

CATALOGADO

Distr.
RESTRINGIDA

LC/MEX/R.198
23 de enero de 1990

ORIGINAL: ESPAÑOL

C E P A L

Comisión Económica para América Latina y el Caribe

BIBLIOTECA NACIONES UNIDAS MEXICO

PROGRAMA DE HIJOS DE POTENCIA

Volumen I. Manuales del usuario y técnico

Documento elaborado por el consultor Ricardo Mota Palomino. Las opiniones en él expresadas son de la exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización.

90-1-21

INDICE

	<u>Página</u>
Presentación	v
I. Manual del usuario	1
Inicio del proceso de solución	3
Proceso iterativo	12
Generación de reportes	13
Apéndice 1. Archivo de datos para estudios de flujos	21
II. Manual técnico	29
Ecuaciones de flujos de potencia	31
Desacoplamientos en las ecuaciones de flujos	33
El método desacoplado rápido	36
Referencias	42

PRESENTACION

Con el propósito de atender, en la medida de lo posible, la solicitud de las empresas eléctricas del Istmo Centroamericano de promover el desarrollo de metodologías para el análisis de redes eléctricas en las áreas de operación y de planificación, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) contrató a un consultor con el fin de que desarrollara, en una etapa inicial, programas digitales para efectuar estudios de flujos de potencia y cálculo de fallas.

Para el desarrollo de estos programas, se plantearon los siguientes requisitos: a) que permitieran analizar las redes eléctricas del Istmo Centroamericano, incluyendo aspectos dimensionales y características técnicas; b) que se pudieran utilizar en microcomputadoras tipo XT o AT, equipo del que disponen todas las empresas eléctricas de la subregión, y c) que su entrega a los organismos nacionales de electrificación de América Central también significara, si bien modesta, una auténtica transferencia tecnológica. Los primeros dos requerimientos se lograron mediante la selección de la metodología y una programación adecuadas. Para satisfacer el tercero, se optó por entregar a las empresas eléctricas del Istmo, además de los manuales de usuario y técnico, el manual de programa y código fuente de los programas y subrutinas.

Se considera que el uso y estudio de estas herramientas digitales permitirá a los técnicos de las empresas eléctricas: a) efectuar análisis de redes en régimen permanente para la solución de casos y estudios puntuales, evitando costosas erogaciones de divisas para consultorías; b) depurar la información y representar en forma cada vez más realista los sistemas eléctricos nacionales e interconectados, y c) capacitarse en las bases técnicas y simulación digital de redes eléctricas, así como contar con una preparación más adecuada para aprovechar mejor los resultados del PARSEICA.

La documentación de los dos programas está organizada en dos volúmenes para cada uno; el primer volumen contiene los manuales del usuario y técnico, y el segundo, el manual de programa y el código fuente. Ambos programas se desarrollaron en lenguaje FORTRAN. El manual del usuario explica, mediante un ejemplo, la utilización del modelo, mientras que el técnico presenta las bases conceptuales y expresiones algorítmicas del método empleado para la solución del problema. El manual de programa está orientado al personal

responsable del mantenimiento de los programas y explica la organización del programa principal y las subrutinas. Se incluye el diagrama de flujo para cada caso. Los requerimientos mínimos de computación para ambos modelos consisten en una microcomputadora (PC) compatible con IBM XT o AT con 640 KB de memoria RAM.

El programa de flujos de potencia (CEPFL1) se basa en el método de Newton desacoplado rápido. El procedimiento para utilizarlo se explica en el manual del usuario (volumen I), mediante un sistema eléctrico de prueba con 14 nodos. En el manual técnico (volumen I) se desarrollan las ecuaciones que sirven para formular el estudio de flujos, se expone el desacoplamiento de las ecuaciones y se deducen las utilizadas en el algoritmo computacional del método. En dicho manual también se abordan brevemente algunos aspectos de la implantación del método para explotar la estructura de los modelos desacoplados. El manual de programa, contenido en el volumen II, describe de manera detallada el programa digital desarrollado. Las rutinas que forman este programa pueden utilizarse en otros modelos, por lo que se incorporaron como un apéndice de dicho manual. En el volumen II también se incluye el código fuente del programa.

Sin duda que estas herramientas son susceptibles de mejorarse y ampliarse. Ya se han identificado algunas mejoras. Sin embargo, como no se dispone al presente de recursos para incorporarlas al programa, se optó por entregar estas versiones para que las empresas empiecen a utilizarlas de inmediato. Posteriormente, y de contar con financiamiento, se incorporarán mejoras y ampliaciones en nuevas versiones. Se agradecerán los comentarios y sugerencias con tal fin.

I. MANUAL DEL USUARIO

INICIO DEL PROCESO DE SOLUCION

A fin de resolver un estudio de flujos por el método desacoplado rápido se debe haber construido previamente y mediante cualquier programa de edición disponible un archivo de datos. La descripción detallada de la información del archivo de datos se presenta en el Apéndice 1 de este manual.

La capacidad actual del programa es la siguiente:

500 nodos de flujos.

600 elementos de transmisión.

250 Bancos de transformación con relación no nominal.
Este número es un subconjunto de los 600 elementos de transmisión permitidos.

150 Nodos de voltaje controlado ó generadores. Este número es un subconjunto de los 500 nodos de flujos.

75 Compensadores en derivación.

10 Islas eléctricas.

El programa se puede ejecutar si se tiene disponible el archivo CEPFL1.EXE. A fin de iniciar la ejecución se escribe del teclado de la computadora el comando:

CEPFL1

Al iniciar la ejecución se presentará en la pantalla la siguiente leyenda:

```
ESTUDIOS DE FLUJOS

METODO DESACOPLADO RAPIDO **

** @ R. Mota-Palomino                1989 **

* NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS:
```

A continuación se deberá proporcionar el nombre del archivo previamente construido y que puede ser de hasta 20 caracteres alfanuméricos. Este es el formato de nombre de archivo:

AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA

En el ejemplo que se resuelve se introduce:

IEEE14.DAT

Si hay algún error en el nombre del archivo el programa responde con el mensaje:

* EL ARCHIVO DE DATOS ES :
*** ERROR EN ARCHIVO DE ENTRADA

y repite la pregunta:

* NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS:

Si no hay error en el nombre del archivo de datos, el programa inicia su lectura.

En este punto, se tiene la opción de observar los datos introducidos al programa en el monitor ó formar un archivo para imprimir este listado.

