

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

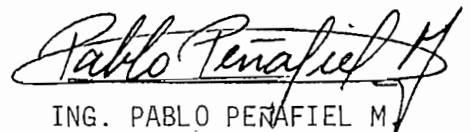
"ESTUDIO Y PROGRAMAS PARA SINTESIS Y ANALISIS DE REDES LC  
PARA APLICACIONES EN ALTA FRECUENCIA"

GLORIA DEL ROCIO TUQUERRES CERON

TESIS PREVIA A LA OBTENCION  
DEL TITULO DE INGENIERO EN  
ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

QUITO, AGOSTO 1987

Certifico que el presente  
trabajo ha sido elaborado  
en su totalidad por la  
Señorita Gloria del Rocío  
Túquerres Cerón.



ING. PABLO PEÑAFIEL M.

Director de Tesis

A MIS PADRES  
Y HERMANOS

#### AGRADECIMIENTO:

Al Ing. Pablo Peñafiel, Director de Tesis, por su valiosa colaboración en la culminación de este trabajo.

A mis amigos y compañeros que de una u otra forma colaboraron en la terminación de esta tesis.

## C O N T E N I D O

1.	<u>CAPITULO 1:</u>	<u>INTRODUCCION</u>	1
1.1	RESUMEN		1
1.2	DESCRIPCION Y DELIMITACION DEL TEMA		2
1.2.1	Bobinas y condensadores		3
1.2.2	Factor de calidad		6
1.2.3	Impedancia y admitancia de entrada de redes con un par de terminales		10
2.	<u>CAPITULO 2:</u>	<u>SINTESIS DE REDES L-C</u>	16
2.1	INTRODUCCION		16
2.2	DEFINICION DE DATOS DE ENTRADA		23
2.2.1	Elementos que definen la función impedancia de entrada		23
2.2.2	Ingreso de datos		23
2.3	ALGORITMOS DE CALCULO		26
2.3.1	Algoritmos para síntesis de redes Foster Serie		28
2.3.2	Algoritmos para síntesis de redes Foster Paralelo		33
2.3.3	Algoritmos para síntesis de redes Cauer L-Serie.		37
2.3.4	Algoritmos para redes Cauer C-Serie		40
2.3.5	Diagrama de flujo para implementación de algoritmos de síntesis		43
2.4	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		48
2.4.1	Ejemplo 1		48
2.4.2	Ejemplo 2		53
2.4.3	Ejemplo 3		55

3.	<u>CAPITULO 3:</u>	<u>ANALISIS DE REDES</u>	61
	3.1	DEFINICION DE PARAMETROS PARA ANALISIS	61
	3.1.1	Influencia de las pérdidas en la función impedancia de entrada	63
	3.1.2	Ingreso de datos	65
	3.1.3	Algoritmo utilizado para el análisis de redes.	67
	3.1.3.1	Codificación de la topología de la red	67
	3.1.3.2	Algoritmo de Cálculo	72
	3.2	RESPUESTA DE FRECUENCIA	81
	3.2.1	Generalidades	81
	3.2.2	Presentación de resultados de análisis	83
	3.3	ANALISIS DE SENSITIVIDAD Y TOLERANCIA	88
4.	<u>CAPITULO 4:</u>	<u>PRUEBAS EXPERIMENTALES</u>	94
	4.1	PRUEBA No 1	97
	4.2	PRUEBA No 2	98
	4.3	PRUEBA No 3	99
5.	<u>CAPITULO 5:</u>	<u>CONCLUSIONES</u>	103
6.	<u>ANEXO 1:</u>	<u>MANUAL DE UTILIZACION DEL PROGRAMA</u>	105
	6.1	INTRODUCCION	105
	6.2	FUNCIONES DEL PROGRAMA	105
	6.2.1	Síntesis de redes	105
	6.2.2	Análisis de redes	106
	6.3	FORMATO PARA DATOS DE ENTRADA	107
	6.3.1	Datos de entrada para síntesis	107
	6.3.2	Datos de entrada para análisis	108
	6.3.2.1	Datos de entrada para análisis de redes Foster y Cauer resultantes del proceso de síntesis	108

6.3.2.2	Datos de entrada para análisis de cualquier red con elementos R, L y C . .	109
6.3.2.3	Datos de entrada para sensibilidad . . . . .	111
6.3.2.4	Datos de entrada para tolerancia . . . . .	111
6.4	PRESENTACION DE RESULTADOS . . . . .	111
6.4.1	Resultados de síntesis . . . . .	111
6.4.2	Resultados de análisis de redes	116
6.4.2.1	Resultados de respuesta de frecuencia . . . . .	116
6.4.2.2	Resultados de potencia para redes Foster y Cauer	118
6.4.2.3	Resultados de sensibilidad	119
6.4.2.4	Resultados de tolerancia .	121
6.4.2.5	Gráficos e impresión de resultados de análisis . .	122
6.5	MENUS DEL PROGRAMA REDESHF . . . . .	122
6.5.1	Menú raiz . . . . .	123
6.5.2	Menú para síntesis de redes Foster y Cauer . . . . .	124
6.5.3	Menú para análisis de redes . .	125
6.6	ALGUNOS MENUS DE UTILIDAD DEL PROGRAMA	
	123 . . . . .	126
6.6.1	Menú para copia de rangos . . .	126
6.6.2	Menú para impresión . . . . .	126
6.6.3	Menú para gráficos . . . . .	127
6.7	INSTALACION DEL PROGRAMA REDESHF . . . . .	128
6.7.1	Requerimientos que debe cumplir el computador . . . . .	128
6.7.2	Secuencia para ejecución del programa REDESHF . . . . .	128
6.8	ESTRUCTURA DEL PROGRAMA REDESHF . . . . .	130
6.8.1	Funciones de los programas contenidos en REDESHF . . . . .	130

