



# ***Manual del usuario.***

*Para calculadoras hp49g, hp48gii, hp49g+ y hp50*

***VERSION 1.0***

Autor:

Amílcar José Rodríguez Barrios

Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela

Correo electrónico: [jose\\_rba\\_91@hotmail.com](mailto:jose_rba_91@hotmail.com)

Este manual así como el programa es de uso libre, por lo que puede ser impreso, copiado y retransmitido por cualquier medio, siempre y cuando dicho material no sea modificado. Amílcar José Rodríguez Barrios no se hace responsable por usos inapropiados que pudieran generar problemas o incluso daños

**APOT v1.0** es la compilación de un conjunto de programas escritos en su totalidad en el lenguaje user-RPL y desarrollados para los cursos de sistemas de potencia 1 y 2.

## 1. Instalación y reconocimiento del programa.

Para proceder a instalar el programa transfiera o guarde el archivo L1081 (APOT) a cualquiera de las memorias de lectura de la calculadora, preferiblemente al puerto 2 (FLASH) como se muestra en la Figura 1, posteriormente reiniciar presionando ON y F3 al mismo tiempo.



Figura 1. Instalación con STO.

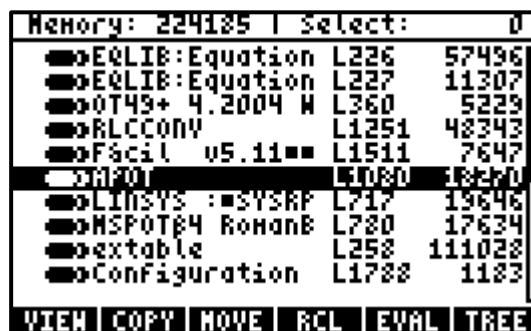


Figura 2. Ubicación de la librería en FLASH

Una vez instalado el programa ejecútelo y aparecerá el menú como lo muestra la Figura 3 y Figura 4. La Librería cuenta con 6 subprogramas que se explicaran brevemente con ejemplos en las siguientes secciones.



Figura 3. Menú primera parte.



Figura 4. Menú segunda parte.

## 2. NUMD

Este programa consta de un menú de selección del formato numérico, en la Figura 5 se tiene en el nivel uno de la pila el valor de pi con todos sus decimales, para llevar a 4 decimales solo presione la función y escoja 4 decimales, el resultado se puede ver en la Figura 6.



Figura 5. Formato numérico.



Figura 6. Formato modificado.

## 3. SISPOT

SISPOT significa sistema de potencia, es un programa que agiliza el cálculo de los valores bases, reactancias de los transformadores, generadores y líneas de transmisión en un sistema de potencia sencillo. SISPOT cuenta con las siguientes características que el usuario debe considerar para su uso.

- Cálculos secuenciales por zonas de menor a mayor.
- Capaz de emplear cálculos en transformadores de 2 y 3 devanados.
- Detección de transformadores fuera de toma.
- Los datos son supuestos por el programa como trifásicos.

El programa cuenta con un menú básico donde se puede ejecutar, ver los resultados obtenidos, borrarlos y una opción que muestra la version. Para explicar el funcionamiento del programa se resolverán dos ejercicios con el fin de dejar claro cada paso de ejecución.

**Ejemplo 1:** Usando los valores bases de 5 MVA y 13.2 KV del lado del generador, determine los valores base, las reactancias de los transformadores, carga y línea de transmisión.

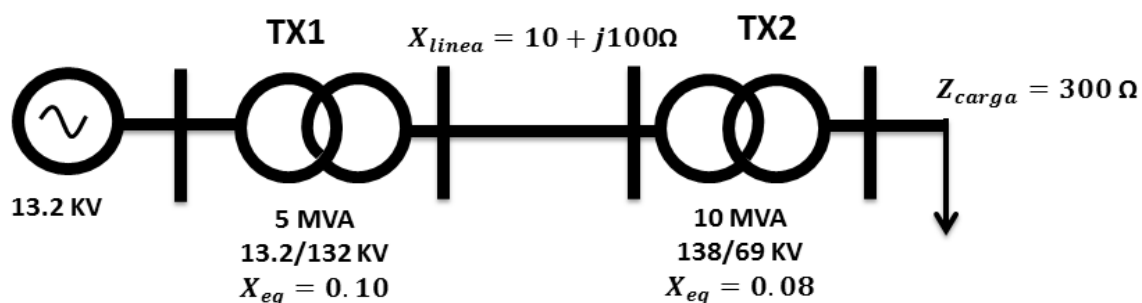


Figura 7. Sistema para ejemplo 1.

