

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"FLUJO DE CARGA TRIFASICO APLICADO A SISTEMAS DE
DISTRIBUCION".

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACION: POTENCIA

PRESENTADA POR:

RAFAEL JOSE ENDERICA CORSIGLIA

GUAYAQUIL - ECUADOR

1.985

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

Al ING. CRISTOBAL MERA G.,
Director de Tesis, por su
ayuda y colaboración en la
realización de este trabajo.

D E D I C A T O R I A

- A MI FAMILIA



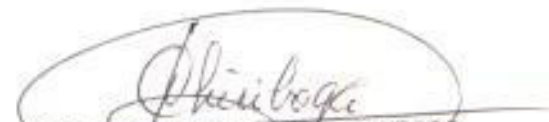
ING. GUSTAVO BERMUDEZ FLORES
SUB-DECANO DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA ELECTRICA



ING. CRISTOBAL MERA G.
DIRECTOR DE TESIS



ING. ALBERTO HANZE BELLO
MIEMBRO PRINCIPAL



ING. JORGE CHIRIBOGA V.
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).



RAFAEL JOSE ENDERICA CORSIGLIA

RESUMEN

Los sistemas de distribución de energía eléctrica están formados por elementos desbalanceados y suministran energía eléctrica a cargas igualmente desbalanceadas, de ahí que para analizar los sistemas de distribución se hace necesario desarrollar modelos de sus elementos que tomen en consideración las tres fases (a, b, c) independientemente y además que consideren el acoplamiento mutuo entre dichas fases.

Los programas de flujo de carga que existen en la actualidad analizan los sistemas eléctricos a partir del equivalente por fase de los sistemas trifásicos, este modelo por fase es útil para sistemas trifásicos balanceados, como los sistemas de transmisión y subtransmisión, pero no es útil para los sistemas de distribución de naturaleza desbalanceada debido a las muchas asunciones que toma en consideración.

En esta tesis se han desarrollado los modelos trifásicos

de los elementos y cargas de los sistemas de distribución y se ha diseñado un programa de computadora que maneja dichos modelos trifásicos y que obtiene como solución los flujos de carga y los niveles de voltaje de las tres fases de cada barra de una alimentadora de un sistema de distribución.

INDICE GENERAL

	<u>PAGS.</u>
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VIII
INDICE DE FIGURAS -----	XII
INDICE DE TABLAS -----	XIV
INTRODUCCION -----	15
CAPITULO I	
ANALISIS DEL FLUJO DE CARGA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION --	17
1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA DEL FLUJO DE CARGA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION -----	17
1.2. SOLUCION DEL PROBLEMA DEL FLUJO DE CARGA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION -----	19
CAPITULO II	
MODELOS DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION -----	21
2.1. MODELOS DE LAS LINEAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA -----	21

	<u>PAGS.</u>
2.1.1. Líneas de tres fases -----	24
2.1.2. Líneas de dos fases -----	33
2.1.3. Líneas de una fase -----	41
2.2. MODELO DE LAS CARGAS EN SISTEMAS DE DISTRI- BUCION -----	47
2.3. MODELO DE CAPACITORES -----	49
2.4. MODELO DE REGULADORES DE VOLTAJE -----	52
 CAPITULO III	
APLICACION DEL METODO DE LA ESCALERA PARA SOLU- CION DEL PROBLEMA DEL FLUJO DE CARGA EN UNA ALI- MENTADORA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION	
3.1. GENERALIDADES -----	56
3.2. SOLUCION DE CIRCUITOS MONOFASICOS LINEALES SIM- PLES APLICANDO LA TECNICA DE LA ESCALERA -----	56
3.3. SOLUCION DE CIRCUITOS MONOFASICOS NO LINEALES APLICANDO LA TECNICA DE LA ESCALERA-----	59
3.4. SOLUCION DE CIRCUITOS MONOFASICOS NO LINEALES CON RAMIFICACIONES LATERALES APLICANDO LA TECNICA DE LA ESCALERA -----	62
3.5. SOLUCION DE SISTEMAS TRIFASICOS RADIALES APLI- CANDO LA TECNICA DE LA ESCALERA -----	66

CAPITULO IV

ELABORACION DE UN PROGRAMA EN LENGUAJE FORTRAN IV PARA
RESOLVER EL FLUJO DE CARGA EN UNA ALIMENTADORA DE
UN SISTEMA DE DISTRIBUCION POR EL METODO DE LA ES
CALERA

4.1. GENERALIDADES -----	71
4.2. ENTRADA DE DATOS -----	73
4.3. PROCESO ITERATIVO -----	73
4.4. SALIDA DE RESULTADOS -----	90

CAPITULO V

EJEMPLOS DE APLICACION DEL PROGRAMA Y ANALISIS DE
LOS RESULTADOS

5.1. EJEMPLO N° 1 : COMPROBACION DE LOS RESULTADOS OB TENIDOS DEL FLUJO DE CARGA TRIFASICO -----	91
5.1.1. Definición del Ejemplo -----	91
5.1.2. Resultados -----	95
5.1.3. Análisis de los resultados -----	100
5.2. EJEMPLO N° 2: REUBICACION DE LAS CARGAS DE UNA ALIMENTADORA DE DISTRIBUCION Y SUS BENEFICIOS--	
5.2.1. Definición del ejemplo -----	102
5.2.2. Resultados -----	105
5.2.3. Análisis de los resultados -----	111
5.3. EJEMPLO N° 3: UTILIZACION DEL REGULADOR DE VOLTAJE -	

PARA MEJORAR LOS NIVELES DE VOLTAJE EN UNA ALIMENTADORA RURAL DE DISTRIBUCION -----	114
5.3.1. Definición del ejemplo -----	114
5.3.2. Resultados -----	118
5.3.3. Análisis de los resultados -----	124
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	126
APENDICES -----	129
BIBLIOGRAFIA -----	191

I N D I C E D E F I G U R A S

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
CAPITULO II		
2.1.	MODELO DE LA LINEA DE DISTRIBUCION DE TRES FASES	25
2.2.	MODELO DE LA LINEA DE DISTRIBUCION DE DOS FASES-	35
2.3.	MODELO DE LA LINEA DE DISTRIBUCION DE UNA FASE--	42
2.4.	MODELO DE LA CARGA TRIFASICA -----	48
2.5.	MODELO DE LA CARGA MONOFASICA-----	49
2.6.	MODELO DEL CAPACITOR -----	51
2.7.	MODELO DE UN REGULADOR DE VOLTAJE -----	54
2.8.	MODELO DE UN BANCO TRIFASICO DE REGULADORES DE VOLTAJE -----	55
CAPITULO III		
3.1.	CIRCUITO MONOFASICO LINEAL SIMPLE -----	57
3.2.	CIRCUITO MONOFASICO NO LINEAL -----	59
3.3.	CIRCUITO MONOFASICO NO LINEAL CON RAMIFICACIONES	63
3.4.	EJEMPLO DE UN SISTEMA RADIAL CON MULTIPLES RAMA LES LATERALES -----	66
3.5.	CIRCUITO TRIFASICO RADIAL -----	67

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
CAPITULO V		
5.1.	DIAGRAMA UNIFILAR DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 1 -----	93
5.2.	DIAGRAMA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 1 -----	94
5.3.	FLUJO DE CARGA POR FASE DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 1 -----	98
5.4.	FLUJO DE CARGA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA - DEL EJEMPLO Nº 1 -----	99
5.5.	DIAGRAMA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 2 - CASO BASE -----	103
5.6.	DIAGRAMA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 2 - CASO MODIFICADO -----	104
5.7.	FLUJO DE CARGA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA - DEL EJEMPLO Nº 2 - CASO BASE -----	109
5.8.	FLUJO DE CARGA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA - DEL EJEMPLO Nº 2 - CASO MODIFICADO -----	110
5.9.	DIAGRAMA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 3 - CASO BASE -----	116
5.10.	DIAGRAMA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 3 - CASO MODIFICADO -----	117
5.11.	FLUJO DE CARGA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA - DELEJEMPLO Nº 3 - CASO BASE -----	122
5.12.	FLUJO DE CARGA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA - DEL EJEMPLO Nº 3 - CASO MODIFICADO -----	123

I N D I C E D E T A B L A S

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
5.1.	VOLTAJES DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 1 PARA EL FLUJO DE CARGA POR FASE Y TRIFASICO-	95
5.2.	SUMARIO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 1 PARA EL FLUJO DE CARGA POR FASE Y TRIFASI- CO -----	96
5.3.	VOLTAJES DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº2 PARA EL CASO BASE Y MODIFICADO -----	106
5.4.	SUMARIO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 2 PARA EL CASO BASE Y MODIFICADO -----	107
5.5.	VOLTAJES DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 3 PARA EL CASO BASE Y MODIFICADO -----	119
5.6.	SUMARIO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 3 PARA EL CASO BASE Y MODIFICADO -----	120
5.7.	REPORTE DEL REGULADOR DE VOLTAJE -----	121

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

Los sistemas eléctricos deben constantemente aumentar su capacidad de generación, transmisión, y distribución de la energía eléctrica debido al continuo crecimiento de la carga. Estas expansiones deben ser planificadas por los ingenieros de Sistemas de Potencia, los cuales para sus estudios deben de tener las herramientas necesarias para poder determinar las características de operación (magnitudes y ángulos de los voltajes en las diferentes barras del sistema, flujo de potencia activa y reactiva, pérdidas, etc.), de las diversas alternativas de configuración de sus sistemas eléctricos.

Antes de 1.930, los cálculos de flujo de carga se hacían a mano, luego entre 1.930 y 1.956, se usaron los analizadores de redes que eran modelos a escala de los sistemas eléctricos reales en los cuales se simulaban las diferentes configuraciones y se obtenían las características de operación por medio de medidores.

Luego, en 1.956, apareció el primer programa práctico de computadora para encontrar la solución de problemas de flujos de carga, desde entonces los programas han ido perfeccionándose desplazando completamente a los métodos antiguos y convirtiéndose rápidamente en la principal herramienta para analizar los parametros de operación de los sistemas eléctricos.

Los programas de flujo de carga que se desarrollaron inicialmente y los que se han ido perfeccionando, son útiles para analizar los sistemas de transmisión y subtransmisión que se caracterizan por ser sistemas balanceados; los sistemas de distribución son de naturaleza desbalanceada y deben de ser analizados con programas de flujo de carga especiales que tomen en consideración sus desbalances de orden interno y externo.

El objetivo principal de esta tesis es el de desarrollar un programa de flujo de carga trifásico que sirva para el análisis de los sistemas de distribución.

C A P I T U L O I

ANALISIS DEL FLUJO DE CARGA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION

1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA DEL FLUJO DE CARGA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION

Hoy en día existen muchos programas de computadoras para obtener los flujos de carga para sistemas de transmisión y subtransmisión. Estos sistemas se caracterizan por ser balanceados, o sea por estar constituidos por elementos trifásicos balanceados que suministran energía eléctrica a cargas trifásicas balanceadas; debido a esta naturaleza balanceada los programas de flujo de carga desarrollados para este tipo de sistemas hacen uso de la representación más simple de un sistema de potencia: el equivalente por fase.

Las asunciones que se consideran al modelar los elementos de los sistemas eléctricos de potencia por fase

son que las corrientes de las tres fases están balanceadas completamente y que las líneas de transmisión se transponen en todo su recorrido. Estas asunciones introducen errores poco significativos en el resultado de los flujos de carga para sistemas balanceados, pero en cambio representan una disminución apreciable en la cantidad de datos que deben ser procesados por el programa y también disminuye significativamente el tiempo de computadora requerido para obtener la solución.

Los sistemas de distribución por el contrario se caracterizan por estar constituidos por gran cantidad de elementos desbalanceados que suministran energía a cargas desbalanceadas. Debido a esta naturaleza - desbalanceada tanto de los elementos integrantes del circuito eléctrico como de las cargas estos sistemas no pueden ser modelados monofásicamente, no pudiéndose por lo tanto usar los programas convencionales de flujo de carga que se basan en los modelos - por fase.

De ahí el hecho que se tenga que desarrollar modelos especiales para representar los elementos de los sistemas de distribución, teniéndose también que de

sarrollar programas especiales de flujo de carga para obtener las características de operación de los sistemas de distribución.

1.2. SOLUCION DEL PROBLEMA DEL FLUJO DE CARGA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION

Debido a la naturaleza desbalanceada de un sistema de distribución, los elementos que lo forman y las cargas deben de ser modelados en tal forma que se representen las tres fases (a, b, c) y que se consideren los efectos del acoplamiento mutuo entre las fases respectivas.

Los elementos principales de un sistema de distribución son las líneas de distribución de energía eléctrica, los reguladores de voltaje, los bancos de capacitores y las cargas; los modelos de cada uno de ellos se analizaran en el siguiente capítulo.

Para resolver el problema del flujo de carga en sistemas de distribución debe de diseñarse un programa que pueda manejar los modelos trifásicos de los elementos y cargas de un sistema de distribución e incluir el efecto del acoplamiento mutuo en

tre fases. Este programa hace posible el estudio de los sistemas desbalanceados; obteniéndose los resultados para cada fase (a, b, c) en forma independiente. Los resultados que deben reportar el programa son: los voltajes para las tres fases de las barras del sistema, los flujos de potencia activa y reactiva entre barras por cada fase, las pérdidas y el número de pasos del regulador de voltaje.

CAPITULO II

MODELOS DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION

2.1. MODELOS DE LAS LINEAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA - ELECTRICA

El primer elemento a considerar en un sistema de distribución son las líneas de transporte de energía eléctrica. Las líneas son normalmente aéreas, de aluminio desnudo y están soportadas por aisladores de porcelana en postes de madera, hormigón o metálicos.

Las líneas pueden ser de una fase, de dos fases o de tres fases; existiendo por lo menos un hilo de neutro el cual es usado como trayectoria de retorno en los circuitos de una fase y de dos fases, y también en los trifásicos cuando están desbalanceados (debido a la naturaleza de los sistemas de distribución esto ocurre en la gran mayoría de los casos).

En los sistemas de transmisión la impedancia serie más importante es la inductiva, pero en los sistemas de distribución la componente resistiva y la componente inductiva son igualmente importantes.

Por otro lado en contraposición con las líneas de transmisión el espaciamiento de los conductores en las líneas de distribución es pequeño lo que implica que los efectos del acoplamiento mutuo sean mayores y deban ser considerados en los análisis.

También debido a los voltajes pequeños la capacitancia entre conductores y entre conductores y tierra puede ser depreciada sin introducir un error significativo, ya que las corrientes de carga para estos niveles de voltaje son significativamente más pequeñas que las corrientes normales que fluyen debido a la demanda de los consumidores.

Para calcular las impedancias propias y mutuas de las líneas de distribución se utiliza un método muy sofisticado y preciso, en el cual se aplican las ecuaciones de Carson en un sistema trifásico aterrizado; en este método no se asume que las corrientes de línea están balanceadas ni que las líneas están com

pletamente transpuestas (estas asunciones se consideran al calcular las impedancias para el equivalente por fase de los sistemas trifásicos).

Los cálculos de las impedancias se desarrollarán en las secciones 2.1.1., 2.1.2., 2.1.3., aquí mostraremos los modelos resultantes de los cálculos para cada línea de distribución.

El modelo de una línea de tres fases es:

$$\begin{array}{c} \text{a} \\ \text{b} \\ \text{c} \end{array} \begin{array}{ccc} \text{a} & \text{b} & \text{c} \\ \left[\begin{array}{ccc} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{array} \right] \end{array}$$

El modelo de una línea de dos fases es :

$$\begin{array}{c} \text{a} \\ \text{b} \\ \text{c} \end{array} \begin{array}{ccc} \text{a} & \text{b} & \text{c} \\ \left[\begin{array}{ccc} Z_{11} & Z_{12} & 0 \\ Z_{21} & Z_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{a} \\ \text{b} \\ \text{c} \end{array} \begin{array}{ccc} \text{a} & \text{b} & \text{c} \\ \left[\begin{array}{ccc} Z_{11} & 0 & Z_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ Z_{31} & 0 & Z_{33} \end{array} \right] \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{a} \\ \text{b} \\ \text{c} \end{array} \begin{array}{ccc} \text{a} & \text{b} & \text{c} \\ \left[\begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_{22} & Z_{23} \\ 0 & Z_{32} & Z_{33} \end{array} \right] \end{array}$$

Fases a - b Fases a - c Fases b - c

El modelo de una línea de una fase es :

	a	b	c		a	b	c		a	b	c
a	Z_{11}			0	0	a	0			0	0
b	0	0			0	b	0	Z_{22}			0
c	0	0	0			c	0	0	0		
Fase	a				Fase	b			Fase	c	

2.1.1. Líneas de tres fases

El tipo de línea de distribución más usado es la línea trifásica, formada por tres conductores de fases principales, un hilo de neutro aterrizado en varios puntos y la tierra.

El modelo de una línea trifásica lo podemos apreciar en la figura N° 2.1.

Los voltajes $V_a, V_b, V_c, V_g, V_e, V_a', V_b', V_c', V_g', V_e'$, están referidos al potencial de referencia indicado.

Las caídas de voltaje en cada conductor pueden ser expresadas en términos de las corrientes (I_a, I_b, I_c, I_g, I_e), y de las impedancias propias ($Z_{aa}, Z_{bb}, Z_{cc}, Z_{gg}, Z_{ee}$) y mutuas ($Z_{ab}, Z_{ac}, Z_{ag}, Z_{ae}, Z_{bc}, Z_{bg}, Z_{be}, Z_{cg}, Z_{ce}, Z_{ge}$) de los conductores.

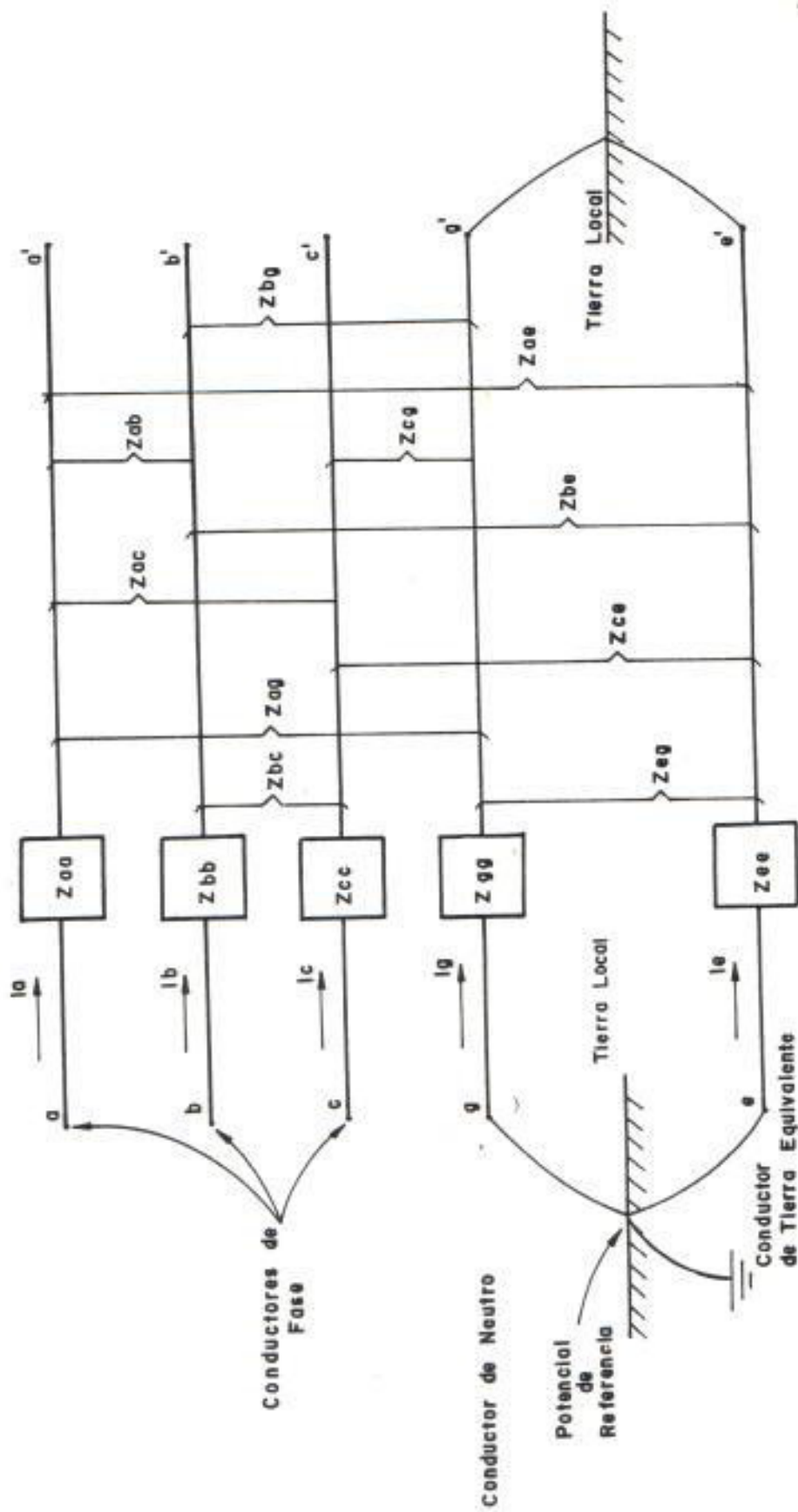


FIGURA N° 2.1. MODELO DE LA LINEA DE DISTRIBUCION DE TRES FASES

Las ecuaciones que determinan las caídas de voltaje a través de los conductores son:

$$\begin{aligned}
 V_a - V_a' &= I_a Z_{aa} + I_b Z_{ab} + I_c Z_{ac} + I_g Z_{ag} + I_e Z_{ae} \\
 V_b - V_b' &= I_a Z_{ba} + I_b Z_{bb} + I_c Z_{bc} + I_g Z_{bg} + I_e Z_{be} \\
 V_c - V_c' &= I_a Z_{ca} + I_b Z_{cb} + I_c Z_{cc} + I_g Z_{cg} + I_e Z_{ce} \\
 V_g - V_g' &= I_a Z_{ga} + I_b Z_{gb} + I_c Z_{gc} + I_g Z_{gg} + I_e Z_{ge} \\
 V_e - V_e' &= I_a Z_{ea} + I_b Z_{eb} + I_c Z_{ec} + I_g Z_{eg} + I_e Z_{ee}
 \end{aligned}$$

(1)

Estas ecuaciones pueden ser escritas en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} V_a - V_a' \\ V_b - V_b' \\ V_c - V_c' \\ V_g - V_g' \\ V_e - V_e' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ag} & Z_{ae} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bg} & Z_{be} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cg} & Z_{ce} \\ Z_{ga} & Z_{gb} & Z_{gc} & Z_{gg} & Z_{ge} \\ Z_{ea} & Z_{eb} & Z_{ec} & Z_{eg} & Z_{ee} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_g \\ I_e \end{bmatrix}$$

(2)

Ahora debemos expresar los voltajes de línea V_a , V_b , V_c , V_a' , V_b' , V_c' , con referencia a su

potencial de tierra local (V_e y V_e' , respectivamente), ya que esa es la forma práctica de definir los voltajes en un sistema de distribución.

Los voltajes iniciales V_a , V_b , V_c , ya están definidos con respecto a su potencial de tierra local, ya que su potencial de tierra está unido directamente al punto de referencia, por lo tanto:

$$\begin{aligned} V_a &= V_a - V_e = V_{ae} \\ V_b &= V_b - V_e = V_{be} \\ V_c &= V_c - V_e = V_{ce} \end{aligned} \quad (3)$$

Los voltajes V_a' , V_b' , V_c' , no están expresados con respecto a su potencial de tierra local (V_e') sino con respecto al voltaje tomando como referencia, de ahí que debemos obtener los voltajes $V_{a'e'}$, $V_{b'e'}$, $V_{c'e'}$, por medio de reducciones matemáticas.

Las potenciales de tierra y neutro están relacionados de la siguiente manera:

$$V_g = V_g - V_e = V_e = 0$$

$$V_e = V_e - V_e = 0$$

$$V_g' = V_e' \neq 0 \quad (4)$$

De lo anterior se obtiene:

$$\begin{bmatrix} V_{ae} - V_{a'} \\ V_{be} - V_{b'} \\ V_{ce} - V_{c'} \\ 0 - V_{e'} \\ 0 - V_{e'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ag} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bg} & Z_{be} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cg} & Z_{ce} \\ Z_{ga} & Z_{gb} & Z_{gc} & Z_{gg} & Z_{ge} \\ Z_{ea} & Z_{eb} & Z_{ec} & Z_{eg} & Z_{ee} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_g \\ I_e \end{bmatrix} \quad (5)$$

También conocemos que:

$$I_a + I_b + I_c + I_g + I_e = 0 \quad (6)$$

de donde:

$$I_e = -I_a - I_b - I_c - I_g \quad (7)$$

Para reducir el sistema de la ecuación (5), restemos la fila 5 de las filas 1, 2, 3, y 4, respectivamente:

Fila 1 - Fila 5:

$$\begin{aligned} Vae - Va'e' + Ve' &= IaZaa + IbZab + IcZac + IgZag + IeZae \\ &\quad - IaZea - IbZeb - IcZec - IgZeg - IeZee \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} Vae - Va'e' &= Ia (Zaa - Zea - Zae + Zee) \\ &\quad + Ib (Zab - Zeb - Zae + Zee) \\ &\quad + Ic (Zac - Zec - Zae + Zee) \\ &\quad + Ig (Zag - Zeg - Zae + Zee) \end{aligned} \quad (9)$$

Fila 2 - Fila 5:

$$\begin{aligned} Vbe - Vb'e' + Ve' &= IaZba + IbZbb + IcZbc + IgZbg + IeZbe \\ &\quad - IaZea - IbZeb - IcZec - IgZeg - IeZee \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} Vbe - Vb'e' &= Ia(Zba - Zea - Zbe + Zee) \\ &\quad + Ib(Zbb - Zeb - Zbe + Zee) \\ &\quad + Ic(Zbc - Zec - Zbe + Zee) \\ &\quad + Ig(Zbg - Zeg - Zbe + Zee) \end{aligned} \quad (11)$$

Fila 3 - Fila 5:

$$\begin{aligned}
 V_{ce} - V_{c'} + V_{e'} &= I_a Z_{ca} + I_b Z_{cb} + I_c Z_{cc} + I_g Z_{cg} + I_e Z_{ce} \\
 &\quad - I_e Z_{ea} - I_b Z_{eb} - I_c Z_{ec} - I_g Z_{eg} - I_e Z_{ee}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ce} - V_{c'} e' &= I_a (Z_{ca} - Z_{ea} - Z_{ce} + Z_{ee}) \\
 &\quad + I_b (Z_{cb} - Z_{eb} - Z_{ce} + Z_{ee}) \\
 &\quad + I_c (Z_{cc} - Z_{ec} - Z_{ce} + Z_{ee}) \\
 &\quad + I_g (Z_{cg} - Z_{eg} - Z_{ce} + Z_{ee})
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Fila 4 - Fila 5:

$$\begin{aligned}
 0 - V_{e'} + V_{e'} &= I_a Z_{ga} + I_b Z_{gb} + I_c Z_{gc} + I_g Z_{gg} + I_e Z_{ge} \\
 &\quad - I_a Z_{ea} - I_b Z_{eb} - I_c Z_{ec} - I_g Z_{eg} - I_e Z_{ee}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 0 &= I_a (Z_{ga} - Z_{ea} - Z_{ge} + Z_{ee}) \\
 &\quad + I_b (Z_{gb} - Z_{eb} - Z_{ge} + Z_{ee}) \\
 &\quad + I_c (Z_{gc} - Z_{ec} - Z_{ge} + Z_{ee}) \\
 &\quad + I_g (Z_{gg} - Z_{eg} - Z_{ge} + Z_{ee})
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

De donde obtenemos:

$$\begin{bmatrix} V_{ae} - V_{a'} e' \\ V_{be} - V_{b'} e' \\ V_{ce} - V_{c'} e' \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Z_{aa}} & \overline{Z_{ab}} & \overline{Z_{ac}} & \overline{Z_{ag}} \\ \overline{Z_{ba}} & \overline{Z_{bb}} & \overline{Z_{bc}} & \overline{Z_{bg}} \\ \overline{Z_{ca}} & \overline{Z_{cb}} & \overline{Z_{cc}} & \overline{Z_{cg}} \\ \overline{Z_{ga}} & \overline{Z_{gb}} & \overline{Z_{gc}} & \overline{Z_{gg}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_b \\ I_b \\ I_c \\ I_g \end{bmatrix}
 \tag{16}$$

En donde:

$$\overline{Zaa} = Zaa - Zea - Zae + Zee$$

$$\overline{Zab} = Zab - Zeb - Zae + Zee$$

$$\overline{Zac} = Zac - Zec - Zae + Zee$$

$$\overline{Zag} = Zag - Zeg - Zae + Zee$$

$$\overline{Zba} = Zba - Zea - Zbe + Zee$$

$$\overline{Zbb} = Zbb - Zeb - Zbe + Zee$$

$$\overline{Zbc} = Zbc - Zec - Zbe + Zee$$

$$\overline{Zbg} = Zbg - Zeg - Zbe + Zee$$

$$\overline{Zca} = Zca - Zea - Zce + Zee$$

$$\overline{Zcb} = Zcb - Zeb - Zce + Zee$$

$$\overline{Zcc} = Zcc - Zec - Zce + Zee$$

$$\overline{Zcg} = Zcg - Zeg - Zce + Zee$$

$$\overline{Zga} = Zga - Zea - Zge + Zee$$

$$\overline{Zgb} = Zgb - Zeb - Zge + Zee$$

$$\overline{Zgc} = Zgc - Zec - Zge + Zee$$

$$\overline{Zgg} = Zgg - Zeg - Zge + Zee$$

Haciendo una reducción matricial y eliminando la cuarta fila de la ecuación (16) tenemos:

$$\begin{bmatrix} V_{ae} - V_a'e' \\ V_{be} - V_b'e' \\ V_{ce} - V_c'e' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Z}_{aa} & \overline{Z}_{ab} & \overline{Z}_{ac} \\ \overline{Z}_{ba} & \overline{Z}_{bb} & \overline{Z}_{bc} \\ \overline{Z}_{ca} & \overline{Z}_{cb} & \overline{Z}_{cc} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (18)$$

En donde:

$$\begin{bmatrix} \overline{Z}_{aa} & \overline{Z}_{ab} & \overline{Z}_{ac} \\ \overline{Z}_{ba} & \overline{Z}_{bb} & \overline{Z}_{bc} \\ \overline{Z}_{ca} & \overline{Z}_{cb} & \overline{Z}_{cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Z}_{aa} & \overline{Z}_{ab} & \overline{Z}_{ac} \\ \overline{Z}_{ba} & \overline{Z}_{bb} & \overline{Z}_{bc} \\ \overline{Z}_{ca} & \overline{Z}_{cb} & \overline{Z}_{cc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \overline{Z}_{ag} \\ \overline{Z}_{bg} \\ \overline{Z}_{cg} \end{bmatrix} \times \left[\frac{1}{\overline{Z}_{gg}} \right] \times \begin{bmatrix} \overline{Z}_{ga} & \overline{Z}_{gb} & \overline{Z}_{gc} \end{bmatrix} = \quad (19)$$

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

La ecuación (18) es más práctica y concisa - que la ecuación inicial y expresa la diferencia de potencial en los extremos de los tres conductores en términos de las corrientes de línea e impedancias propias y mutuas

de los conductores. Puede ser expresada en forma simplificada de la siguiente manera:

$$V^{abc} = \overline{\overline{Z^{abc}}} \cdot I^{abc} \quad (20)$$

De la ecuación (18) podemos obtener una expresión para las corrientes de línea en función de la diferencia de voltaje y de las admitancias propias y mutuas de las líneas:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{\overline{Y_{aa}}} & \overline{\overline{Y_{ab}}} & \overline{\overline{Y_{ac}}} \\ \overline{\overline{Y_{ba}}} & \overline{\overline{Y_{bb}}} & \overline{\overline{Y_{bc}}} \\ \overline{\overline{Y_{ca}}} & \overline{\overline{Y_{cb}}} & \overline{\overline{Y_{cc}}} \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} V_{ae} - V_a'e' \\ V_{be} - V_b'e' \\ V_{ce} - V_c'e' \end{bmatrix} \quad (21)$$

En donde:

$$\begin{bmatrix} \overline{\overline{Y_{aa}}} & \overline{\overline{Y_{ab}}} & \overline{\overline{Y_{ac}}} \\ \overline{\overline{Y_{ba}}} & \overline{\overline{Y_{bb}}} & \overline{\overline{Y_{bc}}} \\ \overline{\overline{Y_{ca}}} & \overline{\overline{Y_{cb}}} & \overline{\overline{Y_{cc}}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{\overline{Z_{aa}}} & \overline{\overline{Z_{ab}}} & \overline{\overline{Z_{ac}}} \\ \overline{\overline{Z_{ba}}} & \overline{\overline{Z_{bb}}} & \overline{\overline{Z_{bc}}} \\ \overline{\overline{Z_{ca}}} & \overline{\overline{Z_{cb}}} & \overline{\overline{Z_{cc}}} \end{bmatrix}^{-1} \quad (22)$$

2.1.2. Líneas de dos fases

Las líneas de dos fases está formada por dos conductores de fase, un conductor de neutro -

de neutro aterrizado en varios puntos y la tierra (estos dos últimos elementos constituyen la trayectoria de retorno).