6.8.2	Programación estructurada . . .	134
7.	<u>ANEXO 2: CONCEPTOS BASICOS DE REDES ELECTRI-</u>	
	<u>CAS</u> . . . . .	135
7.1	FRECUENCIA COMPLEJA . . . . .	135
7.2	FUNCION DE RED . . . . .	136
7.3	PROPIEDADES DE FUNCIONES DE RED . . . . .	140
7.4	LIMITACIONES PARA LAS UBICACIONES DE POLOS Y CEROS DE FUNCIONES DE EXCITACION	141
8.	<u>ANEXO 3: LISTADO DE PROGRAMAS</u> . . . . .	146
8.1	PROGRAMA REDESHF . . . . .	146
8.2	PROGRAMA CARGA . . . . .	146
8.3	PROGRAMA CARGAL . . . . .	148
8.4	PROGRAMA SINTESIS . . . . .	148
8.5	PROGRAMA ANALISIS . . . . .	165
8.6	PROGRAMA DATSINT1 . . . . .	178
8.7	PROGRAMA INGRESO2 . . . . .	185
8.8	PROGRAMA SENSIT1 . . . . .	187
8.9	PROGRAMA TOLERAN . . . . .	200
8.10	HOJA ELECTRONICA AUT0123.WK1 . . . . .	213
9.	<u>LISTADO DE FIGURAS</u> . . . . .	214
10.	<u>LISTADO DE TABLAS</u> . . . . .	220
11.	<u>BIBLIOGRAFIA</u> . . . . .	224



## 1. CAPITULO 1: INTRODUCCION

### 1.1 RESUMEN

En trabajos anteriores (referirse a las Tesis EPN que constan en la bibliografía) fueron desarrollados programas en lenguaje FORTAN IV para síntesis y análisis de redes (con la utilización del computador IBM 370/125). En esta tesis, los algoritmos utilizados en los trabajos mencionados han sido adaptados e integrados en un solo programa (REDESHF) que facilita la utilización de estos recursos en un computador personal.

REDESHF constituye un conjunto de programas que realizan síntesis y análisis de redes L-C para aplicaciones en alta frecuencia. Los programas fueron desarrollados en un computador personal con el intérprete BASIC ver. 3.0 y requieren de la hoja de cálculo electrónico 123 (LOTUS ver. 2.0) para las operaciones de ingreso de datos y presentación de resultados. El programa autoejecutable REDESHF.BAT permite el ingreso a los menús de síntesis y análisis.

Se ha dedicado el capítulo 2 para tratar la temática de síntesis de redes Foster y Cauer, en la que se incluye la teoría básica, el algoritmo de cálculo, y ejemplos en los que se ilustra el funcionamiento del programa.

El capítulo 3 realiza un enfoque del análisis de redes que incluye respuesta de frecuencia y cálculo de sensibilidad y tolerancia monoparamétrica.

En el capítulo 4 se relaciona los resultados obtenidos de experimentos en el laboratorio con los datos procesados por el programa REDESHF, con el objetivo de ilustrar la aplicación de este estudio a la enseñanza teórico-experimental de los temas tratados.

Para facilitar la utilización del programa, se adjunta el manual de uso en el Anexo 1, y una referencia corta de conceptos fundamentales en el Anexo 2.

Se espera que este trabajo sirva de referencia, especialmente, a los estudiantes que reciben la materia Electrónica de Alta Frecuencia de la especialización Electrónica y Telecomunicaciones, con el objetivo de facilitar el aprendizaje y la comprensión de los temas tratados.

## 1.2 DESCRIPCION Y DELIMITACION DEL TEMA

La teoría de circuitos eléctricos incluye el análisis y la síntesis de redes. Para efectos del desarrollo de esta tesis, el análisis de los circuitos eléctricos se restringe a la determinación de los valores de voltaje, corriente y potencia activa asociados con cada elemento y con cada nodo de la red. Las magnitudes mencionadas constituyen la respuesta del circuito eléctrico y son evaluadas para un rango de frecuencia o para una sola frecuencia. No se analiza la respuesta transitoria.

La red es un conjunto de elementos eléctricos (resistencias, capacitores, inductores, etc.) conectados entre sí. Las redes se clasifican en pasivas y activas por la

capacidad que tienen los elementos constitutivos de entregar o no energía.

Una red pasiva es aquella que esta conformada solo por elementos que tienen la capacidad de consumir o almacenar una cantidad finita de energía. A este grupo pertenecen resistencias, condensadores e inductores.

Una red activa es aquella que a más de tener los elementos ya indicados posee fuentes sean de voltaje o de corriente, que constituyen la excitación.

El problema de síntesis parte de la formulación matemática del comportamiento de la función impedancia de entrada de una red pasiva en función de la frecuencia, y conduce a la determinación de las redes que cumplen con la función de impedancia planteada. Este problema no tiene solución única por lo que se consideran cuatro respuestas que conducen a redes canónicas tipo Foster y Cauer.

Los circuitos eléctricos resultantes de la síntesis (fig. 1.1) están definidos por la excitación y la estructura de la red.

### 1.2.1 Bobinas y condensadores

El modelo matemático que se emplea para el análisis de bobinas y condensadores, debe contener una resistencia que representa las pérdidas.