El programa pregunta:

** DESEA LISTAR DATOS DE ENTRADA ?

Si se desea hacerlo se responde:

SI

A lo cual el programa responde con la pregunta:

** DESEA LISTADO PARA IMPRESORA (IM) ?

Si se responde:

IM

se forma el archivo DATOS.SAL que contiene la información siguiente:

```

***** SISTEMA DE PRUEBA DE 14 NODOS DEL IEEE *****
***** JULIO 20 DE 1982. R. MOTA *****
NOD-1      0.00      0.00
NOD-2      81.70     82.70
NOD-3      94.20     19.00
NOD-4      47.80     -3.90
NOD-5       7.60      1.60
NOD-6      11.20     7.50
NOD-7       0.00      0.00
NOD-8       0.00      0.00
NOD-9      29.50     16.60
NOD-10     9.00      5.80
NOD-11     3.50      1.80
NOD-12     6.10      1.60
NOD-13     13.50     5.80
NOD-14     14.90     5.00
0          0.00      0.00
NOD-1      NOD-1      1000.00    100.00    -100.00    1.06000
NOD-2      NOD-2       40.00     50.00     -40.00    1.04500
NOD-3      NOD-3        0.00     40.00        0.00    1.01000
NOD-6      NOD-6        0.00     24.00     -6.00    1.07000
NOD-8      NOD-8        0.00     24.00     -6.00    1.09000
0          0.00      0.00      0.00      0.00    0.00000
NOD-1      NOD-2      0.01938   0.05920   0.02640   0.00000
NOD-1      NOD-5      0.05403   0.22300   0.02460   0.00000
NOD-2      NOD-3      0.04699   0.19790   0.02190   0.00000
NOD-2      NOD-4      0.05811   0.17630   0.01870   0.00000

```

NOD-2	NOD-5	0.05695	0.17380	0.01700	0.00000
NOD-3	NOD-4	0.06701	0.17100	0.01730	0.00000
NOD-4	NOD-5	0.01335	0.04210	0.00640	0.00000
NOD-4	NOD-7	0.00000	0.20810	0.00000	0.97800
NOD-4	NOD-9	0.00000	0.55620	0.00000	0.96900
NOD-5	NOD-6	0.00000	0.25200	0.00000	0.93200
NOD-6	NOD-11	0.09498	0.19890	0.00000	0.00000
NOD-6	NOD-12	0.12291	0.25580	0.00000	0.00000
NOD-6	NOD-13	0.06615	0.13030	0.00000	0.00000
NOD-7	NOD-8	0.00000	0.17620	0.00000	0.00000
NOD-7	NOD-9	0.00000	0.11000	0.00000	0.00000
NOD-9	NOD-10	0.03181	0.08450	0.00000	0.00000
NOD-9	NOD-14	0.12711	0.27040	0.00000	0.00000
NOD-10	NOD-11	0.08205	0.19210	0.00000	0.00000
NOD-12	NOD-13	0.22090	0.19980	0.00000	0.00000
NOD-13	NOD-14	0.17093	0.34800	0.00000	0.00000
0		0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NOD-9	0.19000				
0	0.00000				

En caso de no responder IM, se pueden ver los datos en pantalla en el orden siguiente:

Nodos y cargas.

Elementos de transmisión.

Nodos de generación.

Compensadores en derivación.

Si no se solicitó listar datos de entrada, el programa despliega un informe del número de elementos en la red. Para el ejemplo de 14 nodos la salida es la siguiente:

```

***** SISTEMA DE PRUEBA DE 14 NODOS DEL IEEE *****
***** JULIO 20 DE 1982. R. MOTA *****

SE LEE LA INFORMACION DE      14 NODOS

SE LEYO INFORMACION DE      6 NODOS DE GENERACION

LEIMOS LA INFORMACION DE      17 LINEAS Y
                               3 TRANSFORMADORES

SE LEYO INFORMACION DE      1 SHUNTS

** Oprima la tecla de "entrada" para continuar...

```

Al continuar la ejecución del programa se forman los modelos del método y el programa va formando el reporte siguiente:

```

SE FORMA GRAFO DE Ybus ...
** EL GRAFO DE YBUS TIENE :      54 RAMAS

SE CHECA CONECTIVIDAD EN LA RED ...

SE FORMAN MODELOS ...

SE FACTORIZAN LOS MODELOS ...

SE HAN FACTORIZADO MODELOS ...

SE PROCESO CORRECTAMENTE TODA LA INFORMACION

** Oprima la tecla de "entrada" para continuar ...

```

A continuación, el programa pide los parámetros de la corrida, iniciando con:

** TOLERANCIA EN P :

El programa acepta valores en el 10^{-5} intervalo $10^{-5} < TOLP < 10.0$ y tiene un valor de default de 10^{-3} (pu).

A continuación informa del dato asumido:

** LA TOLERANCIA EN P ES : 0.00100

Después interroga:

** TOLERANCIA EN Q :

El programa acepta valores en el 10^{-5} intervalo $10^{-5} < TOLQ < 10.0$ y tiene un valor de default de 10^{-3} (pu).

A continuación informa del dato asumido:

** LA TOLERANCIA EN Q ES : 0.00100

Después interroga:

** DESEA CORRIDA AJUSTADA ?

Si no se responde afirmativamente, el programa continuará sin ajustar la generación de potencia reactiva de nodos generadores. Si se contesta afirmativamente, el programa continúa con la pregunta:

** INICIO DE AJUSTES EN Qg :

Este es el valor de tolerancia ó valor de desajuste máximo en potencia reactiva en un nodo del sistema, a partir del cual el programa empieza a verificar si existen generadores ó nodos de voltaje controlado con generación de potencia reactiva fuera de los límites especificados en el nodo. En caso de existir violaciones el programa cambia este nodo generador a nodo de carga y vuelve a formar el modelo de potencia reactiva. Una forma de obtener una solución desajustada es dar valores de esta tolerancia (variable TINIA en el programa) menores a la tolerancia de la potencia reactiva.

El programa acepta valores de $0.0001 < TINIA < 1000.0$ y tiene un valor de default de 0.1 (pu).

A continuación, informa del dato asumido:

** LOS AJUSTES EN Qg SE INICIAN EN : 0.10000

El programa pregunta a continuación:

** NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES :

aceptando valores de $1 < NITER < 200$ y tiene un valor de default de 15 iteraciones.

Enseguida, informa del valor asumido:

```
** EL NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES ES :          15
```

Después, el programa pregunta:

```
** BASE DE POTENCIA UTILIZADA :
```

aceptando valores $2.0 < \text{BASE} < 501.0$, con un valor de default de 100 MVA.

y finalmente informa:

```
** LA BASE DE POTENCIA EMPLEADA : 100.00000
** Oprima la tecla de "entrada" para continuar...
```

A continuación se muestra la pantalla resultante al no especificar ninguna variable de la corrida ó estudio diferente de los valores de default.

```
** TOLERANCIA EN P :
** LA TOLERANCIA EN P ES : 0.00100

** TOLERANCIA EN Q :
** LA TOLERANCIA EN Q ES : 0.00100

** DESEA CORRIDA AJUSTADA ? SI

** INICIO DE AJUSTES EN Qg :
** LOS AJUSTES SE INICIAN EN : 0.10000

** NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES :
** EL NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES ES :          15

** BASE DE POTENCIA UTILIZADA :
** LA BASE DE POTENCIA EMPLEADA ES :          100.00

** Oprima la tecla de "entrada" para continuar...
```

PROCESO ITERATIVO

Enseguida, el programa inicia el proceso iterativo de solución, reportando en pantalla la máxima desviación en potencia real y reactiva y en que nodos ocurren.

