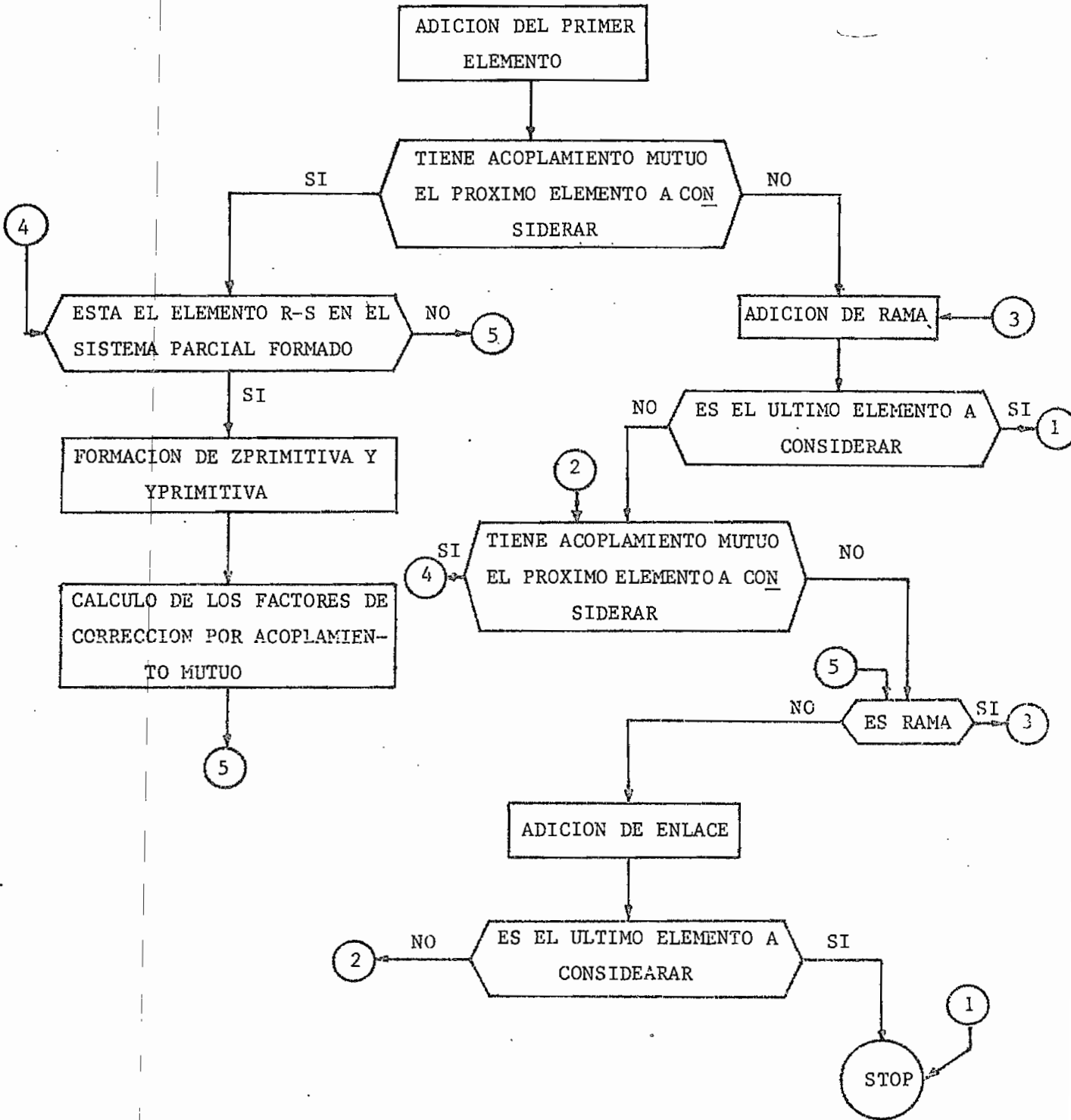
A continuación se indican los diagramas de flujo generales del programa desarrollado:





BLOQUE DE CORTOCIRCUITOS





IV.5. ENTRADA DE DATOS

Hay ocho tipos de tarjetas de datos:

1. Tarjetas índice.
2. Tarjetas de elementos.
3. Tarjetas de shunts.
4. Tarjetas de datos mútuos.
5. Tarjetas de barras equivalentes deseadas.
6. Tarjetas de fecha de ejecución.
7. Tarjetas de barras a fallar.
8. Tarjetas de impedancias de falla y tipo de falla a analizar.

Todos los datos físicos para el programa tales como resistencias y reactancias de líneas, resistencias y reactancias mútuas y las matrices de salida estarán compuestas por matrices de dimensión 3 x 3 en cualquiera de los dos marcos de referencia, componentes de fase o componentes simétricas:

	a	b	c		0	1	2
a	a,a	a,b	a,c	0	0,0	0,1	0,2
b	b,a	b,b	b,c	1	1,0	1,1	1,2
c	c,a	c,b	c,c	2	2,0	2,1	2,2

Las letras a, b y c se refieren a las fases a, b y c mientras que los números 0, 1 y 2 se refieren a las secuencias cero, positiva y negativa.

Debe anotarse que todos los datos físicos de entrada deben estar en las mismas unidades y además, el mismo marco de referencia.

## 1. TARJETA INDICE

<u>CAMPO</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>FORMATO</u>	<u>VARIABLE DEL PROGRAMA - DESCRIPCION</u>
1	1-6	I6	NB, Número de barras.
2	0-14	I6	NL, Número de líneas.
3	17-22	I6	NS, Número de shunts.
4	25-30	I6	NREF, Barra de referencia.
5	33-38	I6	IG, Opción de considerar las admitancias de líneas. Meta cualquier entero positivo para incluir el efecto de las admitancias de líneas.
6	41-46	I6	NM, Número de acoplamientos mútuos.
7	49-54	I6	NEQB, Número de barras deseadas. Deje en blanco si se desean todas las barras.
8	57-62	I6	IPROG, Control de salida y marco de referencia. Cuando se requiera la salida de ZBARRA, ZEQ, etc., meta cero, para el estudio de cortocircuitos 1 ó 2 para trabajar en componentes de fase o secuencia respectivamente o, para almacenar en cinta para el estudio de flujo de carga 3 ó 4.
9	64-65	I2	INDB, Matriz opcional de salida. Meta cualquier entero positivo si se desea como matrices de salida a YEQ y ZEL.

## 2. TARJETAS DE ELEMENTOS

Se necesitan seis tarjetas por cada elemento:

## TARJETA 1.

<u>CAMPO</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>FORMATO</u>	<u>VARIABLE DEL PROGRAMA - DESCRIPCION</u>
1	1-6	I6	LOP, Barra de partida del elemento.
2	8-13	I6	LOQ, Barra receptora.
3	15-17	I3	LN, Número de línea. Para identificar las líneas paralelas.
4	19-20	I2	MU, Número de acoplamientos mutuos de la línea.
5	21-30	F10.1	R (I, 1,1), Resistencia (a,a) ó (0,0).
6	31-40	F10.1	X (I, 1,1), Reactancia (a,a) ó (0,0).
7	41-50	F10.1	R (I, 1,2), Resistencia (a,b) ó (0,1).
8	51-60	F10.1	X (I, 1,2), Reactancia (a,b) ó (0,1).
9	61-70	F10.1	R (I, 1,3), Resistencia (a,c) ó (0,2).
10	71-80	F10.1	X (I, 1,3), Reactancia (a,c) ó (0,2).

## TARJETA 2.

1	21-30	F10.1	R (I, 2,1), Resistencia (b,a) ó (1,0).
2	31-40	F10.1	X (I, 2,1), Reactancia (b,a) ó (1,0).
3	41-50	F10.1	R (I, 2,2), Resistencia (b,b) ó (1,1).
4	51-60	F10.1	X (I, 2,2), Reactancia (b,b) ó (1,1).
5	61-70	F10.1	R (I, 2,3), Resistencia (b,c) ó (1,2).
6	71-80	F10.1	X (I, 2,3), Reactancia (b,c) ó (1,2).

## TARJETA 3.

1	21-30	F10.1	R (I, 3,1), Resistencia (c,a) ó (2,0).
2	31-40	F10.1	X (I, 3,1), Reactancia (c,a) ó (2,0).
3	41-50	F10.1	R (I, 3,2), Reactancia (c,b) ó (2,1).
4	51-60	F10.1	X (I, 3,2), Reactancia (c,b) ó (2,1).
5	61-70	F10.1	R (I, 3,3), Resistencia (c,c) ó (2,2).
6	71-80	F10.1	X (I, 3,3), Reactancia (c,c) ó (2,2).

## TARJETA 4.

<u>CAMPO</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>FORMATO</u>	<u>VARIABLE DEL PROGRAMA - DESCRIPCION</u>
1	21-30	F10.1	BBG (I, 1,1), Parte real de la admitancia (B/2) (a,a) ó (0,0).
2	31-40	F10.1	BBB (I, 1,2), Parte imaginaria de la admitancia (susceptancia) (G/2) (a,a) ó (0,0).
3	41-50	F10.1	BBG (I 1,2), Parte real de la admitancia (a,b) ó (0,1).
4	51-60	F10.1	BBB (I, 1,2), Parte imaginaria de la admitancia (a,b) ó (0,1).
5	61-70	F10.1	BBG (I, 1,3), Parte real de la admitancia (a,c) ó (0,2).
6	71-80	F10.1	BBB (I, 1,3), Parte imaginaria de la admitancia (a,c) ó (0,2).

TARJETAS 5 y 6.- Las tarjetas 5 y 6 tienen los mismos formatos que las tarjetas 2 y 3 de este mismo grupo de datos.

Si se ignora la admitancia de la línea, para un caso particular, las tarjetas 4 a 6, deben ir en blanco. Sin embargo, debe haber 6 tarjetas de datos en cada grupo de datos correspondiente a una línea.

## 3. TARJETAS DE DATOS SHUNTS.

Las tarjetas Shunt deben omitirse si tierra no es referencia.

## TARJETA 1.

<u>CAMPO</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>FORMATO</u>	<u>VARIABLE DEL PROGRAMA - DESCRIPCION</u>
1	1-6	I6	LOP, Nodo de referencia (NREF) Barra de partida del elemento shunt. Meta el nodo de referencia.

<u>CAMPO</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>FORMATO</u>	<u>VARIABLE DEL PROGRAMA - DESCRIPCION</u>
2	7-13	I6	LOQ, Barra receptora del elemento shunt.
5	21-30	F10.1	R (I, 1,1), Resistencia (a,a) ó (0,0) del elemento shunt.

Los demás campos y las tarjetas 2 y 3 son idénticas en formato a las tarjetas descritas en la subsección de tarjetas de elementos.

4. TARJETAS DE DATOS MUTUOS.- Se necesitan cuatro tarjetas por cada grupo de datos.

La lista de datos mútuos es en forma de doble entrada. Esto es, si la línea A-B es acoplada con la línea C-D, entonces debe haber un grupo de datos para la línea A-B acoplada con la línea C-D y un grupo de datos para la línea C-D acoplada con la línea A-B.

TARJETA 1.

<u>CAMPO</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>FORMATO</u>	<u>VARIBALES DEL PROGRAMA - DESCRIPCION</u>
1	1-6	I6	LOMP, Nombre de la barra de partida.
2	8-13	I6	LOMQ, Barra receptora.
3	15-17	I3	LPMN, Número de líneas rama. Meta un entero para identificación de línea <u>pa</u> ralela.
4	19-24	I6	LOR, Nombre de la barra de partida de la línea acoplada,.
5	26-31	I6	LOS, Barra receptora de la línea <u>aco</u> plada.
6	33-35	I3	LMN, Número de línea o rama. Meta un entero para identificación de línea <u>pa</u> ralela de la línea descrita en los <u>cam</u> pos 4 y 5.



## TARJETA 2.

<u>CAMPO</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>FORMATO</u>	<u>VARIABLE DEL PROGRAMA - DESCRIPCION</u>
1	21-30	F10.1	RM (I, 1,1), Resistencia mútua (a,a) ó (0,0).
2	31-40	F10.1	XM (I,1,1), Reactancia mútua (a,a) ó (0,0).
3	41-50	F10.1	RM (I, 1,2), Resistencia mútua (a,b) ó (0,1).
4	51-60	F10.1	XM (I, 1,2), Reactancia mútua (a,b) ó (0,1).
5	61-70	F10.1	RM(I, 1,3), Resistencia mútua (a,b) ó (0,2).
6	71-80	F10.1	XM(I, 1,3), Reactancia mútua (a,c) ó (0,2).

## TARJETAS 3 Y 4.

Las tarjetas 3 y 4 son idénticas en formato a las tarjetas 2 y 3 en la subsección de tarjetas de líneas, por lo tanto, no las discutiremos.

## 5. TARJETA DE BARRAS DESEADAS

Puesto que los campos de datos de las barras deseadas son idénticos, con una columna en blanco separando a cada uno de ellos, es necesario solamente discutir uno de los 11 campos.

Campos 1-11    Barras deseadas  
 Columnas      1-6, B-13, 15-20, ....., 71-76  
 Formato        11 ( 16, 1X )  
 Variable del    IEQB  
 programa

El número de tarjetas de barras deseadas depende del número de barras equivalentes NEQB. Por ejemplo, si NEQB = 11, entonces es necesario una tarjeta. Sin embargo, si NEQB = 12, entonces se necesitan dos tarjetas.

Si NEQB = 0, no debería haber tarjetas de barras deseadas.

#### 6. TARJETA DE FECHA DE EJECUCION

Campo N° 1	Fecha
Columnas	1-20
Formato	A4, A4, A, A4, A4 ó 5 (A4)
Observaciones	Meta la fecha en formato alfanumérico en veinte columnas o menos.

#### 7. TARJETA DE BARRAS A FALLAR

Contiene las barras del sistema que van a ser falladas en la ejecución del programa puesto que los campos de las barras falladas - en la tarjeta de datos son iguales, es necesario discutir solamente uno de los 13 campos.

Campos N° 1-11	Barras a fallar
Columnas	1-6, 7-12,....., 73-78
Formato	I6, I6,....., I6
Procedimiento	Meta el nombre de las barras a fallar

#### 8. TARJETAS DE IMPEDANCIAS DE FALLA Y TIPO DE FALLA

Cada tarjeta representa una falla específica que se a plicará a cada una de las barras a fallar.

<u>CAMPO</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>FORMATO</u>	<u>VARIABLE DEL PROGRAMA - DESCRIPCION</u>
1	1-2	I2	IFA1, Tipo de falla. Meta un entero de 1 a 11 que representa el tipo de - falla de acuerdo a las tablas.
2	4	I1	IFA2, Variable bandera. Meta 1 para fallas con ZF, 0 para fallas con ZF=0 y 2 para la última tarjeta del grupo que no es procesada.

../..

<u>CAMPO</u>	<u>COLUMNAS</u>	<u>FORMATO</u>	<u>VARIABLE DEL PROGRAMA - DESCRIPCION</u>
3	6-14, 15-24,... ...72-80	4(1X, 2F9,5)	ZF, Impedancia de falla para las fases A, B, C y el neutro. Meta la parte real seguida de la parte imaginaria de cada componente.

## SALIDA DE RESULTADOS

La salida de resultados está controlada por las variables IPROG, NEQB e INDB, las que toman valores diferentes para las distintas opciones de salida como se detallan en el cuadro siguiente:

<u>SALIDA</u>	<u>IPROG</u>	<u>MEQB</u>	<u>INDB</u>	<u>MARCO REFERENCIA VARIABLES ENTRADA</u>	<u>MARCO REFERENCIA VARIABLES SALIDA</u>
ZBARRA	0	0	0	Componentes de fase Componentes simétricas	Componentes de fase Componentes simétricas
ZEQ	0	Número de <u>ba</u> rras deseadas	0	Componentes de fase Componentes simétricas	Componentes de fase Componentes simétricas
ZEQ, YEQ, ZEL	0	Número de <u>ba</u> rras deseadas	1	Componentes de fase Componentes simétricas	Componentes de fase Componentes simétricas
Estudio de <u>cortocircuitos</u> .	1	0	0	Componentes de fase	Componentes de fase y simétricas.
	2	0	0	Componentes simétricas	Componentes simétricas y de fase.

En todas las opciones anteriores se tiene como salida adicional los datos del sistema en estudio que anteceden a los resultados; además del nombre de la opción deseada y la fecha.

Para almacenamiento de ZBARRA en cinta se utiliza el parámetro IPROG con los valores 3 y 4 para componentes de fase y secuencia respectivamente.

C A P I T U L O V

EJEMPLO DE APLICACION Y CONCLUSIONES

5.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA.- Como ejemplo de aplicación del programa, se analizará un sistema eléctrico descrito en la referencia (6), el que se indica en la Fig. 5-1.

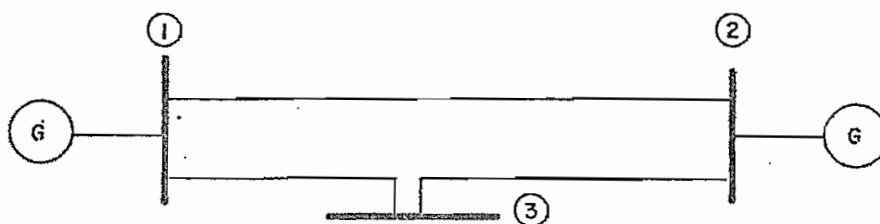


FIG. 5-1 Sistema a analizar.

Los datos del sistema en la referencia son dados considerando como balanceado. Para desbalancear al sistema se han hecho las siguientes consideraciones:

Se ha tomado en cuenta líneas de doble circuito de la configuración de la Fig. 5-2, con conductores de aleación de aluminio con alma de acero N° 4/0 AWG.

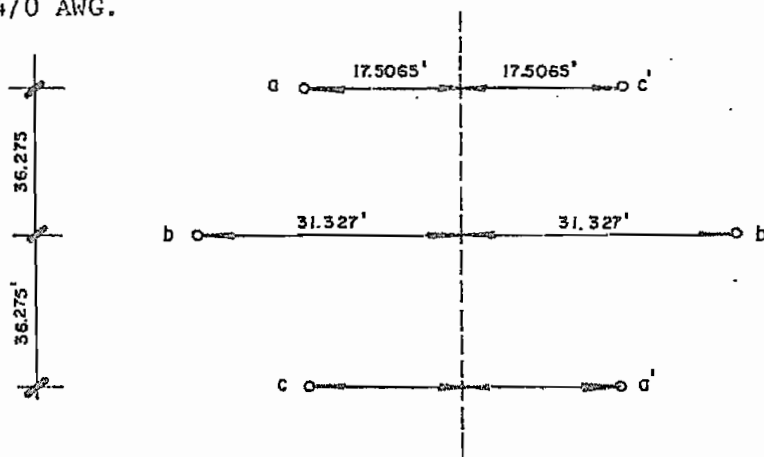


FIG. 5-2 Configuración de circuitos.

Bajo estas consideraciones se han determinado las impedancias de los circuitos para el sistema desbalanceado.