Se identifican las distintas zonas en el sistema para poder proceder a resolver como se ve en la Figura 8.

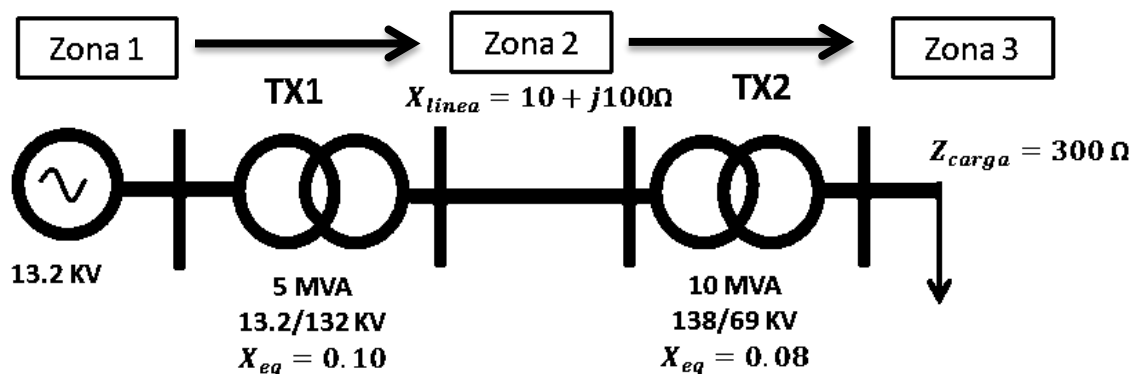


Figura 8. Sistema 1 identificado por zonas.

Posteriormente se procede a ejecutar el programa para la introducción de datos básicos como se puede ver en la Figura 9.

```

SISPOT-SISTEMA CON:
Vbase (ZONA1): 13.2
Sbase (SISTEMA): 5.
Num de Tx: 2.

Voltaje base en Kv
EDIT | | | | CANCL | OK
    
```

Figura 9. Datos básicos del sistema.

```

SISPOT-Ubicación de los TX
Tx1.: '1./2. Tx2.: '2./3.

EDIT | | | | CANCL | OK
    
```

Figura 10. Ubicación de los Tx.

Las ubicaciones se introducen de manera algebraica en cada casilla por transformador de manera escalonada ver Figura 10, posteriormente se introducen los datos de los transformadores, la relación de voltajes utiliza la misma sintaxis que se usó para la ubicación ver Figuras 11 y 12

Figura 11. Datos Tx1.

Figura 12. Datos Tx2.

Ingresados los datos de los Transformadores se procede a calcular la impedancia de la línea de transmisión y carga, se utilizara la notación Zlc1 para la impedancia de línea y Zlc2 para la impedancia de carga, ambas se encuentran en valores reales por lo que se introducen como se muestra en las Figuras 13 a 18.

Figura 13. Selección de cálculo.

Figura 14. Numero de impedancias.

Figura 15. Selección de cálculo.

Figura 16. Ingreso de datos de Z1.

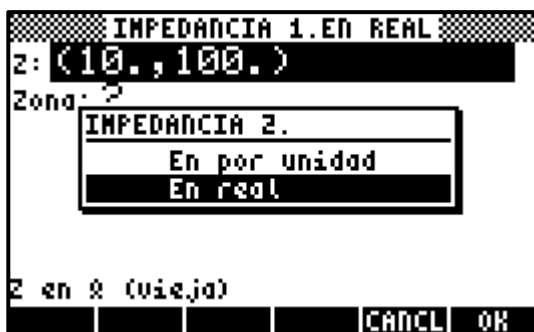


Figura 17. Selección de cálculo.

