

870117

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

40<sup>2</sup>  
Ejerr.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PROGRAMA DIGITAL PARA ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO,  
POR MEDIO DE MICROCOMPUTADORAS PERSONALES.

## TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

JESUS VARGAS VELAZQUEZ

GUADALAJARA, JAL NOVIEMBRE DE 1988



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES	4
CAPITULO I EL CORTO CIRCUITO SIMETRICO	5
1.1.-EL CORTO CIRCUITO SIMETRICO	6
1.1.1.-EL TEOREMA DE THEVENIN	7
1.1.2.-OBSERVACIONES SOBRE LA APLICACION DEL TEOREMA DE THEVENIN	8
1.1.3.-LA CAPACIDAD DE CORTO CIRCUITO	9
1.2.-CALCULOS DE RED.	11
1.2.1.-ECUACIONES DE NODO	11
1.2.2.-LAS MATRICES DE BUS DE ADMITANCIA Y DE IMPEDANCIA	12
1.2.3.-MODIFICACIONES A UNA MATRIZ DE BUS EXISTENTE	16
1.3.-CALCULO SISTEMATICO DE CORTO CIRCUITO	21
1.3.1.-MODELADO DE LA RED	21
1.3.2.-LA MATRIZ Z EN EL CALCULO DE FALLAS SIMETRICAS	23
CAPITULO II COMPONENTES SIMETRICAS	27
2.1.-COMPONENTES SIMETRICAS	28
2.1.1.-LA TRANSFORMACION DE COMPONENTES SIMETRICAS	29
2.2.-IMPEDANCIAS Y REDES DE SECUENCIA	30
2.3.-REDES DE SECUENCIA DE GENERADORES SIN CARGA	31
2.4.-IMPEDANCIAS DE SECUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE LA RED	33
CAPITULO III FALLAS ASIMETRICAS	39
3.1.-ANALISIS DE FALLAS ASIMETRICAS	40
3.2.-FALLA MONOFASICA A TIERRA	42
3.3.-FALLA ENTRE FASES	45
3.4.-FALLA ENTRE DOS FASES Y TIERRA	47
CAPITULO IV PROGRAMA DIGITAL PARA ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO	51
4.1.-EL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO	52
4.1.1.-OBJETIVOS PRINCIPALES DE UN ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO	52
4.1.2.-CARACTERISTICAS DE UN ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO	52
4.1.3.-PASOS DE UN ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO	53

4.1.4.-SIMPLIFICACIONES PARA EL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO	53
4.2.-ESTRUCTURA DEL PROGRAMA PARA ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO	54
4.2.1.-ESTRUCTURA DEL PROGRAMA	54
4.2.2.-SUBROUTINAS DEL PROGRAMA	57
4.3.-DESARROLLO DE LAS SUBROUTINAS	59
4.3.1.-FORMACION DE LA MATRIZ DE BUS ADMITANCIA	59
4.3.2.-INTRODUCCION DE MODIFICACIONES A LA RED	63
4.3.3.-OBTENCION DE LA MATRIZ DE BUS IMPEDANCIA	68
4.3.4.-CALCULO DE LAS MAGNITUDES DE FALLA	71
4.3.5.-CALCULO DE CONTRIBUCIONES	77
4.3.6.-MANEJO DE ARCHIVOS DE DISCO	81
4.4.-APLICACIONES	83
4.5.-RESULTADOS	84
4.5.1.-RED BAJO ESTUDIO	84
4.5.2.-FORMACION DE LA MATRIZ DE BUS ADMITANCIA	86
4.5.3.-OBTENCION DE LA MATRIZ DE BUS IMPEDANCIA	96
4.5.4.-CALCULO DE FALLA TRIFASICA	103
4.5.5.-CALCULO DE FALLA MONOFASICA A TIERRA	106
4.5.6.-CALCULO DE FALLA ENTRE FASES	109
4.5.7.-CALCULO DE FALLA ENTRE FASES Y TIERRA	112
CONCLUSIONES	120
APENDICE A FORMATO DE ARCHIVOS DE DISCO	122
APENDICE B LISTADO DE SUBROUTINAS	128
BIBLIOGRAFIA	160

## INTRODUCCION

En la planeación y en la operación de sistemas eléctricos de potencia se realizan estudios de corto circuito para conocer el comportamiento del sistema bajo condición de falla. Este tipo de estudios proporcionan información útil para determinar esfuerzos a que son sometidos los equipos, así como para determinar el ajuste de las protecciones, lo que se traducirá en un aumento de confiabilidad y de continuidad de operación del sistema eléctrico de potencia.

La carga de cálculo que conlleva el determinar niveles de corriente y voltaje para un sistema eléctrico, aún pequeño, sometido a una falla, es siempre muy grande para ser llevada a cabo por métodos manuales. Hoy en día, el computador digital es una herramienta indispensable para el cálculo de fallas en un sistema eléctrico de potencia, en virtud de la variedad de información que es posible obtener.

Lo que este trabajo pretende, es desarrollar un programa digital para estudios de cortocircuito en sistemas eléctricos de potencia, que pueda ser usado en una computadora personal para fines de aplicación real o de enseñanza y orientado a usuarios que no precisen de fuertes conocimientos de programación o de cálculo de fallas.

El proceso de aplicar una computadora para la solución de este problema de ingeniería envuelve los siguientes pasos:

### 1.- Formulación Matemática.

Una vez que el problema fue definido, es necesario obtener o desarrollar los modelos matemáticos para representar el sistema físico. Esto requiere especificar las características de cada componente individual así como las características de la interconexión de cada elemento dentro del sistema. Pueden obtenerse diferentes modelos matemáticos para representar el sistema físico y cada modelo puede conducir a diferente número de ecuaciones. Por lo tanto, la formulación matemática incluye la obtención de modelos y la selección del modelo más conveniente para el estudio del sistema físico.

### 2.- Selección de la técnica de solución.

La formulación de la mayoría de los problemas de ingeniería involucra expresiones matemáticas tales como ecuaciones no lineales, ecuaciones diferenciales, argumentos de funciones trigonométricas, números complejos, etc. que no pueden ser evaluados directamente por la computadora. Por lo tanto es importante, en su oportunidad, elegir el método que resulte práctico de emplear para el cálculo de computadora, y en particular para generar los resultados deseados con el

grado de precisión requerido en un tiempo razonable.

### 3.- Diseño del programa.

La secuencia de pasos lógicos por los cuales se resuelve un problema en particular, la manera en la cual el usuario proporcionará la información, la forma en que obtendrá resultados y la administración de la información son aspectos importantes del diseño del programa. El objetivo es desarrollar un programa fácil de usar, que evite cálculos repetitivos y que este dentro de la capacidad de la computadora

### 4.- Programación.

Consiste en traducir con detalle, lo que debe ser ejecutado para obtener la solución, en una lista organizada de instrucciones de computadora. Así mismo consiste en incorporar todas las instrucciones necesarias para la correcta operación del programa junto con la administración de los periféricos.

### 5.- Verificación del programa.

Hay muchos errores que pudieran introducirse durante el diseño o durante la programación. Por lo tanto, es necesario ejecutar una serie de pruebas para asegurar la correcta formulación del problema, método de solución y operación del programa.

### 6.- Aplicación.

Algunos programas son aplicados extensivamente por uno o mas departamentos de ingeniería. Otras ecuaciones pueden ser empleados para estudios del mismo género pero con diferente orientación o que precisen de otros resultados adicionales. Es importante tomar en cuenta las consideraciones del empleo del programa en alguna actividad dentro del ámbito de los propósitos del programa.

Bajo los puntos de vista expuestos, el desarrollo del presente trabajo es el siguiente:

#### Capítulo 1.- El Corto circuito simétrico.

Se presenta el Teorema de Thévenin así como las ecuaciones de redes necesarias para el cálculo de fallas. Se desarrolla el cálculo sistemático de corto circuito a partir de las matrices de admitancia y de impedancia.

#### Capítulo 2.- Componentes simétricas.

Se desarrollan los siguientes conceptos:

teoría de componentes simétricas,  
transformación de componentes simétricas,  
impedancias de secuencia, redes de secuencia.

Capítulo 3.- Fallas asimétricas.

Se propone el análisis de fallas asimétricas mediante la teoría de componentes simétricas así como la relación entre las redes de secuencia de acuerdo a la condición bajo estudio, ya sea para un generador sin carga o para equivalentes de sistema.

Capítulo 4.- Programa digital para estudios de corto circuito.

Se presenta el esquema general del programa así como el desarrollo de cada subrutina. Se comentan las aplicaciones y se muestra un estudio para una red ejemplo.

#### ANTECEDENTES

El empleo de programas digitales para estudios de corto circuito ha proporcionado los siguientes resultados:

- 1.- Ejecución más práctica y económica de los cálculos necesarios para la planeación y operación de un sistema eléctrico.
- 2.- Obtención de soluciones alternativas a problemas particulares.
- 3.- Un mejor empleo de los recursos al asignar a la computadora trabajos que de otra manera serian largos y tediosos.
- 4.- La posibilidad de ejecutar aquellos estudios que en virtud del volumen de cálculos necesarios no era posible desarrollar.

No obstante las ventajas enumeradas, en la actualidad la mayoría de los programas de corto circuito, comercialmente disponibles, se sustentan en minicomputadoras o en sistemas de tiempo compartido, lo que aunado a su alto costo limitan su empleo a solo ciertas entidades.



CAPITULO I

EL CORTO CIRCUITO SIMETRICO

### 1.1.- EL CORTO CIRCUITO SIMETRICO.

El corto circuito es solo un tipo de los diversos fenómenos que pueden tener lugar en un sistema eléctrico de potencia. Dependiendo de la velocidad con la que ocurra, pueden agruparse los fenómenos transitorios en las siguientes categorías:

- 1) Transientes ultrarápidos.
- 2) Transientes rápidos.
- 3) Transientes lentos.

A la primera clase corresponden los fenómenos resultado de cambios abruptos pero muy rápidos en la red; tales como switcheos, descargas atmosféricas, etc. Estos fenómenos tienen lugar pocos milisegundos a partir de su inicio.

Al tercer tipo de transientes corresponden aquellos relacionados con las oscilaciones de potencia o estabilidad transitoria.

Bajo la segunda clasificación quedan aquellos transitorios que son causados por cambios abruptos y anormales en la estructura de la red. Este fenómeno es el del corto circuito y en orden de severidad podríamos listarlo en los siguientes tipos:

- 1) Corto circuito sólido simétrico. Es causado por la aplicación de tres impedancias de falla  $Z_f$  iguales, cada una entre fase y tierra. Se dice que el corto circuito es sólido si  $Z_f=0$ .
- 2) Corto circuito de dos fases con la tercera fase sana. Las fases falladas pueden o no estar simultáneamente a tierra.
- 3) Corto circuito entre una fase y tierra con las dos fases restantes sanas.

La capacidad de transmisión de potencia de una línea sujeta al primer tipo de corto circuito es reducida instantáneamente a cero.

Los cortos circuitos del tipo 2 y 3 reducirán parcialmente la capacidad de la línea.

En adición a la disminución de la capacidad de transmisión de potencia, las corrientes de corto circuito pueden alcanzar magnitudes más allá de los valores nominales de los generadores y transformadores. Si esta corriente permanece más del tiempo indicado por el equipo, éste podría sufrir daño térmico. En algunos casos las fuerzas dinámicas resultantes podrían dañar devanados o barras. Es importante por lo tanto aislar la sección fallada lo más rápido posible. También es

deseable que la sección desconectada sea solo la estrictamente involucrada y solo el tiempo necesario. Un alto porcentaje de corto circuitos pueden ser librados al permitir la desionización de la trayectoria de falla y en consiguiente la restauración de un medio aislante. En la practica esto resulta en el empleo de recierres que dependiendo de la aplicación podran cerrar una, dos o mas veces el interruptor de la linea involucrada. Si la falla persiste el interruptor quedara fuera.

Hay varias razones por las cuales es deseable conocer el comportamiento exacto de los voltajes y corrientes de un sistema electrico de potencia ante la presencia de una falla:

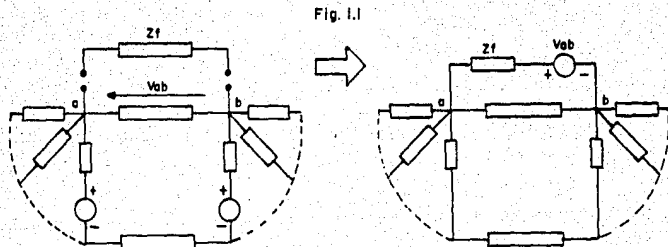
- 1) La capacidad interruptiva de cada interruptor en cada localidad de la red sera determinada por el corto circuito mas severo que se obtenga en esa localidad.
- 2) Los reles de protección fundamentan su operación en magnitudes y direcciones de voltajes y corrientes de falla (de fase y de secuencia).
- 3) La magnitud de los voltajes de bus durante la falla determinara el comportamiento transitorio de los generadores y en consiguiente la estabilidad transitoria.

#### 1.1.1.- EL TEOREMA DE THEVENIN.

Un corto circuito representa un cambio en la estructura de la red, la cual es causada por la adición de una impedancia (en el caso de un corto circuito simétrico, tres impedancias) al lugar de la falla. Los cambios en voltajes y corrientes que tendran lugar en la red, pueden analizarse por medio del teorema de Thévenin que establece:

"Los cambios que tienen lugar en los voltajes y corrientes de la red debido a la adición de una impedancia entre dos nodos de la red, seran identicos a los cambios causados al colocar una fuente de voltaje en serie con la impedancia y teniendo una magnitud y polaridad igual al voltaje de prefalla que existia en los nodos en cuestión y con todas las demas fuentes activas igualadas a cero".

Para obtener las corrientes y los voltajes de postfalla en la red deberan superponerse estos cambios a las corrientes y voltajes de prefalla. (v. fig 1.1)



### 1.1.2.- OBSERVACIONES SOBRE LA APLICACION DEL TEOREMA DE THEVENIN.

Al aplicar el teorema para resolver las corrientes que se presentan durante un corto circuito podemos hacer las siguientes observaciones:

- 1).- Los fasores de corriente de prefalla estan predominantemente en fase con el voltaje.
- 2).- El corto circuito da origen a corrientes cuya componente predominante está atrás de los voltajes por 90 grados electricos.
- 3).- Las magnitudes de las corrientes de Thevenin exceden a las corrientes de falla por un factor significativo.
- 4).- Como resultado de lo anterior la corriente de falla es aproximadamente igual a la corriente de Thevenin. Debido a esta razón es usual despreñar completamente la corriente de prefalla en el calculo de las corrientes de falla.
- 5).- La elección de la impedancia del generador debe ser dependiente del proposito del estudio. Si estamos interesados en la corriente de falla medida de uno a dos ciclos despues de la falla, emplearemos la reactancia subtransitoria  $x''d$ .
- 6).- Aunque así se propuso, en la realidad un corto trifasico no puede ser simétrico. El comportamiento natural del

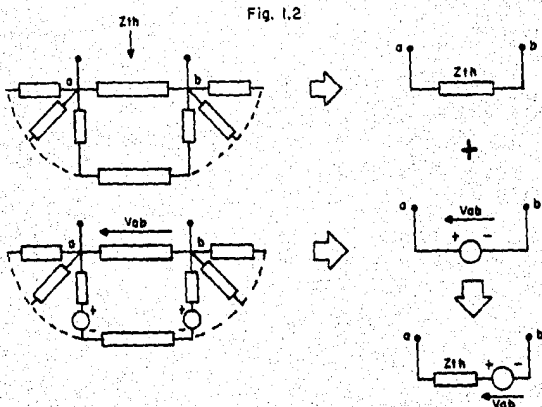
sistema incluirea una componente de DC de corta duraci3n, la cual es diferente en cada una de las fases. El efecto de esta componente se considera un tanto empírico. Por ejemplo para determinar la capacidad de interrupci3n de un interruptor, usaremos la componente de AC (subtransiente) multiplicada por un factor que depende de la rapidez del interruptor. Las siguientes son recomendaciones comunes:

Interruptor	2 ciclos	1.4
Interruptor	3 ciclos	1.2
Interruptor	8 ciclos o mas	1.0

### 1.1.3.- LA CAPACIDAD DE CORTO CIRCUITO (CCC)

Al reducir el circuito de la figura 1.1 con todas las fuentes activas canceladas obtendríamos una impedancia equivalente de la red en serie con el voltaje de prefalla.

Esto solo requeriría un proceso simple de reducci3n de redes. Sin embargo podemos seguir el mismo proceso para un sistema de n-buses. (v. fig 1.2)



Para una falla sólida ( $Z_f=0$ ) la magnitud de la corriente de falla será:

$$|I_f| = |E_{Th}| / |Z_{Th}| \quad (Ec\ 1\#1)$$

El producto del voltaje de prefalla por la corriente de falla es conocido como la capacidad de corto circuito (CCC). Por definición tiene el siguiente valor:

$$CCC = |E_{Th}| |I_f| = |E_{Th}|^2 / |Z_T| \quad (Ec\ 1\#2)$$

Si  $E_{Th}$  esta expresada en KV fase-neutro, la CCC estara expresada en MVA por fase. Si  $E_{Th}$  esta en KV fase-fase, la CCC resultara en MVA trifasicos. Con  $E_{Th}$  en por unidad, la CCC resultara en MVA por unidad.

$$CCC = 1 / |Z_T| \quad (Ec\ 1\#3)$$

La capacidad de corto circuito tiene una influencia directa en la elección de los interruptores, ya que éstos deben tener capacidad interruptiva al menos de la mayor de las CCC de bus en cuestión.

Valores típicos de CCC son los siguientes:

400 KV	4700 MVA
230 KV	2600 MVA
69 KV	700 MVA

## 1.2.- CALCULOS DE RED.

## 1.2.1.- ECUACIONES DE NODO.

Las uniones formadas cuando dos o más elementos puros (R, L, C o fuentes) son conectados entre sí por sus terminales son llamadas nodos. La formulación sistemática de ecuaciones determinadas en los nodos de un circuito por la aplicación de la ley de corrientes de Kirchhoff es la base de algunas soluciones por medio de computadora a los problemas en los sistemas de potencia. Usualmente es conveniente solo considerar aquellos nodos en los cuales hay conectados mas de dos elementos (nodo mayor).

Con el propósito de examinar algunas características de las ecuaciones de nodos, partiremos de un diagrama unifilar de un sistema simple (v. fig 1.3).

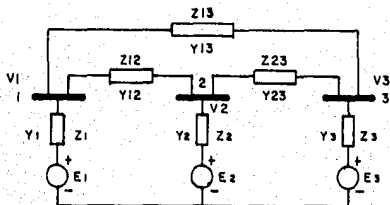


Fig. 1.3

En el diagrama anterior consideremos a  $Z_{jk}$  como la impedancia existente entre los nodos  $j$  y  $k$  resultado de un enlace directo entre los dos nodos. También hemos mostrado la admitancia entre nodos obtenida como  $Y_{jk}=1/Z_{jk}$  donde  $Y$  y  $Z$  son números complejos que denotan la impedancia y la admitancia respectivamente en por unidad.

La notación de los voltajes de cada bus  $V_j$  se refiere al voltaje del bus en cuestión respecto al bus de referencia.

Además redibujaremos la red sustituyendo las fuentes de voltaje con su impedancia en serie por una fuente de corriente en paralelo con la impedancia (v. fig 1.4).

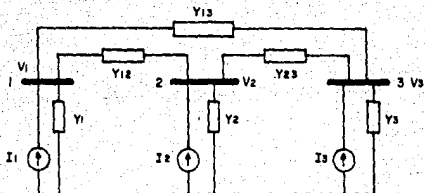


Fig. 1.4

Ahora apliquemos la ley de corrientes de Kirchhoff al nodo 1.

$$I_1 = I_{12} + I_{13} + I_{1,ref} \quad (\text{Ec } 1\#4)$$

$$I_1 = (V_1 - V_2)Y_{12} + (V_1 - V_3)Y_{13} + V_1 Y_1 \quad (\text{Ec } 1\#5)$$

$$I_1 = V_1(Y_1 + Y_{12} + Y_{13}) - V_2(Y_{12}) - V_3(Y_{13}) \quad (\text{Ec } 1\#6)$$

Así mismo para los nodos 2 y 3.

$$I_2 = -V_1(Y_{12}) + V_2(Y_2 + Y_{12} + Y_{23}) - V_3(Y_{23}) \quad (\text{Ec } 1\#7)$$

$$I_3 = -V_1(Y_{13}) - V_2(Y_{23}) + V_3(Y_3 + Y_{13} + Y_{23}) \quad (\text{Ec } 1\#8)$$

### 1.2.2.- LAS MATRICES DE BUS DE ADMITANCIA Y DE IMPEDANCIA.

Las ecuaciones 1#6, 1#7, 1#8 pueden ser resueltas simultáneamente para los voltajes \$V\_1\$, \$V\_2\$, \$V\_3\$. Todas las corrientes en las ramas podrán ser determinadas a partir de los voltajes de bus, y en consiguiendo el número de ecuaciones de nodo es igual al número de nodos menos uno, ya que la ecuación del nodo de referencia no proporciona ninguna información adicional.

De las ecuaciones 1#6, 1#7, 1#8 podemos obtener algunas conclusiones; Nótese que uno de los sumandos es igual al producto del voltaje del nodo por la suma de todas las admitancias que concurren a ese nodo (incluyendo la



admitancia del nodo de interés al de referencia). Cada uno de los demas sumandos es igual al producto del voltaje de cada uno de los demas buses por el negativo de admitancia directa existente entre ese bus y el nodo para el cual se esta formulando la ecuación.

La forma estándar de las ecuaciones 1#6, 1#7, 1#8 en lo que resta de este estudio sera la que a continuación se muestra:

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 1#9})$$

$$Y_{jk} = -1/Z_{jk} \quad j < k$$

$$Y_{jj} = \sum_{i=1}^n 1/Z_{ji} \quad (j < i) + 1/Z_{jj}$$

Donde  $Y_{jk}$  es diferente de  $Y_{kj}$  de las ecuaciones antes mostradas y se definira mas adelante.

El significado de los subíndices de los elementos  $Y$  de la matriz en la Ec 1#9 es causa, efecto; es decir el primer subíndice se refiere al nodo para el cual se esta formulando la ecuación de corrientes y el segundo subíndice se refiere al voltaje causante de la componente de corriente. La matriz de componentes  $Y$  es una matriz cuadrada de orden  $n$ , compleja y ademas simétrica; esto es que  $Y_{jk} = Y_{kj}$  dado que los elementos que intervienen en la red son lineales y no dependientes. Los elementos del tipo  $Y_{jk}$  ( $j$  diferente de  $k$ ) son llamados admitancias mutuas y son iguales al negativo de la suma de todas las admitancias que estan directamente entre los nodos  $j$  y  $k$ . Los terminos  $Y_{jj}$  son llamados admitancias propias de los nodos y son iguales a la suma de todas las admitancias concurrentes al nodo  $j$ .

La expresión general de la corriente que entra a un nodo  $K$  en una red que tiene  $N$  nodos independientes es:

$$I_k = \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \quad (\text{Ec. 1#10})$$

Donde los factores  $Y_{kn}$  son determinados como anteriormente se definieron. Si en algun nodo el voltaje es fijo, la ecuación para ese nodo no es escrita ya que sera una

ecuación linealmente dependiente de las demás y no proporcionara ninguna información adicional. Las fuentes de voltaje Es con impedancias series deberan ser convertidas a su equivalente de fuente de corriente con la impedancia en paralelo.

Podemos expresar la ecuación 1#9 en forma matricial como en seguida se muestra:

$$Y V = I \quad (\text{Ec } 1\#11)$$

Donde las matrices son consistentes en su orden y de elementos complejos. En lo anterior hemos considerado que conocemos las matrices Y e I y que nos interesa resolver para V, así que partiendo de la ecuación 1#10 tenemos que:

$$Y V = I \quad (\text{Ec } 1\#12)$$

$$Y^{-1} Y V = Y^{-1} I \quad (\text{Ec } 1\#13)$$

$$I V = Y^{-1} I \quad (\text{Ec } 1\#14)$$

$$V = Y^{-1} I \quad (\text{Ec } 1\#15)$$

$$V = Z I \quad (\text{Ec } 1\#16)$$

De tal manera que  $Y^{-1} = Z$  a la que llamaremos matriz impedancia o matriz de impedancias de bus; y para la red de la figura 1.4 tenemos que:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix} \quad (\text{Ec } 1\#17)$$

Dado que Y es una matriz simétrica sobre la matriz principal, la matriz  $Z = Y^{-1}$  es una matriz simétrica en la misma forma y el mismo orden.

Los elementos de la diagonal principal de Z son llamados impedancias propias del nodo y los elementos fuera de la diagonal son llamados impedancias de transferencia de los nodos. Dado que las ecuaciones 1#12 a 1#16 son operaciones matriciales, no debe esperarse ninguna relación recíproca entre  $Z_{jk}$  de la matriz Z y  $Y_{jk}$  de la matriz Y.

De la ecuación 1#16 obtengamos la expresión para el

voltaje del nodo 2:

$$V_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 + Z_{23} I_3 \quad (\text{Ec } 1\#18)$$

De la sección 1.1 recordemos que para obtener la impedancia de Thevenin en algún punto de la red, todas las fuentes deberán estar cortocircuitadas si son de voltaje, o en circuito abierto si son de corriente. En la ecuación 1#18 haremos  $I_1$  e  $I_3$  iguales a 0 y obtendremos:

$$V_2 = Z_{22} I_2 \quad (\text{Ec } 1\#19)$$

La relación del voltaje aplicado al nodo 2 a la corriente que este origina en el circuito  $Z_{22}$  y en consiguiente la ecuación 1#19 queda como:

$$Z_{22} = V_2 / I_2 \quad (\text{Ec } 1\#20)$$

De aquí que entonces podemos generalizar que:

$$Z_{\text{th nodo } j} = Z_{jj} \quad (\text{Ec } 1\#21)$$

Es decir, la impedancia equivalente de Thevenin del nodo  $j$  es el elemento  $Z_{jj}$  de la matriz  $Z$ .

### 1.2.3.- MODIFICACIONES A UNA MATRIZ Z DE BUS EXISTENTE

Dado que la matriz Z bus es una herramienta muy importante en el análisis de redes, a continuación examinaremos como se modifica al agregar nuevos buses o conectar nuevos enlaces entre buses ya establecidos. Por supuesto podría crearse una nueva matriz Y e invertirla, pero hay métodos directos para modificar la matriz Z. La elección dependerá de varios factores que se comentarán más adelante.

Nos referiremos a una matriz Z original a la cual se le harán algunas modificaciones. Los buses existentes en nuestra matriz original serán identificados por las letras h, i, j, k. La letra p denotará un bus nuevo en la red para convertir la matriz Z original en una matriz de orden (n+1).

#### CASO 1.- Adición de Zb de un nuevo bus p al bus de referencia.

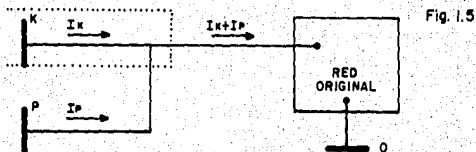
La adición de un nuevo bus p conectado al bus de referencia mediante Zb sin ninguna conexión con alguno de los buses de la red original no altera de ninguna manera los voltajes cuando una corriente Ip es inyectada al nuevo bus. El voltaje Vp del nuevo bus es solo función de la corriente Ip inyectada al nuevo bus. El voltaje Vp en el nuevo bus es en consiguiente IpZb. Entonces:

$$\begin{bmatrix} V1 \\ V2 \\ \cdot \\ \cdot \\ Vn \\ Vp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Zb \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ \cdot \\ \cdot \\ In \\ Ip \end{bmatrix}$$

Notese que la matriz de corrientes multiplicada por la nueva Z no alteró los voltajes de la red original y resultó en el voltaje correcto en el nuevo bus p.

#### CASO 2.- Adición de Zb entre un nuevo bus p y un bus existente k.

La adición de un bus p conectado a un bus existente K por medio de una Zb con una corriente Ip inyectada en el bus p originará que la corriente entrante a la red original en el bus K sea la suma de la corriente Ik (inyectada en un bus K) mas la corriente Ip entrando a través de Zb tal como se muestra en la figura 1.5.



La corriente  $I_p$  fluyendo en el bus K incrementará el voltaje  $V_k$  original en la cantidad  $I_p Z_{kk}$  (teorema de Thévenin y superposición); lo que es entonces:

$$V_k(\text{nuevo}) = V_k(\text{original}) + I_p Z_{kk} \quad (\text{Ec } 1\#22)$$

Y el voltaje  $V_p$  será mayor que el voltaje  $V_k$  en la cantidad  $I_p Z_{pb}$ . Entonces

$$V_p = V_k(\text{original}) + I_p Z_{kk} + I_p Z_{pb} \quad (\text{Ec } 1\#23)$$

$$V_p = I_1 Z_{k1} + I_2 Z_{k2} + I_3 Z_{k3} + \dots + I_n Z_{kn} + I_p (Z_{kk} + Z_b) \quad (\text{Ec } 1\#23)$$

Ahora se visualiza que la nueva fila que se ha de agregar a la matriz  $Z$  original para obtener  $V_p$  es:

$$Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{kn}, Z_{kk} + Z_b$$

Dado que la matriz  $Z$  debe ser una matriz cuadrada y simétrica, deberemos agregar una nueva columna que será la transpuesta de la nueva fila. La nueva columna considera el incremento en todos los voltajes de bus debido a  $I_p$ . La ecuación matricial es:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \\ V_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & Z_{1k} \\ & & & Z_{2k} \\ & & & \vdots \\ & & & \vdots \\ & & & Z_{kn} \\ Z_{1k} & Z_{2k} & \dots & Z_{kn} & Z_{kk} + Z_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \\ I_p \end{bmatrix} \quad (\text{Ec } 1\#24)$$

Nótese que los primeros  $n$  elementos de la nueva fila son los elementos de la fila  $k$  de  $Z$  original y los primeros  $n$  elementos de la nueva columna son los elementos de la columna  $k$  de  $Z$  original.