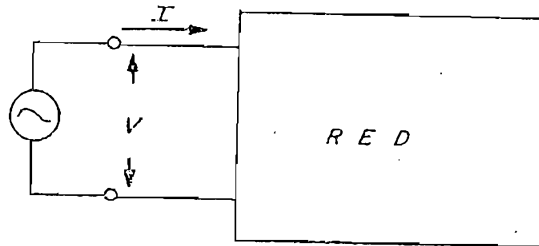


Figura 1.1.- Circuito eléctrico constituido por la excitación y la estructura de la red.

Las principales causas de pérdidas de energía en las bobinas son: el efecto pelicular, que consiste en concentración de corriente en la periferia del conductor; las pérdidas dieléctricas correspondientes a la capacitancia resultante de la interacción entre las espiras adyacentes; las pérdidas debidas a las corrientes parásitas en los blindajes u otros objetos metálicos próximos a la bobina; y, pérdidas de energía debido a la histéresis del núcleo (bobinas con núcleo magnético).

Una bobina real puede ser representada por una resistencia en serie con la inductancia o por una resistencia en paralelo con la inductancia (fig. 1.2).

Un capacitor perfecto, al descargarse, devuelve toda la energía que se le ha proporcionado. Los capacitores nunca cumplen esta condición ideal, sino que disipan parte de la energía que se les ha entregado. La mayor parte de las pérdidas que ocurren en los capacitores se

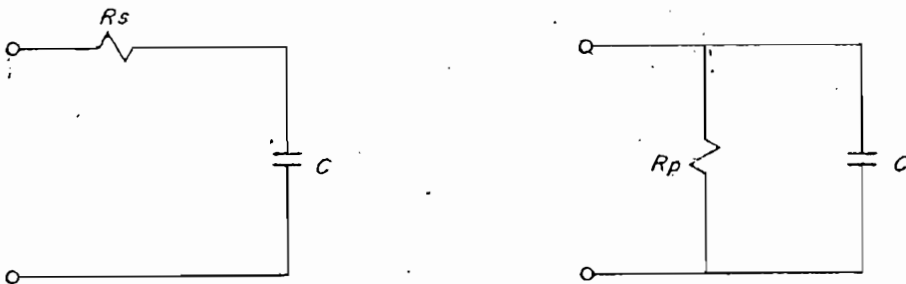
producen en el diélectrico, sin embargo a frecuencias muy altas, el efecto pelicular da lugar también a una pérdida apreciable en las conexiones y los electrodos del capacitor.



- a) Inductancia en serie con resistencia      b) Inductancia en paralelo con resistencia

Figura 1.2.- Circuitos equivalentes de una bobina.

El circuito equivalente de un capacitor real (fig. 1.3) debe considerar a una resistencia en serie o en paralelo con la capacidad.



- a) Capacidad en serie con resistencia      b) Capacidad en paralelo con resistencia

Figura 1.3.- Circuitos equivalentes de un capacitor.

## 1.2.2 Factor de calidad

En todo elemento o circuito real capaz de almacenar energía existe también potencia disipada, la relación entre estas dos magnitudes se define como factor de calidad (Q).

$$Q = W \frac{\text{Máxima energía almacenada}}{\text{Potencia disipada promedio}} \quad \text{ec. 1.1}$$

donde: Q → Factor de calidad  
W → Frecuencia angular.

Si la función excitatriz es una senoide se puede trabajar con fasores (dominio de la frecuencia) en lugar de hacerlo con derivadas e integrales de sinusoides, de esta manera se consigue una simplificación verdaderamente notable en el análisis del régimen permanente.

Las relaciones fasoriales para resistencia, inductor y condensador se presentan a continuación:

RESISTENCIA	$V = R I$
INDUCTOR	$V = j\omega L I$
CAPACITOR	$I = j\omega C V$

En base a estas relaciones fasoriales se obtiene las impedancias y admitancias para resistencias, inductores, y capacitores (Tabla 1.1).

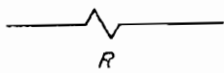
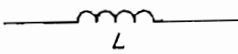
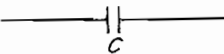
ELEMENTO	IMPEDANCIA	ADMITANCIA
	$R$	$G$
	$j\omega L$	$1/j\omega L$
	$1/j\omega C$	$j\omega C$

Tabla 1.1.- Impedancias y admitancias de resistencias, bobinas y condensadores.

Las pérdidas en los condensadores e inductores están representadas por la potencia activa ( $P$ ) disipada en la resistencia serie ( $R_s$ ) o paralelo ( $R_p$ ) del circuito equivalente (figs. 1.2 y 1.3), entonces:

$$P = 1/2 I_m^2 R_s \quad \text{ec. 1.2}$$

donde:  $P$  → Potencia activa  
 $I_m$  → Corriente pico (máxima)  
 $R_s$  → Resistencia serie

o también,

$$P = V_m^2 / (2R_p) \quad \text{ec. 1.3}$$

donde: P → Potencia activa  
 $V_m$  → Voltaje pico (máximo)  
 $R_p$  → Resistencia paralelo

La máxima energía almacenada en un inductor ( $E_{ML}$ ) es:

$$E_{ML} = 1/2 L I_m^2 \quad \text{ec. 1.4}$$

donde:  $E_{ML}$  → Energía máxima almacenada en la inductancia  
 $L$  → Inductancia  
 $I_m$  → Corriente pico (máxima)

y en un capacitor ( $E_{MC}$ ) es:

$$E_{MC} = 1/2 C V_m^2 \quad \text{ec. 1.5}$$

donde:  $E_{MC}$  → Energía máxima almacenada en el condensador  
 $C$  → Capacidad  
 $V_m$  → Voltaje pico (máximo)

Aplicando la expresión de factor de calidad a los condensadores e inductores se tiene la siguiente tabla:



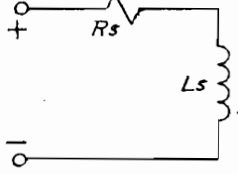
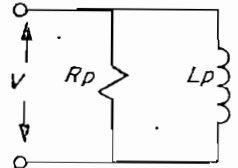
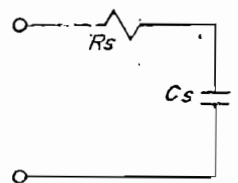
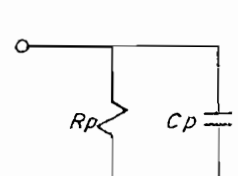
CIRCUITO	POTENCIA ALMACENADA (máxima)	ENERGIA DISIPADA	FACTOR DE CALIDAD
	$1/2 L_s I_m^2$	$1/2 I_m^2 R_s$	$W L_s / R_s$
	$1/2 V_m^2 / W L_p^2$	$1/2 V_m^2 / R_p$	$R_p / W L_p$
	$1/2 I_m^2 / W C_s^2$	$1/2 I_m^2 R_s$	$1 / W R_s C_s$
	$1/2 V_m^2 C_p^2$	$1/2 V_m^2 / R_p$	$W C_p R_p$

Tabla 1.2.- Potencia máxima almacenada, energía disipada y factor de calidad para bobinas y condensadores.

El factor de calidad de un circuito que contiene una

bobinas y condensadores depende de la frecuencia de trabajo (Tabla 1.3).

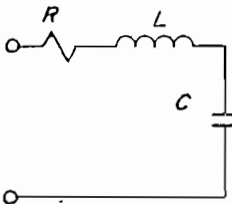
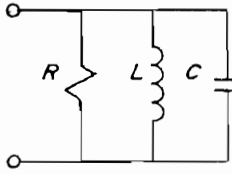
CIRCUITO	FACTOR DE CALIDAD		
	$f < f_0$	$f > f_0$	$f = f_0$
	$1 / WRC$	$WL / R$	$X_L = X_C$ $1 / WRC$ $WL / R$
	$R / WL$	$WCR$	$B_L = B_C$ $R / WL$ $WCR$

Tabla 1.3.- Factor de Calidad para circuitos serie y paralelo en función de la frecuencia.

1.2.3 Impedancia y admitancia de entrada de redes con un par de terminales

La impedancia de entrada de una conexión serie de "n" redes (fig. 1.4a) con un solo par de terminales, es la suma de las impedancias individuales de las redes (ec. 1.6).

$$Z(s) = Z_1(s) + Z_2(s) + \dots + Z_n(s) \quad \text{ec. 1.6}$$

donde:  $Z(s)$  → Impedancia de entrada de la conexión serie  
 $Z_n(s)$  → Impedancia de entrada de la enésima red  
 $s$  → Frecuencia compleja

Para la conexión paralelo de redes (fig. 1.4b), la admitancia total es la suma de las admitancias individuales de cada red.

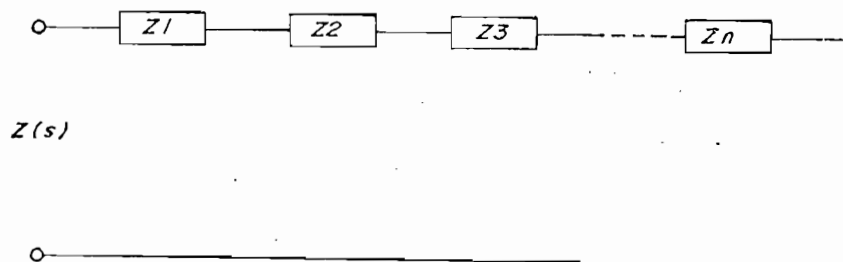
$$Y(s) = Y_1(s) + Y_2(s) + \dots + Y_n(s) \quad \text{ec. 1.7}$$

donde:  $Y(s)$  → Admitancia de entrada de la conexión paralelo  
 $Y_n(s)$  → Admitancia de entrada de la enésima red

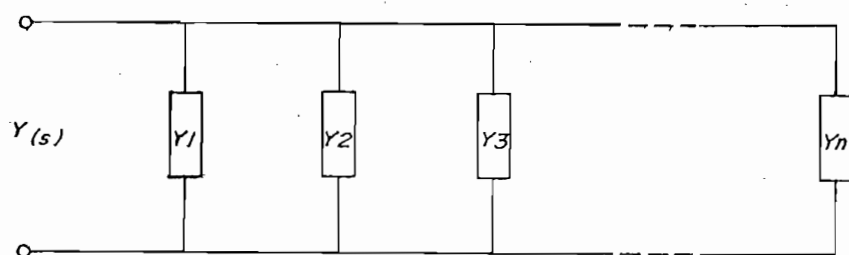
Si la topología de la red presenta conexiones tanto en serie como en paralelo, el cálculo de la impedancia de entrada requiere de la evaluación de impedancias y admitancias en puntos intermedios. En las redes serie-paralelo en forma de escalera (fig. 1.5), la impedancia de entrada se obtiene como se indica en la ec. 1.8.

$$Z(s) = \frac{1}{Z_1(s) + \frac{1}{Y_2(s) + \frac{1}{Z_3(s) + \frac{1}{Y_4(s) + \frac{1}{Z_5(s) \dots}}}}}$$

ec. 1.8



a) Conexión serie de redes.



b) Conexión paralelo de redes.

Figura 1.4.- Conexiones serie y paralelo de " $n$ " redes con un par de terminales.