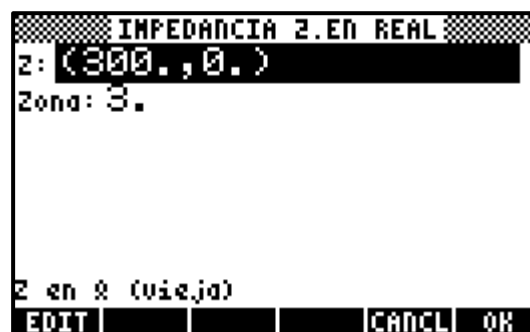


Figura 18. Ingreso de datos Z2.

Los Resultados se muestran en los niveles 1 y 2 de la pila, ver Figura 19.



Figura 19. Resultados ejemplo 1.

Extrayendo los resultados de la calculadora se tienen las Tablas 1 y 2.

B \ Z	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Voltaje base(KV)	13.2	132	66
Corriente base(KA)	$\sqrt{3} * 0.2186$	$\sqrt{3} * 0.0218$	$\sqrt{3} * 0.0437$
Impedancia base(Ω)	34.848	3484.8	871.2

Tabla 1. Valores bases del sistema 1.

RESULTADOS DE LAS Z			
TX2 DEVANADOS	Zcc	/	/
TX1	0.1	/	/
TX2 DEVANADOS	Zcc	/	/
TX2	0.0437	/	/

ZONA 2	Zpu	/	/
ZLC1	0.0028+j0.0287	/	/
ZONA 3	Zpu	/	/
ZLC2	0.3444	/	/

Tabla 2. Valores de impedancias de los Tx, líneas y cargas.

**Ejemplo 2:** Para un valor de voltaje base de 230 KV en la zona de transmisión (entre TX1 y TX5) y una potencia aparente base de 100 MVA, halle los valores base en cada zona del sistema y las impedancias de los transformadores en por unidad.