A continuación se dan los datos de los dos sistemas:

DATOS DE IMPEDANCIAS PARA EL SISTEMA BALANCEADO

P	Q	$Z_{pq,pq}$			R	S	$Z_{pq,rs}$		
1	2	$\begin{bmatrix} 1.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 1.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 1.5 \end{bmatrix}$							
1	3	$\begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 \end{bmatrix}$			1	2	$\begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}$		
2	3	$\begin{bmatrix} 0.9 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.9 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.9 \end{bmatrix}$			1	2	$\begin{bmatrix} 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 \end{bmatrix}$		
0	1	$\begin{bmatrix} 0.080 & -0.025 & -0.020 \\ -0.020 & 0.080 & -0.025 \\ -0.025 & -0.020 & 0.080 \end{bmatrix}$							
0	2	$\begin{bmatrix} 0.080 & -0.025 & -0.020 \\ -0.020 & 0.080 & -0.025 \\ -0.025 & -0.020 & 0.080 \end{bmatrix}$							

## DATOS DE IMPEDANCIAS PARA EL SISTEMA DESBALANCEADO

P	Q	$Z_{pq,pq}$			R	S	$Z_{pq,rs}$		
1	2	1.5	0.522425	0.455144					
		0.522425	1.5	0.522425					
		0.455144	0.522425	1.5					
1	3	0.6	0.20897	0.182057	1	2	0.193341	0.196795	0.218402
		0.208997	0.6	0.20897			0.196795	0.189373	0.196795
		0.182057	0.20897	0.6			0.218402	0.196795	0.193341
2	3	0.9	0.313455	0.273086	1	2	0.290012	0.295192	0.327603
		0.313455	0.9	0.313455			0.295192	0.284060	0.295192
		0.273086	0.313455	0.9			0.327603	0.295192	0.290012
0	1	0.080	-0.025	-0.020					
		-0.020	0.080	-0.025					
		-0.025	-0.020	0.080					
0	2	0.080	-0.025	-0.020					
		-0.020	0.080	-0.025					
		-0.025	-0.020	0.080					

Se analizarán los diferentes tipos de salida para los dos sistemas en la forma siguiente:

../..

Se calculará ZBARRA, ZEQ su inversa YEQ y ZEL para el caso del sistema desbalanceado y para el sistema balanceado ZEQ.

El estudio de fallas se hará para varios tipos y localizaciones para los dos sistemas. Se analizarán:

1. Fallas tres fases a tierra en las barras 1 y 3.
2. Fallas trifásicas aisladas en las barras 1 y 3.
3. Fallas fase a tierra, fase A, en las barras 1 y 3.

A continuación se da la forma de entrada de los datos y los resultados para cada una de las opciones de salida:

FORMULARIO PARA ELABORACION ELECTRONICA DE DATOS

OBJETO TESIS DE GRADO TITULO VERIFICACION PAGINA 2A DE 1-1 DE  
 PROGRAMA ESTUDIO DE CORTOCIRCUITOS EN SEP DESBALANCEADOS VERSION 1.000 FECHA MARZO/1978

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

EJEMPLO DE APLICACION CASO BALANCEADO - ESTUDIO: ZER

TARJETA INDICE

VB1	NL	NS	NREF	IG	NM	NEQB	LI	PROG	INDS
3	3	2	0	1	4	2		0	0

TARJETAS DE ELEMENTOS: SEIS TARJETAS POR ELEMENTO

OP LOQ LN MU R X R X R X

1	2	20.0	1.5	0.0	0.5	0.5	0.5
		0.0	0.5	0.0	1.5	0.0	0.5
		0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	1.5
		BBG	BBB	BBG	BBB	BBG	BBB
		TARJETA EN BLANCO					
		TARJETA EN BLANCO					
		TARJETA EN BLANCO					
1	3	10.0	0.6	0.0	0.2	0.0	0.2
		0.0	0.2	0.0	0.6	0.0	0.2
		0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.6
		TARJETA EN BLANCO					
		TARJETA EN BLANCO					
		TARJETA EN BLANCO					
2	3	10.0	0.9	0.0	0.3	0.0	0.3
		0.0	0.3	0.0	0.9	0.0	0.3
		0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.9







NOMBRF.....CALCULO DE Z-EQ

FECHA.....MARZO R 1978

ORDEN DE DIFERENCIA ... 0

LAS BARRAS EQUIVALENTES SON- /

DATOS DEL SISTEMA

BARRA	A	BARRA	RESISTENCIA	REACTANCIA	PERSISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA
1	2		0.0	1.50000	0.0	0.50000	0.0	0.50000
			0.0	0.50000	0.0	1.50000	0.0	0.50000
			0.0	0.50000	0.0	0.50000	0.0	1.50000
1	3		0.0	0.50000	0.0	0.20000	0.0	0.20000
			0.0	0.20000	0.0	0.60000	0.0	0.20000
			0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.0	0.60000
2	3		0.0	0.90000	0.0	0.30000	0.0	0.30000
			0.0	0.30000	0.0	0.50000	0.0	0.50000
			0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.0	0.50000
0	1		0.0	0.08000	0.0	-0.02500	0.0	-0.02000
			0.0	-0.02000	0.0	0.08000	0.0	-0.02500
			0.0	-0.02500	0.0	-0.02000	0.0	0.08000
0	2		0.0	0.08000	0.0	-0.02500	0.0	-0.02000
			0.0	-0.02000	0.0	0.08000	0.0	-0.02500
			0.0	-0.02500	0.0	-0.02000	0.0	0.08000

DATOS DE ACOPLAMIENOS MUTUOS

LINFA	A	LINFA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA
1	2	1	3	0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.20000
				0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.20000
				0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.20000
1	3	1	2	0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.20000
				0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.20000
				0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.0	0.20000	0.20000
1	2	2	3	0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.30000
				0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.30000
				0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.30000
2	3	1	2	0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.30000
				0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.30000
				0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.0	0.30000	0.30000





## NOMBRE... ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA... MARZO 8 1978

TRES FASES A TIERRA FALLA EN LA BARRA... 1

IMPEDANCIA DE FALLA(A,B,C,G)...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
CORRIENTE TOTAL DE FALLA									
CRTE DE FALLA(0,1,2)	0.000/	95.19	GRADOS	10.756/	-92.13	GRADOS	0.000/	97.77	GRADOS
CRTE DE FALLA(A,B,C)	11.406/	-92.13	GRADOS	11.406/	147.87	GRADOS	11.406/	27.87	GRADOS

## VOLTAJES DE BARRA

BARRA 1									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/	71.56	GRADOS	0.000/	-0.73	GRADOS	0.000/	75.44	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.000/	12.99	GRADOS	0.000/	-126.66	GRADOS	0.000/	111.80	GRADOS
BARRA 2									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/	-45.00	GRADOS	1.437/	-0.41	GRADOS	0.000/	175.91	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.830/	-0.41	GRADOS	0.830/	-120.41	GRADOS	0.830/	119.59	GRADOS
BARRA 3									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/	116.57	GRADOS	0.575/	-0.41	GRADOS	0.000/	135.00	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.332/	-0.41	GRADOS	0.332/	-120.41	GRADOS	0.332/	119.59	GRADOS

## CONTRIBUCIONES DE FALLA

BARRA..	2	A	BARRA...	3	LINEA..	0				
CORRIENTE(0,1,2)		0.000/	116.57	GRADOS	1.437/	-90.41	GRADOS	0.000/	85.24	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)		0.830/	-90.41	GRADOS	0.830/	149.59	GRADOS	0.830/	29.59	GRADOS
BARRA..	1	A	BARRA...	2	LINEA..	0				
CORRIENTE(0,1,2)		0.000/	-26.57	GRADOS	1.437/	89.59	GRADOS	0.000/	-72.35	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)		0.830/	89.59	GRADOS	0.830/	-30.41	GRADOS	0.830/	-150.41	GRADOS
BARRA..	1	A	BARRA...	3	LINEA..	0				
CORRIENTE(0,1,2)		0.000/	-105.95	GRADOS	1.437/	89.59	GRADOS	0.000/	-56.31	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)		0.830/	89.59	GRADOS	0.830/	-30.41	GRADOS	0.830/	-150.41	GRADOS
BARRA..	0	A	BARRA...	1	LINEA..	0				
CORRIENTE(0,1,2)		0.000/	106.70	GRADOS	16.883/	-92.42	GRADOS	0.000/	98.53	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)		9.747/	-92.42	GRADOS	9.747/	147.58	GRADOS	9.747/	27.58	GRADOS
BARRA..	0	A	BARRA...	2	LINEA..	0				
CORRIENTE(0,1,2)		0.000/	53.59	GRADOS	2.875/	-90.41	GRADOS	0.000/	106.21	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)		1.560/	-90.41	GRADOS	1.560/	149.59	GRADOS	1.560/	29.59	GRADOS

## NOMRRF....ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA....MARZO 8 1978

TRES FASES A TIERRA FALLA EN LA BARRA... 3

IMPEDANCIA DE FALLA(A,B,C,G)...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
---------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

CORRIENTE TOTAL DE FALLA

CORRIENTE DE FALLA(0,1,2)	0.000/	123.69 GRADOS	5.917/	-90.43 GRADOS	0.000/	73.20 GRADOS
CORRIENTE DE FALLA(A,B,C)	3.416/	-90.43 GRADOS	3.416/	149.57 GRADOS	3.416/	29.57 GRADOS

VOLTAJES DE BARRA

BARRA 1

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/	135.00 GRADOS	1.386/	-0.47 GRADOS	0.000/	-172.41 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.800/	-0.47 GRADOS	0.800/	-120.47 GRADOS	0.800/	119.53 GRADOS

BARRA 2

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/	0.0 GRADOS	1.472/	-0.37 GRADOS	0.000/	-176.42 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.850/	-0.37 GRADOS	0.850/	-120.37 GRADOS	0.850/	119.63 GRADOS

BARRA 3

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/	51.84 GRADOS	0.000/	-13.97 GRADOS	0.000/	-12.54 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.000/	3.01 GRADOS	0.000/	149.04 GRADOS	0.000/	106.70 GRADOS

CONTRIBUCIONES DE FALLA

BARRA.. 2 A BARRA... 3 LINEA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	82.87 GRADOS	2.453/	-90.37 GRADOS	0.000/	92.16 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.416/	-90.37 GRADOS	1.416/	149.63 GRADOS	1.416/	29.63 GRADOS

BARRA.. 1 A BARRA... 2 LINEA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	-97.63 GRADOS	0.006/	91.28 GRADOS	0.000/	-126.03 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.050/	91.28 GRADOS	0.050/	-28.72 GRADOS	0.050/	-148.72 GRADOS

BARRA.. 1 A BARRA... 3 LINEA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	70.82 GRADOS	3.464/	-90.47 GRADOS	0.000/	106.13 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	2.000/	-90.48 GRADOS	2.000/	149.53 GRADOS	2.000/	29.53 GRADOS

BARRA.. 0 A BARRA... 1 LINEA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	131.99 GRADOS	3.378/	-90.52 GRADOS	0.000/	81.25 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.950/	-90.52 GRADOS	1.950/	149.48 GRADOS	1.950/	29.48 GRADOS

BARRA.. 0 A BARRA... 2 LINEA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	102.91 GRADOS	2.539/	-90.32 GRADOS	0.000/	87.51 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.466/	-90.32 GRADOS	1.466/	149.68 GRADOS	1.466/	29.68 GRADOS



## NOMBRE....ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA....MARZO 8 1978

TRES FASES FALLA EN LA BARRA... 1

IMPEDANCIA DE FALLA(A,B,C,G)... 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

## CORRIENTE TOTAL DE FALLA

CORTE DE FALLA(0,1,2)	0.000/	18.43 GRADOS	19.756/	-92.13 GRADOS	0.000/	107.74 GRADOS
CORTE DE FALLA(A,B,C)	11.406/	-92.13 GRADOS	11.406/	147.87 GRADOS	11.406/	27.87 GRADOS

## VOLTAJES DE FALLA

BARRA 1

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/	180.00 GRADOS	0.000/	145.30 GRADOS	0.000/	53.19 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.000/	90.00 GRADOS	0.000/	143.13 GRADOS	0.000/	-80.54 GRADOS

BARRA 2

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/	-26.57 GRADOS	1.437/	-0.41 GRADOS	0.000/	171.87 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.830/	-0.41 GRADOS	0.830/	-120.41 GRADOS	0.830/	119.59 GRADOS

BARRA 3

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/	128.66 GRADOS	0.575/	-0.41 GRADOS	0.000/	90.00 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.332/	-0.41 GRADOS	0.332/	-120.41 GRADOS	0.332/	119.59 GRADOS

## CONTRIBUCIONES DE FALLA

BARRA.. 2 A BARRA... 3 LINFA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	135.00 GRADOS	1.437/	-90.41 GRADOS	0.000/	56.58 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.830/	-90.41 GRADOS	0.830/	149.59 GRADOS	0.830/	29.59 GRADOS

BARRA.. 1 A BARRA... 2 LINFA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	90.00 GRADOS	1.437/	89.59 GRADOS	0.000/	-61.93 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.830/	89.59 GRADOS	0.830/	-30.41 GRADOS	0.830/	-150.41 GRADOS

BARRA.. 1 A BARRA... 3 LINFA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	-119.74 GRADOS	1.437/	89.59 GRADOS	0.000/	-56.22 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.830/	89.59 GRADOS	0.830/	-30.41 GRADOS	0.830/	-150.41 GRADOS

BARRA.. 0 A BARRA... 1 LINEA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	80.54 GRADOS	16.893/	-92.42 GRADOS	0.000/	106.93 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	9.747/	-92.42 GRADOS	9.747/	147.58 GRADOS	9.747/	27.58 GRADOS

BARRA.. 0 A BARRA... 2 LINFA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	52.56 GRADOS	2.875/	-90.41 GRADOS	0.000/	109.65 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.660/	-90.41 GRADOS	1.660/	149.59 GRADOS	1.660/	29.59 GRADOS

## NOMBRE...ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA...MARZO 8 1978

TRES FASES FALLA EN LA BARRA... 3

IMPEDANCIA DE FALLA(A,B,C,G)...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
---------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

## CORRIENTE TOTAL DE FALLA

CPDTE DE FALLA(0,1,2)	0.000/	90.00 GRADOS	5.917/	-90.43 GRADOS	0.000/	90.00 GRADOS
CRTE DE FALLA(A,B,C)	3.416/	-90.43 GRADOS	3.416/	149.57 GRADOS	3.416/	29.57 GRADOS

## VOLTAJES DE BARRA

BARRA 1

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/	0.0 GRADOS	1.386/	-0.47 GRADOS	0.000/	180.00 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.800/	-0.47 GRADOS	0.800/	-120.47 GRADOS	0.800/	119.53 GRADOS

BARRA 2

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.0 /	0.0 GRADOS	1.472/	-0.37 GRADOS	0.000/	180.00 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.850/	-0.37 GRADOS	0.850/	-120.37 GRADOS	0.850/	119.63 GRADOS

BARRA 3

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/	-131.63 GRADOS	0.000/	28.11 GRADOS	0.000/	69.94 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.000/	-26.57 GRADOS	0.000/	-116.57 GRADOS	0.000/	-164.74 GRADOS

## CONTRIBUCIONES DE FALLA

BARRA.. 2 A BARRA... 3 LINEA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	37.57 GRADOS	2.453/	-90.37 GRADOS	0.000/	92.12 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.416/	-90.37 GRADOS	1.416/	149.63 GRADOS	1.416/	29.63 GRADOS

BARRA.. 1 A BARRA... 2 LINEA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	-167.99 GRADOS	0.086/	91.28 GRADOS	0.000/	-109.98 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.050/	91.28 GRADOS	0.050/	-28.72 GRADOS	0.050/	-148.72 GRADOS

BARRA.. 1 A BARRA... 3 LINEA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	14.04 GRADOS	3.464/	-90.48 GRADOS	0.000/	136.47 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	2.000/	-90.48 GRADOS	2.000/	149.53 GRADOS	2.000/	29.53 GRADOS

BARRA.. 0 A BARRA... 1 LINEA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	77.99 GRADOS	3.378/	-90.52 GRADOS	0.000/	87.90 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.950/	-90.52 GRADOS	1.950/	149.48 GRADOS	1.950/	29.48 GRADOS

BARRA.. 0 A BARRA... 2 LINEA.. 0

CORRIENTE(0,1,2)	0.000/	22.25 GRADOS	2.539/	-90.32 GRADOS	0.000/	90.00 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.466/	-90.32 GRADOS	1.466/	149.68 GRADOS	1.466/	29.68 GRADOS

## NOMBRE...ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA...MARZO 8 1978

## FASE A TIERRA (A) FALLA EN LA BARRA... 1

IMPEDANCIA DE FALLA(A,B,C,G)...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
CORRIENTE TOTAL DE FALLA									
CPRTF DE FALLA(0,1,2)	8.280/	-90.00	GRADOS	8.280/	-90.00	GRADOS	8.280/	-90.00	GRADOS
CPRTF DE FALLA(A,B,C)	14.342/	-90.00	GRADOS	0.0 /	0.0	GRADOS	0.0 /	0.0	GRADOS

## VOLTAJES DE BARRA

BARRA 1									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.281/	180.00	GRADOS	1.007/	-1.53	GRADOS	0.726/	177.87	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.000/	0.0	GRADOS	0.907/	-107.34	GRADOS	0.893/	104.04	GRADOS

BARRA 2									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.009/	180.00	GRADOS	1.409/	-0.32	GRADOS	0.124/	175.87	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.853/	0.0	GRADOS	0.973/	-117.08	GRADOS	0.965/	116.13	GRADOS

BARRA 3									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.083/	180.00	GRADOS	1.248/	-0.91	GRADOS	0.485/	177.67	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.393/	0.0	GRADOS	0.913/	-108.39	GRADOS	0.901/	106.00	GRADOS

## CONTRIBUCIONES DE FALLA

BARRA..	2	A	BARRA...	3	LINEA..	0			
CORRIENTE(0,1,2)	0.124/	-90.00	GRADOS	0.602/	-88.28	GRADOS	0.602/	-91.72	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.767/	-90.00	GRADOS	0.258/	90.00	GRADOS	0.294/	90.00	GRADOS

BARRA..	1	A	BARRA...	2	LINEA..	0			
CORRIENTE(0,1,2)	0.124/	90.00	GRADOS	0.602/	91.72	GRADOS	0.602/	88.28	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.767/	90.00	GRADOS	0.258/	-90.00	GRADOS	0.294/	-90.00	GRADOS

BARRA..	1	A	BARRA...	3	LINEA..	0			
CORRIENTE(0,1,2)	0.124/	90.00	GRADOS	0.602/	91.72	GRADOS	0.602/	88.28	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.767/	90.00	GRADOS	0.258/	-90.00	GRADOS	0.294/	-90.00	GRADOS

BARRA..	0	A	BARRA...	1	LINEA..	0			
CORRIENTE(0,1,2)	8.033/	-90.00	GRADOS	7.076/	-90.29	GRADOS	7.076/	-89.71	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	12.809/	-90.00	GRADOS	0.516/	-90.00	GRADOS	0.588/	-90.00	GRADOS

BARRA..	0	A	BARRA...	2	LINEA..	0			
CORRIENTE(0,1,2)	0.248/	-90.00	GRADOS	1.205/	-88.28	GRADOS	1.205/	-91.72	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.534/	-90.00	GRADOS	0.516/	90.00	GRADOS	0.588/	90.00	GRADOS

## NOMBRE...ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA...MARZO 8 1978

FASE A TIERRA (A) FALLA EN LA BARRA... 3

IMPEDANCIA DE FALLA(A,R,C,G)...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
CORRIENTE TOTAL DE FALLA									
CPRTE DE FALLA(0,1,2)	1.739/	-90.00	GRADOS	1.739/	-90.00	GRADOS	1.739/	-90.00	GRADOS
CPRTE DE FALLA(A,R,C)	3.012/	-90.00	GRADOS	0.0 /	0.0	GRADOS	0.0 /	0.0	GRADOS

## VOLTAJES DE BARRA

BARRA 1									
-----									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.017/	180.00	GRADOS	1.630/	-0.15	GRADOS	0.102/	177.67	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.872/	0.0	GRADOS	0.978/	-117.74	GRADOS	0.975/	117.31	GRADOS
BARRA 2									
-----									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.043/	180.00	GRADOS	1.656/	-0.12	GRADOS	0.077/	177.46	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.887/	0.0	GRADOS	0.992/	-119.22	GRADOS	0.989/	118.27	GRADOS
BARRA 3									
-----									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.714/	180.00	GRADOS	1.223/	-0.18	GRADOS	0.509/	179.57	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.000/	0.0	GRADOS	1.066/	-125.69	GRADOS	1.062/	125.36	GRADOS