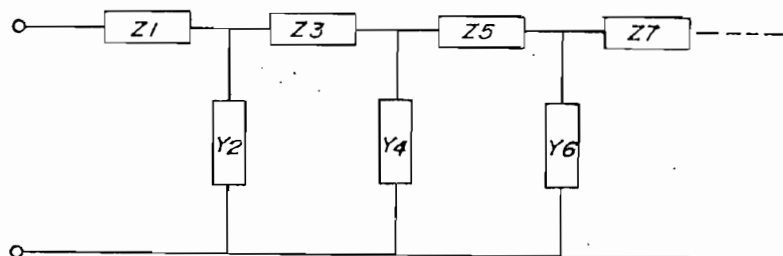


Figura 1.5.- Conexión serie-paralelo en forma de escalera.

La ecuación impedancia de entrada como función de la frecuencia compleja se puede expresar de la siguiente forma<sup>1</sup>:

$$Z(s) = \frac{K (s^2+w_1^2)(s^2+w_3^2) \dots (s^2+w_i^2)}{(s^2+w_2^2)(s^2+w_4^2) \dots (s^2+w_j^2)} \quad \text{ec. 1.9}$$

donde:  $Z(s)$  → Impedancia de entrada  
 $K$  →  $sH$  ó  $H/s$  ( $H$  es una constante real)  
 $w_i$  → Frecuencia angular del  $i$ -ésimo cero  
 $w_j$  → Frecuencia angular del  $j$ -ésimo polo  
 $s$  → Frecuencia compleja

Expandiendo la ec. 1.9 en fracciones parciales se tiene:

$$Z(s) = \frac{K_0}{s} + \frac{2K_2s}{s^2 + w_2^2} + \frac{2K_4s}{s^2 + w_4^2} + \dots + \frac{K_{j+2}s}{s^2 + w_j^2} \quad \text{ec. 1.10}$$

donde:  $K_j$  → Constante que corresponde a la fracción parcial del factor que contiene al  $j$ -ésimo polo

Si la red esta constituida solo por bobinas y capacitores ideales y  $s=jw$ , entonces  $Z(s)$  se representa como  $jX(w)$ , pues se trata de una reactancia pura.

Particularizando la red para la situación mencionada anteriormente y derivando 1.10 con respecto a  $w$ , se tiene:

$$\frac{dX(w)}{dw} = \frac{K_0}{w^2} + \frac{2K_2(w^2 + w_2^2)}{(w_2^2 - w^2)^2} + \dots + K_{j+2}$$

ec. 1.11

donde:  $X(w)$   $\rightarrow$  Reactancia de entrada

En la bibliografía existente<sup>2</sup> se demuestra que:

$$\frac{dX(w)}{dw} > 0 ,$$

ec. 1.12

esto permite afirmar que los polos y ceros en el eje  $w$  deben estar alternados (fig. 1.6).

Realizando el gráfico de la expresión 1.9 en función de  $w$  con  $K = sH$ . La forma de la curva es consecuencia de su característica creciente con respecto a la frecuencia.

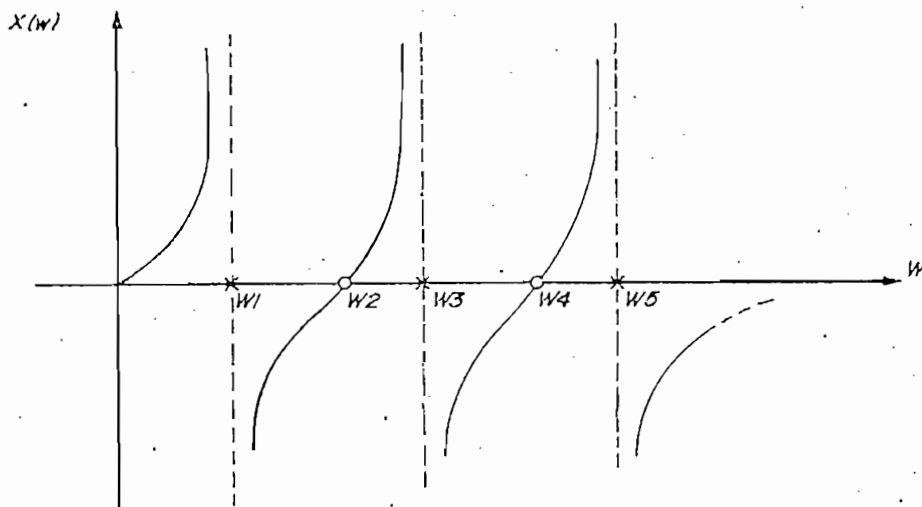


Figura 1.6.- Gráfico de la ec. 1.9 para  $s=jw$  y  $K=sH$

En general las frecuencias críticas a  $w=0$  y  $w \rightarrow \infty$  toman el nombre de frecuencias críticas externas, mientras que las frecuencias críticas restantes son llamadas internas. Todas las frecuencias críticas reciben el nombre de singularidades.

Mayor información sobre las propiedades de la función impedancia de entrada y demás conceptos utilizados en el desarrollo de esta tesis, se encuentran en el Anexo 2.

2. CAPITULO 2: SINTESIS DE REDES L-C

## 2.1 INTRODUCCION

Conocidas las singularidades internas y la impedancia de entrada a determinada frecuencia, se dispone de las condiciones necesarias para estructurar una red de dos terminales. Esta red puede tener diferentes configuraciones, sin embargo, se estudian combinaciones en serie y en paralelo de inductancias y capacitores llamadas redes Foster y Cauer.