**CASO 3.- Adición de  $Z_b$  entre un nodo existente  $K$  y el bus de referencia.**

Para analizar como alterar  $Z$  original al conectar una impedancia  $Z_b$  desde un bus existente  $k$  al bus de referencia primero consideraremos un nuevo bus  $p$  conectado al bus  $K$  por medio de  $Z_b$ . Ahora cortocircuitaremos  $V_p$  al bus de referencia y en consiguiente  $V_p$  será igual a cero, obteniendo la misma ecuación 1#24 excepto que  $V_p=0$ . Por la modificación e inclusión de un bus  $p$  ficticio obtuvimos una matriz  $(n+1) \times (n+1)$ , de la cual debemos eliminar la fila  $(n+1)$  y la columna  $(n+1)$ , lo cual es posible debido al cero en el vector columna de voltajes ( $V_p=0$ ). Aplicando la teoría de reducción de matrices se obtiene la siguiente expresión para obtener cada elemento  $Z_{hi}$  en la nueva matriz.

$$Z_{hi} = Z_{hi}(\text{original}) - (Z_{h(n+1)} Z_{(n+1)i}) / (Z_{kk} + Z_b) \quad (\text{Ec } 1\#25)$$

**CASO 4.- Adición de  $Z_b$  entre dos nodos existentes  $j$  y  $k$ .**  
Exámínese la figura 1.6 con los buses  $j$  y  $k$  fuera de la red original.

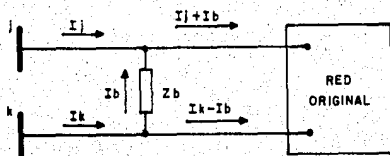


Fig. 1.6

La corriente  $I_b$  se muestra del bus  $k$  al bus  $j$ . Ahora se escribirán las ecuaciones para los voltajes de nodo tal como se hizo en la Ec 1#18.

$$V_i = Z_{i1}I_1 + \dots + Z_{ij}(I_j + I_b) + Z_{ik}(I_k - I_b) + \dots \quad (\text{Ec } 1\#26)$$

Reacomodando Ec 1#26

$$V_i = Z_{i1}I_1 + \dots + Z_{ij}I_j + Z_{ik}I_k + I_b(Z_{ij} - Z_{ik}) \quad (\text{Ec } 1\#27)$$

Similarmente

$$V_j = Z_{j1}I_1 + \dots + Z_{jj}I_j + Z_{jk}I_k + \dots - I_b(Z_{jj} - Z_{jk}) \quad (\text{Ec } 1\#28)$$

$$V_k = Z_{k1}I_1 + \dots + Z_{kj}I_j + Z_{kk}I_k + \dots - I_b(Z_{kj} - Z_{kk}) \quad (\text{Ec } 1\#29)$$

Como ahora tenemos una incognita más ( $I_b$ ) necesitamos de una ecuación más para resolver nuestro sistema:

$$V_k - V_j = I_b Z_b \quad (\text{Ec } 1\#30)$$

o

$$0 = I_b Z_b + V_j - V_k \quad (\text{Ec } 1\#31)$$

Y sustituyendo las expresiones para  $V_j$  y  $V_k$  de las ecuaciones 1#28 y 1#29 en la ecuación 1#31 tenemos que:

$$0 = I_b Z_b + (Z_{j1} - Z_{k1})I_1 + \dots + (Z_{jj} - Z_{kj})I_j + \dots + (Z_{jk} - Z_{kk})I_k + \dots + (Z_{jj} + Z_{kk} - 2Z_{jk})I_b \quad (\text{Ec } 1\#32)$$

y defínase como  $Z_{bb}$  al coeficiente de  $I_b$

$$Z_{bb} = (Z_b + Z_{jj} + Z_{kk} - 2Z_{jk}) \quad (\text{Ec } 1\#33)$$

Al examinar las ecuaciones 1#27 y 1#29 en la ecuación 1#32 podemos escribir la siguiente ecuación matricial.

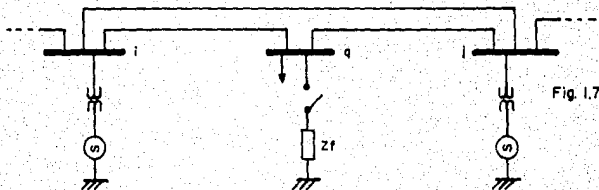




1.3.- CALCULO SISTEMATICO DE CORTO CIRCUITO:

1.3.1.- MODELADO DE LA RED.

Considere la parte de un sistema de n buses que se muestra en la figura 1.7

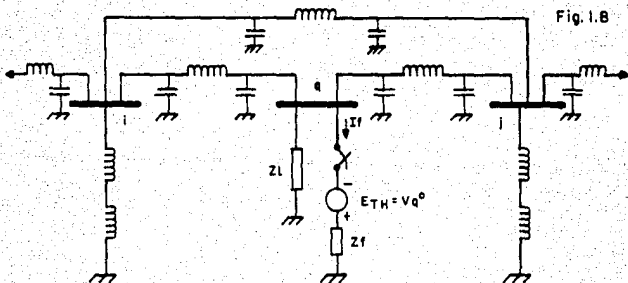


El vector de los voltajes de prefalla es:

$$V_{bus} = \begin{bmatrix} V_1 \\ \cdot \\ V_q \\ \cdot \\ V_n \end{bmatrix} \quad (\text{Ec } 1\#36)$$

Donde los voltajes de prefalla son obtenidos de un estudio de flujo de potencia.

Igualando a cero todas las fuentes activas y representando los generadores, transformadores, líneas y cargas por sus impedancias apropiadas, obtendremos el equivalente de Thevenin de la red. (fig. 1#8).



El efecto de la falla es representado por la tensión de prefalla como  $E_{th}$  tal que  $V_q = V^0_q - E_{th}$  y  $E_{th} = V_q^0$  por lo tanto  $V_q = 0$ .

En esta red (fig 1.8) los voltajes que adquieren los buses representan los cambios originados por la falla.

Llamaremos a estos cambios (que no son necesariamente pequeños)  $DV_1, DV_2, \dots, DV_n$  y los concentraremos en un vector n-dimensional "Vector de voltajes de Thévenin":

$$V_T = \begin{bmatrix} DV_1 \\ \cdot \\ DV_q \\ \cdot \\ DV_n \end{bmatrix} \quad (\text{Ec } 1\#37)$$

De acuerdo al teorema de Thévenin y al principio de la superposición, tenemos que los voltajes de bus en la falla se constituyen de dos términos: el primero el voltaje de prefalla y el segundo, el cambio originado por el cortocircuito. En consecuencia:

$$V_{bus \text{ falla}} = V^0_{bus} + V_T \quad (\text{Ec } 1\#38)$$

1.3.2.- LA MATRIZ Z EN EL CALCULO DE FALLAS SIMETRICAS.

Considerando el sistema de n-buses de la figura 1.8 y representando la red por su matriz  $Z$   $n \times n$ , la relacion entre los voltajes de bus originados por la inyección de corrientes a los buses es la Ec 1#16

$$V_{bus} = Z_{bus} I_{bus} \quad (Ec \ 1\#39)$$

En la red de la figura 1.8 las corrientes inyectadas en los buses, resultan ser una sola corriente ( $-I_f$ ) en el bus q. Entonces así el vector de corriente de bus, es igual al vector de corrientes de falla.

$$I_{bus} = I_{falla} = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ -I_f \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \cdot \\ q \text{ componente} \\ \cdot \\ \cdot \\ n \end{matrix} \quad (Ec \ 1\#40)$$

Asimismo los cambios de voltaje debidos a la falla seran:

$$V_T = Z_{bus} I_{falla} \quad (Ec \ 1\#41)$$

Y la ecuacion 1#38 puede escribirse como:

$$V_{bus \ falla} = V_{bus}^0 + V_T$$

$$V_{bus \ falla} = V_{bus}^0 + Z_{bus} I_{falla} \quad (Ec \ 1\#42)$$

La ecuación anterior relaciona matrices de orden n. En consiguiente tenemos n+1 incognitas. Los n voltajes de postfalla  $V_{falla}$  mas la corriente de falla  $I_f$ . En consiguiente se necesita una ecuación adicional que no sea linealmente dependiente de las que hasta ahora se manejan en las ecuaciones 1#39 a 1#42. De la figura 1.8 en el bus q tenemos que:

$$V_{q \ falla}^f = V_q^0 + (-E_{Th}) + I_f Z_f$$

$$V_{q \ falla}^f = I_f Z_f \quad (Ec \ 1\#43)$$

Dado que el vector I es cero excepto en su elemento "q" podemos escribir las siguientes ecuaciones a partir de la Ec 1#42 para todos los buses

$$\begin{aligned}
 V^f_1 &= V^0_1 - Z_{1q} I^f \\
 &\dots \dots \dots \\
 V^f_q &= V^0_q - Z_{qq} I^f && \text{(Ec 1\#44)} \\
 &\dots \dots \dots \\
 V^f_n &= V^0_n - Z_{nq} I^f
 \end{aligned}$$

Si en la ecuación q-esima de la Ec 1\#44, sustituimos la Ec 1\#43, obtendremos la siguiente ecuación:

$$I^f = V^0_q / (Z_f + Z_{qq}) \quad \text{(Ec 1\#45)}$$

Dado que  $V^0_q$  es conocido, también lo será la corriente de falla. Sustituyendo la Ec 1\#45 en la Ec 1\#44 tendremos las siguientes fórmulas para los voltajes de postfalla para una falla en el bus q.

$$V^f_{falla} = V^0_i - Z_{iq} / (Z_f + Z_{qq}) V^0_q \quad \text{(Ec 1\#46)}$$

$$V^f_{falla} = Z_f / (Z_f + Z_{qq}) V^0_q \quad i=q \quad \text{(Ec 1\#47)}$$

Si el corto circuito es sólido ( $Z_f=0$ ) las fórmulas anteriores se simplifican a:

$$I^f = V^0_q / Z_{qq} \quad \text{(Ec 1\#48)}$$

$$V^f_q = 0 \quad \text{(Ec 1\#49)}$$

$$V^f_{falla} = V^0_i - Z_{iq} / Z_{qq} V^0_q \quad i \neq q \quad \text{(Ec 1\#50)}$$

Expresando en valores p.u. y considerando los voltajes de prefalla 1 p.u. la ecuación anterior se reescribiría:

$$I^f = 1 / Z_{qq} \quad \text{(Ec 1\#51)}$$

$$V^f_{falla} = (1 - Z_{iq} / Z_{qq}) \quad \text{(Ec 1\#52)}$$

También necesitamos conocer las corrientes en todas las ramas de la red. Si estas corrientes las obtenemos a partir de las tensiones de postfalla, no tendremos que hacer ninguna alusión a alguna componente de corriente de falla propia o de prefalla; sino que se obtendrán ambas componentes (siempre y cuando los voltajes de prefalla se hayan considerado correctamente).

Si tenemos  $V_j$  e  $V_k$  como los voltajes en la falla, podemos escribir lo siguiente para la corriente que va del nodo  $j$  al nodo  $k$ :

$$I_{jk} = (V_j - V_k) / Z_{jk} \quad (\text{Ec } 1\#53)$$

Donde  $Z_{jk}$  es la impedancia existente entre los nodos  $j$  y  $k$  (que no se refiere al elemento  $jk$  de la matriz  $Z_{\text{bus}}$ ).

De acuerdo con lo indicado en la sección 2.2 para la obtención de la matriz  $Y$ , el elemento  $Y_{jk}$  ( $j < k$ ) es

$$Y_{jk} = -1 / Z_{jk} \quad j < k \quad (\text{Ec } 1\#54)$$

y en consiguiente

$$I_{jk} = (V_j - V_k) (-Y_{jk}) \quad j < k \quad (\text{Ec } 1\#55)$$

$$I_{jk} = (V_k - V_j) (Y_{jk}) \quad j < k \quad (\text{Ec } 1\#56)$$

En el caso de las corrientes que circulan por las impedancias  $Z_{jj}$  desde el bus de referencia hacia un nodo  $j$  se obtiene:

$$I_j = -V_{\text{falla}} / Z_{jj} \quad (\text{Ec } 1\#57)$$

de la sección 2.2 tenemos que

$$1 / Z_{jj} = \sum_{i=1}^n Y_{ji} \quad (\text{Ec } 1\#58)$$

donde  $Y_{ji}$  se refiere a los términos de la matriz  $Y_{\text{bus}}$  y en consiguiente

$$I_j = -V_{\text{falla}} \sum_{i=1}^n Y_{ji} \quad (\text{Ec } 1\#59)$$

Dado que los voltajes pueden escribirse en términos de la matriz de impedancia, podemos reescribir las ecuaciones 1#56 y 1#59.

$$I_{jk} = (V_k - V_j + (Z_{kq} - Z_{jq}) / Z_{qq}) (Y_{jk}) \quad (\text{Ec } 1\#60)$$

$$I_j = (Z_{iq} / Z_{qq} V_q - V_j) \left( \sum_{i=1}^n Y_{ji} \right) \quad (\text{Ec } 1\#61)$$

Donde  $q$  es el nodo fallado y los términos  $Z$ ,  $Y$  se refieren a las matrices  $Z_{\text{bus}}$ ,  $Y_{\text{bus}}$  respectivamente.

Si expresamos las ecuaciones 1#60 y 1#61 en p.u. y considerando los voltajes de prefalla 1 p.u.; las ecuaciones se simplifican como sigue:

$$I_{jk} = ((Z_{kq} - Z_{jq}) / Z_{qq}) (Y_{jk}) \quad (\text{Ec. 1#62})$$

$$I_j = (Z_{iq} / Z_{qq} - 1) \left( \sum_{i=1}^n Y_{ji} \right) \quad (\text{Ec. 1#63})$$

CAPITULO II

COMPONENTES SIMETRICAS

## 2.1.- COMPONENTES SIMÉTRICAS.

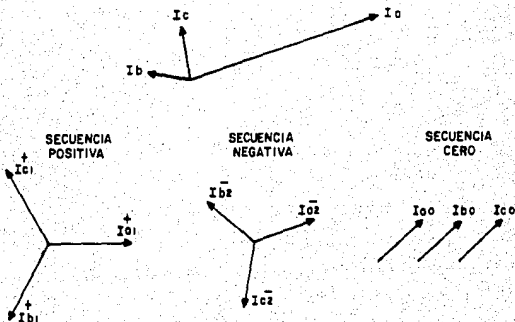
Considere un conjunto de tres fasores desbalanceados ejemplificados por las corrientes  $I_a$ ,  $I_b$  e  $I_c$  tal y como se muestra en la figura 2.1.

En 1918 C. L. Fortescue demostró que es posible resolver este conjunto de fasores descomponiéndolo en tres conjuntos llamados de componentes simétricas (o coordenadas simétricas como él lo considera más propio). Los tres sistemas de fasores que propone son:

- 1) Sistema de secuencia positiva. Consiste de tres componentes de igual magnitud desplazados 120 grados eléctricos entre sí y con secuencia abcabc....
- 2) Sistema de secuencia negativa. Consiste de tres componentes de igual magnitud desplazados 120 grados eléctricos entre sí y con secuencia acbacb....
- 3) Sistema de secuencia cero. Sistema de tres componentes de igual magnitud y fase.

Los tres sistemas son simbolizados por 1, 2 y 0 respectivamente (+, - y 0 de acuerdo con otros autores). (v. fig 2.1)

Fig. 2.1





## 2.1.1.- LA TRANSFORMACION DE COMPONENTES SIMETRICAS.

La situación que se mostró en la gráfica 2.1 puede ser expresada matemáticamente como sigue:

$$\begin{aligned} I_a &= I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \\ I_b &= I_{b0} + I_{b1} + I_{b2} \\ I_c &= I_{c0} + I_{c1} + I_{c2} \end{aligned} \quad (\text{Ec } 2\#1)$$

Para una notación mas breve se introducirá el operador "a" que se define de la siguiente manera:

$$a = 1 \angle 120^\circ = -0.5 + j0.866 \quad (\text{Ec } 2\#2)$$

y de acuerdo con las relaciones de secuencia que se obtienen de la definición de cada sistema de componentes tenemos que:

$$\begin{aligned} I_{b1} &= a^2 I_{a1} \\ I_{c1} &= a I_{a1} \\ I_{b2} &= a I_{a2} \\ I_{c2} &= a^2 I_{a2} \\ I_{b0} &= I_{c0} = I_{a0} \end{aligned} \quad (\text{Ec } 2\#3)$$

Sustituyendo 2#3 en 2#1 y escribiendo en forma matricial

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (\text{Ec } 2\#4)$$

La ecuación anterior puede ser resuelta para los fasores de secuencia a partir de los fasores de fase obteniéndose la siguiente expresión:

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (\text{Ec } 2\#5)$$

La ecuación 2#5 muestra que la secuencia cero no existe si la suma de los fasores desbalanceados es cero. Las ecuaciones anteriores podrían haber sido escritas para voltajes en lugar de corrientes obteniéndose las mismas conclusiones.

## 2.2.- IMPEDANCIAS Y REDES DE SECUENCIA.

En un elemento de un circuito, la caída de voltaje causada por una corriente de determinada secuencia dependerá de la impedancia de dicho elemento a esa secuencia. La impedancia de cualquier elemento de una red balanceada a la corriente de determinada secuencia puede diferir de la impedancia que ofreciera a la corriente de otra secuencia.

La impedancia de un circuito cuando solo circula corriente de secuencia positiva es llamada impedancia a la corriente de secuencia positiva. Similarmente cuando solo circula corriente de secuencia negativa, la impedancia es llamada impedancia a la corriente de secuencia negativa. Cuando solo hay corriente de secuencia cero presente, la impedancia es llamada impedancia a la corriente de secuencia cero. Los términos anteriores son más comúnmente conocidos como impedancia de secuencia positiva, impedancia de secuencia negativa e impedancia de secuencia cero.

El análisis de una falla asimétrica en un sistema simétrico consiste en obtener los componentes de secuencia de las corrientes desbalanceadas que circulan en la red.

Dado que en una red de tales características la corriente de una secuencia solo producirá caídas de voltaje de la misma secuencia y que son independientes de las corrientes de las otras secuencias, en un sistema balanceado puede considerarse que las corrientes de cada secuencia circulan en una red independiente compuesta de las impedancias de esa secuencia específica. El circuito monofásico equivalente formado por las impedancias a la corriente de determinada secuencia en particular es llamado red de secuencia para esa secuencia. Las redes de secuencia incluyen cualquier generador o fuente de dicha secuencia. Las redes de secuencia por donde fluyen las corrientes  $I_{a1}$ ,  $I_{a2}$  e  $I_{a0}$  son interconectadas para representar las diversas fallas desequilibradas. Por lo tanto, para calcular los efectos de una falla por el método de componentes simétricas, es esencial determinar las impedancias de secuencia y combinarlas para formar las redes de secuencia.

### 2.3.- REDES DE SECUENCIA DE GENERADORES SIN CARGA.

En la siguiente figura se muestra un generador sin carga, aterrizado a través de impedancia ( fig 2.2).

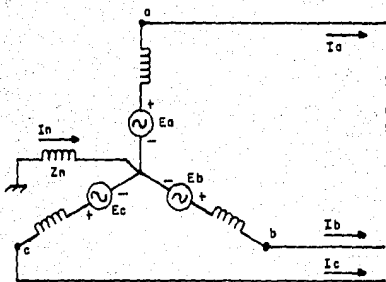


Fig. 2.2

GENERADOR  
SIN CARGA

Los voltajes del generador son solo de secuencia positiva dado que el generador está diseñado para proporcionar voltajes trifásicos balanceados. Por lo tanto, la red de secuencia positiva del generador está compuesta de una fuerza electromotriz en serie con la impedancia de secuencia positiva del generador. Las redes de secuencia negativa y cero no contienen fuentes de alguna clase, sino solo la impedancia de secuencia respectiva. Las redes de secuencia que se muestran son el equivalente monofásico de los circuitos simétricos trifásicos por los cuales las corrientes de componentes simétricas circulan ( fig 2.3).

Fig. 2.3

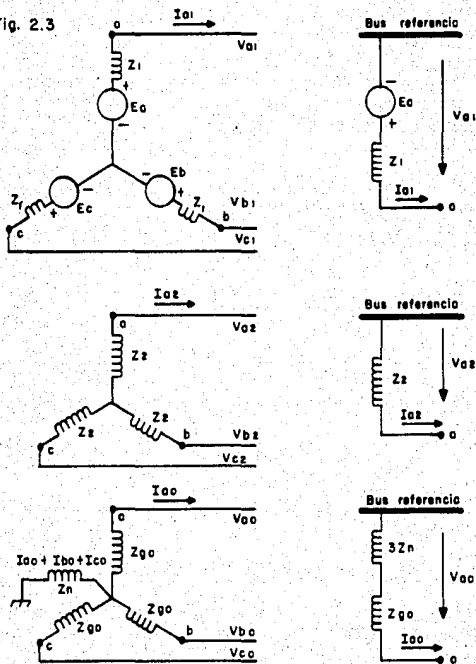


FIG. 2.3 REDES DE SECUENCIA GENERADOR SIN CARGA

La fuerza electromotriz en la red de secuencia positiva es el voltaje en terminales sin carga. La reactancia en la red de secuencia positiva es la subtransitoria, transitoria o síncrona dependiendo de que tipo de estudio se realiza.

El bus de referencia para las redes de secuencia positiva y negativa es el neutro del generador. La corriente fluyendo por la impedancia  $Z_n$  entre neutro y tierra es  $3I_{a0}$ .

Refiriendonos a la fig 2.3 tenemos que la caída de tensión en la malla de secuencia cero desde tierra al punto a es:

$$-3I_{a0}Z_n - I_{a0}Z_{g0}$$

la que puede escribirse como

$$-I_{a0}(3Z_n + Z_{g0})$$

La impedancia de secuencia cero total es por lo tanto:

$$Z_0 = 3Z_n + Z_{g0} \quad (\text{Ec } 2\#6)$$

Las ecuaciones para las componentes de las caídas de voltaje del punto a de la fase a hacia su bus de referencia (o a tierra respectivamente) son:

$$V_{a1} = E_a - I_{a1}Z_1 \quad (\text{Ec } 2\#7)$$

$$V_{a2} = -I_{a2}Z_2 \quad (\text{Ec } 2\#8)$$

$$V_{a0} = -I_{a0}Z_0 \quad (\text{Ec } 2\#9)$$

#### 2.4.- IMPEDANCIAS DE SECUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE LA RED.

Las impedancias de secuencia positiva y negativa de todo elemento lineal, estático y simétrico son iguales debido a que en la deducción de sus impedancias se considera solo que los voltajes (o corrientes) aplicados son balanceados sin hacerse mención a la secuencia en que estos se presenten. No sucede así generalmente con las impedancias de secuencia cero.

En el caso de las maquinas rotatorias, la impedancia para cada una de las tres secuencias generalmente sera diferente de la impedancia de las otras secuencias. La fuerza magnetomotriz producida por la corriente de secuencia negativa en la armadura gira en dirección opuesta a el rotor en el cual se encuentra el devanado del campo. A diferencia del flujo producido por la corriente de secuencia positiva, el cual es estacionario con respecto al rotor, el flujo

producido por la corriente de secuencia negativa se desliza rapidamente sobre la cara del rotor. Las corrientes inducidas en el campo por el flujo rotatorio en la armadura impiden que el flujo penetre al rotor. Esta condicion es similar a la del cambio rapido del flujo inmediatamente despues de la ocurrencia de la falla. Por lo tanto, en una maquina de rotor cilindrico, las reactividades de secuencia negativa y subtransitoria son iguales.

Cuando solo corrientes de secuencia cero circulan en la armadura de una maquina trifásica, la corriente y la fuerza magnetomotriz de cada fase estan al máximo al mismo tiempo que las otras fases. Los devanados estan distribuidos alrededor de la circunferencia, que es la armadura, tal que el punto de máximo valor de cada fase esta desplazado 120 grados eléctricos en el espacio de cada punto máximo de las otras fases. Si la fuerza magnetomotriz de cada fase tiene una distribución perfectamente sinusoidal en el espacio, una gráfica de fuerza magnetomotriz alrededor de la armadura mostrara tres curvas sinusoidales cuya suma debiera ser cero en cada punto y a cada tiempo. No habra en consiguiente flujo entre la armadura y el rotor y la unica reactividad presente sera la de dispersion de cada devanado. En una maquina real, el devanado no esta distribuido perfectamente, pero el flujo resultante es muy pequeño, tal que la impedancia de secuencia cero solo es un poco mayor de lo que seria el caso ideal.

En el caso de lineas de transmisión, al obtener las ecuaciones para inductancia y capacitancia de lineas transpuestas, se asume que las corrientes y los voltajes estan balanceados y no se especifica algun orden en que han de presentarse las fases. Por lo tanto las ecuaciones resultantes son válidas para la secuencia negativa. Cuando sólo circula corriente de secuencia cero en una linea de transmisión, la corriente y los campos eléctrico y magnético son idénticos en cada fase. Ademas la corriente retorna a través de la tierra, a través de los cables aterrizados o por ambas trayectorias. La resultante del campo magnético de las tres fases ocasiona que la reactividad inductiva de una linea aérea sea de 1.5 a 5 veces la reactividad de secuencia positiva.

La corriente de secuencias cero por estar presente en las tres fases con el mismo ángulo y magnitud solo podra circular si existe una trayectoria de retorno a través del circuito completo. La referencia para los voltajes de secuencia cero es el potencial de tierra al punto en el sistema en el cual el voltaje se especifique. Dado que las corrientes de secuencia cero pueden fluir a través de la tierra, la tierra no tiene necesariamente el mismo potencial en todos los puntos y el bus de referencia de la red de

secuencia cero no representa una tierra con potencial uniforme. La impedancia de los cables de tierra es incluida en la impedancia de secuencia cero de una línea de transmisión, tal que así el circuito de retorno será de cero impedancia. Esto resultará en que los voltajes medidos al bus de referencia de la red de secuencia cero proporcionarán los voltajes a tierra correctos.

En el caso de elementos terminales de la red, estos tendrán la red de secuencia cero respectiva tal y como se muestra en la figura 2.4.

Un transformador en un circuito trifásico puede consistir de unidades monofásicas o de un solo transformador trifásico. Como en el caso de las líneas de transmisión y con los mismos argumentos, las impedancias de secuencia negativa y positiva en el transformador son iguales entre sí y el modelo se reduce a una impedancia serie. En el caso de la impedancia de secuencia cero, esta puede diferir solo un poco de la impedancia de secuencia positiva, aunque lo usual es considerarlas idénticas. El factor más importante aquí es el modelo del transformador en secuencia cero, ya que este será dependiente de las conexiones primarias, secundarias y terciarias del transformador tal y como se muestra en la figura 2.5.

FIG. 24

RED DE SECUENCIA CERO PARA DIFERENTES CONEXIONES

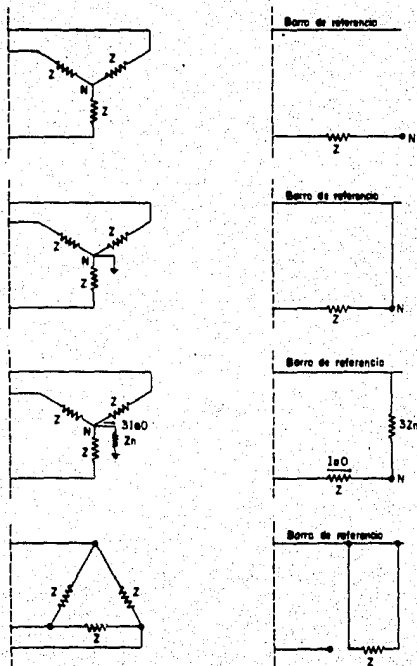




FIG 251  
CIRCUITOS EQUIVALENTES PARA TRANSFORMADORES  
TRIFASICOS

	CONEXION TRIFASICA	CIRCUITO DE SECUENCIA CERO	CIRCUITO DE SECUENCIA POSITIVA O NEGATIVA
a			
b			
c			
d			
e			
f			
g			
h			

FIG. 2.5.2  
CIRCUITOS EQUIVALENTES PARA TRANSFORMADORES  
TRIFÁSICOS

	TRANSFORMADOR TRES DEVANADOS		
	CONEXIÓN TRIFÁSICA	CIRCUITO DE SECUENCIA CERO	CIRCUITO DE SECUENCIA POSITIVA O NEGATIVA
a			
b			
c			
d			
e			
f			

CAPITULO III

FALLAS ASIMETRICAS

### 3.1.- ANALISIS DE FALLAS ASIMETRICAS.

En el capítulo anterior se presentó el desarrollo de las componentes simétricas y se destacó la dependencia de la impedancia de los diferentes elementos de la red según la secuencia que se aplica al elemento. La importancia de lo anterior resulta del hecho de que la mayoría de las fallas que ocurren en los sistemas de potencia son de característica asimétrica.

Las fallas asimétricas más comunes son: fallas monofásicas a tierra, falla entre fases, o falla entre fases y a tierra. La trayectoria de la corriente de falla en cada caso puede o no contener impedancias. Uno o dos conductores abiertos resultaran en una condición asimétrica debido a la ruptura de puentes, falla en polos de interruptor, rieceres monopolares o cualquier otra operación que no abra simultáneamente las tres fases.

Dado que cualquier falla asimétrica origina corrientes desbalanceadas en el sistema, el método de las componentes simétricas es muy útil en el análisis de los voltajes y corrientes que se presentan en un sistema en la ocurrencia de una falla. Este análisis del sistema sujeto a una condición asimétrica generalmente se resuelve en cuatro pasos:

- 1).- Armado de la red mediante los modelos adecuados y en tres redes separadas con la descripción apropiada.
- 2).- Elección del tipo y localización de la falla así como descripción matemática de la misma.
- 3).- Solución de las ecuaciones resultantes aplicando teoremas de redes para obtener las corrientes en la localidad de la falla.
- 4).- A partir de los resultados anteriores y mediante teoremas tales como Thévenin, superposición, linealidad, etc. es como, con la ayuda de distribuciones de corriente, se obtienen las componentes de secuencia de voltajes y corrientes en las localidades de interés de la red. Mas aún, mediante las transformaciones de componentes simétricas se obtienen las cantidades por fase.