## CONTRIBUCIONES DE FALLA

BARRA..	2	A	BARRA...	3	LINEA..	0			
-----									
CORRIENTE(0,1,2)	0.745/	-90.00	GRADOS	0.721/	-89.94	GRADOS	0.721/	-90.06	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.263/	-90.00	GRADOS	0.015/	-90.00	GRADOS	0.013/	-90.00	GRADOS
BARRA..	1	A	BARRA...	2	LINEA..	0			
-----									
CORRIENTE(0,1,2)	0.496/	90.00	GRADOS	0.025/	91.71	GRADOS	0.025/	88.28	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.316/	90.00	GRADOS	0.273/	90.00	GRADOS	0.271/	90.00	GRADOS
BARRA..	1	A	BARRA...	3	LINEA..	0			
-----									
CORRIENTE(0,1,2)	0.994/	-90.00	GRADOS	1.018/	-90.04	GRADOS	1.012/	-89.96	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.750/	-90.00	GRADOS	0.015/	90.00	GRADOS	0.013/	90.00	GRADOS
BARRA..	0	A	BARRA...	1	LINEA..	0			
-----									
CORRIENTE(0,1,2)	0.498/	-90.00	GRADOS	0.993/	-90.09	GRADOS	0.993/	-89.91	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.434/	-90.00	GRADOS	0.287/	90.00	GRADOS	0.284/	90.00	GRADOS
BARRA..	0	A	BARRA...	2	LINEA..	0			
-----									
CORRIENTE(0,1,2)	1.241/	-90.00	GRADOS	0.746/	-89.88	GRADOS	0.746/	-90.12	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.578/	-90.00	GRADOS	0.287/	-90.00	GRADOS	0.284/	-90.00	GRADOS

FORMULARIO PARA EL CENSAMIENTO ELECTRONICO DE DATOS

TÍTULO TESIS DE GRADO DISEÑO VERIFICADO PAGINA Datos: 1 DE       
 PROGRAMA ESTUDIO DE CORTOCIRCUITOS EN SEP DESBALANCEADOS FECHA MARZO / 1. 1978

EJEMPLO DE APLICACION - CASO DESBALANCEADO - ESTUDIO: ZBARRA											
TARJETA	INDICE	NL	NS	NREF	IG	NM	NEQB	IPROG	INDB		
3	3		2	0	1	4	0	0	0		
TARJETAS DE ELEMENTOS: SEIS TARJETAS POR ELEMENTO											
OP	LOQ	LN	MU	R	X	R	X	R	X		
				BBG	BBB	BBG	BBB	BBG	BBB		
1	2		2	0.0	1.5	0.0	0.522425	0.0	0.455144		
				0.0	0.522425	0.0	1.5	0.0	0.522425		
				0.0	0.455144	0.0	0.522425	0.0	1.5		
TARJETA EN BLANCO											
TARJETA EN BLANCO											
TARJETA EN BLANCO											
1	3		1	0.0	0.6	0.0	0.208970	0.0	0.182057		
				0.0	0.208970	0.0	0.6	0.0	0.208970		
				0.0	0.182057	0.0	0.208970	0.0	0.6		
TARJETA EN BLANCO											
TARJETA EN BLANCO											
TARJETA EN BLANCO											
2	3		1	0.0	0.9	0.0	0.313455	0.0	0.273086		
				0.0	0.313455	0.0	0.9	0.0	0.313455		
				0.0	0.273086	0.0	0.313455	0.0	0.9		

## FORMULABO DE PESAMIENTO ELECTRONICO DE DATOS

OBJETO TESIS DE GRADORAMA ESTUDIO DE CORTOCIRCUITOS EN SEP DESBALANCEADO

TITULO

VERIFICADO

PAGINA

De 1-2-6

DE

FECHA

MARZO / 1978

TARJETAS DE ELEMENTOS SHUNT: TRES TARJETAS POR ELEMENTO												
LOP	LOQ	LN	MU	R	X	R	X	R	X	R	X	
0		1				0.0	0.080	0.0		-0.025	0.0	-0.020
						0.0	-0.020	0.0		0.080	0.0	-0.025
						0.0	-0.025	0.0		-0.020	0.0	0.080
0		2				0.0	0.080	0.0		-0.025	0.0	-0.020
						0.0	-0.020	0.0		0.080	0.0	-0.025
						0.0	-0.025	0.0		-0.020	0.0	0.080
TARJETAS DE ELEMENTOS MUTUOS: CUATRO TARJETAS POR ACOPLAMIENTO MUTUO												
LOMP	LOMQ	LOPN	LOR	LOS	LOM	RM	XM	RM	XM	RM	XM	
1		2				1	3					
						0.0	0.193341	0.0		0.196795	0.0	0.218402
						0.0	0.196795	0.0		0.189373	0.0	0.196795
						0.0	0.218402	0.0		0.196795	0.0	0.193341
1		3				1	2					
						0.0	0.193341	0.0		0.196795	0.0	0.218402
						0.0	0.196795	0.0		0.189373	0.0	0.196795
						0.0	0.218402	0.0		0.196795	0.0	0.193341



NOMBRE.....CALCULO DE Z-HAPRA

FECHA.....MARZO 8 1978

ORDEN DE REFERENCIA ... 0

DATOS DEL SISTEMA

ORDEN	ORDEN DE REFERENCIA	ORDEN DE REFERENCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA
1	2	0.0	0.0	1.50000	0.0	0.52242	0.0	0.45514	0.0	0.52242
		0.0	0.0	0.52242	0.0	1.50000	0.0	0.52242	0.0	0.52242
		0.0	0.0	0.45514	0.0	0.52242	0.0	0.45514	0.0	0.52242
1	3	0.0	0.0	0.60000	0.0	0.20897	0.0	0.18206	0.0	0.20897
		0.0	0.0	0.20897	0.0	0.60000	0.0	0.20897	0.0	0.60000
		0.0	0.0	0.18206	0.0	0.20897	0.0	0.18206	0.0	0.20897
2	3	0.0	0.0	0.90000	0.0	0.31345	0.0	0.27309	0.0	0.31345
		0.0	0.0	0.31345	0.0	0.90000	0.0	0.31345	0.0	0.90000
		0.0	0.0	0.27309	0.0	0.31345	0.0	0.27309	0.0	0.31345
0	1	0.0	0.0	0.08000	0.0	-0.02500	0.0	-0.02000	0.0	-0.02500
		0.0	0.0	-0.02000	0.0	0.08000	0.0	-0.02000	0.0	0.08000
		0.0	0.0	-0.02500	0.0	-0.02500	0.0	-0.02000	0.0	-0.02500
0	2	0.0	0.0	0.08000	0.0	-0.02500	0.0	-0.02000	0.0	-0.02500
		0.0	0.0	-0.02000	0.0	0.08000	0.0	-0.02000	0.0	0.08000
		0.0	0.0	-0.02500	0.0	-0.02500	0.0	-0.02000	0.0	-0.02500

PROCESADO

MARZO 8 1978

Q. 1111



## TABLA DE ACOPLAMIENTOS MUTUOS

LINFA	A	LINFA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA	
1	2	1	3	0.0 0.0 0.0	0.19334 0.19679 0.21840	0.0 0.0 0.0	0.19679 0.18937 0.19679	0.0 0.0 0.0	0.21840 0.19679 0.19334
1	3	1	2	0.0 0.0 0.0	0.19334 0.19679 0.21840	0.0 0.0 0.0	0.19679 0.18937 0.19679	0.0 0.0 0.0	0.21840 0.19679 0.19334
1	2	2	3	0.0 0.0 0.0	0.29001 0.29519 0.32760	0.0 0.0 0.0	0.29519 0.28406 0.29519	0.0 0.0 0.0	0.32760 0.29519 0.29001
2	3	1	2	0.0 0.0 0.0	0.29001 0.29519 0.32760	0.0 0.0 0.0	0.29519 0.28406 0.29519	0.0 0.0 0.0	0.32760 0.29519 0.29001

RECIBIDA  
20/11/11

RECIBIDA  
20/11/11

						PAGINA 1
1	0.0	0.06989	0.0	0.0	-0.01958	-0.01642
	0.0	-0.01582	0.0	0.0	0.06947	-0.01958
	0.0	-0.02018	0.0	0.0	-0.01582	0.06989
2	0.0	0.01011	0.0	0.0	-0.00542	-0.00358
	0.0	-0.00418	0.0	0.0	0.01053	-0.00542
	0.0	-0.00482	0.0	0.0	-0.00418	0.01011
3	0.0	0.04295	0.0	0.0	-0.01663	-0.01647
	0.0	-0.01506	0.0	0.0	0.04325	-0.01785
	0.0	-0.01921	0.0	0.0	-0.01381	0.04288

						PAGINA 1
1	0.0	0.01011	0.0	0.0	-0.00542	-0.00358
	0.0	-0.00418	0.0	0.0	0.01053	-0.00542
	0.0	-0.00482	0.0	0.0	-0.00418	0.01011
2	0.0	0.06989	0.0	0.0	-0.01958	-0.01642
	0.0	-0.01582	0.0	0.0	0.06947	-0.01958
	0.0	-0.02018	0.0	0.0	-0.01582	0.06989
3	0.0	0.03705	0.0	0.0	-0.00837	-0.00358
	0.0	-0.00494	0.0	0.0	0.03675	-0.00715
	0.0	-0.00579	0.0	0.0	-0.00819	0.03714

						PAGINA 1
1	0.0	0.04286	0.0	0.0	-0.01785	-0.01647
	0.0	-0.01381	0.0	0.0	0.04325	-0.01663
	0.0	-0.01921	0.0	0.0	-0.01506	0.04288
2	0.0	0.03714	0.0	0.0	-0.00715	-0.00358
	0.0	-0.00619	0.0	0.0	0.03675	-0.00837
	0.0	-0.00579	0.0	0.0	-0.00494	0.03705
3	0.0	0.32969	0.0	0.0	0.04432	0.02738
	0.0	0.04690	0.0	0.0	0.03600	0.04432
	0.0	0.02484	0.0	0.0	-0.04690	0.03296

INDICE

1..... PAGINA 1

2..... PAGINA 1

3..... PAGINA 1

ESQUEMA  
P(1) 1/1/1/1

FORMA APLICADA AL EXAMEN ELECTRONICO DE DATOS

OBJETO TESIS DE GRADO  
 PROGRAMA ESTUDIO DE CORTOCIRCUITOS EN SEP DESBALANCEADOS

PAGINA *Doble 1-1* DE  
 FECHA *MARZO/1978*

EJEMPLO DE APLICACION - CASO DESBALANCEADO - ESTUDIO: ZEQ, YEQ Y ZEL									
TARJETA	INDICE								
NB	NL	NS	NREF	IG	NM	NEQB	IPROG	INDB	
3	3	2	0	1	4	2	0	1	
TARJETAS DE ELEMENTOS: IGUAL QUE PARA ZBARRA									
TARJETAS DE ELEMENTOS SHUNT: IGUAL QUE PARA ZBARRA									
TARJETAS DE ELEMENTOS MUTUOS: IGUAL QUE PARA ZBARRA									
TARJETA DE BARRAS DESEADAS									
1	3								
TARJETA DE FECHA DE EJECUCION ID									
MARZO 8 1978									

NOMBRE.....CALCULO DE Z-EQ

FECHA.....MARZO 8 1978

BARRA DE REFERENCIA ... 0

AS BARRAS EQUIVALENTES SON-/

DATOS DEL SISTEMA

HARRA A	BARRA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RFSISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA
1	2	0.0	1.50000	0.0	0.52242	0.0	0.45514
		0.0	0.52242	0.0	1.50000	0.0	0.52242
		0.0	0.45514	0.0	0.52242	0.0	1.50000
1	3	0.0	0.60000	0.0	0.20897	0.0	0.18206
		0.0	0.20897	0.0	0.60000	0.0	0.20897
		0.0	0.18206	0.0	0.20897	0.0	0.60000
2	3	0.0	0.90000	0.0	0.31345	0.0	0.31345
		0.0	0.31345	0.0	0.90000	0.0	0.31345
		0.0	0.27309	0.0	0.31345	0.0	0.90000
0	1	0.0	0.08000	0.0	-0.02500	0.0	-0.02500
		0.0	-0.02000	0.0	0.08000	0.0	-0.02000
		0.0	-0.02500	0.0	-0.02500	0.0	-0.02500
0	2	0.0	0.08000	0.0	-0.02500	0.0	-0.02500
		0.0	-0.02000	0.0	0.08000	0.0	-0.02000
		0.0	-0.02500	0.0	-0.02500	0.0	-0.02500

11

DATOS DE ACOMPLAMIENTOS MUTUOS

LINEA	A	LINEA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA
1	2	1	0.0	0.19334	0.0	0.19679	0.0	0.19679	0.0	0.19679
		3	0.0	0.19679	0.0	0.19679	0.0	0.18937	0.0	0.18937
			0.0	0.21840	0.0	0.21840	0.0	0.19679	0.0	0.19679
1	3	1	0.0	0.19334	0.0	0.19679	0.0	0.19679	0.0	0.19679
		2	0.0	0.19679	0.0	0.19679	0.0	0.18937	0.0	0.18937
			0.0	0.21840	0.0	0.21840	0.0	0.19679	0.0	0.19679
1	2	2	0.0	0.29001	0.0	0.29519	0.0	0.29519	0.0	0.29519
		3	0.0	0.29519	0.0	0.28406	0.0	0.28406	0.0	0.28406
			0.0	0.32760	0.0	0.32760	0.0	0.29519	0.0	0.29519
2	3	1	0.0	0.29001	0.0	0.29519	0.0	0.29519	0.0	0.29519
		2	0.0	0.29519	0.0	0.28406	0.0	0.28406	0.0	0.28406
			0.0	0.32760	0.0	0.32760	0.0	0.29519	0.0	0.29519

RESERVA

FORMA





NOMRRF.....CALCULC DE Y-EQ

									PAGINA 1
1	0.0	-18.68419	0.0	-5.68650	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.68650
	0.0	-5.20835	0.0	-18.74391	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.20835
	0.0	-5.73786	0.0	-5.20835	0.0	0.0	0.0	0.0	-18.68419
3	0.0	2.02352	0.0	-0.68633	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.68633
	0.0	-0.67623	0.0	2.02352	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.68121
	0.0	-0.61037	0.0	-0.68153	0.0	0.0	0.0	0.0	2.02352

									PAGINA 1
1	0.0	2.02352	0.0	-0.68121	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.68121
	0.0	-0.68153	0.0	2.02352	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.68633
	0.0	-0.61037	0.0	-0.68153	0.0	0.0	0.0	0.0	2.02352
3	0.0	3.46895	0.0	0.27667	0.0	0.0	0.0	0.0	0.27667
	0.0	0.58441	0.0	-3.46822	0.0	0.0	0.0	0.0	0.58441
	0.0	0.34690	0.0	0.58441	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.46822

RECEIVED

117



NUMBRE.....CALCULO DE Z-EL.....

1	0.0	0.07481	0.0	-0.05219	0.0	PAGINA 1
	0.0	-0.01785	0.0	0.07461	0.0	-0.01807
	0.0	-0.02242	0.0	-0.01783	0.0	-0.02220
3	0.0	0.70723	0.0	0.34260	0.0	0.32674
	0.0	0.33936	0.0	0.70863	0.0	0.33956
	0.0	0.32756	0.0	0.34194	0.0	0.370710

3	0.0	0.70710	0.0	0.33996	0.0	PAGINA 1
	0.0	0.34194	0.0	0.70863	0.0	0.32674
	0.0	0.32756	0.0	0.33936	0.0	0.33956
3	0.0	0.71676	0.0	-0.04782	0.0	-0.12018
	0.0	-0.03746	0.0	0.72069	0.0	-0.04567
	0.0	-0.12817	0.0	-0.03972	0.0	0.71699

Handwritten scribbles and marks at the bottom of the page.

INDICE

1..... PAGINA 1

3..... PAGINA 1

18026/17/17

18026/17/17

18026/17/17





NOMBRE...ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA...MARZO 8 1978

TRES FASES A TIERRA FALLA EN LA BARRA... 1

IMPEDANCIA DE FALLA(A,B,C,G)...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
---------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

CORRIENTE TOTAL DE FALLA

CORTE DE FALLA(0,1,2)	0.035/ -30.38 GRADOS	19.748/ -92.13 GRADOS	0.122/ 30.01 GRADOS
CORTE DE FALLA(A,B,C)	11.374/ -91.74 GRADOS	11.452/ 147.88 GRADOS	11.379/ 27.47 GRADOS

VOLTAJES DE BARRA

BARRA 1

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/ -5.71 GRADOS	0.000/ 2.27 GRADOS	0.000/ -24.91 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.000/ -8.53 GRADOS	0.000/ -135.00 GRADOS	0.000/ 153.43 GRADOS

BARRA 2

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.001/ -120.39 GRADOS	1.438/ -0.41 GRADOS	0.013/ -62.42 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.833/ -0.89 GRADOS	0.824/ -120.39 GRADOS	0.834/ 120.05 GRADOS

BARRA 3

VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.027/ 59.61 GRADOS	0.556/ -0.41 GRADOS	0.017/ 120.17 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.325/ 3.49 GRADOS	0.315/ -120.39 GRADOS	0.325/ 115.68 GRADOS

CONTRIBUCIONES DE FALLA

BARRA... 2 A BARRA... 3 LINEA... 0	CORRIENTE(0,1,2)	0.018/ 130.39 GRADOS	1.433/ -90.41 GRADOS	0.061/ 30.00 GRADOS
	CORRIENTE(A,B,C)	0.816/ 187.65 GRADOS	0.853/ 149.61 GRADOS	0.816/ 26.81 GRADOS

BARRA... 1 A BARRA... 2 LINEA... 0	CORRIENTE(0,1,2)	0.018/ 149.61 GRADOS	1.433/ 89.59 GRADOS	0.061/ -150.00 GRADOS
	CORRIENTE(A,B,C)	0.816/ 92.35 GRADOS	0.853/ -30.39 GRADOS	0.816/ -153.19 GRADOS

BARRA... 1 A BARRA... 3 LINEA... 0	CORRIENTE(0,1,2)	0.018/ 149.61 GRADOS	1.433/ 89.59 GRADOS	0.061/ -150.00 GRADOS
	CORRIENTE(A,B,C)	0.816/ 92.35 GRADOS	0.853/ -30.39 GRADOS	0.816/ -153.19 GRADOS

BARRA... 0 A BARRA... 1 LINEA... 0	CORRIENTE(0,1,2)	0.000/ 83.16 GRADOS	16.883/ -92.42 GRADOS	0.000/ 84.64 GRADOS
	CORRIENTE(A,B,C)	9.747/ -92.42 GRADOS	9.747/ 147.58 GRADOS	9.747/ 27.58 GRADOS

BARRA... 0 A BARRA... 2 LINEA... 0	CORRIENTE(0,1,2)	0.035/ -30.39 GRADOS	2.865/ -90.41 GRADOS	0.122/ 30.00 GRADOS
	CORRIENTE(A,B,C)	1.631/ -87.65 GRADOS	1.705/ 149.61 GRADOS	1.632/ 26.81 GRADOS

NOMBRE... ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA... MARZO 8 1978

TRES FASES A TIERRA FALLA EN LA BARRA... 3

IMPEDANCIA DE FALLA(A,B,C,G)... 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

CORRIENTE TOTAL DE FALLA

CORTE DE FALLA(0,1,2)	0.129/ -30.35 GRADOS	5.931/ -90.43 GRADOS	0.225/ 30.00 GRADOS
CORTE DE FALLA(A,B,C)	3.400/ -87.46 GRADOS	3.479/ 149.58 GRADOS	3.402/ 26.58 GRADOS

VOLTAJES DE BARRA

BARRA 1			
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/ -120.67 GRADOS	1.380/ -0.48 GRADOS	0.006/ -62.75 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.798/ -0.71 GRADOS	0.793/ -120.47 GRADOS	0.798/ 119.74 GRADOS
BARRA 2			
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.004/ -120.33 GRADOS	1.477/ -0.37 GRADOS	0.017/ -62.31 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.856/ -1.09 GRADOS	0.845/ -120.34 GRADOS	0.857/ 120.33 GRADOS
BARRA 3			
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.000/ -25.35 GRADOS	0.000/ -2.62 GRADOS	0.000/ 96.00 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.000/ -3.47 GRADOS	0.000/ -110.32 GRADOS	0.000/ 101.31 GRADOS