Cuando  $s=j\omega$ , la función impedancia de entrada o función de red  $Z(j\omega)$ , se expresa como  $X(\omega)^{1*}$

Las ecuaciones 2.1 y 2.2 representan las expresiones generales de  $X(\omega)$  de acuerdo a las singularidades tanto internas como externas que caracterizan a la red (fig. 2.1).

$$X(\omega) = \frac{H (w_{c1}^2 - \omega^2)(w_{c2}^2 - \omega^2) \dots}{j\omega (w_{p1}^2 - \omega^2)(w_{p2}^2 - \omega^2) \dots} \quad \text{ec. 2.1}$$

siendo:  $w_{c1} < w_{p1} < w_{c2} < \dots$

donde:  $X(\omega) \rightarrow$  Función reactancia de entrada  
 $w_{c1} \rightarrow$  Frecuencia del primer cero

<sup>1\*</sup> Al escribir  $Z(\omega) = X(\omega)$  se asume que  $X(\omega)$  es un número imaginario puro. En el capítulo anterior se utilizó la equivalencia  $Z(\omega) = jX(\omega)$  donde  $X(\omega)$  es un número real.



$\omega_{p1}$  → Frecuencia del primer polo  
 $H$  → Constante real

$$X(\omega) = j\omega H \frac{(\omega_{c1}^2 - \omega^2)(\omega_{c2}^2 - \omega^2) \dots}{(\omega_{p1}^2 - \omega^2)(\omega_{p2}^2 - \omega^2) \dots} \quad \text{ec. 2.2}$$

siendo:  $\omega_{p1} < \omega_{c1} < \omega_{p2} < \dots$

La constante  $H$  queda unívocamente determinada al especificar todas las singularidades internas y el valor de la impedancia de entrada a una frecuencia dada.

La representación gráfica de la impedancia de entrada para un inductor es, una recta que pasa por el origen (ec. 2.3), y para un capacitor, es una hipérbola (ec. 2.4).

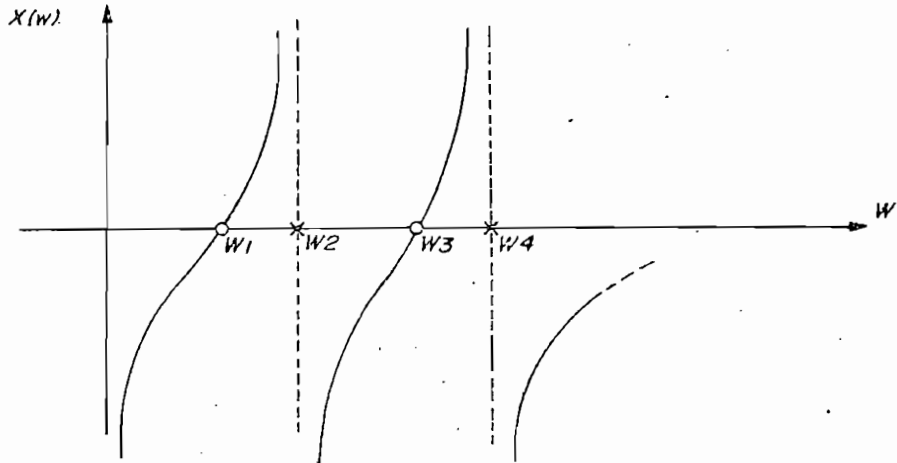
$$X(\omega) = j\omega L \quad \text{ec. 2.3}$$

$$X(\omega) = \frac{1}{j\omega C} \quad \text{ec. 2.4}$$

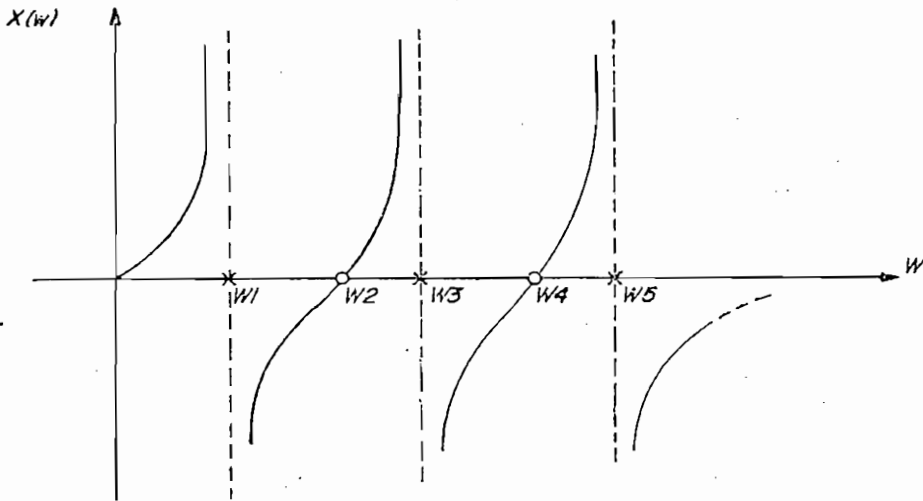
donde:  $L$  → Inductancia  
 $C$  → Capacidad

La reactancia de entrada de un inductor en serie con un capacitor (fig. 2.2) viene dada por 2.5.

$$X(\omega) = \frac{H}{j\omega} (\omega_0^2 - \omega^2) \quad \text{ec. 2.5}$$



a. Gráfico de la ec. 2.1



b. Gráfico de la ec. 2.2

Figura 2.1.- Representación general de  $X(w)$  de acuerdo a la ocurrencia de las singularidades internas en la red.