Para el análisis de fallas asumiremos algunas simplificaciones. Debe tenerse en cuenta que ninguna de ellas reduce la generalidad del estudio. Al contrario simplificarán los cálculos a realizar y harán más visible el tema de estudio. Las simplificaciones son las siguientes:

- 1).- Todas las magnitudes seran expresadas por unidad.
- 2).- El voltaje de Prefalla de secuencia positiva en todos los buses es 1.0 p.u.
- 3).- Los voltajes de prefalla no contienen componentes de secuencia negativa y cero.
- 4).- Las corrientes de prefalla son despreciadas.
- 5).- La capacitancia de las lineas es despreciada.
- 6).- La impedancia de excitación de los transformadores es despreciada.
- 7).- Las fallas son sólidas.
- 8).- Los resultados a obtener seran para una condición con la fase a como referencia.

Independientemente del tipo de falla que ocurra en el sistema, se aplicarán las ecuaciones 2#3, 2#4, 2#5 obtenidas para las redes de secuencia de un generador sin carga, pero en las cuales el término de impedancia en lugar de referirse a una característica de una maquina eléctrica, se referira a términos de impedancias equivalentes de una red tal y como sigue:

$$V_{a1} = E_a - I_{a1}Z_1 \quad (\text{Ec } 3\#1)$$

$$V_{a2} = -I_{a2}Z_2 \quad (\text{Ec } 3\#2)$$

$$V_{a0} = -I_{a0}Z_0 \quad (\text{Ec } 3\#3)$$

El propósito en las siguientes secciones es obtener las ecuaciones faltantes para resolver el sistema anterior en terminos de  $E_a$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $Z_0$  para cada condición asimétrica.

### 3.2.- FALLA MONOFASICA A TIERRA.

Consideremos la falla monofásica a tierra aplicada en terminales de un generador sin carga conectado tal y como se muestra en la figura ( fig 3.1).

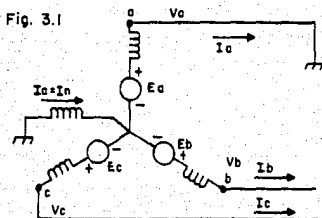


FIG. 3.1 FALLA MONOFASICA GENERADOR SIN CARGA

Las relaciones que obtendran seran aplicables a la fase a pero puede ser referido a cualquier otra ya que la denominación es arbitraria. Las condiciones en la falla son:

$$I_b=0 \quad I_c=0 \quad V_a=0 \quad I_a=I_{falla} \quad (Ec \ 3\#4)$$

Aplicando la transformación de componentes simétricas a las corrientes tenemos que:

$$I_{a1}=I_{a2}=I_{a0}=I_a/3$$

Y sustituyendo las condiciones anteriores en las ecuaciones 3#1, 3#2, 3#3 y bajo la condición  $V_a=0$  tenemos que:

$$I_{a1}=E_a/(Z_1+Z_2+Z_0) \quad (Ec \ 3\#5)$$

$$I_f=3E_a/(Z_1+Z_2+Z_0) \quad (Ec \ 3\#6)$$

Si las tres redes de secuencia del generador son conectadas en serie entre sí como se muestra en la siguiente figura ( fig 3.2); se obtendran ecuaciones que satisfacen

las condiciones de falla monofásica a tierra.

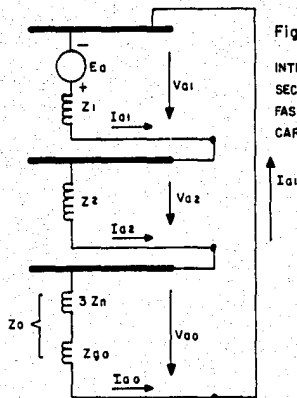


Fig 3.2

INTERCONEXION DE REDES DE SECUENCIA PARA FALLA MONOFASICA EN UN GENERADOR SIN CARGA.

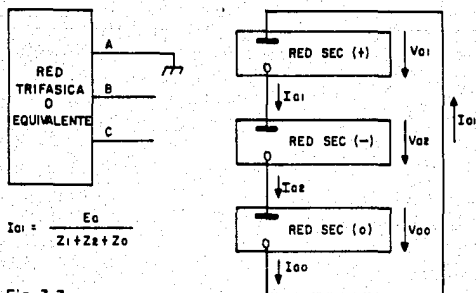
Con el arreglo anterior, el voltaje en cada red de secuencia es la componente simétrica de  $V_a$  de cada secuencia. La manera de conectar las redes es un recurso útil para memorizar la solución de la falla monofásica.

Si el neutro del generador no está conectado a tierra, la red de secuencia cero estará abierta y  $Z_0$  será infinita. De la ecuación 305 concluimos que  $I_f=0$  cuando  $Z_0$  es infinita. Es decir que no se establece una trayectoria completa para el retorno de la corriente de falla.

En todo el desarrollo anterior se partió del modelo de un generador sin carga. Es completamente válido, si en lugar de referirnos a una sola máquina, nos referimos a una localidad de alguna red general, de tal manera que si sustituimos los términos de impedancias síncronas por las respectivas impedancias de Thevenin de cada secuencia de la red en la localidad y el voltaje detrás de la reactancia síncrona por el voltaje de prefalla en la localidad. De esta manera hemos pasado del estudio de la falla monofásica en terminales de un generador sin carga al estudio de la falla monofásica en alguna localidad específica de una red general con voltaje

de prefalla  $E_a$  e impedancias de Thévenin en ese mismo punto  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_0$  de secuencia positiva, negativa y cero respectivamente.

Los resultados de la discusión anterior se muestran en la siguiente figura (v. fig 3.3):



$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

Fig. 3.3

INTERCONEXION DE REDES DE SECUENCIA PARA FALLA MONOFASICA EN UNA RED

$$I_{a1} = E_a / (Z_1 + Z_2 + Z_0)$$

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$$

Es importante señalar que las condiciones de la falla ( $I_a = I_f$ ,  $I_b = 0$ ,  $I_c = 0$ ,  $V_a = 0$ ) son impuestas y válidas solamente en el punto de la falla. No existe ninguna razón para generalizar dichas condiciones ( $I_b = 0$ ,  $I_c = 0$ ) al resto de la red. En general, conforme más nos alejamos de la localidad de la falla, las contribuciones se reducen en la fase fallada pero las contribuciones en las fases "sanas" se han hecho manifiestas. Esto es fácilmente visible en la contribución que pasa por un transformador delta-estrella hacia una falla monofásica en el lado de la estrella. Las condiciones solo prevalecen en el caso de localidades radiales y solo en la parte de la red que lo es; pero difícilmente se cumplen en el caso de localidades donde la red es un anillo o se cuenta con trayectorias a bus de referencia en la red de secuencia cero.



### 3.3.- FALLA ENTRE FASES

En la siguiente figura ( fig 3.4) se muestra una falla entre fases en terminales de un generador sin carga conectado en estrella:

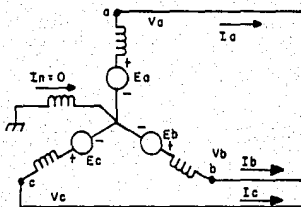


FIG.3.4 FALLA ENTRE FASES b y c GENERADOR SIN CARGA

Las condiciones en la falla son las siguientes:

$$V_b = V_c \quad I_a = 0 \quad I_b = -I_c \quad (\text{Ec } 3\#7)$$

Aplicando la transformación de componentes simétricos a los voltajes obtenemos el siguiente resultado:

$$V_{a1} = V_{a2} \quad (\text{Ec } 3\#8)$$

Aplicando la transformación de componentes simétricas a las corrientes obtenemos los siguientes resultados:

$$I_{a0} = 0 \quad I_{a2} = -I_{a1} \quad (\text{Ec } 3\#9)$$

Sustituyendo lo anterior en las ecuaciones 3#1, 3#2, 3#3 obtenemos la siguiente conclusión:

$$I_{a1} = E_a / (Z_1 + Z_2) \quad (\text{Ec } 3\#10)$$

La ecuación anterior es la solución para el caso de falla entre fases y junto con las ecuaciones 3#1, 3#2, 3#3 y las transformaciones a magnitudes de fase se obtienen los voltajes y corrientes en la falla. La ecuación 3#9 indica como han de conectarse las redes de secuencia para la falla entre fases.

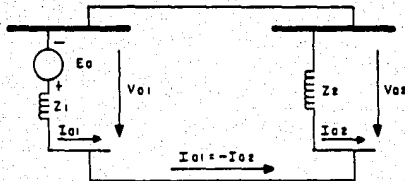
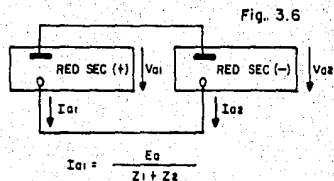
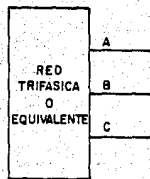


Fig. 3.5  
 INTERCONEXION DE REDES DE SECUENCIA  
 PARA FALLA ENTRE FASES EN UN GENERADOR  
 SIN CARGA

Dado que  $Z_0$  no interviene en las ecuaciones, la red de secuencia cero no es empleada en este caso (fig 3.5).

Las redes de secuencia positiva y negativa deben estar en paralelo dado que  $V_{a1} = V_{a2}$ . La conexión en paralelo de ambas redes resulta en  $I_{a1} = -I_{a2}$  que es una condición resultante de la naturaleza de la falla. Debido a que solo una conexión a tierra interviene en la falla, no hay trayectoria cerrada y por lo tanto  $I_{a0} = 0$ . La presencia o no de un neutro aterrizado en los generadores no afecta la corriente de falla entre fases.

Bajo los mismos argumentos de la sección 3.4 podemos ampliar los resultados obtenidos para el caso de la falla entre fases, en algún punto de una red siempre y cuando se sustituyan las reactancias síncronas en la Ec 3#9 por las impedancias de Thévenin de cada secuencia en el punto de falla y el voltaje detrás de la reactancia por el voltaje de prefalla de la localidad de interés (fig 3.6).



INTERCONEXION DE REDES DE SECUENCIA PARA FALLA ENTRE FASES EN UNA RED

$$I_{a1} = E_a / (Z_1 + Z_2)$$

Las condiciones ( $I_b = -I_c$ ,  $V_b = V_c$ ) son solo aplicables, en el caso de una red, en el punto de la falla y no se generalizan a toda la red, excepto para el caso en el cual todos los elementos de la red tengan iguales entre si sus impedancias de secuencia negativa y positiva.

### 3.4.- FALLA ENTRE DOS FASES Y A TIERRA.

El diagrama para una falla entre dos fases y a tierra en un generador sin carga teniendo aterrizado el neutro, se muestra en la siguiente figura ( fig 3.7).

Fig. 3.7

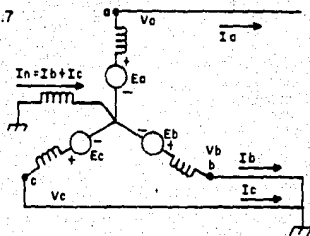


FIG. 3.7 FALLA ENTRE FASES b, c Y A TIERRA GENERADOR SIN CARGA

Las condiciones en la falla son las siguientes:

$$V_b=0 \quad V_c=0 \quad I_a=0 \quad I_b+I_c=I_n \quad (Ec \ 3\#11)$$

Con  $V_b=0$  y  $V_c=0$  obtenemos que las componentes del voltaje son:

$$V_{a1}=V_{a2}=V_{a0} \quad (Ec \ 3\#12)$$

Sustituyendo las condiciones anteriores en las ecuaciones 3#1, 3#2, 3#3 obtenemos a partir del desarrollo de éstas, la siguiente expresión para una falla entre dos fases y a tierra:

$$I_{a1}=E_a / (Z_1 + (Z_2 Z_0) / (Z_2 + Z_0)) \quad (Ec \ 3\#13)$$

La ecuación anterior es usada junto con las ecuaciones 3#1, 3#2, 3#3 y con la transformación de componentes simétricas para determinar todos los voltajes y corrientes en la falla. La ecuación 3#13 indica que las redes de secuencia deben ser conectadas en paralelo, como se muestra en la siguiente figura ( fig 3.8) dado que los voltajes de secuencia son iguales entre si.

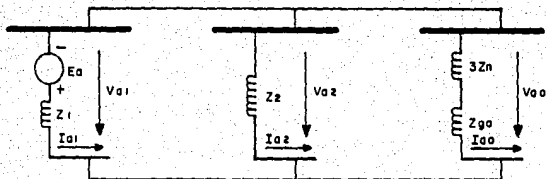


Fig. 3.8 INTERCONEXION DE REDES DE SECUENCIA PARA FALLA ENTRE FASES Y A TIERRA EN UN GENERADOR SIN CARGA

La figura anterior cumple con todas las condiciones impuestas para este tipo de falla y así mismo con la ecuación 3#13. Nótese que en la ausencia de una conexión entre el neutro del generador y tierra no podrá circular corriente por tierra. En este caso  $Z_0$  es infinita y en consiguiente  $I_{a0}$  será cero. Tomando el límite cuando  $Z_0$  tiende a infinita en la ecuación 3#13 encontramos que esta se convierte en la ecuación 3#10 lo que comprueba que lo que se obtuvo es correcto.

Si nuevamente consideramos los argumentos de la sección 3.4 generalizaremos la ecuación 3#13 para cualquier sistema independientemente de su complejidad. Los resultados se muestran en la siguiente figura (fig 3.9).

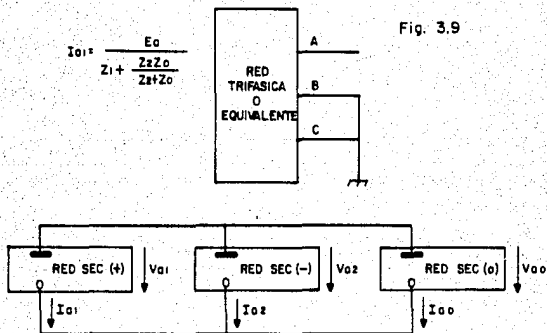


Fig. 3.9

INTERCONEXION DE REDES DE SECUENCIA PARA FALLA ENTRE DOS FASES Y TIERRA EN UNA RED

Debe tenerse presente la recomendación respecto a que las condiciones (Ec 3#11) en el caso de una red, solo son aplicables en el punto de la falla y no pueden extenderse a todas las localidades de la red.

CAPITULO IV

PROGRAMA DIGITAL PARA ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO

#### 4.1.- EL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.

##### 4.1.1.- OBJETIVOS PRINCIPALES DE UN ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.

El análisis de corto circuito usualmente implica el cálculo de voltajes y corrientes bajo determinadas condiciones. En la mayoría de los casos los cálculos deben ser organizados para proporcionar algún tipo particular de información para algún propósito especial. Algunos de los principales propósitos son los que a continuación se enlistan:

- 1.- Determinar las corrientes máxima y mínima de corto circuito.
- 2.- Determinar la corriente de falla no asimétrica.
- 3.- Determinar ajuste y comportamiento de relés de protección.
- 4.- Determinar la capacidad nominal de corto circuito de los interruptores.
- 5.- Determinar la distribución de las corrientes de falla y los niveles de tensión en los buses durante la falla.

##### 4.1.2.- CARACTERISTICAS DE UN PROGRAMA DE ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO.

- 1.- Al menos debe simular falla trifásica y falla monofásica.
- 2.- Debe proporcionar los niveles de falla en la localidad de la falla.
- 3.- Debe contar con una rutina que permita generar, de manera interactiva, los archivos que contengan la siguiente información: número de nodos, conexiones entre ellos y valor de las impedancias de secuencia de la red.
- 4.- Debe proporcionar los equivalentes de Thevenin de cada secuencia en la localidad de la falla.
- 5.- Proporcionar los voltajes y corrientes tanto en magnitudes de secuencia como en magnitudes de fase.
- 6.- Debe proporcionar las contribuciones en la red así como los niveles de voltaje en los buses.
- 7.- Debe permitir el introducir modificaciones a la red.



#### 4.1.3.- PASOS DEL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.

Dado que cualquier falla asimétrica origina corrientes desbalanceadas en el sistema, la teoría de componentes simétricas es muy útil en el análisis de los voltajes y corrientes que se presentan en la ocurrencia de la falla. Este análisis, de un sistema expuesto a una condición de falla en paralelo, se resuelve en cuatro pasos:

- 1.- Armado de la red mediante los modelos adecuados y en tres redes separadas, con la descripción respectiva.
- 2.- Elección del tipo y localización de la falla y descripción matemática de la misma.
- 3.- Solución de las ecuaciones resultantes aplicando teoremas de redes para obtener las corrientes y los voltajes en la localidad de la falla.
- 4.- A partir de los resultados anteriores y apoyándose en el teorema de Thévenin, principio de linealidad, principio de superposición, etc; se obtienen las componentes de secuencia de voltajes y corrientes en las localidades de interés de la red. Posteriormente y mediante la transformación de componentes simétricas se obtienen las cantidades de fase.

En el caso de una falla trifásica el paso 1 se limita al modelado de la red de secuencia positiva.

En la práctica los pasos 2 y 3 se omiten parcialmente ya que una vez obtenidas las conclusiones del paso 2 para determinado tipo de falla, éstas pueden traducirse en una expresión válida para esa falla y en la cual solo han de sustituirse parámetros que se obtienen sistemáticamente de la red.

#### 4.1.4.- SIMPLIFICACIONES PARA EL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.

Debe tenerse presente que ninguna de estas simplificaciones reduce la generalidad del estudio. Al contrario simplificarán los cálculos y harán más visible el objeto del estudio. Las simplificaciones son las siguientes:

- 1.- Todas las magnitudes serán expresadas en por unidad.
- 2.- Los voltajes de prefalla no contienen componentes de secuencia negativa o cero.
- 3.- El voltaje de prefalla es de secuencia positiva y será de 1.0 p.u. en todos los buses.

- 4.- Las corrientes de prefalla son despreciadas.
- 5.- La capacitancia de las líneas es despreciada.
- 6.- La impedancia de secuencia negativa en todos los modelos es igual a la impedancia de secuencia positiva.
- 7.- Las líneas son completamente transpuestas.
- 8.- La impedancia de excitación de los transformadores es considerada infinita.
- 9.- Las fallas son solidas.
- 10.- Los resultados a obtener serán para condiciones con la fase "a" como referencia.
- 11.- No hay efectos mutuos.

#### 4.2.- ESTRUCTURA DEL PROGRAMA PARA ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO.

La estructura del programa esta orientada hacia su empleo en las computadoras de tipo personal, lo que trae consigo algunas limitaciones que redundan en un aprovechamiento óptimo de la memoria RAM de la computadora.

El programa esta escrito en lenguaje BASIC version 2.0 de tal manera que puede implementarse en la mayoría de las computadoras personales realizando pocas modificaciones al programa. El programa requiere de 128K de RAM para resolver una red de 50 nodos. El programa requiere tambien de una unidad de discos ,ya que para optimizar el empleo de la memoria RAM durante los procesos matriciales se usan archivos de disco secuenciales para el manejo de matrices y datos.

##### 4.2.1.- ESTRUCTURA DEL PROGRAMA.

Se mostrará una estructura del diagrama de flujo general que sigue el programa.

Primeramente se proporcionará al usuario alguna información relativa al empleo del programa. En seguida se cuestiona acerca de que si el estudio que va a realizarse es acerca de una red que va a ser analizada por primera vez, en cuyo caso se procedera a generar las matrices de admitancia de secuencia positiva y cero. En caso de que la red hubiera sido estudiada anteriormente se procedera a cargarla del archivo del disco en la memoria de la computadora. Es en este punto donde, si así se desea, se introducirán las modificaciones a la red.

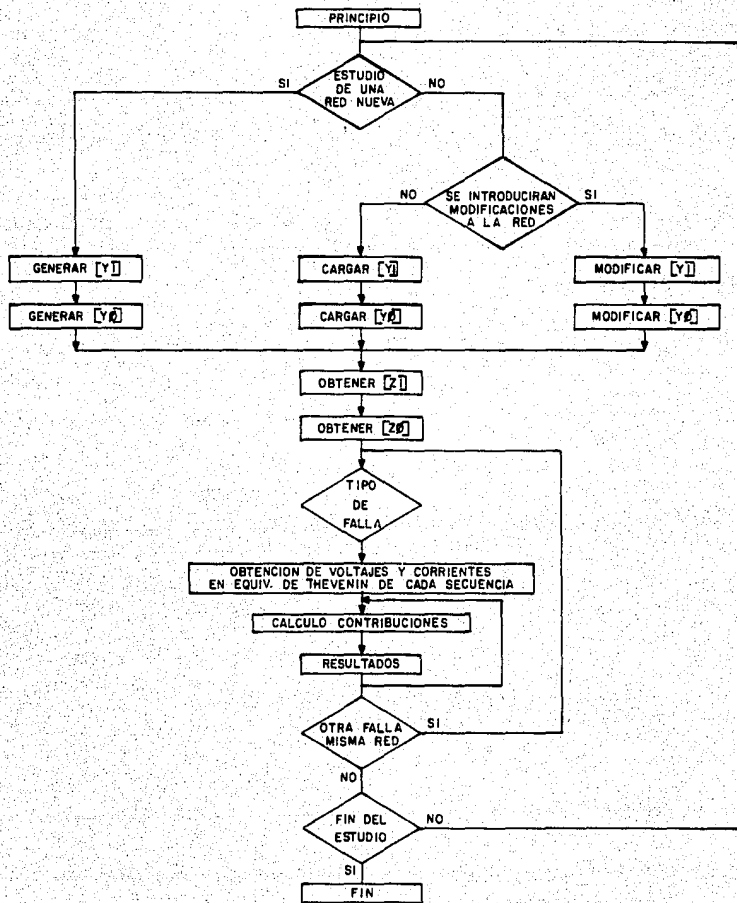
Habiendo obtenido, por cualquiera de las opciones anteriores, la matriz de admitancia; el paso siguiente es obtener las matrices Zbus de la red mediante la inversión de Ybus.

La información que proporciona la matriz Zbus es suficiente para el cálculo de fallas en cualquier nodo (de acuerdo con la sección 1.3) y se cuestiona ahora al usuario acerca de que tipo de falla desea simular y en que localidad. A continuación se calculan los voltajes y corrientes de cada equivalente de Thevenin de cada secuencia y son almacenados en un archivo de disco para su uso posterior.

El siguiente paso es el cálculo de contribuciones y voltajes de bus de acuerdo con los requerimientos del usuario tanto en magnitudes de fase como en magnitudes de secuencia. Si el usuario lo desea puede simular otra falla en la misma red o acceder otra red para un nuevo estudio o introducir modificaciones a la red bajo estudio.

Todo el desarrollo anterior se muestra en la figura 4.1 como un diagrama de flujo.

FIG. 4.1 DIAGRAMA DE FLUJO



#### 4.2.2.- SUBROUTINAS DEL PROGRAMA.

El siguiente paso es traducir la figura 4.1 en un diagrama a base de subrutinas lo suficientemente pequeñas para proporcionar la mayor cantidad de RAM para los procesos matriciales, pero a la vez con todo el soporte necesario para facilitar al usuario el empleo del programa. En la figura 4.2 se muestra el diagrama de flujo a partir de subrutinas.

Se inicia con la subrutina INTRODUCCION que proporciona información al usuario acerca del programa. La subrutina ELECCION direcciona el programa de acuerdo a la necesidad del estudio; es decir si se va a estudiar una red nueva, esto se hace generando los archivos de la matriz Y mediante las subrutinas SOPORMAS Y SOPORCERO.

Si se desea modificar una red previamente estudiada, se accesan sus archivos Y originales y se introducen las modificaciones mediante las subrutinas MODMAS Y MODCERO.

Si se desea estudiar una red previamente generada sin introducir modificaciones, ésta es cargada y actualizados los archivos de control del programa mediante la misma subrutina ELECCION.

Habiendo cargado las Matrices Y de secuencia positiva y cero, la subrutina ZETA direcciona algunos archivos y se procede a la inversion de las matrices de admitancia de secuencia positiva y cero mediante las subrutinas ZMAS Y ZCERO respectivamente.

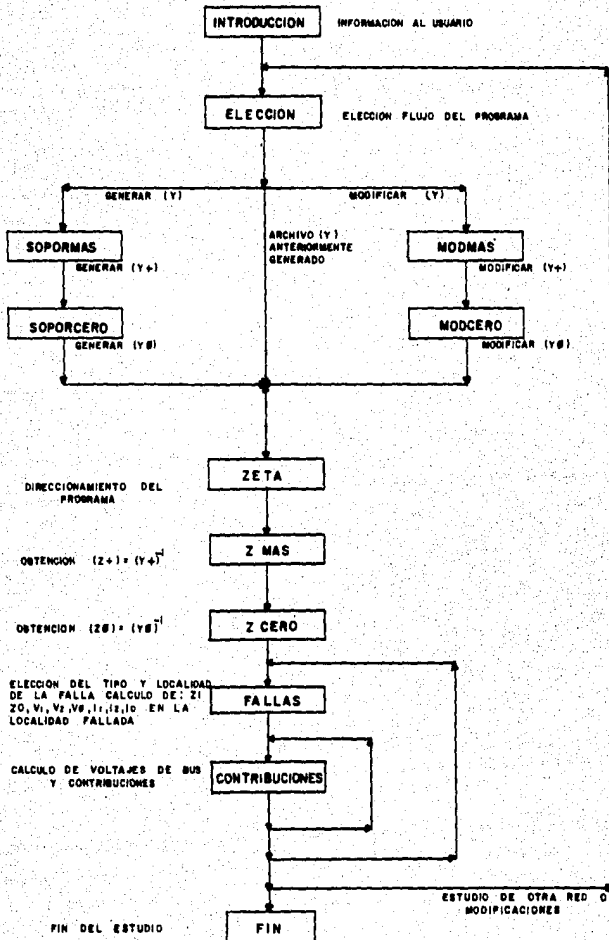
El resultado de lo anterior son los archivos que contienen las matrices de impedancia de bus de secuencia positiva y cero para ser empleadas por las subrutina FALLAS para calcular los voltajes y corrientes en los equivalentes de Thevenin de secuencia positiva, negativa y cero de acuerdo con el tipo y la localización de la falla.

Por último, la subrutina CONTRIBUCIONES calcula voltajes de bus y contribuciones a partir de los resultados de la subrutina FALLAS y de las matrices de impedancia y de admitancia de secuencia positiva y cero. Los resultados que arroja son tanto en magnitudes de secuencia como en magnitudes de fase. Se anexan opciones de control para el

calculo de todas las contribuciones que se deseen, así como para simular otra falla en la misma red o para dirigirse al inicio del programa. Adicionalmente se cierran todos los archivos empleados y se restituyen los de uso temporal.

FIG.4.2

DIAGRAMA DE FLUJO A PARTIR DE SUBROUTINAS



### 4.3.-DESARROLLO DE LAS SUBROUTINAS .

#### 4.3.1.- FORMACION DE LA MATRIZ DE BUS ADMITANCIA A PARTIR DE LOS DATOS DE LA RED.

Esta subrutina obtiene la matriz de impedancia Y de la red mediante los datos que el usuario introduzca. En realidad consiste de dos subrutinas; una que estructura la matriz Y de secuencia positiva (SOPORMAS) y otra que estructura la secuencia cero (SOPORCERO).

Debido a limitaciones resultantes del uso de la memoria RAM para el manejo matricial (partes real y compleja), la elaboración de las matrices Y de secuencia positiva y cero se realiza en dos pasos. En el primero se introducen todos los datos de la red de secuencia positiva y habiendo terminado con esto, se procede a introducir los datos de la red de secuencia cero. Es conveniente para el usuario emplear diagramas de secuencia para evitar errores que invaliden los resultados del estudio.

Los datos referentes a las impedancias de la red, ya sean de secuencia positiva o cero, han de expresarse en forma rectangular (R+jX) en por unidad y todos en base consistente.

El programa instruye al usuario como debe proporcionar los datos y a que secuencia se refiere. En la primera parte requiere el numero de nodos que forman la red, y a partir de ahí se procede a proporcionar los datos de las ramas de la red haciendo referencia a estas mediante sus nodos terminales. En el caso de ramas paralelas entre nodos, basta introducir impedancias una a una y el programa obtendrá la impedancia equivalente y durante el resto del estudio se hara referencia como si se tratara de una sola rama. En el caso de fuentes conectadas a bus de referencia (shunt) estas se especificarán ,mediante el bus al cual estan conectadas.

Conforme se van introduciendo los términos de impedancia el programa genera los términos de la matriz de admitancia, de acuerdo con lo expuesto en la seccion 1.2.2, de donde:

$$Y_{jk} = \sum (-1/Z_{jk}) \quad j <> k \quad (\text{Ec } 4\#1)$$

$$Y_{jj} = \sum_{i=1}^n (-Y_{ij}) + 1/Z_{jj} \quad i <> j$$

Yjk	Término j-k ésimo de la matriz de admitancia.
Yjj	Término j diagonal de la matriz de admitancia.
Zjk	Impedancia de la rama entre los nodos jk.
Zjj	Impedancia de la rama entre el nodo j y referencia.
n	Número de nodos.

El proceso anteriormente descrito se aplica durante la formación de las matrices de Y de secuencia positiva y cero respectivamente. El usuario elige el nombre con el que se hará referencia a ambos archivos. La figura 4.3 ilustra el diagrama de flujo de la formación de los archivos de admitancia, por medio de las subrutinas SOPORMAS Y SOPORCERO.