El modelo de la línea de dos fases con sus respectivas impedancias propias y mutuas lo podemos apreciar en la figura N° 2.2.

Ocho voltajes están considerados en el circuito $V_a, V_{a'}, V_b, V_{b'}, V_g, V_{g'}, V_e, V_{e'}$, los cuales están todos referidos al potencial de referencia de la figura.

Las ecuaciones que determinan las caídas de voltaje a través de los conductores son:

$$V_a - V_{a'} = I_a Z_{aa} + I_b Z_{ab} + I_g Z_{ag} + I_e Z_{ae}$$

$$V_b - V_{b'} = I_a Z_{ba} + I_b Z_{bb} + I_g Z_{bg} + I_e Z_{be}$$

$$V_g - V_{g'} = I_a Z_{ga} + I_b Z_{gb} + I_g Z_{gg} + I_e Z_{ge}$$

$$V_e - V_{e'} = I_a Z_{ea} + I_b Z_{eb} + I_g Z_{eg} + I_e Z_{ee}$$

(23)

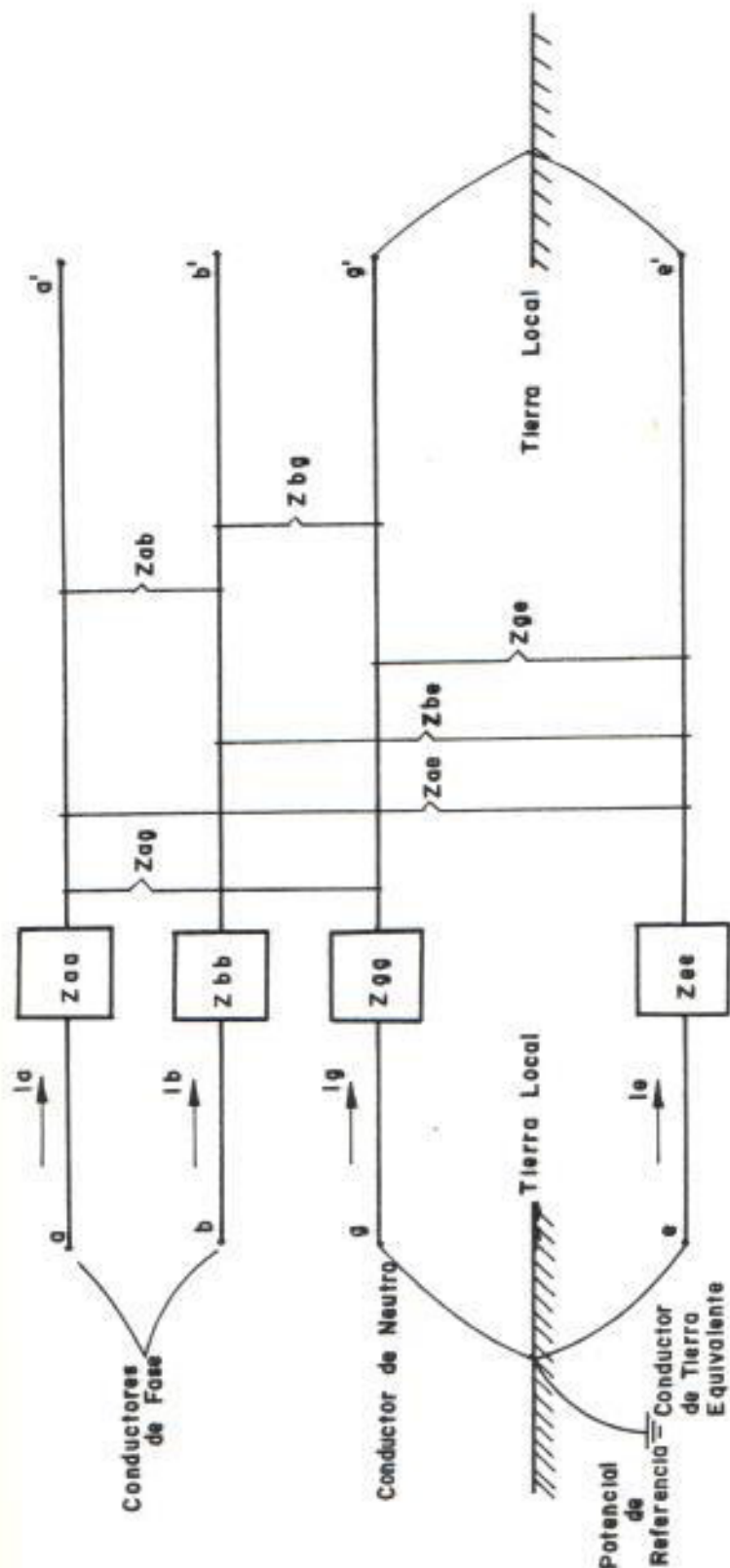


FIGURA N° 2.2. MODELO DE LA LINEA DE DISTRIBUCION DE DOS FASES

Estas ecuaciones pueden ser escritas en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} V_a - V_{a'} \\ V_b - V_{b'} \\ V_g - V_{g'} \\ V_e - V_{e'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ag} & Z_{ae} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bg} & Z_{be} \\ Z_{ga} & Z_{gb} & Z_{gg} & Z_{ge} \\ Z_{ea} & Z_{eb} & Z_{eg} & Z_{ee} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_g \\ I_e \end{bmatrix} \quad (24)$$

Ahora debemos expresar los voltajes de línea V_a , V_b , $V_{a'}$, $V_{b'}$, con referencia a su potencial de tierra local (V_e y $V_{e'}$, respectivamente), como es la forma más práctica de definir los voltajes en los sistemas de distribución.

Los voltajes iniciales V_a y V_b ya están expresados con respecto a su potencial de tierra local, ya que su potencial de tierra está unido directamente al punto de referencia, por lo tanto:

$$\begin{aligned} V_a &= V_a - V_e = V_{ac} \\ V_b &= V_b - V_e = V_{bc} \end{aligned} \quad (25)$$

Los voltajes $V_{a'}$, $V_{b'}$, no están expresados con

respecto a su potencial de tierra local (V_e') sino con respecto al voltaje tomado como referencia, de ahí que debemos obtener los voltajes $V_{a'e'}$ y $V_{b'e'}$ por medio de reducciones matriciales.

Los potenciales de tierra y neutro están relacionados de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} V_g &= V_e = 0 \\ V_{g'} &= V_{e'} \neq 0 \end{aligned} \quad (26)$$

De lo anterior se obtiene que:

$$\begin{bmatrix} V_{ae} - V_{a'} \\ V_{be} - V_{b'} \\ 0 - V_{e'} \\ 0 - V_{e'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ag} & Z_{ae} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bg} & Z_{be} \\ Z_{ga} & Z_{gb} & Z_{gg} & Z_{ge} \\ Z_{ea} & Z_{eb} & Z_{eg} & Z_{ee} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_g \\ I_e \end{bmatrix} \quad (27)$$

También conocemos que:

$$I_a + I_b + I_g + I_e = 0 \quad (28)$$

De donde:

$$I_e = -I_a - I_b - I_g \quad (29)$$

Para reducir el sistema de la ecuación (27) restemos la fila 5 de las filas 1, 2, 3, respectivamente:

Fila 1 - Fila 5:

$$\begin{aligned} V_{ae} - V_{a'e'} + V_{e'} &= I_a Z_{aa} + I_b Z_{ab} + I_g Z_{ag} + I_e Z_{ae} \\ &\quad - I_a Z_{ea} - I_b Z_{eb} - I_g Z_{eg} - I_e Z_{ee} \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} V_{ae} - V_{a'e'} e' &= I_a (Z_{aa} - Z_{ea} - Z_{ae} + Z_{ee}) \\ &\quad + I_b (Z_{ab} - Z_{eb} - Z_{ae} + Z_{ee}) \\ &\quad + I_g (Z_{ag} - Z_{eg} - Z_{ae} + Z_{ee}) \end{aligned} \quad (31)$$

Fila 2 - Fila 5:

$$\begin{aligned} V_{be} - V_{b'e'} + V_{e'} &= I_a Z_{ba} + I_b Z_{bb} + I_g Z_{bg} + I_e Z_{be} \\ &\quad - I_a Z_{ea} - I_b Z_{eb} - I_g Z_{eg} - I_e Z_{ee} \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} V_{be} - V_{b'e'} e' &= I_a (Z_{ba} - Z_{ea} - Z_{be} + Z_{ee}) \\ &\quad + I_b (Z_{bb} - Z_{eb} - Z_{be} + Z_{ee}) \\ &\quad + I_g (Z_{bg} - Z_{eg} - Z_{be} + Z_{ee}) \end{aligned} \quad (33)$$

Fila 3 - Fila 5

$$0 - V_e' + V_e' = I_a Z_{ga} + I_b Z_{gb} + I_g Z_{gg} + I_e Z_{ge} - I_a Z_{ea} - I_b Z_{eb} - I_g Z_{eg} - I_e Z_{ee} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} 0 = & I_a (Z_{ga} - Z_{ea} - Z_{ge} - Z_{ee}) \\ & + I_b (Z_{gb} - Z_{eb} - Z_{ge} + Z_{ee}) \\ & + I_g (Z_{gg} - Z_{eg} - Z_{ge} + Z_{ee}) \end{aligned} \quad (35)$$

De donde obtenemos:

$$\begin{bmatrix} V_{ae} - V_a' e' \\ V_{be} - V_b' e' \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Z_{aa}} & \overline{Z_{ab}} & \overline{Z_{ag}} \\ \overline{Z_{ba}} & \overline{Z_{bb}} & \overline{Z_{bg}} \\ \overline{Z_{ga}} & \overline{Z_{gb}} & \overline{Z_{gg}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_g \end{bmatrix} \quad (36)$$

En donde:

$$\begin{aligned} \overline{Z_{aa}} &= Z_{aa} - Z_{ea} - Z_{ae} + Z_{ee} \\ \overline{Z_{ab}} &= Z_{ab} - Z_{eb} - Z_{ae} + Z_{ee} \\ \overline{Z_{ag}} &= Z_{ag} - Z_{eg} - Z_{ae} + Z_{ee} \\ \overline{Z_{ba}} &= Z_{ba} - Z_{ea} - Z_{be} + Z_{ee} \\ \overline{Z_{bb}} &= Z_{bb} - Z_{eb} - Z_{be} + Z_{ee} \\ \overline{Z_{bg}} &= Z_{bg} - Z_{eg} - Z_{be} + Z_{ee} \\ \overline{Z_{ga}} &= Z_{ga} - Z_{ea} - Z_{ge} + Z_{ee} \\ \overline{Z_{gb}} &= Z_{gb} - Z_{eb} - Z_{ge} + Z_{ee} \\ \overline{Z_{gg}} &= Z_{gg} - Z_{eg} - Z_{ge} + Z_{ee} \end{aligned} \quad (37)$$

Haciendo una reducción matricial y eliminando la tercera fila de la ecuación (36) tenemos:

$$\begin{bmatrix} V_{ae} - V_{a'e'} \\ V_{be} - V_{b'e'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Z_{aa}} & \overline{Z_{ab}} \\ \overline{Z_{ba}} & \overline{Z_{bb}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} \quad (38)$$

en donde:

$$\begin{bmatrix} \overline{Z_{aa}} & \overline{Z_{ab}} \\ \overline{Z_{ba}} & \overline{Z_{bb}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Z_{aa}} & \overline{Z_{ab}} \\ \overline{Z_{ba}} & \overline{Z_{bb}} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \overline{Z_{ag}} \\ \overline{Z_{bg}} \end{bmatrix} \times \left[\frac{1}{\overline{Z_{gg}}} \right] \times \begin{bmatrix} \overline{Z_{ga}} & \overline{Z_{gb}} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \overline{Z_{aa}} - \frac{\overline{Z_{ag}} \times \overline{Z_{ga}}}{\overline{Z_{gg}}} & \overline{Z_{ab}} - \frac{\overline{Z_{ag}} \times \overline{Z_{gb}}}{\overline{Z_{gg}}} \\ \overline{Z_{ba}} - \frac{\overline{Z_{bg}} \times \overline{Z_{ga}}}{\overline{Z_{gg}}} & \overline{Z_{bb}} - \frac{\overline{Z_{bg}} \times \overline{Z_{gb}}}{\overline{Z_{gg}}} \end{bmatrix} \quad (39)$$

La ecuación (38) es más práctica y concisa que la ecuación inicial y expresa la diferencia de potencial entre los extremos de los conductores de fase en términos de las corrientes de los conductores, esta ecuación puede ser expresada en forma simplificada de la siguiente manera:

Inv. No. 201-065

$$y_{ab} = \overline{z_{ab}}^{-1} \cdot I_{ab} \quad (40)$$

De la ecuación (38) podemos obtener una expresión para las corrientes de línea en función de la diferencia de voltajes y de las admitancias propias y mutuas de las líneas:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Y_{aa}} & \overline{Y_{ab}} \\ \overline{Y_{ba}} & \overline{Y_{bb}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_{ae} - V_{a'e'} \\ V_{be} - V_{b'e'} \end{bmatrix} \quad (41)$$

En donde:

$$\begin{bmatrix} \overline{Y_{aa}} & \overline{Y_{ab}} \\ \overline{Y_{ba}} & \overline{Y_{bb}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Z_{aa}} & \overline{Z_{ab}} \\ \overline{Z_{ba}} & \overline{Z_{bb}} \end{bmatrix}^{-1} \quad (42)$$

2.1.3. Líneas de una fase

Una de las líneas más comúnmente usadas en los sistemas de distribución es la línea monofásica, esta línea está formada por el conductor principal, un hilo de neutro normalmente aterrizado en varios puntos y la tierra (los dos últimos elementos constituyen la trayectoria de retorno).

Una representación esquemática de un circuito monofásico es la siguiente:

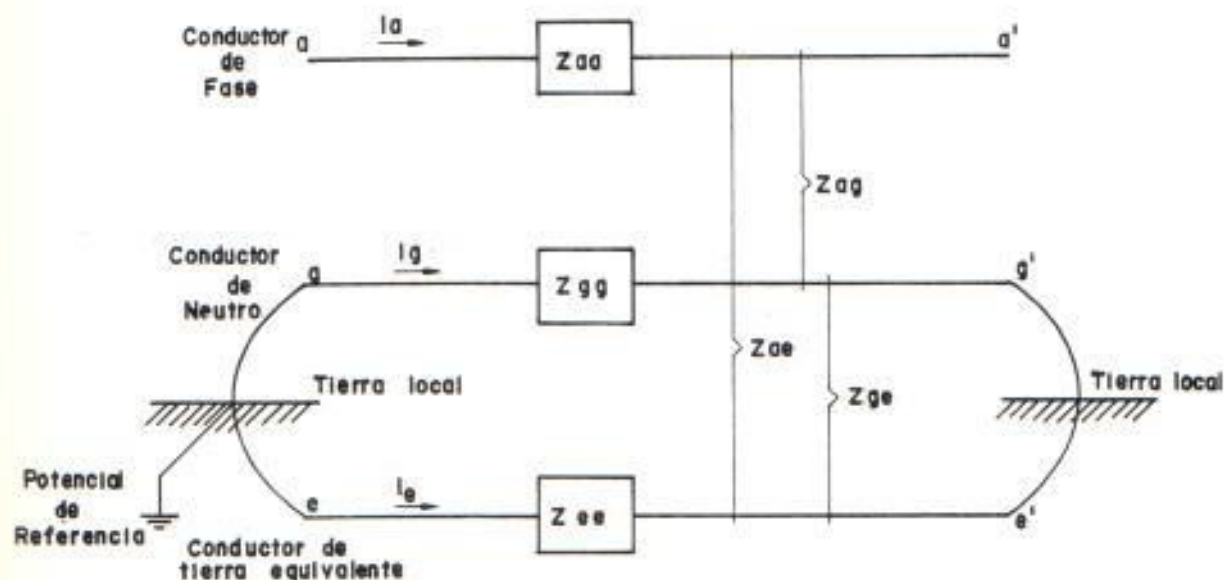


FIGURA N^o 2.3. MODELO DE LA LINEA DE DISTRIBUCION DE UNA FASE

Seis voltajes están considerados en el circuito $V_a, V_{a'}, V_g, V_{g'}, V_e, V_{e'}$, los cuales están todos referidos con respecto al potencial de referencia de la figura.

La caída de voltaje de cada conductor puede ser determinada por las corrientes de los conductores (I_a, I_g, I_e) y por las impedancias propias (Z_{aa}, Z_{gg}, Z_{ee}) y mutuas (Z_{ag}, Z_{ae}, Z_{ge}) de los conductores.

Las ecuaciones que determinan las caídas de voltaje a través de los conductores son:

$$\begin{aligned} V_a - V_a' &= I_a Z_{aa} + I_g Z_{ag} + I_e Z_{ae} \\ V_g - V_g' &= I_a Z_{ga} + I_g Z_{gg} + I_e Z_{ge} \\ V_e - V_e' &= I_a Z_{ea} + I_g Z_{eg} + I_e Z_{ee} \end{aligned} \quad (43)$$

Estas ecuaciones pueden ser escritas más convenientemente en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} V_a - V_a' \\ V_g - V_g' \\ V_e - V_e' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ag} & Z_{ae} \\ Z_{ga} & Z_{gg} & Z_{ge} \\ Z_{ea} & Z_{eg} & Z_{ee} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_g \\ I_e \end{bmatrix} \quad (44)$$

Ahora el objetivo es expresar los voltajes de los extremos de la línea V_a y V_a' con respecto a su potencial de tierra local, como es la forma más práctica de definir los voltajes en un sistema de distribución.

El voltaje en el nodo "a" ya está expresado con respecto a su potencial de tierra local, ya que su potencial de tierra está unido directamente al punto de referencia, por lo tanto:

$$V_a = V_a - V_e = V_{ae} \quad (45)$$

El voltaje V_a' no está expresado con respecto a su potencial de tierra local (V_e'), sino con respecto al voltaje tomado como referencia, de ahí que debemos obtener los voltajes $-V_a'e'$ por medio de reducciones matriciales.

Los potenciales de tierra y neutro están relacionados de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} V_g &= V_e = 0 \\ V_g' &= V_e' \neq 0 \end{aligned} \quad (46)$$

De donde obtenemos:

$$\begin{bmatrix} V_{ae} - V_a' \\ 0 - V_e' \\ 0 - V_e' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ag} & Z_{ae} \\ Z_{ga} & Z_{gg} & Z_{ge} \\ Z_{ea} & Z_{eg} & Z_{ee} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_g \\ I_e \end{bmatrix} \quad (47)$$

También conocemos que:

$$I_a + I_g + I_e = 0 \quad (48)$$

de donde:

$$I_e = -I_a - I_g \quad (49)$$

Para reducir el sistema de la ecuación (47) restemos la fila 5 de las filas 1 y 2:

Fila 1 - Fila 5:

$$\begin{aligned} V_ae - V_a'e' + V_e' &= I_a Z_{aa} + I_g Z_{ag} + I_e Z_{ae} \\ &\quad - I_a Z_{ea} - I_g Z_{eg} - I_e Z_{ee} \end{aligned} \quad (50)$$

$$\begin{aligned} V_ae - V_a'e' &= I_a (Z_{aa} - Z_{ea} - Z_{ae} + Z_{ee}) \\ &\quad + I_g (Z_{ag} - Z_{eg} - Z_{ae} + Z_{ee}) \end{aligned} \quad (51)$$

Fila 2 - fila 5:

$$\begin{aligned} 0 - V_e' + V_e' &= I_a Z_{ga} + I_g Z_{gg} + I_e Z_{ge} \\ &\quad - I_a Z_{ea} - I_g Z_{eg} - I_e Z_{ee} \end{aligned} \quad (52)$$

$$\begin{aligned} 0 &= I_a (Z_{ga} - Z_{ea} - Z_{ge} + Z_{ee}) \\ &\quad + I_g (Z_{gg} - Z_{eg} - Z_{ge} + Z_{ee}) \end{aligned} \quad (53)$$

De donde obtenemos:

$$\begin{bmatrix} V_{ae} - V_{a'e'} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Z_{aa}} & \overline{Z_{ag}} \\ \overline{Z_{ga}} & \overline{Z_{gg}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_e \\ I_g \end{bmatrix} \quad (54)$$

En donde:

$$\begin{aligned} \overline{Z_{aa}} &= Z_{aa} - Z_{ea} - Z_{ae} + Z_{ee} \\ \overline{Z_{ag}} &= Z_{ag} - Z_{eg} - Z_{ae} + Z_{ee} \\ \overline{Z_{ga}} &= Z_{ga} - Z_{ea} - Z_{ge} + Z_{ee} \\ \overline{Z_{gg}} &= Z_{gg} - Z_{eg} - Z_{ge} + Z_{ee} \end{aligned} \quad (55)$$

Haciendo una reducción matricial y eliminando la fila 2 de la ecuación (54) tenemos:

$$V_{ae} - V_{a'e'} = \overline{\overline{Z_{aa}}} \cdot I_a \quad (56)$$

En donde:

$$\overline{\overline{Z_{aa}}} = \overline{Z_{aa}} - \begin{bmatrix} \overline{Z_{ag}} \end{bmatrix} \times \left[\frac{1}{\overline{Z_{gg}}} \right] \times \begin{bmatrix} \overline{Z_{ga}} \end{bmatrix} \quad (57)$$

La ecuación (56) es más práctica y concisa que la ecuación inicial y expresa la diferencia de potencial entre los extremos del conductor en términos de la corriente de línea e impedancias propias y mutuas de los conductores.

De la ecuación (56) podemos obtener una expresión para la corriente de línea en función de la diferencia de voltaje y de las admittancias propias y mutuas de las líneas:

$$I_a = \overline{Y}_a \cdot (V_{ae} - V_a'e') \quad (58)$$

en donde:

$$\overline{Y}_a = \left[\overline{Z}_{aa} \right]^{-1} \quad (59)$$

2.2. MODELOS DE LAS CARGAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION

Las cargas en los sistemas de distribución pueden ser monofásicas o trifásicas, y están compuestas de una parte real, la potencia activa, y de una parte imaginaria, la potencia reactiva. La expresión matemática que nos sirve para representar las cargas es la siguiente:

$$S_{1\phi} = P_{1\phi} + jQ_{1\phi}$$

$$S_{3\phi} = P_{3\phi} + jQ_{3\phi}$$

Los modelos usados para representar las cargas en los sistemas de distribución son los siguientes:

a) Cuando la carga es trifásica se considera que está conectada en estrella (Y):

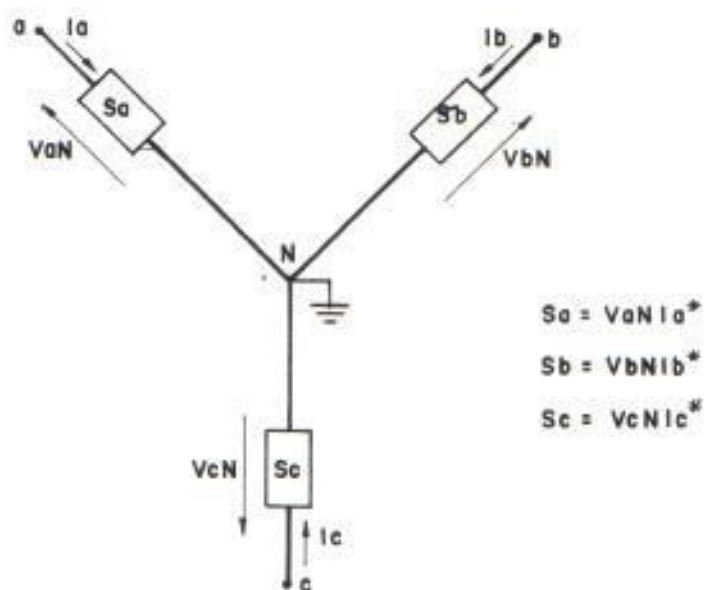


FIGURA N° 2.4.

MODELO DE LA CARGA TRIFASICA

b) Cuando la carga es monofásica se considera conectada entre fase y tierra:

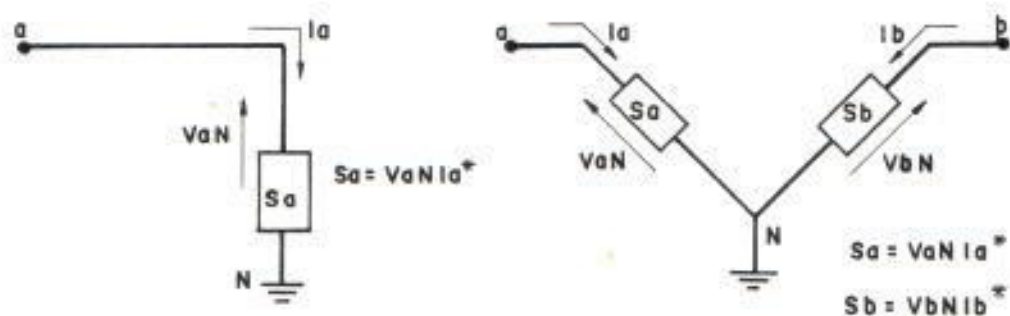


FIGURA N° 2.5

MODELO DE LA CARGA MONOFASICA

2.3. MODELO DE CAPACITORES

Los capacitores son muy usados en las alimentadoras de 13.8 Kv. de los sistemas de distribución para mejorar los niveles de voltaje de las líneas, para disminuir las pérdidas y también para mejorar el factor de potencia del sistema.

Los capacitores pueden ser unidades monofásicas o trifásicas. Las unidades monofásicas son fabricadas normalmente de 50, 100, y 150 Kvar y las unidades trifásicas de 300, 450, 600, 900, 1200 Kvar.

Los capacitores presentan una capacitancia constante que depende únicamente de los materiales usados en su construcción y de las características geométricas del mismo.

La reactancia capacitiva que presenta un condensador también es constante, lo mismo que su admitancia capacitiva las cuales vienen determinadas por las siguientes fórmulas:

$$X = \frac{1}{(W)(C)}$$

$$Y = (W)(C)$$

X: reactancia capacitiva

C: Capacitancia

W: $2 \pi f$

Y: Admitancia capacitiva

Los capacitores son modelados para el análisis de sistemas de potencia como una admitancia paralelo constante: (Ver la figura N° 2.6. en la siguiente página).

Al trabajar en valores en por unidad la admitancia paralelo en por unidad se considera igual a la potencia reactiva también en por unidad; lo cual se demuestra si

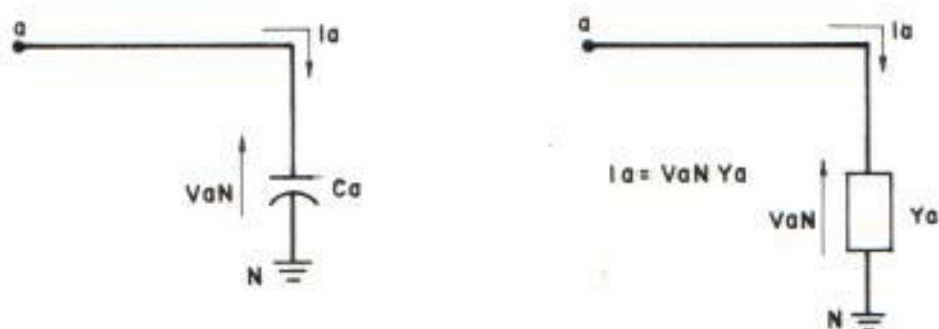


FIGURA Nº 2.6.

MODELO DEL CAPACITOR

consideramos un capacitor de valores nominales V , Q ; don
de:

$$Q = (V^2) Y$$

- V : voltaje nominal
 Q : potencia nominal
 Y : admitancia capacitiva

Expresando la relación anterior en valores en por unid
dad tenemos:

$$Q(\text{p.u.}) = (V(\text{p.u.}))^2 \times Y(\text{p.u.})$$

Si consideramos que el voltaje aplicado al capacitor es 1 p.u. tenemos:

$$Q(\text{p.u.}) = Y(\text{p.u.})$$

La potencia reactiva que es capaz de entregar un capacitor depende del voltaje real que se le aplique, la expresión que representa esta relación es la siguiente:

$$\frac{Q(\text{nominal})}{Q(\text{nueva})} = \frac{V^2(\text{nominal})}{V^2(\text{nuevo})}$$

De la última expresión anotamos que la potencia reactiva que es capaz de suministrar un capacitor es directamente proporcional al cuadrado del voltaje que se aplique a sus terminales.

2.4. MODELO DE REGULADORES DE VOLTAJE

Un regulador de voltaje es esencialmente un autotransformador que consiste de un devanado de excitación primario conectado en paralelo con la carga y un devanado secundario conectado en serie con la carga. En este devanado secundario existen tomas o derivaciones,

las cuales están conectadas a un mecanismo cam
dor de tomas automático que aumenta o disminuye
el voltaje del circuito sin interrumpir la co
rriente de carga.

Los reguladores de voltaje son usados en los sis
temas de distribución rurales especialmente para
controlar las variaciones de voltaje en las sal
das de las subestaciones y para corregir la excesi
va caída de voltaje en las alimentadoras de dis
tribución.

Los reguladores de voltaje que encontramos en los
sistemas de distribución son monofásicos y pueden
entregar en la barra de salida del regulador un
voltaje 10 % mayor o un voltaje 10 % menor que el vol
taje de la barra de entrada del regulador.

Esta variación del + 10 % no se la hace de manera con
tinua sino que se la hace por medio de 32 pasos dis
cretos; 16 pasos para elevar el voltaje y 16 pa
ra disminuirlo lo que determina que cada paso de
regulación corresponda a $5/8 \%$.

Estos reguladores tienen el compensador de caída de voltaje en la línea que permite simular la impedancia de la línea pudiendo por lo tanto el regulador controlar el voltaje en un punto distante a él.

El regulador de voltaje monofásico va a ser modelado por su impedancia en serie con un autotransformador ideal:

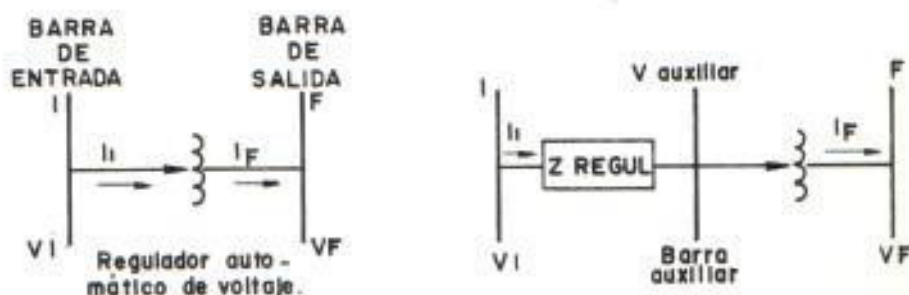


FIGURA Nº 2.7.