A continuación, se muestra la pantalla que genera el programa en esta etapa de la ejecución:

ITER	DES.	MAX.	P	NODO	DES. MAX.	Q	NODO
0		0.92191		NOD-3	0.60706		NOD-7
1		0.47134		NOD-8	0.07704		NOD-13
				NODO 2 NOD-2			SE CONVIERTE EN NODO PQ CON -32.70 MVAR
SE RETRIANGULARIZAN MODELOS...							
2		0.25099		NOD-2	0.06463		NOD-11
				NODO 2 NOD-2			SE CONVIERTE EN NODO PQ CON -32.70 MVAR
				NODO 3 NOD-3			SE CONVIERTE EN NODO PQ CON 21.00 MVAR
				NODO 6 NOD-6			SE CONVIERTE EN NODO PQ CON 16.50 MVAR
SE RETRIANGULARIZAN MODELOS...							
3		0.03391		NOD-6	0.01345		NOD-12
4		0.00193		NOD-6	0.00074		NOD-6
EL ESTUDIO CONVERGE EN 5 ITERACIONES							
** Oprima la tecla de "entrada" para continuar...							

En caso de efectuarse un estudio sin ajustes, el reporte generado por el programa es el siguiente:

ITER	DES. MAX.	P	NODO	DES. MAX.	Q	NODO
0	0.92191		NOD-3	0.60706		NOD-7
1	0.47134		NOD-6	0.07704		NOD-13
2	0.01995		NOD-6	0.00350		NOD-13
3	0.00102		NOD-6	0.00019		NOD-5

EL ESTUDIO CONVERGE EN 4 ITERACIONES

** Oprima la tecla de "entrada" para continuar...

GENERACION DE REPORTES

Si el proceso de solución tiene éxito, se pasa a la generación de reportes del estudio. El programa ofrece las opciones siguientes:

REPORTE DE FLUJOS	1
REPORTE DE PARAMETROS	2
REPORTES RESUMIDOS	3
NO MAS REPORTES	4

QUE TIPO DE REPORTE DESEA :

Si se solicita reporte de flujos, el programa ofrece las alternativas siguientes:

** REPORTE COMPLETO	1
** REPORTE POR NODO	2
** FIN DE REPORTE	3

QUE OPCION DESEA :

Si se requiere un reporte completo, se puede generar un archivo para ser impreso, y que tiene el nombre de FLUJO.SAL

Si se revisa el reporte en pantalla, éste se irá presentando nodo por nodo.

Si se elige la opción reporte por nodo, el programa pregunta:

QUE NODO ?
XXXXXXXX

y proporcionando el nodo de interés se irá desplegando el reporte de flujos nodo por nodo.

Enseguida, se muestra el archivo FLUJO.SAL resultante de la solución del estudio para el sistema de prueba.

```

***** SISTEMA DE PRUEBA DE 14 NODOS DEL IEEE *****
***** JULIO 20 DE 1982. R. MOTA *****

DE      1 NOD-1      MW      MVAR      MVA      TAP 1.0600      0.00      1
GENERADOR      296.8      29.8R      298.2
A      2 NOD-2      209.6      21.5      210.7      0.0000
A      5 NOD-5      87.1      8.3      87.5      0.0000

DE      2 NOD-2      MW      MVAR      MVA      TAP 1.0143      -6.37      2
GENERADOR      40.0      50.0H      64.0
A CARGA      81.7      82.7      116.3
A      1 NOD-1      -201.9      -3.7      202.0      0.0000
A      3 NOD-3      71.9      -8.4      72.4      0.0000
A      4 NOD-4      51.9      -11.7      53.2      0.0000
A      5 NOD-5      36.4      -8.9      37.5      0.0000

DE      3 NOD-3      MW      MVAR      MVA      TAP 1.0033      -14.57      3
GENERADOR      0.0      40.0H      40.0
A CARGA      94.2      19.0      96.1
A      2 NOD-2      -69.5      14.0      70.9      0.0000
A      4 NOD-4      -24.7      7.0      25.7      0.0000

```

DE	4	NOD-4	MW	MVAR	MVA	TAP 1.0060	-11.84	4
A	CARGA		47.8	-3.9	48.0			
A	2	NOD-2	-50.4	12.6	51.9	0.0000		
A	3	NOD-3	25.2	-9.3	26.8	0.0000		
A	5	NOD-5	-65.7	16.1	67.6	0.0000		
A	7	NOD-7	27.4	-13.4	30.5	0.9780	TR	
A	9	NOD-9	15.7	-2.1	15.8	0.9690	TR	
DE	5	NOD-5	MW	MVAR	MVA	TAP 1.0082	-10.15	5
A	CARGA		7.6	1.6	7.8			
A	1	NOD-1	-83.4	1.8	83.4	0.0000		
A	2	NOD-2	-35.7	7.7	36.5	0.0000		
A	4	NOD-4	66.3	-15.5	68.1	0.0000		
A	6	NOD-6	45.2	4.4	45.4	0.9320	TR	
DE	6	NOD-6	MW	MVAR	MVA	TAP 1.0767	-15.76	6
GENERADOR			0.0	24.1H	24.1			
A	CARGA		11.2	7.5	13.5			
A	5	NOD-5	-45.2	0.1	45.2	0.0000	TR	
A	11	NOD-11	8.0	5.5	9.7	0.0000		
A	12	NOD-12	7.9	2.7	8.4	0.0000		
A	13	NOD-13	18.1	8.2	19.9	0.0000		
DE	7	NOD-7	MW	MVAR	MVA	TAP 1.0573	-14.86	7
A	4	NOD-4	-27.4	15.2	31.3	0.0000	TR	
A	8	NOD-8	0.0	-19.7	19.7	0.0000		
A	9	NOD-9	27.4	4.5	27.8	0.0000		
DE	8	NOD-8	MW	MVAR	MVA	TAP 1.0900	-14.86	8
GENERADOR			0.0	20.3R	20.3			
A	7	NOD-7	0.0	20.3	20.3	0.0000		
DE	9	NOD-9	MW	MVAR	MVA	TAP 1.0530	-16.42	9
A	CARGA		29.5	16.6	33.8			
A	SHUNT		0.0	-21.1	21.1			
A	4	NOD-4	-15.7	3.4	16.0	0.0000	TR	
A	7	NOD-7	-27.4	-3.7	27.7	0.0000		
A	10	NOD-10	4.6	2.3	5.2	0.0000		
A	14	NOD-14	9.0	2.4	9.3	0.0000		
DE	10	NOD-10	MW	MVAR	MVA	TAP 1.0497	-16.58	10
A	CARGA		9.0	5.8	10.7			
A	9	NOD-9	-4.6	-2.3	5.2	0.0000		
A	11	NOD-11	-4.4	-3.5	5.6	0.0000		
DE	11	NOD-11	MW	MVAR	MVA	TAP 1.0595	-16.30	11
A	CARGA		3.5	1.8	3.9			
A	6	NOD-6	-7.9	-5.4	9.5	0.0000		
A	10	NOD-10	4.4	3.5	5.6	0.0000		

DE	12 NOD-12	MW	MVAR	MVA	TAP 1.0612	-16.61	12
A	CARGA	6.1	1.6	6.3			
A	6 NOD-6	-7.9	-2.6	8.3	0.0000		
A	13 NOD-13	1.7	1.0	2.0	0.0000		
DE	13 NOD-13	MW	MVAR	MVA	TAP 1.0557	-16.68	13
A	CARGA	13.5	5.8	14.7			
A	6 NOD-6	-17.9	-7.8	19.5	0.0000		
A	12 NOD-12	-1.7	-1.0	2.0	0.0000		
A	14 NOD-14	6.1	2.9	6.8	0.0000		
DE	14 NOD-14	MW	MVAR	MVA	TAP 1.0362	-17.53	14
A	CARGA	14.9	5.0	15.7			
A	9 NOD-9	-8.9	-2.2	9.1	0.0000		
A	13 NOD-13	-6.0	-2.8	6.7	0.0000		

Si se elige la opción "FIN DE REPORTES", el programa regresa al selector principal de reportes.