CONTRIBUCIONES DE FALLA

BARRA..	2	A	BARRA...	3	LINEA..	0
CORRIENTE(0,1,2)	0.059/ -30.32 GRADOS	2.470/ -90.37 GRADOS	0.083/ 30.36 GRADOS			
CORRIENTE(A,B,C)	1.420/ -87.52 GRADOS	1.440/ 149.66 GRADOS	1.421/ 26.76 GRADOS			
BARRA..	1	A	BARRA...	2	LINEA..	0
CORRIENTE(0,1,2)	0.063/ 149.66 GRADOS	0.022/ 97.41 GRADOS	0.023/ -150.13 GRADOS			
CORRIENTE(A,B,C)	0.075/ 174.85 GRADOS	0.024/ -25.94 GRADOS	0.072/ 124.53 GRADOS			
BARRA..	1	A	BARRA...	3	LINEA..	0
CORRIENTE(0,1,2)	0.071/ -30.38 GRADOS	3.460/ -90.48 GRADOS	0.141/ 29.79 GRADOS			
CORRIENTE(A,B,C)	1.980/ -87.42 GRADOS	2.039/ 149.53 GRADOS	1.980/ 26.44 GRADOS			
BARRA..	0	A	BARRA...	1	LINEA..	0
CORRIENTE(0,1,2)	0.008/ -30.65 GRADOS	3.439/ -90.53 GRADOS	0.058/ 29.68 GRADOS			
CORRIENTE(A,B,C)	1.971/ -89.57 GRADOS	2.014/ 149.47 GRADOS	1.971/ 28.51 GRADOS			
BARRA..	0	A	BARRA...	2	LINEA..	0
CORRIENTE(0,1,2)	0.121/ -30.33 GRADOS	2.491/ -90.30 GRADOS	0.166/ 30.11 GRADOS			
CORRIENTE(A,B,C)	1.432/ -84.55 GRADOS	1.464/ 149.73 GRADOS	1.433/ 23.62 GRADOS			

NOMBRE...ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA...MARZO 8 1978

TRES FASES FALLA EN LA BARRA... 1

IMPEDANCIA DE FALLA(A,B,C,C)...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
CORRIENTE TOTAL DE FALLA									
CORTE DE FALLA(0,1,2)	0.000/	0.0	GRADOS	15.748/	-92.13	GRADOS	0.122/	30.01	GRADOS
CORTE DE FALLA(A,B,C)	11.364/	-91.83	GRADOS	11.472/	147.89	GRADOS	11.369/	27.56	GRADOS

VOLTAJES DE BARRA

BARRA 1									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.001/	59.60	GRADOS	0.000/	125.41	GRADOS	0.000/	21.95	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.001/	59.62	GRADOS	0.001/	59.60	GRADOS	0.001/	59.59	GRADOS
BARRA 2									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.001/	-120.39	GRADOS	1.438/	-0.41	GRADOS	0.013/	-62.42	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.833/	-0.89	GRADOS	0.824/	-120.39	GRADOS	0.834/	120.05	GRADOS
BARRA 3									
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.029/	59.61	GRADOS	0.556/	-0.41	GRADOS	0.017/	120.17	GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.325/	3.52	GRADOS	0.315/	-120.39	GRADOS	0.325/	115.65	GRADOS

CONTRIBUCIONES DE FALLA

BARRA..	2	A	BARRA...	3	LINFA..	0			
CORRIENTE(0,1,2)	0.017/	-30.39	GRADOS	1.433/	-90.41	GRADOS	0.061/	30.00	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.815/	-87.67	GRADOS	0.853/	149.61	GRADOS	0.816/	26.83	GRADOS
BARRA..	1	A	BARRA...	2	LINFA..	0			
CORRIENTE(0,1,2)	0.017/	149.61	GRADOS	1.433/	89.59	GRADOS	0.061/	-150.00	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.815/	92.33	GRADOS	0.853/	-30.39	GRADOS	0.816/	-153.17	GRADOS
BARRA..	1	A	BARRA...	3	LINFA..	0			
CORRIENTE(0,1,2)	0.017/	149.61	GRADOS	1.433/	89.59	GRADOS	0.061/	-150.00	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.815/	92.33	GRADOS	0.853/	-30.39	GRADOS	0.816/	-153.17	GRADOS
BARRA..	0	A	BARRA...	1	LINFA..	0			
CORRIENTE(0,1,2)	0.034/	149.59	GRADOS	16.883/	-92.42	GRADOS	0.000/	96.84	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	9.738/	-92.52	GRADOS	9.767/	147.59	GRADOS	9.737/	27.68	GRADOS
BARRA..	0	A	BARRA...	2	LINFA..	0			
CORRIENTE(0,1,2)	0.034/	-30.39	GRADOS	2.866/	-90.41	GRADOS	0.122/	30.00	GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.631/	-87.67	GRADOS	1.706/	149.61	GRADOS	1.632/	26.83	GRADOS

## NOMBRE...ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA...MARZO 8 1978

TRES FASES FALLA EN LA BARRA... 3

IMPEDANCIA DE FALLA(A,B,C,G)... 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

## CORRIENTE TOTAL DE FALLA

CORTE DE FALLA(0,1,2)	0.000/	-14.04 GRADOS	5.926/	-90.43 GRADOS	0.221/	30.00 GRADOS
CORTE DE FALLA(A,B,C)	3.359/	-88.56 GRADOS	3.549/	149.58 GRADOS	3.360/	27.68 GRADOS

## VOLTAJES DE BARRA

BARRA 1						
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.001/	59.73 GRADOS	1.380/	-0.48 GRADOS	0.006/	-62.75 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.798/	-0.66 GRADOS	0.792/	-120.47 GRADOS	0.799/	119.69 GRADOS
BARRA 2						
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.001/	-120.27 GRADOS	1.477/	-0.37 GRADOS	0.017/	-62.31 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.857/	-0.97 GRADOS	0.844/	-120.34 GRADOS	0.858/	120.21 GRADOS
BARRA 3						
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.053/	59.65 GRADOS	0.000/	19.45 GRADOS	0.000/	18.61 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.031/	59.65 GRADOS	0.031/	59.65 GRADOS	0.031/	59.65 GRADOS

## CONTRIBUCIONES DE FALLA

BARRA.. 2 A BARRA... 3 LINEA.. 0						
CORRIENTE(0,1,2)	0.003/	-29.72 GRADOS	2.468/	-90.37 GRADOS	0.082/	30.36 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.402/	-88.64 GRADOS	1.470/	149.66 GRADOS	1.404/	27.89 GRADOS
BARRA.. 1 A BARRA... 2 LINEA.. 0						
CORRIENTE(0,1,2)	0.026/	149.67 GRADOS	0.020/	98.20 GRADOS	0.081/	-150.13 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	0.055/	-175.21 GRADOS	0.043/	-27.88 GRADOS	0.052/	114.54 GRADOS
BARRA.. 1 A BARRA... 3 LINEA.. 0						
CORRIENTE(0,1,2)	0.003/	150.23 GRADOS	3.458/	-90.48 GRADOS	0.139/	29.79 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.956/	-88.50 GRADOS	2.078/	149.53 GRADOS	1.957/	27.52 GRADOS
BARRA.. 0 A BARRA... 1 LINEA.. 0						
CORRIENTE(0,1,2)	0.029/	149.73 GRADOS	3.438/	-90.53 GRADOS	0.058/	29.69 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.960/	-90.12 GRADOS	2.035/	149.47 GRADOS	1.960/	29.05 GRADOS
BARRA.. 0 A BARRA... 2 LINEA.. 0						
CORRIENTE(0,1,2)	0.029/	-30.27 GRADOS	2.488/	-90.30 GRADOS	0.163/	30.11 GRADOS
CORRIENTE(A,B,C)	1.400/	-86.38 GRADOS	1.513/	149.73 GRADOS	1.401/	25.76 GRADOS



## NOMBRE...ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA...MARZO 9 1978

FASE A TIERRA (A) FALLA EN LA BARRA...		1	
IMPEDANCIA DE FALLA(A,R,C,G)...	0.0	0.0	0.0
CORRIENTE TOTAL DE FALLA			
CRTE DE FALLA(0,1,2)	8.261/ -90.00 GRADOS	8.261/ -90.00 GRADOS	8.261/ -90.00 GRADOS
CRTE DE FALLA(A,R,C)	14.308/ -90.00 GRADOS	0.0 / 0.0 GRADOS	0.0 / 0.0 GRADOS
VOLTAJES DE BARRA			
BARRA 1			
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.280/ 180.00 GRADOS	1.007/ -1.78 GRADOS	0.727/ 177.54 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,R,C)	0.000/ 0.0 GRADOS	0.908/ -107.54 GRADOS	0.891/ 103.71 GRADOS
BARRA 2			
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.009/ 180.00 GRADOS	1.611/ -0.16 GRADOS	0.121/ 177.84 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,R,C)	0.855/ 0.0 GRADOS	0.971/ -116.94 GRADOS	0.967/ 116.46 GRADOS
BARRA 3			
VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.072/ 180.00 GRADOS	1.236/ -1.38 GRADOS	0.497/ 176.58 GRADOS
VOLTAJE DE BARRA(A,R,C)	0.386/ 0.0 GRADOS	0.912/ -108.19 GRADOS	0.895/ 104.58 GRADOS
CONTRIBUCIONES DE FALLA			
BARRA..	2 A BARRA...	3 LINEA..	0
CORRIENTE(0,1,2)	0.130/ -90.00 GRADOS	0.589/ -90.25 GRADOS	0.589/ -89.75 GRADOS
CORRIENTE(A,R,C)	0.755/ -90.00 GRADOS	0.267/ 90.00 GRADOS	0.262/ 90.00 GRADOS
BARRA..	1 A BARRA...	2 LINEA..	0
CORRIENTE(0,1,2)	0.130/ 90.00 GRADOS	0.589/ 89.75 GRADOS	0.589/ 90.25 GRADOS
CORRIENTE(A,R,C)	0.755/ 90.00 GRADOS	0.267/ -90.00 GRADOS	0.262/ -90.00 GRADOS
BARRA..	1 A BARRA...	3 LINEA..	0
CORRIENTE(0,1,2)	0.130/ 90.00 GRADOS	0.589/ 89.75 GRADOS	0.589/ 90.25 GRADOS
CORRIENTE(A,R,C)	0.755/ 90.00 GRADOS	0.267/ -90.00 GRADOS	0.262/ -90.00 GRADOS
BARRA..	0 A BARRA...	1 LINEA..	0
CORRIENTE(0,1,2)	8.000/ -90.00 GRADOS	7.023/ -89.96 GRADOS	7.023/ -90.04 GRADOS
CORRIENTE(A,R,C)	12.798/ -90.00 GRADOS	0.534/ -90.00 GRADOS	0.524/ -90.00 GRADOS
BARRA..	0 A BARRA...	2 LINEA..	0
CORRIENTE(0,1,2)	0.261/ -90.00 GRADOS	1.177/ -90.25 GRADOS	1.177/ -89.75 GRADOS
CORRIENTE(A,R,C)	1.510/ -90.00 GRADOS	0.534/ 90.00 GRADOS	0.524/ 90.00 GRADOS

NOMBRE... ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA

FECHA... MARZO 8 1978

FASIS A TIERRA (A) FALLA EN LA BARRA... 3

IMPEDANCIA DE FALLA(A,B,C,G):... 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

CORRIENTE TOTAL DE FALLA

CRETE DE FALLA(0,1,2)	1.751/ -90.00 GRADOS	1.751/ -90.00 GRADOS	1.751/ -90.00 GRADOS
CRPT[ DE FALLA(A,B,C)	3.033/ -90.00 GRADOS	0.0 / 0.0 GRADOS	0.0 / 0.0 GRADOS

VOLTAJES DE BARRA

BARRA					
1					
	VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.017/ 180.00 GRADOS	1.628/ -0.29 GRADOS	0.104/ 175.50 GRADOS	
	VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.870/ 0.0 GRADOS	0.980/ -117.88 GRADOS	0.972/ 117.03 GRADOS	
2					
	VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.044/ 180.00 GRADOS	1.657/ 0.02 GRADOS	0.076/ -179.54 GRADOS	
	VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.887/ 0.0 GRADOS	0.981/ -119.06 GRADOS	0.591/ 119.12 GRADOS	
3					
	VOLTAJE DE BARRA(0,1,2)	0.703/ 180.00 GRADOS	1.218/ -1.57 GRADOS	0.516/ 176.28 GRADOS	
	VOLTAJE DE BARRA(A,B,C)	0.000/ 0.0 GRADOS	1.078/ -126.56 GRADOS	1.040/ 123.60 GRADOS	

CONTRIBUCIONES DE FALLA

BARRA..	2 A BARRA...	3 LINEA..	0		
	CORRIENTE(0,1,2)	0.751/ -90.00 GRADOS	0.730/ -89.61 GRADOS	0.730/ -90.39 GRADOS	
	CORRIENTE(A,B,C)	1.276/ -90.00 GRADOS	0.017/ -90.00 GRADOS	0.007/ -90.00 GRADOS	
BARRA..	1 A BARRA...	2 LINEA..	0		
	CORRIENTE(0,1,2)	0.508/ 90.00 GRADOS	0.042/ 7.44 GRADOS	0.042/ 172.56 GRADOS	
	CORRIENTE(A,B,C)	0.299/ 90.00 GRADOS	0.248/ 90.00 GRADOS	0.332/ 90.00 GRADOS	
BARRA..	1 A BARRA...	3 LINEA..	0		
	CORRIENTE(0,1,2)	1.000/ -90.00 GRADOS	1.021/ -90.28 GRADOS	1.021/ -89.72 GRADOS	
	CORRIENTE(A,B,C)	1.757/ -90.00 GRADOS	0.017/ 90.00 GRADOS	0.007/ 90.00 GRADOS	
BARRA..	0 A BARRA...	1 LINEA..	0		
	CORRIENTE(0,1,2)	0.497/ -90.00 GRADOS	1.016/ -87.92 GRADOS	1.016/ -92.08 GRADOS	
	CORRIENTE(A,B,C)	1.457/ -90.00 GRADOS	0.265/ 90.00 GRADOS	0.339/ 90.00 GRADOS	
BARRA..	0 A BARRA...	2 LINEA..	0		
	CORRIENTE(0,1,2)	1.259/ -90.00 GRADOS	0.736/ -92.88 GRADOS	0.736/ -87.12 GRADOS	
	CORRIENTE(A,B,C)	1.576/ -90.00 GRADOS	0.265/ -90.00 GRADOS	0.339/ -90.00 GRADOS	

## 5.2. SOLUCION DEL PROBLEMA

Si comparamos los resultados de los dos sistemas encontramos las siguientes diferencias:

En el sistema balanceado para una falla trifásica las corrientes de secuencia negativa y cero son nulas como era de esperar. En tanto que para el sistema desbalanceado observamos que hay circulación de corriente en las tres secuencias.

En general, los resultados de los dos sistemas difieren tanto en magnitud como en fase, observando de esta manera la influencia del acoplamiento mutuo entre secuencias debido a la no transposición de las líneas. Esto debe tomarse muy en cuenta porque en muchos casos, la sensibilidad del relé de respaldo de tierra puede causar un falso disparo del disyuntor, haciendo necesaria una forma más cara de protección de respaldo.

Quando se utilizan relés tipo impedancia para protección de líneas, deben investigarse por completo la influencia de las corrientes circulantes desbalanceadas en las características de los relés para varias condiciones de falla. (15)

En el ejemplo analizado se utilizó únicamente la reactancia de las líneas, pero debido a experiencias obtenidas por programas anteriores se ha comprobado que la omisión de estas resistencias producen un gran error en los resultados, especialmente cuando se trata de cables subterráneos o líneas aéreas de longitud apreciable o pequeña sección, puesto que su omisión redundaría no solo en la obtención de una impedancia total demasiado baja, sino que también se obtendría un valor excesivo para el impulso de la corriente de cortocircuito, el cual depende considerablemente de la relación entre la resistencia óhmica y la reactancia del circuito de defecto (17), por lo que en este programa se ha previsto la entrada de estos parámetros.

### 5.3. CONCLUSIONES

De lo analizado en el punto anterior, los resultados obtenidos al utilizar el programa desarrollado en este trabajo, son correctos, siempre y cuando se hagan todas las suposiciones y simplificaciones - que normalmente se hacen para este tipo de estudios.

Con la utilización del método desarrollado puede efectuarse fácilmente un análisis de cortocircuitos exacto para todo tipo de - sistemas de potencia desbalanceados. Además, se puede utilizar el programa para subdividir un sistema muy grande en sistemas equivalentes parciales que pueden luego integrarse o reunirse para hacer el análisis completo del sistema inicialmente planteado.

Los resultados de la matriz impedancia de barra utilizando este programa pueden gravarse en cinta para ser utilizados en estudios de flujo de carga para el mismo sistema, dando de esta manera una mayor utilización práctica al trabajo desarrollado en esta Tesis.

Se recomienda la introducción de algunas mejoras para la optimización del presente trabajo, entre las cuales estaría el caso del estudio de despeje de fallas (11) ( salida y entrada de líneas automáticamente ).

A P E N D I C E

## LISTADO DEL PROGRAMA

El programa de computadora desarrollado, ha sido probado con varios ejemplos obteniéndose buenos resultados. A continuación se dará el listado general del mismo.

Quando se requiera almacenar en cinta los resultados de ZBARRA para estudios de flujos de carga, es necesario incluir la subrutina EDIT y cambiar las instrucciones que se indican en las subrutinas IMPUT, OUTPU, ZB3PM4, como también en el programa principal, por las instrucciones que se dan al final del listado.