MODELO DE UN REGULADOR DE VOLTAJE

La impedancia del regulador es muy pequeña y normalmente se considera despreciable. El autotransforma-

donde ideal puede cambiar sus tismas automáticamente en 32 pasos, 16 para aumentar el voltaje de salida en un 10 % y 16 para disminuirlo en un 10 %.

Para formar un banco trifásico de reguladores de voltaje se colocan tres reguladores de voltaje monofásicos, uno en cada fase, siendo la operación de cada unidad independiente de las otras.

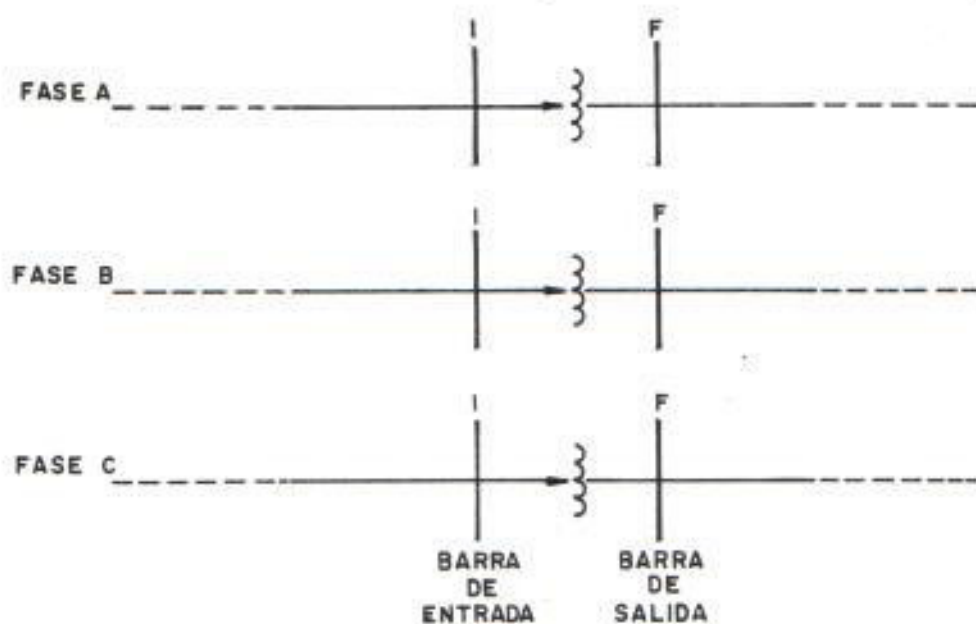


FIGURA Nº 2.8.

MODELO DE UN BANCO TRIFASICO DE REGULADORES DE VOLTAJE

C A P I T U L O I I I

APLICACION DEL METODO DE LA ESCALERA PARA SOLUCION DEL PROBLEMA DEL FLUJO DE CARGA EN UNA ALIMENTADORA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

3.1. GENERALIDADES

En este capítulo explicaremos el método de la escalera aplicándolo primero a circuitos monofásicos lineales simples, luego a circuitos monofásicos no lineales, circuitos monofásicos no lineales con laterales, y por último a circuitos radiales trifásicos.

3.2. SOLUCION DE CIRCUITOS MONOFASICOS LINEALES SIMPLES APLICANDO LA TECNICA DE LA ESCALERA

Los circuitos monofásicos lineales simples son uno de los más comunes de encontrar en el análisis de circuitos. Un ejemplo de estos circuitos se grafica en la figura N° 3.1., cabe anotar que las impedancias se

ries no son necesariamente iguales entre sí, tampoco las admitancias paralelo.

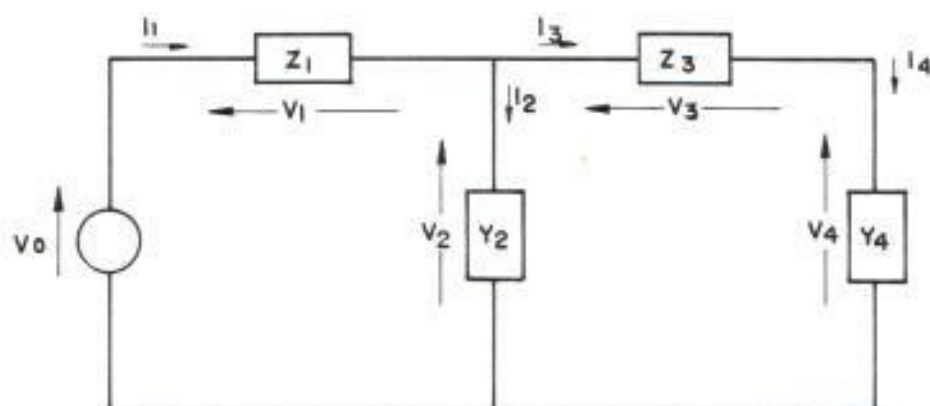


FIGURA N° 3.1.

CIRCUITO MONOFASICO LINEAL SIMPLE

Para analizar este circuito se parte de un voltaje -⁻ asumido V_4 , con este voltaje se comienza a calcular los demás parámetros del circuito; así la corriente I_4 es igual a:

$$I_4 = Y_4 \cdot V_4$$

Con I_4 conocida entonces la caída de voltaje en Z_3 se puede calcular:

$$V_3 = I_3 \cdot Z_3$$

y luego se calcula el voltaje V_2

$$V_2 = V_4 + I_3 \cdot Z_3$$

Luego la corriente I_2 se determina:

$$I_2 = Y_2 \cdot V_2$$

Al sumar la corriente I_2 con I_3 obtenemos la corriente I_1 y así se repite el proceso hasta obtener el voltaje de la fuente V_0 :

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$V_1 = I_1 \cdot Z_1$$

$$V_0 = V_1 + V_2$$

Es importante hacer notar que las ecuaciones desarrolladas son todas lineales, este tipo de ecuaciones resulta al describir sistemas con impedancias serie y admitancias paralelo constante.

Debido a que las ecuaciones son lineales el cálculo de soluciones adicionales basadas en valores diferentes solamente requieren que se aplique un factor de ajuste a cada voltaje o corriente previamente calculados.

3.3. SOLUCION DE CIRCUITOS MONOFASICOS NO LINEALES APLICANDO LA TECNICA DE LA ESCALERA

El circuito de la figura N° 3.2., es similar al de la figura N° 3.1. (circuito escalera simple) excepto por que las admitancias de cargas constantes han sido reemplazadas por cargas representadas por una potencia compleja constante:

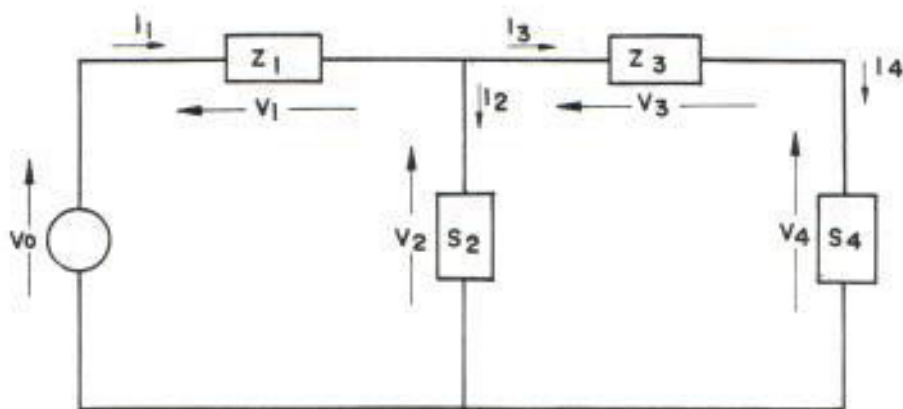


FIGURA N° 3.2.
CIRCUITO MONOFASICO NO LINEAL .

El análisis de este circuito comienza con un voltaje asumido V_4 , con este voltaje es posible calcular la corriente en la carga final S_4 :

$$I_4 = (S_4/V_4)^*$$

Luego continuamos con el proceso de solución:

$$I_3 = I_4$$

$$V_3 = I_3 \cdot Z_3$$

$$V_2 = V_3 + V_4$$

$$I_2 = (S_2/V_2)^*$$

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$V_1 = I_1 \cdot Z_1$$

$$V_0 = V_1 + V_2$$

Notar que estas ecuaciones son iguales a las ecuaciones anteriores excepto en el cálculo de la corriente de carga.

Cuando las cargas son modeladas como potencia compleja constante, como se representa en la mayoría de los casos, de análisis de flujo de carga, los sistemas de ecuaciones se convierten en no lineales.

Entonces el ajuste de las soluciones se convierte en un proceso iterativo ya que no se puede aplicar un factor de corrección como para el caso de los circuitos lineales.

Al resolver problemas de flujo de carga radiales muy raras veces el voltaje de recepción es conocido, generalmente el único voltaje del sistema conocido es el de envío; y en el proceso iterativo de solución se asume implícitamente que el voltaje de envío es siempre conocido.

La primera iteración empieza estimando el voltaje de recepción final, luego es posible ir hacia atrás calculando los parámetros del circuito hasta llegar al terminal de envío.

Una vez calculado el voltaje del terminal de envío se compara con el valor real ya conocido, por medio de la siguiente relación:

$$E = V_o \text{ (especificado)} - V_o \text{ (calculado)}$$

Donde:

E es el error existente y puede ser interpretado como el error producido por la asunción del voltaje en el terminal de recepción.

Luego ajustamos el valor del voltaje de recepción -

asumido inicialmente, por medio de la siguiente relación:

$$V_{\text{recepción}}(\text{nuevo}) = V_{\text{recepción}}(\text{anterior}) + E$$

Con esta nueva estimación del voltaje final de recepción el circuito puede ser resuelto de nuevo siguiendo el mismo proceso usado anteriormente, y se obtendrán nuevos valores de voltaje y corriente, se calculará el error E existente y se ajustará el voltaje final de recepción nuevamente.

El proceso se repetirá hasta que el error sea menor que un valor de tolerancia prefijada.

Generalmente se necesitan de cuatro a seis iteraciones para obtener una solución con una tolerancia de 1×10^{-6} .

3.4. SOLUCION DE CIRCUITOS MONOFASICOS NO LINEALES CON RAMIFICACIONES LATERALES APLICANDO LA TECNICA DE LA ESCALERA

La técnica de la escalera es útil para resolver este tipo de circuitos a pesar de la presencia de los ramales laterales que complican un poco la solución.

Consideremos el circuito de la figura N° 3.3.

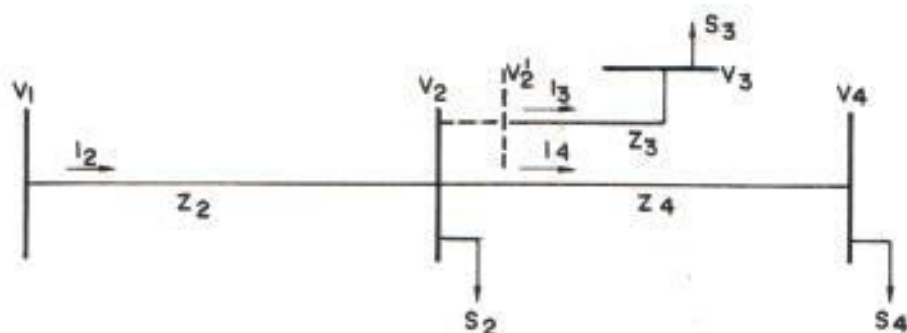


FIGURA N° 3.3.

CIRCUITO MONOFASICO NO LINEAL CON RAMIFICACIONES

La solución de este circuito empieza estimando el voltaje final de recepción, sin embargo en este ejemplo hay dos barras finales pudiéndose escoger cualquiera de las dos para iniciar el proceso iterativo.

Si la barra 4 es escogida, los cálculos empezarán asumiendo el voltaje V_4 y calculando la corriente I_4 :

$$I_4 = (S_4/V_4)^*$$

$$V_2 = V_4 + I_4 \cdot Z_4$$

Aquí nos topamos con una barra que es el arranque - de un ramal lateral, luego antes de calcular I_2 debemos calcular I_3 , ya que:

$$I_2 = I_3 + I_4 + (S_2/V_2)^*$$

Pero I_3 no puede ser calculada si V_3 no es asumido, ya que:

$$I_3 = (S_3/V_3)^*$$

Entonces debemos empezar asumiendo V_3 y luego calculando I_3 , y luego calculando V_2' :

$$V_2' = V_3 + I_3 \cdot Z_3$$

V_2' debe de ser igual a V_2 calculando anteriormente. Si no es así debe calcularse un error E entre V_2 y V_2' y ajustar luego V_3 :

$$E = V_2 - V_2'$$

$$V_3 \text{ (nuevo)} = V_3 \text{ (anterior)} + E$$

Cuando el error haya sido reducido y sea menor que la tolerancia establecida, el proceso puede continuar e

I_2 puede ser calculada.

Luego:

$$V_1 = V_2 + I_2 \cdot Z_2$$

Si este valor de V_1 no es igual al voltaje inicial especificado, una nueva solución debe ser calculada ajustando el voltaje final de recepción V_4 .

Para ajustarlo se debe calcular el error entre el voltaje calculado inicial y el voltaje inicial especificado y luego sumar este error al voltaje final de recepción asumido inicialmente:

$$E = V_1(\text{especificado}) - V_1(\text{calculado})$$

$$V_4(\text{nuevo}) = V_4(\text{anterior}) + E$$

Con este nuevo valor de V_4 el proceso se repite de nuevo iterativamente hasta que el error E sea menor que la tolerancia fijada.

Vemos que la inclusión de laterales nos conduce a la necesidad de realizar iteraciones parciales dentro de una iteración total.

Los sistemas radiales de distribución contienen muchos ramales laterales que requieren muchas iteraciones parciales.

Como un ejemplo de múltiples laterales tenemos:

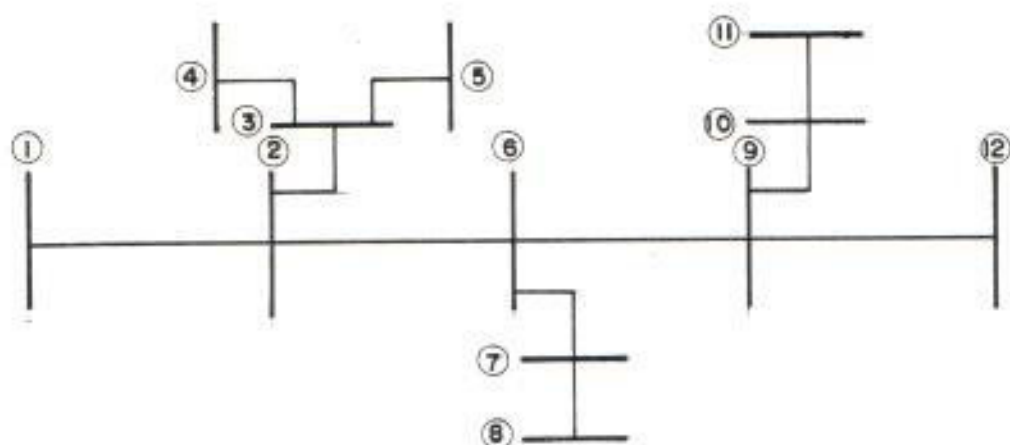


FIGURA N° 3.4.

EJEMPLO DE UN SISTEMA RADIAL CON MULTIPLES RAMALES LATERALES

3.5. SOLUCION DE SISTEMAS RADIALES TRIFASICOS APLICANDO LA TECNICA DE LA ESCALERA

La extensión de la teoría de la escalera usada para -

circuítos monofásicos hacia circuítos trifásicos requiere el uso de los modelos trifásicos de los elementos que se analizaron en el Capítulo II.

Para la solución de sistemas trifásicos se procede igual que para los casos monofásicos con la diferencia de la forma de las ecuaciones usadas.

Además de usar algebra compleja se necesita el uso de algebra matricial.

Considerese el siguiente ejemplo:

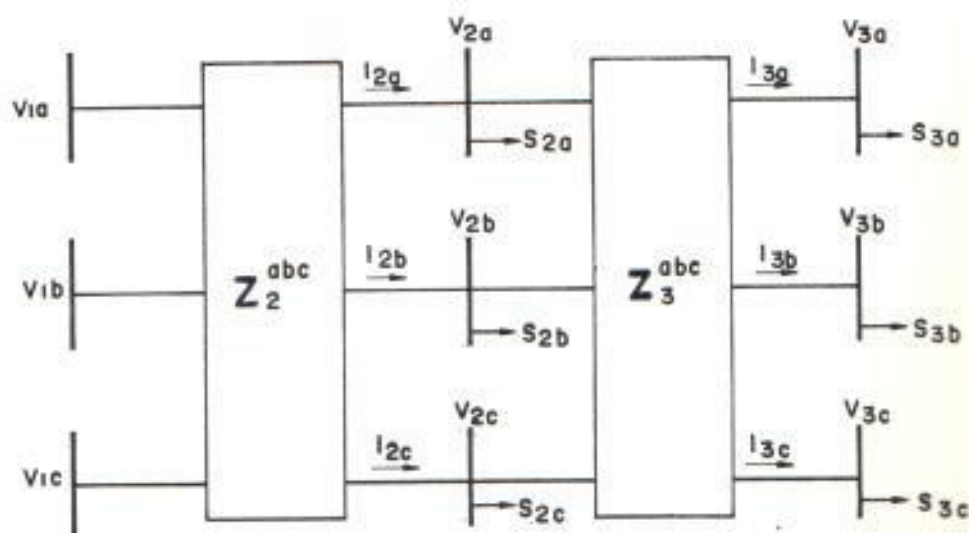


FIGURA N° 3.5.

CIRCUITO TRIFASICO RADIAL .

Para iniciar se asumen los voltajes en el terminal - final de recepción V_3 :

$$V_3^{abc} = \begin{bmatrix} V_{3a} \\ V_{3b} \\ V_{3c} \end{bmatrix}$$

Luego la corriente I_3 debe ser calculada:

$$I_3^{abc} = (S_3^{abc}/V_3^{abc})^*$$

Con esta corriente el voltaje V_2 puede ser calculado:

$$V_2^{abc} = V_3^{abc} + Z_3^{abc} \cdot I_3^{abc}$$

La corriente I_2^{abc} se calcula sumando el vector I_3^{abc} más la corriente de la carga S_2^{abc} :

$$I_2^{abc} = I_3^{abc} + (S_2^{abc}/V_2^{abc})^*$$

Finalmente el voltaje inicial se calcula:

$$V_1^{abc} = V_2^{abc} + Z_2^{abc} \cdot I_2^{abc}$$

En la barra inicial es necesario chequear el error en las tres fases, si el error es mayor que la to

tolerancia se debe corregir el voltaje final:

$$E^a = V1^a(\text{especificado}) - V1^a(\text{calculado})$$

$$E^b = V1^b(\text{especificado}) - V1^b(\text{calculado})$$

$$E^c = V1^c(\text{especificado}) - V1^c(\text{calculado})$$

o en notación matricial:

$$E^{abc} = V1^{abc}(\text{especificado}) - V1^{abc}(\text{calculado})$$

La corrección de voltaje se hace de la siguiente manera:

$$V3^a(\text{nuevo}) = V3^a(\text{anterior}) + E^a$$

$$V3^b(\text{nuevo}) = V3^b(\text{anterior}) + E^b$$

$$V3^c(\text{nuevo}) = V3^c(\text{anterior}) + E^c$$

Expresándolo en notación matricial:

$$V3^{abc}(\text{nuevo}) = V3^{abc}(\text{anterior}) + E^{abc}$$

Con el voltaje final corregido una nueva iteración puede ser llevada a cabo. El proceso iterativo continúa hasta que el error de voltaje sea menor que la tolerancia para las tres fases.

Los pasos en el análisis de circuitos trifásicos son idénticos a los usados en la solución de los sistemas monofásicos.

Cuando nos encontramos con ramales laterales, pudiendo ser estos monofásicos o trifásicos, la técnica de solución es igual a la de los circuitos monofásicos.

Para resolver sistemas reales de distribución trifásicos con muchas barras y muchos ramales laterales se hace necesario diseñar un programa de computadora para obtener soluciones rápidas y precisas.

C A P I T U L O I V

ELABORACION DE UN PROGRAMA EN LENGUAJE FORTRAN IV PARA RESOLVER EL FLUJO DE CARGA EN UNA ALIMENTADORA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION POR EL METODO DE LA ESCALERA.

4.1. GENERALIDADES

En este capítulo se desarrollará un programa de flujo de carga trifásico para alimentadoras radiales de un sistema de distribución usando el método de escalera.

Las características principales del programa se detallan a continuación:

- a. Número máximo de barras: 50
- b. Número de líneas: 50.

Las impedancias de las líneas se especifican en valores por unidad.

- c. Capacitores: el programa acepta un banco de capacitores en cada barra de la alimentadora. La capacidad de los capacitores se especifica por cada fase en MVAR.

- d. Reguladores de voltaje: El programa acepta un regulador de voltaje colocado en el inicio de la alimentadora o en un punto intermedio de ella. Los reguladores se asumen son del tipo de 32 pasos - con $\pm 10\%$ de regulación; el ancho del regulador debe ser especificado en valores en por unidad.
- e. Cargas: El programa acepta cargas en todas las barras de la alimentadora. Las unidades son MW y MVAR.
- f. Opciones: Existen tres alternativas bajo las cuales se puede correr el programa. Opciones:
- Opción 1: no existe regulador de voltaje.
- Opción 2: el regulador de voltaje está colocado en un punto intermedio de la alimentadora.
- Opción 3: el regulador de voltaje está colocado en un punto al inicio de la alimentadora.
- g. Voltajes: Se deben especificar los voltajes iniciales - asumidos en todas las barras, el voltaje conocido en la barra inicial, el voltaje desado en la barra regulada (opciones 2 y 3).

4.2. ENTRADA DE DATOS

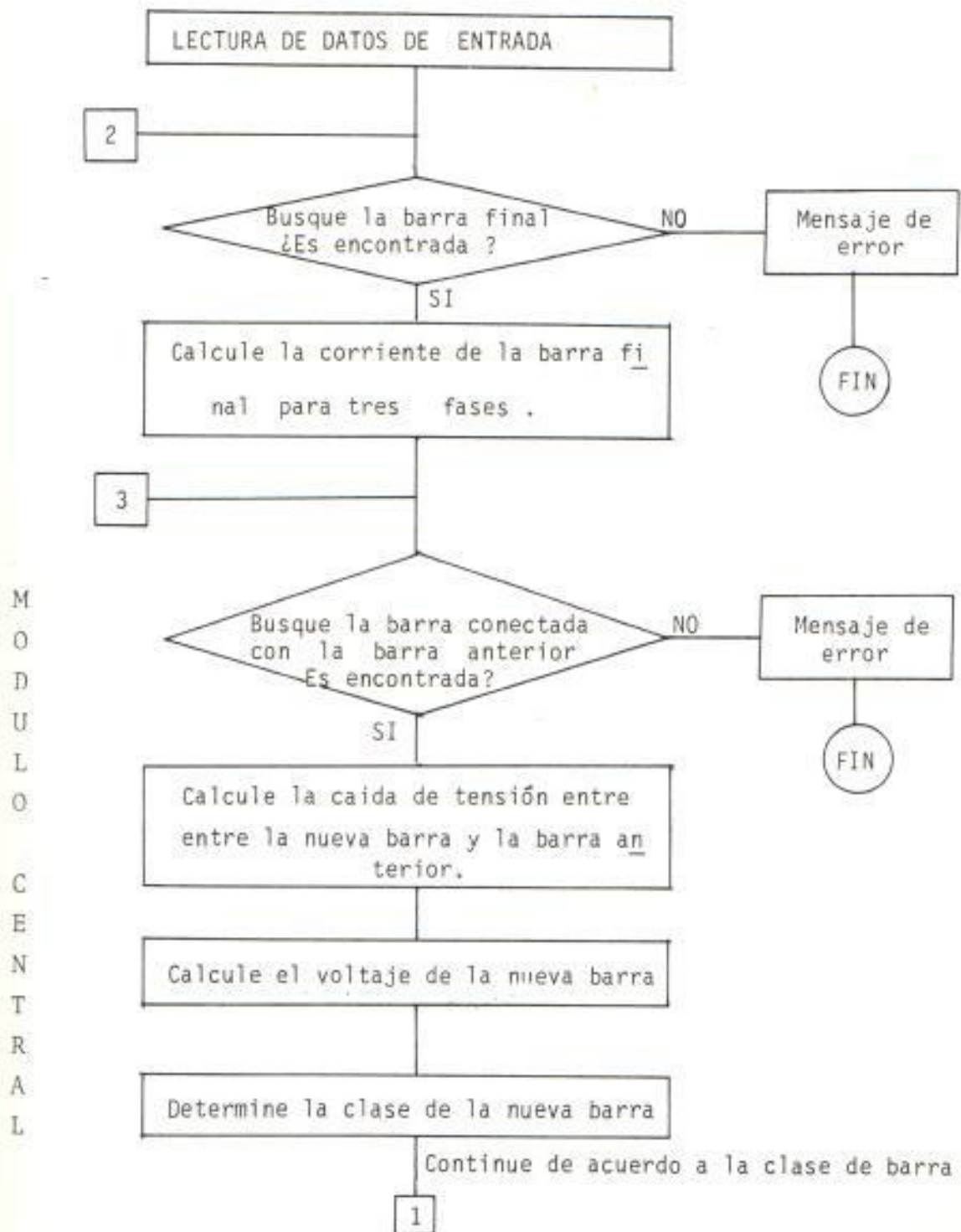
En la entrada de datos se debe ingresar al computador los comentarios, datos generales, datos de barra, datos de líneas, información sobre el nivel de voltaje de la barra inicial, y nivel de voltaje de la barra regulada (opciones 2 y 3).

Las características y los formatos de los datos de entrada se detallan en el Manual del Usuario en el Apéndice A.

4.3. PROCESO ITERATIVO

El proceso iterativo comienza con el cálculo de la corriente de la última barra, para lo cual primero debe encontrarse cual es la barra final, luego de lo cual se calcula la corriente de esta barra y se almacena su número para posteriores modificaciones. Luego el programa busca la barra que está conectada con la barra final, y calcula la caída de tensión entre la barra final y la nueva barra y luego calcula el voltaje de la nueva barra, esta última parte forma un módulo que se repetirá muchas veces en el proceso iterativo y que lo denominaremos módulo central. El

diagrama de flujo de la primera parte y del módulo central se grafica a continuación:



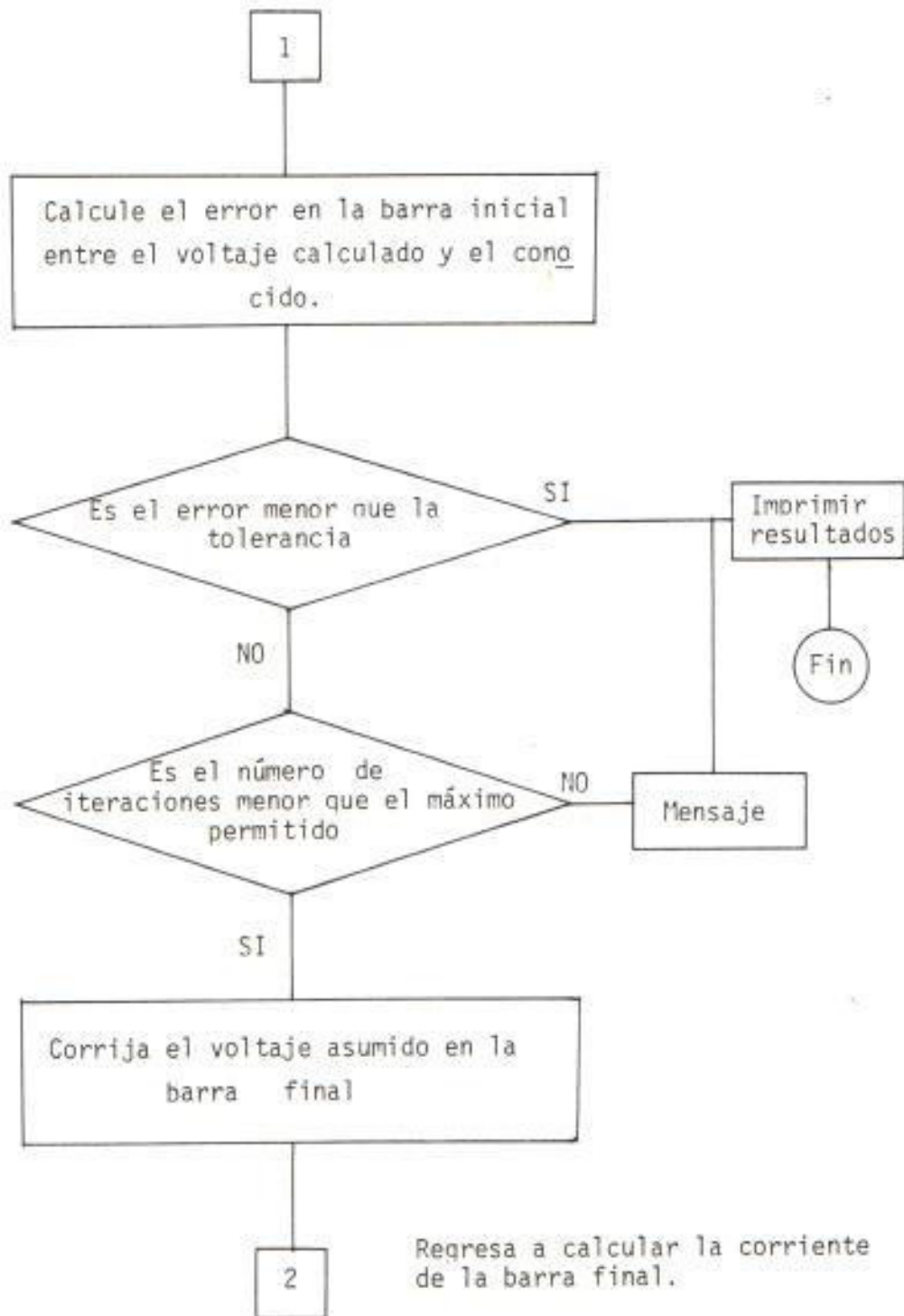
Ahora el programa tiene el voltaje de la nueva barra y pregunta cuál es la clase de la nueva barra; de acuerdo a esto se pueden presentar cinco casos que se analizarán a continuación:

- a. Cuando la nueva barra es la barra inicial,
- b. Cuando la nueva barra es una barra pasante,
- c. Cuando la nueva barra es una barra con ramificaciones laterales,
- d. Cuando la nueva barra es una barra regulada,
- e. Cuando la nueva barra es la barra final de un regulador.