donde:  $\omega_0^2 = 1/LC$   
 $H = L$

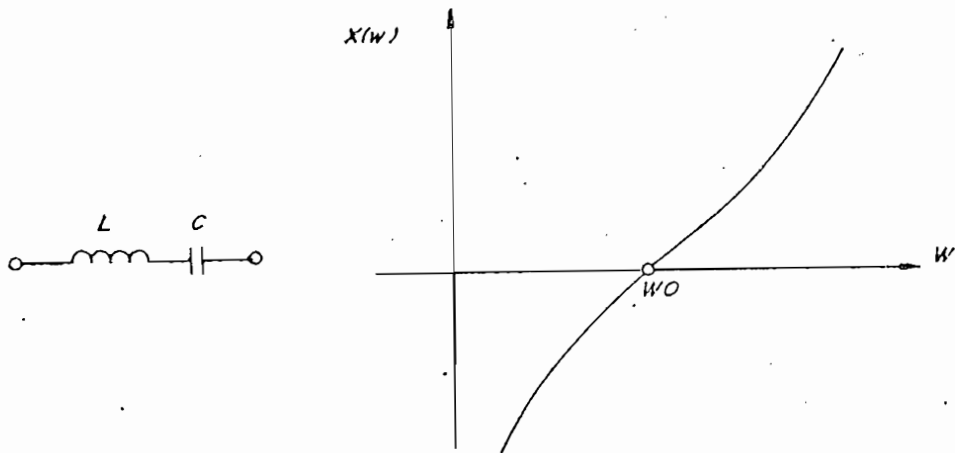


Figura 2.2.- Gráfico de  $X(\omega)$  para un circuito serie inductancia-capacitor.

La impedancia de entrada de un circuito tanque LC (fig. 2.3) es:

$$X(\omega) = j\omega H \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.6}$$

donde:  $\omega_0^2 = 1/LC$   
 $H = 1/C$

El número de singularidades internas depende del número de elementos de la red. Una red se llama canónica cuan-

do el número de elementos que la constituyen es igual al número de singularidades internas de  $X(w)$  aumentado en uno. Las redes Foster y Cauer son redes canónicas.

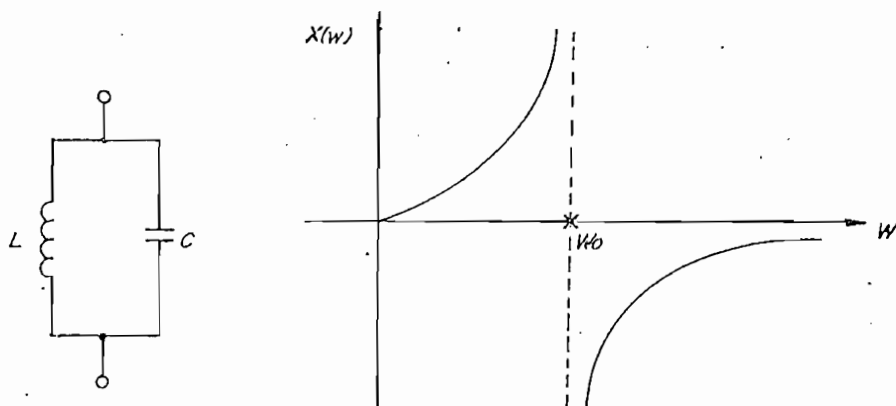
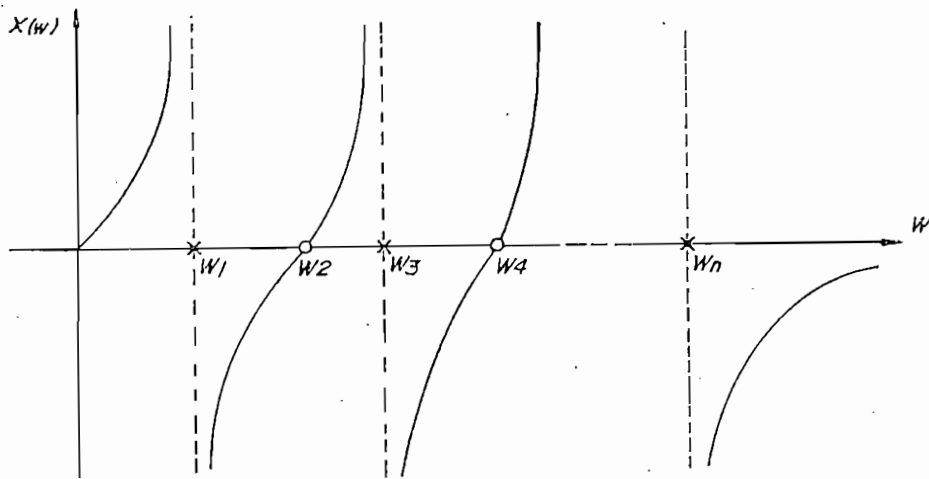


Figura 2.3.- Gráfico de  $X(w)$  para un circuito tanque LC.

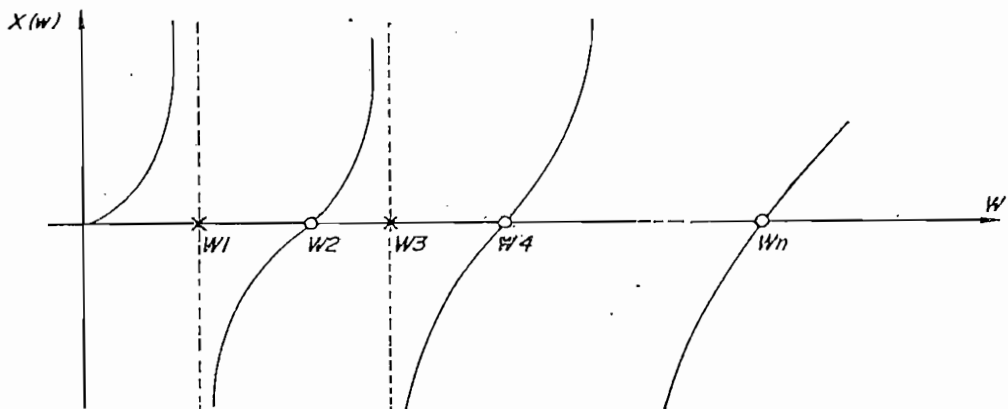
La ocurrencia de polos o ceros en el origen ( $w = 0$ ) y en el infinito ( $w \rightarrow \infty$ ), definen cuatro expresiones de la función impedancia de entrada<sup>1\*</sup>.