FIG. 4.3.1 DIAGRAMA DE FLUJO OBTENCION MATRIZ Y I

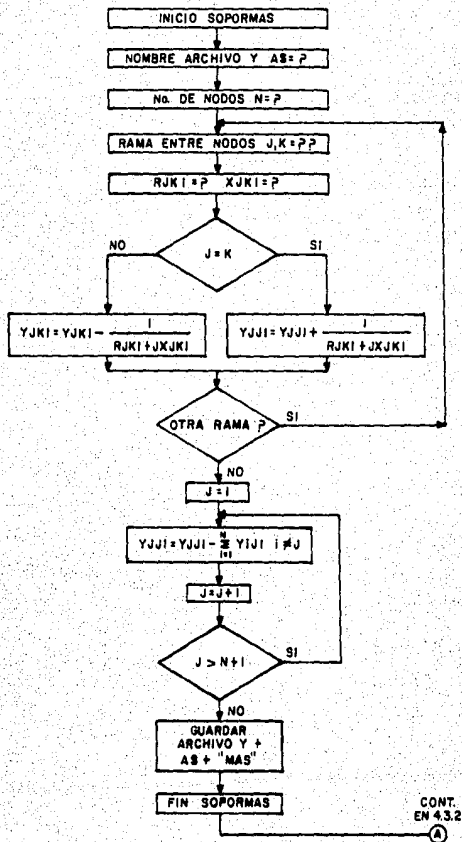
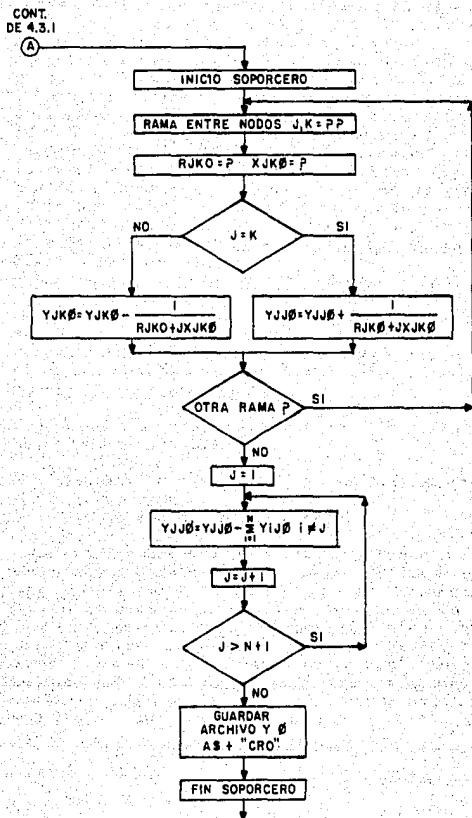


FIG. 4.3.2 DIAGRAMA DE FLUJO OBTENCION MATRIZ Y Ø



#### 4.3.2.- INTRODUCCION DE MODIFICACIONES A LA RED.

La técnica empleada para introducir modificaciones a la red consiste en alterar directamente los terminos de la matriz de admitancias de cada secuencia, toda vez, que es mas facil para el usuario el seguimiento y la interpretación de las modificaciones que realiza, que el empleo de las tecnicas expuestas en la seccion 1.2.3; ya que éstas hacen menos objetiva la modificación además que requeriran una considerable manipulación matricial que reduciria el espacio de memoria potencialmente disponible para el estudio de redes de mayor numero de nodos.

La introducción de modificaciones a la red se realiza primeramente en la red de secuencia positiva (subrutina MODMAS) y posteriormente en la red de secuencia cero (subrutina MODCERO); lo anterior para hacer un uso óptimo de la memoria RAM debiendo tenerse cuidado que las modificaciones que se hagan en una secuencia se realicen en la otra secuencia en forma consistente.

A continuación se describirá la subrutina MODMAS teniendo en cuenta que la estructura principal de la subrutina MODCERO es la misma.

Primeramente se cuestiona al usuario acerca del archivo Y, al cual se quiere introducir alguna modificación; al proporcionar el nombre, el programa verifica que las redes de secuencia positiva y cero del archivo cuestionado sean consistentes en cuanto al numero de nodos previendo algun error en la introducción de los datos cuando se genero la matriz Y originalmente.

Hecho lo anterior se presenta al usuario las opciones con que se cuenta para introducir modificaciones a la red que basicamente son dos:

- 1) Cambio del valor de la impedancia entre dos nodos existentes.
- 2) Creacion de un nuevo nodo.

La primera opcion no se limita al cambio de impedancias entre nodos sino tambien permite modificar impedancias entre un nodo y la barra de referencia de secuencia. La segunda opcion permite la creacion o declaracion de un nuevo nodo (solo uno por red) y la interconexion de este con los nodos ya existentes. En el caso de que se necesitara declarar mas de un nodo adicional, esto podria realizarse pero guardando la red modificada con un solo nodo adicional y accedando nuevamente la rutina de modificación; requiriendo el ultimo archivo grabado (una modificación).

Quando se requiere la modificación de la impedancia existente entre dos nodos (k,l) el programa mostrara la impedancia existente entre esos nodos. En el caso de que los nodos no esten conectados por alguna impedancia entre si, mostrara R=9999 y X=9999. Hecho esto el programa prepara la red para la modificación desconectando la impedancia entre los nodos requeridos y considerandolos aislados mediante las modificaciones siguientes a los términos de la matriz Y

$$R+jX=-1/Y_{kl} \quad (\text{Ec } 4\#2)$$

$$Y_{kk}=Y_{kk}+Y_{kl} \quad (\text{Ec } 4\#3)$$

$$Y_{ll}=Y_{ll}+Y_{kl} \quad (\text{Ec } 4\#4)$$

$$Y_{kl}=0 \quad (\text{Ec } 4\#5)$$

$$Y_{lk}=0 \quad (\text{Ec } 4\#6)$$

Donde los términos Y se refieren a la matriz Y y  $Y_{kl}$  de las ecuaciones 4#2, 4#3, 4#4 es el negativo de la admitancia original entre los nodos k y l de acuerdo con lo expuesto en la seccion 1.2.2.

A continuación el usuario introduce los nuevos valores de  $R'$  y  $X'$  para interconectar los nodos k y l. En el caso de que se desee aislar entre si los nodos k y l debera de introducirse  $R'=99999$  y  $X'=99999$ . En seguida el programa incorpora la nueva rama a la red mediante las siguientes modificaciones:

$$Y_{kl}=-1/(R'+jX') \quad (\text{Ec } 4\#7)$$

$$Y_{lk}=-1/(R'+jX') \quad (\text{Ec } 4\#8)$$

$$Y_{kk}=Y_{kk}+1/(R'+jX') \quad (\text{Ec } 4\#9)$$

$$Y_{ll}=Y_{ll}+1/(R'+jX') \quad (\text{Ec } 4\#10)$$

Quando se requiere la modificación de la impedancia entre un nodo k y bus de referencia, el programa realiza igualmente los mismos pasos, pero las modificaciones se reducen a una sola, tal que si consideramos como  $R+jX$  la impedancia original y como  $R'+jX'$  la nueva impedancia, tendremos que:

$$Y_{kk}=Y_{kk}-1/(R+jX)+1/(R'+jX') \quad (\text{Ec } 4\#11)$$

En el caso de querer declarar un nodo adicional a una red de  $n$  nodos, el programa redimensiona la matriz y declara los siguientes elementos:

$$Y_{n+1,i}=0 \quad i=1\dots n \quad (\text{Ec } 4\#12)$$

$$Y_{i,n+1}=0 \quad i=1\dots n$$

$$Y_{n+1,n+1}=0$$

Para que el usuario pueda definir por algoritmos similares a los de las opciones de modificaciones de impedancia, las interconexiones del nuevo nodo  $n+1$  con los nodos anteriormente existentes y con el bus de referencia.

La descripción de las opciones se aplica tanto en el caso de las modificaciones a la red de secuencia positiva como a la red de secuencia cero de tal manera que cuando el usuario ha realizado ambas, el siguiente paso es grabar los archivos de disco de las matrices  $Y$  de secuencia positiva y cero con un nombre designado por el usuario que haga referencia a ambos archivos y que de preferencia debe tener alguna relación con el nombre del archivo original (no el mismo) para establecer posteriormente su origen.

En la figura 4.4 se describe el diagrama de flujo de las subrutinas MODMAS y MODCERO para la modificación de la red.

FIG. 4.4.1

DIAGRAMA DE FLUJO PARA INTRODUCIR MODIFICACIONES A LA RED

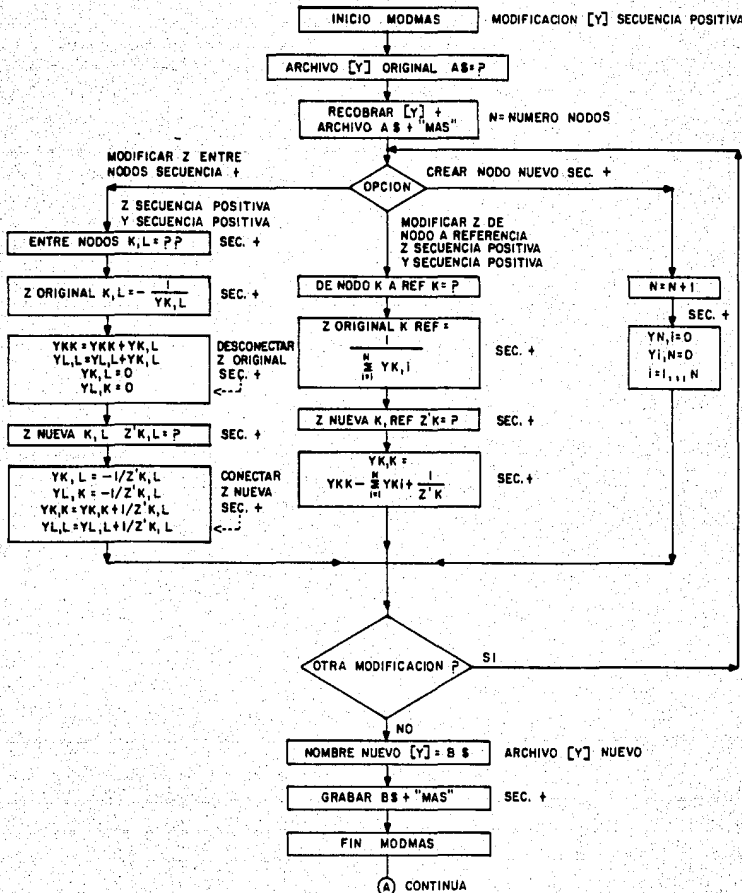
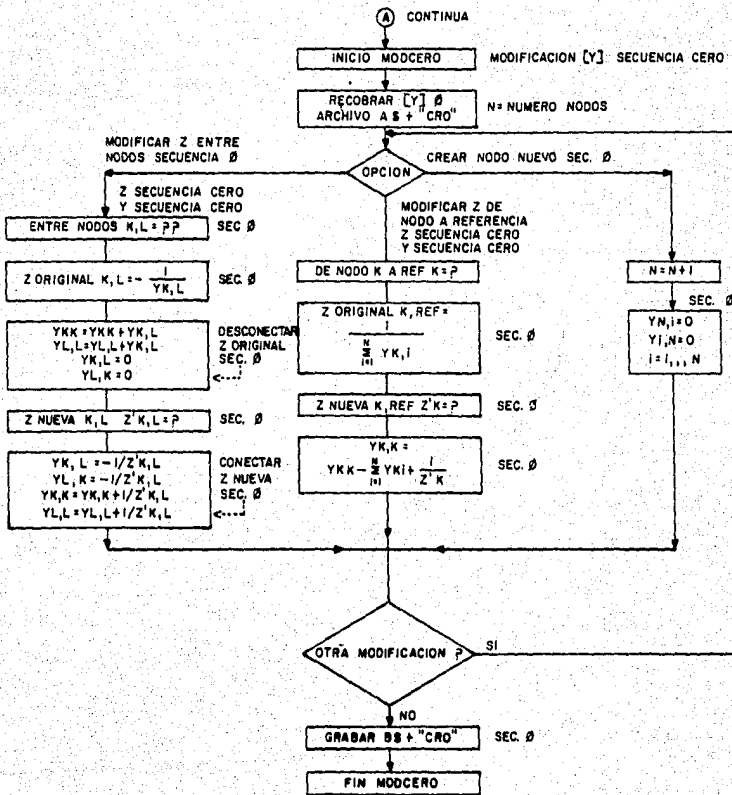


FIG. 4.4.2

CONT. DIAGRAMA DE FLUJO PARA INTRODUCIR MODIFICACIONES A LA RED



#### 4.3.3.- OBTENCION DE LA MATRIZ DE BUS IMPEDANCIA $Z$ .

Debido a que el método empleado para el cálculo de las magnitudes de falla se basa en la matriz  $Z_{bus}$  se hace necesario obtener la inversa de la matriz  $Y_{bus}$ . A continuación se describe el proceso algebraico para su aplicación posterior. Debe tenerse presente que al hacer referencia a elementos matriciales, estos son números complejos.

La necesidad de tener métodos eficientes para resolver sistemas de ecuaciones algebraicas lineales es más importante aun que la solución de las ecuaciones no lineales.

Esto es debido a que en muchos casos los problemas de matemáticas aplicadas se reducen a un conjunto de ecuaciones que constituyen un sistema lineal.

Se ha desarrollado una extraordinaria colección de algoritmos para llevar a cabo la solución de los sistemas lineales, lo que indica que es engañoso el aparente carácter elemental del problema, además de que hay deficiencias en los métodos existentes.

El problema de obtener la matriz  $Z_{bus}$  consiste en invertir la matriz  $Y_{bus}$  por medio de algún método numérico. En este caso se empleará el método Gauss-Jordan que puede decirse que es un método exacto para resolver sistemas lineales. Básicamente consiste en sistematizar el teorema fundamental de equivalencia que se expresa así: " Si en un sistema de ecuaciones se sustituye una de ellas por una combinación lineal de las ecuaciones del sistema, se obtiene un nuevo sistema que admite como soluciones, las mismas del sistema original " .

La solución de un sistema lineal puede obtenerse más fácilmente si se representa en forma matricial. La eliminación de incógnitas por medio de la sustitución de ecuaciones por combinaciones lineales, corresponde a tratar de convertir en ceros los elementos de la matriz, representativos de los coeficientes del sistema. Las siguientes tres operaciones producen una matriz equivalente a la original:

- 1.- Intercambiar renglones.
- 2.- Multiplicar todos los elementos de un renglón por una constante no nula.
- 3.- Sumar a los elementos de un renglón los correspondientes elementos de otro, multiplicados por una constante.

Las operaciones anteriores reciben el nombre de operaciones elementales sobre los renglones de una matriz.



Para resolver un sistema lineal, se aplican éstas a la matriz ampliada del sistema, de manera de convertir en ceros el mayor número de los elementos correspondientes a los coeficientes; cuando no se puede anular ningún elemento más, se procede a interpretar los renglones de la última matriz obtenida, con lo que se obtendrá la solución del sistema. Este método recibe el nombre de eliminación completa de Gauss-Jordan.

La aplicación de éste método resulta más efectiva si se toma un elemento como puntero y se eliminan todos los elementos de su columna, haciendo previamente que el puntero se convierta en uno en forma sistemática.

Sea  $Y$  una matriz cuadrada de orden  $N$  no singular, es decir, que su determinante sea diferente de cero. Por definición de matriz inversa, se tiene que  $Y^{-1}$  es la inversa de  $Y$ , si:

$$Y Y^{-1} = I \quad (\text{Ec. 4\#13})$$

Donde  $I$  es la matriz identidad de orden  $N$ .

Haciendo  $Z = Y^{-1}$  y sustituyendo en la ecuación anterior, se obtiene:

$$Y Z = I \quad (\text{Ec. 4\#14})$$

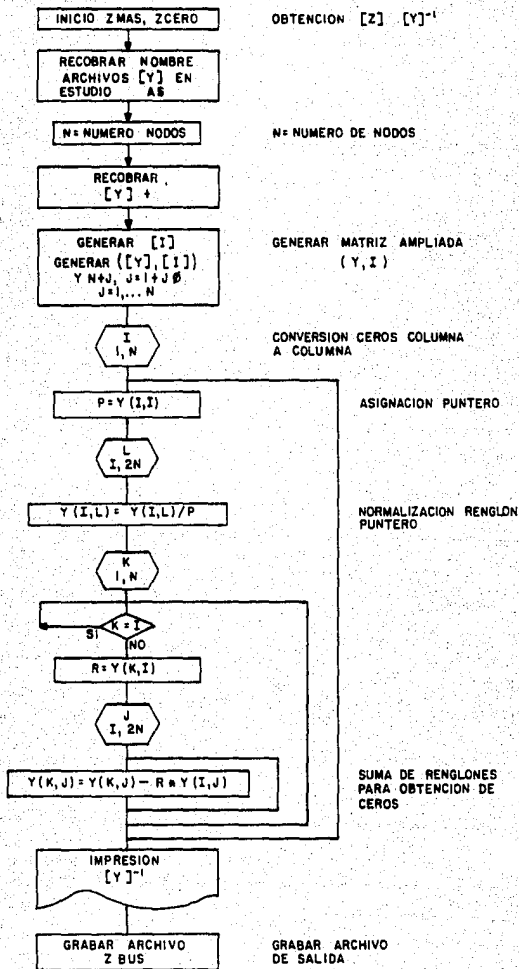
Puede considerarse que esta ecuación matricial representa un sistema de ecuaciones simultáneas, en donde no hay un solo vector de términos independientes sino  $N$ ; los  $N$  vectores básicos que forman la matriz unitaria  $I$ . Además no existe un solo vector de incógnitas, sino  $N$ , los que corresponden a cada columna de la matriz  $Z$ .

Por lo anterior es posible determinar la inversa de una matriz con el método de Gauss-Jordan de eliminación completa. Para lograrlo bastará con aplicar las operaciones elementales sobre los renglones de la matriz ampliada  $(Y, I)$  de manera de transformar  $Y$  en  $I$ . Cuando se haya hecho, se obtendrá la matriz ampliada  $(I, Z)$  con lo que se tendrá la matriz  $Z$  buscada.

El problema particular que nos ocupa se resuelve al invertir, con el procedimiento antes señalado, tanto la matriz  $Y$  de secuencia positiva como la de secuencia cero.

A continuación se muestra el diagrama de flujo para la obtención de la matriz  $Z$  en el entendido de que es el mismo procedimiento tanto para la secuencia positiva como para la secuencia cero (subrutinas ZMAS y ZCERO respectivamente).

FIG. 4.5 DIAGRAMA DE FLUJO OBTENCION [Z] BUS



#### 4.3.4.- CALCULO DE LAS MAGNITUDES DE FALLA.

En las secciones 1.2.2 y 1.3.2 se demostró que la matriz Zbus de secuencia positiva es una herramienta útil para el modelado de la red cuando se pretende encontrar corrientes y voltajes de fallas trifásicas. En las secciones 3.2, 3.3 y 3.4 se demostró que la información proveniente de las matrices de secuencia positiva y cero también es útil para el modelado mediante la interconexión de los equivalentes de Thévenin de secuencia para resolver las ecuaciones que definen las fallas asimétricas.

Cada una de las magnitudes de la red, ya sea voltaje o corriente de cada fase, puede definirse en términos de sus componentes simétricas. Entonces así, el problema de determinar las contribuciones y voltajes de nodos queda resuelto si podemos determinar las magnitudes de secuencia de cada contribución y/o voltaje de interés. Mas aún, como el modelado trifásico de la red es hecho mediante tres redes (de secuencia), el problema se traduce en resolver cada una de las redes de secuencia.

La interconexión de las redes de secuencia, de acuerdo con el tipo de falla, solo proporciona en forma inmediata los valores de voltaje y de corriente en la localidad de la falla, pero no proporciona contribuciones ni voltajes en otros buses diferentes al de la falla, ya que las condiciones que sirvieron para resolver la falla asimétrica y que condujeron a la interconexión determinada de las redes de secuencia solo son válidas para la localidad de la falla y en general no lo son para las contribuciones.

En las secciones 3.2, 3.3, y 3.4 la solución de las fallas asimétricas quedaba resuelta sustituyendo cada red de secuencia por su equivalente de Thévenin, cosa que no es mas que sustituir una malla por su impedancia equivalente. Ahora bien, si anteriormente estamos proponiendo que para resolver el problema lo que debemos de determinar es el voltaje y/o corriente para cada secuencia, ¿cómo lo hemos de hacer si hemos sustituido toda una red de secuencia por una sola impedancia equivalente? La solución es revertir el proceso. Es decir que, teniendo presente que la sustitución por el equivalente de Thévenin mantiene intactos los parámetros externos a la red que se sustituyó, al sustituir ahora la impedancia equivalente por la red original, ninguna magnitud eléctrica (corriente o voltaje de secuencia en la falla) cambiará.

Hecho esto, el siguiente paso es que a partir de la caída de tensión en la impedancia equivalente de secuencia y de la corriente de secuencia que circula por ella y mediante divisores de tensión y/o corriente es posible obtener la

tensión y/o corriente de cada secuencia para cada localidad de interés.

En conclusión, las magnitudes de interés en el cálculo de la falla son el voltaje y la corriente en cada uno de los equivalentes de secuencia, resultado de la interconexión entre ellos de acuerdo con el tipo de falla. Es decir que se pretende calcular lo siguientes:

- Va0 -Tensión de secuencia fase A en equivalente secuencia cero.
- Ia0 -Corriente que circula en el equivalente secuencia cero.
- Va1 -Tensión de secuencia fase A en equivalente secuencia positiva.
- Ia1 -Corriente que circula en el equivalente secuencia positiva.
- Va2 -Tensión de secuencia fase A en equivalente secuencia negativa.
- Ia2 -Corriente que circula en el equivalente secuencia negativa.

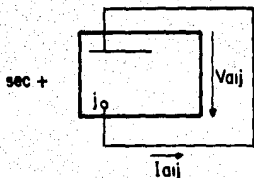
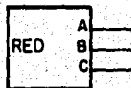
En las figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 se muestra la interconexión de las redes de secuencia para cada una de las fallas que se pretende estudiar. Asimismo se muestran las ecuaciones que permiten evaluar las magnitudes de corriente y de voltaje de cada secuencia para una falla en el bus j. Se considera la impedancia de secuencia negativa igual a la impedancia de secuencia positiva.

La evaluación de las ecuaciones de las figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 se realiza en la subrutina FALLAS. En ella el usuario elige la localidad y el tipo de falla, y el programa obtiene de los archivos de matriz Zbus las magnitudes de impedancia propia del bus donde se aplicara la falla, para evaluar las ecuaciones de acuerdo con el tipo de esta.

Después de esto el programa muestra al usuario los resultados y genera un archivo con la información pertinente (VOLTREDES) para el cálculo de contribuciones en la subrutina correspondiente.

A continuación se muestra al usuario el diagrama de flujo de la subrutina FALLAS (fig 4.10).

FIG. 4.6  
FALLA TRIFASICA



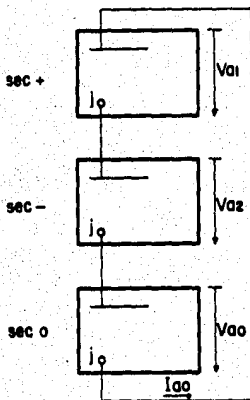
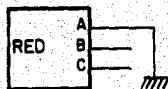
$$V_{aj} = 0$$

$$I_{aj} = \frac{1}{Z_{ijj}}$$

$$I_{aoj} = I_{azj} = 0$$

FIG. 4.7

FALLA MONOFASICA



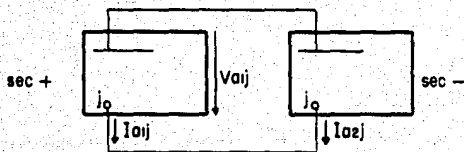
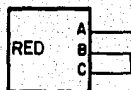
$$I_{aoj} = I_{aj} = I_{azj} = \frac{1}{Z_{ojj} + 2Z_{ijj}}$$

$$V_{aj} = 1 - I_{aj} Z_{ij}$$

$$V_{azj} = -I_{aj} Z_{ij}$$

$$V_{aoj} = -I_{aj} Z_{oj}$$

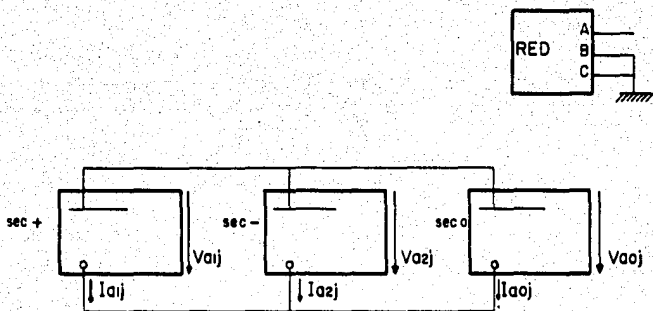
FIG. 4.8  
FALLA ENTRE FASES



$$I_{01j} = \frac{1}{2Z_{1j}} \quad V_{01j} = 0.5$$

$$I_{02j} = -\frac{1}{2Z_{1j}} \quad V_{02j} = 0.5$$

FIG. 4.9  
FALLA ENTRE 2 FASES Y A TIERRA



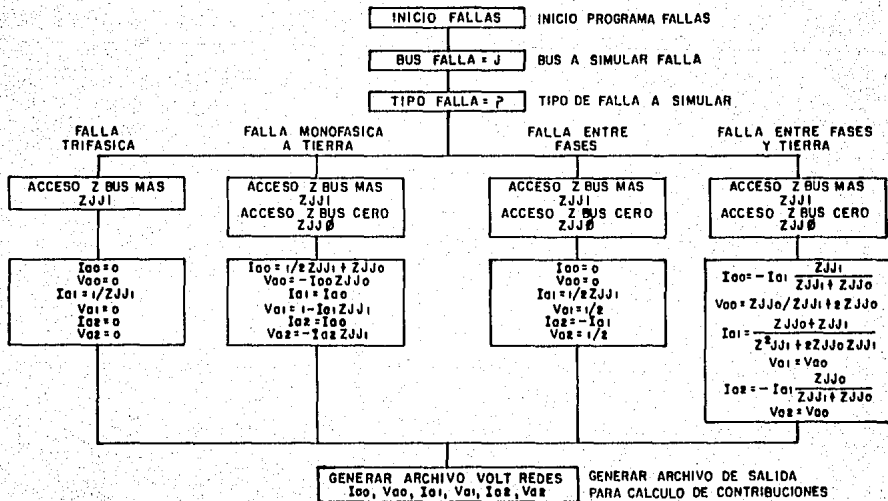
$$I_{a1j} = \frac{Z_{0jj} + Z_{1jj}}{Z_{1jj} + 2Z_{0jj} + Z_{1jj}}$$

$$I_{a2j} = -I_{a1j} \frac{Z_{0jj}}{Z_{1jj} + Z_{0jj}}$$

$$I_{a0j} = -I_{a1j} \frac{Z_{1jj}}{Z_{1jj} + Z_{0jj}}$$

$$V_{a1j} = V_{a2j} = V_{a0j} = \frac{Z_{0jj}}{Z_{1jj} + 2Z_{0jj}}$$

FIG. 4.10 DIAGRAMA DE FLUJO CALCULO DE FALLAS





## 4.3.5.- CALCULO DE CONTRIBUCIONES.

Como se propuso en la sección anterior, la secuencia a seguir es obtener los voltajes y corrientes para cada impedancia de secuencia y a partir de esta información determinar los voltajes y corrientes de secuencia en cada localidad de interés para posteriormente mediante la transformación de componentes simétricas obtener las magnitudes de fase.

Se propuso también que a partir de las magnitudes en cada equivalente de secuencia y mediante la sustitución por la red de secuencia original, se podían obtener los voltajes y corrientes de interés mediante divisores de tensión y corriente, herramienta que no es fácil de implantar para un proceso sistemático. Como se verá más adelante, esto se puede obtener con la información contenida en las matrices Y y Z de secuencia positiva y cero.

Si repetimos la ecuación 1.50 que se obtuvo en la sección 1.3.2 y que nos proporciona el voltaje en el bus i, para una falla trifásica en el bus q, tenemos que:

$$V_i = V_i - Z_{iq} / Z_{qq} V_q \quad (\text{Ec } 4\#15)$$

expresando en valores p.u. y considerando los voltajes de prefalla (superíndice 0) iguales a la unidad tenemos que:

$$V_i = 1 - Z_{iq} / Z_{qq} \quad (\text{Ec } 4\#16)$$

Si observamos cada término de la ecuación 4#16 apreciaremos que el primer término se refiere al voltaje de prefalla y el segundo es el término que se refiere al cambio en el voltaje debido al cambio de topología en la red por la inclusión de la falla.

Dado que la ecuación 4#16 se refiere a una falla trifásica, el voltaje de prefalla es el voltaje de prefalla de secuencia positiva. Si sustituimos la expresión  $1/Z_{qq}$  por su equivalente  $I_{a1}$  (corriente de falla), tendremos que:

$$V_i = 1 - Z_{iq} I_{a1} \quad (\text{Ec } 4\#17)$$

Ecuación que puede describirse de la siguiente manera: el voltaje del bus i de una red para una falla en el bus q es igual al voltaje de prefalla menos el producto del término i-qésimo de la matriz impedancia bus por la corriente falla que sale de la red en el bus fallado q.