C

END

132.

```

SUBROUTINE ERROR (IFR,I,K,IFT)
GO TO (2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30),IFR
2 WRITE (3,32) I
RETURN
4 WRITE (3,34)
RETURN
6 WRITE (3,36)
RETURN
8 WRITE (3,38)
RETURN
10 WRITE (3,40)
RETURN
12 WRITE (3,42)
RETURN
14 WRITE (3,44) K
RETURN
16 WRITE (3,46) K
RETURN
18 WRITE (3,48) K
RETURN
20 WRITE (3,50)
RETURN
22 WRITE (3,52) IFT
RETURN
24 WRITE (3,54)
RETURN
26 WRITE (3,56)
RETURN
28 WRITE (3,58) K
RETURN
30 WRITE (3,60) K
RETURN

```

POLITECNICA

C

```

32 FORMAT (////,15X,'ERROR EN EL ELEMENTO',I3,' DE LOS DATOS',I9=0')
34 FORMAT (////10X,'ERROR EN EL CONTADOR DE BARRAS O EN LA LISTA DE E
  INTRADA')
36 FORMAT (////10X,'OPCION DE IG ES INCORRECTA')
38 FORMAT (////,15X,14H NEGATIVO)
40 FORMAT (////,10X,'ERROR EN LA LISTA DE ENTRADA DE RAMAS',I10X,'EXIS
  ITE UNA O MAS LINEAS AISLADAS DEL SISTEMA')
42 FORMAT (////10X,'ERROR DE LA MAQUINA, RECARGUE LOS DATOS')
44 FORMAT (////10X,'ERROR, MERE NO ESTA EN LA PRIMERA RAMA, K=',I3)
46 FORMAT (////10X,'ERROR, R O O NO ESTAN EN LA LISTA DE BARRAS K=',I
  I3)
48 FORMAT (////10X,'ERROR, P NO ESTA EN LA LISTA DE BARRAS K=',I3)
50 FORMAT (////10X,'LA INVERSA NO ESTA DEFINIDA-NO ES POSIBLE')
52 FORMAT (////10X,'LA BARRA DESFADA',I6,' NO ESTA EN EL SISTEMA EN ES
  TUDIO')
54 FORMAT (////10X,'ESTA AVERIGUANDO POR LA INVERSA DE ZBARRA')
56 FORMAT (////10X,'LA DIMENSION DEL ARREGLO DE ELEMENTOS, LM, ESTA E
  XCEDIDA')
58 FORMAT (////10X,'ERROR EN LOS DATOS, LA RAMA LISTADA EN LA',I3,' TA
  BLA NO SE ENCUENTRA EN LA LISTA DE LOS DATOS MUTUOS')
60 FORMAT (////10X,'NO SE HA OBSERVADO LA FORMA DE DOBLE ENTRADA DE L
  OS DATOS MUTUOS',I5X,'CHEQUEE EL GRUPO',I2,' EN LOS DATOS MUTUOS')
END

```

```

SUBROUTINE INVERT (A,LT)
DIMENSION A(3,3),LT(3)
DO 2 J=1,3
2 LT(J)=0
T1=0
DO 24 M=1,3
DO 3 LL=1,3
IF (LT(LL)-1)4,8,4
4 IF (ABS(A(LL,LL))-ABS(T1))8,8,6
6 T1=A(LL,LL)
K=LL
8 CONTINUE
IF (ABS(T1)-1.E-20) 10,10,12
10 IFO=10
CALL FPROR (IFR,I,K,IFT)
12 T1=0
LT(K)=1
DO 20 I=1,3

```

```

IF (I-K) 14,20,14
14 DO 18 J=1,3
IF (J-K) 16,18,16
16 A(I,J)=A(I,J)-A(I,K)*A(K,J)/A(K,K)
18 CONTINUE
20 CONTINUE
A(K,K)=-1./A(K,K)
DO 24 I=1,3
IF (I-K) 22,24,22
22 A(I,K)=A(I,K)*A(K,K)
A(K,I)=A(K,I)*A(K,K)
24 CONTINUE
DO 26 J=1,3
DO 26 K=1,3
26 A(J,K)=-A(J,K)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE CVERT (A,B,F,F,C,D)
DIMENSION A(3,3),B(3,3),C(3,3),D(3,3),F(3,3),F(3,3),G(3,3),
1H(3,3),S(3,3),T(3,3),U(3,3)
DO 2 J=1,3
DO 2 K=1,3
U(J,K)=-C(J,K)
2 T(J,K)=-C(J,K)
CALL DET (U,H)
IF (ABS(H)-1.E-20) 4,4,8
4 DO 6 J1=1,3
DO 6 K1=1,3
T(J1,K1)=0.
6 U(J1,K1)=-D(J1,K1)
CALL INVVRT (U,G)
GO TO 12

```

```

8 CALL INVVRT (T,G)
CALL MUL (T,D,G)
CALL MUL (D,G,T)
DO 10 J=1,3
DO 10 K=1,3
10 T(J,K)=C(J,K)-T(J,K)
CALL INVVRT (T,H)
CALL MUL (G,T,U)
12 CALL MUL (T,F,G)
CALL MUL (T,F,H)
CALL MUL (U,F,7)
CALL MUL (U,F,S)
DO 14 J=1,3
DO 14 K=1,3
A(J,K)=G(J,K)-T(J,K)
14 R(J,K)=4(J,K)+S(J,K)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE DET (A,B)
DIMENSION A(3,3)
R=A(1,1)*A(2,2)*A(3,3)+A(1,2)*A(2,3)*A(3,1)+A(1,3)*A(2,1)*A(3,2)-
1A(1,3)*A(2,2)*A(3,1)-A(1,1)*A(2,3)*A(3,2)-A(1,2)*A(2,1)*A(3,3)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE MUL (A,B,C)
DIMENSION A(3,3),B(3,3),C(3,3)
DO 2 I=1,3
DO 2 J=1,3
C(I,J)=0.
DO 2 K=1,3
2 C(I,J)=A(I,K)*B(K,J)+C(I,J)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE ZR3PM1
DIMENSION LOP(70), LOP(70), X(70,3,3), R(70,3,3), LOP(70), IL(70),
1 MUI(70), LN(70), LMN(30), LPMN(30), LOMQ(30), LOR(30), LOMP(30), L
2 OS(30), RM(30,3,3), XM(30,3,3), ORUS(30,30,9), XBUS(30,30,9), YP(0
3,9,9), YX(9,9,9), IFOR(30), SIGN(30), LM(36), LOYP(9), LOYO(9), RP
4 ML(3,3), XXML(3,3), RM1(3,3), XM1(3,3), RM2(3,3), XM2(3,3), RNR(3,

```

UNIVERSITA POLITECNICA

LA



```

53) XNR(3,3), H(3,3), TEMP1(3,3), TEMP2(3,3), TEMP4(3,3), TEMP5(3,3),
63) TEMP6(3,3), LQYR), C(3,3), D(3,3), G(3,3), TEMP3(3,3), EQZR(7
7,3), EQZX(3,3), ID(5)
COMMON /7RSCOM/ LOP,LQO,R,X,LOR,IL,MU,LN,LMN,LQMN,LQOQ,LOR,LQMO,LQ
1S,PM,XM,ORUS,XRUS,YR,YX,IFQR,SIGN,LV,LQYQ,LQYQ,RRML,XXVL,PM1,XM1,R
2M2,XM2,PNR,XNR,TEMP1,TEMP2,TEMP3,TEMP4,TEMP5,TEMP6,LQO,C,D,G,H,NR,
3NL,NS,NDEF,NM,NZI,INDB,NFOR,N,I,K,IFR,ICOR,LINK,IT,ITT,J,IC,ICOMU,
4ICOM,III,IPRQG,EQZR,EQZX,IO,IY,IXX
ICOR=2
K=IL(1)
IF (LOR(K)-NDEF) 2,4,2
2 CALL FRPOR (7,I,K,IFT)
4 LOR(2)=LQO(K)
DO 6 J1=1,3
DO 6 K1=1,3
I1=(J1-1)*3+K1
RRUS(1,1,I1)=R(K,J1,K1)
6 XRUS(1,1,I1)=X(K,J1,K1)
I=2
LINK=1
K=IL(1)
IF (MU(K)) 10,8,10
8 RETURN
10 LINK=2
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE INPUT
DIMENSION LOP(70), LQO(70), X(70,3,3), P(70,3,3), LOR(70), IL(70),
1 MU(70), LN(70), LMN(30), LQMN(30), LQOQ(30), LOR(30), LQMP(30), L
2 OS(30), PM(30,3,3), XM(30,3,3), ORUS(30,30,9), XRUS(30,30,9), YR(8
3,8,9), YX(8,8,9), IFQR(30), SIGN(30), LM(36), LQYQ(8), LQYQ(8), PR
4 ML(3,3), XXML(3,3), RM(3,3), XM(3,3), PM2(3,3), XM2(3,3), PNR(3,
53), XNR(3,3), H(3,3), TEMP1(3,3), TEMP2(3,3), TEMP4(3,3), TEMP5(3,
63), TEMP6(3,3), LQO(8), C(3,3), D(3,3), G(3,3), TEMP3(3,3), EQZR(3
7,3), EQZX(3,3), ID(5)
DIMENSION TEMP(3,3), ARG(70,3,3), BRG(70,3,3)
COMMON /7RSCOM/ LOP,LQO,R,X,LOR,IL,MU,LN,LMN,LQMN,LQOQ,LOR,LQMO,LQ
1S,PM,XM,ORUS,XRUS,YR,YX,IFQR,SIGN,LV,LQYQ,LQYQ,RRML,XXVL,PM1,XM1,R
2M2,XM2,PNR,XNR,TEMP1,TEMP2,TEMP3,TEMP4,TEMP5,TEMP6,LQO,C,D,G,H,NR,
3NL,NS,NDEF,NM,NZI,INDB,NFOR,N,I,K,IFR,ICOR,LINK,IT,ITT,J,IC,ICOMU,
4ICOM,III,IPRQG,EQZR,EQZX,IO,IY,IXX
EQUIVALENCE (TEMP(1,1),TEMP1(1,1)),(ARG(1,1,1),ORUS(1,1,1)),(ORU
1(1,1,1),XRUS(1,1,1))
2 READ (1,144) NR,NL,NS,NDEF,IG,NM,NFOR,IPRQG,INDB
NZI=0
DO 4 I=1,70
4 IL(I)=0
DO 6 I=1,NL
6 READ (1,144) LOR(I),LQO(I),LN(I),MU(I),((P(I,J,K),X(I,J,K)),K=1,3),
1J=1,3),((ARG(I,J,K),BRG(I,J,K)),K=1,3),J=1,3)
LOR(1)=LOR(I)
LOR(2)=LQO(I)
J2=2
DO 18 I=2,NL
8 IF (LOR(I)-LQO(I)) 8,178,8
8 J1=J2
DO 10 J=1,J1
10 IF (LOR(I)-LOR(J)) 10,12,10
10 CONTINUE
J2=J2+1
LOR(J2)=LOR(I)
12 DO 14 J=1,J1
12 IF (LQO(I)-LOR(J)) 14,16,14
14 CONTINUE
J2=J2+1
LOR(J2)=LQO(I)
16 IF (J2-NR) 18,18,136
18 CONTINUE
IF (J2-NR) 136,20,136
20 IF (NDEF) 22,24,22
22 IF (IPRQG-3) 86,24,24
24 IF (NS) 26,30,26
26 J1=NL+1
J2=NL+NS
DO 28 I=J1,J2
28 READ (1,148) LOR(I),LQO(I),LN(I),MU(I),((R(I,J,K),X(I,J,K)),K=1,3),
1J=1,3)
GO TO 36

```

```

30 IF (IG) 36,72,76
32 IF (IPROG-3) 134,34,34
34 INDR=0
   GO TO 86
36 IF (IG) 42,78,42
38 IF (IPROG-3) 40,34,74
40 NL=NL+NS
   GO TO 86
42 K=0
   N=NL+NS
   DO 58 I=1,NL
   IF (ABS(ARG(I,1,1))+ABS(ABS(I,1,1))) 44,68,44
44 IF (K) 46,50,46
46 DO 48 J=1,K
   J1=N+J
   IF (LDP(I)-LDO(J1)) 48,54,48
48 CONTINUE
50 K=K+1
   J2=N+K
   LDP(J2)=0
   LDO(J2)=LDP(I)
   MU(J2)=0
   DO 52 JJ=1,3
   DO 52 KK=1,3
   R(J2,JJ,KK)=ARG(I,JJ,KK)
52 X(J2,JJ,KK)=ABS(I,JJ,KK)
   GO TO 58
54 DO 56 JJ=1,3
   DO 56 KK=1,3
   R(J1,JJ,KK)=R(J1,JJ,KK)+ARG(I,JJ,KK)
56 X(J1,JJ,KK)=X(J1,JJ,KK)+ABS(I,JJ,KK)
58 DO 60 J=1,K
   J1=N+J
   IF (LDO(I)-LDO(J1)) 60,64,60
60 CONTINUE
   K=K+1
   J2=N+K
   LDP(J2)=0
   LDO(J2)=LDO(I)
   MU(J2)=0
   DO 62 JJ=1,3
   DO 62 KK=1,3
   R(J2,JJ,KK)=ARG(I,JJ,KK)
62 X(J2,JJ,KK)=ABS(I,JJ,KK)
   GO TO 58
64 DO 66 JJ=1,3
   DO 66 KK=1,3
   R(J1,JJ,KK)=R(J1,JJ,KK)+ARG(I,JJ,KK)
66 X(J1,JJ,KK)=X(J1,JJ,KK)+ABS(I,JJ,KK)
68 CONTINUE
   IF (K) 70,80,70
70 IF (IPROG-3) 72,84,84
72 DO 78 J=1,K
   J1=N+J
   DO 76 JJ=1,3
   DO 76 KK=1,3
   C(JJ,KK)=0.
   D(JJ,KK)=0.
   G(JJ,KK)=R(J1,JJ,KK)
   H(JJ,KK)=X(J1,JJ,KK)
   IF (JJ-KK) 76,74,76
74 C(JJ,KK)=1.
76 CONTINUE
   CALL CVFRT (G,H,C,D,G,H)
   DO 78 JJ=1,3
   DO 78 KK=1,3
   R(J1,JJ,KK)=G(JJ,KK)
78 X(J1,JJ,KK)=H(JJ,KK)
80 IF (IPROG-3) 82,84,84
82 NL=N+K
   GO TO 86
84 INDR=K
86 IF (NM) 88,92,88
88 DO 90 I=1,NM
90 READ(1,150) LOMP(I),LDMO(I),LPMN(I),LOR(I),LOS(I),LPM(I),((R4(I,JJ
1,KK),X4(I,JJ,KK),KK=1,3),JJ=1,3)
92 CONTINUE
   LDB(1)=NREF
   TP=NRFF
   K=0

```

POLITECHNICA

POLITECHNICA



```

4 ICOR,1(1,IPROG,FOZR,FOZX,IND,IV,IXX
  GN TN (84,92,4,4,4,4,2), LINK
2 IXX=0
  WRITE (1,100)
4 IF (NEOR) 6,4,6
  WRITE (1,102)
  GN TN 4
6 WRITE (1,104) TD
8 WRITE (1,105) NRFF
  IF (NEOR) 10,12,10
10 WRITE (1,112)
  WRITE (1,114) (FOF(I),I=1,NEOR)
12 WRITE (1,116)
  WRITE (1,118)
  IF (1-IPROG) 14,14,16
14 ITX=NL+NS+INDR
  GN TN 18
16 ITX=NL
18 DN 20 I=1,ITX
20 WRITE (1,120) LOP(I),LNO(I),((P(I,J,K),XI,J,K),K=1,3),J=1,3)
22 IF (NM) 22,26,22
  WRITE (1,100)
  WRITE (1,122)
  WRITE (1,124)
  DN 24 I=1,NM
24 WRITE (1,126) LMP(I),LMO(I),LOP(I),LOS(I),((P(I,J,K),XM(I,J,K),
  K=1,3),J=1,3)
26 WRITE (1,100)
  IF (IPROG,NE,0) GO TO 94
27 LL=0
  K=1
  JJ=0
  IF (NEOR) 32,28,32
28 DN 30 I=2,ICOR
  FQR(I-1)=LOR(I)
30 CONTINUE
  MW=ICOR-1
  GN TN 24
32 MW=NEO3
  GN 28 29-N-1,MW
  GN 36 I=2,ICOR
  IF (FOI(N)-LOR(I)) 26,29,26
36 CONTINUE
  FTF=FOF(N)
  FQI-1
  CALL FROOP (FQI,I,K,FT)
38 IL(N)=K
  IF (FOI) 40,42,40
40 LIL=ICOR+N
  LIL,IL)=1
  WRITE (1,128) IEO(N),K
42 LIL=L+1
44 JJ=JJ+1
  IF (IXY) 50,46,50
46 DN 48 L=2,ICOR
  IF (FOI(JJ)-LOR(L)) 48,54,48
48 CONTINUE
  IFT=EOI(JJ)
  FQI=11
  CALL FROOP (FQI,I,K,FT)
50 DN 52 I1=1,0
  POU5(ICOI,ICOR,I1)=VP(JJ,N,I1)
52 XOU5(ICOI,ICOR,I1)=YX(JJ,N,I1)
  GN TN 50
54 POU5(ICOI,ICOR,I1)=POU5(L-1,I-1,I1)
56 XOU5(ICOI,ICOR,I1)=XOU5(L-1,I-1,I1)
58 WRITE (1,130) IFOI(JJ),POU5(ICOI,ICOR,I1),XOU5(ICOI,ICOR,I1),I1=1
  1,0)
  LL=L+4
  IF (M-JJ) 54,64,60
60 IF (54-LL) 62,62,44
62 WRITE (1,100)
  LL=2
  K=1
  WRITE (1,132) IFOI(N),K
  GN TN 44
64 WRITE (1,134)

```

LE=LL+3  
IF (53-LL) 66,66,68  
WRITE (3,100)

LL=0  
KEX+1

68 JJ=0  
70 CONTINUE  
WRITE (3,100)  
WRITE (3,136)  
WRITE (3,134) (IEQB(I),IL(I),I=1,MM)  
WRITE (3,100)  
LINK=3

IF (INDR) 72,94,72  
72 LINK=1

74 IF (NEQ9) 76,74,76  
IFR=12

76 CALL ERROR (IFR,I,K,IFT)

78 IF (IXX-1) 80,90,79  
IFR=6

80 CALL ERROR (IFR,I,K,IFT)

IXX=1  
DN 96 J=1,NEQR  
IL=ICOR+J

DN 94 K=1,NFOR  
ILA=ICOR+K

ME=IL(ILI)-1  
MM=IL(IIA)-1

DN 92 II=1,9  
YR(J,K,II)=RRUS(M,MM,II)

82 YX(J,K,II)=X9US(M,MM,II)

84 CONTINUE

86 CONTINUE  
GN TO 94

88 WRITE (3,100)  
WRITE (3,140)

90 LINK=2  
GN TO 27

92 LINK=0  
GN TO 94

94 WRITE (3,100)  
WRITE (3,142)

96 IF (IXX-1) 96,98,96  
96 LINK=3

\*\*\*\*\*  
FN ESTE SITIO SE NECESITA TADJETAS ADICIONALES PARA CUANDO SE  
REQUIERA ALMACENAR EN CINTA  
\*\*\*\*\*

98 RETURN

100 FFORMAT (IHI)  
102 FFORMAT (//IHO,25X,ANUMROT,.,.,CALCULO DE 7-GARRA\*)

104 FFORMAT (//IHO,25X,ANUMROT,.,.,CALCULO DE 7-EN\*)  
106 FFORMAT (IHO,25X,QUEFCHA,.,.,54)

110 FFORMAT (IHO,3X,GRAPA DE REFERENCIA,.,.,16)  
112 FFORMAT (IHO,4LAS GRAPAS EQUIVALENTES SON-7\*)

114 FFORMAT (//3X,DATA5 DEL SISTEMA\*)  
116 FFORMAT (IHO,13X,GRAPA A GRAPA,.,.,RESISTENCIA,.,.,3X,.,REACTANCIA,.,.

118 FFORMAT (IHO,13X,GRAPA A GRAPA,.,.,RESISTENCIA,.,.,3X,.,REACTANCIA,.,.

120 FFORMAT (IHO,11X,I6,4X,I6,3X,3(7X,F11.5,1X,F11.5)/30X,3(7X,F11.5,1X

122 FFORMAT (//74X,.,.DATOS DE ACODPLAMIENTOS MUTUOS,./)

124 FFORMAT (IHO,5X,.,LINEA,.,.,5X,.,.,5X,.,.,LINEA,.,.,12X,.,.,RESISTENCIA,.,.,3X,.,DEFA

126 FFORMAT (//IHO,I6,1X,I6,3X,I6,1X,I6,34X,F10.5,2X,F10.5)/30X,3(8X,F1

128 FFORMAT (//IHO,10X,I6,94X,F10.5,2X,F10.5)

130 FFORMAT (//24X,I6,3(7X,F11.5,1X,F11.5)/70X,3(7X,F11.5,1X,F11.5)/70X,.

132 FFORMAT (IHO,10X,I6,.,.,CONTINUACION,.,.,78X,.,PAGINA,.,.,12)

134 FFORMAT (//71HO)

136 FFORMAT (IHO,43X,.,GHINDICE,./)

138 FFORMAT (4(5X,I6,.,.,PAGINA,.,.,12)/)

140 FFORMAT (//IHO,25X,.,NUMPRE,.,.,CALCULO DE 7-EL,.)  
142 FFORMAT (//IHO,25X,.,NUMPRE,.,.,CALCULO DE 7-EL,.)  
END

CCCCC

LA POLITEC

```

SUBROUTINE TEL (NEGR,YR,YX,INDI,INDJ)
DIMENSION YR(INDI,INDI,INDJ), YX(INDI,INDI,INDJ), A(3,3), R(3,3),
1(3,3), D(3,3), F(3,3), E(3,3)
DN 44 JI=1,NEGR
DN 2 JI=1,3
DN 2 KI=1,3
AKJI(KI)=0.
2 RJJI(KI)=0.
DN 5 KI=1,NEGR
DN 4 JI=1,3
DN 4 KI=1,3
I1=(JI-1)*3+KI
AJJI,KIY=A(JI,KI)+YR(J,K,II)
4 R(JI,KI)=B(JI,KI)+YX(J,K,II)
6 CONTINUE
DN 8 JI=1,3
DN 8 KI=1,3
C(JI,KI)=A(JI,KI)
8 CALL DET (C,FE)
CALL DET (D,EE)
EO=EE**3+FE**2
FOA=ARS(FO)
FO2=SQRT(FOA)
10 IF (FO2-1.E-14) 10,19,18
DN 16 JI=1,3
DN 16 KI=1,3
I1=(JI-1)*3+KI
IF (JI-KI) 12,14,12
12 YR(J,J,II)=0.
YX(J,J,II)=0.
GN TN 15
14 YR(J,J,II)=9999.9999
YX(J,J,II)=9999.9999
16 CONTINUE
GN TN 44
18 DN 26 JI=1,3
DN 26 KI=1,3
IF (JI-KI) 22,20,22
20 C(JI,KI)=1.
GN TN 24
22 C(JI,KI)=0.
24 R(JI,KI)=0.
26 CALL TVEBT (A,R,C,D,A,R)
DN 42 JI=1,3
DN 42 KI=1,3
IF (ARST(AJI,JI))-1000.) 28,34,34
28 IF (ARST(AJI,JI))-1000.) 30,34,34
30 IF (ARST(AJI,JI))-1000.) 32,34,34
32 IF (ARST(RKI,KI))-1000.) 40,34,34
34 IF (JI-KI) 36,38,36
R(KI,JI)=0.
AKI,JI)=0.
R(KI,JI)=0.
GN TN 40
38 AJJI,KI)=9999.9999
RJI,KI)=9999.9999
40 CONTINUE
YI=(JI-1)*3+KI
YPI,J,IIY=A(JI,KI)
42 YX(I,J,II)=R(JI,KI)
44 CONTINUE
DN 46 JI=1,NEGR
DN 46 KI=1,NEGR
IF (J-K) 46,84,46
DN 48 JI=1,3
DN 48 KI=1,3
YI=(JI-1)*3+KI
AJJI,KI)=-YR(J,K,II)
RJI,KI)=-YX(J,K,II)
C(JI,KI)=A(JI,KI)
N(JI,KI)=R(JI,KI)
48 CALL DET (C,FE)
CALL DET (D,EE)
FO=EE**3+FE**2
FOA=ARS(FO)