Si se selecciona la opción de reporte de parámetros, el programa ofrece las alternativas siguientes:

** REPORTE COMPLETO	1
** REPORTE POR NODO	2
** FIN DE REPORTE	3
QUE OPCION DESEA :	

Si se requiere un reporte completo, se puede generar un archivo para ser impreso con el nombre de PARAM.SAL. En caso de revisar el reporte por pantalla, éste se irá presentando nodo por nodo. Si se elige la opción de reporte por nodo, el programa pregunta:

QUE NODO ?
XXXXXXXX

y proporcionando el nombre del nodo de interés, se irá desplegando el reporte de parámetros de elementos conectados a cada nodo, solicitado.

A continuación, se muestra el listado del archivo PARAM.SAL resultante de la opción por impresora del archivo completo de parámetros.

```

***** SISTEMA DE PRUEBA DE 14 NODOS DEL IEEE          *****
***** JULIO 20 DE 1982.              R. MOTA          *****

DE   1 NOD-1      R      X      Y/2      TAP  1.0600   0.00   1
A   2 NOD-2      0.0194  0.0592  0.0264  0.0000
A   5 NOD-5      0.0540  0.2230  0.0246  0.0000

DE   2 NOD-2      R      X      Y/2      TAP  1.0143  -6.37   2
A   1 NOD-1      0.0194  0.0592  0.0264  0.0000
A   3 NOD-3      0.0470  0.1979  0.0219  0.0000
A   4 NOD-4      0.0581  0.1763  0.0187  0.0000
A   5 NOD-5      0.0569  0.1738  0.0170  0.0000

DE   3 NOD-3      R      X      Y/2      TAP  1.0033  -14.57  3
A   2 NOD-2      0.0470  0.1979  0.0219  0.0000
A   4 NOD-4      0.0670  0.1710  0.0173  0.0000

DE   4 NOD-4      R      X      Y/2      TAP  1.0060  -11.84  4
A   2 NOD-2      0.0581  0.1763  0.0187  0.0000
A   3 NOD-3      0.0670  0.1710  0.0173  0.0000
A   5 NOD-5      0.0133  0.0421  0.0064  0.0000
A   7 NOD-7      0.0000  0.2091  0.0000  0.9780 TR
A   9 NOD-9      0.0000  0.5562  0.0000  0.9690 TR

DE   5 NOD-5      R      X      Y/2      TAP  1.0082  -10.15  5
A   1 NOD-1      0.0540  0.2230  0.0246  0.0000
A   2 NOD-2      0.0569  0.1738  0.0170  0.0000
A   4 NOD-4      0.0133  0.0421  0.0064  0.0000
A   6 NOD-6      0.0000  0.2520  0.0000  0.9320 TR

DE   6 NOD-6      R      X      Y/2      TAP  1.0767  -15.76  6
A   5 NOD-5      0.0000  0.2520  0.0000  0.0000 TR
A  11 NOD-11      0.0950  0.1989  0.0000  0.0000
A  12 NOD-12      0.1229  0.2558  0.0000  0.0000
A  13 NOD-13      0.0662  0.1303  0.0000  0.0000

DE   7 NOD-7      R      X      Y/2      TAP  1.0573  -14.86  7
A   4 NOD-4      0.0000  0.2091  0.0000  0.0000 TR
A   8 NOD-8      0.0000  0.1762  0.0000  0.0000
A   9 NOD-9      0.0000  0.1100  0.0000  0.0000

DE   8 NOD-8      R      X      Y/2      TAP  1.0900  -14.86  8
A   7 NOD-7      0.0000  0.1762  0.0000  0.0000

```

DE	9 NOD-9	R	X	Y/2	TAP 1.0530	-16.42	9
A	4 NOD-4	0.0000	0.5562	0.0000	0.0000	TR	
A	7 NOD-7	0.0000	0.1100	0.0000	0.0000		
A	10 NOD-10	0.0318	0.0845	0.0000	0.0000		
A	14 NOD-14	0.1271	0.2704	0.0000	0.0000		
DE	10 NOD-10	R	X	Y/2	TAP 1.0497	-16.58	10
A	9 NOD-9	0.0318	0.0845	0.0000	0.0000		
A	11 NOD-11	0.0821	0.1921	0.0000	0.0000		
DE	11 NOD-11	R	X	Y/2	TAP 1.0595	-16.30	11
A	6 NOD-6	0.0950	0.1989	0.0000	0.0000		
A	10 NOD-10	0.0821	0.1921	0.0000	0.0000		
DE	12 NOD-12	R	X	Y/2	TAP 1.0612	-16.61	12
A	6 NOD-6	0.1229	0.2558	0.0000	0.0000		
A	13 NOD-13	0.2209	0.1998	0.0000	0.0000		
DE	13 NOD-13	R	X	Y/2	TAP 1.0557	-16.68	13
A	6 NOD-6	0.0662	0.1303	0.0000	0.0000		
A	12 NOD-12	0.2209	0.1998	0.0000	0.0000		
A	14 NOD-14	0.1709	0.3480	0.0000	0.0000		
DE	14 NOD-14	R	X	Y/2	TAP 1.0362	-17.53	14
A	9 NOD-9	0.1271	0.2704	0.0000	0.0000		
A	13 NOD-13	0.1709	0.3480	0.0000	0.0000		

Si se selecciona la opción reportes resumidos, el programa ofrece las alternativas siguientes:

RESUMEN DE GENERADORES	1
RESUMEN DE PARAMETROS	2
RESUMEN DE NODOS	3
RESUMEN DE ISLAS	4
RESUMEN IMPRESO	5
SELECTOR DE REPORTES	6

QUE TIPO DE RESUMEN DESEA :

Si se selecciona la opción resumen de generadores, el programa despliega la información de nodos generadores, voltajes complejos en coordenadas polares, la potencia de generación activa y reactiva, así como los límites inferior y superior especificados en el nodo.

Si se selecciona la opción de resumen de parámetros, el programa despliega la información de nodos extremos del elemento, resistencia, reactancia serie y susceptancia en derivación (una rama del circuito π equivalente en líneas de transmisión); todas estas cantidades en por unidad. También, se despliega la información de compensadores en derivación (pu) y el nodo al que están conectados.

Si se elige la opción de resumen de nodos, se obtiene una lista de nodos, los voltajes complejos resultantes en forma polar, así como la potencia de carga en cada nodo.

Al elegir la opción de resumen de islas, se despliega una lista de islas eléctricas existentes en la red (parte no conectadas), obteniéndose, además, información del nodo compensador de la isla, la potencia generada total en la isla, las potencias real y reactiva totales en la isla, así como las pérdidas por transmisión totales en la isla. Todas estas cantidades en MW y MVAR.

Finalmente, si se elige la opción de resumen impreso, se forma un archivo de nombre RESUME.SAL que contiene toda la información reportada en los resúmenes descritos en las opciones anteriores.