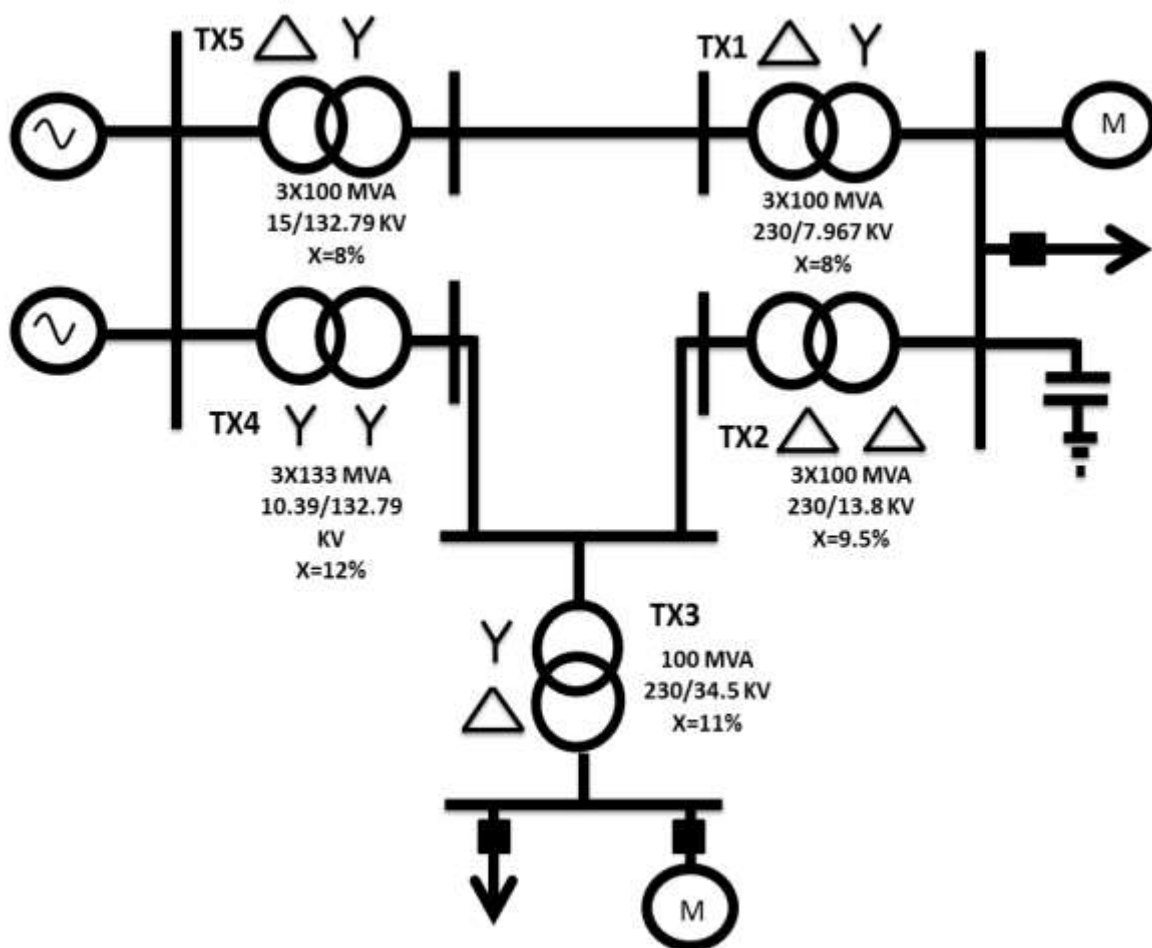


Figura 20. Sistema para el ejemplo 2.



Identificando las zonas en el sistema como se puede ver en la Figura 21.

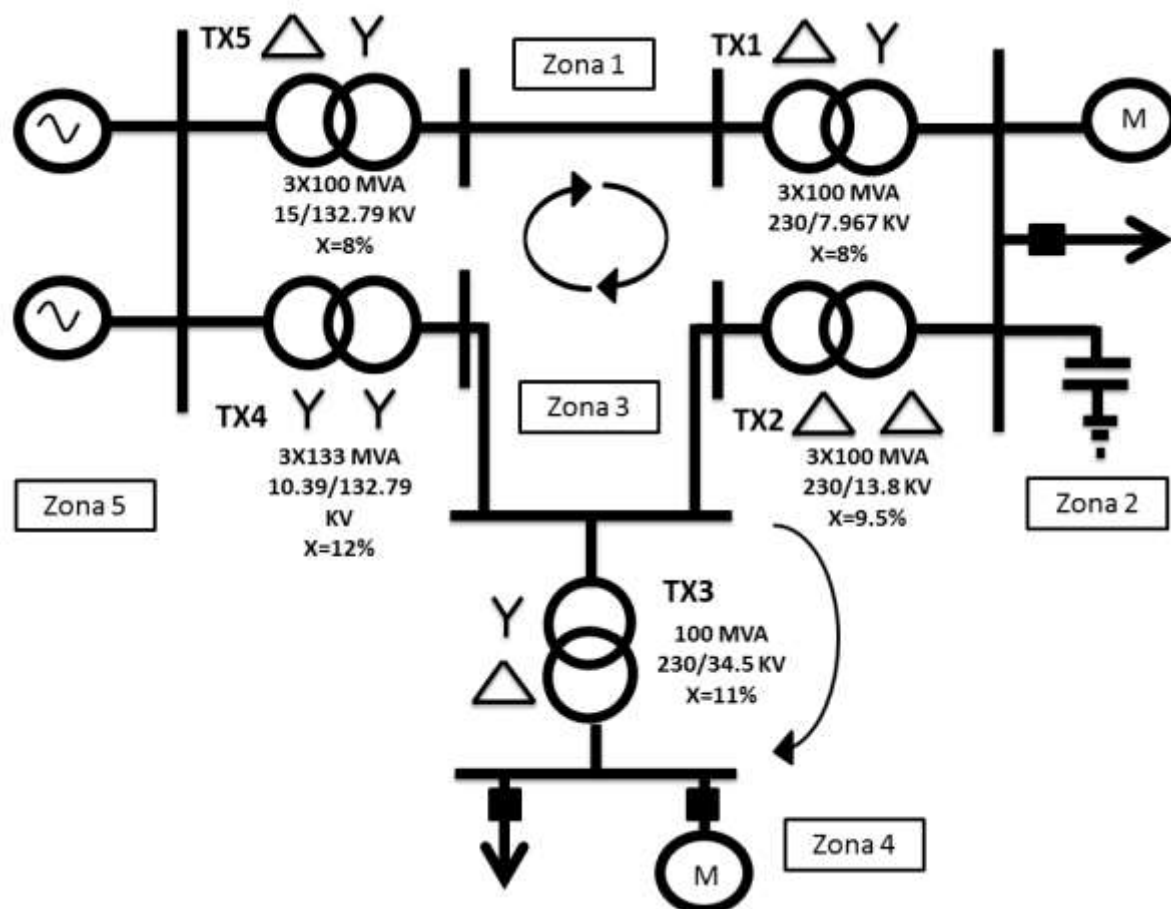


Figura 21. Sistema 2 identificado por zonas.