Dado que la ecuación 4#17 es resultado de la teoría de circuitos, es útil para el análisis de redes, sea

cualquiera su origen y en consiguiente podemos aplicar la descripción anterior a cada una de las redes de secuencia teniendo presente que el voltaje de prefalla de secuencia cero y negativa es cero; así tendremos las siguientes ecuaciones:

$$V_{ia0} = -Z_{iq0} I_{a0} \quad (\text{Ec } 4\#18)$$

$$V_{ia1} = -Z_{iq1} I_{a1} \quad (\text{Ec } 4\#19)$$

$$V_{ia2} = -Z_{iq2} I_{a2} \quad (\text{Ec } 4\#20)$$

Donde  $V_{ia0}$ ,  $V_{ia1}$ ,  $V_{ia2}$  son los voltajes de secuencia de la fase A en el bus i para una falla en el bus q;  $Z_{iq0}$ ,  $Z_{iq1}$  son los terminos i-q esimos de la matriz impedancia bus de secuencia cero y positiva respectivamente;  $I_{a0}$ ,  $I_{a1}$ ,  $I_{a2}$  son las corrientes de secuencia de cada equivalente de secuencia como se describió en la sección 4.3.4.

De las ecuaciones 4.18, 4.19, 4.20 se puede obtener la corriente que circula entre dos buses, obteniendo la diferencia de potencial de secuencia de entre los dos buses y multiplicandola por la admitancia de secuencia entre los dos buses tal y como se plantea en las ecuaciones 1#55 y 1#56; tal que para obtener las componentes de secuencia de la corriente que circula del bus i al j para una falla en el bus q tenemos que:

$$I_{ija0} = (V_{ia0} - V_{ja0}) (-Y_{ij0}) \quad i < j \quad (\text{Ec } 4\#18)$$

$$I_{ija1} = (V_{ia1} - V_{ja1}) (-Y_{ij1}) \quad i < j \quad (\text{Ec } 4\#19)$$

$$I_{ija2} = (V_{ia2} - V_{ja2}) (-Y_{ij2}) \quad i < j \quad (\text{Ec } 4\#20)$$

y para la corriente de bus de referencia al nodo i para una falla en el bus q tenemos que:

$$I_{ref-ia0} = -V_{ia0} \left( \sum_{k=1}^N Y_{ki} \right) \text{sec0} \quad (\text{Ec } 4\#21)$$

$$I_{ref-ia1} = -V_{ia1} \left( \sum_{k=1}^N Y_{ki} \right) \text{sec+} \quad (\text{Ec } 4\#22)$$

$$I_{ref-ia2} = -V_{ia2} \left( \sum_{k=1}^N Y_{ki} \right) \text{sec+} \quad (\text{Ec } 4\#23)$$

Donde en las ecuaciones anteriores,  $Y_{ki}$  se refiere al elemento correspondiente de la matriz  $Y_{bus}$ .

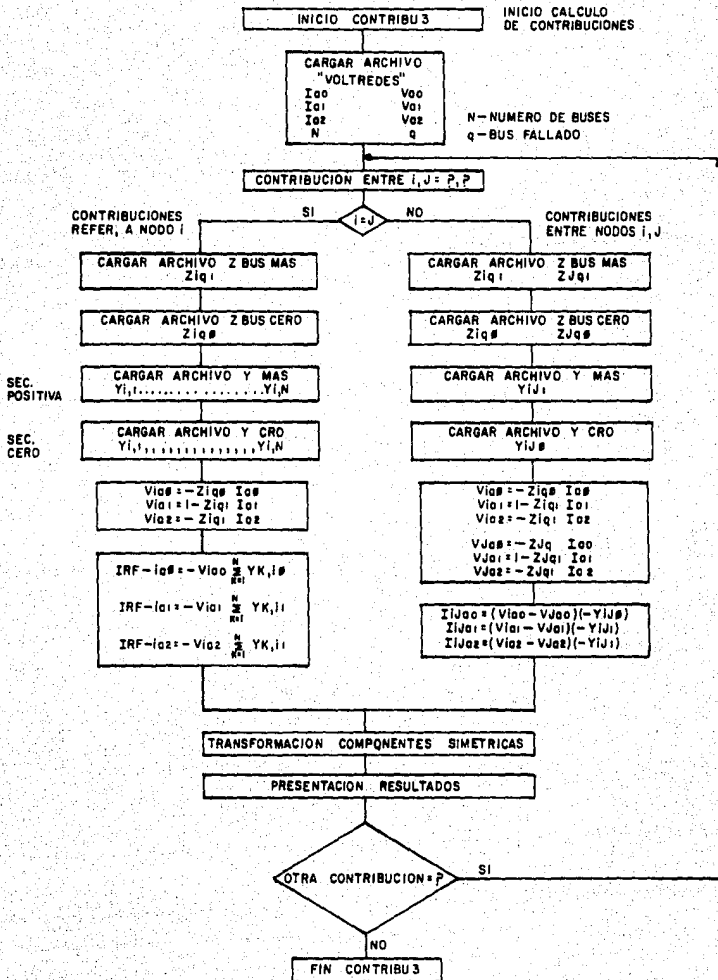
El programa posee un menu interactivo que instruye al usuario acerca de las contribuciones que puede proporcionar en forma iterativa, procediendo a calcularlas en magnitudes de secuencia y transformandolas a magnitudes de fase mediante la transformación de componentes simétricas (Ec 2#4).

Como resultados el programa muestra el voltaje de los buses y la corriente total que circula entre ellos tanto en magnitudes de secuencia como en magnitudes de fase. La expresión de corriente total se refiere al caso de que habiendo varias trayectorias entre los nodos de interés, proporcionara la suma de todas las trayectorias. Además los resultados se presentan en forma polar (magnitud, ángulo) en por unidad.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la subrutina CONTRIBUT3 que es encadenada por la subrutina FALLAS para el cálculo de contribuciones.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

FIG. 4.11 DIAGRAMA DE FLUJO PARA CALCULO DE CONTRIBUCIONES



#### 4.3.6.- MANEJO DE ARCHIVOS DE DISCO.

Con el propósito de optimizar el uso de la memoria RAM, el programa consiste de subrutinas de aplicación que se encadenan entre sí siguiendo el flujo del programa. Por lo anterior, se requiere de algún medio que permita transferir información entre subrutinas. Para ello se emplean archivos de disco.

El tipo de archivos de disco que se manejan son archivos secuenciales que, como su nombre lo indica, son generados acomodando un campo después de otro.

Para ser accedidos se especifica por su nombre el archivo de interés y se empieza a transferir a la memoria principal campo por campo, en el mismo orden en que el archivo se generó.

El programa maneja 8 archivos principales cuyos nombres y uso son los siguientes:

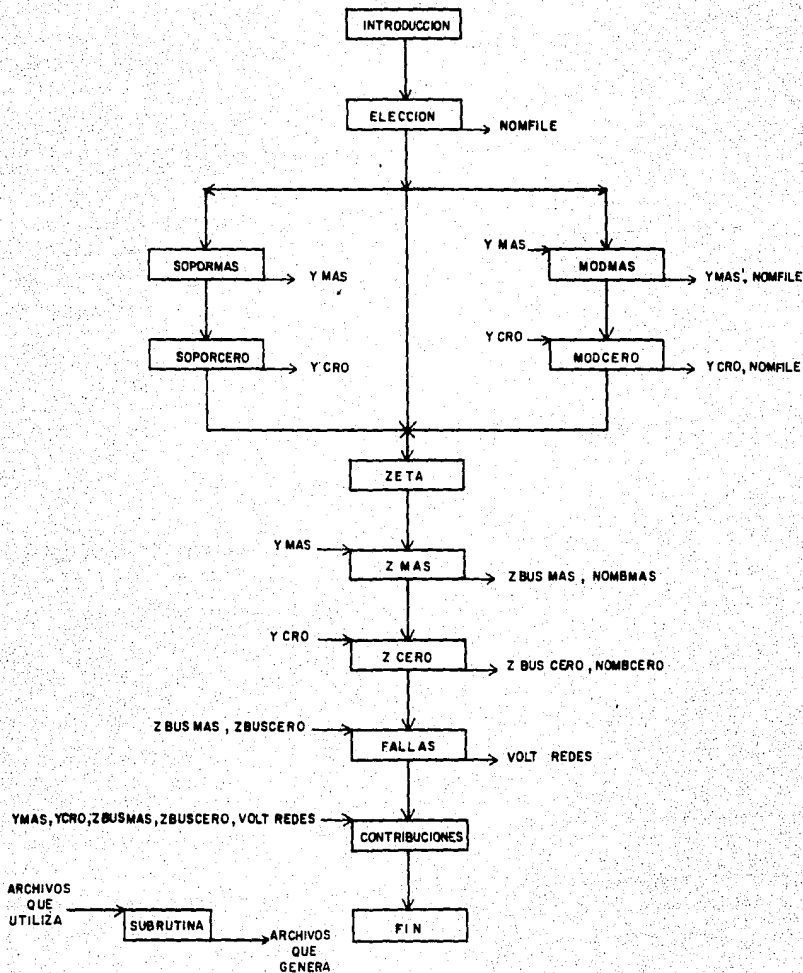
- 1.- Nombre definido por el usuario + "MAS".- Contiene la matriz de admitancia secuencia positiva (YMAS).
- 2.- Nombre definido por el usuario + "CRO".- Contiene la matriz de admitancia secuencia cero (YCRO).
- 3.- ZBUSMAS.- Contiene la matriz impedancia de secuencia positiva.
- 4.- ZBUSCERO.- Contiene la matriz impedancia de secuencia cero.
- 5.- VOLTREDES.- Contiene las impedancias de Thévenin de secuencia en la localidad de la falla, los voltajes y las corrientes en cada equivalente de Thévenin.
- 6.- NOMBMAS.- Nombre del archivo de admitancia de secuencia positiva para el cálculo de contribuciones.
- 7.- NOMBZERO.- Nombre del archivo de admitancia de secuencia cero para el cálculo de contribuciones.
- 8.- NOMFILE.- Contiene nombres de archivos de admitancia para el proceso de inversión matricial.

En la figura 4.12 se muestra el diagrama de flujo del programa con las subrutinas que generan archivos de disco y con las subrutinas que accesan archivos de disco.

En el apéndice A se muestra el formato de cada archivo de disco.

FIG. 4.12

DIAGRAMA DE FLUJO CON ARCHIVOS DE DISCO



#### 4.4.- APLICACIONES.

Previo y durante la elaboración del programa se consultó a usuarios de programas de estudios de corto circuito para determinar facilidades y requerimientos que debería cumplir el programa. Las consideraciones hechas presentan facilidades y resultados que permiten al usuario:

- 1.- Ajuste de reles sensibles a magnitudes de fase.
- 2.- Ajuste de reles de protección sensibles a magnitudes de secuencia.
- 3.- Determinar capacidades de corto circuito de interruptores.
- 4.- Ajustar protecciones de respaldo de secuencia o de fase.
- 5.- Determinar relaciones de infeed para el ajuste de relevadores de distancia.
- 6.- Selección adecuada de tap para relevadores de sobrecorriente en el caso de redes malladas.
- 7.- Cálculo de corrientes para fallas a la mitad (u otra fracción) de una línea para ajuste de relevadores de sobrecorriente instantáneos.

#### 4.5.- RESULTADOS.

A continuación se presenta un estudio de cortocircuito, el cual muestra la información que se requiere de entrada, el modelado de la red, las matrices de bus admitancia e impedancia, las impedancias equivalentes de Thévenin, las corrientes de cortocircuito y las contribuciones para cada una de las fallas simuladas (trifásica, monofásica, entre fases, entre fases y tierra).

##### 4.5.1.- RED BAJO ESTUDIO.

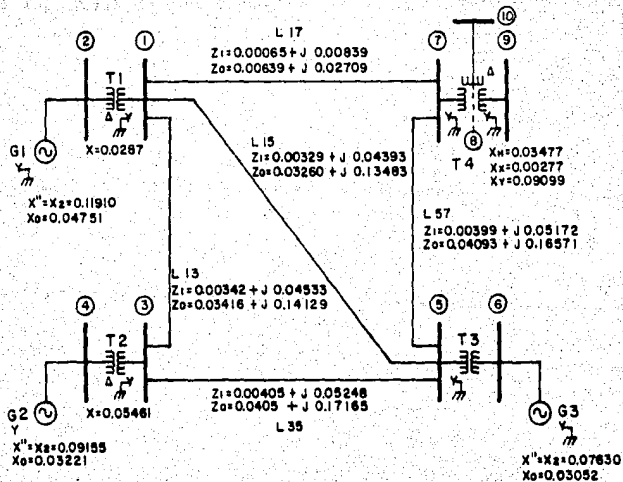
La red que se propone es la que se muestra en la figura 4.16. Consiste de 10 nodos, 4 transformadores, 5 líneas de transmisión y 3 generadores.

Se proporcionan las impedancias de cada elemento en por unidad y expresadas en la misma base. Se muestran las conexiones de los transformadores y de los generadores para su modelado en secuencia cero.

El incluir transformadores de conexión de delta-estrella proporciona varias trayectorias de contribución para corrientes de secuencia cero.



FIG. 4/6 DIAGRAMA UNIFILAR Y DE IMPEDANCIAS DE LA RED BAJO ESTUDIO  
IMPEDANCIAS EN POR UNIDAD

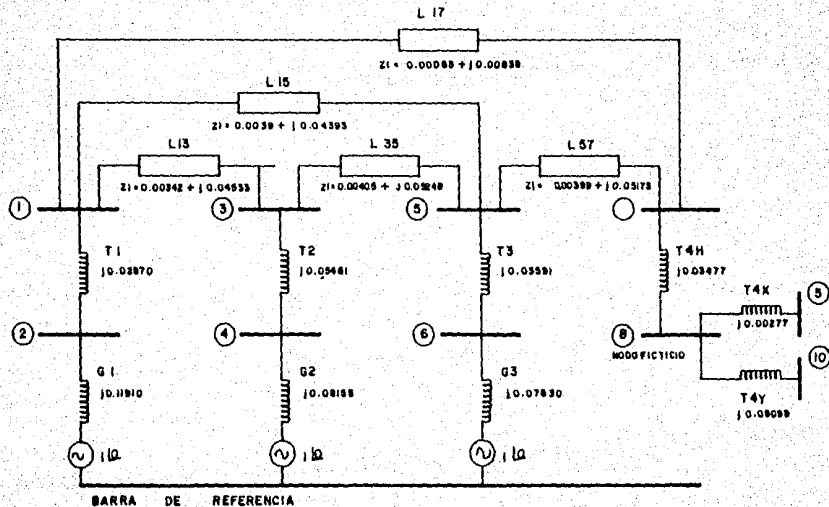


#### 4.5.2.- FORMACION DE LA MATRIZ DE BUS ADMITANCIA.

El siguiente paso es el modelado de la red para, mediante las subrutinas SOPORMAS y SOPORCERO, generar las matrices de bus admitancia de secuencia positiva y cero respectivamente.

En la figura 4.17 se muestra el modelado de la red de secuencia positiva junto con las impedancias que conforman la informacion de entrada de la subrutina SOPORMAS.

Los resultados que arroja la subrutina SOPORMAS son los elementos de la matriz de bus admitancia de secuencia positiva y se muestran a continuación de la figura 4.7.



IMPEDANCIAS	RED	SECUENCIA POSITIVA		
$1, 3 = 0.00342 + j0.04553$		$1, 2 = + j0.02870$		$8, 10 = + j0.09089$
$1, 5 = 0.00329 + j0.04393$		$3, 4 = + j0.05461$		$2, 2 = + j0.11810$
$1, 7 = 0.00065 + j0.00839$		$3, 8 = + j0.03591$		$4, 4 = + j0.08155$
$3, 5 = 0.00405 + j0.02448$		$7, 8 = + j0.03477$		$8, 8 = + j0.07830$
$5, 7 = 0.00389 + j0.03172$		$8, 9 = + j0.00277$		

FIG. 4.17 RED DE SECUENCIA POSITIVA

	MATRIZ	Y	SECUENCIA	POSITIVA
y(1,1)	=	12.529	+j	-197.893
y(1,2)	=	0	+j	34.843
y(1,3)	=	-1.654	+j	21.935
y(1,4)	=	0	+j	0
y(1,5)	=	-1.695	+j	22.636
y(1,6)	=	0	+j	0
y(1,7)	=	-9.178	+j	118.478
y(1,8)	=	0	+j	0
y(1,9)	=	0	+j	0
y(1,10)	=	0	+j	0
y(2,1)	=	0	+j	34.843
y(2,2)	=	0	+j	-43.239
y(2,3)	=	0	+j	0
y(2,4)	=	0	+j	0
y(2,5)	=	0	+j	0
y(2,6)	=	0	+j	0
y(2,7)	=	0	+j	0
y(2,8)	=	0	+j	0
y(2,9)	=	0	+j	0
y(2,10)	=	0	+j	0
y(3,1)	=	-1.654	+j	21.935
y(3,2)	=	0	+j	0
y(3,3)	=	3.116	+j	-59.189
y(3,4)	=	0	+j	18.311
y(3,5)	=	-1.461	+j	18.942
y(3,6)	=	0	+j	0
y(3,7)	=	0	+j	0
y(3,8)	=	0	+j	0
y(3,9)	=	0	+j	0
y(3,10)	=	0	+j	0
y(4,1)	=	0	+j	0
y(4,2)	=	0	+j	0
y(4,3)	=	0	+j	18.311
y(4,4)	=	0	+j	-29.234
y(4,5)	=	0	+j	0
y(4,6)	=	0	+j	0
y(4,7)	=	0	+j	0
y(4,8)	=	0	+j	0
y(4,9)	=	0	+j	0
y(4,10)	=	0	+j	0
y(5,1)	=	-1.695	+j	22.636
y(5,2)	=	0	+j	0
y(5,3)	=	-1.461	+j	18.942
y(5,4)	=	0	+j	0
y(5,5)	=	4.639	+j	-88.646
y(5,6)	=	0	+j	27.847
y(5,7)	=	-1.482	+j	19.220

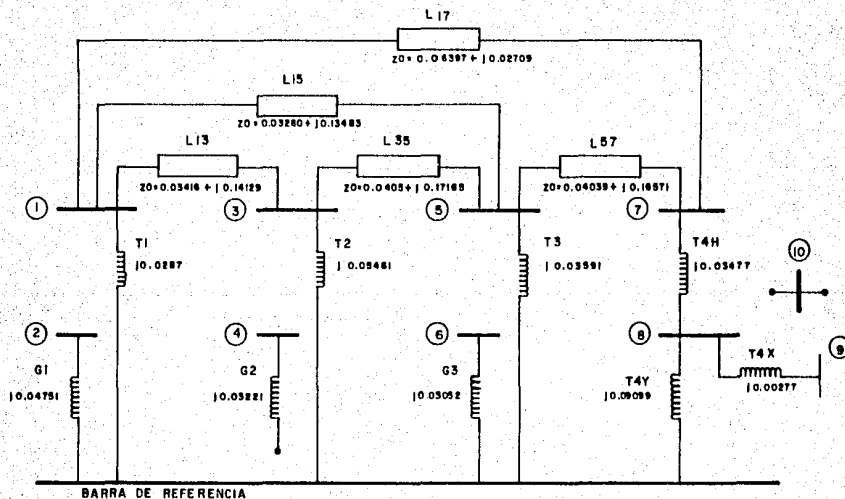
y(5,8)	=	0	+j	0
y(5,9)	=	0	+j	0
y(5,10)	=	0	+j	0
y(6,1)	=	0	+j	0
y(6,2)	=	0	+j	0
y(6,3)	=	0	+j	0
y(6,4)	=	0	+j	0
y(6,5)	=	0	+j	27.847
y(6,6)	=	0	+j	-40.953
y(6,7)	=	0	+j	0
y(6,8)	=	0	+j	0
y(6,9)	=	0	+j	0
y(6,10)	=	0	+j	0
y(7,1)	=	-9.178	+j	118.478
y(7,2)	=	0	+j	0
y(7,3)	=	0	+j	0
y(7,4)	=	0	+j	0
y(7,5)	=	-1.482	+j	19.220
y(7,6)	=	0	+j	0
y(7,7)	=	10.661	+j	-166.459
y(7,8)	=	0	+j	28.760
y(7,9)	=	0	+j	0
y(7,10)	=	0	+j	0
y(8,1)	=	0	+j	0
y(8,2)	=	0	+j	0
y(8,3)	=	0	+j	0
y(8,4)	=	0	+j	0
y(8,5)	=	0	+j	0
y(8,6)	=	0	+j	0
y(8,7)	=	0	+j	28.760
y(8,8)	=	0	+j	-400.761
y(8,9)	=	0	+j	361.010
y(8,10)	=	0	+j	10.990
y(9,1)	=	0	+j	0
y(9,2)	=	0	+j	0
y(9,3)	=	0	+j	0
y(9,4)	=	0	+j	0
y(9,5)	=	0	+j	0
y(9,6)	=	0	+j	0
y(9,7)	=	0	+j	0
y(9,8)	=	0	+j	361.010
y(9,9)	=	0	+j	-361.010
y(9,10)	=	0	+j	0
y(10,1)	=	0	+j	0
y(10,2)	=	0	+j	0
y(10,3)	=	0	+j	0
y(10,4)	=	0	+j	0
y(10,5)	=	0	+j	0
y(10,6)	=	0	+j	0

$y(10,7)$	=	0	+j	0
$y(10,8)$	=	0	+j	10.990
$y(10,9)$	=	0	+j	0
$y(10,10)$	=	0	+j	-10.990

En la figura 4.18 se muestra el modelado de la red de secuencia cero junto con las impedancias que deberán proporcionarse a la subrutina SQPORCERO. Obsérvese que en el caso del nodo 4, a pesar de que éste es flotante, se conecta a referencia a través de una impedancia infinita con el propósito de que el nodo 4 sea incluido en el estudio. Por la misma razón, el nodo 10 es conectado al nodo 8 (ficticio) a través de una impedancia infinita.

En el caso de los transformadores, estos son modelados de acuerdo a lo expuesto en la sección 2.4.

Los resultados que arroja la subrutina SQPORCERO son los términos de la matriz de bus admitancia de secuencia cero y se muestran a continuación de la figura 4.18.



IMPEDANCIAS RED SECUENCIA CERO

$$1, 3 = 0,03416 + j 0,14129$$

$$3, 5 = 0,04005 + j 0,17165$$

$$5, 7 = 0,04039 + j 0,16571$$

$$1, 5 = 0,03260 + j 0,13483$$

$$1, 7 = 0,00839 + j 0,02709$$

$$1, 1 = + j 0,02870$$

$$3, 3 = + j 0,05461$$

$$5, 5 = + j 0,03591$$

$$8, 8 = + j 0,09099$$

$$2, 2 = + j 0,04751$$

$$6, 6 = + j 0,03052$$

$$7, 8 = + j 0,03477$$

$$8, 9 = + j 0,00277$$

$$4, 4 = + j 1 E 12$$

$$6, 10 = + j 1 E 12$$

FIG. 4.18 RED DE SECUENCIA CERO



	MATRIZ	Y	SECUENCIA	CERO
y(1,1)	=	11.559	+j	-83.505
y(1,2)	=	0	+j	0
y(1,3)	=	-1.616	+j	6.686
y(1,4)	=	0	+j	0
y(1,5)	=	-1.694	+j	7.007
y(1,6)	=	0	+j	0
y(1,7)	=	-8.248	+j	34.968
y(1,8)	=	0	+j	0
y(1,9)	=	0	+j	0
y(1,10)	=	0	+j	0
y(2,1)	=	0	+j	0
y(2,2)	=	0	+j	-21.048
y(2,3)	=	0	+j	0
y(2,4)	=	0	+j	0
y(2,5)	=	0	+j	0
y(2,6)	=	0	+j	0
y(2,7)	=	0	+j	0
y(2,8)	=	0	+j	0
y(2,9)	=	0	+j	0
y(2,10)	=	0	+j	0
y(3,1)	=	-1.616	+j	6.686
y(3,2)	=	0	+j	0
y(3,3)	=	2.918	+j	-30.517
y(3,4)	=	0	+j	0
y(3,5)	=	-1.302	+j	5.518
y(3,6)	=	0	+j	0
y(3,7)	=	0	+j	0
y(3,8)	=	0	+j	0
y(3,9)	=	0	+j	0
y(3,10)	=	0	+j	0
y(4,1)	=	0	+j	0
y(4,2)	=	0	+j	0
y(4,3)	=	0	+j	0
y(4,4)	=	0	+j	-1E-12
y(4,5)	=	0	+j	0
y(4,6)	=	0	+j	0
y(4,7)	=	0	+j	0
y(4,8)	=	0	+j	0
y(4,9)	=	0	+j	0
y(4,10)	=	0	+j	0
y(5,1)	=	-1.694	+j	7.007
y(5,2)	=	0	+j	0
y(5,3)	=	-1.302	+j	5.518
y(5,4)	=	0	+j	0
y(5,5)	=	4.384	+j	-46.069
y(5,6)	=	0	+j	0
y(5,7)	=	-1.388	+j	5.696

y(5,8)	=	0	+j	0
y(5,9)	=	0	+j	0
y(5,10)	=	0	+j	0
y(6,1)	=	0	+j	0
y(6,2)	=	0	+j	0
y(6,3)	=	0	+j	0
y(6,4)	=	0	+j	0
y(6,5)	=	0	+j	0
y(6,6)	=	0	+j	-32.765
y(6,7)	=	0	+j	0
y(6,8)	=	0	+j	0
y(6,9)	=	0	+j	0
y(6,10)	=	0	+j	0
y(7,1)	=	-8.248	+j	34.968
y(7,2)	=	0	+j	0
y(7,3)	=	0	+j	0
y(7,4)	=	0	+j	0
y(7,5)	=	-1.388	+j	5.696
y(7,6)	=	0	+j	0
y(7,7)	=	9.636	+j	-69.425
y(7,8)	=	0	+j	28.760
y(7,9)	=	0	+j	0
y(7,10)	=	0	+j	0
y(8,1)	=	0	+j	0
y(8,2)	=	0	+j	0
y(8,3)	=	0	+j	0
y(8,4)	=	0	+j	0
y(8,5)	=	0	+j	0
y(8,6)	=	0	+j	0
y(8,7)	=	0	+j	28.760
y(8,8)	=	0	+j	-400.761
y(8,9)	=	0	+j	361.010
y(8,10)	=	0	+j	1E-12
y(9,1)	=	0	+j	0
y(9,2)	=	0	+j	0
y(9,3)	=	0	+j	0
y(9,4)	=	0	+j	0
y(9,5)	=	0	+j	0
y(9,6)	=	0	+j	0
y(9,7)	=	0	+j	0
y(9,8)	=	0	+j	361.010
y(9,9)	=	0	+j	-361.010
y(9,10)	=	0	+j	0
y(10,1)	=	0	+j	0
y(10,2)	=	0	+j	0
y(10,3)	=	0	+j	0
y(10,4)	=	0	+j	0
y(10,5)	=	0	+j	0
y(10,6)	=	0	+j	0

$y(10,7)$	$=$	$0$	$+j$	$0$
$y(10,8)$	$=$	$0$	$+j$	$1E-12$
$y(10,9)$	$=$	$0$	$+j$	$0$
$y(10,10)$	$=$	$0$	$+j$	$-1E-12$

#### 4.5.3.- OBTENCION DE LA MATRIZ DE BUS IMPEDANCIA.

La obtención de las matrices de bus impedancia de cada secuencia resulta de la inversión de las matrices de bus admitancia de secuencia positiva y cero en las subrutinas ZMAS y ZCERO respectivamente.

Los resultados se muestran a continuación.