A continuación se muestra el contenido del archivo RESUME.SAL del ejemplo que se resuelve:

NUM	NODO	VOLTAJE COMPLEJO		POTENCIA GENERADA		LIMITES INF. Y SUP.	
		MAG(PU)	GRADOS	MW	MVAR	MVAR	MVAR
1	NOD-1	1.0600	0.00	296.8	29.8	-100.0	100.0
2	NOD-2	1.0143	-6.37	40.0	50.0	-40.0	50.0
3	NOD-3	1.0033	-14.57	0.0	40.0	0.0	40.0
6	NOD-6	1.0767	-15.76	0.0	24.1	-6.0	24.0
8	NOD-8	1.0900	-14.86	0.0	20.3	-6.0	24.0

DEL NODO	AL NODO	R PU	X PU	Y/2 PU
NOD-1	NOD-2	0.0194	0.0592	0.0264
NOD-1	NOD-5	0.0540	0.2230	0.0246
NOD-2	NOD-3	0.0470	0.1979	0.0219
NOD-2	NOD-4	0.0581	0.1763	0.0187
NOD-2	NOD-5	0.0569	0.1738	0.0170
NOD-3	NOD-4	0.0670	0.1710	0.0173
NOD-4	NOD-5	0.0133	0.0421	0.0064
NOD-4	NOD-7	0.0000	0.2091	0.0000
NOD-4	NOD-9	0.0000	0.5562	0.0000
NOD-5	NOD-6	0.0000	0.2520	0.0000
NOD-6	NOD-11	0.0950	0.1989	0.0000
NOD-6	NOD-12	0.1229	0.2558	0.0000

NOD-6	NOD-13	0.0862	0.1303	0.0000
NOD-7	NOD-8	0.0000	0.1762	0.0000
NOD-7	NOD-9	0.0000	0.1100	0.0000
NOD-9	NOD-10	0.0318	0.0845	0.0000
NOD-9	NOD-14	0.1271	0.2704	0.0000
NOD-10	NOD-11	0.0821	0.1921	0.0000
NOD-12	NOD-13	0.2209	0.1998	0.0000
NOD-13	NOD-14	0.1709	0.3480	0.0000

NODO CON SHUNT	SUC. (PU)
9 NOD-9	0.18000

NUMERO	NODO	VOLTAJE COMPLEJO		POTENCIA DE CARGA	
		MAG(PU)	GRADOS	MW	MVAR
1	NOD-1	1.0600	0.00	0.0	0.0
2	NOD-2	1.0143	-6.37	81.7	82.7
3	NOD-3	1.0033	-14.57	94.2	19.0
4	NOD-4	1.0080	-11.84	47.8	-3.9
5	NOD-5	1.0082	-10.15	7.6	1.6
6	NOD-6	1.0767	-15.76	11.2	7.5
7	NOD-7	1.0573	-14.86	0.0	0.0
8	NOD-8	1.0900	-14.86	0.0	0.0
9	NOD-9	1.0530	-16.42	29.5	16.6
10	NOD-10	1.0487	-16.58	9.0	5.8
11	NOD-11	1.0595	-16.30	3.5	1.8
12	NOD-12	1.0612	-16.61	6.1	1.6
13	NOD-13	1.0557	-16.68	13.5	5.8
14	NOD-14	1.0362	-17.53	14.9	5.0

ISLA	COMPEN SADOR	POTENCIA DE GENERACION		POTENCIA DE CARGA		PERDIDAS	
		MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	NOD-1	336.76	54.94	319.00	143.50	17.76	-89.56

Finalmente, si se selecciona la opción no más reportes, se regresa al selector principal de reportes.

La ejecución del programa se termina finalmente seleccionando la opción no más reportes del selector principal.

APENDICE 1

ARCHIVO DE DATOS PARA ESTUDIOS DE FLUJOS

A continuación se muestra la estructura del archivo de datos que debe formarse antes de resolver un estudio de flujos de potencia. Esta estructura es la siguiente:

```
Encabezado ó letrero  
Lista de nodos  
0  
Lista de nodos de voltaje controlado  
0  
Lista de líneas de transmisión y transformadores  
0  
Lista de compensadores en derivación  
0
```

Notése que cada grupo de datos a excepción del encabezado es separado por un 0 (cero) en la primera columna del registro correspondiente.

A continuación se describe el contenido de cada grupo de datos.

Encabezado ó letrero

El primer grupo de datos consiste en dos líneas en las que se puede anotar una descripción del estudio ó red que se analiza.

Las instrucciones de lectura y formato utilizados para procesar estas líneas son las siguientes:

```

LFFLU = 9
READ(LFFLU, 23, ERR=22)LETR1
WRITE(6, 23)LETR1
23 FORMAT(1X, A70)
READ(LFFLU, 23, ERR=22)LETR2
WRITE(6, 23,)LETR2

```

En estos letreros se puede introducir cualquier información alfanumérica de hasta 70 caracteres por línea.

Lista de nodos.

A continuación se debe introducir un registro por cada nodo eléctrico de la red. Las instrucciones de lectura y formatos son los siguientes:

```

I = 1
28 READ(LFFLU, 28, ERR=26)NOMB1, PC(I), QC(I)
27 FORMAT(2X, A8, F8.2, 2X, F8.2)
WRITE(6, 27)NOMB1, PC(I), QC(I)
IF(NOMB1.EQ. IFIN)GO TO 30
DNOMB(I) = NOMB + 1
NNOD = NNOD + 1
I = I + 1
GO TO 28

```

Para cada nodo se debe introducir la información siguiente:

NOMB1 Nombre del nodo, alfanumérico de hasta ocho caracteres
 caracteres.

PC(I) Potencia real demandada en el nodo en MV.

QC(I) Potencia reactiva demandada en el nodo MVAR.

El formato en que se debe incluir esta información es el mostrado a continuación:

XXXXXXXXXXFFFFFF.FFXXFFFF.FF

Después de la información del último nodo debe introducirse una línea con un 0 (cero) en la primera columna.

Lista de nodos de voltaje controlado.

Las instrucciones utilizadas para leer información de nodos generadores ó de voltaje controlado son los siguientes:

```

      I = 1
32  READ(LFFLU, 34, ERR=33)NOMB1, NOMB2, PG(I), QMA(I), QMI(I),
      2VG(I)
34  FORMAT(2X, A8, 2X, A8, 2X, 3(F8.2, 2X), F7.5)

```


Lista de líneas de transmisión y transformadores.

Las instrucciones usadas para leer información de líneas de transmisión y/o transformadores son las siguientes:

```
40 READ(LFFLU, 42, ERR=43)NOMB1, NOMB2, R(I), X(I), B(I), T(I)
42 FORMAT(2X, A8, 2X, A8, 2X, 4(F7.5, 2X))
```

Para cada elemento de transmisión se debe proporcionar la información siguiente:

NOMB1 Nombre del nodo de envío del elemento.
Alfanumérico de hasta ocho caracteres. En el caso de un transformador será el nodo en que existe cambiador de derivaciones.

NOMB2 Nombre del nodo de recepción del elemento.
Alfanumérico de hasta ocho caracteres. En el caso de un transformador será el nodo sin cambiador de derivaciones.