```

139A

ROUTED

```

EQ2=SQRT(FOA)
IF (EQ2-1.E-14) 50,58,58
50 DO 56 J1=1,3
   DO 56 K1=1,3
   I1=(J1-1)*3+K1
   IF (J1-K1) 52,54,52
52 YP(J,K,I1)=0.
   YX(J,K,I1)=0.
   GO TO 56
54 YR(J,K,I1)=0.0000,0.0000
   YX(J,K,I1)=0.0000,0.0000
56 CONTINUE
   GO TO 84
58 DO 66 J1=1,3
   DO 66 K1=1,3
   IF (J1-K1) 62,60,62
60 C(J1,K1)=1.
   GO TO 64
62 C(J1,K1)=0.
64 D(J1,K1)=0.
66 CONTINUE
   CALL CVFPT (A,B,C,D,A,B)
   DO 82 J1=1,3
   DO 82 K1=1,3
   IF (ABS(A(J1,J1))-1000.) 68,74,74
68 IF (ABS(R(J1,J1))-1000.) 70,74,74
70 IF (ABS(A(K1,K1))-1000.) 72,74,74
72 IF (ABS(R(K1,K1))-1000.) 80,74,74
74 IF (J1-K1) 76,78,76
76 A(J1,K1)=0.
   R(J1,K1)=0.
   A(K1,J1)=0.
   R(K1,J1)=0.
   GO TO 80
78 A(J1,K1)=0.0000,0.0000
   R(J1,K1)=0.0000,0.0000
80 CONTINUE
   I1=(J1-1)*3+K1
   YP(J,K,I1)=A(J1,K1)
82 YX(J,K,I1)=R(J1,K1)
84 CONTINUE
86 CONTINUE
   RETURN
   END

```

```

SUBROUTINE INVRT (YP,YX,IR,IO,L)
DIMENSION YP(IR,IO,IO), YX(IO,IO,IO), LT(10), A(3,3), B(3,3), C(3,
13), D(3,3), E(3,3), F(3,3), G(3,3), H(3,3), S(3,3), T(3,3), U(3,3)
DO 2 J=1,L
2 LT(J)=0
   T1=0.
   DO 44 M=1,L
   DO 10 LL=1,L
   IF (LT(LL)-1) 4,10,4
4 DO 6 J1=1,3
   DO 6 K1=1,3
   I1=(J1-1)*3+K1
   A(J1,K1)=YP(LL,LL,I1)
6 R(J1,K1)=YX(LL,LL,I1)
   CALL DET (A,CC)
   CALL DEF (B,DD)
   AA=CC*2+DD*2
   IF (AA-T1) 10,10,8
8 T1=AA
   K=LL
10 CONTINUE
   IF (T1-1.E-32) 12,12,14
12 IFR=10
   CALL ERFOR (IFR,I,K,IFT)
14 T1=0.
   LT(K)=1
   DO 26 I=1,L
   IF (I-K) 16,26,16
16 DO 24 J=1,L
   IF (J-K) 18,24,18
18 DO 20 J1=1,3
   DO 20 K1=1,3
   I1=(J1-1)*3+K1
   C(J1,K1)=YR(K,K,I1)

```

RECEIVED  
POLYMER  
LABORATORY

WLA

```

D(J1,K1)=YX(K,K,I1)
F(J1,K1)=YR(K,J,I1)
F(J1,K1)=YX(K,J,I1)
G(J1,K1)=YP(I,K,I1)
20 H(J1,K1)=YX(I,K,I1)
CALL CVFPT (A,B,E,F,C,D)
CALL MUL (G,A,C)
CALL MUL (G,B,F)
CALL MUL (H,A,D)
CALL MUL (H,A,F)
DO 22 J1=1,3
DO 22 K1=1,3
I1=(J1-1)*3+K1
YR(I,J,I1)=YR(I,J,I1)-C(J1,K1)+D(J1,K1)
22 YX(I,J,I1)=YX(I,J,I1)-F(J1,K1)-F(J1,K1)
24 CONTINUE
26 CONTINUE
DO 34 J1=1,3
DO 34 K1=1,3
I1=(J1-1)*3+K1
IF (J1-K1) 30,29,30
28 E(J1,K1)=1.
GO TO 32
30 E(J1,K1)=0.
32 F(J1,K1)=0.
C(J1,K1)=-YR(K,K,I1)
34 D(J1,K1)=-YX(K,K,I1)
CALL CVFPT (A,B,F,F,C,D)
DO 36 J1=1,3
DO 36 K1=1,3
I1=(J1-1)*3+K1
YR(K,K,I1)=A(J1,K1)
36 YX(K,K,I1)=R(J1,K1)
DO 44 I=1,L
IF (I-K) 38,44,38
38 DO 40 J1=1,3
DO 40 K1=1,3
I1=(J1-1)*3+K1
E(J1,K1)=YR(I,K,I1)
F(J1,K1)=YX(I,K,I1)
C(J1,K1)=YR(K,I,I1)
40 D(J1,K1)=YX(K,I,I1)
CALL MUL (C,A,G)
CALL MUL (F,B,H)
CALL MUL (C,B,F)
CALL MUL (F,A,S)
CALL MUL (A,C,F)
CALL MUL (B,C,T)
CALL MUL (B,D,C)
CALL MUL (A,D,U)
DO 42 J1=1,3
DO 42 K1=1,3
I1=(J1-1)*3+K1
YR(I,K,I1)=C(J1,K1)-F(J1,K1)
YR(K,I,I1)=C(J1,K1)-C(J1,K1)
YX(I,K,I1)=H(J1,K1)+S(J1,K1)
42 YX(K,I,I1)=T(J1,K1)+U(J1,K1)
44 CONTINUE
DO 48 J=1,L
DO 48 K=1,L
DO 46 I1=1,9
YR(J,K,I1)=-YR(J,K,I1)
46 YX(J,K,I1)=-YX(J,K,I1)
48 CONTINUE
RETURN
END

```

## SUBROUTINE ZR3PM4

```

DIMENSION LOR(70), LQQ(70), X(70,3,3), Q(70,3,3), LOR(70), IL(70),
1 MU(70), LN(70), LMN(30), LPMN(30), LQVQ(30), LQR(30), LQWQ(30), L
2 QS(30), RM(30,3,3), XY(30,3,3), RBUS(30,30,2), XBUS(30,30,9), YR(3
3,3,9), YX(3,3,9), IEOR(30), SIGN(30), LM(36), LOYP(2), LOYQ(2), RP
4 ML(3,3), XXML(3,3), PM1(3,3), XH1(3,3), RM2(3,3), XM2(3,3), RNP(3,
53), XNR(3,3), H(3,3), TEMP1(3,3), TEMP2(3,3), TEMP3(3,3), TEMP4(3,
63), TEMP5(3,3), LQW(3), LQV(3), C(3,3), D(3,3), G(3,3), TEMP2(3,3), EQZP(3
7,3), EQZX(3,3), ID(5)
COMPLEX YZ(3,3,9)
COMMON /ZR3PM4/ LOR,LQQ,R,X,LOR,IL,MU,LN,LMN,LPMN,LQWQ,LQR,LQWQ,LQ
1S,RM,XY,RBUS,XBUS,YR,YX,IEOR,SIGN,LM,LOYP,LOYQ,RPML,XXML,PM1,XY1,P

```



2M2,XM2,DNR,XNR,TFWD1,TFWD2,TFWD3,TFWD4,TFWD5,TFWD6,LM,G,N,G,H,NS,  
3NL,NS,NPF,AM,NZI,INDR,NEGR,N,I,K,IFR,ICR,LINK,IT,ITF,J,IC,ICDMU,  
4ICDM,IT,IPPOG,F07R,F0ZX,TD,IV,IXX

142.

```
2 IC=1
  DN 4 L7=1,36
 4 LM(L7)=0
  LM(I)=K
  LM(J)=K
  ICDM=1
  ICDM=J
 5 J=1 (LN(K)-LMO(J)) 14,10,14
 8 IF (LN(K)-LMO(J)) 14,12,14
10 IF (LN(K)-LMO(J)) 14,26,14
12 IF (LPM(J)-LN(K)) 14,26,14
14 IF (LNP(K)-LMO(J)) 20,18,20
16 IF (LNO(K)-LMO(J)) 20,18,20
18 IF (LPM(J)-LN(K)) 20,26,20
20 IF (J-NM) 22,24,22
22 J=J+1
  GN TN 9
24 CALL ERROR (14,I,K,IFT)
26 IF I=1-1
  LE=1
28 LE=LL
  IF (LNR(J)-LOP(LL)) 74,30,74
30 IF (LDS(J)-LOO(LL)) 74,32,34
32 IF (LMI(J)-LN(LL)) 34,52,34
34 IF (LNP(J)-LNO(LL)) 40,36,40
36 IF (LNS(J)-LOP(LL)) 40,38,40
38 IF (LNM(J)-LN(LL)) 40,54,40
40 IF (L-IE) 42,44,42
42 L=L+1
  GN TN 28
44 IF (ICDM-MU(K)) 92,46,90
45 IF (IC-ICM) 92,48,92
48 IF (IC-1) 94,50,94
50 LINK=1
  RETURN
52 IF (LNP(K)-LMO(J)) 56,58,56
54 IF (LNP(K)-LMO(J)) 56,58,56
56 SIGN(J)=-1,
  GN TN 40
58 SIGN(J)=1,
50 JJ=1
62 M=(JJ-1)*(2*N7I-JJ)/2+JJ
  IF (LW(M)-L) 58,64,68
64 IF (ICDM-MU(K)) 90,66,90
66 IF (IC-ICM) 92,94,92
68 KK=IC-1
  IF (JJ-KK) 70,72,72
70 JJ=JJ+1
  GN TN 62
72 KK=IC+1
74 JJ=KK
  M=(JJ-1)*(2*N7I-JJ)/2+JJ
  IF (LW(M)-L) 78,76,78
75 ICDM=JJ
  GN TN 84
78 IF (ICM-JJ) 82,82,80
  GN TN 74
90 JJ=JJ+1
  ICDM=ICM+1
  IF (ICM-N7I) 86,86,84
94 CALL ERROR (13,I,K,IFT)
96 ICDM=ICM
  M=(ICM-1)*(2*N7I-ICM)/2+ICM
  LM(M)=LL
  M=(IC-1)*(2*N7I-IC)/2+ICDM
  LW(M)=J
  IF (ICDM-MU(K)) 90,92,90
90 ICDM=ICDM+1
  GN TN 20
92 IC=IC+1
  M=(IC-1)*(2*N7I-IC)/2+IC
  K=LW(M)
  ICDM=1
  GN TN 6
94 IJ=0
  MUC=0
```

```

MUC=0
DO 100 IIT=1,ICDM
  IIL=IIT+1
  IF (IIT.EQ.ICDM) GO TO 98
  DO 96 IP=IIL,ICDM
  M=((IIT-1)*(16-IIT))/2+10
  96 IF (LM(M).NF.0) MUUC=MUUC+1
  98 KK=LDM(IIT)
  100 MUC=MUC+MU(KK)
  IF (MUC.EQ.2*MUUC) IJ=1
  MUC=MUC/2
  DO 145 J=1,ICDM
  J9=J+1
  N1=((J-1)*(2*NZI-J))/2
  M1=N1+J
  M2=LDM(M1)
  DO 102 J1=1,3
  DO 102 K1=1,3
  I1=(J1-1)*3+K1
  YP(J,J,I1)=P(M2,J1,K1)
  102 YX(J,J,I1)=X(M2,J1,K1)
  IF (J-ICDM) 104,146,146
  104 DO 144 J2=J9,ICDM
  M1=N1+J2
  M2=LDM(M1)
  IF (M2) 110,106,110
  106 DO 108 J1=1,3
  DO 108 K1=1,3
  I1=(J1-1)*3+K1
  YR(J,J2,I1)=0.
  YR(J2,J,I1)=0.
  YX(J,J2,I1)=0.
  108 YX(J2,J,I1)=0.
  GO TO 144
  110 IF (LOR(M2)-LOMP(M2-1)) 124,112,124
  112 IF (LOS(M2)-LOMQ(M2-1)) 124,114,124
  114 IF (LMN(M2)-LPMN(M2-1)) 124,116,124
  116 IF (LOMP(M2)-LOR(M2-1)) 124,118,124
  118 IF (LOMQ(M2)-LOS(M2-1)) 124,120,124
  120 IF (LPMN(M2)-LMN(M2-1)) 124,122,124
  122 M3=M2-1
  GO TO 140
  124 IF (LOR(M2)-LOMP(M2+1)) 138,126,138
  126 IF (LOS(M2)-LOMQ(M2+1)) 138,128,138
  128 IF (LMN(M2)-LPMN(M2+1)) 138,130,138
  130 IF (LOMP(M2)-LOR(M2+1)) 138,132,138
  132 IF (LOMQ(M2)-LOS(M2+1)) 138,134,138
  134 IF (LPMN(M2)-LMN(M2+1)) 138,136,138
  136 M3=M2+1
  GO TO 140
  138 CALL ERROR (15,I,M2,(ST)
  140 DO 142 J1=1,3
  DO 142 K1=1,3
  I1=(J1-1)*3+K1
  YR(J,J2,I1)=SIGN(M2)*DM(M2,J1,K1)
  YR(J2,J,I1)=SIGN(M2)*DM(M3,J1,K1)
  YX(J,J2,I1)=SIGN(M2)*XM(M2,J1,K1)
  142 YX(J2,J,I1)=SIGN(M2)*XM(M3,J1,K1)
  144 CONTINUE
  146 CONTINUE

```

POWERS (9) (10) (11) (12)

C  
C  
C  
C

E

```

TARJETAS ENTRE ASTERISCOS - CAMBIAR CUANDO SE REQUIERA ALMACENAR
EN CINTA
*****
CALL INVT (YP,YX,8,9,ICDM)
DO 145 KK2=1,ICDM
DO 145 KK1=1,ICDM
DO 145 KK3=1,9
  145 YZ(KK1,KK2,KK3)=CMPLY(YP(KK1,KK2,KK3),YX(KK1,KK2,KK3))
  IF (IJ.EQ.1.AND.IDRNG.NF.0) WRITE (9) MUC,ICDM,(LDM(JJ1),JJ1=1,9),
  I((YZ(I,JJ,KK),I=1,9),JJ=1,9),KK=1,9)
  *****
  III=0
  DO 144 J=2,ICDM
  KK=LDM(J)
  IF (LOR(KK)-NREF) 148,156,148
  148 DO 150 J9=2,ICDM
  IF (LOR(KK)-LOR(J9)) 150,154,150
  150 CONTINUE

```

```

152 K=KK
CALL EOPNR (9,I,K,IFT)
154 JJ=J-1
LVO(JJ)=J9
GN TD 15A
156 JJ=J-1
LVO(JJ)=0
15A DN 160 J2=2*ICNR
TE (LNO(KK)-LNR(J2)) 160,162,160
160 CONTINUE
GN TD 152
162 LVO(JJ)=J2
164 CONTINUE
LINK=2
N=1
RETURN
END

SUBROUTINE ZAPPM6
DIMENSION LNP(70), LNR(70), X(70,3,3), R(70,3,3), LPR(70), IL(70),
1 MU(70), LN(70), LMI(30), LPM(30), LMO(30), LNR(30), LNO(30), L
2 NS(70), PM(70,7,7), XM(70,3,7), PRUS(30,70,9), XRS(70,70,9), YR(8
3 ,9,9), YX(R,9,9), IGR(30), SIGN(30), LM(5), LVO(9), PO
4 ML(7,7), XXML(7,7), PM(3,3), DM2(3,7), XM2(3,3), XNR(3,
5 7), XNR(3,7), H(3,3), FMO(3,7), FMO2(3,7), FMO4(3,3), FMO5(7,
6 3), FMO6(3,7), LMI(9), C(7,7), D(3,3), G(3,3), FMP3(7,7), FQZD(3
7 ,7), FQZX(7,7), LQ(5)
COMMON /ZAPCM7 LNP,LNQ,P,X,LDB,LX,MU,LN,LMN,LPM,LMO,LNP,LMP,LN
1 S,PM,XM,PRUS,XRS,YR,YX,ICNR,SIGN,LM,LVO,LYO,OPML,XXML,SMI,XMI,SR
2 ML,NS,NOPE,NG,NZ,I,INDR,NEOR,N,I,K,IFR,ICNR,LINK,IT,ITT,J,IC,ICMU,
3 AFRM,IT,IPRG,FQZR,FQZX,IO,IY,IX
4 DN 4 J1=1,3
5 DN 4 K1=1,3
6 RM(J1,K1)=0.
7 PM(J1,K1)=0.
8 XM(J1,K1)=0.
9 FI=ICOM-1
10 TN 20 L=1, 11
11 JJ=LVO(L)-1
12 IF(JJ+1) 10,5,10
13 DN 9 J1=1,3
14 DN 9 K1=1,3
15 C(J1,K1)=0.
16 G(J1,K1)=0.
17 H(J1,K1)=0.
18 R(J1,K1)=0.
19 GN TD 14
20 DN 12 J1=1,3
21 DN 12 K1=1,3
22 I1=(J1-1)*T+K1
23 C(J1,K1)=PRUS(N,JJ,I1)
24 D(J1,K1)=XRS(N,JJ,I1)
25 H(J1,K1)=PRUS(JJ,N,I1)
26 H(J1,K1)=XRS(JJ,N,I1)
27 W=LVO(L)-1
28 DN 16 J1=1,3
29 DN 16 K1=1,3
30 I1=(J1-1)*T+K1
31 FQZD(J1,K1)=C(J1,K1)-PRUS(N,JI,I1)
32 FQZX(J1,K1)=N(J1,K1)-XRS(N,M,I1)
33 C(J1,K1)=G(J1,K1)-PRUS(M,N,I1)
34 D(J1,K1)=H(J1,K1)-XRS(M,N,I1)
35 FMDI(J1,K1)=VD(L+1,I1)
36 FMD2(J1,K1)=VX(L+1,I1)
37 FMD4(J1,K1)=VY(L+1,I1)
38 FMD4(J1,K1)=VY(L+1,I1)
39 CALL MUL (FQZD, FMO1, FMO5)
40 CALL MUL (FQZX, FMO2, FMO6)
41 CALL MUL (FQZD, FMO3, FMO1)
42 CALL MUL (FQZX, FMO4, FMO2)
43 CALL MUL (FMD3, D, FQZR)
44 CALL MUL (FMD4, D, FMD3)
45 DN 19 J1=1,3
46 DN 19 K1=1,3
47 I1=(J1-1)*T+K1