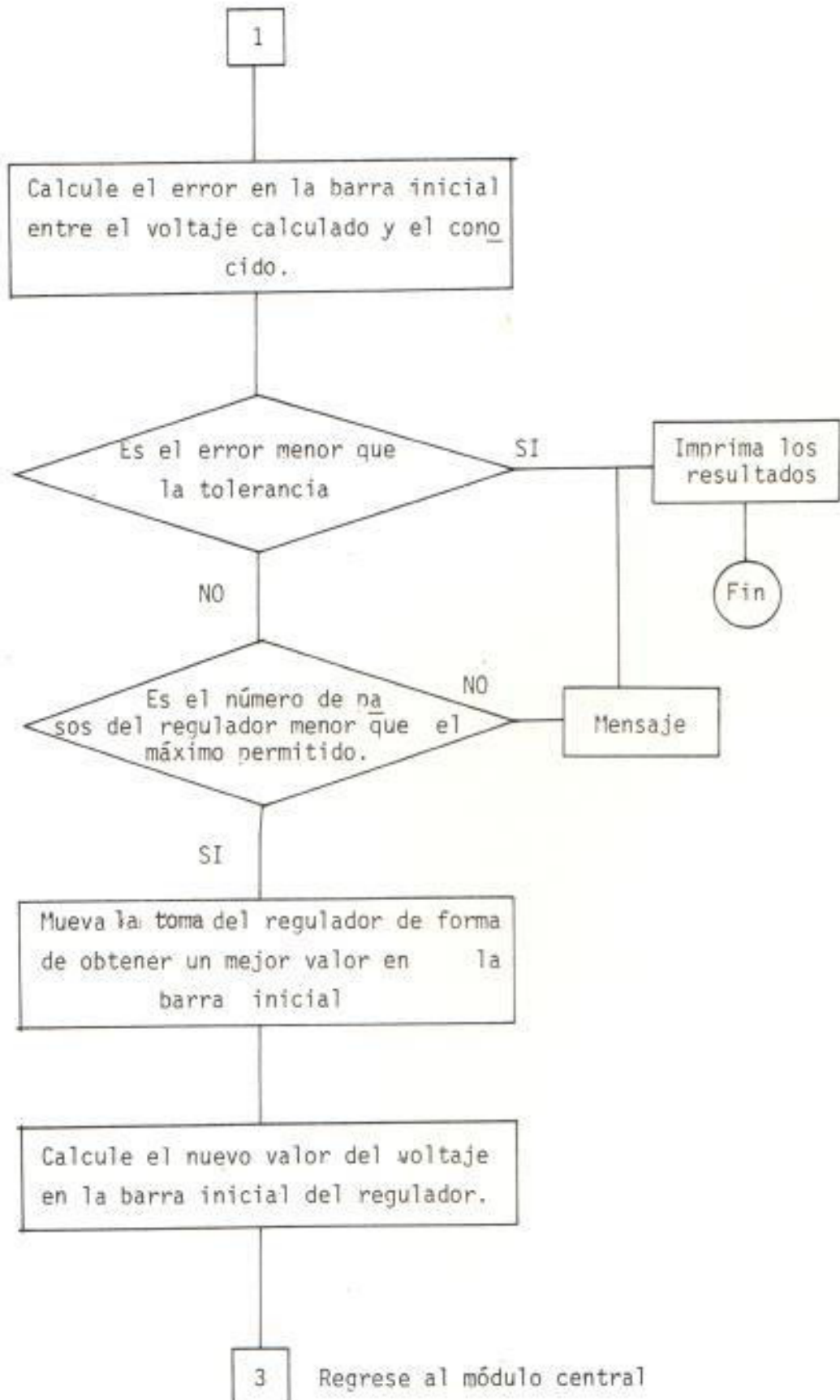
- a. Cuando la nueva barra es la barra inicial se presentan dos posibilidades: si la opción escogida es la número 1 o si la opción escogida es la número 3.

Si la opción escogida es la número 1 (ningún regulador de voltaje), el programa calcula el error que existe entre el voltaje calculado en el proceso iterativo y el voltaje inicial conocido para cada fase, luego compara este error con la tolerancia, si es menor que la tolerancia entonces el proceso continua con la siguiente fase, y si para todas las fases se cumple que el error es menor que la tolerancia

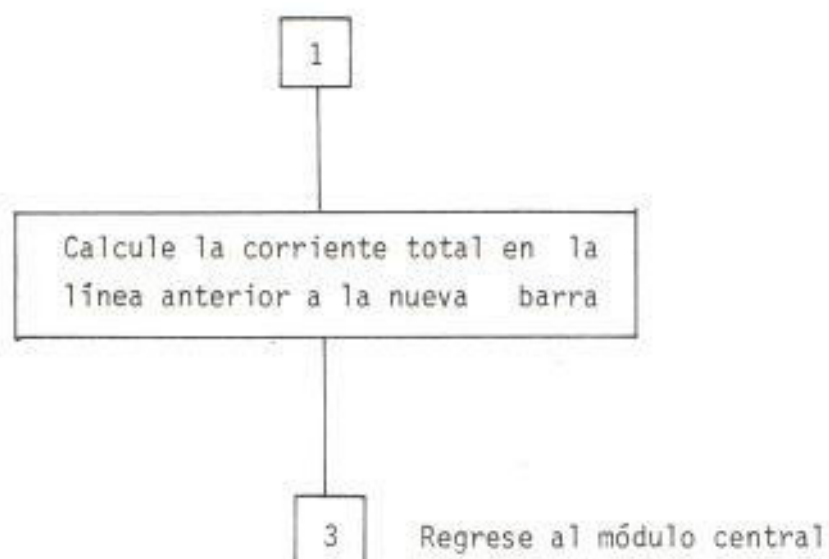
tonces el proceso está terminado y se continua con la impresión de los resultados. Por el contrario si para una de las fases se encuentra que el error es mayor - que la tolerancia entonces se pregunta si el número de iteraciones realizadas es menor que el máximo número establecido, si no es así entonces se escribe un mensaje indicándolo y luego se imprimen los resultados, por otro lado si el número de iteraciones si es menor que el máximo permitido entonces se corrige el voltaje de la barra final en una cantidad igual al error existente y se regresa a la primera parte del programa a calcular de nuevo la corriente en la barra final. El diagrama de flujo de este caso se presenta a continuación:



Si la opción escogida es la número 3: el programa calcula el error entre el voltaje inicial calculado - en el proceso iterativo y el voltaje inicial conocido para cada fase, si el error es menor que la tolerancia para todas las fases entonces el proceso se termina y se pasa a la impresión de los resultados, pero si para una de las fases se cumple que el error es mayor que la tolerancia entonces debemos mover la toma del regulador de voltaje de forma que al variarla se consiga un mejor voltaje en la barra inicial del regulador y se continua con el proceso iterativo del módulo central, hasta llegar de nuevo a la barra inicial y se vuelva a comparar con el voltaje inicial conocido. Se debe también chequear que no se pase el número máximo de pasos del regulador (16 pasos para aumentar y 16 para disminuir). Una vez que se consigue que el error sea menor que la tolerancia se pasa a la impresión de resultados. El diagrama de flujo de este caso se presenta a continuación:

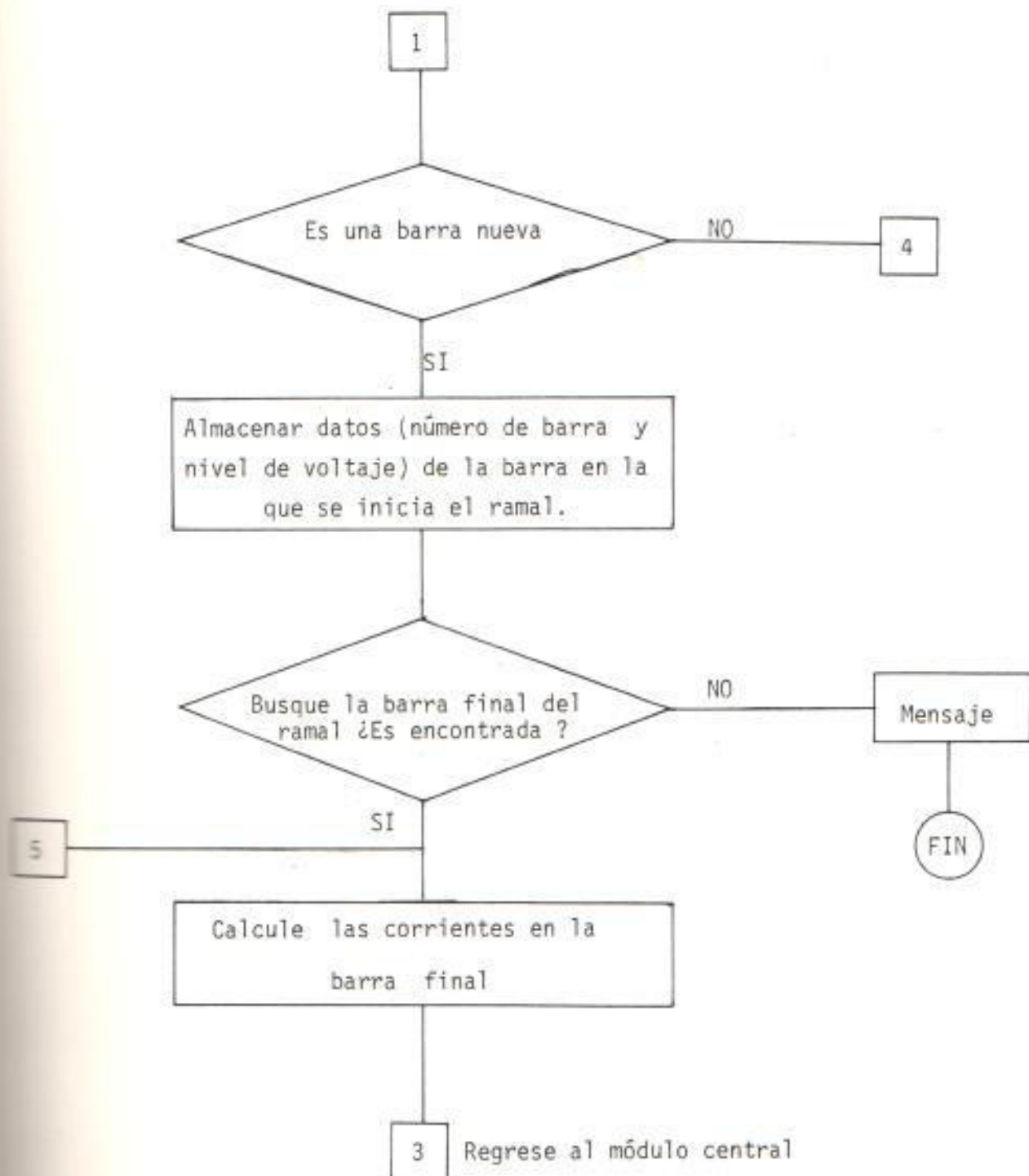


- b. Cuando la nueva barra es una barra pasante: en este caso se calcula la corriente de la carga de la barra y se la suma a la corriente de línea existente y luego se regresa al módulo central a preguntar con que barra está conectada, el diagrama de flujo de esta parte se presenta a continuación:



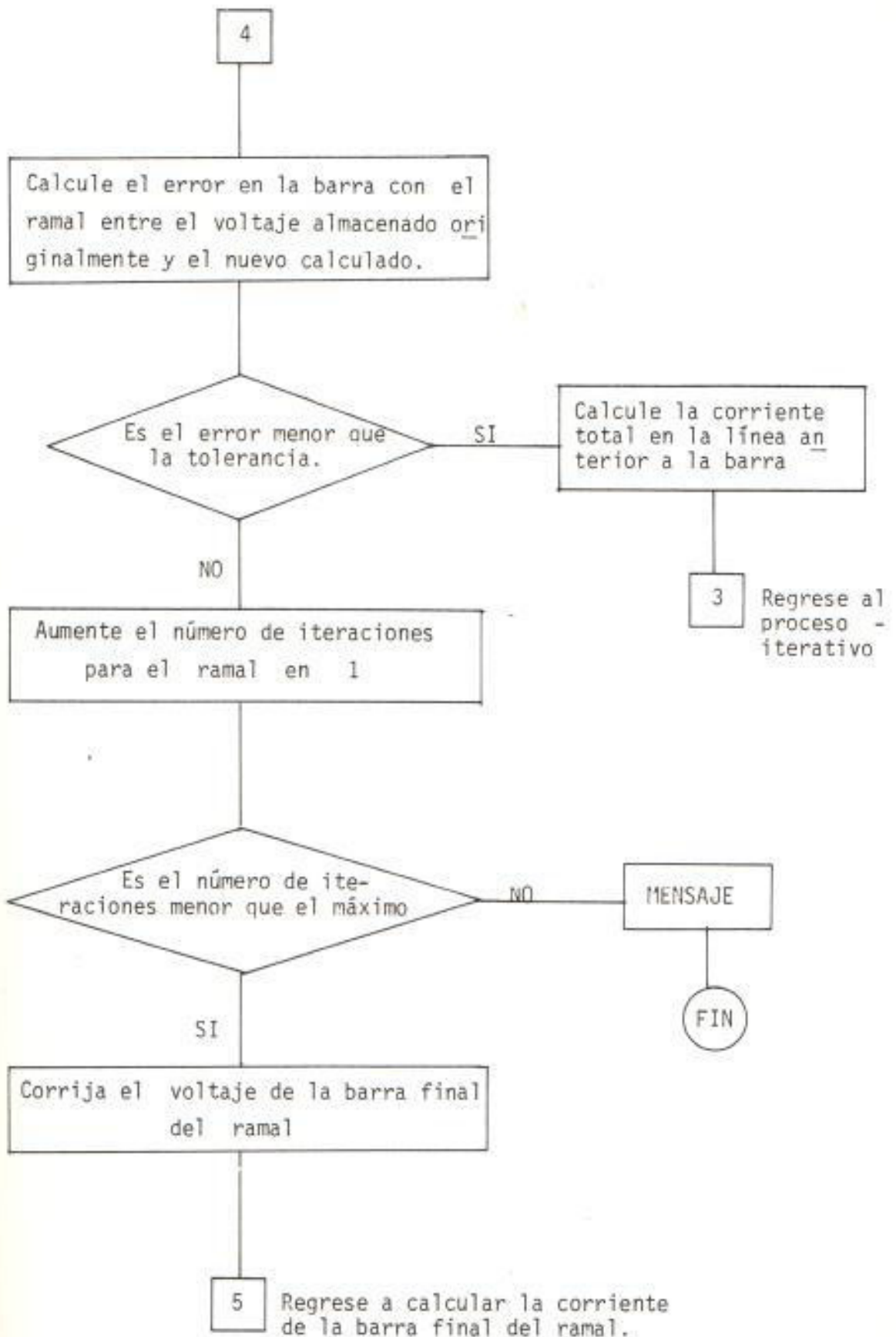
c. Cuando la nueva barra es una barra con ramificación lateral: se presentan dos casos si esta barra ya se ha encontrado en el proceso iterativo se pasa a 4 y si es la primera vez que se encuentra empezamos guardando el valor de voltaje de esta barra para posteriores comparaciones, para luego buscar la barra final de esta ramificación.

Una vez encontrada procedemos a calcular la corriente de esta barra por fase a partir de un voltaje final asumido en los datos de entrada, luego pasamos al módulo central del proceso iterativo para empezar a buscar la nueva barra con la cual está unida la barra final.



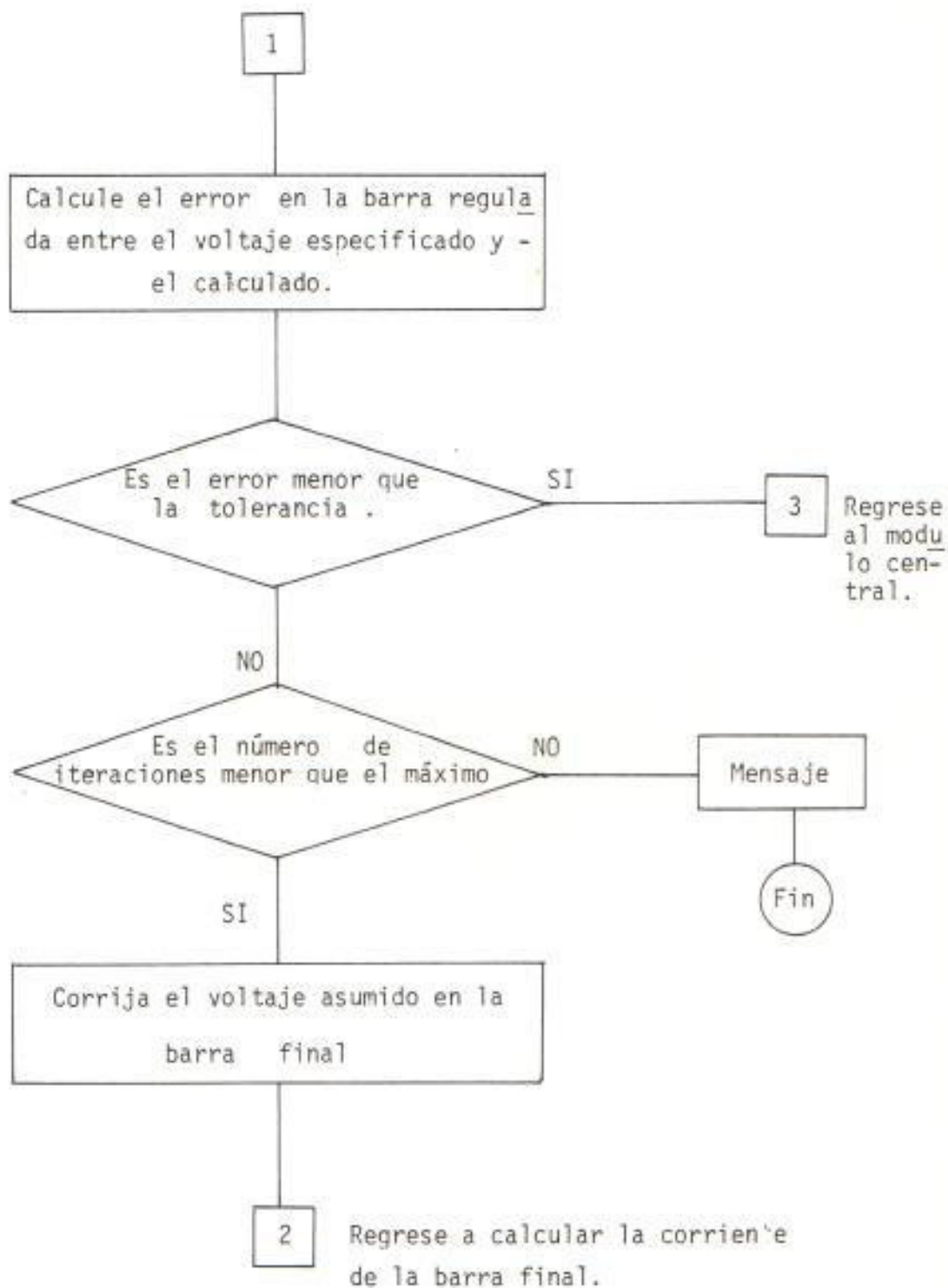
Este cálculo iterativo central se realiza hasta que se encuentra de nuevo la barra inicial de la cual arranca la ramificación lateral. En ese momento se calcula el error entre el voltaje que se había guardado inicialmente y el calculado; si este error es menor que la tolerancia para todas las fases entonces se calcula la corriente total de la barra y se la suma a la corriente total del ramal más la corriente que se tenía en la línea anterior a la barra, con esta corriente total se vuelve al módulo central del proceso iterativo.

Por otro lado si el error es mayor que la tolerancia en una de las fases y si el número de iteraciones máximo nos lo permite debemos corregir el voltaje de la barra final del ramal asumido inicialmente en un valor igual al error y regresar a calcular la corriente en esta barra final del ramal y luego continuar con el proceso iterativo hasta encontrar de nuevo la barra inicial del ramal lateral.



d. Cuando la barra es una barra regulada: si el programa encuentra una barra regulada entonces calcula el error entre el voltaje especificado para esta barra y el voltaje calculado en el proceso iterativo para cada fase, luego compara el error con la tolerancia, para este caso la tolerancia se hace igual al ancho de banda del regulador ya que el regulador en realidad opera solo cuando el voltaje real de la barra regulada difiere del voltaje de regulación en una cantidad mayor que el ancho de banda.

Si el error es menor que la tolerancia se continúa con el proceso iterativo en el módulo central; y si el error es mayor entonces se corrige el voltaje de la barra final en una cantidad igual al error y se vuelve a calcular la corriente de la barra final y se continúa de nuevo con el proceso iterativo.



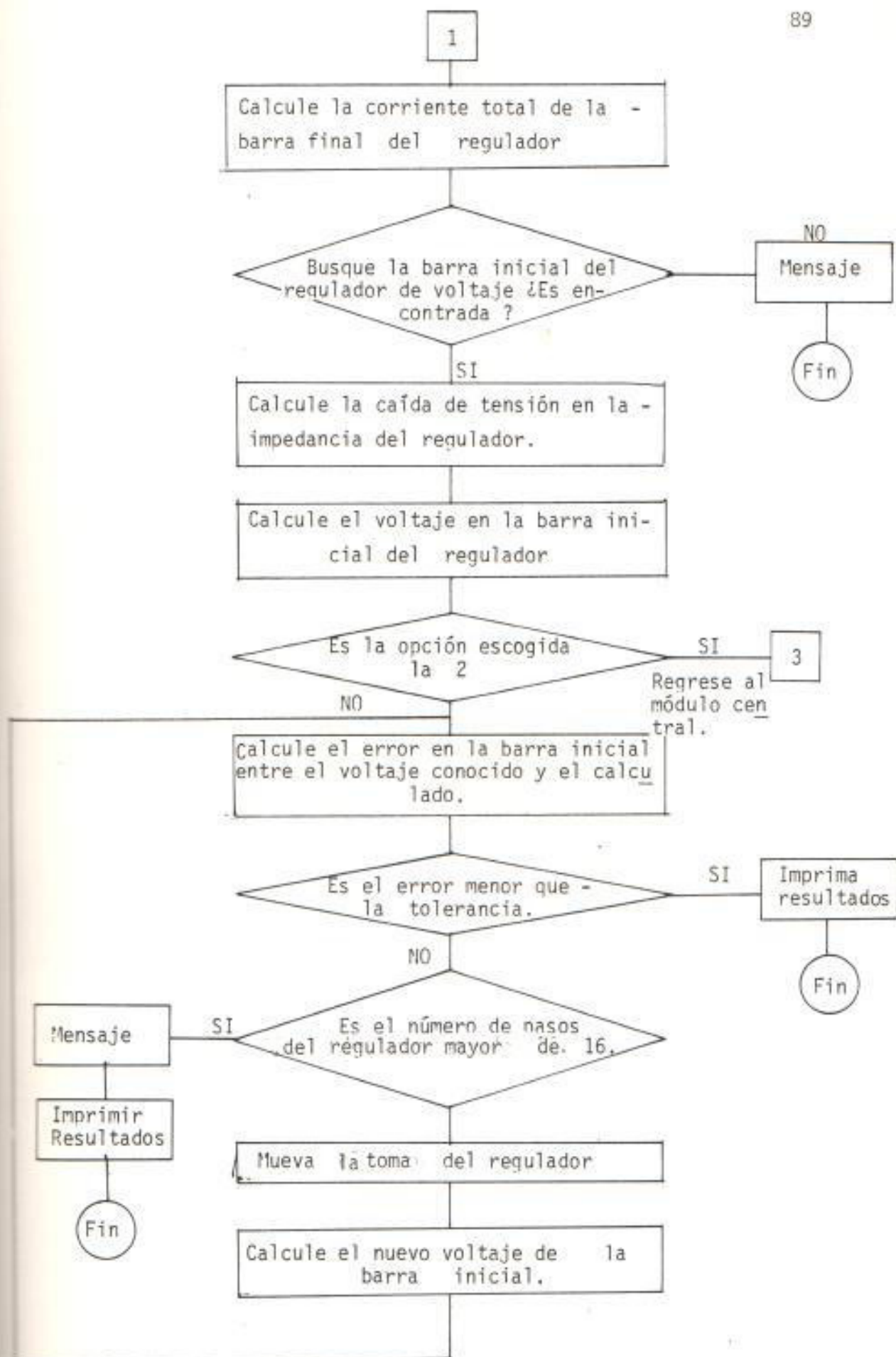
e. Cuando la nueva barra es una barra final de un regulador se empieza calculando la corriente de carga de esta barra por cada fase, luego se calcula la caída de tensión que hay en la impedancia del regulador, normalmente se considera despreciable, y por último se asume que el valor inicial del tap es 1.00, por lo tanto el voltaje de la barra inicial del regulador es el de la barra final menos la caída de voltaje en la impedancia del regulador. Luego pueden presentarse dos posibilidades: que la opción escogida sea la 2 o la 3; osea que el regulador se encuentra al medio de la alimentadora o que se encuentre al inicio de la misma, respectivamente.

Si el regulador está en el medio de la línea lo que se hace es continuar con el módulo central del proceso iterativo.

Si el regulador se encuentra al inicio de la alimentadora entonces se empieza calculando el error entre el voltaje inicial especificado y el calculado, si este error es menor que el ancho de banda, para todas las fases entonces el proceso iterativo se termina y se pasa a la impresión de resultados, pe

ro sí para una de las fases se cumple que el error es mayor que la tolerancia entonces debemos mover la toma del regulador de tal manera que al variarlo se consiga un mejor voltaje en la barra inicial y se continua cambiando la toma las veces que sea necesario hasta lograr que el error sea menor que la tolerancia, debemos chequear siempre antes de proceder a cambiar la toma que el máximo número de pasos, 16 pasos, no sea excedido.

Cuando se consigue que el error sea menor que la tolerancia se procede a la impresión de los resultados, si se llega primero al máximo número de iteraciones entonces también se imprimen los resultados - pero se escribe un mensaje.



4.4. SALIDA DE RESULTADOS

El reporte de salida del programa de flujo de carga trifásico incluye lo siguiente:

- a. Listado de los datos de barra
- b. Listado de los datos de línea
- c. Listado de los datos generales y alternativa escogida
- d. Reporte de los voltajes resultantes de cada barra para las tres fases.
- e. Reporte de los flujos de potencia activa y reactiva, para cada fase entre las diferentes barras del sistema.
- f. Sumario de carga, pérdidas, MVAR de capacitores externos y potencia total de la alimentadora para cada fase y en forma global (trifásica); también se reporta el número total de iteraciones (opción 1) y el número de pasos del regulador de voltaje así como el porcentaje de regulación (opciones 2 y 3).

C A P I T U L O V

EJEMPLOS DE APLICACION DEL PROGRAMA Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

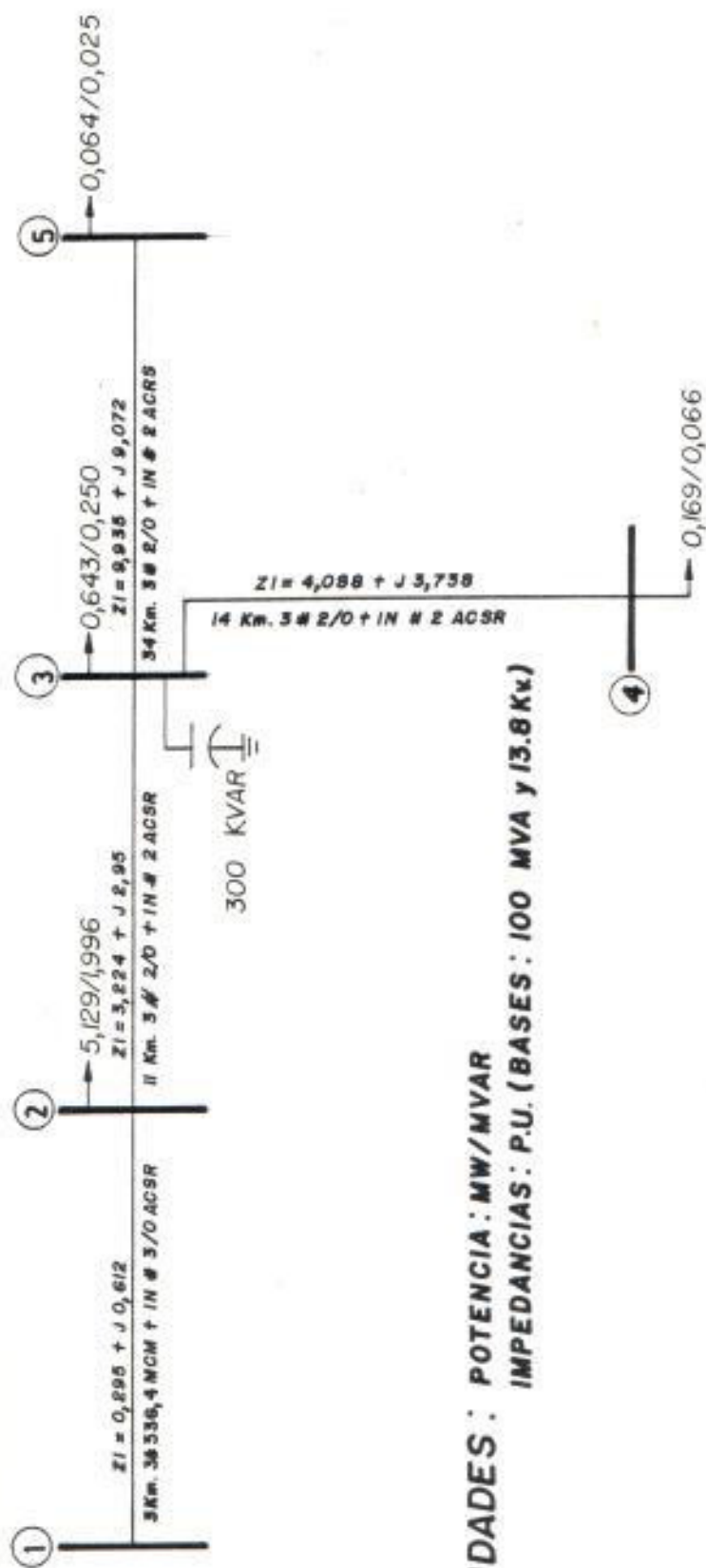
5.1. EJEMPLO N° 1: COMPROBACION DE LOS RESULTADOS DEL FLUJO DE CARGA TRIFASICO

5.1.1. Definición del ejemplo

En este ejemplo se comprobarán los resultados del programa de flujo de carga trifásico, comparándolos con los obtenidos de un programa de flujo de carga por fase que utiliza como método de solución la técnica de Gauss Seidel para lo cual se estudiará la alimentadora Mariscal Sucre de la Empresa Eléctrica Milagro C. A., considerándose solamente sus barras trifásicas. El diagrama unifilar de la alimentadora se muestra en la figura N° 5.1.

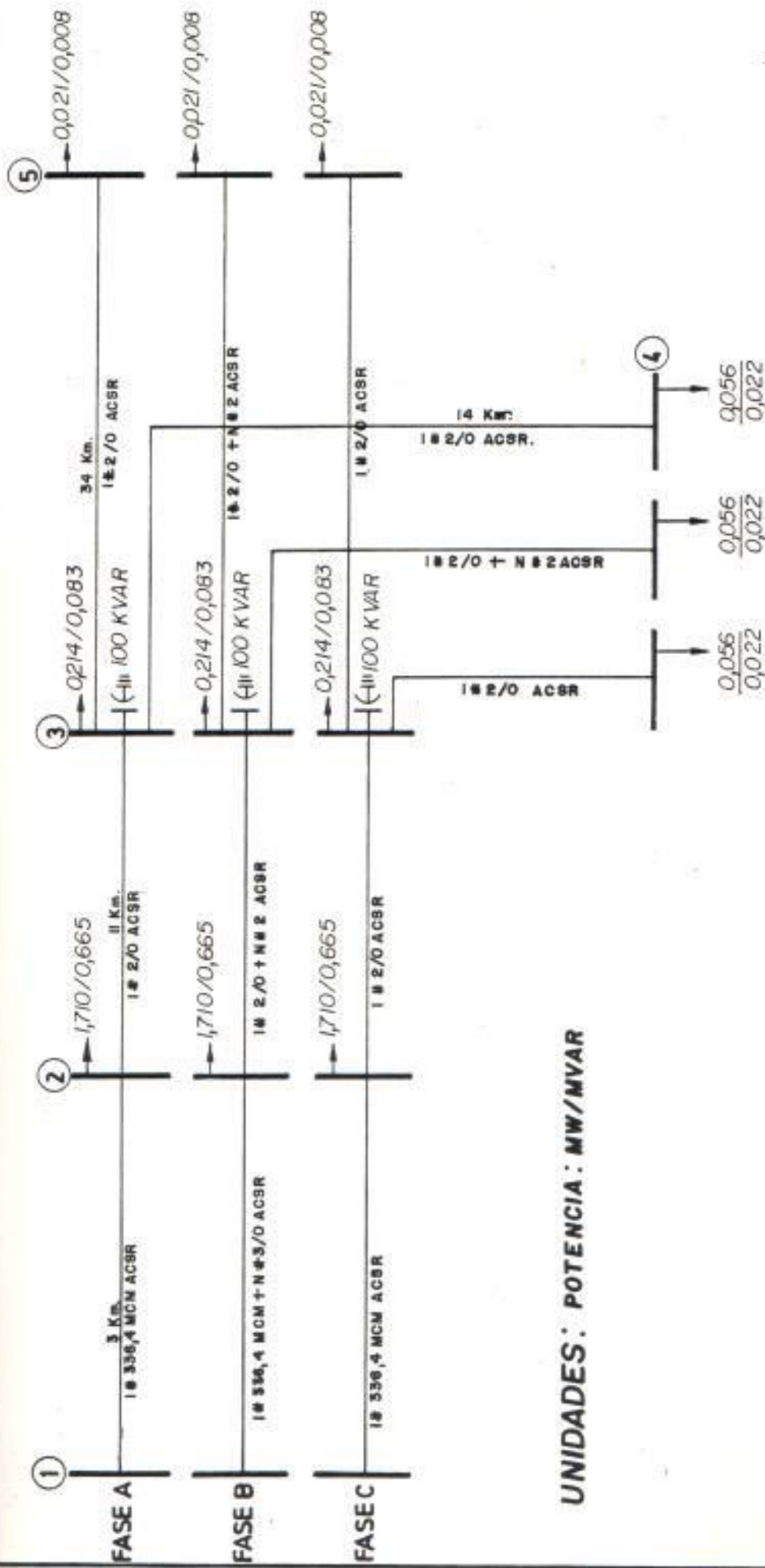
Primero se obtendrá el flujo de carga por fa

se considerando que el voltaje de la barra inicial de la alimentadora (barra oscilante) es 1,00 p.u. Luego obtendremos el flujo de carga trifásico de la alimentadora considerando que el voltaje conocido de la barra inicial es 1,00 p.u., para las tres fases. Un diagrama trifásico de la alimentadora se muestra en la figura N^o 5.2.