La resolución comienza ingresando los datos básicos como se puede ver en la Figura 22. Solo se mostrara la introducción de datos para 2 transformadores y posteriormente los resultados.

```

SISPOT-SISTEMA CON:
Vbase (ZONA1): 230.
Sbase (SISTEMA): 100.
Num de Tx: 5.

Voltaje base en Kv
EDIT | | | | CANCL | OK
  
```

Figura 22. Ingreso de datos.

```

SISPOT-UBICACION DE LOS TX
Tx1.: '1./2. Tx2.: '2./3.
Tx3.: '3./4. Tx4.: '3./5.
Tx5.: '5./1.

EDIT | | | | CANCL | OK
  
```

Figura 23. Ingreso de ubicaciones de los Tx.

En las Figuras 24 y 25 se puede observar cómo se introducen los valores reales de las relaciones de voltaje obtenidos por el análisis para cada transformador previamente a la ejecución del programa.



Figura 24. Ingreso de datos para el Tx1.

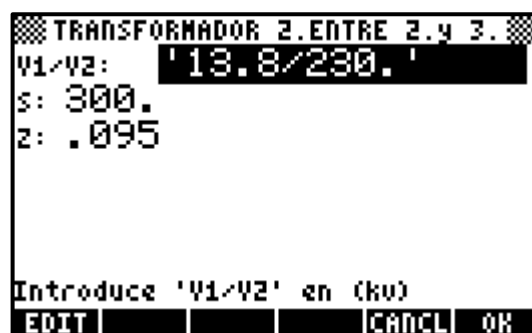


Figura 25. Ingreso de datos para el Tx2.

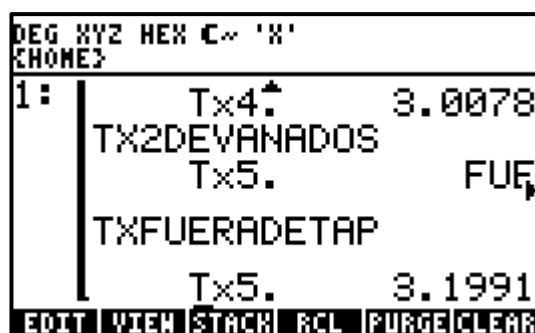


Figura 26. Resultados de las impedancias.



Figura 27. Resultados valores bases.

Extrayendo los resultados de la calculadora se tienen las Tablas 3 y 4

B \ Z	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Voltaje base(KV)	230	13.8	230	34.5	18
Corriente base(KA)	0.2510	4.1839	0.2510	1.6735	3.2083
Impedancia base(Ω)	528	1.9044	529	11.9025	3.24

Tabla 3. Valores bases del sistema 2.

RESULTADOS DE LAS Z			
TX2 DEVANADOS	Xcc	/	/
TX1	0.267	/	/
TX2 DEVANADOS	Xcc	/	/
TX2	0.0317	/	/
TX2 DEVANADOS	Xcc	/	/
TX3	0.11	/	/
TX2 DEVANADOS	Xcc	/	/
TX4	0.0301	/	/
TX2 DEVANADOS	Xcc	/	/
TX5	FUERA DE TAP	/	/
TX FUERA DE TAP	X/t	X/(1-t)	X/t*(t-1)
TX5	0.0320	0.1600	-0.1920

Tabla 4. Valores de impedancias de los Tx, líneas y cargas.

## 4. YBUS

Este programa calcula la matriz admitancia de bus de un sistema de potencia. Dado el siguiente ejemplo se procederá a calcular la Ybus paso por paso.