```







```

27 WDLT(3,23) L INK
27 ENQWAT(5X,4) L INK=*, I2)
28 GO TO (10,10,10,10,70,2) *L INK
24 DO 26 J1=1,3
24 DO 26 K1=1,3
24 PBL(J1,K1)=0.
26 XXWL(J1,K1)=0.
26 IF (ITT) PA,22,28
28 DO 30 J1=1,3
28 DO 30 K1=1,3
28 PBL(J1,K1)=QIK*J1*K1)
30 XXWL(J1,K1)=XIK*J1*K1)
30 GO TO 52
32 I=ICNR-1
32 DO 48 M=1,11
32 JE=LHYO(WL)
34 DO 35 J1=1,3
34 DO 36 K1=1,3
34 C(J1,K1)=0.
36 N(J1,K1)=0.
38 GO TO 42
38 J5=J5-1
38 DO 40 J1=1,3
38 DO 40 K1=1,3
38 I1=INC(J1)
38 C(J1,K1)=RAUS(J5,ICNR,11)
40 D(J1,K1)=XRUS(J5,ICNR,11)
42 J6=WL*1
42 DO 44 J1=1,3
42 DO 44 K1=1,3
42 I1=INC(J1)
42 EQZ(J1,K1)=C(J1,K1)-RAUS(J6,ICNR,11)
42 EQZX(J1,K1)=N(J1,K1)-XRUS(J6,ICNR,11)
42 TEMO1(J1,K1)=VTR(IJ,11)
42 TEMO2(J1,K1)=VX(IJ,11)
42 CALL MHL (TEMO1, EQZR, TEMO3)
42 CALL MHL (TEMO2, EQZX, TEMO4)
42 CALL MHL (TEMO3, EQZR, TEMO5)
42 CALL MHL (TEMO4, EQZX, TEMO6)
42 DO 46 J1=1,3
42 DO 46 K1=1,3
42 DDWL(J1,K1)=DDWL(J1,K1)+TEMO3(J1,K1)-TEMO4(J1,K1)
42 DDWL(J1,K1)=DDWL(J1,K1)+TEMO5(J1,K1)+TEMO6(J1,K1)
48 CONTINUE
48 DO 50 J1=1,3
48 DDWL(J1,K1)=DDWL(J1,K1)+1.
48 DO 50 K1=1,3
48 I1=INC(J1)
48 G(J1,K1)=VD(IJ,1,11)
48 H(J1,K1)=VX(IJ,1,11)
48 CALL CVTOT (DDWL,XXWL,DDWL,XXWL,G,H)
52 IF (ITT) 59,54,58
54 DO 54 J1=1,3
54 DO 54 K1=1,3
54 C(J1,K1)=0.
54 N(J1,K1)=0.
54 GO TO 62
58 M=J2-1
58 DO 50 J1=1,3
58 DO 50 K1=1,3
58 I1=INC(J1)
58 C(J1,K1)=ORUS(M,ICNR,11)
58 D(J1,K1)=XRUS(M,ICNR,11)
58 M=J-1
58 DO 64 J1=1,3
58 DO 64 K1=1,3
58 I1=INC(J1)
58 PBL(J1,K1)=C(J1,K1)-RAUS(M,ICNR,11)+PBL(J1,K1)
58 XAUS(ICNR,ICNR,11)=D(J1,K1)-XRUS(M,ICNR,11)+XXWL(J1,K1)
58 DO 66 K1=1,3
58 IF (Q(K,K1)*K1) *LT.500. *AND.*X(K,K1,K1) *LT.500.) GO TO 66
58 RAUS(ICNR,ICNR,11)=1.*E35
58 XAUS(ICNR,ICNR,11)=1.*E35
58 CONTINUE
58 GO TO 84
58 ITT=0
58 IX=ICNR-1

```

Received  
 1964  
 10/11







```

IRC=0
DO 10 J=1,13
IF (IFRUS(J).EQ.1STOP) GO TO 12
10 IRC=IRC+1
12 READ (1,32) YFA1,IFA2,(ZF(I),I=1,4)
IF (IFA2-1) 16,14,26
14 CALL YFALT (ZF,T,TC,YFAULT,IPROG)
16 DO 24 J=1,IRC
IX=21
DO 18 K=1,NB
KK=K+1
18 IF (LOG(KK).EQ.IFRUS(J)) IRUS=K
WRITE (3,34)
WRITE (3,36)
WRITE (3,40) ID
IF (IFA1.EQ.1) PRINT 42,(NOMA(JJ),JJ=1,6),IFRUS(J)
IF (IFA1.EQ.2) PRINT 42,(NOMR(JJ),JJ=1,6),IFRUS(J)
IF (IFA1.EQ.3) PRINT 42,(NOMC(JJ),JJ=1,6),IFRUS(J)
IF (IFA1.EQ.4) PRINT 42,(NOMD(JJ),JJ=1,6),IFRUS(J)
IF (IFA1.EQ.5) PRINT 42,(NOME(JJ),JJ=1,6),IFRUS(J)
IF (IFA1.EQ.6) PRINT 42,(NOMF(JJ),JJ=1,6),IFRUS(J)
IF (IFA1.EQ.7) PRINT 42,(NOMG(JJ),JJ=1,6),IFRUS(J)
IF (IFA1.EQ.8) PRINT 42,(NOMH(JJ),JJ=1,6),IFRUS(J)
IF (IFA1.EQ.9) PRINT 42,(NOMI(JJ),JJ=1,6),IFRUS(J)
IF (IFA1.EQ.10) PRINT 42,(NOMJ(JJ),JJ=1,6),IFRUS(J)
IF (IFA1.EQ.11) PRINT 42,(NOMK(JJ),JJ=1,6),IFRUS(J)
WRITE (3,44) (ZF(I),I=1,4)
IF (IFA2.EQ.0) GO TO 20
CALL IFALT (YFAULT,PRUS,XRUS,IRUS,YFAULT,TC,T,FFAULT,IPROG,IX)
GO TO 22
20 CALL BOLFAL (YFAULT,IRUS,PRUS,XRUS,TC,T,FFAULT,IPROG,IFA1,IX)
22 CALL FFALT (YFAULT,TC,NR,IRUS,FFAULT,LOG,RRUS,XRUS,T,IPROG,IX)
CALL ILINE (FFAULT,LOG,LOG,LN,P,X,MU,LOG,TC,NR,NL,NM,NOFF,I,T,IY,I
1 PROG,LOW,YR,YX,IX)
REWIND 8
24 CONTINUE
REWIND 8
GO TO 12
26 RETURN
30 FORMAT (13F6)
32 FORMAT (12,F1X,11,4(1X,2F9.5))
34 FORMAT (1H)
36 FORMAT (11H0,43X,46HNOMRRE....ESTUDIO DE FALLAS EN FORMA TRIFASICA
1)
40 FORMAT (1H0,43X,0HEFECHA.....5A4)
42 FORMAT (1H0,20X,6A4,21H FALLA EN LA BARRA.....16)
44 FORMAT (1H0,31HIMPEDANCIA DE FALLA(A,B,C,G).....8F9.5)
END

SUBROUTINE BCLAB (A,B,C)
DIMENSION A(3), B(3), C(3)
COMPLEX A,D
DO 12 J=1,3
D=A(J)
R(J)=CABS(D)
IF (REAL(D)) 10,2,10
2 IF (AIMAG(D)) 6,4,8
4 C(J)=0.0
GO TO 12
6 C(J)=-90.0
GO TO 12
8 C(J)=90.0
GO TO 12
10 C(J)=ATAN2(AIMAG(D),REAL(D))*57.2957795
12 CONTINUE
RETURN
END

SUBROUTINE CNVERT (A)
DIMENSION A(3,3), LT(3)
COMPLEX A,TI
L=3
DO 2 J=1,L
2 LT(J)=0
TI=(0.0,0.0)
DO 10 M=1,L
DO 4 LL=1,L
IF (LT(LL).EQ.1) GO TO 4

```

```

IF ((CABS(A(LL,LL))-CABS(T1)).LE.0.) GO TO 4
T1=A(LL,LL)
K=LL
4 CONTINUE
IF (CABS(T1).EQ.0) GO TO 14
T1=(0.0,0.0)
LT(K)=1
DO 8 I=1,L
IF (I.EQ.K) GO TO 8
DO 6 J=1,L
IF (J.EQ.K) GO TO 6
A(I,J)=A(I,J)-A(I,K)*A(K,J)/A(K,K)
6 CONTINUE
8 CONTINUE
A(K,K)=-1.0/A(K,K)
DO 10 I=1,L
IF (I.EQ.K) GO TO 10
A(I,K)=A(I,K)*A(K,K)
A(K,I)=A(K,I)*A(K,K)
10 CONTINUE
DO 12 J=1,L
DO 12 K=1,L
12 A(J,K)=-A(J,K)
RETURN
14 WRITE (3,16)
RETURN
16 FORMAT(/////56X,20H INVERSA NO DEFINIDA)
END

```

```

SUBROUTINE MULC (A,B,C)
DIMENSION A(3,3),B(3,3),C(3,3)
COMPLEX A,B,C
DO 2 I=1,3
DO 2 J=1,3
C(I,J)=(0.0,0.0)
DO 2 K=1,3
2 C(I,J)=A(I,K)*B(K,J)+C(I,J)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE CMULV (A,B,C)
DIMENSION A(3,3),B(3),C(3)
COMPLEX A,B,C
DO 2 I=1,3
C(I)=(0.0,0.0)
DO 2 K=1,3
2 C(I)=A(I,K)*B(K)+C(I)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE YFALT (ZF,T,TC,YFAULT,IPROG)
DIMENSION YF(4), T(3,3), TC(3,3), YFAULT(3,3), A(3,3), ZF(4), ISO(
111)
COMPLEX YF,T,TC,YFAULT,SUMY,A,ZF
DO 2 J=1,4
2 YF(J)=ZF(J)
SUMY=(0.0,0.0)
DO 4 I=1,4
YF(I)=1./YF(I)
4 SUMY=SUMY+YF(I)
DO 8 I=1,3
DO 8 J=1,3
IF (I.EQ.J) GO TO 6
YFAULT(I,J)=-{(YF(I)*YF(J))/SUMY}
YFAULT(J,I)=YFAULT(I,J)
GO TO 8
6 YFAULT(I,J)=YF(I)-{(YF(I)*YF(I))/SUMY}
8 CONTINUE
IF (IPROG.EQ.1) RETURN
CALL MULC (T,YFAULT,A)
CALL MULC (A,TC,YFAULT)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE IFALT (YFAULT,PRUS,XRUS,IRUS,IFALT,TC,T,FFAULT,IPROG,I
1X)
DIMENSION YFAULT(3,3),PRUS(30,30,9),XRUS(30,30,9),IFALT(3),TC(3,3
1),FPO(3),A(3,3),B(3),C(3,3),T(3,3),FFAULT(30,3),ARSV(3),ANGL(3)

```

FORMULA

111A

60 ->

```

COMPLEX YFAULT, IFAULT, TC, A, EPD, R, C, FFAULT, T
WRITE (3,12)
WRITE (3,14)
IF (IPROG.EQ.2) GO TO 2
EPD(1)=(1.0,0.)
EPD(2)=(-.5,-.866026)
EPD(3)=(-.5,.866026)
GO TO 4
2 EPD(1)=(0.,0.)
EPD(2)=(1.732051,0.)
EPD(3)=(0.,0.)
4 DO 6 I=1,3
DO 6 J=1,3
II=(I-1)*3+J
6 C(I,J)=CMPLX(PBUS(IRUS,IRUS,II),XPBUS(IRUS,IRUS,II))
CALL MULC (C,YFAULT,A)
A(1,1)=(1.,0.)+A(1,1)
A(2,2)=(1.,0.)+A(2,2)
A(3,3)=(1.,0.)+A(3,3)
CALL CNVERT (A)
CALL MULC (YFAULT,A,C)
CALL CMULV (C,EPD,IFAU)
IF (IPROG.EQ.2) GO TO 8
CALL CMULV (T,IFAU,R)
CALL POLAR (R,APSV,ANGL)
WRITE (3,16) (APSV(I),ANGL(I),I=1,3)
CALL POLAR (IFAU,APSV,ANGL)
WRITE (3,18) (APSV(I),ANGL(I),I=1,3)
GO TO 10
8 CALL POLAR (IFAU,APSV,ANGL)
WRITE (3,16) (APSV(I),ANGL(I),I=1,3)
CALL CMULV (TC,IFAU,B)
CALL POLAR (B,APSV,ANGL)
WRITE (3,18) (APSV(I),ANGL(I),I=1,3)
10 RETURN
12 FORMAT (1H0,42X,24HCOEFFICIENTE TOTAL DE FALLA)
14 FORMAT (1H ,42X,24H{I-})
16 FORMAT (1H0,5X,24HCRRTE DE FALLA(0,1,2) ,3(F8.3,1H/,F7.2,6H GRAD
1.,3X))
18 FORMAT (1H0,5X,24HCRRTE DE FALLA(A,B,C) ,3(F8.3,1H/,F7.2,6H GRAD
1.,3X))
END

```

```

SUBROUTINE FFAUT (IFAU,TC,NR,IRUS,FFAU,LOB,RPBUS,XPBUS,T,IPROG,I
IX)
DIMENSION IFAUT(3), TC(3,3), FFAUT(3,3), LOR(3), RPBUS(3,3), XPBUS(3,3), ANGL(3)
IRBUS(3,3), A(3), C(3,3), R(3), T(3,3), APSV(3), ANGL(3)
COMPLEX IFAUT,TC,FFAU,A,C,R,T
WRITE(3,19)
WRITE (3,20)
DO 16 I=1,NR
KC=0
DO 2 J=1,3
DO 2 K=1,3
KC=KC+1
2 C(J,K)=CMPLX(RBUS(I,IRUS,KC),XPBUS(I,IRUS,KC))
CALL CMULV (C,IFAU,A)
IF (IPROG.EQ.2) GO TO 4
FFAU(I,1)=(1.0,0.)-A(1)
FFAU(I,2)=(-.5,-.866026)-A(2)
FFAU(I,3)=(-.5,.866026)-A(3)
GO TO 6
4 FFAUT(I,1)=(0.,0.)-A(1)
FFAU(I,2)=(1.732051,0.)-A(2)
FFAU(I,3)=(0.,0.)-A(3)
6 DO 8 J=1,3
8 B(J)=FFAU(I,J)
III=I+1
WRITE (3,22) LOR(III)
WRITE (3,24)
IF (IPROG.EQ.2) GO TO 10
CALL CMULV (T,B,A)
CALL POLAR (A,APSV,ANGL)
WRITE (3,26) (APSV(L),ANGL(L),L=1,3)
CALL POLAR (B,APSV,ANGL)
WRITE (3,28) (APSV(L),ANGL(L),L=1,3)
GO TO 12
10 CALL CMULV (TC,B,A)
CALL POLAR (B,APSV,ANGL)

```

```

WRITE (3,26) (ARSV(L),ANGL(L),L=1,3)
CALL POLAR (A,ARSV,ANGL)
WRITE (3,28) (ARSV(L),ANGL(L),L=1,3)
12 IX=IX+6
IF (77-IX-6) 14,14,16
14 WRITE (3,30)
IX=2
16 CONTINUE
RETURN
18 FORMAT (1H0,52X,17HVOLTAJES DE BARRA)
20 FORMAT (1H,52X,17(1H-))
22 FORMAT (6409APPA,16)
24 FORMAT (1H,11(1H-))
26 FORMAT (1H0,8X,24HVOLTAJE DE BARRA(0,1,2) ,3(F8.3,1H/,F7.2,7H GRAD
10S,3X))
28 FORMAT (1H0,8X,24HVOLTAJE DE BARRA(A,B,C) ,3(F8.3,1H/,F7.2,7H GRAD
10S,3X))
30 FORMAT (1H1/1H0)
END

```

```

SUBROUTINE POLCAL (IFAU,IRUS,PRUS,XRUS,TC,T,FFAU,IPROG,IFA1,IX
1)
DIMENSION PRUS(30,30,9),XRUS(30,30,9),IFAU(3),TC(3,3),EPQ(3),T(3
1,3),EFAU(30,3),ARSV(3),ANGL(3),S(3,33),W(3,33),O(3,3),E(3),F(3,3
-2),G(3,3),C(3,3)
COMPLEX T,TC,EPQ,IFAU,FFAU,D,F,F,G,C
DATA S/1.,3*0.,1.,3*0.,1.,0.,1.,2*0.,-1.,1.,2*0.,-1.,1.,2*0.,-1.,1.,
1*0.,1.,2*0.,-1.,3*0.,-1.,5*0.,2*1.,3*0.,1.,9*0.,1.,3*0.,2*1.,7*0.,
2*1.,12*0.,1.,12*0.,1./
DATA W/9*0.,1.,2*0.,1.,2*0.,1.,3*0.,1.,2*0.,1.,3*0.,2*1.,4*0.,1.,2
1*0.,2*1.,3*0.,1.,0.,1.,10*0.,2*1.,12*0.,1.,8*0.,1.,3*0.,2*1.,7*0.,
2*1.,3*0.,1.,4*0./
WRITE (3,22)
WRITE (3,24)
IF (IPROG.EQ.2) GO TO 2
EPQ(1)=(1.,0.)
EPQ(2)=(-.5,-.866026)
EPQ(3)=(-.5,.866026)
GO TO 4
2 EPQ(1)=(0.,0.)
EPQ(2)=(1.732051,0.)
EPQ(3)=(0.,0.)
4 DO 6 I=1,3
DO 6 K=1,3
II=(I-1)*3+K
6 G(I,K)=CMPLX(PRUS(IRUS,IRUS,II),XRUS(IRUS,IRUS,II))
DO 8 L=1,3
DO 8 K=1,3
M=IFA1*3-3+K
D(L,K)=S(L,M)
8 F(L,K)=W(L,M)
IF (IPROG.EQ.2) GO TO 12
DO 10 L=1,3
DO 10 K=1,3
C(L,K)=F(L,K)
10 F(L,K)=D(L,K)
GO TO 14
12 CALL MULC (F,TC,C)
CALL MULC (D,TC,F)
14 CALL MULC (F,G,D)
CALL CMULV (F,EPQ,F)
DO 16 L=1,3
DO 16 K=1,3
16 F(L,K)=C(L,K)+D(L,K)
CALL CONVERT (F)
CALL CMULV (F,F,IFAU)
IF (IPROG.EQ.2) GO TO 18
CALL CMULV (T,IFAU,F)
CALL POLAR (F,ARSV,ANGL)
WRITE (3,28) (ARSV(I),ANGL(I),I=1,3)
CALL POLAR (IFAU,ARSV,ANGL)
WRITE (3,26) (ARSV(I),ANGL(I),I=1,3)
GO TO 20
18 CALL POLAR (IFAU,ARSV,ANGL)
WRITE (3,28) (ARSV(I),ANGL(I),I=1,3)
CALL CMULV (TC,IFAU,F)
CALL POLAR (F,ARSV,ANGL)
WRITE (3,26) (ARSV(I),ANGL(I),I=1,3)
20 RETURN

```

POLCAL

```

22 FORMAT (1H0,42X,24HCOEFFICIENTE TOTAL DE FALLA)
24 FORMAT (1H ,42X,24(1H-))
26 FORMAT (1H ,9X,24HCOEFTE DE FALLA(A,R,C) ,3(F8.7,1H/,F7.2,7H GRAD 155
10S,3X))
28 FORMAT (1H ,9X,24HCOEFTE DE FALLA(0,1,2) ,3(F8.7,1H/,F7.2,7H GRAD
10S,3X))
END