UNIDADES : POTENCIA : MW/MVAR
 IMPEDANCIAS : P.U. (BASES : 100 MVA y 13.8 Kv.)

Escuela Superior Politécnica del Litoral	
DIAGRAMA UNIFILAR DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO N° 1	
Dibujado : G.N.O - A.M.P.	Fecha : 30/8/85
	Figura : 5.1



UNIDADES: POTENCIA: MW/MVAR

Escuela Superior Politécnica del Litoral

DIAGRAMA TRIFASICO DE LA ALI-
MENTADORA DEL EJEMPLO N° 4

Dibujado: Fecha:

S.M.O. - A.M.R. 30/8/86

Figura

5.2

5.1.2. Resultados

Las salidas del computador que muestran los resultados del flujo de carga por fase y trifásico se presentan en el Apéndice B.

A continuación encontramos las tablas N° 5.1.y 5.2., en que se presentan los voltajes resultantes de las barras y los sumarios de la alimentadora para el flujo de carga por fase y trifásico.

TABLA N° 5.1.

VOLTAJES DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO N° 1 PARA EL FLUJO DE CARGA POR FASE Y TRIFASICO

Barra	VOLTAJE EN P.U.			
	FLUJO POR FASE	FLUJO TRIFASICO		
		FASE A	FASE B	FASE C
1	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.968	0.967	0.971	0.974
3	0.935	0.935	0.942	0.946
4	0.924	0.925	0.933	0.937
5	0.925	0.926	0.934	0.938

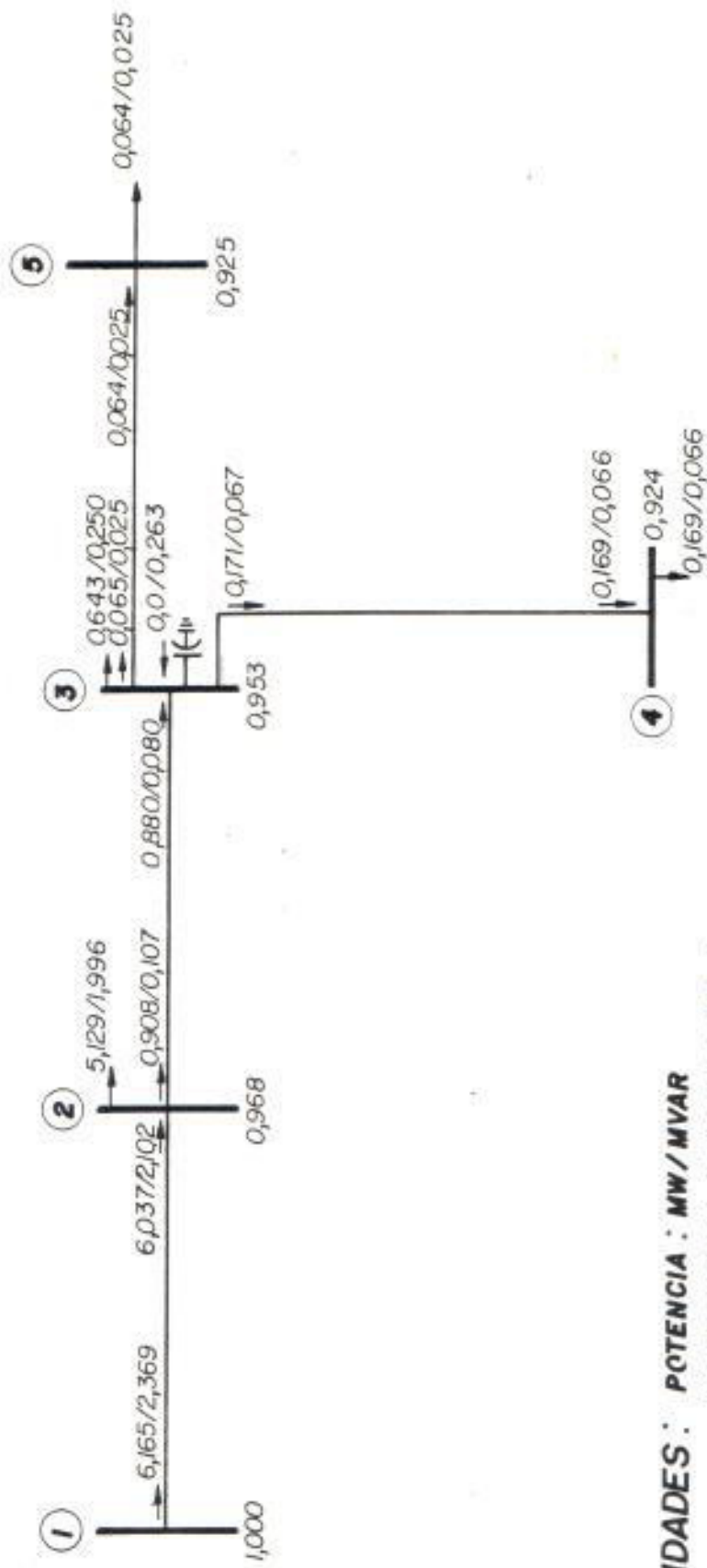
TABLA Nº 5.2,

SUMARIO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº 1 PARA EL FLUJO DE CARGA POR FASE

Y TRIFASICO

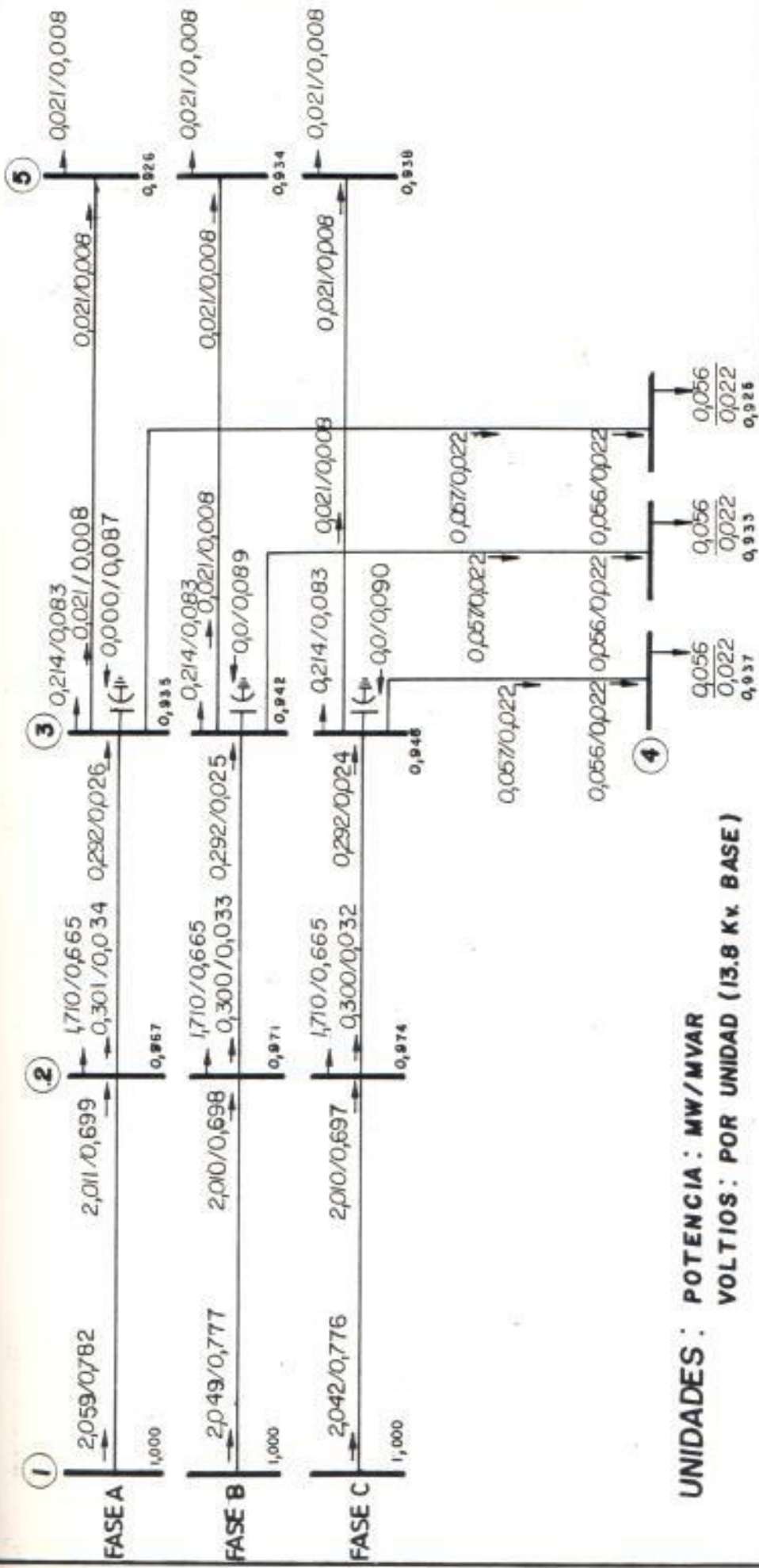
	FLUJO TRIFASICO													
	FLUJO POR FASE			FASE A			FASE B			FASE C			TOTAL TRIFAS.	
	MW	MVAR		MW	MVAR		MW	MVAR		MW	MVAR		MW	MVAR
POTENCIA TOTAL	6.165	2.369		2.059	0.782		2.048	0.777		2.042	0.776		6.149	2.335
CARGA TOTAL	6.005	2.336		2.001	0.778		2.001	0.778		2.001	0.778		6.003	2.334
MVAR DE CAPACITORES EXTERNOS		0.262			0.087			0.089			0.090			0.266
PERDIDAS	0.160	0.295		0.058	0.091		0.047	0.088		0.041	0.088		0.146	0.267

A continuación se muestran las figuras N^os. 5.3 y 5.4., en las que encontramos los diagramas de los flujos de carga por fase y trifásico, respectivamente.



UNIDADES : POTENCIA : MW / MVAR
 VOLTIOS : PU. (BASE : 13,8 Kv.)

Escuela Superior Politécnica del Litoral		
FLUJO DE CARGA POR FASE DE L		
ALIMENTADORA DEL EJEMPLO N° 04		
Dibujado :	Fecha :	Figura :
G.M.O - A.M.P.	30/8/86	5.3



UNIDADES : POTENCIA : MW/MVAR
 VOLTIOS : POR UNIDAD (13.8 Kv. BASE)

Escuela Superior Politécnica del Litoral	
FLUJO DE CARGA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO N° 8	
Dibujado:	Fecha:
G. M. O. - A. M. P	30/8/85
Figura: 5.4	

5.1.3. Análisis de los Resultados

De las tablas anteriores observamos que los resultados obtenidos por el programa de flujo de carga trifásico son similares a los obtenidos por el programa de flujo de carga por fase, de lo cual podemos concluir que los modelos y el programa desarrollados en esta tesis, así como la técnica de solución utilizadas son válidas para la obtención de las características de operación y análisis de una alimentadora de un sistema de distribución.

Los resultados del flujo de carga trifásico nos muestran los flujos de potencia y niveles de voltaje de las tres fases de cada barra de la alimentadora, así como sus des**ba**lances siendo estos producidos solamente por los desbalances de las líneas de distribución, ya que para este ejemplo no se han considerado los desbalances en las cargas para poder hacer la comparación con el flujo de carga por fase.

En la tabla N° 5.2., encontramos que al com

parar las pérdidas de la alimentadora obtenidas del flujo de carga trifásico observamos que son 0,014 MW y 0,028 MVAR menores que las obtenidas del flujo de carga por fase, lo mismo sucede con la potencia reactiva entregada por los capacitores externos que es 0,004 MVAR mayor en el flujo de carga trifásico.

En este ejemplo se ha estudiado una alimentadora ideal con líneas trifásicas no transpuestas y cargas balanceadas, para poder analizar los dos flujos de carga; y se ha observado que los resultados son similares existiendo diferencias que son producidas por la mayor precisión del flujo de carga trifásico. En los ejemplos siguientes se estudiará alimentadoras con desbalances - de orden interno y externo que no pueden ser estudiadas por medio del flujo de carga por fase.

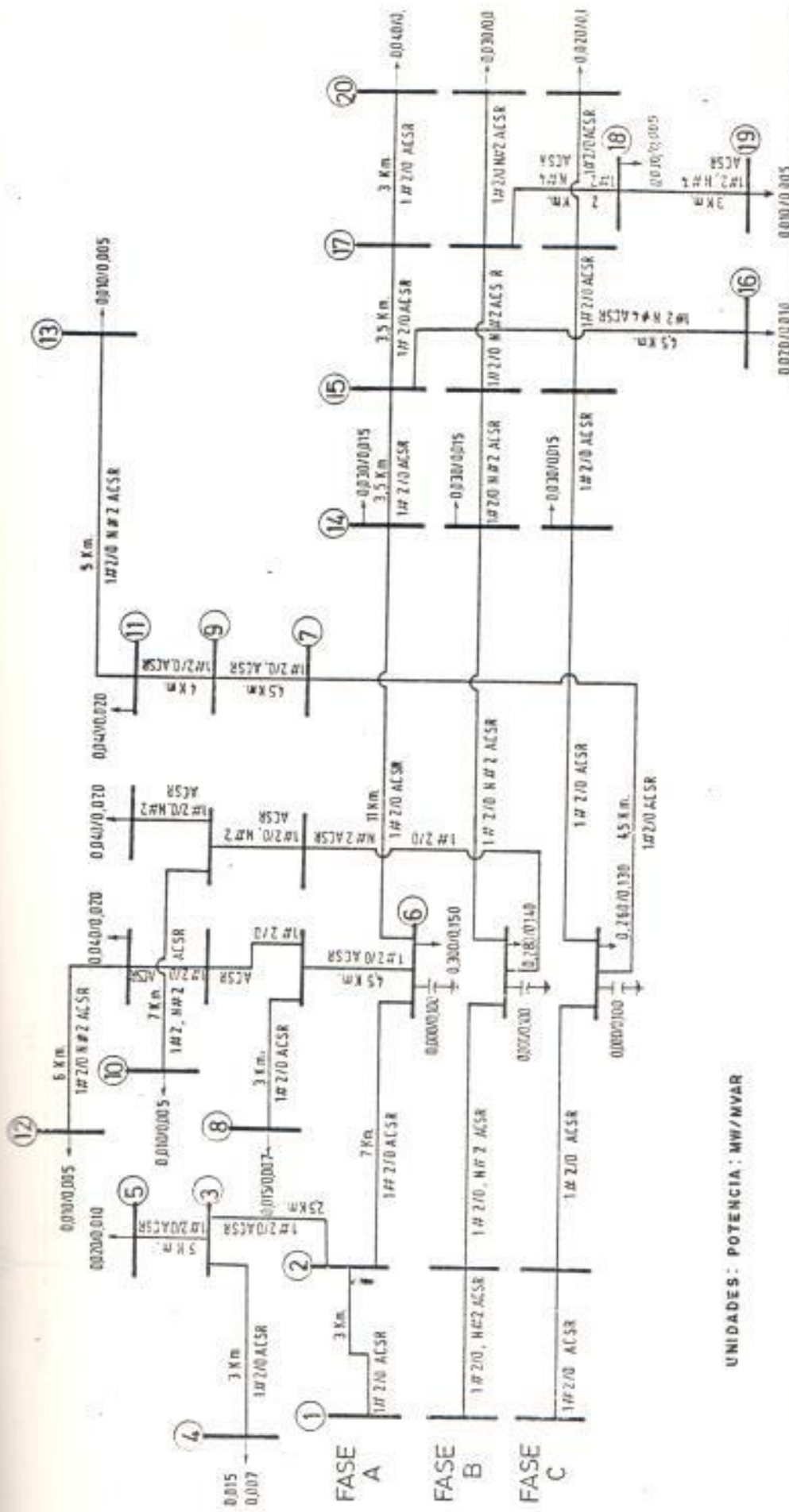
5.2. EJEMPLO N° 2: REUBICACION DE LAS CARGAS DE UNA ALIMENTADORA DE DISTRIBUCION Y SUS BENEFICIOS

5.2.1. Definición del ejemplo

En este ejemplo se analizarán los beneficios que se logran al balancear las cargas de una alimentadora de un sistema de distribución utilizando el programa de flujo de carga trifásico. Primero se obtendrán las características de operación de una alimentadora real de un sistema de distribución rural (caso base) y luego se compararán con las obtenidas al modificar la configuración actual reubicando los puntos de conexión de las líneas monofásicas y balanceando las cargas de las barras (caso modificado).

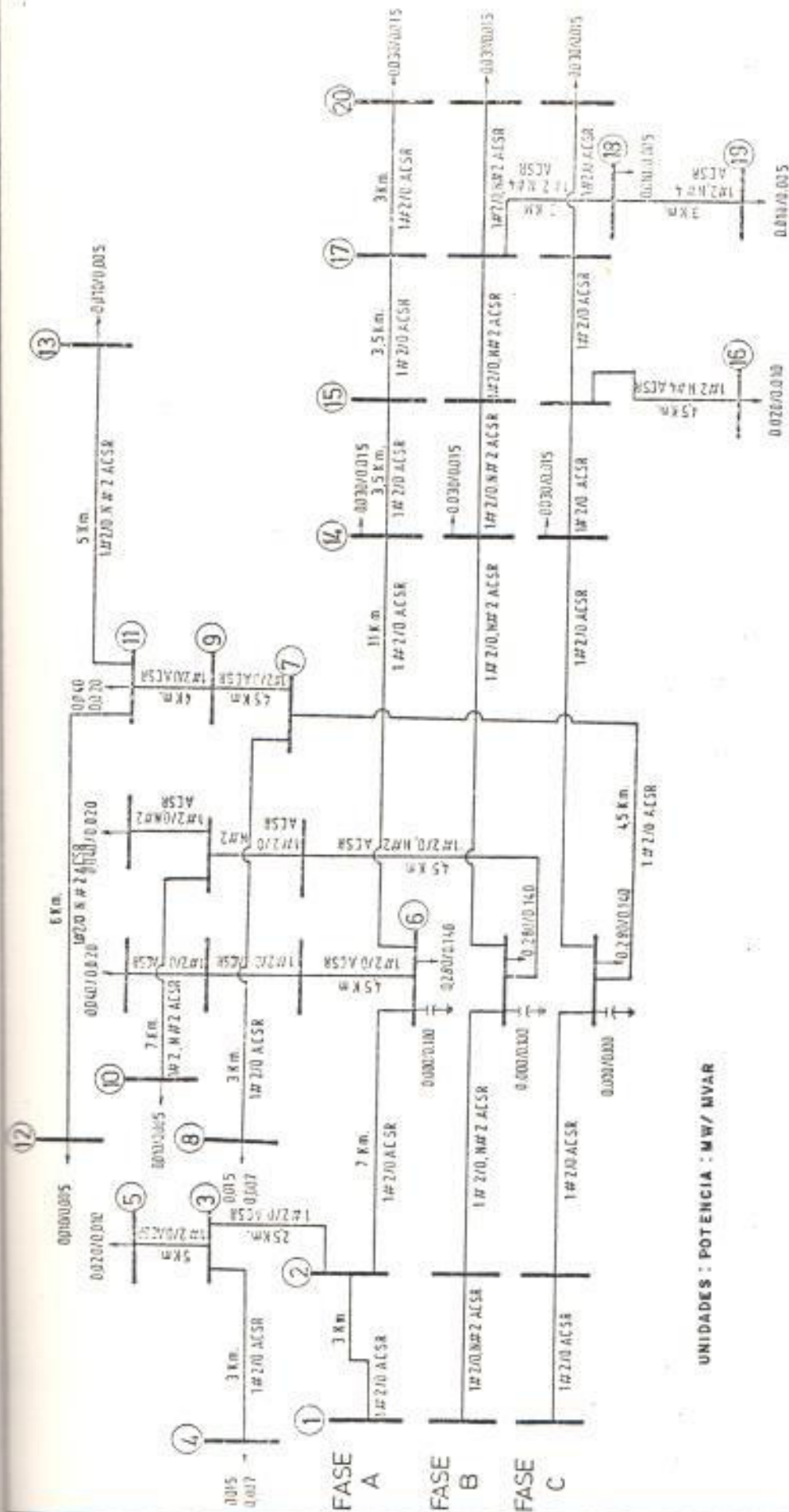
Un diagrama trifásico de la alimentadora para el caso base se muestra en la figura N° 5.5.

Para el caso modificado se reubicaron las cargas de las barras 8, 12, 16, pasando de la fase A a la fase C; así mismo se balancearon las cargas de las barras 6 y 20, su diagrama trifásico se muestra en la figura N° 5.6.



UNIDADES : POTENCIA : MW/MVAR

Escuela Superior Politecnica del Litoral	
DIAGRAMA TRIFASICO DE LA ALIMENTACION DE LA TADORA DEL EJEMPLO N°2 - BASE	
Dibujado : G. M. O. - A. M. P.	Fecha : 30 / 8 / 85
	Figura : 5



UNIDADES : POTENCIA : MW / MVAR

Escuela Superior Politecnica del Litoral	
DIAGRAMA TRIFASICO DE LA ALI	
MENTADORA DEL EJEMPLO N° 2	
-CASO MODIFICADO	
Dibujo:	Fecha:
G. M. O.	30/6/85
	Figura:
	5.6

Para los dos casos se ha considerado que el voltaje conocido en la barra inicial de la alimentadora es 1,00 p.u.

5.2.2. Resultados

Las salidas del computador que muestran los resultados obtenidos del flujo de carga trifásico para el caso base y modificado se presentan en el Apéndice C.

A continuación encontramos las tablas N^o 5.3 y 5.4. en las cuales se comparan los niveles de voltaje y los sumarios de la alimentadora para el caso base y modificado.

TABLA Nº 5.3.

VOLTAJES DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO Nº2 PARA EL CASO BASE Y MODIFICADO

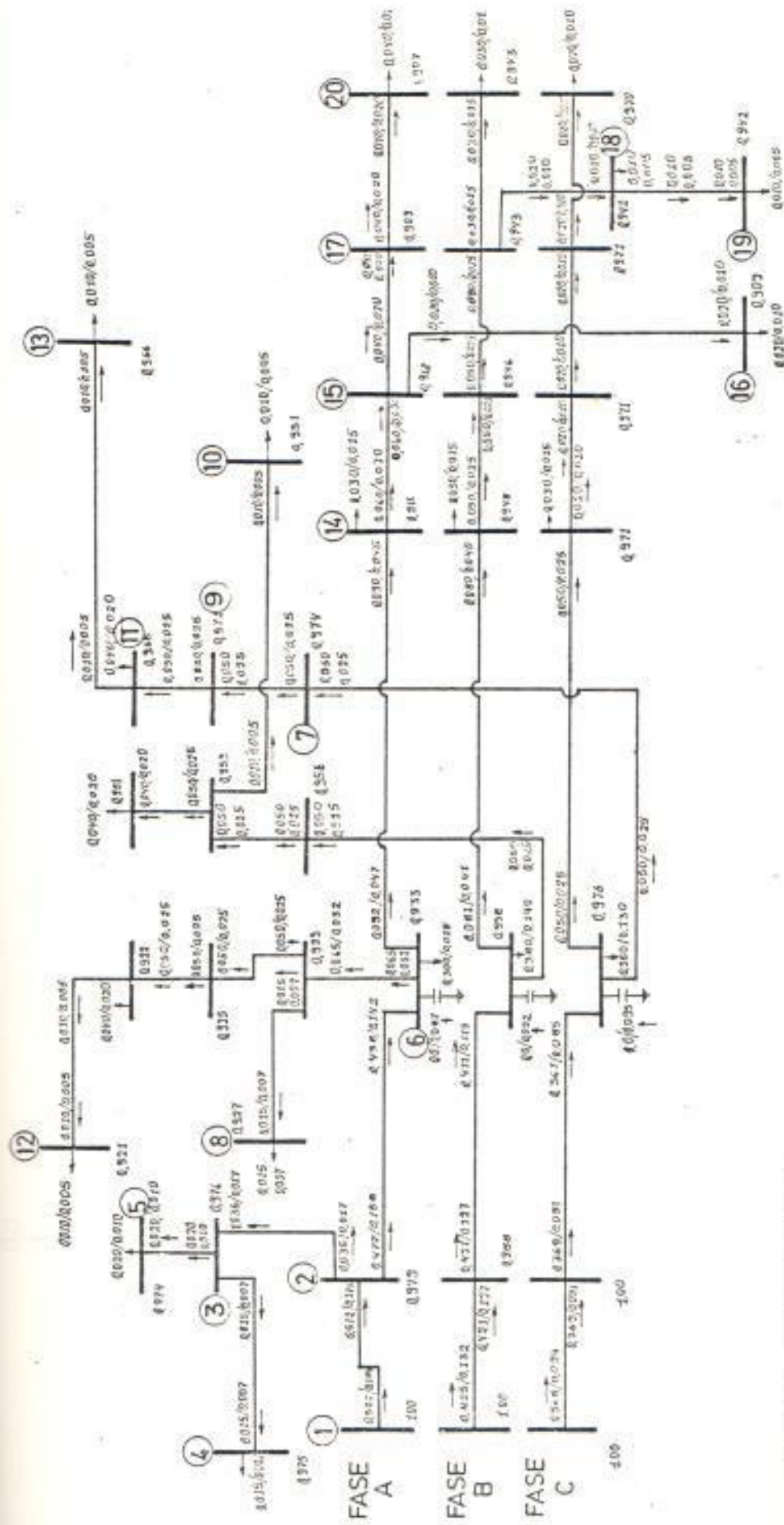
BARRA	V O L T A J E E N P . U .					
	C A S O B A S E			C A S O M O D I F I C A D O		
	FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.979	0.988	1.000	0.985	0.986	0.998
3	0.976	-----	-----	0.983	-----	-----
4	0.971	-----	-----	0.982	-----	-----
5	0.974	-----	-----	0.980	-----	-----
6	0.933	0.958	0.976	0.956	0.951	0.964
7	0.929	0.956	0.974	0.953	0.947	0.959
8	0.927	----	-----	-----	-----	0.958
9	0.925	0.953	0.971	0.951	0.944	0.956
10	-----	0.951	-----	-----	0.942	-----
11	0.922	0.951	0.968	0.950	0.942	0.952
12	0.921	-----	-----	-----	-----	0.950
13	-----	-----	0.966	-----	-----	0.950
14	0.916	0.948	0.971	0.946	0.937	0.953
15	0.912	0.946	0.971	0.945	0.934	0.951
16	0.909	-----	-----	-----	-----	0.948
17	0.909	0.944	0.971	0.944	0.932	0.950
18	----	0.942	-----	-----	0.930	-----
19	----	0.942	-----	-----	0.930	-----
20	0.907	0.943	0.970	0.942	0.930	0.949

TABLA N° 5.4.

SUMARIO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO N° 2 PARA EL CASO BASE Y MODIFICADO

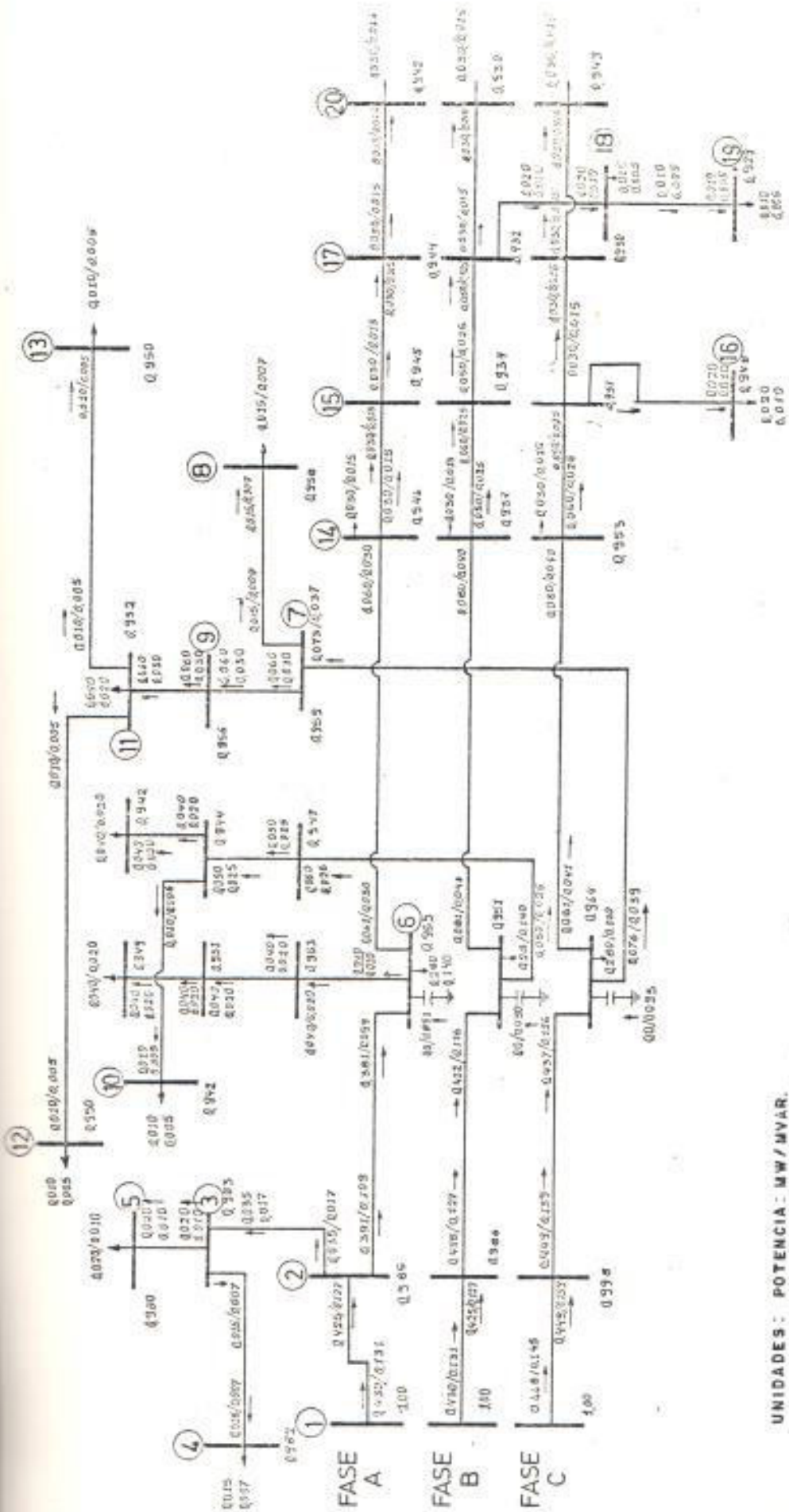
	CASO BASE						CASO MODIFICADO									
	FASE A		FASE B		FASE C		T. TRIFASICO		FASE A		FASE B		FASE C		T. TRIFASICO	
	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
Potencia total	0.522	0.184	0.425	0.132	0.368	0.094	1.315	0.410	0.432	0.131	0.430	0.131	0.449	0.145	1.311	0.407
Carga total	0.490	0.244	0.410	0.205	0.360	0.180	1.260	0.629	0.415	0.207	0.410	0.205	0.435	0.217	1.260	0.629
MVAR de capacidades externos	-----	0.087	-----	0.092	-----	0.095	-----	0.274	-----	0.091	-----	0.090	-----	0.093	-----	0.274
Pérdidas	0.032	0.027	0.015	0.019	0.008	0.009	0.055	0.055	0.017	0.015	0.020	0.017	0.014	0.021	0.051	0.052

A continuación encontramos las figuras N° 5.7. y 5.8., en las que se muestran los diagramas de los flujos de carga trifásicos de la alimentadora para el caso base y modificado, respectivamente.