R(I) Resistencia del elemento en pu

X(I) Reactancia inductiva del elemento en pu

B(I) Suceptancia de una rama del circuito Π equivalente en líneas de transmisión en pu

T(I) Relación de transformación en bancos de transformación en pu

El formato en que se debe proporcionar esta información es el mostrado a continuación:

```
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXF.FFFFFXXF.FFFFFXXF.FFFFFXXF.FFFFF
```

Después de la información del último elemento de transmisión deberá introducirse una línea con un 0 (cero) en la primera columna.

Lista de Compensadores en Derivación.

Las instrucciones que se utilizan para leer información de compensadores en derivación son las siguientes:

```
50 READ(LFFLU, 52, ERR=53)NOMB1, VLS(1)
52 FORMAT(2X, A8, 2X, F8.5)
```

Para cada compensador se debe proporcionar la información siguiente:

NOMB1 Nombre del nodo en que hay equipo de compensación conectado. Afanumérico de hasta ocho caracteres. Debe existir en la lista de nodos.

VLS(1) Suceptancia en pu del equipo de compensación.

El formato en que se proporciona esta información es el mostrado a continuación:

```
XXXXXXXXXXFF.FFFFF
```

Después de la información del último compensador deberá introducirse una línea con un 0 (cero) en la primera columna.

NOTA . Después del proceso de lectura de la información de nodos cada vez que se encuentre el nombre de un nodo que no este contenido en la lista de nodos, el elemento correspondiente no será tomado en cuenta en el resto del estudio.

Ejemplo de un archivo de datos.

A continuación se muestra un archivo de datos del sistema de prueba de IEEE de 14 nodos a fin de ilustrar el aspecto de un archivo de datos para el estudio de flujos de potencia convencional.

```

***** SISTEMA DE PRUEBA DE 14 NODOS DEL IEEE *****
***** JULIO 20 DE 1982. R. MOTA *****
NOD-1      00.0      00.0
NOD-2      81.7      82.7
NOD-3      94.2      19.0
NOD-4      47.8      -3.9
NOD-5       7.6       1.6
NOD-6      11.2       7.5
NOD-7       0.0       0.0
NOD-8       0.0       0.0
NOD-9      29.5      16.6
NOD-10     9.0       5.8
NOD-11     3.5       1.8
NOD-12     6.1       1.6
NOD-13     13.5      5.8
NOD-14     14.9      5.0
0
NOD-1      NOD-1      1000.0      100.0      -100.0      1.060
NOD-2      NOD-2       40.0       50.0      -40.0      1.045
NOD-3      NOD-3       00.0       40.0       00.0      1.010
NOD-6      NOD-6       00.0       24.0       -6.0      1.070
NOD-8      NOD-8       00.0       24.0       -6.0      1.090
0
NOD-1      NOD-2       0.01938    0.0592    0.0264    0.0
NOD-1      NOD-5       0.05403    0.2230    0.0246    0.0
NOD-2      NOD-3       0.04699    0.1979    0.0219    0.0
NOD-2      NOD-4       0.05811    0.1763    0.0187    0.0
NOD-2      NOD-5       0.05695    0.1738    0.0170    0.0
NOD-3      NOD-4       0.06701    0.1710    0.0173    0.0
NOD-4      NOD-5       0.01335    0.0421    0.0064    0.0
NOD-4      NOD-7       0.00000    0.2091    0.0000    00.9780
NOD-4      NOD-9       0.00000    0.5562    0.0000    0.9690
NOD-5      NOD-6       0.00000    0.2520    0.0000    0.9320
NOD-6      NOD-11      0.09498    0.1989    0.0000    0.0
NOD-6      NOD-12      0.12291    0.2558    0.0000    0.0
NOD-6      NOD-13      0.06615    0.1303    0.0000    0.0
NOD-7      NOD-8       0.00000    0.1762    0.0000    0.0
NOD-7      NOD-9       0.00000    0.1100    0.0000    0.0
NOD-9      NOD-10      0.03181    0.0845    0.0000    0.0
NOD-9      NOD-14      0.12711    0.2704    0.0000    0.0
NOD-10     NOD-11      0.08205    0.1921    0.0000    0.0
NOD-12     NOD-13      0.22090    0.1998    0.0000    0.0
NOD-13     NOD-14      0.17093    0.3480    0.0000    0.0
0
NOD-9      0.190
0

```

II. MANUAL TECNICO

ECUACIONES DE FLUJOS DE POTENCIA

Considerando un nodo de un sistema eléctrico como el mostrado en la figura 1, en cada nodo del sistema se debe mantener el balance de potencia, esto es:

$$\underline{S}_k = \underline{V}_k \underline{I}_k^* \quad (1)$$

En donde:

\underline{S}_k = Es la potencia aparente inyectada en el nodo k.

\underline{V}_k = Es el voltaje nodal complejo en el nodo k.

\underline{I}_k^* = Es el conjugado del fasor de corriente inyectada con el nodo k.

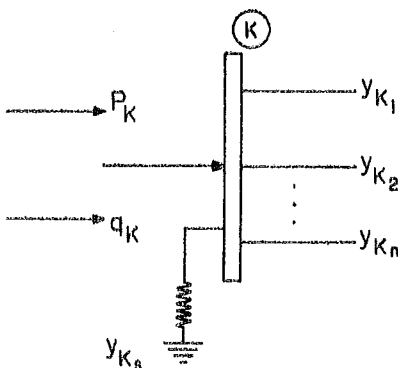


Figura 1. Nodo de un sistema eléctrico

Desarrollando la ecuación (1) y considerando separadamente su parte real e imaginaria obtenemos las ecuaciones de flujos de potencia.

$$p_k = \sum_{j \in k} g_{kj} (V_k^2 - V_k V_j \cos(\delta_k - \delta_j)) - \sum_{j \in k} V_k V_j b_{kj} \sin(\delta_k - \delta_j) \quad (2)$$

(3)

$$q_k = -V_k^2 Y_{ks} - \sum_{j \in k} V_k V_j g_{kj} \sin(\delta_k - \delta_j) - \sum_{j \in k} b_{kj} (V_k^2 - V_k V_j \cos(\delta_k - \delta_j))$$

En donde:

- $p_k \triangleq$ Potencia real inyectada en el nodo k.
- $q_k \triangleq$ Potencia reactiva inyectada en el nodo k.
- $g_{kj} \triangleq$ Parte real de la admitancia de los elementos de transmisión que conectan los nodos k y j.
- $b_{kj} \triangleq$ Parte imaginaria de la admitancia de los elementos de transmisión que conectan los nodos k y j.
- $V_k \angle \delta_k \triangleq$ Voltaje nodal complejo en el nodo k en forma polar.
- $V_j \angle \delta_j \triangleq$ Voltaje nodal complejo en el nodo j en forma polar.
- $Y_{ks} \triangleq$ Suma de todas las admitancias en derivación conectadas al nodo k.
- $j \in k \triangleq$ Denota los elementos que conectan un nodo j al nodo k.

Considerando la clasificación nodal convencional para formular un estudio de flujos y que se muestra en la tabla 1, es posible formular para un sistema de n nodos un sistema de $(2 \cdot n_1 + n_g)$ ecuaciones algebraicas no lineales de las $2 \cdot n$ posibles. En este sistema serán $n_1 + n_g$ ecuaciones del tipo (2) y n_1 ecuaciones del tipo (3) donde n_1 es el número de nodos de carga en el sistema eléctrico y n_g es el número de nodos de voltaje controlado.