**Ejemplo 3:** En el sistema que aparece en la Figura 28, calcule la matriz admitancia de bus.

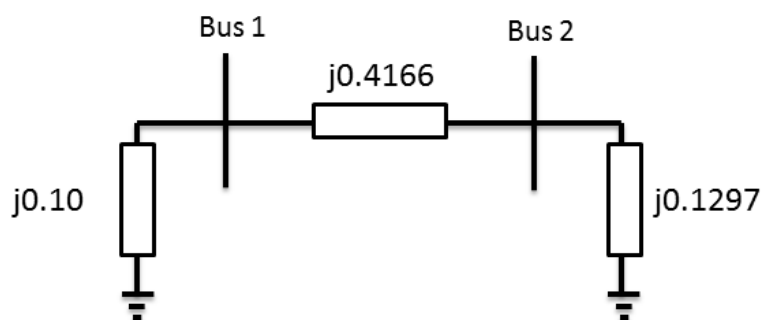


Figura 28. Sistema para el ejemplo 3.

Al ejecutar el programa se tiene la ventana como aparece en la Figura 29, en ella se introduce el número de buses presentes en el sistema, después comienza un proceso iterativo el cual consiste en ir introduciendo las impedancias como lo pide el programa ver Figuras 30 a 32.

```

DEG XYZ HEX R~ 'X'          PRG
[HOME] [APOT]                USR 03 37,25:JUL
Numero de Buses:

24
NUMD |SISPO|YBUS|FLUJO|CASOS| TX

```

Figura 29. Ingreso del número de buses.

```

DEG XYZ HEX R~ 'X'          PRG
[HOME] [APOT]                USR 03 38,25:JUL
Impedancia a tierra
Bus 1.

(0,10)
NUMD |SISPO|YBUS|FLUJO|CASOS| TX

```

Figura 30. Ingreso de impedancia bus 1.

```

DEG XYZ HEX R~ 'X'          PRG
[HOME] [APOT]                USR 03 40,25:JUL
Impedancia entre los
Buses 1.y 2.:

(0,0.4166)
NUMD |SISPO|YBUS|FLUJO|CASOS| TX

```

Figura 31. Impedancia entre 1 y 2.

```

DEG XYZ HEX R~ 'X'          PRG
[HOME] [APOT]                USR 03 42,25:JUL
Impedancia a tierra
Bus 2.

(0,0.1297)
NUMD |SISPO|YBUS|FLUJO|CASOS| TX

```

Figura 32. Impedancia bus 2.

```

DEG XYZ HEX R~ 'X'          PRG
[HOME]                      USR 03 44,25:JUL
0:
0:
0:
0:
0:
0:
1: [(0.0000,-2.5004) (0,
    [(0.0000,2.4004) (0.0
EDIT |VIEW|STACK| RCL |FURGE|CLEAR

```

Figura 33. Resultados.

Procediendo a extraer los resultados obtenidos tenemos la matriz presenten en la siguiente matriz.

$$Y_{bus} = \begin{pmatrix} -j2.5004 & j2.4004 \\ j2.4004 & -j10.1105 \end{pmatrix}$$

## 5. FLUJOS

Este programa calcula los flujos de potencia presentes entre los buses. Partiendo del ejemplo anterior pero con tensiones de bus conocidas iguales a:

$$V = \begin{pmatrix} |V1| \\ |V2| \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\delta = \begin{pmatrix} \delta1 \\ \delta2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0^\circ \\ 30^\circ \end{pmatrix}$$

Se procede a ejecutar el programa e introducir los datos como aparece en la Figura 34, la casilla que tienen como etiqueta (n:) es para indicar el número de buses y la casilla en la que aparece la notación  $(V/\delta)$  es para introducir el vector de voltajes de buses, luego se procede a introducir los datos requeridos por el programa los cuales se pide con una estructura muy parecida al programa Ybus ver Figuras 35 y 36.

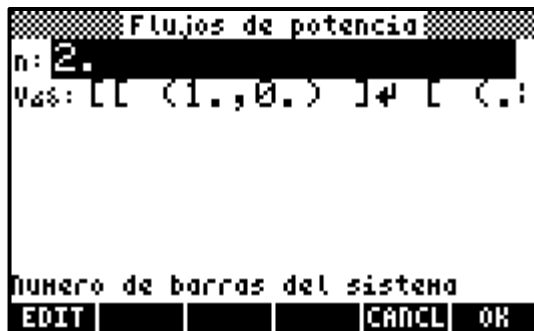


Figura 34. Ingreso de datos.