## MATRIZ Z SECUENCIA POSITIVA

z(1,1)	=	5.232E-04	+j	0.055186
z(1,2)	=	4.216E-04	+j	0.041794
z(1,3)	=	-2.708E-04	+j	0.040454
z(1,4)	=	-1.696E-04	+j	0.025339
z(1,5)	=	-1.893E-04	+j	0.041775
z(1,6)	=	-1.287E-04	+j	0.028406
z(1,7)	=	4.234E-04	+j	0.050457
z(1,8)	=	4.234E-04	+j	0.050457
z(1,9)	=	4.234E-04	+j	0.050457
z(1,10)	=	4.234E-04	+j	0.050457
z(2,1)	=	4.216E-04	+j	0.041794
z(2,2)	=	3.397E-04	+j	0.056806
z(2,3)	=	-2.182E-04	+j	0.032598
z(2,4)	=	-1.367E-04	+j	0.020418
z(2,5)	=	-1.525E-04	+j	0.033663
z(2,6)	=	-1.037E-04	+j	0.022890
z(2,7)	=	3.411E-04	+j	0.040659
z(2,8)	=	3.411E-04	+j	0.040659
z(2,9)	=	3.411E-04	+j	0.040659
z(2,10)	=	3.411E-04	+j	0.040659
z(3,1)	=	-2.708E-04	+j	0.040454
z(3,2)	=	-2.182E-04	+j	0.003259
z(3,3)	=	7.268E-04	+j	0.055056
z(3,4)	=	4.552E-04	+j	0.034485
z(3,5)	=	-3.523E-04	+j	0.039229
z(3,6)	=	-2.396E-04	+j	0.026674
z(3,7)	=	-2.822E-04	+j	0.040283
z(3,8)	=	-2.822E-04	+j	0.040283
z(3,9)	=	-2.822E-04	+j	0.040283
z(3,10)	=	-2.822E-04	+j	0.040283
z(4,1)	=	-1.696E-04	+j	0.025339
z(4,2)	=	-1.367E-04	+j	0.020418
z(4,3)	=	4.552E-04	+j	0.034485
z(4,4)	=	2.851E-04	+j	0.055806
z(4,5)	=	-2.207E-04	+j	0.024571
z(4,6)	=	-1.500E-04	+j	0.016708
z(4,7)	=	-1.768E-04	+j	0.025232
z(4,8)	=	-1.768E-04	+j	0.025232
z(4,9)	=	-1.768E-04	+j	0.025232
z(4,10)	=	-1.768E-04	+j	0.025232
z(5,1)	=	-1.893E-04	+j	0.041775
z(5,2)	=	-1.525E-04	+j	0.033663
z(5,3)	=	-3.523E-04	+j	0.039229
z(5,4)	=	-2.207E-04	+j	0.024571
z(5,5)	=	4.142E-04	+j	0.053770
z(5,6)	=	2.816E-04	+j	0.034255
z(5,7)	=	-1.047E-04	+j	0.042975

z(5,8)	=	-1.047E-04	+j	0.042975
z(5,9)	=	-1.047E-04	+j	0.042975
z(5,10)	=	-1.047E-04	+j	0.042975
z(6,1)	=	-1.287E-04	+j	0.028406
z(6,2)	=	-1.037E-04	+j	0.022890
z(6,3)	=	-2.396E-04	+j	0.026674
z(6,4)	=	-1.500E-04	+j	0.016708
z(6,5)	=	2.816E-04	+j	0.034255
z(6,6)	=	1.915E-04	+j	0.047710
z(6,7)	=	-7.122E-05	+j	0.029222
z(6,8)	=	-7.122E-05	+j	0.029222
z(6,9)	=	-7.122E-05	+j	0.029222
z(6,10)	=	-7.122E-05	+j	0.029222
z(7,1)	=	4.234E-04	+j	0.050457
z(7,2)	=	3.411E-04	+j	0.040659
z(7,3)	=	-2.822E-04	+j	0.040283
z(7,4)	=	-1.768E-04	+j	0.025232
z(7,5)	=	-1.047E-04	+j	0.042975
z(7,6)	=	-7.122E-04	+j	0.029222
z(7,7)	=	9.083E-04	+j	0.056632
z(7,8)	=	9.083E-04	+j	0.056632
z(7,9)	=	9.083E-04	+j	0.056632
z(7,10)	=	9.083E-04	+j	0.056632
z(8,1)	=	4.234E-04	+j	0.050457
z(8,2)	=	3.411E-04	+j	0.040659
z(8,3)	=	-2.822E-04	+j	0.040283
z(8,4)	=	-1.768E-04	+j	0.025232
z(8,5)	=	-1.047E-04	+j	0.042975
z(8,6)	=	-7.122E-05	+j	0.029222
z(8,7)	=	9.083E-04	+j	0.056632
z(8,8)	=	9.083E-04	+j	0.091402
z(8,9)	=	9.083E-04	+j	0.091402
z(8,10)	=	9.083E-04	+j	0.091402
z(9,1)	=	4.234E-04	+j	0.050457
z(9,2)	=	3.411E-04	+j	0.040659
z(9,3)	=	-2.822E-04	+j	0.040283
z(9,4)	=	-1.768E-04	+j	0.025232
z(9,5)	=	-1.047E-04	+j	0.042975
z(9,6)	=	-7.122E-05	+j	0.029222
z(9,7)	=	9.083E-04	+j	0.056632
z(9,8)	=	9.083E-04	+j	0.091402
z(9,9)	=	9.083E-04	+j	0.091402
z(9,10)	=	9.083E-04	+j	0.091402
z(10,1)	=	4.234E-04	+j	0.050457
z(10,2)	=	3.411E-04	+j	0.040659
z(10,3)	=	-2.822E-04	+j	0.040283
z(10,4)	=	-1.768E-04	+j	0.025232
z(10,5)	=	-1.047E-04	+j	0.042975
z(10,6)	=	-7.122E-05	+j	0.029222

$z(10,7)$	=	9.083E-04	+j	0.056632
$z(10,8)$	=	9.083E-04	+j	0.091402
$z(10,9)$	=	9.083E-04	+j	0.091402
$z(10,10)$	=	9.083E-04	+j	0.182392

MATRIZ	Z	SECUENCIA	CERO
z(1,1)	=	8.835E-04	+j 0.018589
z(1,2)	=	0	+j 0
z(1,3)	=	-6.523E-04	+j 0.005105
z(1,4)	=	0	+j 0
z(1,5)	=	-6.900E-04	+j 0.005264
z(1,6)	=	0	+j 0
z(1,7)	=	4.701E-05	+j 0.014108
z(1,8)	=	3.401E-05	+j 0.010207
z(1,9)	=	3.401E-05	+j 0.010207
z(1,10)	=	3.401E-05	+j 0.010207
z(2,1)	=	0	+j 0
z(2,2)	=	0	+j 0.047510
z(2,3)	=	0	+j 0
z(2,4)	=	0	+j 0
z(2,5)	=	0	+j 0
z(2,6)	=	0	+j 0
z(2,7)	=	0	+j 0
z(2,8)	=	0	+j 0
z(2,9)	=	0	+j 0
z(2,10)	=	0	+j 0
z(3,1)	=	-6.523E-04	+j 0.005105
z(3,2)	=	0	+j 0
z(3,3)	=	2.540E-03	+j 0.034584
z(3,4)	=	0	+j 0
z(3,5)	=	-6.510E-04	+j 0.005543
z(3,6)	=	0	+j 0
z(3,7)	=	-7.110E-04	+j 0.004333
z(3,8)	=	-5.144E-04	+j 0.003135
z(3,9)	=	-5.144E-04	+j 0.003135
z(3,10)	=	-5.144E-04	+j 0.003135
z(4,1)	=	0	+j 0
z(4,2)	=	0	+j 0
z(4,3)	=	0	+j 0
z(4,4)	=	0	+j 1E+12
z(4,5)	=	0	+j 0
z(4,6)	=	0	+j 0
z(4,7)	=	0	+j 0
z(4,8)	=	0	+j 0
z(4,9)	=	0	+j 0
z(4,10)	=	0	+j 0
z(5,1)	=	-6.900E-04	+j 0.005264
z(5,2)	=	0	+j 0
z(5,3)	=	-6.510E-04	+j 0.005543
z(5,4)	=	0	+j 0
z(5,5)	=	1.459E-03	+j 0.023788
z(5,6)	=	0	+j 0
z(5,7)	=	-5.867E-04	+j 0.006614



z (5,8)	=	-4.245E-04	+j	0.004758
z (5,9)	=	-4.245E-04	+j	0.004785
z (5,10)	=	-4.245E-04	+j	0.004785
z (6,1)	=	0	+j	0
z (6,2)	=	0	+j	0
z (6,3)	=	0	+j	0
z (6,4)	=	0	+j	0
z (6,5)	=	0	+j	0
z (6,6)	=	0	+j	0
z (6,7)	=	0	+j	0
z (6,8)	=	0	+j	0
z (6,9)	=	0	+j	0
z (6,10)	=	0	+j	0
z (7,1)	=	4.701E-05	+j	0.014108
z (7,2)	=	0	+j	0
z (7,3)	=	-7.110E-04	+j	0.004333
z (7,4)	=	0	+j	0
z (7,5)	=	-5.878E-04	+j	0.006614
z (7,6)	=	0	+j	0
z (7,7)	=	3.486E-03	+j	0.030792
z (7,8)	=	2.522E-03	+j	0.022279
z (7,9)	=	2.522E-03	+j	0.022279
z (7,10)	=	2.522E-03	+j	0.022279
z (8,1)	=	3.401E-05	+j	0.010207
z (8,2)	=	0	+j	0
z (8,3)	=	-5.144E-04	+j	0.003135
z (8,4)	=	0	+j	0
z (8,5)	=	-4.245E-04	+j	0.004785
z (8,6)	=	0	+j	0
z (8,7)	=	2.522E-03	+j	0.022279
z (8,8)	=	1.824E-03	+j	0.041276
z (8,9)	=	1.824E-03	+j	0.041276
z (8,10)	=	1.824E-03	+j	0.041276
z (9,1)	=	3.401E-05	+j	0.010207
z (9,2)	=	0	+j	0
z (9,3)	=	-5.144E-04	+j	0.003135
z (9,4)	=	0	+j	0
z (9,5)	=	-4.245E-04	+j	0.004785
z (9,6)	=	0	+j	0
z (9,7)	=	2.522E-03	+j	0.022279
z (9,8)	=	1.824E-03	+j	0.041276
z (9,9)	=	1.824E-03	+j	0.044046
z (9,10)	=	1.824E-03	+j	0.041276
z (10,1)	=	3.401E-05	+j	0.010207
z (10,2)	=	0	+j	0
z (10,3)	=	-5.144E-04	+j	0.003135
z (10,4)	=	0	+j	0
z (10,5)	=	-4.245E-04	+j	0.004785
z (10,6)	=	0	+j	0

$z(10,7)$	=	2.522E-03	+j	0.022279
$z(10,8)$	=	1.824E-03	+j	0.041276
$z(10,9)$	=	1.824E-03	+j	0.041276
$z(10,10)$	=	1.824E-03	+j	1E+12

#### 4.5.4.- CALCULO DE FALLA TRIFASICA.

Se simuló falla trifásica en el nodo 1 obteniendose el siguiente nivel de falla :

I 0 =	0		
V 0 =	0		
I 1 =	0.1944	-j	19.2783
V 1 =	0		
I 2 =	0		
V 2 =	0		
I A =	19.2793	ANGULO =	-89.4
I B =	19.2793	ANGULO =	150.6
I C =	19.2793	ANGULO =	30.6
V A =	0		
V B =	0		
V C =	0		
Z TH 1 =	0.0005232795	+j	0.0518664511
Z TH 0 =	0.0008835681	+j	0.0185896556

Todos los resultados expresados en por unidad y los ángulos en grados . A continuación se presentan los voltajes de cada bus y las contribuciones a la falla , todo expresado en forma polar en por unidad.

## FALLA TRIFASICA EN EL NODO 1

	SECO	FASE A	FASE B	FASE C
V(1)	0 0	0 0	0 0	0 0
V(2)	0.1941 -0.1	0.1941 -0.1	0.1941 -120.0	0.1941 117.1
V(3)	0.2205 -3.5	0.2205 -3.5	0.2205 -123.5	0.2205 116.5
V(4)	0.5115 -1.0	0.5115 -1.0	0.5115 -121	0.5115 119
V(5)	0.195 -3.5	0.195 -3.5	0.195 -123.5	0.195 116.5
V(6)	0.4524 -1.1	0.4524 -1.1	0.4524 -121.1	0.4524 118.9
V(7)	0.0272 -3.5	0.0272 -3.5	0.0272 -123.5	0.0272 116.5
V(8)	0.0272 -3.5	0.0272 -3.5	0.0272 -123.5	0.0272 116.5
V(9)	0.0272 -3.5	0.0272 -3.5	0.0272 -123.5	0.0272 116.5
V(10)	0.0272 -3.5	0.0272 -3.5	0.0272 -123.5	0.0272 116.5
I 7>1	3.235 -89.1	3.235 -89.1	3.235 150.9	3.235 30.9
I 5>1	4.4273 -89.2	4.4273 -89.2	4.4273 150.8	4.4273 30.8
I 3>1	4.8516 -89.1	4.8516 -89.1	4.8516 150.9	4.8516 30.9
I 5>7	3.235 -89.1	3.235 -89.1	3.235 150.9	3.235 30.9
I 3>5	0.4846 -88.6	0.4846 -88.6	0.4846 151.4	0.4846 31.4

## FALLA TRIFASICA EN EL NODO 1

	SECO	FASE A	FASE B	FASE C
I 2>1	6.7658 -90.0	6.7658 -90.0	6.7658 149.9	6.7658 30.0
I REF>2	6.7658 -90.0	6.7658 -90.0	6.7658 149.9	6.7658 30.0
I 4>3	5.3362 -89.1	5.3362 -89.1	5.3362 150.9	5.3362 30.9
I REF>4	5.3362 -89.1	5.3362 -89.1	5.3362 150.9	5.3362 30.9
I REF>3	0	0	0	0
I 6>5	7.1776 -89.2	7.1776 -89.2	7.1776 150.8	7.1776 30.8
I REF>6	7.1776 -89.2	7.1776 -89.2	7.1776 150.8	7.1776 30.8
I 8>7	0	0	0	0
I 9>8	0	0	0	0
I 10>8	0	0	0	0

#### 4.5.5.- CALCULO DE FALLA MONOFASICA A TIERRA.

Se simuló falla de la fase "A" a tierra en el nodo uno obteniéndose el siguiente nivel de falla :

I 0 =	0.1289	-j	8.1730
V 0 =	-0.1521	+j	0.0048
I 1 =	0.1289	-j	8.1730
V 1 =	0.5760	-j	0.0024
I 2 =	0.1289	-j	8.1730
V 2 =	-0.4239	-j	0.0024

I A =	24.5222	ANGULO =	-89.1
I B =	0		
I C =	0		
V A =	0		
V B =	0.8885	ANGULO =	-104.9
V C =	0.9025	ANGULO =	104.6

Z TH 1 =	0.0005232795	+j	0.0518664511
Z TH 0 =	0.0008835681	+j	0.0185896556

Todos los resultados expresados en por unidad y los ángulos en grados. A continuación se presentan los voltajes de cada bus y las contribuciones a la falla, todo expresado en forma polar en por unidad.

CONTRIBUCIONES Y VOLTAJES PARA FALLA FASE "A" A TIERRA  
EN EL NODO 1

	SECO	SEC+	SEC-	FASE A	FASE B	FASE C
V(1)	0.1521 178.1	0.576 -0.3	0.4239 -179.7	0 3.8	0.8885 -104.9	0.9025 104.6
V(2)	0 0	0.6583 -0.2	0.3416 -179.7	0.3167 -0.8	0.8784 -100.4	0.8822 100.3
V(3)	0.042 -171.9	0.6694 -0.7	0.3306 -178.8	0.2978 -4.1	0.8899 -103.8	0.8927 103.6
V(4)	0 0	0.7929 -0.4	0.2071 -178.8	0.5859 -1.0	0.9098 -108.8	0.9186 108.5
V(5)	0.0434 -171.7	0.6586 -0.7	0.3414 -178.9	0.2749 -4.3	0.8885 -103.2	0.8897 103.0
V(6)	0 0	0.7678 -0.4	0.2321 -178.9	0.5357 -1.1	0.9019 -107.3	0.911 107.0
V(7)	0.1153 -179.3	0.5857 -0.3	0.4124 -179.6	0.0602 -7.2	0.8879 -103.3	0.891 103.1
V(8)	0.0834 -179.3	0.5875 -0.3	0.4124 -179.6	0.0919 -4.5	0.8807 -101.2	0.8847 101.1
V(9)	0.0834 -179.3	0.5875 -0.3	0.4124 -179.6	0.0919 -4.5	0.8807 -101.2	0.8807 101.2
V(10)	0.0834 -179.3	0.5875 -0.3	0.4124 -179.6	0.0919 -4.5	0.8807 -101.2	0.8807 101.2
I 7>1	1.3386 -86.4	1.3715 -88.8	1.3715 -88.8	4.0811 -88.0	0.064 33.3	0.064 33.3
I 5>1	0.7906 -82.3	1.8771 -88.9	1.8771 -88.9	4.5405 -87.8	1.0954 -86.3	1.0954 86.3
I 3>1	0.7631 -82.1	2.0569 -88.8	2.0569 -88.8	4.8726 -87.8	1.3022 87.2	1.3022 87.2
I 5>7	0.4253 -80.2	1.3715 -88.8	1.3715 -88.8	3.1644 -87.6	0.9531 87.4	0.9531 87.4





#### 4.5.6.- CALCULO DE FALLA ENTRE FASES.

Se simuló falla entre las fases "B" y "C" en el nodo uno obteniéndose el siguiente nivel de falla :

I 0 =	0		
V 0 =	0		
I 1 =	0.0972	-j	9.6391
V 1 =	0.5		
I 2 =	-0.0972	+j	9.6391
V 2 =	0.5		
I A =	0		
I B =	16.6963	ANGULO =	-179.4
I C =	16.6963	ANGULO =	0.6
V A =	1.0	ANGULO =	0
V B =	0.5	ANGULO =	180.0
V C =	0.5	ANGULO =	180.0
Z TH 1 =	0.0005232795	+j	0.0518664511
Z TH 0 =	0.0008835481	+j	0.0185896556

Todos los resultados expresados en por unidad y los ángulos en grados. A continuación se presentan los voltajes de cada bus y las contribuciones a la falla, todo expresado en forma polar en por unidad.

## FALLA ENTRE FASES "B" Y "C" EN EL NODO 1

	SECO	SEC+	SEC-	FASE A	FASE B	FASE C
V(1)	0 0	0.5 0	0.5 0	1.0 0	0.5 180.0	0.5 180.0
V(2)	0 0	0.597 -0.1	0.4029 0	1.0 0	0.5275 -161.5	0.5275 161.4
V(3)	0 0	0.6101 -0.7	0.3899 0.9	1.0 0	0.5457 -159.6	0.5245 158.6
V(4)	0 0	0.7557 -0.4	0.2442 0.9	1.0 0	0.6733 -138.9	0.6627 138.0
V(5)	0 0	0.5973 -0.6	0.4027 0.8	1.0 0	0.5373 -161.8	0.518 161.0
V(6)	0 0	0.7262 -0.4	0.2738 0.8	1.0 0	0.6406 -142.4	0.6297 141.5
V(7)	0 0	0.5135 -0.1	0.4864 0	1.0 0	0.5019 -177.4	0.4991 177.2
V(8)	0 0	0.5135 -0.1	0.4864 0	1.0 0	0.5019 -177.4	0.4991 177.2
V(9)	0 0	0.5135 -0.1	0.4864 0	1.0 0	0.5019 -177.4	0.4991 177.2
V(10)	0 0	0.5135 -0.1	0.4864 0	1.0 0	0.5019 -177.4	0.4991 177.2
I 7>1	0 0	1.6175 -89.1	1.6175 90.9	0 0	2.8016 -179.1	2.8016 0.9
I 5>1	0 0	2.2136 -89.2	2.2136 90.8	0 0	3.8341 -179.2	3.8341 0.8
I 3>1	0 0	2.4258 -89.1	2.4258 90.9	0 0	4.2016 -179.1	4.2016 0.9
I 5>7	0 0	1.6175 -89.1	1.6175 90.9	0 0	2.8016 -179.1	2.8016 0.9
I 3>5	0 0	0.2423 -88.6	0.2423 91.4	0 0	0.4197 -178.6	0.4197 1.4

## FALLA ENTRE FASES "B" Y "C" EN EL NODO 1

	SECO	SEC+	SEC-	FASE A	FASE B	FASE C
I 2>1	0 0	3.3829 -90.0	3.3829 90	0 0	5.8594 180	5.8594 -0.1
I REF>2	0 0	3.3829 -90.0	3.3829 90	0 0	5.8594 180	5.8594 -0.1
I 4>3	0 0	2.6681 -89.1	2.6681 90.9	0 0	4.6213 -179.1	4.6213 0.9
I REF>4	0 0	2.6681 -89.1	2.6681 90.9	0 0	4.6213 -179.1	4.6213 0.9
I REF>3	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
I 6>5	0 0	3.5888 -89.2	3.5888 90.8	0 0	6.216 -179.2	6.216 0.8
I REF>6	0 0	3.5888 -89.2	3.5888 90.8	0 0	6.216 -179.2	6.216 0.8
I 8>7	0	0	0	0	0	0
I 9>8	0	0	0	0	0	0
I 10>8	0	0	0	0	0	0

4.5.7.- CALCULO DE FALLA ENTRE DOS FASES Y TIERRA.

Se simuló falla entre las fases "B" y "C" y tierra en el nodo uno obteniéndose el siguiente nivel de falla :

I 0 =	-0.2886	+j	11.2227		
V 0 =	0.2088	-j	0.0045		
I 1 =	0.2415	-j	15.2705		
V 1 =	0.2088	-j	0.0045		
I 2 =	0.0470	+j	4.0277		
V 2 =	0.2088	-j	0.0045		
I A =	0				
I B =	23.8983		ANGULO =	135.8	
I C =	23.5277		ANGULO =	46.3	
V A =	0.6267		ANGULO =	-1.3	
V B =	0				
V C =	0				
Z TH 1 =	0.0005232795	+j	0.0518664511		
Z TH 0 =	0.0008835681	+j	0.0185896556		

Todos los resultados expresados en por unidad y los ángulos en grados. A continuación se presentan los voltajes de cada bus y las contribuciones a la falla, todo expresado en forma polar en por unidad.

## FALLA ENTRE FASES "B" Y "C" Y A TIERRA EN EL NODO 1

	SECO	SEC+	SEC-	FASE A	FASE B	FASE C
V(1)	0.2089 -1.3	0.2089 -1.3	0.2089 -1.3	0.6267 -1.3	0 0	0 0
V(2)	0 0	0.3625 -0.6	0.1683 -1.3	0.5308 -0.8	0.3122 -148.3	0.3161 147.0
V(3)	0.0577 8.7	0.3833 -2.1	0.1629 -0.3	0.6032 -0.6	0.2865 -142.5	0.2909 134.6
V(4)	0 0	0.6136 -0.9	0.102 -0.3	0.7157 -0.8	0.5704 -129.8	0.5686 128
V(5)	0.0596 8.9	0.3631 -2.1	0.1682 -0.5	0.5901 -0.5	0.2650 -145	0.2698 136.7
V(6)	0 0	0.5668 -0.9	0.1144 -0.5	0.6813 -0.9	0.5201 -132.0	0.5183 130.0
V(7)	0.1583 1.2	0.2304 -1.5	0.2032 -1.2	0.5919 -0.7	0.0617 -165.9	0.0653 150.7
V(8)	0.1146 1.2	0.2304 -1.5	0.2032 -1.2	0.5482 -0.8	0.1048 -171.2	0.1054 162.9
V(9)	0.1146 1.2	0.2304 -1.5	0.2032 -1.2	0.5482 -0.8	0.1048 -171.2	0.1054 162.9
V(10)	0.1146 1.2	0.2304 -1.5	0.2032 -1.2	0.5482 -0.8	0.1048 -171.2	0.1054 162.9
I 7>1	1.8385 94.1	2.5593 -88.8	0.6759 89.7	0.0879 -146.1	4.0296 137.3	3.8621 46.9
I 5>1	1.0859 98.3	3.5025 -88.9	0.925 89.5	1.5045 -93.1	4.6438 150.1	4.368 33.6
I 3>1	1.0481 98.5	3.8382 -88.8	1.0136 89.6	1.7884 -92.2	5.0046 151.5	4.7253 32.1
I 5>7	0.5841 100.4	2.5593 -88.8	0.6759 89.7	1.309 92.0	3.2841 153.4	3.0895 30.3
I 3>5	0.0104 118.0	0.3834 -88.3	0.1012 90.2	0.2728 -88.6	0.4523 162.0	0.4349 21.4

## FALLA ENTRE FASES "B" Y "C" Y A TIERRA EN EL NODO 1

	SECO	SEC+	SEC-	FASE A	FASE B	FASE C
I 2>1	0 0	5.3527 -89.7	1.4136 88.7	3.9398 -89.2	6.2108 161.5	6.1524 18.6
I REF>2	0 0	5.3527 -89.7	1.4136 88.7	3.9398 -89.2	6.2108 161.5	6.1524 18.6
I 4>3	0 0	4.2216 -88.8	1.1149 89.7	3.1073 -88.2	4.8984 162.4	4.8524 19.6
I REF>4	0 0	4.2216 -88.8	1.1149 89.7	3.1073 -88.2	4.8984 162.4	4.8524 19.6
I REF>3	1.058 98.7	0 0	0 0	1.058 98.7	1.058 98.7	1.058 98.7
I 6>5	0 0	5.6784 -88.9	1.4996 89.5	4.1796 -88.3	6.5888 162.3	6.5268 19.5
I REF>6	0 0	5.6784 -88.9	1.4996 89.5	4.1796 -88.3	6.5888 162.3	6.5268 19.5
I 8>7	1.2594 91.2	0 0	0 0	1.2594 91.2	1.2594 91.2	1.2594 91.2
I REF>8	1.2594 91.2	0 0	0 0	1.2594 91.2	1.2594 91.2	1.2594 91.2
I 9>8	0	0	0	0	0	0
I 10>8	0	0	0	0	0	0



## CONCLUSIONES

Con este trabajo se obtuvo un programa para estudios de corto circuito con las siguientes características:

- Generación interactiva de archivos permanentes, con las características de la red bajo estudio.
- Posibilidad de introducir modificaciones a la topología de la red.
- Simulación de falla trifásica, falla monofásica a tierra, falla entre fases, falla entre fases y tierra.
- Cálculo de contribuciones.
- Programa soportado en basic para microcomputadoras personales.
- No requiere fuertes conocimientos de programación o de cálculo de fallas.
- Proporciona los resultados tanto en magnitudes de fase como de secuencia.
- Requiere por lo mínimo de 32 Kb de RAM disponibles para programación.

Con lo anterior se demuestra la factibilidad de realizar análisis de fallas en computadoras de bajo costo.

El programa que se desarrolló fue probado por usuarios en estudios de diferente orientación tales como:

- Cálculo de contribuciones para fallas en redes malladas.
- Ajuste de protecciones de respaldo de transformadores.
- Ajuste de relés de distancia contemplando infaseo.
- Cálculo de capacidad interruptiva.
- Ajuste de relés de sobrecorriente instantáneos en redes malladas.

En todos los casos mencionados, los resultados fueron los requeridos por los usuarios, aunque estuvieron presentes los tiempos de ejecución, resultado de limitaciones características de las computadoras de bajo costo.





APENDICE A

FORMATO DE ARCHIVOS DE DISCO

A.1.-ARCHIVO NOMFILE .

Nombre	NOMFILE
Uso	Retener nombre de archivo de matriz admitancia para referencia en otras subrutinas.
Programa que lo genera	ELECCION, MODMAS, MODCERO .
Formato	
Campo	Contenido
1	Numero de nodos de la red.
2	Nombre archivo Y secuencia positiva.
3	Comentarios secuencia positiva.
4	Nombre archivo Y secuencia cero.
5	Comentarios secuencia cero.

A.2.-ARCHIVO YMAS .

Nombre	Definido por el usuario + "MAS".
Uso	Archivo matriz admitancia de secuencia positiva.
Programa que lo genera	SOPORMAS, MODMAS .
Formato	
Campo	Contenido
1	Nombre archivo Y secuencia positiva.
2	Comentarios secuencia positiva.
3	Numero de nodos de la red (N) .
4	g(1,1)
5	b(1,1)
6	g(1,2)
7	b(1,2)
.	.
.	.
.	.
N*N*2+2	g(N,N)
N*N*2+3	b(N,N)

A.3.-ARCHIVO YCRO .

Nombre	Definido por el usuario + "CRO" .
Uso	Archivo matriz admitancia de secuencia cero.
Programa que lo genera	SOPORCERO, MODCERO .
Formato	
Campo	Contenido
1	Nombre archivo Y secuencia cero.
2	Comentarios secuencia cero.
3	Numero de nodos de la red (N) .
4	g(1,1)
5	b(1,1)
6	g(1,2)
7	b(1,2)
.	.
.	.
.	.
N*N*2+2	g(N,N)
N*N*2+3	b(N,N)

A.4.-ARCHIVO ZBUSMAS .

Nombre	ZBUSMAS .
Uso	Archivo matriz impedancia de secuencia positiva.
Programa que lo genera	ZMAS .
Formato	
Campo	Contenido
1	Numero de nodos (N) .
2	r(1,1)
3	x(1,1)
4	r(1,2)
5	x(1,2)
.	.
.	.
.	.
N*N*2	r(N,N)
N*N*2+1	x(N,N)

## A.5.-ARCHIVO ZBUSCERO .

Nombre ZBUSCERO .  
 Uso Archivo matriz impedancia de secuencia cero.  
 Programa que lo genera ZCERO .

Formato	Campo	Contenido
	1	Numero de nodos (N) .
	2	r(1,1)
	3	x(1,1)
	4	r(1,2)
	5	x(1,2)
	.	.
	.	.
	.	.
	N*N*2	r(N,N)
	N*N*2+1	x(N,N)

## A.6.-ARCHIVO VOLTREDES .

Nombre VOLTREDES .  
 Uso Retener los voltajes, corrientes e impedancias de cada equivalente de Thévenin de secuencia para el cálculo de contribuciones.  
 Programa que lo genera FALLAS .

Formato	Campo	Contenido
	1	Nodo fallado.
	2	Tipo de falla .
	3	Numero de nodos .
	4	I Thévenin secuencia positiva real.
	5	I Thévenin secuencia positiva imag.
	6	V Thévenin secuencia positiva real.
	7	V Thévenin secuencia positiva imag.
	8	I Thévenin secuencia negativa real.
	9	I Thévenin secuencia negativa imag.
	10	V Thévenin secuencia negativa real.
	11	V Thévenin secuencia negativa imag.
	12	I Thévenin secuencia cero real.
	13	I Thévenin secuencia cero imag.

14	V Thévenin secuencia cero real.
15	V Thévenin secuencia cero imag.
16	R Thévenin secuencia positiva.
17	X Thévenin secuencia positiva.
18	R Thévenin secuencia cero.
19	X Thévenin secuencia cero.

A.7.-ARCHIVO NOMBMAS .

Nombre	NOMBMAS .
Uso	Retener nombre de archivo Y de secuencia positiva para cálculo de contribuciones.
Programa que lo genera	ZMAS .
Formato	
Campo	Contenido
1	Nombre archivo de matriz Y secuencia positiva.

A.8.-ARCHIVO NOMBCERO .

Nombre	NOMBCERO .
Uso	Retener nombre de archivo Y de secuencia cero para cálculo de contribuciones.
Programa que lo genera	ICERO .
Formato	
Campo	Contenido
1	Nombre archivo de matriz Y secuencia cero .

A.9.-ARCHIVO NOMYE1 .

Nombre	NOMYE1
Uso	Archivo auxiliar para manejo de archivos de admitancia de secuencia positiva y cero. ELECCION, SOPORMAS, MODMAS.
Programa que lo genera	
Formato	
Campo	Contenido
1	Nombre archivo matrices de admitancia.

A.10.-ARCHIVO NOMYE2 .

Nombre	NOMYE2 .
Uso	Archivo auxiliar para manejo de archivos de admitancia cuando se introducen modificaciones a la red.
Programa que lo genera	MODMAS .
Formato	
Campo	Contenido
1	Nombre archivos de admitancia originales.