UNIDADES: POTENCIA: MW/MVAR
 VOLTIOS: POR UNIDAD (138 K.V. BASE)

Escuela Superior Politecnica del Lito	
FLUJO DE CARGA TRIFASICO D LA ALIMENTADORA DEL EJEMP Nº 2 - CASO BASE.	
Dibujado: G.M.O.-A.M.P.	Fecha: 30/6/85
	Figura: 5.7



UNIDADES : POTENCIA : MW / MVAR.
 VOLTIOS : POR UNIDAD (13,8 KV. BASE)

5.2.3. Análisis de los resultados

En la tabla N° 5.3., observamos para el caso base que debido al desbalance de las cargas se obtienen diferencias de voltajes del orden del 6 % entre las fases A y C de las barras finales de la alimentadora (barras 14, 15, 17, 20). En estas barras se observa también que las fases B y C tienen un nivel de voltaje superior, 1,3% y 4%, respectivamente, a 0,93 p.u. que es el voltaje mínimo aceptado para sistemas de distribución rural, mientras que la fase A tiene un voltaje inferior en 2,3 %.

CASO BASE			
VOLTAJES EN P.U.			
BARRA	FASE A	FASE B	FASE C
14	0,916	0,948	0,971
15	0,912	0,946	0,971
17	0,909	0,944	0,971
20	0,907	0,943	0,970

En la tabla N° 5.4., observamos que para el caso base por la alimentadora fluye un total de 0,522 MW por la fase A, 0,425 MW por la fase B y 0,368 MW

por la fase C, existiendo un desbalance de 0,154 MW entre las fases A y C (11,7 % de desbalance con respecto al total de la alimentadora).

CASO BASE

POTENCIA TOTAL DE LA ALIMENTADORA

Fase A	Fase B	Fase C	T. Trifásico
0,522+j0,184	0,425+j0,132	0,368+j0,094	1,315+j0,410

En el caso modificado al cambiar la configuración de la alimentadora y reubicar las cargas se ha logrado que en las barras 14,15,17,20, la diferencia de voltaje entre las fases sea del orden del 1,9 %, además se ha conseguido que las tres fases de todas las barras tengan un nivel de voltaje superior a 0,93 p.u.

CASO MODIFICADO

VOLTAJES P.U.

BARRA	FASE A	FASE B	FASE C
14	0,946	0,937	0,953
15	0,945	0,934	0,951
17	0,944	0,932	0,950
20	0,942	0,930	0,949

Además se ha obtenido en el caso modificado un desbalance de solamente 1,4 % (0,019 MW) entre la potencia que fluye por las fases B y C.

CASO MODIFICADO

<u>POTENCIA TOTAL DE LA ALIMENTADORA</u>			
FASE A	FASE B	FASE C	TOTAL TRIFAS.
0,432+j0,131	0,430+j0,131	0,449+j0,145	1,311+j0,407

En la tabla N° 5.4., vemos que las pérdidas son - 0,004 MW menores cuando las cargas se encuentran balanceadas (caso modificado).

En este ejemplo observamos que por medio del flujo de carga trifásico podemos conocer los flujos de potencia y niveles de voltaje de las tres fases de cada barra para diferentes configuraciones de una alimentadora de un sistema de distribución, a partir de lo cual se puede determinar la configuración que nos permita obtener las mejores características de operación, lográndose de esta forma un incremento en la calidad del servicio a los usuarios.

5.3. EJEMPLO N° 3: UTILIZACION DEL REGULADOR DE VOLTAJE PARA MEJORAR LOS NIVELES DE VOLTAJE EN UNA ALIMENTADORA DE DISTRIBUCION RURAL

5.3.1. Definición del ejemplo

En este ejemplo se analizará el uso del regulador de voltaje como un medio para mejorar los niveles de voltaje de las barras de una alimentadora rural de distribución de energía eléctrica.

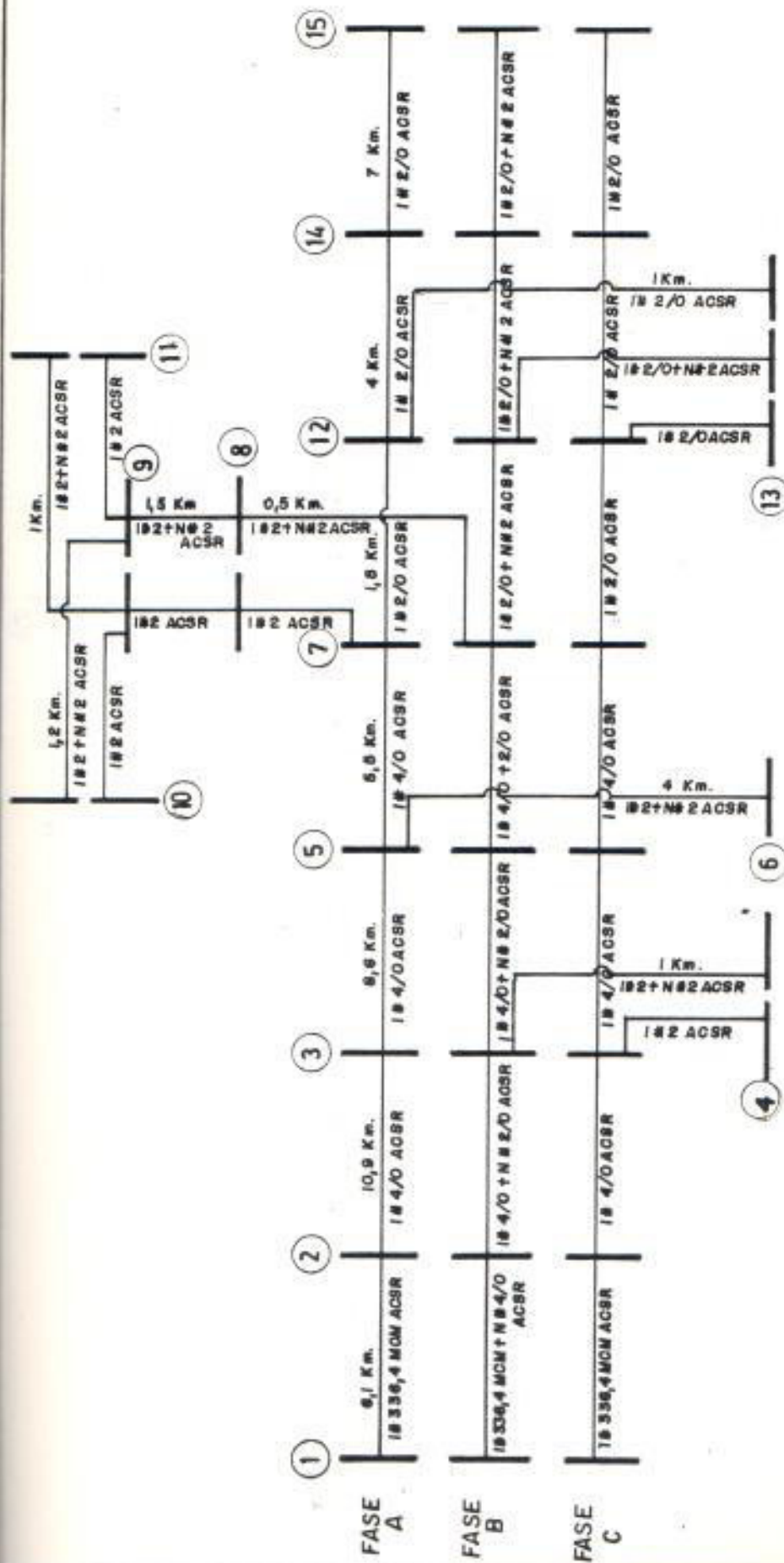
Se obtendrán primero las características de operación de una alimentadora sin regulador de voltaje (caso base) comparándolas luego con las obtenidas después de utilizar un regulador de voltaje (caso modificado).

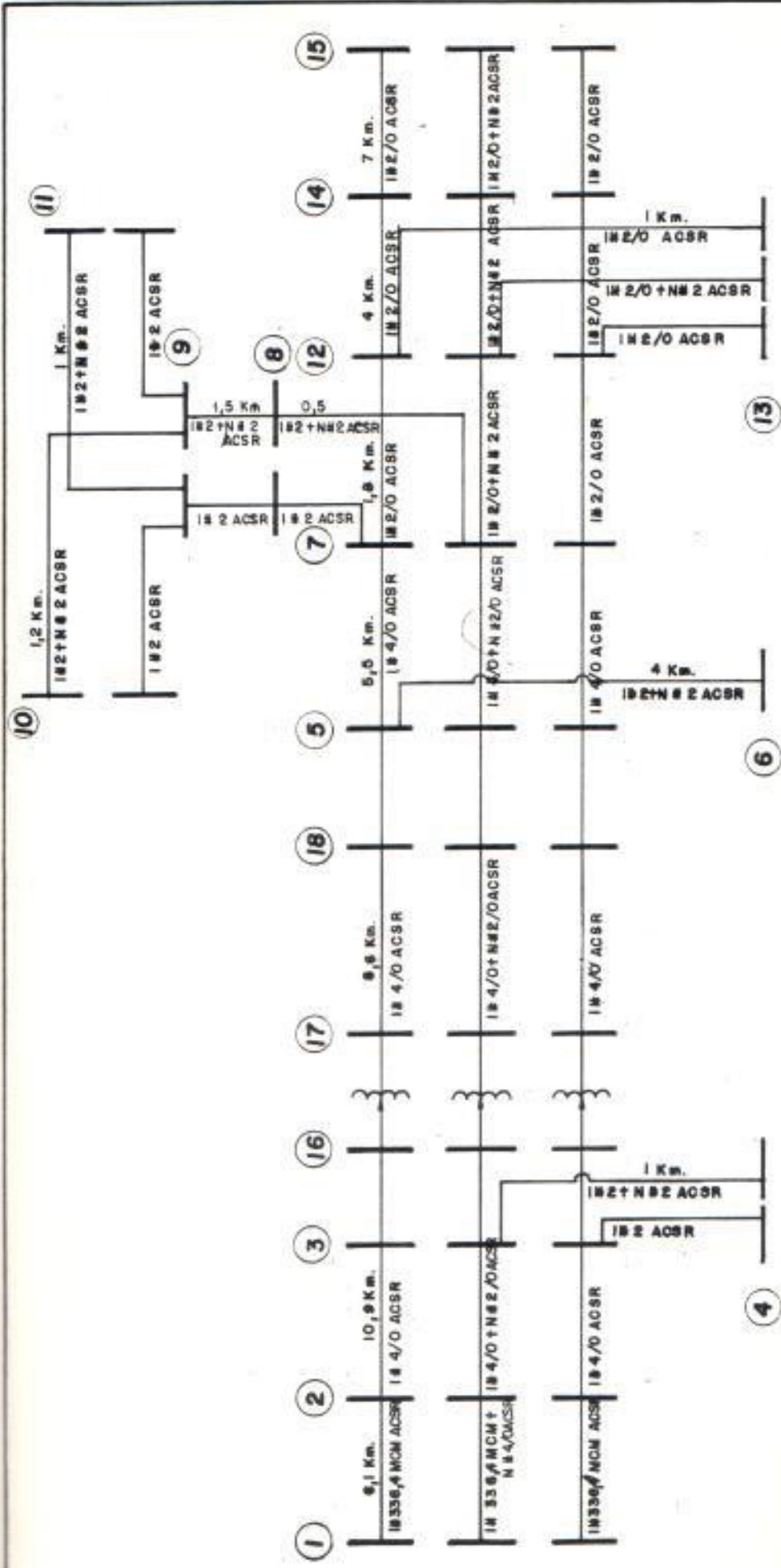
Un diagrama trifásico de la alimentadora para el caso base se muestran en la figura N° 5.9.

Un diagrama trifásico de la alimentadora para el caso modificado se presenta en la figura - N° 5.10., en donde se incluye un regulador de voltaje de modo que mantenga un nivel de voltaje de 0,98 p.u. en las tres fases de la barra N° 5. Al incluir el regulador de voltaje - se necesitan tres barras adicionales que son -

la barra de entrada del regulador (barra N^o 16),
la barra de salida del regulador (barra N^o 17), y
la barra regulada (barra N^o 18).

Para los dos casos se considera que el volta
je conocido de la barra inicial de la alimen
tadora es 1,00 p.u. para las tres fases.





Escuela Superior Politécnica del Litoral
 DIAGRAMA TRIFASICO DE LA ALIMENTACION DEL EJEMPLO N° 3.- CASO MODIFICADO

Dibujado: G.M.O. - A.M.P. Fecha: 30/8/88 Figura: 5.10

5.3.2. Resultados

Las salidas del computador que muestran los resultados obtenidos del flujo de carga trifásico del caso base y modificado se muestran en el Apéndice D.

A continuación se muestran las tablas N° 5.5. y N° 5.6., en las cuales se comparan los niveles de voltaje y las sumarios de la alimentadora para los dos casos; y la tabla N° 5.7., en la que se presenta el número de pasos y porcentaje de regulación del regulador de voltaje para el caso modificado.

TABLA N°5.5.

VOLTAJES DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO N° 3 PARA LOS CASOS BASE Y MODIFICADO

BARRA N°	VOLTAJE EN P.U.								
	CASO BASE			CASO MODIFICADO			CASO MODIFICADO		
	FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.977	0.981	0.986	0.979	0.986	0.991	0.979	0.986	0.991
3	0.939	0.950	0.962	0.941	0.962	0.968	0.941	0.955	0.968
4	-----	0.950	0.962	-----	0.962	0.968	-----	0.954	0.968
5	0.910	0.927	0.946	0.982	0.946	0.982	0.982	0.982	0.982
6	0.907	-----	-----	0.980	-----	-----	0.980	-----	-----
7	0.894	0.913	0.935	0.967	0.935	0.971	0.967	0.969	0.971
8	0.893	0.913	-----	0.967	-----	-----	0.967	0.968	-----
9	0.892	0.912	-----	0.966	-----	-----	0.966	0.968	-----
10	0.892	0.912	-----	0.966	-----	-----	0.966	0.967	-----
11	0.892	0.912	-----	0.966	-----	-----	0.966	0.967	-----
12	0.887	0.907	0.931	0.962	0.931	0.967	0.962	0.963	0.967
13	0.887	0.907	0.931	0.962	0.931	0.967	0.962	0.963	0.967
14	0.886	0.897	0.921	0.952	0.921	0.957	0.952	0.954	0.957
15	0.875	0.896	0.920	0.951	0.920	0.956	0.951	0.953	0.956
16				0.941		0.968	0.941	0.955	0.968
17				1.009		0.997	1.009	1.004	0.997
18				0.982		0.982	0.982	0.982	0.982

TABLA N° 5,6,

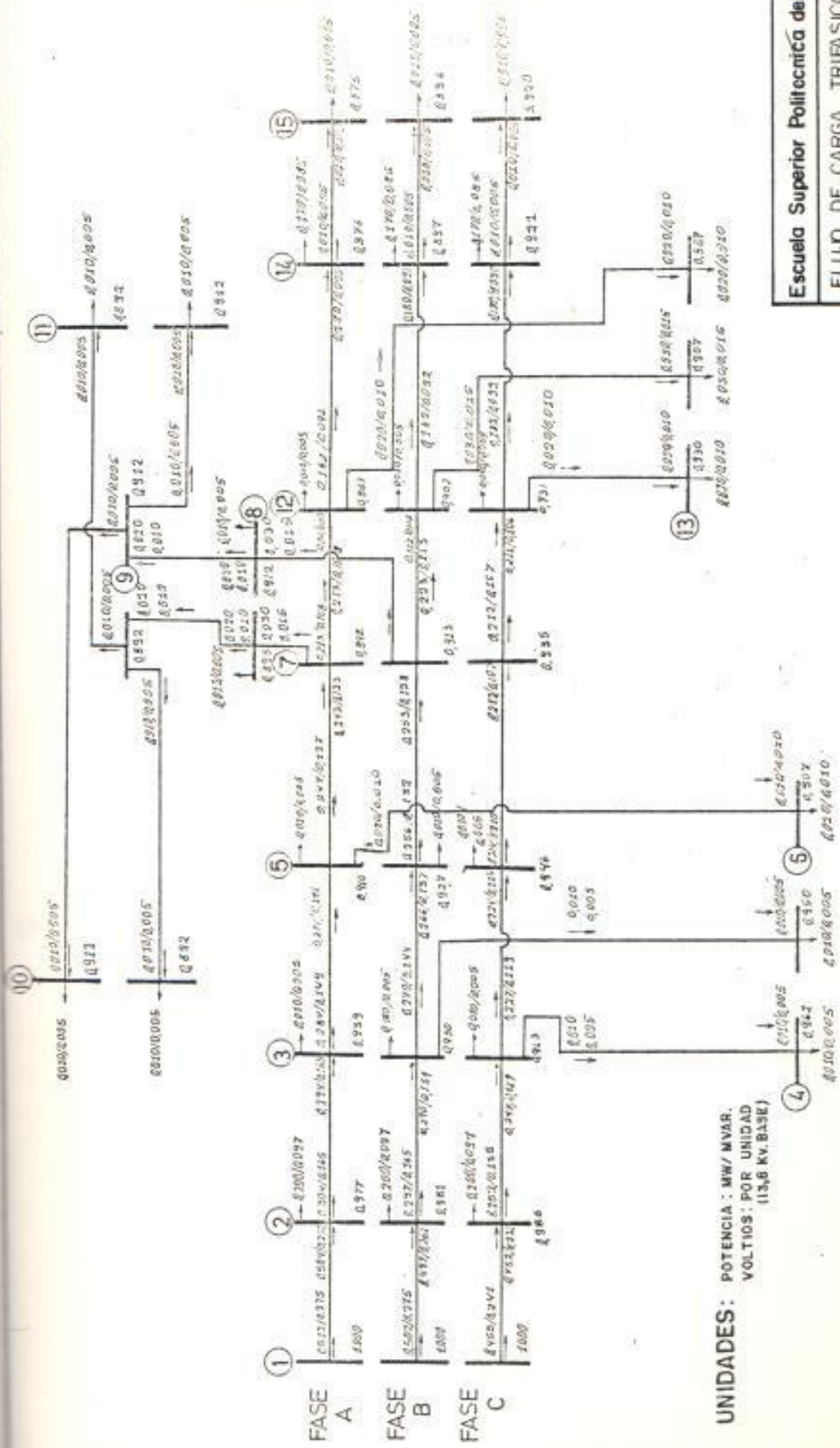
SUMARIO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLO N° 3 PARA EL CASO BASE Y MODIFICADO

	C A S O B A S E						C A S O M O D I F I C A D O									
	FASE A		FASE B		FASE C		TOTAL TRI-FASICO.		FASE A		FASE B		FASE C		TOTAL TRIFASICO	
	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
Potencia total	0,512	0,275	0,502	0,275	0,455	0,241	1,469	0,791	0,510	0,274	0,501	0,273	0,455	0,241	1,466	0,788
Carga total	0,480	0,237	0,480	0,237	0,440	0,217	1,400	0,691	0,480	0,237	0,480	0,237	0,440	0,217	1,400	0,691
MVAR de capacitores externos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perdidas	0,032	0,038	0,022	0,038	0,015	0,024	0,069	0,100	0,030	0,037	0,021	0,036	0,015	0,024	0,066	0,097

TABLA N° 5.7.
 REPORTE DEL REGULADOR DE VOLTAJE

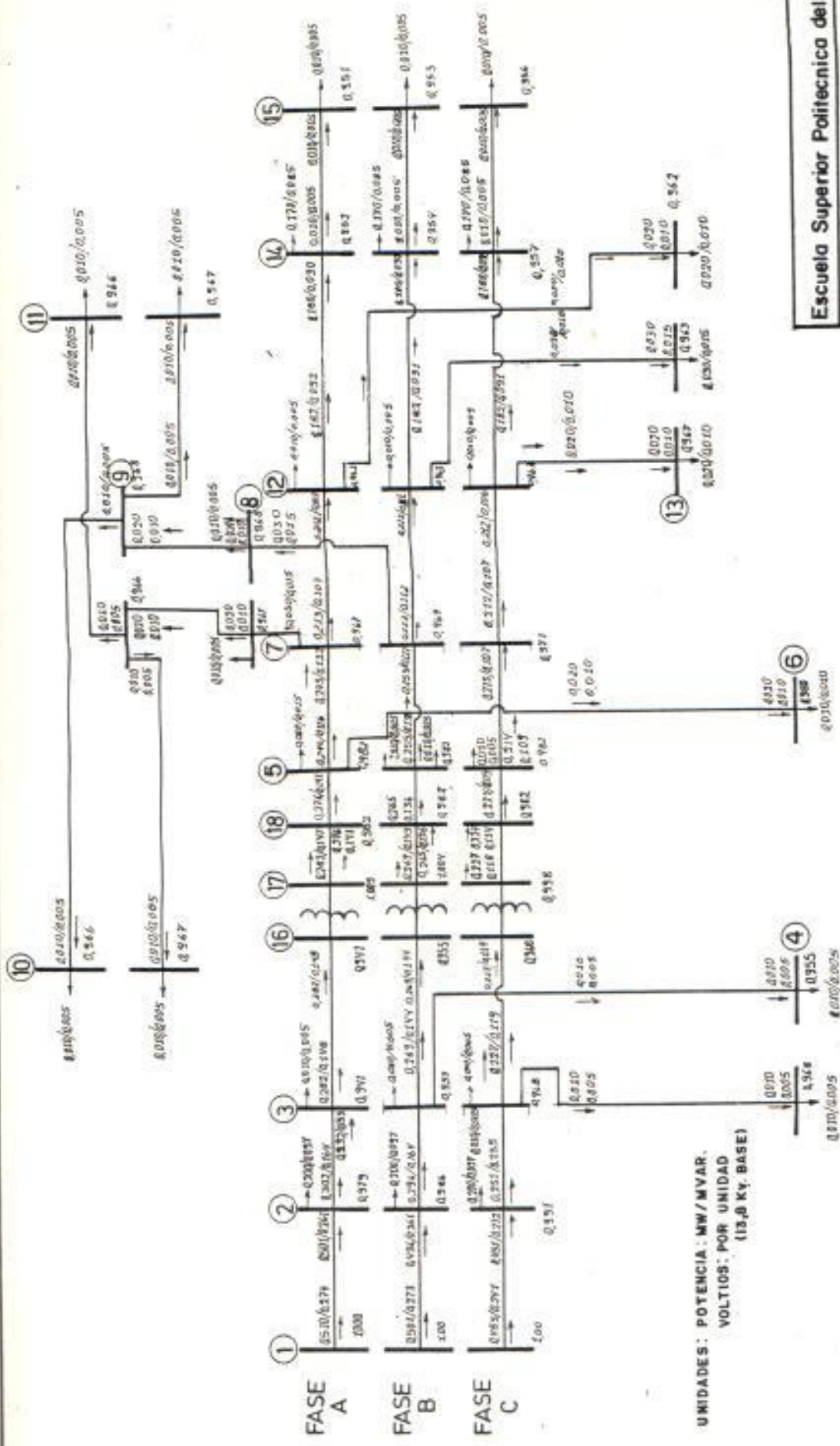
	FASE A	FASE B	FASE C
Número de pasos	11	8	5
Porcentaje de regulación	106.80	105.00	103.10

A continuación se muestran las figuras N° 5.11 y 5.12., en las que encontramos los diagramas de los flujos de carga trifásicos para el caso base y modificado, respectivamente.



UNIDADES: POTENCIA : MW/ MVAR.
 VOLTIOS : POR UNIDAD
 (13,8 KV.BASE)

Escuela Superior Politécnica del Litoral	
FLUJO DE CARGA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPLC Nº 3 - CASO BASE	
Dibujo: G. M. O.	Fecha: 30 / 07 / 00
	Figura: 5.11



UNIDADES: POTENCIA: MW/MVAR.
 VOLTIOS: POR UNIDAD
 (13.8 KV. BASE)

Escuela Superior Politecnica del Litoral	
FLUJO DE CARGA TRIFASICO DE LA ALIMENTADORA DEL EJEMPL N° 3 CASO MODIFICADO	
Dibujo:	Fecha:
G. M. O.	30 / 8 / 85
	Figura:
	5.12

5.3 3. Análisis de los resultados

Al analizar la tabla 5.5. observamos que para el caso base se obtienen niveles de voltaje inferiores a 0,93 p.u. (mínimo aceptado para alimentadoras de distribución rural) en las barras 5,6,7,8,9,10, 11, 12, 13, 14, 15. Al utilizar el regulador de voltaje, de forma que mantenga constante el voltaje en 0,98 p.u. para las tres fases de la barra 5, observamos que en todas las barras de la alimentadora se ha conseguido un nivel de voltaje superior a 0,93 p.u. Así para la última barra existe un aumento de voltaje de 7.6 % para la fase A, 5,7% para la fase B y 3,6% para la fase C.

VOLTAJE P.U.						
BARRA	CASO BASE			CASO MODIFICADO		
	FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C
15	0,875	0,896	0,920	0,951	0,953	0,956

En la tabla N° 5.6., observamos que las pérdidas han disminuído de 4,7 % en el caso base a 4,5 % en el caso modificado; si bien esta disminución

es pequeña representa también un beneficio del uso del regulador de voltaje.

Del reporte del regulador de voltaje (tabla N°5.7.) vemos que cada unidad monofásica opera independientemente para controlar el voltaje de la barra regulada, así vemos que debido a los desbalances existentes en la alimentadora el regulador de voltaje de la fase A, a necesitado 6 pasos más que el de la fase C para mantener constante el voltaje de la barra 5 en 0,98 p.u.

En este ejemplo hemos visto que utilizando el flujo de carga trifásico podemos modelar un banco de reguladores de voltaje formado por tres unidades monofásicas, y utilizarlo para un estudio preciso de la regulación de voltaje de las barras de las alimentadoras de distribución.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El programa de flujo de carga trifásico ha eliminado la necesidad de tener que usar equivalentes por fase de sistemas trifásicos desbalanceados, asumiendo criterios que introducen muchos errores, y nos permite obtener los flujos de potencia y los niveles de voltaje de una manera más precisa para las barras de una alimentadora de distribución de energía eléctrica.

Por medio de los ejemplos hemos visto que usando los modelos trifásicos de los elementos y el programa de flujo de carga trifásico podemos estudiar una alimentadora real de un sistema de distribución con sus desbalances de orden interno y externo.

El programa de flujo de carga trifásico es una herramienta útil y necesaria para el análisis y planificación de los sistemas de distribución, permitiéndonos:

- Analizar diversas configuraciones de una alimentadora de distribución y determinar con cual de ellas se obtienen

las mejores características de operación.

- Ubicar un regulador de voltaje para controlar las variaciones de voltaje en las salidas de las subestaciones y para corregir la excesiva caída de voltaje en las alimentadoras rurales.
- Reubicar los puntos de conexión de las líneas monofásicas para mejorar las condiciones de operación de una alimentadora.
- Ubicar bancos de capacitores para obtener mejores niveles de voltaje en las líneas de distribución.

Es importante anotar que el algoritmo de solución del programa desarrollado en esta tesis siempre converge, haciéndolo en un número reducido de iteraciones (6 - 7) con una tolerancia de 1×10^{-6} . Además este programa no tiene los problemas que se presentan en los programas de flujo de carga trifásico que utilizan la técnica de solución de Gauss - Seidel, en lo que respecta a cambios bruscos de impedancias en líneas adyacentes.

En vista de los múltiples usos que tiene el programa de flujo de carga trifásico en el área de planificación y operación de los sistemas de distribución se recomienda -

su utilización a las empresas eléctricas para mejorar las condiciones de suministro de energía a sus clientes.

También se recomienda a los profesores del área de Distribución de la Escuela Superior Politécnica del Litoral - que utilice en el programa para enseñar a los alumnos, - los criterios de diseño y las características de operación de los sistemas de distribución.

Los sistemas de distribución tiene muchos aspectos que son de mucho interés analizar y que servirían como complemento de esta tesis, por lo cual se recomienda profundizar en el estudio de la distribución de la energía eléctrica por medio de nuevas tesis de grado.

A P E N D I C E S

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

1. ARRILAGA Y ARNOLD, Computer modelling of Electrical Power Systems, John Wiley and Sons, Inglaterra, 1983, pp.91-123.
2. BULLOCK Y REDDOCH, Load flow at the distribution level, IEEE.
3. CHEN, DICKSON, CHEN S., Simulation techniques for rural - electric power systems planing, IEEE Transactions on Industry Application, Enero - Febrero, 1973.
4. ELGERD, O., Electric Energy Systems Theory, Mc Graw - Hill Book Company, EE.UU.1982,p.p. 35-67.
5. KERSTING Y MENDIVE, An application of ladder network theory to the solution of three phase radial load flow problems , IEEE PES Winter Meeting, New York, 1.976.
6. KERSTING, SEEKER, A program to study the effects of mutual coupling and unbalanced loading on a distribution system , IEEE PES Winter Meeting, New York, 1.975.

A P E N D I C E A

MANUAL DEL USUARIO

1. GENERALIDADES
2. ENTRADA DE DATOS
3. SALIDA DE RESULTADOS
4. PROCEDIMIENTO DE EJECUCION

- MANUAL DEL USUARIO

1. GENERALIDADES:

Los sistemas de distribución presentan desbalances de orden interno (líneas de distribución, reguladores de voltaje, condensadores) y de orden externo (cargas), de ahí que deben ser estudiados considerando sus tres fases - (a, b, c) independientemente.

Para analizar las características de operación de un sistema de distribución se ha desarrollado un programa de flujo de carga que maneja los modelos trifásicos de sus elementos y cargas y que obtiene como resultado - los flujos de potencia activa y reactiva, los niveles de voltaje, pérdidas, etc., de cada una de las fases de una alimentadora de distribución.

El nombre del programa es FLURAD FORTRAN y sus características generales se detallan a continuación:

- a. Número máximo de barras: 50
- b. Número máximo de líneas: 50 (de una fase, de dos fases o de tres fases). Las impedancias de las líneas se especifican en valores en por unidad.
- c. Capacitores: El programa acepta un banco de capacitores

- en cada barra de la alimentadora. La capacidad de los capacitores se especifica por cada fase en MVAR.
- d. Reguladores de voltaje: El programa acepta un regulador de voltaje colocado en el inicio de la alimentadora o en un punto intermedio de ella. Los reguladores se asumen son del tipo de 32 pasos con $\pm 10\%$ de regulación; el ancho de banda del regulador debe ser especificado en valores en por unidad.
- e. Cargas: El programa acepta cargas en todas las barras de la alimentadora. Las cargas se especifican en MW y MVAR.
- f. Opciones: Existen tres opciones bajo las cuales se puede correr el programa:
- Opción 1: no existe regulador de voltaje
- Opción 2: el regulador de voltaje está colocado en un punto intermedio de la alimentadora.
- Opción 3: El regulador de voltaje está colocado al inicio de la alimentadora.
- g. Voltajes: Se debe especificar:
- Los voltajes iniciales por fase asumidos en todas las barras.
 - El voltaje deseado por fase en el barra inicial.
 - El voltaje deseado por fase en la barra regulada - (opciones 2 y 3).