```

```

SUBROUTINE ILINE (FFAULT,LOB,LOQ,LN,R,X,MU,LOB,TC,NB,NL,NV,NREF,I,
IT,IY,IPRG,LOM,YR,YX,IX)
DIMENSION FFAULT(30,3), LOB(70), LOQ(70), LN(70), R(70,3,3), X(70,3
1,3), MU(70), LOQ(30), TC(3,3), YR(9,8,9), YX(8,8,9), FFAV(2,3), LOY
2P(8), LOYQ(2), LLN(8), LOM(8), ZF(3,3), FV(3), CVS(3), CVP(3), T(3
3,3), ARSV(3), ANGL(3)
DIMENSION Y7(9,8,9)
COMPLEX FFAULT,TC,FFV,ZF,EV,CVS,CVP,T,YZ
IF (73-IX-16) 2,4,4
2 WRITE (3,80)
IX=2
4 WRITE (3,82)
WRITE (3,84)
IX=IX+3
IY=0
I=0
IF (NM.EQ.0) GO TO 46
6 READ (R,END=46) MUC,ICOM,(LOM(JJ),JJ=1,8),((YZ(II,JJ,KK),II=1,8
1),JJ=1,8),KK=1,9)
DO 28 J=1,ICOM
KK=LOM(J)
IF (LOB(KK).EQ.NREF) GO TO 18
DO 8 J1=1,NB
J11=J1+1
IF (LOB(KK).EQ.LOB(J11)) GO TO 10
8 CONTINUE
10 LOY(J)=LOB(J11)
LLN(J)=LN(KK)
DO 12 J2=1,NB
J21=J2+1
IF (LOQ(KK).EQ.LOB(J21)) GO TO 14
12 CONTINUE
14 LOYQ(J)=LOB(J21)
DO 16 LL=1,3
16 FFAV(J,LL)=FFAULT(J1,LL)-FFAULT(J2,LL)
GO TO 22
18 LOY(J)=NREF
LLN(J)=LN(KK)
DO 20 J2=1,NB
J21=J2+1
IF (LOQ(KK).EQ.LOB(J21)) GO TO 22
20 CONTINUE
22 LOYQ(J)=LOB(J21)
DO 24 LL=1,3
24 FFAV(J,LL)=-FFAULT(J2,LL)
IF (IPRG.EQ.2) GO TO 26
FFV(J,1)=FFAV(J,1)+(1.,0.)
FFV(J,2)=FFAV(J,2)+(-.5,-.866026)
FFV(J,3)=FFAV(J,3)+(-.5,.866026)
GO TO 28
26 FFAV(J,2)=FFAV(J,2)+(1.732051,0.)
28 CONTINUE
IY=IY+1
I=I+1
DO 44 L=1,ICOM
DO 30 K=1,3
30 CVS(K)=(0.,0.)
DO 36 II=1,ICOM
DO 32 J=1,3
DO 34 K=1,3
IL=(J-1)*3+K
32 ZF(J,K)=Y7(L,II,IL)
DO 34 LL=1,3
34 EV(LL)=FFV(II,LL)
CALL CMULV (ZF,EV,CVP)
DO 36 LL=1,3
36 CVS(LL)=CVS(LL)+CVP(LL)
WRITE (3,86) LOY(L),LOYQ(L),LLN(L)
WRITE (3,88)
IF (IPRG.EQ.2) GO TO 38
CALL CMULV (T,CVS,CVP)

```

```

CALL POLAR (CVP, ARSV, ANGL)
WRITE (3,90) (ARSV(I), ANGL(I), I=1,3)
CALL POLAR (CVS, ARSV, ANGL)
WRITE (3,92) (ARSV(I), ANGL(I), I=1,3)
GO TO 40
38 CALL CMULV (TC, CVS, CVP)
CALL POLAR (CVS, ARSV, ANGL)
WRITE (3,90) (ARSV(I), ANGL(I), I=1,3)
CALL POLAR (CVP, ARSV, ANGL)
WRITE (3,92) (ARSV(I), ANGL(I), I=1,3)
40 IX=IX+6
IF (73-IX-6) 42,42,44
42 WRITE (3,94)
IX=?
44 CONTINUE /
IF (IIV.NF.NM) GO TO 6
DO 79 (IF=1,NL
IF (IIV(IF).NF.0) GO TO 78
IF (LOR(IF).EQ.NPFF) GO TO 58
DO 48 J1=1,NR
J11=J1+1
IF (LOR(J11).EQ.LOR(IF)) GO TO 50
48 CONTINUE
50 LOYP(1)=LOR(J11)
LLN(1)=LN(IF)
DO 52 J2=1,NB
J21=J2+1
IF (LOR(J21).EQ.LOR(IF)) GO TO 54
52 CONTINUE
54 LOYQ(1)=LOB(J21)
DO 56 LL=1,3
56 FV(LL)=-FFAULT(J1,LL)-FFAULT(J2,LL)
GO TO 64
58 LOYP(1)=NDFE
LLN(1)=LN(IF)
DO 60 J2=1,NB
J21=J2+1
IF (LOR(J21).EQ.LOR(IF)) GO TO 62
60 CONTINUE
62 LOYQ(1)=LOB(J21)
DO 64 LL=1,3
64 FV(LL)=-FFAULT(J2,LL)
IF (IPRRC.EQ.2) GO TO 66
FV(1)=FV(1)+(1.0,0.)
FV(2)=FV(2)+(-.5,-.066026)
FV(3)=FV(3)+(-.5,.066026)
GO TO 68
66 FV(2)=FV(2)+(1.732051,0.)
68 DO 70 M=1,3
DO 70 N=1,3
70 ZF(M,N)=CMPLX(Z(IF,M,N),X(IF,M,N))
CALL CONVERT (ZF)
CALL CMULV (ZF, FV, CVS)
WRITE (3,96) LOYP(1), LOYQ(1), LLN(1)
WRITE (3,98)
IF (IPRRC.EQ.2) GO TO 72
CALL CMULV (TC, CVS, CVP)
CALL POLAR (CVS, ARSV, ANGL)
WRITE (3,90) (ARSV(I), ANGL(I), I=1,3)
CALL POLAR (CVP, ARSV, ANGL)
WRITE (3,92) (ARSV(I), ANGL(I), I=1,3)
GO TO 74
72 CALL CMULV (TC, CVS, CVP)
CALL POLAR (CVS, ARSV, ANGL)
WRITE (3,90) (ARSV(I), ANGL(I), I=1,3)
CALL POLAR (CVP, ARSV, ANGL)
WRITE (3,92) (ARSV(I), ANGL(I), I=1,3)
74 IX=IX+6
IF (73-IX-6) 76,76,78
76 WRITE (3,96)
IX=?
78 CONTINUE
RETURN
80 FORMAT (1H1/1H0)
82 FORMAT (1H0,48X,23HCONTRIBUCIONES DE FALLA)
84 FORMAT (1H ,48X,23(1H-))
86 FORMAT (2HORARRA.,16,13H A BARRA.,.,16,9H LINEA.,.,13)
88 FORMAT (1H ,13(1H-),5X,13(1H-),2X,19(1H-))
90 FORMAT (1H0,13X,19HCONTINENTE(0,1,2) ,3(F8,3,1H/,F7,2,7H GRADOS,3
1X))

```

POLITECNICO

UNIVERSIDAD

```

92 FORMAT (1H ,13X,10HCORRIENTE(A,B,C) ,3(FR,3,1H/,F7,2,7H GRADOS,3
1X))
94 FORMAT (1H1/1H0)
96 FORMAT (1H1/1H0)
END

```

C  
C  
C  
C

```

LA SUBROUTINA EDIT SE UTILIZA CUANDO SE REQUIERE ALMACENAR EN CINTA
ZBRADA PARA ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA
*****
SUBROUTINE EDIT
DIMENSION LOP(70), LOQ(70), X(70,3,3), R(70,3,3), LOR(70), IL(70),
1 MU(70), LN(70), LMN(30), LPMN(30), LOMO(30), LOR(30), LOMP(30), L
2 OS(30), RM(30,3,3), XM(30,3,3), RBUS(30,30,9), XBUS(30,30,9), YR(3
3,3,9), YX(3,3,9), IEOR(30), SIGN(30), LM(36), LOYP(R), LOYQ(R), R
4 ML(3,3), XXML(3,3), RMI(3,3), XMI(3,3), RM2(3,3), XM2(3,3), RNR(3,
5,3), XNR(3,3), H(3,3), TEMP1(3,3), TEMP2(3,3), TEMP4(3,3), TEMP5(
6,3), TEMP6(3,3), LOM(8), C(3,3), D(3,3), G(3,3), TEMP3(3,3), FOZR(3
7,3), FOZX(3,3), ID(5)
DIMENSION LOPI(70), LOQI(70), LNI(70), MUI(70)
COMPLEX Y7(8,8,9), Z7(8,8,9), ZI(70,3,3)
COMMON /TRSCOM/ LOP,LOQ,R,X,LOR,IL,MU,LN,LMN,LPMN,LOMO,LOR,LOMP,L
1 S,RM,XM,RBUS,XBUS,YR,YX,IEOR,SIGN,LM,LOYP,LOYQ,RML,XXML,RMI,XMI,R
2 M2,XM2,RNR,XNR,TEMP1,TEMP2,TEMP3,TEMP4,TEMP5,TEMP6,LOM,C,D,G,H,NS,
3 NL,NS,NREF,NM,N7I,INOR,NEOR,N,I,K,FR,ICOR,LINK,IT,ITT,J,IC,ICOMU,
4 ICOM,III,IPROG,FOZR,FOZX,ID,IY,IX
EQUIVALENCE (LOMP(1),LOMO(1),LPMN(1),LOR(1),LOS(1),LMN(1))
END FILE 8
REWIND 8
END FILE 9
REWIND 9
READ (9) NR,NL,NS,NREF,NM,IPROG,((LOP(I),LOQ(I),LN(I),MU(I),I=1,70)
1,((R(I,J,K),X(I,J,K),I=1,70),J=1,3),K=1,3),(LOMP(J),LOMO(J),LPMN(
2J),LOR(J),LOS(J),LNM(J),J=1,30),((RM(I,J,K),XM(I,J,K),I=1,30),J=1
3,3),K=1,3),NEOS
NM=NM/2
IN=0
IYY=0
MC=0
IF (NM.EQ.0) GO TO 114
118 READ (8) MUC,ICOM,((LOM(JJ),JJ=1,8),((Y7(II,JJ,KK),II=1,8),JJ=1,
18),KK=1,9)
I=IN
IYY=IYY+1
DO 110 J=1,ICOM
K=I+J
110 IL(K)=LOM(J)
READ (8,FND=119) ((Y7(II,JJ,KK),II=1,8),JJ=1,8),KK=1,9)
IN=IN+ICOM
MC=MC+MUC
IF (MC.NE.NM) GO TO 118
119 REWIND 8
DO 112 I=1,IN
J=IL(I)
LOPI(I)=LOP(J)
LOQI(I)=LOQ(J)
LNI(I)=LN(J)
MUI(I)=MU(J)
LOP(J)=0
LOQ(J)=0
DO 112 K=1,3
DO 112 L=1,3
112 ZI(I,K,L)=CMPLX(R(J,K,L),X(J,K,L))
114 I=1
IN=IN+1
116 IF (LOPI(I).EQ.0.AND.LOQI(I).EQ.0) GO TO 120
LOPI(IN)=LOPI(I)
LOQI(IN)=LOQI(I)
LOP(I)=0
LOQ(I)=0
LNI(IN)=LN(I)
MUI(IN)=MUI(I)
DO 188 J=1,3
DO 188 K=1,3
188 ZI(IN,J,K)=CMPLX(R(I,J,K),X(I,J,K))
IN=IN+1
120 I=I+1

```



```

IF (I.LF.NL) GO TO116
IF (IPROG-3) 130,122,122
122 IF(NS.F0.0) GO TO 130
J1=NL+1
J2=NL+NS
DO 128 KK=J1,J2
MU(KK)=MU(KK)
LDP(KK)=LDP(KK)
LDQ(KK)=LDQ(KK)
LN(KK)=LN(KK)
DO 126 L1=1,3
DO 124 L2=1,3
Z1(KK,L1,L2)=CMPLX(R(KK,L1,L2),X(KK,L1,L2))
124 CONTINUE
126 CONTINUE
128 CONTINUE
130 WRITE (10) NR,NL,NS,NREF,IPROG,(LDP(I),LDQ(I),LN(I),MU(I),I=1,
170),(((Z1(I,J,K),I=1,70),J=1,3),K=1,3),NEQR,IYY,LC
READ (9) (LDR(I),I=2,31),(((RUS(I,J,K),XRUS(28495),I=1,30),J=1,30
1),K=1,9),IEQR
WRITE (10) (LDR(I),I=2,31)
WRITE (10) (((RUS(I,J,K),XRUS(I,J,K),I=1,30),J=1,30),K=1,9),IEQR
IN=0
DO134 I=1,IYY
READ (8) MUC,ICOM,(LOM(JJ1),JJ1=1,8),(((Z2(II,JJ,KK),II=1,8),JJ=1,
18),KK=1,9)
READ (8,FND=136) (((YZ(II,JJ,KK),II=1,8),JJ=1,8),KK=1,9)
I=IN
DO 132 J=1,ICOM
K=I+J
132 LOM(J)=K
IN=IN+ICOM
134 WRITE (10) ICOM,(LOM(JJ1),JJ1=1,8),(((Z7(II,JJ,KK),Y7(II,JJ,KK),II
1=1,8),JJ=1,8),KK=1,9)
136 NM=NM*2
END FILE 9
REWIND 9
RETURN
END

```

LA ROM

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

```

TARJETAS DE CONTROL ADICIONALES PARA CUANDO SE REQUIERA
ALMACENAR ZAPCA EN CINTA PARA FLUJOS DE CARGA
// ASGN SYS006, X'161'
// DLPL FJSYS06, 'PRODR'
// EXTENT SYS006, , , 2700, 200
// ASGN SYS007, X'280'
TARJETAS A CAMBIAR EN EL PROGRAMA PRINCIPAL CUANDO SE REQUIERE
ALMACENAR EN CINTA
*****
18 IF (IPROG) 20,22,20
20 IF (IPROG-3) 21,211,211
21 CALL MAIN
GO TO 22
211 CALL EDIT
22 STOP
END
*****

```

```

TARJETAS A CAMBIAR EN LA SUBROUTINA INPUT CUANDO SE REQUIERE
ALMACENAR EN CINTA
*****
126 IF (IPROG-3) 130,128,128
128 WRITE (9) INDR,NR,NL,NS,NREF,NM,IPROG,(LDP(I),LDQ(I),LN(I),MU(I),I
1=1,70),(((P(I,J,K),Y(I,J,K),I=1,70),J=1,3),K=1,3),(LOM(J),LOM(J)
2,LOMN(J),LOM(J),LOS(J),LOMN(J),J=1,30),(((RM(I,J,K),XV(I,J,K),I=1,
30),J=1,3),K=1,3),NEQR
130 RETURN
*****

```

```

TARJETAS ADICIONALES DE LA SUBROUTINA OUTPU CUANDO SE REQUIERE
ALMACENAMIENTO EN CINTA
*****
IF (IPROG.GT.2) WRITE (9) (LDR(I),I=2,31),(((RUS(I,J,K),XRUS(I,J,
IK),I=1,30),J=1,30),K=1,9),IEQR

```

CCCCC

\*\*\*\*\*

TARJETAS A CAMBIAR EN LA SUBROUTINA 7R30V4 CUANDO SE REQUIERE  
ALMACENAR EN CINTA

\*\*\*\*\*

```

DO 143 KK1=1,ICOM
DO 143 KK2=1,ICOM
DO 143 KK3=1,9
143 YZ(KK1, KK2, KK3)=CMPLX(YR(KK1, KK2, KK3), YX(KK1, KK2, KK3))
IF (IJ.EQ.1.AND.IPRDG.GT.2) WRITE (8) MUC, ICOM, (LOW(JJ1), JJ1=1, 8),
1(((YZ(II, JJ, KK), II=1, 9), JJ=1, 9), KK=1, 9)
CALL INVRT (YR, YX, 8, 9, ICOM)
DO 145 KK1=1, ICOM
DO 145 KK2=1, ICOM
DO 145 KK3=1, 9
145 YZ(KK1, KK2, KK3)=CMPLX(YR(KK1, KK2, KK3), YX(KK1, KK2, KK3))
IF (IJ.EQ.1.AND.IPRDG.GT.2) WRITE (8) ((YZ(II, JJ, KK), II=1, 8), JJ=1,
1, 8), KK=1, 9)
IF (IPRDG-7) 147, 149, 149
147 IF (IJ.EQ.1.AND.IPRDG.NE.0) WRITE (8) MUC, ICOM, (LOW(JJ1), JJ1=1, 8),
1(((YZ(II, JJ, KK), II=1, 9), JJ=1, 8), KK=1, 9)
149 CONTINUE
*****

```

C

2251 TARJETAS TRANSFERIDAS\*\*\*

\*\* FON MSJS TIEMPO DE UCP UTILIZADO POR EL PROGRAMA MHYANEZR -----> 10.23 SE

10/11/64

10/11/64

10/11/64

## B I B L I O G R A F I A

1. Modern Power Systems.- J. R. Neueswander.- International Text Book Company.- 1.971.
2. Calculation of Short Circuits Using a High Speed Digital Computer.- A. El - Abiad, R. Guidone, G. Stagg. Transactions of AIEE.- December 1.961. Pag. 702 - 708.
3. Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia.- Ing. Hernán Sanhueza.- Escuela Politécnica Nacional.- Quito.- 1.974.
4. Programación del IBM 1130.- R. Loudon, G. Ledín.- Editorial Prentice -- Hall International.- 1.972.
5. Solution of Large Networks by Matrix Methods.- H.E. Brown, A. Wiley.- Interscience Publication.- 1.975.
6. Computer Methods in Power System Analysis.- Stagg and El - Abiad.- McGraw Hill Book Company.- 1.968.
7. Analysis of Faulted Power Systems.- Paul Anderson.- The Iowa State University Press /AMES.- 1.973.
8. Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia.- W. G. Stevenson.- McGraw Hill Book Company, Inc.- 1.965.
9. Electrical Transmission and Distribution Reference Book.- Central Station Engineers of the Westinghouse Electric Corporation.- 1.964.
10. Redes Eléctricas.- Jacinto Viqueira Landa.- Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A. Mexico D.F.- 1.973.
11. Cálculo Digital de Cortocircuitos en Sistemas Eléctricos de Potencia.- Mauro V. Erazo Páez.- Tesis de Grado.- Escuela Politécnica Nacional.- 1.976.
12. Power System Modeling.- M. S. Cheng, W. Dillon. Proceedings of the IEEE, Vol. 62, N° 7, July 1.974.
13. Calculations of Short Circuits on Untransposed Networks.- Ahmed H. El - Abiad, David C. Tarsi.- Consumer Power Company & Perce (Purdue Energy Research and Education Center).- 1.968.
14. Cálculo de los Parámetros Secuenciales en Líneas con Multiconductores - Mediante Computadora Digital.- Gustavo Sánchez Morales.- CIER.- Subcomité de Sistemas Eléctricos.- Trabajo N° 22-201.- 1.974.

15. Circulating Currents in Paralleled Untransposed Multicircuit Lines: I - Numerical Evaluations.- M. Harry Hesse. Transactions of the IEEE, Vol. PAS - 85, N° 7, July 1.966.
16. Circulating Currents in Paralleled Untransposed Multicircuit Lines: II - Methods for Estimating Current Unbalance.- Transactions of the IEEE, -- Vol. PAS - 85, N° 7, July 1.966.
17. Las Corrientes de Cortocircuito en las Redes Trifásicas.- Richard Roper. Editorial Dossat S.A. 1.970.
18. DOS/VS.- System Management Guide. Release 30.- Publication Number -- GC 33-5371-3 File N° S370-34.- IBM.- 1.974.
19. IBM System /360 and System /370.- Fortram IV Language.- Publication Number GC 28-6515-10.- 1.974.