APENDICE B

LISTADO DE SUBRUTINAS



READY.

```
390 REM ELECCION
400 PRINT*(CLR)*
410 PRINT*OPCIONES PARA EL ESTUDIO DE REDES*
420 PRINT*PRINT
430 PRINT* 1.-ESTUDIO DE UNA RED NUEVA*
440 PRINT* PAGOS*
450 PRINT* A)FORMAR LOS ARCHIVOS [Y] DE SECUENCIA*
460 PRINT* B)CARGAR EN DISCO LOS ARCHIVOS*
470 PRINT* 2.-ESTUDIO DE UNA RED CUYO ARCHIVO [Y] YA FUE CARGADO*
480 PRINT* PAGOS*
490 PRINT* A)PROPORCIONAR EL NOMBRE DE LOS ARCHIVOS CARGADOS EN DISCO*
500 PRINT* 3.-ESTUDIO DE UNA RED CUYO ARCHIVO [Y] YA SE ENCUENTRA EN *
510 PRINT* DISCO PERO A LA CUAL SE LE EFECTURARAN MODIFICACIONES*
520 PRINT* PAGOS*
530 PRINT* A)INTRODUCIR LAS MODIFICACIONES A LAS REDES DE SECUENCIA *
540 PRINT* POSITIVA Y CERO*
550 PRINT* B)CARGAR EL NUEVO ARCHIVO [Y] EN DISCO*
560 PRINT* 4.-FIN DEL ESTUDIO ( EN SU CASO ) *
600 PRINT*PRINT*PRINT
610 INPUT*OPCION ELEGIDA (1,2,3,4) =*:A
620 IF A=1 THEN GOTO 610
630 IF A=2 THEN PRINT*(CLR)*END
640 IF A=3 THEN GOTO 800
645 PRINT*ESTAMOS CARGANDO UN PROGRAMA ....."*
650 IF A=1 THEN RUN*SOPORNAS*
670 IF A=3 THEN RUN*MODNAS*
800 PRINT*(CLR)*
810 PRINT*ESTUDIO DE UNA RED CUYO ARCHIVO [Y] YA FUE GENERADO*
820 PRINT
830 INPUT*NOMBRE ARCHIVO MATRIZ ADMITANCIAS [Y] ( <10 CARACTERES ) =*:T00
832 IF LEN(T00)>10 THEN PRINT* > 10 CARACTERES =*GOTO 830
834 M0=T00+"MAB"
835 M00=T00+"CRO"
836 T00=""
850 OPEN#1,(M0)
860 INPUT#1,M00
870 INPUT#1,M00
880 INPUT#1,M0
890 CLOSE#1
900 OPEN#1,(M00)
910 INPUT#1,AC0
920 INPUT#1,BC0
930 INPUT#1,DC
940 CLOSE#1
960 IF DC=0 THEN GOTO 1000
965 PRINT*(CLR)*
```

READY.

970 PRINT\*LOS ARCHIVOS [Y.] DE SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA NO SON CONSISTENTES ENTRE SI \*

980 PRINT\*YA QUE TIENEN DIFERENTE NUMERO DE MODOS. INTENTAR DE NUEVO\*

990 GOTO 410

1000 OPEN #1."@MOMFILE".DO.US.U

1010 PRINT#1,BH

1020 PRINT#1,AM#

1030 PRINT#1,SM#

1040 PRINT#1,CC#

1050 PRINT#1,CC#

1060 CLOSE#1

1070 PRINT\*PRINT\*ESTAMOS CARGANDO UN PROGRAMA .....

1080 RUN\*ZETA\*

1200 END

READY.

READY.

```
100 REN SOPORNAS
110 REN OBTENCION DE LA MATRIZ [Y] A PARTIR DE LA CONFIGURACION DEL SISTEMA
115 REN RED SECUENCIA POSITIVA
120 PRINT "(CLR)"
124 PRINT"RUTINA PARA FORMAR LA MATRIZ [Y] DE UNA RED NUEVA"
126 PRINT"PRIMERAMENTE SE FORMARA LA MATRIZ [Y] DE SECUENCIA POSITIVA"
128 PRINT"DEBE TENERSE CUIDADO RESPECTO A QUE LAS REDES DE SECUENCIA POSITIVA Y CERO SEAN CONSISTENTES":PRINT-PRINT
130 INPUT "CUANTAS BARRAS TIENE EL SISTEMA=":RA
140 DIM G(RA,RA),B(RA,RA)
150 RC=1
155 PRINT"PARA FUENTE SEC + EN MODO X ESPECIFICAR : DE 1 A X"
157 PRINT"PARA FINALIZAR RAMAS SECUENCIA POSITIVA : DE 0 A 0"
160 PRINT"RAMA 0":RC:INPUT"ENTRE BARRA Y BARRA 0.0 =":BA,BB
162 IF (BA=0)AND(BB=0)THENRC=RC+1:GOTO270
165 IF BA:RA OR BB:RA:THEN GOTO 160
170 INPUT "RESISTENCIA=":R
175 INPUT "REACTANCIA =" :X
180 Q=R/(BB+IXI):Q=-I/(BB+IXI)
190 IF BA:BB:THEN 210
200 Q=BA:BA=BB:BB=Q
210 G(BA,BB)=G(BA,BB)+Q:(BA,BB)=B(BA,BB)+B
220 G(BB,BA)=G(BA,BB):G(BB,BA)=B(BA,BB)
240 RC=RC+1:GOTO160
260 GOTO 230
270 FOR H=1 TO RA
280 Q=0:Q=0
290 FOR J=1 TO RA
300 G=Q(H,J)+Q:B=Q(H,J)+B
310 NEXT J
320 G(H,H)=Q:B(H,H)=B
330 NEXT H
340 FOR H=1 TO RA
350 FOR J=1 TO RA
360 IF H=J THEN GOTO 380
370 G(H,J)=G(H,J)+B(H,J):B(H,J)=B(H,J)
380 NEXT J
390 NEXT H
500 FOR I=1 TO RA
510 FOR Y= 1 TO RA
520 PRINT "YI":I:".":Y:Y=":G(I,Y):"+J".:B(I,Y)
530 NEXT Y
540 NEXT I
```

READY.

```
600 INPUT "NOMBRE QUE SE LE VA A ASIGNAR AL ARCHIVO [Y.] (<10CARACTERES)=";TK6
602 IF LEN(TK6)>10 THEN PRINT "¡0 CARACTERES " ;BOT6600
604 DOPEN$1,"@NOWE1".DO.U6.W
606 PRINT$1,TK6
607 DCLOSE$1
608 A$=TK6+"MAS"
609 TK6=""
610 INPUT "COMENTARIOS RED SEC + ( < 225 ) SIN COMAS      =" ;B9
620 DOPEN$1,"@"+A6.DO.U6.W
630 PRINT$1,A6
640 PRINT$1,B6
650 PRINT$1,BA
660 FOR Y=1 TO RA
670 FOR X=1 TO RA
680 PRINT$1,B(X,Y)
685 PRINT$1,B(X,Y)
690 NEXT Y
700 NEXT X
710 DCLOSE$1
720 DOPEN$1,"@NOWFILE".DO.U6.W
730 PRINT$1,BA
740 PRINT$1,A6
750 PRINT$1,B6
770 DCLOSE$1
800 PRINT"ESTAMOS CARGANDO UN PROGRAMA ....."
810 RUN"@BOPORCERO"
5000 END
```

READY.

READY.

```
100 REM SOPORCERO
110 REM OBTENCION DE LA MATRIZ [Y] A PARTIR DE LA CONFIGURACION DEL SISTEMA
115 REM RED SECUENCIA CERO
120 PRINT "(CLR)"
122 PRINT"FORMACION DE LA MATRIZ [Y] DE SECUENCIA CERO"
124 PRINT"DEBE TENERSE CUIDADO RESPECTO A QUE LAS REDES DE SECUENCIA POSITIVA Y CERO SEAN CONSISTENTES":PRINT:PRINT
126 DOOPEN1,"NONFILE"
128 INPUT1,RA
130 INPUT1,AA0
132 INPUT1,BB0
134 DCLOSE1
136 PRINT"NUMERO DE BARRAS DEL SISTEMA=":RA
140 DIM G(1A,RA):B(1A,RA)
150 RC=1
155 PRINT"PARA FUENTE SEC 0 EN MODO X ESPECIFICAR : DE X A X"
157 PRINT"PARA FINALIZAR RAMAS SECUENCIA CERO : DE 0 A 0"
160 PRINT"RAMA 0":RC:INPUT"ENTRE BARRA Y BARRA 0.0 ="*:BA,BB
162 IF (BA=0)AND(BB=0)THENRC=RC+1:GOTO270
165 IF BA>RA OR BB>RATHERN GOTO 160
170 INPUT "RESISTENCIA="*:R
175 INPUT "REACTANCIA ="*:X
180 G=R/(R0R+IX):B=-X/(R0R+IX)
190 IF BA>BBTHEN 210
200 G=BA:BA=BB:BB=G
210 G(BA,BB)=G(BA,BB)+G:(B(BA,BB)=B(BA,BB)+B
220 G(BB,BA)=G(BA,BB):G(BB,BA)=G(BA,BB)
240 RC=RC+1:GOTO160
260 GOTO 230
270 FOR H=1 TO RA
280 G=0:B=0
290 FOR J=1 TO RA
300 G=G+G(H,J)+G:B=B+G(H,J)+B
310 NEXT J
320 G(H,H)=G+G(H,H)+B
330 NEXT H
340 FOR H=1 TO RA
350 FOR J=1 TO RA
360 IF H=J THEN GOTO 380
370 G(H,J)=G(H,J)+G(H,J)+B(H,J)
380 NEXT J
390 NEXT H
400 FOR I=1 TO RA
410 FOR Y= 1 TO RA
420 PRINT "(Y":I:)", "(Y":Y:)",G(X,Y):"*)".B(I,X,Y)
430 NEXT Y
440 NEXT I
```

READY.

```
600 DOPEN1,"MOMYE1"  
602 INPUT1,TK6  
604 DCLOSE1  
606 AA6=TK6+"MAS"  
607 A6=TK6+"CRD"  
608 TK6=""  
610 INPUT "COMENTARIOS RED SEC 0 ( < 225 ) SIN COMAS" =*106  
620 DOPEN1,"0"+A6.DO.UB.W  
630 PRINT1,A6  
640 PRINT1,B6  
650 PRINT1,RA  
660 FORI=1TORA  
670 FORJ=1TORA  
680 PRINT1,G(I,J)  
685 PRINT1,D(I,J)  
690 NEXT J  
700 NEXT I  
710 DCLOSE1  
720 DOPEN1,"@MOMFILE".DO.UB.W  
725 PRINT1,RA  
730 PRINT1,AA6  
735 PRINT1,BB6  
740 PRINT1,A6  
745 PRINT1,B6  
750 DCLOSE1  
800 PRINT"ESTAMOS CARGANDO UN PROGRAMA ....."  
810 RUN"ZETA"  
9000 END
```

READY.

READY.

```
30 REN MODNAS
100 PRINT*(CLR)*:NM=0
110 PRINT*PROGRAMA PARA INTRODUCIR MODIFICACIONES A LA RED*
120 PRINT*SE TIENEN LAS SIGUIENTES OPCIONES: *
130 PRINT*      1.-CAMBIAR IMPEDANCIAS DE NODOS YA EXISTENTES*
140 PRINT*          A). DE NODO A NODO*
150 PRINT*          B). DE NODO A BUS DE REFERENCIA*
160 PRINT*      2.-CREAR UN NUEVO NODO*
170 PRINT*      3.-FINALIZAR Y GUARDAR EL ARCHIVO DE LA RED MODIFICADA*
180 PRINT
190 PRINT*PARA HACER UN USO OPTIMO DE LA MEMORIA RAM SE MODIFICARA PRIMERAMENTE LA RED DE SECUENCIA POSITIVA (MATRIZ Y+) DE LA RED ORIGINAL.*:
200 PRINT* EN SEGUNDA SE MODIFICARA LA RED DE SECUENCIA CERO (MATRIZ Y0) DE LA RED ORIGINAL. DEBE TENERSE CUIDADO DE QUE LAS MODIFICACIONES QUE SE HAGAN*:
210 PRINT* EN UNA SECUENCIA SE REALIZEN TAMBIEN EN LA OTRA SECUENCIA (NUEVO NODO.ETC)*:
220 PRINT*. SE SUGIERE EMPLEAR NOMBRES DIFERENTES PARA LOS ARCHIVOS [Y J] DE LA RED MODIFICADA*
230 INPUT*TECLEA X PARA CONTINUAR*:L00
275 PRINT
280 INPUT*NOMBRE DEL ARCHIVO DE MATRIZ [ Y J ] ORIGINAL=":TK0
282 OPEN#1,"#NOMEZ".DO.UB.W
284 PRINT#1,TK0
286 DCLOSE#1
298 AB=TK0+"NAS"
290 PRINT*PRINT*PRINT*ESPERAR MIENTRAS SE CARGA EL ARCHIVO ....."
300 OPEN#1,(AB)
310 GOBUS0000
320 INPUT#1,B0
330 INPUT#1,C0
340 INPUT#1,RA
345 PRINT*ARCHIVO *:B0:PRINT*COMENTARIOS ="#C0 :PRINT*NODOS=":IRA
350 DIM#1RA+1,RA+1).B1RA+1,RA+1)
360 FORX=1TORA
370 FORY=1TORA
380 INPUT#1,B1X,Y)
390 INPUT#1,B1X,Y)
400 GOBUS0000
410 NEXTY
420 NEXTX
430 DCLOSE#1
490 PRINT
500 PRINT*OPCIONES SECUENCIA POSITIVA .*
510 PRINT*      1.-CAMBIAR IMPEDANCIAS DE NODOS YA EXISTENTES*
520 PRINT*      2.-CREAR UN NUEVO NODO (SOLO UNO POR RED)*
530 PRINT*      3.-FINALIZAR Y GUARDAR EL ARCHIVO SECUENCIA POSITIVA*
540 PRINT*INPUT*OPCION ELEGIDA ="#:K0
```

READY.

```
650 IFK<>30RK<>1 THEN GOT0640
660 IFK<>1 THEN GOT02900
670 IFK<>2 AND M<>0 THEN GOT03000
680 IFK<>2 AND M<>0 THEN PRINT "YA SE CREG UN NODO NUEVO".GOT0640
690 IFK<>3 THEN GOT02000
800 PRINT
810 INPUT "NOMBRE QUE SE LE VA A ASIGNAR AL ARCHIVO [Y] MODIFICADO (<10 CRTS)=":KT6
812 IF LEN(KT6)>10 THEN PRINT " > 10 CARACTERES".GOT0810
816 DOPEM1,"@NOME1".DO.UB.M
817 PRINT@1,KT6
818 @CLOSE@1
819 AA6=KT6+"MAG"
820 INPUT "COMENTARIOS DE LA RED SEC + MODIFICADA ( <25 ) SIN COMAS=":BM6
820 DOPEM1,("@"+AA6)".DO.UB.M
825 @SUB@50000
840 PRINT@1,AA6
845 @SUB@50000
850 PRINT@1,BB6
855 @SUB@50000
860 PRINT@1,RA
865 @SUB@50000
870 FOR I=1 TO RA
880 FOR Y=1 TO RA
890 PRINT@1,B(I,Y)
900 PRINT@1,B(I,Y)
905 @SUB@50000
910 PRINT"Y(I,X):",Y(I)"=" ,B(I,Y),"*J".B(I,Y)
920 NEXT Y
930 NEXT X
940 @CLOSE@1
950 DOPEM1,"@NOME1".DO.UB.M
952 PRINT@1,RA
954 PRINT@1,AA6
956 PRINT@1,BB6
960 @CLOSE@1
980 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT"ESTAMOS CARGANDO UN PROGRAMA ....."
990 RUN "NOCERO"
1000 END
2000 REM CAMBIAR IMPEDANCIAS DE NODO
2010 PRINT"(CLR)"
2020 PRINT"CAMBIO DE IMPEDANCIAS DE NODOS SECUENCIA POSITIVA"
2030 PRINT"PARA CAMBIO DE Z ENTRE NODOS N1 Y N2 , INTRODUCIR N1,N2"
2040 PRINT"PARA CAMBIO DE Z DE NODO A REFERENCIA INTRODUCIR N1,N1"
2050 INPUT"N1 , N2 =" :N1,N2
2060 IF N1=RA OR N2=RA THEN PRINT "NODO NO EXISTENTE".GOT02050
2070 IF N1=N2 THEN GOT02500
```



READY.

```
2200 REN CAMBIO I ENTRE MODOS
2205 IFN1(N2)THEN GOTO 2210
2208 Q0=N1-N2-N2=Q0
2210 IF G(N1,N2)=CAMBIO(N1,N2)=OTHENSR=9999-SI=9999:GOTO2220
2214 SR=-G(N1,N2)/(G(N1,N2)+2*B(N1,N2)+2)
2216 SI=B(N1,N2)/(G(N1,N2)+2*B(N1,N2)+2)
2220 PRINT"IMPEDANCIA ACTUAL(*N1*,*,N2*)="*SR*+J*SI
2230 PRINT
2240 INPUT"R NUEVA="*Q1
2250 INPUT"X NUEVA="*Q2
2260 GP=Q1/(Q1+2+Q2+2)
2270 BP=-Q2/(Q1+2+Q2+2)
2280 G(N1,N1)=G(N1,N1)+G(N1,N2)+GP
2290 B(N1,N1)=B(N1,N1)+B(N1,N2)+BP
2300 G(N2,N2)=G(N2,N2)+G(N1,N2)+GP
2310 B(N2,N2)=B(N2,N2)+B(N1,N2)+BP
2320 G(N1,N2)=-GP
2330 B(N1,N2)=-BP
2340 G(N2,N1)=-GP
2350 B(N2,N1)=-BP
2360 GP=Q1*BP+Q1=Q1=Q2=0
2370 GOTO600
2500 REN CAMBIO I PROPIA A REFERENCIA
2510 RP=Q1*IP=0
2520 FOR I=1TORA
2540 RP=RP+G(N1,I)
2550 IP=IP+G(N1,I)
2560 NEXT I
2570 IF RP=CAMBIOIP=OTHENSR=9999-SI=9999:GOTO2600
2580 SR=RP/(RP+2+IP+2)
2590 SI=-IP/(RP+2+IP+2)
2600 PRINT"Z ACUAL DE REFERENCIA A MODO *N1*,*,SR*,*,SI
2610 PRINT
2620 INPUT"R NUEVA="*Q1
2630 INPUT"X NUEVA="*Q2
2640 GP=Q1/(Q1+2+Q2+2):BP=-Q2/(Q1+2+Q2+2)
2670 G(N1,N1)=G(N1,N1)+RP+GP
2680 B(N1,N1)=B(N1,N1)+IP+BP
2690 RP=Q1*IP+Q1=Q1=Q2=0:SR=Q1*SI=0
2800 GOTO600
3000 REN CREAM UN NUEVO NODO
3010 PRINT*(CLR)*
3020 PRINT*CREACION DE UN NUEVO NODO SEC +. SOLO SE PUEDE CREAM UNO A LA VEI*
3030 PRINT*EL NUEVO NODO SERA EL 0 *R+1
3040 RR=R+1
3050 RA=R+1
```

READY.

```
3060 PRINT "A CONTINUACION SE INTRODUCIRAN LAS IMPEDANCIAS ENTRE EL NUEVO NODO "  
3065 PRINT "Y LOS EXISTENTES Y/O SU REFERENCIA"  
3070 PRINT "PARA 2 ENTRE NODOS INTRODUCIR EL NUMERO DEL OTRO NODO"  
3080 PRINT "PARA 2 DEL NUEVO NODO A REFERENCIA INTRODUCIR *;NM"  
3090 PRINT "PARA TERMINAR INTRODUCE 0"  
3095 PRINT  
3100 INPUT "2 AL NODO 0 =";N1  
3110 IF N1=0 THEN PRINT "NODO NO EXISTENTE" GOTO 3100  
3120 IF N1=0 THEN GOTO 3300  
3130 INPUT "RESISTENCIA=";R1  
3140 INPUT "REACTANCIA=";X1  
3150 G=0/(R1^2+X1^2)+G1  
3160 LET B(N1,N1)=G(N1,N1)+G LET B(N1,N1)=B(N1,N1)+G  
3170 IF N1=0 THEN GOTO 3210  
3180 G(N1,N1)=G-B(N1,N1)+G  
3190 G(N1,N1)=G-B(N1,N1)+G  
3200 G(N1,N1)=G(N1,N1)+G LET B(N1,N1)=B(N1,N1)+G  
3210 PRINT GOTO 3070  
3300 GOTO 600  
50000 MEN CHEQUEO DE ERRORES  
50010 IF B(0) THEN PRINT DS:STOP  
50020 RETURN
```

READY.

READY.

```
90 REN M0RCERO
100 PRINT*(CLR)*:NM=0
110 PRINT*MODIFICACION DE LA RED DE SECUENCIA CERO*
275 PRINT
280 OPEN#1,"M0RYE2"
282 INPUT#1,TK0
284 DCLOSE#1
285 SCRATCH#M0RYE2*
286 AB=TK0+"CR0"
287 TK0=""
290 PRINT*PRINT*PRINT*ESPERAR MIENTRAS SE CARGA EL ARCHIVO ....."
300 OPEN#1,(AB)
310 GOSUB30000
320 INPUT#1,B0
330 INPUT#1,C0
340 INPUT#1,RA
345 PRINT*ARCHIVO " :B0*PRINT*COMENTARIOS =" :C0 :PRINT*MODOS=" :RA
350 DIM#1(RA+1,RA+1),B(RA+1,RA+1)
360 FORX=1TORA
370 FORY=1TORA
380 INPUT#1,G(X,Y)
390 INPUT#1,B(X,Y)
400 GOSUB30000
410 NEXTY
420 NEXTX
430 DCLOSE#1
490 PRINT
600 PRINT*OPCIONES SECUENCIA CERO .
610 PRINT* 1.-CAMBIAR IMPEDANCIAS DE MODOS YA EXISTENTES*
620 PRINT* 2.-CREAR UN NUEVO MODO (SOLO UNO POR RED)*
630 PRINT* 3.-FINALIZAR Y GUARDAR EL ARCHIVO SECUENCIA CERO*
640 PRINT*INPUT*OPCION ELEJIDA =" :X0
650 IFX0=3ORX0=1THEN GOTO640
660 IFX0=1THEN GOTO2900
670 IFX0=2ANDNM=0THENMOTO3000
680 IFX0=2ANDNM=0THENPRINT*YA SE CREO UN MODO NUEVO*:MOTO640
690 IFX0=3THENMOTO000
900 PRINT
810 OPEN#1,"M0RYE1"
812 INPUT#1,TK0
814 DCLOSE#1
816 AB=TK0+"CR0"
820 INPUT*COMENTARIOS DE LA RED SEC 0 ( <225 > SIN COMAS=" :B00
830 OPEN#1,"*" +AB#1.D0.U0.U
835 GOSUB30000
840 PRINT#1,AB0
```

READY.

```
045 00SUBS0000
050 PRINT0,000
055 00SUBS0000
060 PRINT0,0A
065 00SUBS0000
070 F0R1=1TORA
080 F0R2=1TORA
090 PRINT0,0(X,Y)
900 PRINT0,0(X,Y)
905 00SUBS0000
910 PRINT*(X)*,*(Y)*,*(X,Y)*+J*,0(X,Y)
920 NEXT1
930 NEXT2
940 0CLOSE01
950 APPEND01,"NDWFILE".00.UB
952 PRINT0,0A0
954 PRINT0,000
960 0CLOSE01
980 PRINT-PRINT-PRINT-PRINT*ESTAMOS CARGANDO UN PROGRAMA .....

990 R00 "ZETA"



1000 END



2000 REH CAMBIAR IMPEDANCIAS DE MODO



2010 PRINT*(CLR)*



2020 PRINT*CAMBIO DE IMPEDANCIAS DE MODOS SECUENCIA CERO*



2030 PRINT*PARA CAMBIO DE I ENTRE MODOS N1 Y N2 .INTRODUCIR N1,N2*



2040 PRINT*PARA CAMBIO DE I DE MODO A REFERENCIA INTRODUCIR N1,N1*



2050 INPUT*N1 , N2 N=N1,N2



2060 IFN1>0R N2>0R THEN PRINT "MODO NO EXISTENTE".GOTO2050



2070 IF N1=N2THEN GOTO2500



2200 REH CAMBIO I ENTRE MODOS



2205 IFN1<N2THEN GOTO 2210



2208 00=N1-N2+N2-N2=00



2210 IF0(N1,N2)=0AND0(N1,N2)=0THEN SR=9999:SI=9999:GOTO2220



2214 0R=-0(N1,N2)/(0(N1,N2)-1)+0(N1,N2)-12)



2216 0I=0(N1,N2)/(0(N1,N2)-1)+0(N1,N2)-12)



2220 PRINT*IMPEDANCIA ACTUAL*(N1)*,*(N2)*+*,SR,*+J*,SI



2230 PRINT



2240 INPUT*R NUEVA=*:01



2250 INPUT*X NUEVA=*:02



2260 0P=01/(01-12+02-12)



2270 0Q=-02/(01-12+02-12)



2280 0(N1,N1)=0(N1,N1)+0(N1,N2)+0P



2290 0(N1,N1)=0(N1,N1)+0(N1,N2)+0P



2290 0(N2,N2)=0(N2,N2)+0(N1,N2)+0P



2310 0(N2,N2)=0(N2,N2)+0(N1,N2)+0P



2320 0(N1,N2)=-0P


```

READY.

```
2330 G(N1,N2)=BP
2340 G(N2,N1)=GP
2350 G(N2,N1)=BP
2360 GP=0:BP=0:Q1=0:Q2=0
2370 GOTO600
2500 REN CAMBIO I PROPIA A REFERENCIA
2510 RP=0:IP=0
2520 FORI=1TORA
2540 RP=RP+G(N1,I)
2550 IP=IP+G(N1,I)
2560 NEXT I
2570 IFRP=QMNIP=OTHENSR=99999:SI=99999:GOTO2600
2580 SR=RP/(RP+IP+I2)
2590 SI=-IP/(RP+IP+I2)
2600 PRINT"Z ACUAL DE REFERENCIA A NODO *:N1:*":SR:*":SI
2610 PRINT
2620 INPUT"R NUEVA=":Q1
2630 INPUT"X NUEVA=":Q2
2640 GP=Q1/(Q1+I2+Q2+I2):BP=-Q2/(Q1+I2+Q2+I2)
2670 G(N1,N1)=G(N1,N1)+RP+GP
2680 G(N1,N1)=G(N1,N1)+IP+BP
2690 RP=0:IP=0:GP=0:BP=0:Q1=0:Q2=0:SR=0:SI=0
2800 GOTO600
3000 REN CREAM UN NUEVO NODO
3010 PRINT"(CLR)"
3020 PRINT"CREACION DE UN NUEVO NODO SEC 0. SOLO SE PUEDE CREAM UNO A LA VEZ"
3030 PRINT"EL NUEVO NODO SERA EL 0 *:RA+1
3040 NN=RA+1
3050 RA=RA+1
3060 PRINT"A CONTINUACION SE INTRODUCIRAN LAS IMPEDANCIAS ENTRE EL NUEVO NODO *
3065 PRINT"Y LOS EXISTENTES Y/O SU REFERENCIA"
3070 PRINT"PARA I ENTRE NODOS INTRODUCIR EL NUMERO DEL OTRO NODO"
3080 PRINT"PARA I DEL NUEVO NODO A REFERENCIA INTRODUCIR *:NN
3090 PRINT"PARA TERMINAR INTRODUCIR 0"
3095 PRINT
3100 INPUT"Z AL NODO 0 =":N1
3110 IFN1=0THENPRINT"NODO NO EXISTENTE":GOTO3100
3120 IFN1=0THENGOTO3300
3130 INPUT"RESISTENCIA=":Q1
3140 INPUT"REACTANCIA=":Q2
3150 G=Q1/(Q1+I2+Q2+I2):B=-Q2/(Q1+I2+Q2+I2)
3160 LETG(NN,NN)=G(NN,NN)+G:LET G(NN,N1)=G(NN,NN)+G
3170 IFN1=0THENGOTO3210
3180 G(N1,NN)=G+G(N1,NN)=-B
3190 G(NN,N1)=G+G(NN,N1)=-B
```

READY.

3200 B(MI,NI)=B(MI,NI)+6\*LETS(MI,NI)=B(MI,NI)+8  
3210 PRINT-60T03070  
3300 GOTO600  
50000 REN CHECKED DE ERREURS  
50010 (FDS)1 THENPRINTDS4-STOP  
50020 RETURN

READY.

READY.

```
190 REM INAS
200 CLR:PRINT*(CLR)*
205 PRINT*ROUTINA DE INVERSION DE MATRICES EY I*
208 PRINT
210 PRINT *OBTENCION DE LA MATRIZ INVERSA Z Y=I SECUENCIA I*
220 OPEN#1,"NOMFILE"
222 INPUT#1,RA
224 INPUT#1,AB
228 DCLOSE#1
230 OPEN#1,(AB)
235 GOSUBS0000
240 INPUT#1,BB
250 INPUT#1,CC
260 INPUT#1,CA
263 PRINT *ARCHIVO ",BB:PRINT*COMENTARIOS ="*CA
265 GOSUBS0000*REM CHEQUEO DE ERRORES
267 DIM#1ZORA,ZBRA).BIZORA,ZBRA)
270 FOR I=1 TO RA
280 FOR Y=1 TO RA
290 INPUT#1,G(X,Y)
295 INPUT#1,B(X,Y)
298 GOSUBS0000*REM CHEQUEO DE ERRORES
300 NEXT Y
310 NEXT I
320 DCLOSE#1
500 FOR I=1 TO RA
510 FOR Y=1 TO RA
520 PRINT "YI":X,".YI")="G(X,Y);*A)*.B(X,Y)
530 NEXT Y
540 NEXT I
1090 A=0:B=0:U1=1:U2=0
1100 FOR I=(RA+1)TO (ZBRA):LET G(I-RA,I)=1:NEXT I
1110 FOR I=1YORA
1115 PRINT*INVERSION DE MATRIZ EN EJECUCION*
1120 P1=B(I,I):P2=B(I,I):P=10P1+P20P2
1130 A=U10P1-U20P2:B=U20P1+U10P2
1140 U1=A:U2=B
1150 FOR L=1 TO ZBRA
1160 A=(B(I,L)0P1+B(I,L)0P2)/P:B=(B(I,L)0P1-G(I,L)0P2)/P
1170 G(I,L)=A:B(I,L)=B
1180 NEXT L
1210 FOR K=1 TO RA
1220 IF K=1 THEN GOTO 1200
1230 R1=B(K,I):R2=B(K,I)
1240 FOR J=1 TO (ZBRA)
1250 G(K,J)=G(K,J)-R10G(I,J)+R20B(I,J)-B(K,J)=B(K,J)-R10B(I,J)-R20B(I,J)
```

READY.