El programa utiliza la técnica de la escalera para solución de circuitos; y parte de un voltaje asumido en la barra final a partir del cual se obtiene un voltaje en la barra inicial que es comparado con el voltaje deseado en dicha barra. De esta comparación se establece un error en base del cual se corrige el voltaje de la barra final y se vuelve a calcular el voltaje de la barra inicial, así sucesivamente se realizan las iteraciones necesarias hasta obtener un error menor que una tolerancia establecida.

2. ENTRADA DE DATOS

Los datos de entrada al computador son: comentarios, datos generales, datos de barra, datos de líneas, datos de la barra inicial, y datos de la barra regulada. Estos datos se especifican en un archivo con los formatos que se indican a continuación.

a. Comentarios:

En las dos primeras líneas del archivo de datos, se detallan los comentarios que el usuario considere necesarios para la identificación del flujo de carga. El formato de cada línea es 12A6.

b. Datos Generales:

Los datos generales se detallan en una línea y constan de lo siguiente:

- Opción
- Cantidad de barras
- Cantidad de líneas
- MVA base
- Tolerancia
- Máximo número de iteraciones
- Ancho de banda del regulador de voltaje en por unidad (cuando no existe regulador de voltaje no debe ser especificado).

El formato de esta línea es el siguiente: I1, 1X, I3, 1X, I3, 1X, F6.2, 1X, F8.6, 1X, I3, 1X, F8.6.

c. Datos de barra:

Los datos de cada barra se detallan en dos líneas. En la primera línea se especifica:

- Número de la barra
- Nombre de la barra
- Código 1 de la barra
- Código 2 de la barra
- Código 3 de la barra

(Estos códigos sirven para definir la clase de la barra y se explican posteriormente)

- Magnitud del voltaje inicial de la fase A
- Angulo del voltaje inicial de la fase A
- Magnitud del voltaje inicial de la fase B
- Angulo del voltaje inicial de la fase B
- Magnitud del voltaje inicial de la fase C
- Angulo del voltaje inicial de la fase C

El formato de esta primera línea es I3, 1X,A6,1X,I1,1X,I3, 1X,I1,1X,F6.3,1X,F7.2,1X,F6.3,1X,F7.2,1X,F6.3,1X,F7.2.

En la segunda línea se especifica:

- La carga en MW y MVAR de la fase A
- La carga en MW y MVAR de la fase B
- La carga en MW y MVAR de la fase C
- La potencia reactiva (MVAR) de los capacitores en la fase A.
- La potencia reactiva (MVAR) de los capacitores de la fase B.
- La potencia reactiva (MVAR) de los capacitores de la fase C.

El formato de esta segunda línea es 3(2(F7.5,1X), (3(F6.3, 1X).

Las barras de la alimentadora tienen tres códigos que sirven para identificar las características de la barra.

A continuación se explican los códigos para cada clase de barra:

- Barra final: es la barra final de la alimentadora y se codifica 2-0-0.
- Barra inicial: es la barra inicial de la alimentadora y se codifica 1-1-0.
- Barra pasante: es una barra que no es ni inicial, ni final, ni origina nuevos ramales; y se codifica 8-0-0.
- Barra regulada: es aquella en la cual el regulador mantendrá un voltaje establecido y se codifica 4-0-0.
- Barra de salida del regulador: es la barra de salida del regulador de voltaje y se codifica 5-0-0.
- Barra inicio de ramal: es una barra en la cual arranca un ramal y se codifica 3-A-0; donde A puede ser 1 o 2 dependiendo si tiene 1 o 2 ramales laterales.
- Barra fin de ramal: es la barra final de un ramal lateral y se codifica 1-B-1 en donde B representa el número de la barra de la cual arranca el ramal.

d) Datos de líneas: Los datos de cada sección de la alimentadora se detallan en tres líneas:

- La primera línea consta de la barra inicial, la barra final, la impedancia propia de la fase A, la impedancia mutua entre las fases A y B, la impedancia mutua entre la fase A y C; el formato de esta línea es -

I3,1X,I3,1X,6(F7.4,1X).

- La segunda línea consta de la impedancia mutua entre la fase B y A, la impedancia propia de la fase B, la impedancia mutua entre la fase B y C; el formato de esta línea es 8X,6(F7.4,1X).
 - La tercera línea consta de la impedancia mutua entre la fase C y A, la impedancia mutua entre la fase B y C; la impedancia propia de la fase C; el formato de esta línea es 8X,6(F7.4,1X). Las impedancias se especifican en valores por unidad.
- e. Datos de la barra inicial: Se especifican en una sola línea y constan de la magnitud del voltaje deseado en la fase A, el ángulo del voltaje deseado en la fase A, la magnitud del voltaje deseado en la fase B, el ángulo de voltaje deseado en la fase B, la magnitud del voltaje deseado en la fase C, el ángulo del voltaje deseado en la fase C; y el formato es el siguiente: F6.3,1X,F7.2,1X,F6.3,1X,F7.2,1X,F6.3,1X,F7.2.
- f. Datos de la barra regulada: Se especifican solo si existe el regulador de voltaje (opción 2 y 3) y constan de: magnitud del voltaje deseado en la fase A, ángulo del voltaje deseado en la fase A, magnitud del voltaje deseado en la fase B, ángulo del voltaje deseado en la

fase B, magnitud del voltaje deseado en la fase C y ángulo del voltaje deseado en la fase C; y el formato es el siguiente: F6.3, 1X, F7.2, 1X, F6.3, 1X, F7.2, 1X, F6.3, 1X, F7.2.

3. SALIDA DE RESULTADOS

El reporte de salida del programa de flujo de carga - incluye lo siguiente:

- a. Listado de los datos de barra
- b. Listado de los datos de línea
- c. Listado de los datos generales y opción escogida
- d. Reporte de los voltajes resultantes de cada barra para las tres fases.
- e. Reporte de los flujos de potencia activa y reactiva, para cada fase, entre las diferentes barras del sistema.
- f. Sumario de carga, pérdidas, MVAR de capacitores y potencia total de la alimentadora para cada fase y en forma global (trifásica); también se reporta el número total de iteraciones y el número de pasos del regulador de voltaje, así como el porcentaje de regulación (opciones 2 y 3).

4. PROCEDIMIENTO DE EJECUCION

El Programa de Flujo de Carga Trifásico (Flurad Fortran)

se encuentra en un disco de acceso común en el computador IBM 4341 del Centro de Computo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y para su ejecución se debe proceder de la siguiente manera:

- a. Ingresar al Sistema IBM 4341, para lo cual se debe solicitar un número de usuario.
- b. Crear el archivo de datos de entrada con un nombre XXX . Data (en donde XXX representa un nombre cualquiera).
- c. Ejecutar la instrucción FLURAD3 XXX YYY (en donde YYY representa un nombre cualquiera).

Los resultados del flujo de carga trifásico se almacenan en un archivo de salida de nombre YYY. RESP3 ; el cual puede ser observado por pantalla o mandado a imprimir.

A P E N D I C E B

FLUJOS DE CARGA DEL EJEMPLO N° 1 - SALIDA DEL
COMPUTADOR

1 PLUG DE CARGA POR FASE EJEMPLO 1
 2 ACOSTO 1955

5 TRANSMISSION LINE AND TRANSFORMER DATA ASSEMBLY

8 GROUP 1 INPUT BASE CONVERTED BASE
 9 0. KV 0 KV
 10 0. MVA 100. MVA

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
LINE	FROM	TO NO	IMPEDANCE	R	X	CHARGING	KVAC	MVA	RATING	TAP	LIMITS	TMIN	TMAX											
1	2		29.50		61.20	.00		0.																
2	3		322.40		295.10	.00		0.																
3	4		400.60		373.80	.00		0.																
3	5		993.50		907.20	.00		0.																

1 FLUJO DE CARGA POR FASE
 2 AGOSTO 1985

EJEMPLO 1

5 BASE CASE BUS DATA ENTERED

BUS	NAME	EA	VOLTAGE		PL	LOAD	CL	PG	GENERATION		VSR LIMITS		CAP/READ
			EQ	00					05	06	QMIN	QMAX	
0	1	MILSUR	2	1.000	.0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0	2	MILAGR	0	1.000	.0	5.129	1.975	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0	3	MARSUC	0	1.000	.0	.643	.250	.000	.000	.000	.000	.000	.300
0	4	SBOLIV	0	1.000	.0	.169	.066	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0	5	MCACAO	0	1.000	.0	.064	.025	.000	.000	.000	.000	.000	.000

1 FLUJO DE CARGA POR FASE
2 AGOSTO 1985

EJEMPLO 1

3 SUMMARY OF GENERATOR DATA

4 (ASTERISKS INDICATE VOLTAGES NOT HELD)

5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
US	GEN NAME	MW	MVAR	VAR LIMITS	DESIRED VOLTAGE	ACTUAL VOLTAGE																											

1	MILSUR	6.16542	2.36942		1.000	1.000																										
---	--------	---------	---------	--	-------	-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

1 SWING MACHINE

EXAMPLE 1

PERCENTAGE ERROR PER CASE
3.0000 1.0000

5.0000

MISCELLANEOUS CONSTANTS

ACTUAL ITERATIONS 10

MAXIMUM ITERATIONS 2000

MINIMUM 1.000

MAXIMUM 1.000000

ACC FACTOR 1.0 1.4

LTC START 1.7 1.4

10

5.000

4.500

1.2

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

LOW VOLTAGE SUMMARY -- BUS VOLTAGES BELOW 0.950

BUS NAME VOLTS ANGLE BUS NAME VOLTS ANGLE

4 1000 0.924 315 5 10000 0.925 315

HIGH VOLTAGE SUMMARY -- BUS VOLTAGES ABOVE 1.05

BUS NAME VOLTS ANGLE BUS NAME VOLTS ANGLE

3 200 1.05 0 4 200 1.05 0

5 10000 1.05 0 6 10000 1.05 0

7 10000 1.05 0 8 10000 1.05 0

9 10000 1.05 0 10 10000 1.05 0

11 10000 1.05 0 12 10000 1.05 0

13 10000 1.05 0 14 10000 1.05 0

15 10000 1.05 0 16 10000 1.05 0

17 10000 1.05 0 18 10000 1.05 0

19 10000 1.05 0 20 10000 1.05 0

21 10000 1.05 0 22 10000 1.05 0

23 10000 1.05 0 24 10000 1.05 0

25 10000 1.05 0 26 10000 1.05 0

27 10000 1.05 0 28 10000 1.05 0

29 10000 1.05 0 30 10000 1.05 0

31 10000 1.05 0 32 10000 1.05 0

33 10000 1.05 0 34 10000 1.05 0

35 10000 1.05 0 36 10000 1.05 0

37 10000 1.05 0 38 10000 1.05 0

39 10000 1.05 0 40 10000 1.05 0

41 10000 1.05 0 42 10000 1.05 0

43 10000 1.05 0 44 10000 1.05 0

45 10000 1.05 0 46 10000 1.05 0

47 10000 1.05 0 48 10000 1.05 0

49 10000 1.05 0 50 10000 1.05 0

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO
 AGOSTO 1985

EJEMPLO 1

 DATOS DE LINEAS

LINEA DE	A	LINEA DE	A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.)		FASES	IMPEDANCIA (P.U.)	
					R	X		R	X
1	2	3	3	AA	0.430260	0.562330	AA	3.713060	4.574100
				AB	0.152230	0.430210	AB	0.753510	1.567750
				AC	0.156140	0.370520	AC	0.773360	1.765660
				BA	0.152230	0.430710	BA	0.753510	1.567750
				BB	0.422620	0.983090	BB	3.674190	4.619560
				BC	0.152230	0.430710	BC	0.753510	1.567750
3	4	5	5	LA	0.156140	0.370520	CA	0.773360	1.762660
				LB	0.152230	0.430710	CB	0.753510	1.567750
				LC	0.430260	0.562330	CC	3.713060	4.504100
				AA	4.725720	5.821580	AA	11.476700	14.138100
				AB	0.959010	2.504410	AB	2.329030	6.082140
				AC	0.984270	2.243360	AC	2.350370	5.448220
4	5	5	5	BA	0.959010	2.504410	BA	2.329030	6.082140
				BB	4.676250	5.879460	BB	11.358600	14.278700
				BC	0.959010	2.504410	BC	2.329030	6.082140
				CA	0.984270	2.243360	CA	2.350370	5.448220
				CB	0.959010	2.504410	CB	2.329030	6.082140
				CC	4.725720	5.821580	CC	11.476700	14.138100

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO
 ACCIO 1985

EJEMPLO 1

 DATOS GENERALES

NÚMERO DE BARRAS 5
 NÚMERO DE LINEAS 4
 MVA BASE 33.33
 TOLERANCIA 0.000100
 NÚMERO MÁXIMO DE ITERACIONES 10

 OPCION

LA OPCION ESCOGIDA ES LA 1 NINGUN REGULADOR DE VOLTAJE

	VOLTAJE (P.U.)					
	FASE A		FASE B		FASE C	
	M	A	M	A	M	A
VOLTAJE CONOCIDO EN LA BARRA INICIAL	1.000	0.00	1.000	-120.00	1.000	120.00

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO EJEMPLO 1
 AGOSTO 1985

 VOLTAJES RESULTANTES DE LAS BARRAS

BARRA	NOMBRE	MAG	FASE	A	MAG	FASE	B	MAG	FASE	C
				ANG			ANG			ANG
1	MILSUR	1.000000		0.0000	0.599997		239.9998	0.999999		120.0000
2	MILAGR	0.566690		-1.6187	0.971095		238.3616	0.973732		118.3070
3	MARSUC	0.934614		-2.5794	0.941783		237.0334	0.945932		117.0182
4	SACLIV	0.924852		-3.1533	0.932744		236.8216	0.937195		116.8002
5	MCACAD	0.925800		-3.1768	0.933625		236.8363	0.938048		116.8157

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO EJEMPLO 1

AUGUSTO 1985

FLUJO DE POTENCIA

ALMBRE		FASE A MW	MVAR	FASE B		FASE C	
				MW	MVAR	MW	MVAR
1	NILSUR HACIA BARRA 2	2.0590	0.7819	2.0485	0.7772	2.0417	0.7760
2	MILAGR DESDE BARRA 1	2.0110	0.6993	2.0100	0.6976	2.0095	0.6965
	HACIA BARRA 3	0.3010	0.0343	0.3000	0.0326	0.2995	0.0315
3	MARSUC DESDE BARRA 2	0.2917	0.0262	0.2916	0.0249	0.2916	0.0241
	HACIA BARRA 4	0.0565	0.0224	0.0565	0.0224	0.0564	0.0224
	HACIA BARRA 5	0.0212	0.0081	0.0212	0.0081	0.0211	0.0081
4	SBOLIV DESDE BARRA 3	0.0560	0.0220	0.0560	0.0220	0.0560	0.0220
5	MCACAG DESDE BARRA 3	0.0210	0.0080	0.0210	0.0080	0.0210	0.0080

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO
 AGCSTC 1985

EJEMPLO 1

 S U M A R I O

	FASE A	FASE B	FASE C	TOTAL TRIFÁSICO
	MW	MW	MW	MW
	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR
POTENCIA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	2.0590	2.0485	2.0417	6.1491
CARGA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.7819	0.7772	0.7760	2.3351
CAPACITORES TOTALES DE LA ALIMENTADORA	2.0010	2.0010	2.0010	6.0030
PERDIDA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.7780	0.7780	0.7780	2.3340
	0.0874	0.0887	0.0855	0.2655
	0.0580	0.0475	0.0407	0.1461
	0.0912	0.0879	0.0875	0.2667

 NUMERO TOTAL DE ITERACIONES

5

A P E N D I C E C

FLUJOS DE CARGA DEL EJEMPLO N° 2 - SALIDA DEL
COMPUTADOR .

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

FLUJO DE CARGA ACCESO 1985 EJEMPLO 2 CASO BASE

 DATOS DE BARRA

NOMBRE	CLASE	VOLTAJES (P.U.)			POTENCIA (MW/MVAR)			CONDENSADORES (MVAR)		
		FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C
1 CENTRA	2 0 0	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2 A-CARR	3 1 0	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3 A-CARR	3 1 0	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4 GARGAN	1 3 1	1.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5 CARRIZ	1 2 1	1.000	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6 MARISC	3 1 0	1.000	1.000	1.000	0.300	0.280	0.130	0.100	0.100	0.100
7 A-LIBE	3 1 0	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8 LIBERT	1 7 1	1.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9 A-VICT	3 1 0	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10 VICTOR	1 9 1	0.000	1.000	0.000	0.000	0.010	0.005	0.000	0.000	0.000
11 SIMONB	3 1 0	1.000	1.000	1.000	0.040	0.020	0.020	0.000	0.000	0.000
12 UTILTA	1 11 1	1.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13 SOGMIN	1 6 1	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14 GARAIC	8 0 0	1.000	1.000	1.000	0.030	0.015	0.015	0.000	0.000	0.000
15 A-INES	3 1 0	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16 INESMA	1 15 1	1.000	0.000	0.000	0.020	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
17 A-PICC	3 1 0	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18 RIUCHI	8 0 0	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19 BELLAL	1 17 1	0.000	1.000	0.000	0.000	0.010	0.005	0.000	0.000	0.000
20 MATADE	1 1 0	1.000	1.000	1.000	0.040	0.030	0.015	0.020	0.000	0.000

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA AGUSTO 1985 EJEMPLO 2 CASO BASE

 DATOS DE LINEAS

LINEA DE	LINEA A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.) K	IMPEDANCIA (P.U.) X	LINEA DE	LINEA A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.) R	IMPEDANCIA (P.U.) X				
1	2	AA	1.106770	1.363420	2	3	AA	1.561270	1.167170				
		AB	C-22457C	C-586530			AB	0.000000	0.000000				
		AC	C-23051C	C-525410			AC	0.000000	0.000000				
		EA	0.22457C	0.586530			BA	0.000000	0.000000				
		EB	1.09518C	1.376580			BB	0.000000	0.000000				
		EC	0.22457C	0.586530			BC	0.000000	0.000000				
		CA	0.230510	0.525400			CA	0.000000	0.000000				
		CB	0.224570	0.586530			CB	0.000000	0.000000				
		CC	0.106770	1.363420			CC	0.000000	0.000000				
		3	4	AA			1.873530	1.400610	3	5	AA	3.124550	2.334350
				AB			0.000000	0.000000			AB	0.000000	0.000000
				AC			0.000000	0.000000			AC	0.000000	0.000000
BA	0.000000			0.000000	BA	0.000000	0.000000						
BB	0.000000			0.000000	BB	0.000000	0.000000						
BC	0.000000			0.000000	BC	0.000000	0.000000						
CA	0.000000			0.000000	CA	0.000000	0.000000						
CB	0.000000			0.000000	CB	0.000000	0.000000						
CC	0.000000			0.000000	CC	0.000000	0.000000						
2	6			AA	2.582460	3.181320	6	7			AA	1.660150	2.045130
				AB	0.524070	1.368590					AB	0.336900	0.879810
				AC	0.537870	1.225540					AC	0.345770	0.788100
		BA	0.524070	1.368590	BA	0.336910			0.879810				
		BB	2.555430	3.212950	BB	1.642770			2.065470				
		BC	0.524070	1.368590	BC	0.336910			0.879810				
		CA	0.537870	1.225540	CA	0.345770			0.788100				
		CB	0.524070	1.368590	CB	0.336910			0.879810				
		CC	2.582460	3.181320	CC	1.660150			2.045130				
		7	8	AA	1.873530	1.400610			7	9	AA	1.660150	2.045130
				AB	0.000000	0.000000					AB	0.336910	0.879810
				AC	0.000000	0.000000					AC	0.345770	0.788100
EA	0.000000			0.000000	BA	0.336910	0.879810						
EB	0.000000			0.000000	BB	1.642770	2.065470						
EC	0.000000			0.000000	BC	0.336910	0.879810						
CA	0.000000			0.000000	CA	0.345770	0.788100						
CB	0.000000			0.000000	CB	0.336910	0.879810						
CC	0.000000			0.000000	CC	1.660150	2.045130						

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICA PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

LINEA DE	FASES	IMPEDANCIA (P.U.) K	LINEA DE	FASES	IMPEDANCIA (P.U.) K	IMPEDANCIA (P.L.) X
9	10	AA	9	11	AA	1.475690
	AB	0.000000		AB	0.259470	0.817500
	AC	0.000000		AC	0.367350	0.700540
	BA	0.000000		BA	0.259470	0.782050
	BB	4.371570		BB	1.466240	1.835970
	BC	0.000000		BC	0.299470	0.782050
11	12	AA	11	13	AA	0.000000
	AB	3.747060		AB	0.000000	0.000000
	AC	0.000000		AC	0.000000	0.000000
	BA	0.000000		BA	0.000000	0.000000
	BB	0.000000		BB	0.000000	0.000000
	BC	0.000000		BC	0.000000	0.000000
6	14	AA	14	15	AA	1.291230
	AB	4.058160		AB	0.262030	1.590660
	AC	0.845220		AC	0.269360	0.612970
	BA	0.823540		BA	0.262030	0.684290
	BB	4.015660		BB	1.277710	1.606470
	BC	0.823540		BC	0.262030	0.684290
15	16	AA	15	17	AA	1.291230
	AB	2.810290		AB	0.262030	1.590660
	AC	0.000000		AC	0.268930	0.612970
	BA	0.000000		BA	0.262030	0.684290
	BB	0.000000		BB	1.277710	1.606470
	BC	0.000000		BC	0.262030	0.684290

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

LINEA DE	A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.)		LINEA DE	A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.)					
			R	X				R	X				
17	18	AA	0.000000	0.000000	18	19	AA	0.000000	0.000000				
		AB	0.000000	0.000000			AB	0.000000	0.000000				
		AC	0.000000	0.000000			AC	0.000000	0.000000				
		BA	0.000000	0.000000			BA	0.000000	0.000000				
		BB	1.249020	0.933740			BB	1.873530	1.400610				
		BC	0.000000	0.000000			BC	0.000000	0.000000				
		CA	0.000000	0.000000			CA	0.000000	0.000000				
		CB	0.000000	0.000000			CB	0.000000	0.000000				
		CC	0.000000	0.000000			CC	0.000000	0.000000				
		17	20	AA			1.106770	1.363420					
				AB			0.224600	0.586530					
				AC			0.230510	0.525400					
BA	0.224600			0.586530									
BB	1.095180			1.376580									
BC	0.224600			0.586530									
CA	0.230510			0.525400									
CB	0.224600	0.586530											
CC	1.106770	1.363420											

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLEJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLEJO DE CARGA EJEMPLU 2 CASO BASE
 AGUSTO 1985

 DATOS GENERALES

NUMERO DE BARRAS 20
 NUMERO DE LINEAS 15
 PVA BASE 33.33
 ILLENALCIA 0.000000
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 2

 OPCION

LA OPCION ESCOGIDA ES LA 1 NINGUN REGULADOR DE VOLTAJE

			VOLTAJE (P.U.)		
	FASE A	FASE B	FASE C		
	M	M	M	A	A
VOLTAJE CALCULO EN LA BARRA INICIAL	1.000	0.00	1.000	-120.00	1.000 120.00

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA CASO BASE
 AGOSTO 1985 EJEMPLO 2

 V O L T A J E S R E S U L T A N T E S D E L A S B A R R A S

BARRA	NOMBRE	FASE A		FASE B		FASE C	
		MAG	ANG	MAG	ANG	MAG	ANG
1	CENTRA	0.999998	0.0012	0.999961	240.0019	0.999999	120.0002
2	A-CARA	0.978560	-0.4484	0.987812	239.5032	1.000540	115.6087
3	A-GARA	0.976266	-0.5142	0.000000	0.0000	0.000000	0.0000
4	BARCAN	0.975100	-0.5284	0.000000	0.0000	0.000000	0.0000
5	CARRIZ	0.973622	-0.5421	0.000000	0.0000	0.000000	0.0000
6	MARISC	0.973247	-1.5653	0.958077	238.3191	0.976416	118.9555
7	A-LIBE	0.928658	-1.6751	0.955602	238.2580	0.973501	118.9321
8	LIBERT	0.927431	-1.6909	0.000000	0.0000	0.000000	0.0000
9	A-VICT	0.925338	-1.7276	0.952643	238.2049	0.970671	118.8818
10	VICTOR	0.000000	0.0000	0.950747	238.1843	0.000000	0.0000
11	SIMONB	0.922453	-1.7525	0.950755	238.1786	0.967876	118.8423
12	CFILIA	0.920775	-1.8113	0.000000	0.0000	0.000000	0.0000
13	SDLRIN	0.000000	0.0000	0.000000	0.0000	0.966278	118.8253
14	GARALC	0.915835	-1.8065	0.947779	237.9543	0.971404	118.9677
15	A-INES	0.911859	-1.8535	0.945894	237.8622	0.971120	118.9549
16	INESMA	0.909311	-1.8623	0.000000	0.0000	0.000000	0.0000
17	A-RIOC	0.909261	-1.8615	0.943495	237.7794	0.970912	118.9534
18	RICCHI	0.000000	0.0000	0.942402	237.7675	0.000000	0.0000
19	BELLAL	0.000000	0.0000	0.941581	237.7585	0.000000	0.0000
20	MATADE	0.907128	-1.8560	0.942609	237.7380	0.970311	119.0006

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 2 CASO BASE
 AGOSTO 1985

 F L U J O D E P O T E N C I A

NOMBRE		FASE A		FASE B		FASE C	
		MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	CENTRA						
	HACIA BARRA 2	0.5217	0.1835	0.4254	0.1324	0.3678	0.0939
2	A-CARR						
	DESDE BARRA 1	0.5120	0.1752	0.4214	0.1271	0.3686	0.0914
	HACIA BARRA 3	0.0351	0.0171	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 6	0.4765	0.1581	0.4214	0.1271	0.3686	0.0914
3	A-GARG						
	DESDE BARRA 2	0.0351	0.0170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 4	0.0150	0.0070	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 5	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	GARGAN						
	DESDE BARRA 3	0.0150	0.0070	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	CARRIZ						
	JESDE BARRA 3	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	MARISC						
	DESDE BARRA 2	0.4576	0.1420	0.4111	0.1148	0.3607	0.0851
	HACIA BARRA 7	0.0656	0.0325	0.0503	0.0253	0.0504	0.0253
	HACIA BARRA 14	0.0920	0.0466	0.0808	0.0413	0.0503	0.0251
7	A-LIBE						
	DESDE BARRA 6	0.0653	0.0323	0.0502	0.0252	0.0503	0.0252
	HACIA BARRA 6	0.0150	0.0070	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 5	0.0503	0.0253	0.0502	0.0252	0.0503	0.0252
8	LIBERT						
	DESDE BARRA 7	0.0150	0.0070	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	A-VICI						
	DESDE BARRA 7	0.0501	0.0251	0.0501	0.0251	0.0501	0.0251
	HACIA BARRA 10	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 11	0.0501	0.0251	0.0401	0.0201	0.0501	0.0251

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE		FASE A		FASE B		FASE C	
		MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
10	VICTOR						
	DESDE BARRA 9	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
11	SIMONE						
	DESDE BARRA 9	0.0500	0.0250	0.0400	0.0200	0.0500	0.0250
	HACIA BARRA 12	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050
12	CILLIA						
	DESDE BARRA 11	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	SCUMIN						
	DESDE BARRA 11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050
14	GARAIC						
	DESDE BARRA 6	0.0905	0.0454	0.0802	0.0403	0.0500	0.0250
	HACIA BARRA 15	0.0605	0.0304	0.0502	0.0253	0.0200	0.0100
15	A-INES						
	DESDE BARRA 14	0.0602	0.0302	0.0501	0.0252	0.0200	0.0100
	HACIA BARRA 16	0.0201	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 17	0.0402	0.0201	0.0501	0.0252	0.0200	0.0100
16	INESMA						
	DESDE BARRA 15	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
17	A-RICC						
	DESDE BARRA 15	0.0401	0.0201	0.0500	0.0251	0.0200	0.0100
	HACIA BARRA 18	0.0000	0.0000	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 20	0.0401	0.0201	0.0300	0.0150	0.0200	0.0100
18	RICCHI						
	DESDE BARRA 17	0.0000	0.0000	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 15	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFASICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

	NOMBRE			FASE A		FASE B		FASE C		
				MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	
19	BELLAL	DESDE	BARRA	18	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
20	MATADE	DESDE	BARRA	17	0.0400	0.0200	0.0300	0.0150	0.0200	0.0100

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 2 CASO BASE
 AGOSTO 1985

 S U M A R I O

	FASE A MW	MVAR	FASE B MW	MVAR	FASE C MW	MVAR	TOTAL TRIFÁSICO MW	MVAR
PTENCIA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.5217	0.1835	0.4254	0.1324	0.3678	0.0939	1.3149	0.4098
CARGA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.4900	0.2440	0.4100	0.2050	0.3600	0.1800	1.2600	0.6290
CAPACITORES TOTALES DE LA ALIMENTADORA		0.0871		0.0918		0.0953		0.2742
PERDIDA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.0317	0.0266	0.0154	0.0192	0.0078	0.0092	0.0549	0.0550

 NUMERO TOTAL DE ITERACIONES 5

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFASICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

FLUJO DE CARGA
 AGCSTC 1985

EJEMPLO 2

CASO MODIFICADO

 DATOS DE LINEAS

LINEA DE	A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.)		LINEA DE	A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.)	
			R	X				R	X
1	2	AA	1.106770	1.363420	2	3	AA	1.561270	1.167170
		AB	0.224570	0.586530			AB	0.000000	0.000000
		AC	0.230510	0.525410			AC	0.000000	0.000000
		BA	0.224570	0.586530			BA	0.000000	0.000000
		BB	1.095180	1.376980			BB	0.000000	0.000000
		BC	0.224570	0.586530			BC	0.000000	0.000000
		CA	0.230510	0.525400			CA	0.000000	0.000000
		CB	0.224570	0.586530			CB	0.000000	0.000000
		CC	0.106770	1.363420			CC	0.000000	0.000000
3	4	AA	1.873530	1.400610	3	5	AA	3.122550	2.334350
		AB	0.000000	0.000000			AB	0.000000	0.000000
		AC	0.000000	0.000000			AC	0.000000	0.000000
		BA	0.000000	0.000000			BA	0.000000	0.000000
		BB	0.000000	0.000000			BB	0.000000	0.000000
		BC	0.000000	0.000000			BC	0.000000	0.000000
		CA	0.000000	0.000000			CA	0.000000	0.000000
		CB	0.000000	0.000000			CB	0.000000	0.000000
		CC	0.000000	0.000000			CC	0.000000	0.000000
2	6	AA	2.582460	3.181320	6	7	AA	1.660150	2.045130
		AB	0.524070	1.368590			AB	0.336900	0.879810
		AC	0.537870	1.225940			AC	0.345770	0.788100
		BA	0.524070	1.368590			BA	0.336910	0.879810
		BB	2.555430	3.212950			BB	1.642770	2.065470
		BC	0.524070	1.368590			BC	0.336910	0.879810
		CA	0.537870	1.223540			CA	0.345770	0.788100
		CB	0.524070	1.368590			CB	0.336910	0.879810
		CC	2.582460	3.181320			CC	1.660150	2.045130
7	8	AA	0.000000	0.000000	7	9	AA	1.660150	2.045130
		AB	0.000000	0.000000			AB	0.336910	0.879810
		AC	0.000000	0.000000			AC	0.345770	0.788100
		BA	0.000000	0.000000			BA	0.336910	0.879810
		BB	0.000000	0.000000			BB	1.642770	2.065470
		BC	0.000000	0.000000			BC	0.336910	0.879810
		CA	0.000000	0.000000			CA	0.345770	0.788100
		CB	0.000000	0.000000			CB	0.336910	0.879810
		CC	1.873530	1.400610			CC	1.660150	2.045130

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFASICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

LINEA DE	LINEA A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.)		LINEA DE	LINEA A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.)	
			R	X				R	X
17	18	AA	0.000000	0.000000	18	19	AA	0.000000	0.000000
		AB	0.000000	0.000000			AB	0.000000	0.000000
		AC	0.000000	0.000000			AC	0.000000	0.000000
		BA	0.000000	0.000000			BA	0.000000	0.000000
		BB	1.249020	0.933740			BB	1.873530	1.400610
		BC	0.000000	0.000000			BC	0.000000	0.000000
		CA	0.000000	0.000000			CA	0.000000	0.000000
		CB	0.000000	0.000000			CB	0.000000	0.000000
		CC	0.000000	0.000000			CC	0.000000	0.000000
17	20	AA	1.106770	1.363420					
		AB	0.224600	0.586530					
		AC	0.230510	0.525400					
		BA	0.224600	0.586530					
		BB	1.095180	1.376580					
		BC	0.224600	0.586530					
		CA	0.230510	0.525400					
		CB	0.224600	0.586530					
		CC	1.106770	1.363420					

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITICHE
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 2 CASO MODIFICADO
 ACCSIC 1525

 DATOS GENERALES

NUMERO DE BARRAS 20
 NUMERO DE LINEAS 15
 MVA BASE 33.33
 TOLERANCIA 0.000100
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 8

 OPCION

LA OPCION ESCOGIDA ES LA 1 NINGUN REGULADOR DE VOLTAJE

VOLTAJE (P.U.)