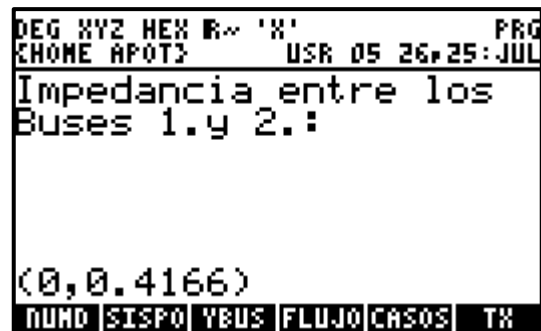


Figura 35. Ingreso de datos de Z



Figura 36. Ingreso de datos de Y.

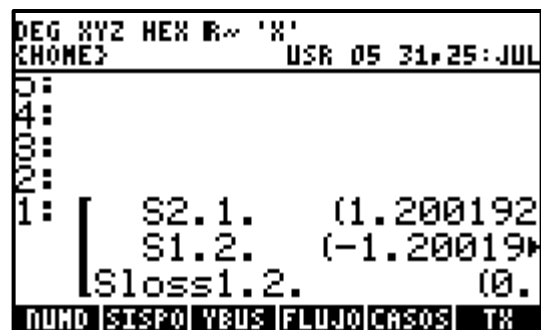


Figura 37. Resultados.

Extrayendo los resultados se tiene la Tabla 5

S21	$1.2002+j0.3216$
S12	$-1.2002+j0.3216$
Sloss12	$j0.6432$

Tabla 5. Flujos de potencia y potencia de pérdida.

El sistema con los flujos de potencia señalados se encuentra en la Figura 38:

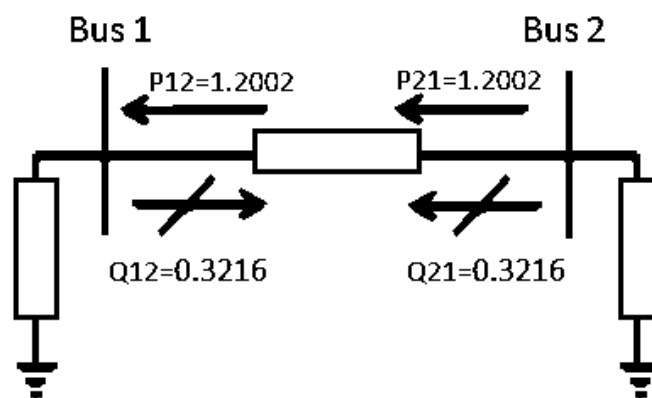


Figura 38. Flujos de potencia.

## 6. TX

TX cuenta con un menú el cual se puede ver en la Figura 39. El programa permite resolver casos de interés en transformadores de 2 y 3 devanados como lo son los el cálculo de las reactancias para los transformadores fuera de tap y las reactancias por devanado para los transformadores de 3 devanados.

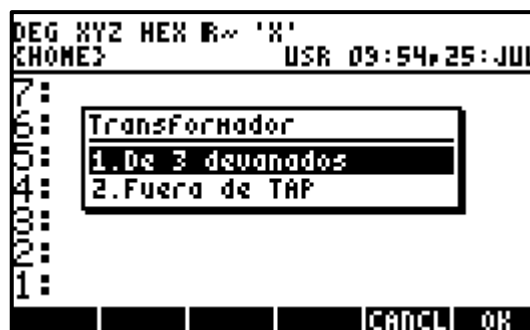


Figura 39. Menú TX.

## 7. CASOS (Modificación a Zbus)

Este programa permite modificar una matriz impedancia de bus una vez dada la ubicación donde se modificara y el valor de la impedancia que se desea añadir a la matriz, cuenta con 4 casos de modificación los cuales son útiles para el análisis de control de tensión en un sistema

**Ejemplo 4:** Dado el sistema de la Figura 40, se desea colocar un transformador igual entre los buses 3 y 6 pero cambiándole el tap de manera de incrementar las tensión en el tensión en el bus 3