READY.

```
1260 NEXT J
1280 NEXT K
1300 NEXT I
5050 INPUT "TECLEA 2 PARA CONTINUAR";A$
5060 DOPEN#1:"@ZBUSMAS".BO.LB.W
5070 GOSUB50000:REM CHEQUEO DE ERRORES
5080 PRINT#1,RA
6000 PRINT "(CLR)".PRINT"MATRIZ [Z] SECUENCIA POSITIVA"
6010 FOR I= 1 TO RA
6020 FOR Y= (RA+1)TO (2*RA)
6030 PRINT "Z(";I;".";Y-RA;")=";G(X,Y);"+J".B(X,Y)
6033 PRINT#1,G(X,Y)
6036 PRINT#1,B(X,Y)
6038 GOSUB50000:REM CHEQUEO DE ERRORES
6040 NEXT Y
6050 NEXT X
6055 BCLOSE#1
6060 PRINT:PRINT"ESTANDE CARGANDO UN PROGRAMA"
6070 RUN "ZCERO"
6090 END
50000 REM CHEQUEO DE ERRORES
50010 IF BS>1THEN PRINT BS:STOP
50020 RETURN
```

READY.



READY.

```
190 REM ICERO
200 CLR:PRINT*(CLR)*
210 PRINT "OBTENCION DE LA MATRIZ INVERSA Z T-1 SECUENCIA 0"
220 OPEN#1,"NONFILE"
222 INPUT#1,RA
224 INPUT#1,AA
225 INPUT#1,AB
226 INPUT#1,AB
228 DCLOSE#1
230 OPEN#1,(AA)
235 GOSUBS0000
240 INPUT#1,BA
250 INPUT#1,CA
260 INPUT#1,RA
263 PRINT "ARCHIVO ":BA:PRINT"COMENTARIOS ":":CA
265 GOSUBS0000:REM CHEQUEO DE ERRORES
267 DIMI(26RA,26RA):B(26RA,26RA)
270 FOR X=1 TO RA
280 FOR Y=1 TO RA
290 INPUT#1,G(X,Y)
295 INPUT#1,B(X,Y)
298 GOSUBS0000:REM CHEQUEO DE ERRORES
300 NEXT Y
310 NEXT X
320 DCLOSE#1
300 FOR X=1 TO RA
310 FOR Y=1 TO RA
320 PRINT "Y:";X;" " "Y:";Y;" " "G(X,Y):";";B(X,Y)
330 NEXT Y
340 NEXT X
1090 A=0:B=0:U1=1:U2=0
1100 FOR I=(RA+1) TO (26RA):LET G(I-RA,I)=1:HEITI
1110 FOR I=1TORA
1115 PRINT"INVERSION DE MATRIZ EN EJECUCION"
1120 P1=B(I,1):P2=B(I,I):P=P1BP1+P2BP2
1130 A=U1BP1-U2BP2:B=U2BP1+U1BP2
1140 U1=0:U2=B
1150 FOR L=1 TO 26RA
1160 A=(B(I,L)BP1+B(I,L)BP2)/P:B=B(I,L)BP1-G(I,L)BP2)/P
1170 G(I,L)=A-B(I,L)=0
1180 NEXT L
1210 FOR K=1 TO RA
1220 IF K=1 THEN GOTO 1290
1230 R1=B(K,1):R2=B(K,I)
1240 FOR J=1 TO (26RA)
1250 G(K,J)=B(K,J)-R1B(I,J)+R2B(I,J):B(K,J)=B(K,J)-R1B(I,J)+R2B(I,J)
```

READY.

```
1260 NEXT J
1280 NEXT K
1300 NEXT I
5050 INPUT "TECLEEA I PARA CONTINUAR":IA
5060 OPEN#1,"@BUSCERO".@O.UB.W
5070 @BUS#50000:REN CHEQUEO DE ERRORES
5080 PRINT@,RA
6000 PRINT "(CLR)":PRINT"MATRIZ [ 2 ] SECUENCIA CERD"
6010 FOR I= 1 TO RA
6020 FOR Y= (RA+1)TO (20RA)
6030 PRINT "(@.I; ",@Y-RA:)"@.G(X,Y):"+)"@.B(X,Y)
6031 PRINT@,G(X,Y)
6032 PRINT@,B(X,Y)
6033 @BUS#50000:REN CHEQUEO DE ERRORES
6040 NEXT Y
6050 NEXT I
6055 @CLOSE#1
6060 PRINT:PRINT:PRINT"ESTAMOS CARGANDO UN PROGRAMA"
6070 @UN"FALLAS"
6080 @MD
50000 REN CHEQUEO DE ERRORES
50110 IF @S)THEN PRINT @S:STOF
50220 RETURN
```

READY.



READY.

```
620 FORX=1TD3
630 PRINT01,I(X,1)
640 PRINT01,I(X,2)
650 PRINT01,V(X,1)
660 PRINT01,V(X,2)
670 DOSUBS00000
680 NEXT I
692 PRINT01,B1
694 PRINT01,B1
696 PRINT01,B0
698 PRINT01,B0
700 DCLOSE01
800 PRINT-PRINT-PRINT
810 PRINT"VOLTAJES Y CORRIENTES DE LAS REDES DE SECUENCIA"
820 PRINT0:" EN EL MODO "/NF
830 PRINT"I0=" .I(3,1) ."+j".I(3,2)
840 PRINT"V0=" .V(3,1) ."+j".V(3,2)
850 PRINT"I1=" .I(1,1) ."+j".I(1,2)
860 PRINT"V1=" .V(1,1) ."+j".V(1,2)
870 PRINT"I2=" .I(2,1) ."+j".I(2,2)
880 PRINT"V2=" .V(2,1) ."+j".V(2,2)
890 PRINT
900 PRINT"2TH BEC=" .B1 ."+j".B1
910 PRINT"2TH BEC=" .B0 ."+j".B0
920 PRINT"INPUT"TECLEA X PARA CONTINUAR";W00
930 PRINT-PRINT-PRINT"ESTAMOS CARGANDO UN PROGRAMA ....."
940 RUN"CONTRIBUS"
990 END
1000 REN FALLA TRIFASICA
1010 UR=B1/I(01 T2+B1 T2)
1020 UI=-B1/I(01 T2+B1 T2)
1030 I(1,1)=UR
1040 I(1,2)=UI
1050 V(1,1)=0
1060 V(1,2)=0
1070 I(2,1)=0
1080 I(2,2)=0
1090 V(2,1)=0
1100 V(2,2)=0
1110 I(3,1)=0
1120 I(3,2)=0
1130 V(3,1)=0
1140 V(3,2)=0
1150 K0="FALLA TRIFASICA"
1200 RETURN
```

READY.

2000 REN FALLA MONOFASICA

2010 UR=(2001+00)/(12001+00) T2+(2001+00) T2)

2020 UI=-12001+00)/(12001+00) T2+(2001+00) T2)

2030 I(1,1)=UR

2040 I(1,2)=UI

2050 V(1,1)=-UR001+UI001

2060 V(1,2)=-UR001-UI001

2070 I(2,1)=UR

2080 I(2,2)=UI

2090 V(2,1)=-UR001+UI001

2100 V(2,2)=-UR001-UI001

2110 I(3,1)=UR

2120 I(3,2)=UI

2130 V(3,1)=-UR000+UI000

2140 V(3,2)=-UR000-UI000

2180 K0="FALLA FASE A-TIERRA"

2200 RETURN

3000 REN FALLA ENTRE FASES

3010 UR=2001/(4001 T2+4001 T2)

3020 UI=-2001/(4001 T2+4001 T2)

3030 I(1,1)=UR

3040 I(1,2)=UI

3050 V(1,1)=-UR001+UI001

3060 V(1,2)=-UR001-UI001

3070 I(2,1)=UR

3080 I(2,2)=UI

3090 V(2,1)=-UR001-UI001

3100 V(2,2)=-UR001+UI001

3110 I(3,1)=0

3120 I(3,2)=0

3130 V(3,1)=0

3140 V(3,2)=0

3180 K0="FALLA ENTRE FASES B Y C"

3200 RETURN

4000 REN FALLA ENTRE FASES Y A TIERRA

4010 UR=(01000-01000)0(01+00)+(01000+01000)0(01+00))/((01+00) T2+(01+00) T2)

4020 UI=-1(01000-01000)0(01+00)+1(01000+01000)0(01+00))/((01+00) T2+(01+00) T2)

4030 UR=(01+00)/((01+00) T2+(01+00) T2)

4040 UI=-1(01+00)/((01+00) T2+(01+00) T2)

4050 UR=UR000-UI000

4060 UI=UR000+UI000

4100 I(1,1)=UR

4110 I(1,2)=UI

4120 V(1,1)=-UR001+UI001

4130 V(1,2)=-UR001-UI001

READY.

2000 REN FALLA MONOFASICA

2010 UR=(2001+00)/((2001+00)\*2+(2001+00)\*2)

2020 UI=-2001+00/(12001+00)\*2+(2001+00)\*2)

2030 I(1,1)=UR

2040 I(1,2)=UI

2050 V(1,1)=-UR001+UI001

2060 V(1,2)=-UR001-UI001

2070 I(2,1)=UR

2080 I(2,2)=UI

2090 V(2,1)=-UR001+UI001

2100 V(2,2)=-UR001-UI001

2110 I(3,1)=UR

2120 I(3,2)=UI

2130 V(3,1)=-UR000+UI000

2140 V(3,2)=-UR000-UI000

2100 K0="FALLA FASE A-TIERRA"

2200 RETURN

3000 REN FALLA ENTRE FASES

3010 UR=2001/14001\*2+4001\*2)

3020 UI=-2001/(4001\*2+4001\*2)

3030 I(1,1)=UR

3040 I(1,2)=UI

3050 V(1,1)=-UR001+UI001

3060 V(1,2)=-UR001-UI001

3070 I(2,1)=UR

3080 I(2,2)=UI

3090 V(2,1)=-UR001-UI001

3100 V(2,2)=-UR001+UI001

3110 I(3,1)=0

3120 I(3,2)=0

3130 V(3,1)=0

3140 V(3,2)=0

3100 K0="FALLA ENTRE FASES B Y C"

3200 RETURN

4000 REN FALLA ENTRE FASES Y A TIERRA

4010 UR=(01000-01000)\*0(01+00)+(01000+01000)\*0(01+00)/((01+00)\*2+(01+00)\*2)

4020 UI=-((01000-01000)\*0(01+00)+(01000+01000)\*0(01+00)/((01+00)\*2+(01+00)\*2)

4030 UR=(01+UR)/((01+UR)\*2+(01+UI)\*2)

4040 UI=-((01+UI)/((01+UR)\*2+(01+UI)\*2)

4050 UR=UR001-UI001

4060 UI=UR001+UI001

4100 I(1,1)=UR

4110 I(1,2)=UI

4120 V(1,1)=-UR001+01001

4130 V(1,2)=-UR001-UI001

READY.

```
90 REN CONTRIBUS
100 CLR:PRINT*(CLR)*
110 PRINT*ROUTINA PARA CALCULAR CONTRIBUCIONES Y VOLTAJES DE LA FALLA SIMULADA*
190 DEFFNPR(X)=INT(1810000)/10000
195 DEFFNR(X)=INT(1810)/10
210 DOPEM1,*NONFILE*
212 INPUT*,RA
214 INPUT*,AA
216 INPUT*,LLS
218 INPUT*,B1
220 DCLOGE01
300 DIMR(3,2),VR(3,2),R(2),R(2),V(2,2),V(2,2),I(2),I(2),I(2),I(2)
305 DIM N(2)
310 DOPEM1,*VOLTRDES*
320 INPUT*,NF
325 INPUT*,K1
330 INPUT*,RA
340 FORX=1TO3
350 INPUT*,IR(X,1)
360 INPUT*,IR(X,2)
370 INPUT*,VR(X,1)
380 INPUT*,VR(X,2)
390 NEXT
392 INPUT*,AA
394 INPUT*,AB
396 INPUT*,AC
398 INPUT*,AD
400 DCLOGE01
410 R=IR(3,1)+S=IR(3,2)+I=IR(1,1)+U=IR(1,2)+V=IR(2,1)+M=IR(2,2)
420 GOSUB 9000
430 PRINT*0.* EN EL MODO *NF:PRINT*CORRIENTE DE FALLA*
440 PRINT*10*.*R,*+J*.*S
450 PRINT*11*.*T,*+J*.*U
460 PRINT*12*.*V,*+J*.*M
470 PRINT*13*.*AR,*+J*.*A1
480 PRINT*14*.*BR,*+J*.*B1
490 PRINT*15*.*CR,*+J*.*C1
500 PRINT
510 PRINT*2TH SEC*.*AA,*+J*.*AB
520 PRINT*2TH SEC*.*AC,*+J*.*AD
530 PRINT:PRINT
600 PRINT:PRINT: INPUT*DESEAS CONTRIBUCIONES Y/O VOLTAJES (S/N) =*:0*
610 IF0=*N*THEN GOTO6000 : REN MODIFICAR PARA SUPER PROGRAMM
620 IF0<)*S*THEN GOTO 600
630 PRINT *SI CONTRIBUCIONES INDICAR DE MODO A MODO*
640 PRINT *SI SE DESEA CONTRIBUCION DE TIERRA A MODO 02 , INDICAR X,X*
```

READY.

4140 I(2,1)=(-WR001+V1001)/(01\*2+01\*2)  
4150 I(2,2)=(-WR001+V1001)/(01\*2+01\*2)  
4160 V(2,1)=WR  
4170 V(2,2)=W1  
4180 I(3,1)=(-WR000+V1000)/(00\*2+00\*2)  
4190 I(3,2)=(-WR000+V1000)/(00\*2+00\*2)  
4200 V(3,1)=WR  
4210 V(3,2)=W1  
4280 KB="FALLA ENTRE FASES B-C Y TIERRA"  
4300 RETURN  
50000 REN CHEQUES DE ERRORES  
50010 IFD9>1 THEN PRINT D9+50P  
50020 RETURN

READY.



READY.

```
650 INPUT "CONTRIBUCION DE N1 ,N2 =" ;N1,N2
660 IF(N1)RA1OR(N2)RA THEN PRINT "NODO NO EXISTENTE" GOTO 650
665 IF N1=N2 AND N2=NF THEN PRINT"(CLR)" GOTO 610
670 IF N1=N2 THEN GOTO 2000
1000 REM CALCULO DE CORRIENTES DE NODO A NODO
1010 GOSUB 3000
1020 GOSUB 4000
1050 REM OBTENCION Y
1060 DOPEM1,(A0)
1070 INPUT A1,000
1080 INPUT A1,000
1090 INPUT A1,00
1100 FOR I=1 TO RA
1110 FOR Y=1 TO RA
1120 INPUT A1,OR
1130 INPUT A1,01
1140 IF (X=N1) AND (Y=N2) THEN S1=OR*B1=D1
1150 NEXT Y
1160 NEXT X
1170 DCLOSED1
1180 DOPEM1,(B0)
1190 INPUT A1,000
1200 INPUT A1,000
1210 INPUT A1,00
1220 FOR X=1 TO RA
1230 FOR Y=1 TO RA
1240 INPUT A1,OR
1250 INPUT A1,01
1260 IF (X=N1) AND (Y=N2) THEN S0=OR*B0=D0
1270 NEXT Y
1280 NEXT X
1290 DCLOSED1
1300 I0(1)=(V0(1,1)-V0(2,1))R00-B0*(V0(1,2)-V0(2,2))I0-1
1310 I0(2)=(V0(1,1)-V0(2,1))R00+G0*(V0(1,2)-V0(2,2))I0-1
1320 I1(1)=(V1(1,1)-V1(2,1))R01-B1*(V1(1,2)-V1(2,2))I0-1
1330 I1(2)=(V1(1,1)-V1(2,1))R01+G1*(V1(1,2)-V1(2,2))I0-1
1340 I2(1)=(V2(1,1)-V2(2,1))R01-B1*(V2(1,2)-V2(2,2))I0-1
1350 I2(2)=(V2(1,1)-V2(2,1))R01+G1*(V2(1,2)-V2(2,2))I0-1
1500 PRINT"(CLR)"
1510 N(1)=N1:N(2)=N2
1520 PRINT "SEC 0",SEC +,"SEC -",FASE A,"FASE B","FASE C"
1540 FOR I=1 TO 2
1560 PRINT
1580 R=V0(X,1)*S+V0(X,2)*T+V1(X,1)*U+V1(X,2)*V+V2(X,1)*W+V2(X,2)*X
1590 GOSUB 5000
1600 PRINT"V( ;N(I); )" ; FMPD(R),FMPD(I),FMPD(V),FMPD(AR),FMPD(BR),FMPD(CR)
```

READY.

```
1610 PRINT ,FMR(S),FMR(U),FMR(W),FMR(A),FMR(B),FMR(C)
1670 NEXT I
1810 R=I(1):S=I(2):T=I(1):U=I(2):V=I(1):W=I(2)
1820 GOSUB 9000
1830 PRINT
1840 PRINT "I=";I;">"M2,FMP(R),FMP(T),FMP(V),FMP(A),FMP(B),FMP(C)
1850 PRINT ,FMR(S),FMR(U),FMR(W),FMR(A),FMR(B),FMR(C)
1900 GOTO 600
2000 REM CALCULO CORRIENTE DE TIERRA A MOD0
2010 GOSUB3000
2090 DR=0:DI=0:PR=0:PI=0
2100 DOPEM1,(AG)
2110 INPUT0,000
2120 INPUT0,000
2130 INPUT0,00
2140 FOR I=1TO RA
2150 FOR Y=1TORA
2160 INPUT0,0R
2170 INPUT0,0I
2180 IF(I=N)THEN DR=DR+DR:DI=DI+0I
2200 NEXT Y
2210 NEXT I
2220 DCLOSEB1
2230 G1=0R:0I=0I
2240 LET0R=0:LET0I=0:LETPR=0:LETPI=0
2300 DOPEM1,(0R)
2310 INPUT0,000
2320 INPUT0,000
2330 INPUT0,00
2340 FOR I=1TO RA
2350 FOR Y=1TO RA
2360 INPUT0,0R
2370 INPUT0,0I
2380 IF(I=N)THEN DR=DR+0R:0I=0I+0I
2400 NEXT Y
2410 NEXT I
2420 DCLOSEB1
2430 DR=0R:0I=0I
2440 DR=0:0I=0:PR=0:PI=0
2500 I(1)=V(I,1)/00+000V(1,2)
2510 I(2)=V(I,1)/00+000V(1,2)
2520 I(1)=V(I,1)-I(0I+0I0V(1,2)
2530 I(2)=V(I,1)-I(0I+0I0V(1,2)
2540 I(1)=V(1,1)/00+0I0V(1,2)
2550 I(2)=V(1,1)/00+0I0V(1,2)
2600 PRINT*(CLR)*
```

READY.

```
2610 R=V0(1,1)+S=V0(1,2)+T=V1(1,1)+U=V1(1,2)+V=V2(1,1)+W=V2(1,2)
2620 GOSUB8000
2630 PRINT "SEC 0"."SEC +"."SEC -"."FASE A"."FASE B"."FASE C"
2640 PRINT
2650 PRINT "V(";N1;")=";FMPD(R),FMPD(T),FMPD(V),FMPD(AR),FMPD(BR),FMPD(CR)
2660 PRINT ,FNGR(S),FNGR(U),FNGR(W),FNGR(A1),FNGR(B1),FNGR(C1)
2710 R=I0(1)+S=I0(2)+T=I1(1)+U=I1(2)+V=I2(1)+W=I2(2)
2720 GOSUB8000
2730 PRINT
2740 PRINT "IREF(";N1;")=";FMPD(R),FMPD(T),FMPD(V),FMPD(AR),FMPD(BR),FMPD(CR)
2750 PRINT ,FNGR(S),FNGR(U),FNGR(W),FNGR(A1),FNGR(B1),FNGR(C1)
2900 BOTO 600
3000 REN VOLTAGE MOD0 1
3010 $OPEN#1,"ZBUSMAE"
3020 INPUT#1,B0
3030 FOR I=1 TO RA
3040 FOR Y=1 TO BA
3050 INPUT#1,BR
3060 INPUT#1,BI
3070 IF(I=NF)AND(Y=N1)THENR1(1)=B0:R1(2)=BI
3080 NEXT Y
3090 NEXT I
3100 $CLOSE#1
3200 $OPEN#1,"ZBUSCERD"
3210 INPUT#1,B0
3220 FOR I=1 TO RA
3230 FOR Y=1 TO BA
3240 INPUT#1,BR
3250 INPUT#1,BI
3260 IF(I=NF)AND(Y=N1)THENR1(1)=B0:R1(2)=BI
3270 NEXT Y
3280 NEXT I
3290 $CLOSE#1
3400 V0(1,1)=-IR(2,1)BR(1)-IR(3,2)BR(2)
3410 V0(1,2)=-IR(3,1)BR(2)-IR(3,2)BR(1)
3420 V1(1,1)= IR(1,1)BR(1)-IR(1,2)BR(2)
3430 V1(1,2)=-IR(1,1)BR(2)-IR(1,2)BR(1)
3440 V2(1,1)=-IR(2,1)BR(1)-IR(2,2)BR(2)
3450 V2(1,2)=-IR(2,1)BR(2)-IR(2,2)BR(1)
3490 RETURN
4000 REN VOLTAGE MOD0 2
4010 $OPEN#1,"ZBUSMAE"
4020 INPUT#1,B0
4030 FOR I=1 TO RA
4040 FOR Y=1 TO BA
4050 INPUT#1,BR
```

READY.

```
4060 INPUT Q1
4070 IF (X=NF) AND (Y=N2) THEN R1(1)=QR:R1(2)=Q1
4080 NEXT Y
4090 NEXT X
4100 CLOSE Q1
4200 DO PER Q1,"ZUSCERO"
4210 INPUT Q2
4220 FOR I=1 TO RA
4230 FOR Y=1 TO RA
4240 INPUT Q3
4250 INPUT Q4
4260 IF (X=NF) AND (Y=N2) THEN R1(1)=QR:R1(2)=Q1
4270 NEXT Y
4280 NEXT X
4290 CLOSE Q1
4400 V(2,1)=-R(3,1)SR(1)+R(3,2)SR(2)
4410 V(2,2)=-R(3,1)SR(2)+R(3,2)SR(1)
4420 V(2,1)=-R(1,1)SR(1)+R(1,2)SR(2)
4430 V(2,2)=-R(1,1)SR(2)+R(1,2)SR(1)
4440 V(2,1)=-R(2,1)SR(1)+R(2,2)SR(2)
4450 V(2,2)=-R(2,1)SR(2)+R(2,2)SR(1)
4490 RETURN
6000 MEN RUTINA ELECCION DE FLUJO DEL PROGRAMA
6005 PRINT "(CLR)"
6010 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT"OPCIONES"
6020 PRINT:PRINT"1.-SIMULAR OTRA FALLA EN LA RED"
6030 PRINT:PRINT"2.-MODIFICAR LA RED"
6040 PRINT:PRINT"3.-ESTUDIAR OTRA RED"
6050 PRINT:PRINT"4.-FINALIZAR EL ESTUDIO"
6060 PRINT:INPUT"ELECCION=":I
6070 IF I=0 OR I=1 THEN GO TO 6005
6090 PRINT:PRINT:PRINT"ESTAMOS CARGANDO UN PROGRAMA ....."
6100 IF I=1 THEN RUN"FALLAS"
6110 IF I=2 OR I=3 OR I=4 THEN RUN"ELECCION"
6120 END
8000 MEN TRANSFORMACION COMPONENTES SIMETRICAS
8005 A=0.5:B=3.10,S/2:C=-1.3*10.5/2
8010 AR=R+T+V:AI=B+U+W
8020 BR=R+AST-CSB+ASV-BSU
8030 BI=B+ASB+TCS+ASB+BSV
8040 CR=R+AST-USB+ASV-CSU
8050 CI=B+ASB+BST+ASB+VCS
8060 UR=R : UI=B
8070 UB=UB US=0
8080 Z=RN : S=GL : RN=0 : GL=0
8090 UR=T : UI=U
```

READY.

```
0100 0000 0500
0110 T=RN : U=GL : RN=0 : GL=0
0120 UR=V : MI=V
0130 0000 0500
0140 V=RN : M=GL : RN=0 : GL=0
0260 UR=AR : MI=AI
0270 0000 0500
0280 AR=RR : AI=GL : RN=0 : GL=0
0290 UR=BR : MI=BI
0300 0000 0500
0310 BR=RR : BI=GL : RN=0 : GL=0
0320 UR=CR : MI=CI
0330 0000 0500
0340 CR=RR : CI=GL : RN=0 : GL=0
0400 RETURN
0500 REM SUBROUTINA CONVERSION RECT A POLAR C-128
0510 RR=(UR*UR+MI*MI)^.5
0520 IF MI=0 AND UR<0 THEN GL=0 :GOTO0700
0530 IF MI=0 AND UR<0 THEN GL=180 :GOTO0700
0540 IF UR=0 AND MI>0 THEN GL=90 :GOTO0700
0550 IF UR=0 AND MI<0 THEN GL=270 :GOTO0700
0560 IF UR=0 AND MI=0 THEN GL=0 :GOTO 0700
0570 IF MI>0 AND UR>0 THEN LET GL=ATN(MI/UR)*180/3.14159265 :GOTO0700
0580 IF MI<0 AND UR>0 THEN LET GL=ATN(MI/UR)*180/3.14159265 :GOTO0700
0590 IF MI>0 AND UR<0 THEN LET GL=180+ATN(MI/UR)*180/3.14159265 :GOTO0700
0600 IF MI<0 AND UR<0 THEN LET GL=-180+ATN(MI/UR)*180/3.14159265 :GOTO0700
0700 RETURN
9000 REM TRANSFORMACION COMPONENTES SINERTICAS
9005 A=-0.5*B+3*10.5/2 :C=-13*10.5/2
9010 AR=R+T+V :A]=S+U+H
9020 BR=R+ART-CSU+ASV-B2W
9030 B]=B+ASU+TSC+ASV+B2V
9040 CR=R+ART-URB+ASV-CSW
9050 C]=S+ASU+BST+ASV+VSC
9100 RETURN
23990 PRINT"PRO".DR."B10".DI
50000 RENOVATED ERRORS
50010 IF PD>1THENPRINTDS0:STOP
50020 RETURN
```

READY.



BIBLIOGRAFIA

- \* OLLE I. ELGERD. "ELECTRIC SYSTEMS THEORY" 2D ED. MC. GRAW HILL BOOK COMPANY, NEW YORK 1982.
- \* WILLAM D. STEVENSON JR. "ELEMENTS OF POWER SYSTEM ANALYSIS" 4D ED. MC. GRAW HILL BOOK COMPANY, NEW YORK 1982 .
- \* G.W. STAGG AND A.H. EL-ABIAD. "COMPUTER METHODS IN POWER SYSTEM ANALYSIS".MC GRAW HILL BOOK COMPANY, NEW YORK 1968 .
- \* F.M. ANDERSON . "ANALYSIS OF FAULTED POWER SYSTEM" .IOWA STATE PRESS , AMES IOWA 1973 .
- \* J. LEWIS BLACKBURN . "PROTECTIVE RELAYING". MARCEL DEKKER INC. ,NEW YORK 1987 .
- \* B.M. WEEDY . "SISTEMAS ELECTRICOS DE GRAN POTENCIA". ED REVERTE, MADRID 1978 .
- \* C.F. WAGNER AND R.D. EVANS. "SYMMETRICAL COMPONENTS" . MC GRAW HILL BOOK COMPANY, NEW YORK 1933.
- \* LUTHE, OLIVERA, SCHUTZ . "METODOS NUMERICOS". ED. LIMUSA 1982 .
- \* ROBERT H. CAUTHEN AND WALTER P. MC CANNOR. "THE CAPE SYSTEM: COMPUTER AIDED PROTECTION ENGINEERING" . IEEE COMPUTER APLICATIONS IN POWER, 1988 APRIL PG 30.
- \* RODRIGUEZ NARANJO ANTONIO, ISAIAS ELIZARRARAS ALCARAS . "MICROCOMPUTADORAS PERSONALES PARA EL ANALISIS Y LA SIMULACION DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA" . IEEE MEXICON 1986 .





S.A. de C.V.

## TESIS PROFESIONALES

TEMAS • MEMORIAS • INFORMES

8 DE JULIO No. 17

CENTRO P. MORENO Y MORELOS

TELS. 14 - 01 - 22 y 13 - 61 - 42

CUADALAJARA, JAL.

PASANDO SU TIEMPO  
EN MÁQUINA IBM



USAMOS EQUIPO XEROX Y OFFSET

- REPRODUCCIONES
- FOTOCOPIAS DE TEXTO
- FOTOCOPIAS DE PLANOS
- FOTOCOPIAS DE FOTOGRAFÍAS
- FOTOCOPIAS DE MAPAS
- FOTOCOPIAS DE DISEÑOS

## HELIOGRAFICAS

- COPIAS BOND
- PAPELERIA PARA SU EMPRESA
- REDUCCIONES
- AMPLIFICACIONES