Tabla 1

Clasificación de Nodos de estudios de flujos

Tipo de Nodo	Variables Conocidas	Variables Desconocidas
Carga (pq)	p_k, q_k	V_k, δ_k
Generación (pv)	p_k, V_k	q_k, δ_k
Compensador (v δ)	V_k, δ_k	p_k, q_k

DESACOPLAMIENTOS EN LAS ECUACIONES DE FLUJOS

Cualquier método para resolver sistemas de ecuaciones algebraicas no lineales pueden aplicarse en la solución de las ecuaciones de flujos. En particular en este trabajo se aplica el método denominado "Desacoplado Rápido" y que está basado en consideraciones prácticas de redes de potencia para convertir las ecuaciones de flujos linealizados en dos modelos independientes, uno para potencia real y otro para potencia reactiva [1]. A continuación se discuten estas consideraciones.

En las ecuaciones de flujos escritas como en (2) y (3) se pueden identificar los términos siguientes:

$$r_{kj} = V_k^2 - V_k V_j \cos(\delta_k - \delta_j) \quad (4)$$

y

$$t_{kj} = V_k V_j \operatorname{sen}(\delta_k - \delta_j)$$

Las ecuaciones de flujos (2) y (3) se pueden escribir ahora como sigue:

$$P_k = \sum_{j \in k} (g_{kj} r_{kj} + b_{kj} t_{kj}) \quad (5)$$

$$Q_k = -V_k^2 Y_{ks} - \sum_{j \in k} (b_{kj} r_{kj} - g_{kj} t_{kj}) \quad (6)$$

En sistemas de CA de alto voltaje, generalmente la componente inductiva de la impedancia serie de los elementos de transmisión es mucho más grande que la componente resistiva (esto es $|b_{kj}/g_{kj}| \gg 1.0$).

Dada esta condición, se pueden identificar términos dominantes en las ecuaciones de flujos como sigue [2]:

$$\text{En (5)} \quad \sum_{j \in k} b_{kj} t_{kj} \quad (7)$$

$$\text{En (6)} \quad \sum_{j \in k} b_{kj} r_{kj} \quad (8)$$

Analizando la sensibilidad de estos términos ante cambios en las variables de estado se obtiene lo siguiente:

$$\frac{\partial r_{kj}}{\partial V_k} = 2V_k - V_j \cos(\delta_k - \delta_j) \quad \frac{\partial t_{kj}}{\partial V_k} = V_j \operatorname{sen}(\delta_k - \delta_j)$$

(9)

$$\frac{\partial r_{kj}}{\partial V_j} = -V_k \cos(\delta_k - \delta_j) \quad \frac{\partial t_{kj}}{\partial V_j} = V_k \operatorname{sen}(\delta_k - \delta_j)$$

$$\frac{\partial r_{kj}}{\partial \delta_{kj}} = V_k V_j \operatorname{sen}(\delta_k - \delta_j) \quad \frac{\partial t_{kj}}{\partial \delta_{kj}} = V_k V_j \cos(\delta_k - \delta_j)$$

Considerando que las separaciones angulares entre nodos adyacentes de un sistema eléctrico son pequeñas, se pueden usar las aproximaciones siguientes:

$$\cos(\delta_k - \delta_j) \approx 1.0$$

(10)

$$\operatorname{sen}(\delta_k - \delta_j) \approx 0.0$$

Con estas consideraciones, de las ecuaciones (9) se observa que el término r_{kj} es sensible a cambios en las magnitudes de voltaje

nodales mientras que es prácticamente insensible a cambios en el defasamiento entre los voltajes de los nodos k y j. Por otro lado, el término t_{kj} es prácticamente insensible a cambios en las magnitudes de voltajes nodales y sensible a cambios en el defasamiento entre los voltajes de los nodos k y j.

Ya que el término t_{kj} corresponde a los términos dominantes en la

ecuación de potencia real se dice que los flujos de potencia real son dependientes de los ángulos de fase de los voltajes y prácticamente independientes de las magnitudes de voltaje. En forma semejante, ya que r_{kj} corresponde a los términos dominantes de la ecuación de

potencia reactiva, se dice que los flujos de potencia reactiva son dependientes de las magnitudes de los voltajes nodales y casi independientes de los ángulos de fase de los voltajes.

Las observaciones anteriores son llamadas las características de desacoplamiento de un sistema de transmisión de CA de alto voltaje y permiten desarrollar modelos lineales independientes para simplificar la metodología de solución de problemas de flujos, aunque es importante anotar que el desacoplamiento depende de parámetros de la red y el punto de operación, por lo que en algunos casos este desacoplamiento puede no existir.

EL METODO DESACOPLADO RAPIDO

Regresando nuevamente a las ecuaciones de flujos (2) y (3), estas se pueden escribir como sigue:

$$\frac{P_k}{V_k} = V_k \sum_{j \in k} g_{kj} - \sum_{j \in k} V_j g_{kj} \cos(\delta_k - \delta_j) - \sum_{j \in k} V_j b_{kj} \sin(\delta_k - \delta_j) \quad (11)$$

$$\frac{Q_k}{V_k} = -V_k (\sum_{j \in k} b_{kj} + Y_{ks}) - \sum_{j \in k} V_j g_{kj} \sin(\delta_k - \delta_j) + \sum_{j \in k} V_j b_{kj} \cos(\delta_k - \delta_j) \quad (12)$$

Identificando los términos dominantes de las ecuaciones de potencia real:

$$- \sum_{j \in k} V_j b_{kj} \text{sen}(\delta_k - \delta_j) \quad (13)$$

Estos términos pueden ser simplificados considerando las aproximaciones siguientes, basadas en condiciones prácticas de operación de un sistema eléctrico:

$$V_j \approx 1.0$$

$$\text{sen}(\delta_k - \delta_j) \approx (\delta_k - \delta_j)$$

De dónde los términos dominantes de la ecuación de potencia real son:

$$- \sum_{j \in k} b_{kj} (\delta_k - \delta_j) \quad (14)$$

En las ecuaciones de potencia reactiva los términos dominantes son:

$$- V_k Y_{ks} - \sum_{j \in k} b_{kj} (V_k - V_j \cos(\delta_k - \delta_j)) \quad (15)$$

Considerando la aproximación:

$$\cos(\delta_k - \delta_j) \approx 1.0$$

Los términos dominantes de las ecuaciones de potencia reactiva se pueden escribir como:

$$- V_k Y_{ks} - \sum_{j \in k} b_{kj} (V_k - V_j) \quad (16)$$

Agregando los términos dominantes aproximados (14) y (16) a ambos lados de las ecuaciones (11) y (12) las ecuaciones de flujo resultantes son:

$$\frac{\Delta p_k}{V_k} - \sum_{j \in k} b_{kj} (\delta_k - \delta_j) = - \sum_{j \in k} b_{kj} (\delta_k - \delta_j) \quad (17)$$

$$\frac{\Delta q_k}{V_k} - V_k Y_{ks} - \sum_{j \in k} b_{kj} (V_k - V_j) = -V_k Y_{ks} - \sum_{j \in k} b_{kj} (V_k - V_j) \quad (18)$$

Las ecuaciones de flujos (17) y (18) se pueden escribir para cada nodo de la red de acuerdo al tipo que corresponda en el sentido convencional. Las $n_1 + n_g$ ecuaciones de potencia real y las n_1

ecuaciones de potencia reactiva se pueden escribir en forma matricial como sigue:

$$\underline{\Delta p'} + B_1 \underline{\delta} = B_1 \underline{\delta} \quad (19)$$

$$\underline{\Delta q'} + B_2 \underline{V} = B_2 \underline{V} \quad (20)$$

Las ecuaciones (19) y (20) se pueden usar recursivamente para calcular nuevas aproximaciones a los voltajes nodales solución del problema [1,3].