	FASE A	FASE B	FASE C
	M A	M A	M A
VOLTAJE CONDICION EN LA BARRA INICIAL	1.000	0.00	1.000
		1.000 -120.00	1.000 120.00

ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITIGRAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 2 CASO MODIFICADO
 AUGUSTO 1965

VOLTAJES RESULTANTES DE LAS BARRAS

BARRA	ACERRE	MAG	FASE A	ANG	MAG	FASE B	ANG	MAG	FASE C	ANG
1	CENTRA	0.995989		-0.0018	0.999991		239.9976	0.999949		119.9973
2	A-CARR	0.985086		-0.4145	0.985661		239.8292	0.998463		119.3244
3	A-GARG	0.982807		-0.4359	0.000000		0.0000	0.000000		0.0000
4	GARGAN	0.981648		-0.4590	0.000000		0.0000	0.000000		0.0000
5	CARRIZ	0.980180		-0.4675	0.000000		0.0000	0.000000		0.0000
6	MARISC	0.954909		-1.2554	0.950717		238.7560	0.964129		118.1834
7	A-LIBE	0.953271		-1.3411	0.947209		238.7586	0.959205		118.0545
8	LIBERT	0.000000		0.0000	0.000000		0.0000	0.958017		118.0398
9	A-VICT	0.951213		-1.3740	0.943813		238.7324	0.955511		117.9602
10	VICTOR	0.000000		0.0000	0.941900		238.7115	0.000000		0.0000
11	SIVONE	0.949449		-1.4210	0.941543		238.7306	0.951946		117.8810
12	UTILLA	0.000000		0.0000	0.000000		0.0000	0.950320		117.8633
13	SDWIN	0.000000		0.0000	0.000000		0.0000	0.950320		117.8633
14	CARRIC	0.946530		-1.3789	0.937239		238.5809	0.953073		117.8865
15	A-INES	0.945359		-1.3812	0.934364		238.5460	0.950905		117.8164
16	INESMA	0.000000		0.0000	0.000000		0.0000	0.948463		117.7859
17	A-RICC	0.943746		-1.3731	0.931596		238.4857	0.950058		117.7818
18	RICCHI	0.000000		0.0000	0.930489		238.4734	0.000000		0.0000
19	BELLAL	0.000000		0.0000	0.929658		238.4842	0.000000		0.0000
20	MATADE	0.942460		-1.3931	0.930373		238.4641	0.948859		117.7559

ESUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFASICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

FLUJO DE CARGA ACCSIC 1985 EJEMPLO 2 CASO MODIFICADO

FLUJO DE POTENCIA

NOMBRE		FASE A		FASE B		FASE C	
		MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	CENTRA						
	HACIA BARRA 2	0.4319	0.1308	0.4304	0.1314	0.4485	0.1449
2	A-CARR						
	DESDE BARRA 1	0.4263	0.1257	0.4251	0.1268	0.4495	0.1394
	HACIA BARRA 3	0.0351	0.0171	0.0300	0.0300	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 6	0.3912	0.1086	0.4251	0.1268	0.4495	0.1394
3	A-GARG						
	DESDE BARRA 2	0.0351	0.0170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 4	0.0150	0.0070	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 5	0.0260	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	GARGAN						
	DESDE BARRA 3	0.0150	0.0070	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	CARRIZ						
	DESDE BARRA 3	0.0260	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	MARISC						
	DESDE BARRA 2	0.3808	0.0994	0.4118	0.1160	0.4366	0.1260
	HACIA BARRA 7	0.0462	0.0202	0.0505	0.0253	0.0757	0.0378
	HACIA BARRA 14	0.0606	0.0304	0.0814	0.0411	0.0809	0.0411
7	A-LIBE						
	DESDE BARRA 6	0.0401	0.0201	0.0503	0.0252	0.0754	0.0374
	HACIA BARRA 8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0150	0.0070
	HACIA BARRA 5	0.0401	0.0201	0.0503	0.0252	0.0604	0.0304
8	LIBERT						
	DESDE BARRA 7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0150	0.0070
9	A-VICT						
	DESDE BARRA 7	0.0401	0.0201	0.0501	0.0251	0.0602	0.0302
	HACIA BARRA 10	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 11	0.0401	0.0201	0.0401	0.0200	0.0602	0.0302

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE		FASE A		FASE B		FASE C	
		MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
10	VICICR						
	DESDE BARRA 5	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
11	SIMCMB						
	DESDE BARRA 5	0.0400	0.0200	0.0400	0.0200	0.0600	0.0300
	HACIA BARRA 12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050
	HACIA BARRA 13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050
12	OTILIA						
	DESDE BARRA 11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050
13	SEGMIN						
	DESDE BARRA 11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050
14	GARAIC						
	DESDE BARRA 6	0.0601	0.0301	0.0803	0.0403	0.0802	0.0402
	HACIA BARRA 15	0.0301	0.0151	0.0503	0.0253	0.0502	0.0252
15	A-INES						
	DESDE BARRA 14	0.0301	0.0151	0.0502	0.0252	0.0501	0.0251
	HACIA BARRA 16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0200	0.0100
	HACIA BARRA 17	0.0301	0.0151	0.0502	0.0252	0.0300	0.0151
16	INESMA						
	DESDE BARRA 15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0200	0.0100
17	A-RICC						
	DESDE BARRA 15	0.0300	0.0150	0.0501	0.0251	0.0300	0.0150
	HACIA BARRA 18	0.0000	0.0000	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 20	0.0300	0.0150	0.0300	0.0150	0.0300	0.0150
18	RICCHI						
	DESDE BARRA 17	0.0000	0.0000	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 19	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFASICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

NOMBRE			FASE A		FASE B		FASE C		
			MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	
19 BELLAL	DESDE	BARRA	18	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
20 MATACE	DESDE	BARRA	17	0.0300	0.0150	0.0300	0.0150	0.0300	0.0150

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 2 CASO MODIFICADO
 AGCSIC 1985

 S U M A R I O

	FASE A MW	MVAR	FASE B MW	MVAR	FASE C MW	MVAR	TOTAL TRIFÁSICO MW	MVAR
PTENCIA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.4319	0.1308	0.4304	0.1314	0.4485	0.1449	1.3108	0.4070
CARGA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.4150	0.2070	0.4100	0.2050	0.4350	0.2170	1.2600	0.6290
CAPACITORES TOTALES DE LA ALIMENTADORA		0.0912		0.0904		0.0930		0.2745
PERDIDA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.0169	0.0149	0.0204	0.0168	0.0135	0.0209	0.0508	0.0526

 NUMERO TOTAL DE ITERACIONES 4

A P E N D I C E D

FLUJOS DE CARGA DEL EJEMPLO N° 3 - SALIDA DEL
COMPUTADOR .

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA AGOSTO 1985 EJEMPLO 3 CASO BASE

 DATOS DE LINEAS

LINEA DE	LINEA A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.)		LINEA DE	LINEA A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.)	
			R	X				R	X
1	2	AA	0.956160	2.138600	2	3	AA	2.795570	4.402090
		AB	0.338310	0.957160			AB	0.672010	1.794610
		AC	0.347000	0.623400			AC	0.689690	1.550900
		BA	0.338310	0.957160			BA	0.672010	1.794610
		BB	0.939200	2.184730			BB	2.761040	4.477630
		BC	0.338310	0.957160			BC	0.672010	1.794610
3	4	CA	0.347000	0.823400	CA	0.689690	1.550900		
		CB	0.338310	0.957160	CB	0.672010	1.794610		
		CC	0.956160	2.138600	CC	2.795570	4.402090		
		AA	0.300000	0.000000	AA	2.205680	3.473210		
		AB	0.000000	0.000000	AB	0.530210	1.415930		
		AC	0.000000	0.000000	AC	0.544160	1.230110		
5	6	BA	0.000000	0.000000	BA	0.530210	1.415930		
		BB	0.628370	0.462350	BB	2.178430	3.532810		
		BC	0.076830	0.175130	BC	0.530210	1.415930		
		CA	0.000000	0.000000	CA	0.544160	1.230110		
		CB	0.676830	0.175130	CB	0.530210	1.415930		
		CC	0.628370	0.462350	CC	2.205680	3.473210		
7	8	AA	2.490040	1.863480	AA	1.410610	2.221240		
		AB	0.000000	0.000000	AB	0.339090	0.905530		
		AC	0.000000	0.000000	AC	0.348010	0.786700		
		BA	0.000000	0.000000	BA	0.339090	0.905530		
		BB	0.000000	0.000000	BB	1.393180	2.259350		
		BC	0.000000	0.000000	BC	0.339090	0.905530		
8	9	CA	0.000000	0.000000	CA	0.339090	0.905530		
		CB	0.000000	0.000000	CB	0.339090	0.905530		
		CC	0.000000	0.000000	CC	1.410610	2.221240		
		AA	0.314180	0.231170	AA	0.942560	0.693520		
		AB	0.038410	0.087560	AB	0.115250	0.262700		
		AC	0.000000	0.000000	AC	0.000000	0.000000		
9	0	BA	0.038410	0.087560	BA	0.115250	0.262700		
		BB	0.314180	0.231170	BB	0.542560	0.693520		
		BC	0.000000	0.000000	BC	0.000000	0.000000		
		CA	0.000000	0.000000	CA	0.000000	0.000000		
		CB	0.000000	0.000000	CB	-0.000000	0.000000		
		CC	0.000000	0.000000	CC	0.000000	0.000000		

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFASICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

LINEA DE	LINEA A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.) R	IMPEDANCIA (P.U.) X	LINEA DE	LINEA A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.) R	IMPEDANCIA (P.U.) X
9	10	AA	0.754040	0.554820	9	11	AA	0.628370	0.462350
		AB	0.092200	0.210160			AB	0.076830	0.175130
		AC	0.000000	0.000000			AC	0.000000	0.000000
		BA	0.092200	0.210160			BA	0.076830	0.175130
		BB	0.754040	0.554820			BB	0.628370	0.462350
		BC	0.000000	0.000000			BC	0.000000	0.000000
7	12	CA	0.000000	0.000000	CA	0.000000	0.000000		
		CB	0.000000	0.000000	CB	0.000000	0.000000		
		CC	0.000000	0.000000	CC	0.000000	0.000000		
		AA	0.664060	0.818050	AA	0.184460	0.227230		
		AB	0.134760	0.351920	AB	0.037430	0.057750		
		AC	0.133310	0.315240	AC	0.038420	0.087500		
12	14	BA	0.134760	0.351920	BA	0.037430	0.057750		
		BB	0.657110	0.826180	BB	0.182530	0.229890		
		BC	0.134760	0.351920	BC	0.037430	0.057750		
		CA	0.138310	0.315240	CA	0.038420	0.087500		
		CB	0.134760	0.351920	CB	0.037430	0.057750		
		CC	0.664060	0.818050	CC	0.184460	0.227230		
12	14	AA	1.475690	1.817890	AA	2.582460	3.181320		
		AB	0.299470	0.782050	AB	0.520740	1.368580		
		AC	0.307360	0.700530	AC	0.537870	1.225940		
		BA	0.299470	0.782050	BA	0.524070	1.368580		
		BB	1.460240	1.835470	BB	2.555430	3.212950		
		BC	0.299470	0.782050	BC	0.524070	1.368580		
12	14	CA	0.307360	0.700530	CA	0.537870	1.225940		
		CB	0.299470	0.782050	CB	0.524070	1.368580		
		CC	1.475690	1.817890	CC	2.582460	3.181320		

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 3 CASO BASE
 AGUSTO 1985

 DATOS GENERALES

NUMERO DE BARRAS 15
 NUMERO DE LINEAS 14
 MVA BASE 33.33
 TOLERANCIA 0.000100
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 8

 OPCION

LA OPCION ESCOGIDA ES LA 1 NINGUN REGULADOR DE VOLTAJE

	VOLTAJE (P.U.)					
	FASE A M	FASE A A	FASE B M	FASE B A	FASE C M	FASE C A
VOLTAJE CONDICION EN LA BARRA INICIAL	1.000	0.00	1.000	-120.00	1.000	120.00

ESUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITCRAL
 FLUJO DE CARGA TRIFASICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 3 CASO BASE
 AGUSTO 1965

VOLTAJES RESULTANTES DE LAS BARRAS

BARRA	NOMBRE	MAG	FASE	A	ANG	MAG	FASE	B	ANG	MAG	FASE	C	ANG
1	SCURAN	1.000068			0.0017	0.999997			240.0009	0.999984			119.9993
2	ENRITOS	0.977156			-0.7489	0.981396			239.1105	0.985707			119.2817
3	A.AURO	0.939037			-1.5352	0.949866			238.0844	0.962652			118.6232
4	AURORA	0.000000			0.0000	0.949503			238.0856	0.962447			118.6191
5	A.GOME	0.909707			-2.1590	0.927427			237.2656	0.946062			118.1623
6	GOMEZ	0.507437			-2.2247	0.000000			0.0000	0.000000			0.0000
7	A.CARM	0.893294			-2.5641	0.913046			236.7574	0.935448			117.8910
8	CARMEN	0.852844			-2.5623	0.912724			236.7505	0.000000			0.0000
9	A.GUAK	0.891943			-2.5585	0.912078			236.7368	0.000000			0.0000
10	GUAREF	0.891583			-2.5570	0.911820			236.7313	0.000000			0.0000
11	GUACHA	0.891643			-2.5572	0.911863			236.7323	0.000000			0.0000
12	A.TARI	0.887429			-2.6498	0.907399			236.6457	0.930557			117.7948
13	TARIFA	0.837269			-2.6489	0.907162			236.6442	0.930503			117.7915
14	SAMBUR	0.876295			-2.8331	0.897311			236.4611	0.921097			117.6141
15	VICTOR	0.875211			-2.8512	0.896330			236.4425	0.920173			117.5964

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE		FASE A		FASE B		FASE C	
		MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
10	GUAREF						
	DESDE BARRA 5	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
11	GUACHA						
	DESDE BARRA 9	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
12	A.TARI						
	DESDE BARRA 7	0.2120	0.1067	0.2217	0.1116	0.2116	0.1065
	HACIA BARRA 13	0.0200	0.0100	0.0300	0.0150	0.0200	0.0100
	HACIA BARRA 14	0.1820	0.0917	0.1817	0.0916	0.1816	0.0915
13	TARIFA						
	DESDE BARRA 12	0.0200	0.0100	0.0300	0.0150	0.0200	0.0100
14	SAMBCR						
	DESDE BARRA 12	0.1800	0.0900	0.1800	0.0900	0.1800	0.0900
	HACIA BARRA 15	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050
15	VICTOR						
	DESDE BARRA 14	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 3 CASO BASE
 AGOSTO 1985

 F L U J O D E P O T E N C I A

NUMBRE	FASE A MW	MVAR	FASE B MW	MVAR	FASE C MW	MVAR	
							FASE A MW
1 SCURAN	HACIA BARRA 2	0.5122	0.2749	0.5021	0.2745	0.4553	0.2406
2 ENRIOS	DESDE BARRA 1	0.5035	0.2620	0.4969	0.2617	0.4518	0.2315
	HACIA BARRA 3	0.3039	0.1650	0.2969	0.1647	0.2518	0.1345
3 A.AURC	DESDE BARRA 2	0.2942	0.1545	0.2902	0.1542	0.2474	0.1285
	HACIA BARRA 4	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050
	HACIA BARRA 5	0.2842	0.1495	0.2702	0.1442	0.2274	0.1185
4 AURGRA	DESDE BARRA 3	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050
5 A.GCME	DESDE BARRA 3	0.2770	0.1416	0.2657	0.1371	0.2244	0.1147
	HACIA BARRA 6	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 7	0.2470	0.1266	0.2557	0.1321	0.2144	0.1057
6 GCMEZ	DESDE BARRA 5	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7 A.CARM	DESDE BARRA 5	0.2433	0.1228	0.2529	0.1278	0.2125	0.1074
	HACIA BARRA 8	0.0300	0.0150	0.0300	0.0150	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 12	0.2132	0.1078	0.2229	0.1127	0.2125	0.1074
8 CARMEN	DESDE BARRA 7	0.0300	0.0150	0.0300	0.0150	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 5	0.0200	0.0100	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000
9 A.GLAR	DESDE BARRA 8	0.0200	0.0100	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 10	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
	HACIA BARRA 11	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA
 AGOSTO 1985

EJEMPLO 3

CASO BASE

 S U M A R I O

	FASE A	FASE B	FASE C	TOTAL TRIFÁSICO				
	MW	MVAR	MW	MVAR				
POTENCIA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.5122	0.2749	0.5021	0.2745	0.4553	0.2406	1.4696	0.7899
CARGA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.4800	0.2370	0.4800	0.2370	0.4400	0.2170	1.4000	0.6910
CAPACITORES TOTALES DE LA ALIMENTADORA		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000
PERDIDA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.0322	0.0379	0.0221	0.0375	0.0153	0.0236	0.0696	0.0989

 NUMERO TOTAL DE ITERACIONES

5

ESCUOLA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITIGRAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICA PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 3 CASO MODIFICADO
 AGOSTO 1985

DATOS DE LINEAS

LINEA DE	FASES	IMPEDANCIA (P.U.) R	LINEA DE	FASES	IMPEDANCIA (P.U.) R
1	AA	0.956160	2	AA	2.795570
	AB	0.338310		AB	0.672010
	AC	0.347000		AC	0.689650
	EA	0.338310		BA	1.794610
	EB	0.939200		BB	2.761040
	BC	0.338310		BC	0.672010
	CA	0.347000		CA	1.559090
	CB	0.338310		CB	1.794610
	CC	0.956160		CC	4.402090
3	AA	0.000000	3	AA	0.000000
	AB	0.000000		AB	0.000000
	AC	0.000000		AC	0.000000
	EA	0.000000		BA	0.000000
	EB	0.000000		BB	0.000000
	BC	0.076830		BC	0.000000
	CA	0.000000		CA	0.000000
	CB	0.076830		CB	0.000000
	CC	0.628370		CC	0.000000
16	AA	0.000000	17	AA	2.205680
	AB	0.000000		AB	0.530210
	AC	0.000000		AC	0.544160
	EA	0.000000		BA	0.530210
	EB	0.000000		BB	2.178440
	BC	0.000000		BC	0.530210
	CA	0.000000		CA	0.544160
	CB	0.000000		CB	0.530210
	CC	0.000000		CC	2.205680
18	AA	0.000000	18	AA	3.473240
	AB	0.000000		AB	1.415930
	AC	0.000000		AC	1.230110
	EA	0.000000		BA	1.415930
	EB	0.000000		BB	3.532810
	BC	0.000000		BC	1.415930
	CA	0.000000		CA	1.230110
	CB	0.000000		CB	1.415930
	CC	0.000000		CC	3.473240
5	AA	0.000000	5	AA	2.498040
	AB	0.000000		AB	0.000000
	AC	0.000000		AC	0.000000
	EA	0.000000		BA	0.000000
	EB	0.000000		BB	0.000000
	BC	0.000000		BC	0.000000
	CA	0.000000		CA	0.000000
	CB	0.000000		CB	0.000000
	CC	0.000000		CC	0.000000

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFASICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

LINEA DE	A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.)		LINEA DE	A	FASES	IMPEDANCIA (P.U.)	
			R	X				R	X
5	7	AA	1.410610	2.221240	7	8	AA	0.314180	0.231170
		AB	0.339090	0.905530			AB	0.038410	0.087560
		AC	0.348010	0.786700			AC	0.000000	0.000000
		BA	0.339090	0.905530			BA	0.038410	0.087560
		BB	1.393180	2.259350			BB	0.314180	0.231170
		BC	0.339090	0.905530			BC	0.000000	0.000000
		CA	0.339090	0.905530			CA	0.000000	0.000000
		CB	0.339090	0.905530			CB	0.000000	0.000000
		CC	1.410610	2.221240			CC	0.000000	0.000000
8	9	AA	0.942560	0.653520	9	10	AA	0.754040	0.554820
		AB	0.115250	0.262700			AB	0.092200	0.210160
		AC	0.000000	0.000000			AC	0.000000	0.000000
		BA	0.115250	0.262700			BA	0.092200	0.210160
		BB	0.942560	0.653520			BB	0.754040	0.554820
		BC	0.000000	0.000000			BC	0.000000	0.000000
		CA	0.000000	0.000000			CA	0.000000	0.000000
		CB	0.000000	0.000000			CB	0.000000	0.000000
		CC	0.000000	0.000000			CC	0.000000	0.000000
9	11	AA	0.628370	0.462350	7	12	AA	0.664060	0.818050
		AB	0.076830	0.175130			AB	0.134760	0.351920
		AC	0.000000	0.000000			AC	0.138310	0.315240
		BA	0.076830	0.175130			BA	0.134760	0.351920
		BB	0.628370	0.462350			BB	0.657110	0.826180
		BC	0.000000	0.000000			BC	0.134760	0.351920
		CA	0.000000	0.000000			CA	0.138310	0.315240
		CB	0.000000	0.000000			CB	0.134760	0.351920
		CC	0.000000	0.000000			CC	0.664060	0.818050
12	13	AA	0.184460	0.227230	12	14	AA	1.475690	1.817890
		AB	0.037430	0.097750			AB	0.259470	0.782050
		AC	0.038420	0.087500			AC	0.307360	0.700530
		BA	0.037430	0.097750			BA	0.259470	0.782050
		BB	0.182530	0.229490			BB	1.460240	1.835470
		BC	0.037430	0.097750			BC	0.259470	0.782050
		CA	0.038420	0.087560			CA	0.307360	0.700530
		CB	0.037430	0.097750			CB	0.259470	0.782050
		CC	0.184460	0.227230			CC	1.475690	1.817890

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFASICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

LINEA		FASES	IMPEDANCIA (P.U.)		LINEA		FASES	IMPEDANCIA (P.U.)	
DE	A		R	X	DE	A		R	X
14	15	AA	2.582460	3.181320					
		AB	0.520740	1.368580					
		AC	0.537870	1.225940					
		BA	0.524070	1.368580					
		BB	2.555430	3.212950					
		BC	0.524070	1.368580					
		CA	0.537870	1.225940					
		CB	0.524070	1.368580					
		CC	2.582460	3.181320					

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 3 CASO MODIFICADO
 AGOSTO 1985

 DATOS GENERALES

NÚMERO DE BARRAS 18
 NÚMERO DE LINEAS 17
 NVA BASE 33.33
 TOLERANCIA 0.000000
 NÚMERO MÁXIMO DE ITERACIONES 8

 OPCION

LA OPCION ESCOGIDA ES LA 2 UN REGULADOR DE VOLTAJE EN MEDIO DE LA ALIMENTADORA

	VOLTAJE (P.U.)					
	FASE A		FASE B		FASE C	
	M	A	M	A	M	A
VOLTAJE CONOCIDO EN LA BARRA INICIAL	1.000	0.00	1.000	-120.00	1.000	120.00
VOLTAJE DESEADO EN LA BARRA REGULADA	0.980	-3.00	0.980	-123.00	0.980	117.00

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 3 CASO MODIFICADO
 AGOSTO 1985

 V O L T A J E S R E S U L T A N T E S D E L A S B A R R A S

BARRA	NOMBRE	MAG	FASE	A	ANG	MAG	FASE	B	ANG	MAG	FASE	C	ANG
1	SCURAN	1.002090		-0.8072		1.004162		239.7127		1.005102		118.8480	
2	ENRIOS	0.979157		-1.5585		0.985894		238.8268		0.990874		118.1525	
3	A.AURO	0.941236		-2.3427		0.954828		237.8086		0.967907		117.5182	
4	AURORA	0.000000		0.0000		0.954547		237.8097		0.967704		117.5142	
5	A.GUME	0.982315		-3.0643		0.962243		236.9283		0.981661		116.9342	
6	COUMEZ	0.980214		-3.1064		0.000000		0.0000		0.000000		0.0000	
7	A.CARM	0.967321		-3.3549		0.968603		236.4815		0.971336		116.6724	
8	CARMEN	0.966904		-3.3532		0.968297		236.4754		0.000000		0.0000	
9	A.GUAR	0.966070		-3.3897		0.967684		236.4632		0.000000		0.0000	
10	GUAREF	0.965737		-3.3884		0.967439		236.4584		0.000000		0.0000	
11	GUACHA	0.965792		-3.3886		0.967480		236.4592		0.000000		0.0000	
12	A.TARI	0.961992		-3.4691		0.963272		236.3888		0.966642		116.5804	
13	TARIFA	0.961844		-3.4691		0.963048		236.3840		0.966529		116.5774	
14	SARHOR	0.951844		-3.6243		0.953698		236.2293		0.957391		116.4075	
15	VICTOR	0.950856		-3.6397		0.952768		236.2135		0.956493		116.3905	
16	ENTREG	0.941236		-2.3427		0.954826		237.8086		0.967907		117.5182	
17	SALREG	1.009134		-2.5148		1.003533		237.6425		0.997842		117.3766	
18	REGULA	0.982315		-3.0643		0.982243		236.9283		0.981661		116.9342	

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA AGOSTO 1985 EJEMPLO 3 CASO MODIFICADO

FLUJO DE POTENCIA

NOMBRE		FASE A		FASE B		FASE C		
		MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	
1	SCURAN	HACIA BARRA 2	0.5097	0.2735	0.5007	0.2734	0.4549	0.2405
2	ENRIGS	DESDE BARRA 1	0.5015	0.2606	0.4957	0.2608	0.4513	0.2316
		HACIA BARRA 3	0.3015	0.1636	0.2957	0.1638	0.2513	0.1346
3	A-AURC	DESDE BARRA 2	0.2920	0.1533	0.2892	0.1535	0.2469	0.1288
		HACIA BARRA 4	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050
		HACIA BARRA 16	0.2820	0.1483	0.2692	0.1435	0.2269	0.1188
4	AURORA	DESDE BARRA 3	0.0000	0.0000	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050
5	A-GOME	DESDE BARRA 16	0.2759	0.1406	0.2652	0.1362	0.2241	0.1144
		HACIA BARRA 6	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		HACIA BARRA 7	0.2458	0.1256	0.2552	0.1312	0.2141	0.1054
6	CGGMEZ	DESDE BARRA 5	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	A-CARM	DESDE BARRA 5	0.2428	0.1223	0.2526	0.1274	0.2123	0.1073
		HACIA BARRA 8	0.0300	0.0150	0.0300	0.0150	0.0000	0.0000
		HACIA BARRA 12	0.2127	0.1073	0.2226	0.1124	0.2123	0.1073
8	CARMEN	DESDE BARRA 7	0.0300	0.0150	0.0300	0.0150	0.0000	0.0000
		HACIA BARRA 5	0.0200	0.0100	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000
9	A-GUAR	DESDE BARRA 8	0.0200	0.0100	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000
		HACIA BARRA 10	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
		HACIA BARRA 11	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

NUMBRE		FASE A		FASE B		FASE C		
		MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	
10	CUAREF	DESDE BARRA 9	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
11	GUACHA	DESDE BARRA 5	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000
12	A-IARI	DESDE BARRA 7	0.2117	0.1065	0.2216	0.1114	0.2115	0.1064
		HACIA BARRA 13	0.0200	0.0100	0.0300	0.0150	0.0200	0.0100
		HACIA BARRA 14	0.1817	0.0915	0.1816	0.0914	0.1815	0.0914
13	TARIFA	DESDE BARRA 12	0.0200	0.0100	0.0300	0.0150	0.0200	0.0100
14	SAMEOR	DESDE BARRA 12	0.1800	0.0900	0.1800	0.0900	0.1800	0.0900
		HACIA BARRA 15	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050
15	VICTOR	DESDE BARRA 14	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050	0.0100	0.0050
16	ENTREG	DESDE BARRA 3	0.2820	0.1483	0.2692	0.1435	0.2269	0.1188
		HACIA BARRA 17	0.2820	0.1483	0.2692	0.1435	0.2269	0.1188
17	SALREG	DESDE BARRA 16	0.2820	0.1473	0.2692	0.1425	0.2269	0.1180
		HACIA BARRA 18	0.2820	0.1473	0.2692	0.1425	0.2269	0.1180
18	REGULA	DESDE BARRA 17	0.2759	0.1406	0.2652	0.1362	0.2241	0.1144
		HACIA BARRA 5	0.2759	0.1406	0.2652	0.1362	0.2241	0.1144

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 FLUJO DE CARGA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

FLUJO DE CARGA EJEMPLO 3 CASO MODIFICADO
 AGOSTO 1985

 S U M A R I O

	FASE A		FASE B		FASE C		TOTAL TRIFÁSICO	
	Mw	MVAR	Mw	MVAR	Mw	MVAR	Mw	MVAR
POTENCIA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.5097	0.2735	0.5007	0.2734	0.4549	0.2405	1.4653	0.7873
CARGA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.4800	0.2370	0.4800	0.2370	0.4400	0.2170	1.4000	0.6910
CAPACITORES TOTALES DE LA ALIMENTADORA		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000
PERDIDA TOTAL DE LA ALIMENTADORA	0.0297	0.0365	0.0207	0.0364	0.0149	0.0235	0.0653	0.0963

 REPORTE DEL NUMERO DE PASOS DEL CAMBIADOR DE TAPS DE LOS REGULADORES

NUMERO DE PASOS DEL CAMBIADOR DE TAPS DEL REGULADOR DE LA FASE A	11	106.874	POR CIENTO
NUMERO DE PASOS DEL CAMBIADOR DE TAPS DEL REGULADOR DE LA FASE B	8	105.000	POR CIENTO
NUMERO DE PASOS DEL CAMBIADOR DE TAPS DEL REGULADOR DE LA FASE C	5	103.125	POR CIENTO

7. HEUENSWANDER, J., Modern Power Systems, International Text book Company, U.S.A.; 1971, pp. 257 - 295.
8. RURAL ELECTRIFICATION ADMINISTRATION (U.S.Department of Agriculture), Voltage regulator application on rural distribution systems, 1.954.
9. STAGG AND EL-ABIAD, Computer Methods in power systems analysis , McGraw Hill Book Company, Tokyo, 1968, pp.117 - 137, 257 - 332.
10. STEVENSON, W. Sistemas Eléctricos de Potencia, Editorial McGraw - Hill Latinoamericana S.A., Bogotá, 1979, pp.175 - 189.