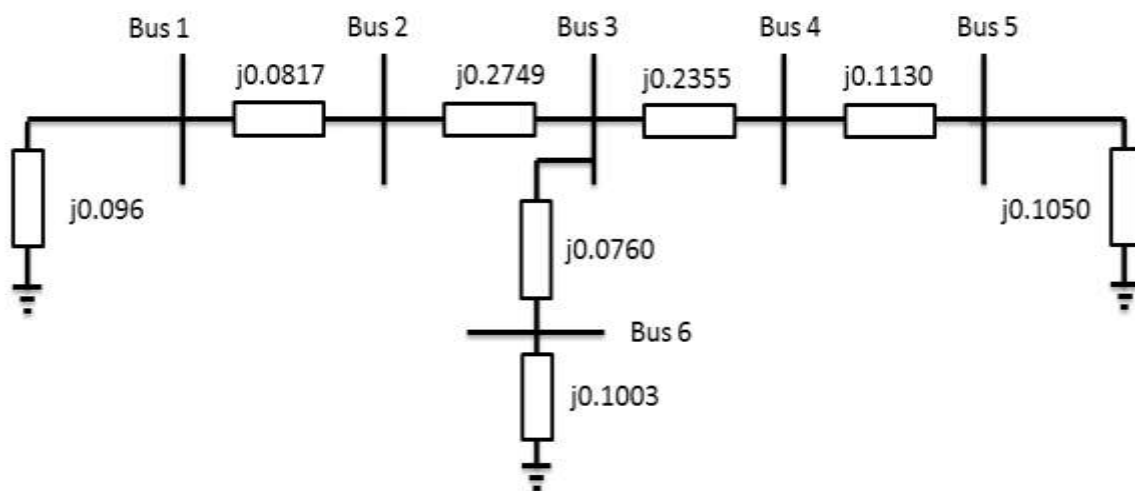


Figura 40. Sistema para el ejemplo 4.

La resolución del problema se limitara solo a modificar la matriz Zbus del sistema. La matriz Zbus original del sistema dado en la Figura 40 es la siguiente:

$$Z_{bus} = j \begin{pmatrix} 0.0801 & 0.0666 & 0.0210 & 0.0101 & 0.0049 & 0.0120 \\ 0.0666 & 0.1232 & 0.0389 & 0.0187 & 0.0090 & 0.0221 \\ 0.0210 & 0.0389 & 0.0991 & 0.0477 & 0.0230 & 0.0564 \\ 0.0101 & 0.0187 & 0.0477 & 0.1361 & 0.0656 & 0.0271 \\ 0.0049 & 0.0090 & 0.0230 & 0.0656 & 0.0860 & 0.0131 \\ 0.0120 & 0.0221 & 0.0564 & 0.0271 & 0.0131 & 0.0753 \end{pmatrix}$$

La modificación se tiene que realizar entre 2 buses por lo tanto es el caso 4 del programa, en las siguientes imágenes se muestra el proceso de modificación.



Figura 41. Menú casos.

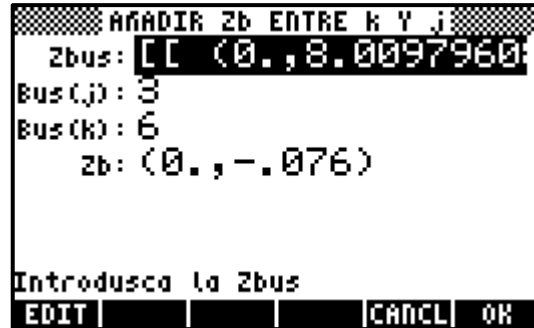


Figura 42. Caso 4.

La matriz impedancia de bus del sistema esta guardada en la variable ZBUS, los buses que comprenden la reactancia del transformador son los 3 y 6 y el valor de impedancia es  $-j0.0760$ , ver Figura 42. El resultado una vez introducidos los datos y ejecutado el programa son los siguientes:

$$Zbus' = j \begin{pmatrix} 0.0858 & 0.0772 & 0.0480 & 0.0231 & 0.0111 & 0 \\ 0.0772 & 0.1429 & 0.0889 & 0.0428 & 0.0206 & 0 \\ 0.0480 & 0.0889 & 0.2265 & 0.1089 & 0.0524 & 0 \\ 0.0231 & 0.0428 & 0.1089 & 0.1656 & 0.0797 & 0 \\ 0.0111 & 0.0206 & 0.0524 & 0.0797 & 0.0928 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1003 \end{pmatrix}$$