En particular el "Método Desacoplado Rápido" usa las ecuaciones siguientes:

$$B_1 \underline{\Delta \delta} = \underline{\Delta p'} \quad (21)$$

$$B_2 \underline{\Delta v} = \underline{\Delta q'} \quad (22)$$

Donde:

$B_1 \triangleq$ Modelo de potencia real; Es una matriz real, simétrica, dispersa y constante de orden $(n_l + n_g)$.

$\underline{\Delta p'} \triangleq$ Es un vector de "inyecciones de corriente activa" en los nodos de la red $(\Delta p_k / V_k)$.

$\underline{\Delta \delta} \triangleq$ Es un vector de correcciones en los ángulos de fase de nodos de carga y generadores de la red.

$B_2 \triangleq$ Modelo de potencia reactiva; es una matriz real, simétrica, dispersa y constante de orden n_l .

$\underline{\Delta q'} \triangleq$ Es un vector de "inyecciones de corriente reactiva" en los nodos de la red $(\Delta q_k / V_k)$.

$\underline{\Delta v} \triangleq$ Es un vector de correcciones en los voltajes en nodos de carga de la red

El modelo B_1 está formado por la parte imaginaria de la matriz de admitancias nodales de la red, sin considerar conexiones a nodos compensadores, excepto en los elementos diagonales. Generalmente se simplifica la construcción de este modelo despreciando las resistencias de los elementos de transmisión, resultando la matriz de "flujos de CD". Los elementos de B_2 son elementos de la parte imaginaria de la matriz de admitancias nodal, despreciando las filas y columnas correspondientes a compensadores y nodos generadores. Se puede mostrar finalmente que los modelos B_1 y B_2 son una aproximación a las submatrices diagonales H y L usados en el método de Newton Raphson [1]. Se puede entonces considerar que el método Desacoplado Rápido es una aproximación al método de Newton Raphson considerando un Jacobiano Desacoplado y Constante.

La Figura 2 muestra esquemáticamente el algoritmo del método desacoplado rápido para la solución de estudios de flujos.

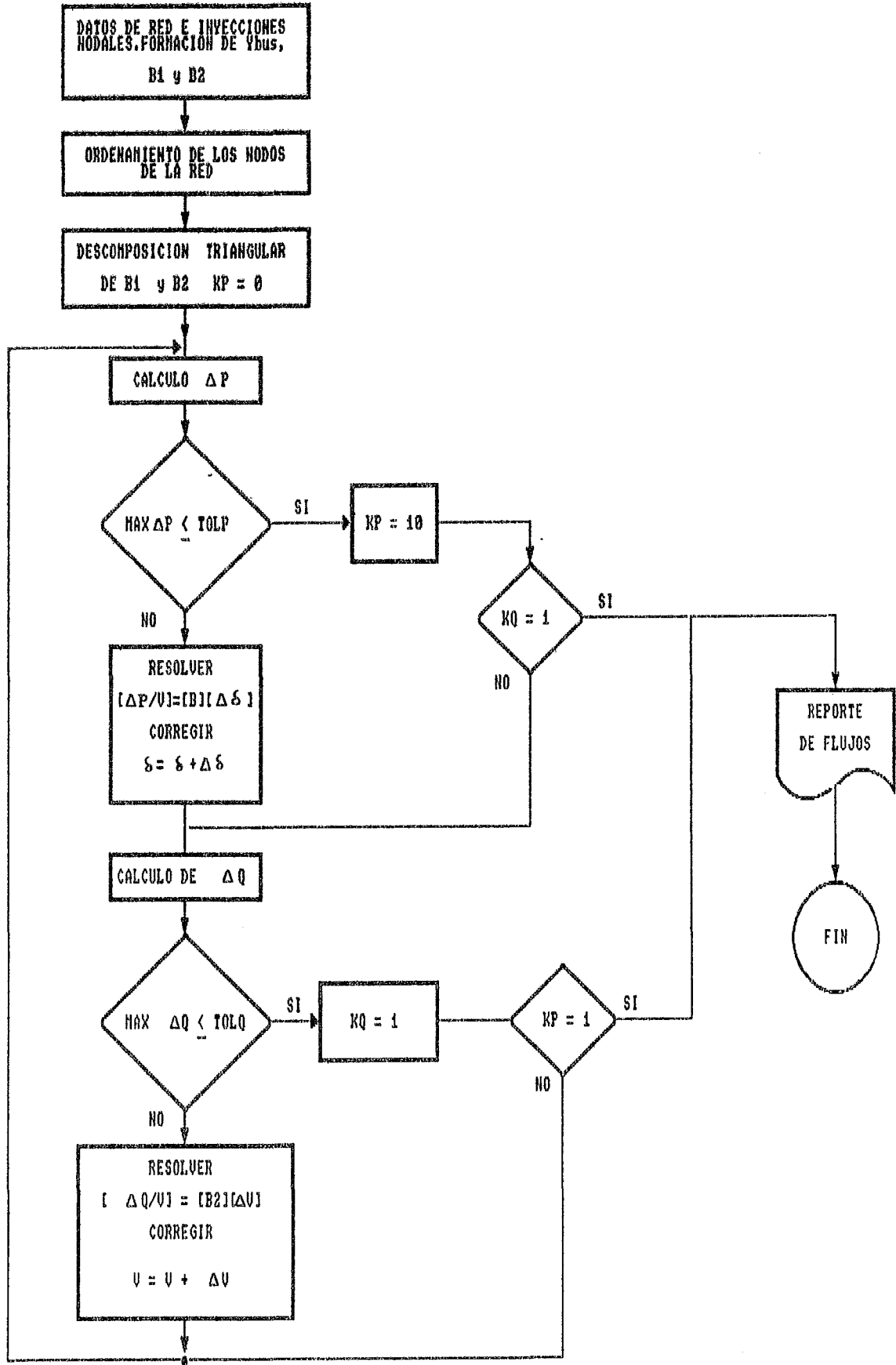


FIGURA 2 EL METODO DESACOPLADO RAPIDO

REFERENCIAS

- [1] B. Stott, O. Alsac, "Fast Decoupled Load Flow", IEEE Trans. Power App. and Syst., Vol. PAS-93, PP-859-867, May-June 1974

- [2] Joliss aint, Arvanaditis, Luenberger, "Decomposition of Real and Reactive Power Flows: A method suited for on line applications", IEEE, Trans. on PAS, March-April, 1972

- [3] Mota Palomino R., "Programa para solución de estudios de flujos por el método desacoplado rápido", Manual de Programa, 1989