<sup>1\*</sup> La notación utilizada en lo posterior para representar las frecuencias a las que ocurren los polos y ceros de  $X(w)$  tiene la forma  $w_i$  con  $i = 1, 2, \dots, N$ , donde  $N$  es el número de singularidades internas. Se asume que el subíndice  $i$  guarda concordancia con el ordenamiento ascendente de las frecuencias a las que se producen las singularidades.



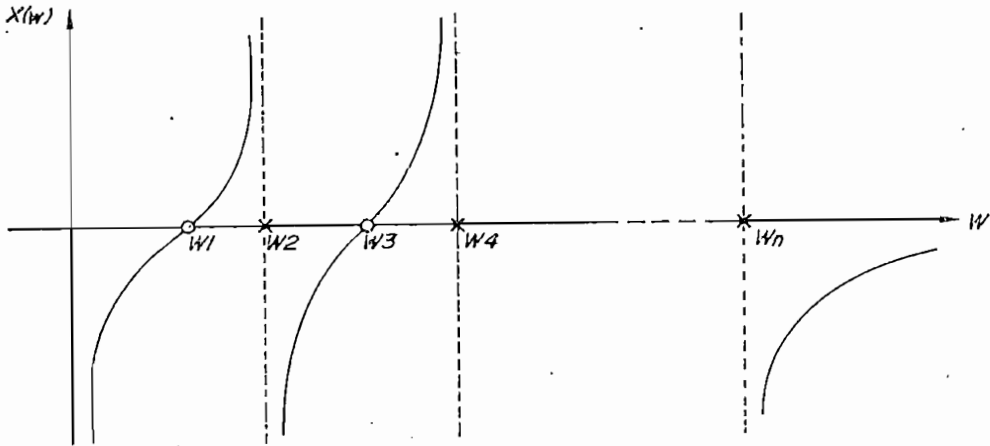
$$X(w) = jwH \frac{(w_2^2 - w^2)(w_4^2 - w^2) \dots (w_{N-1}^2 - w^2)}{(w_1^2 - w^2)(w_3^2 - w^2) \dots (w_N^2 - w^2)} \quad \text{ec. 2.7}$$

Figura 2.4.- Gráfico de  $X(w)$  cuando existe un cero en  $w = 0$  y un cero en  $w \rightarrow \infty$ .



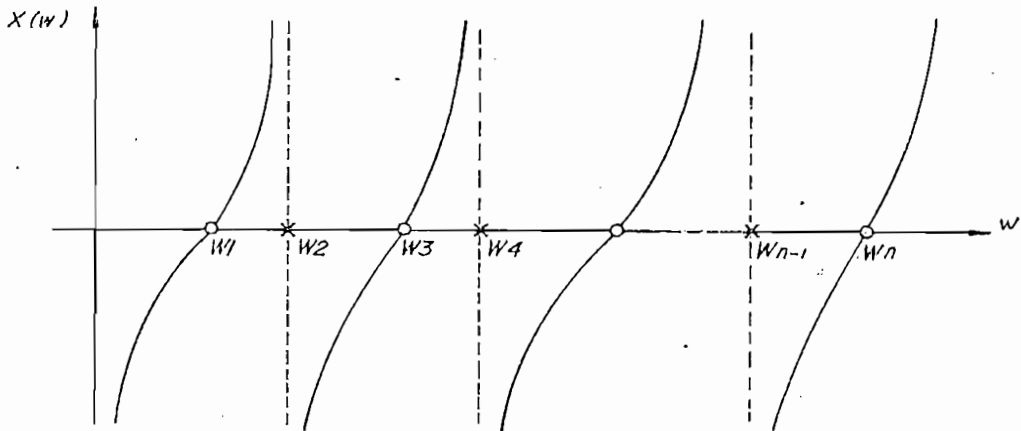
$$X(w) = jwH \frac{(w_2^2 - w^2)(w_4^2 - w^2) \dots (w_N^2 - w^2)}{(w_1^2 - w^2)(w_3^2 - w^2) \dots (w_{N-1}^2 - w^2)} \quad \text{ec. 2.8}$$

Figura 2.5.- Gráfico de  $X(w)$  cuando existe un cero en  $w = 0$  y un polo en  $w \rightarrow \infty$ .



$$X(w) = \frac{H}{jw} \frac{(w_1^2 - w^2)(w_3^2 - w^2) \dots (w_{n-1}^2 - w^2)}{(w_2^2 - w^2)(w_4^2 - w^2) \dots (w_n^2 - w^2)} \quad \text{ec. 2.9}$$

Figura 2.6.- Gráfico de  $X(w)$  cuando existe un polo en  $w = 0$  y un cero en  $w \rightarrow \infty$ .



$$X(w) = \frac{H}{jw} \frac{(w_1^2 - w^2)(w_3^2 - w^2) \dots (w_n^2 - w^2)}{(w_2^2 - w^2)(w_4^2 - w^2) \dots (w_{n-1}^2 - w^2)} \quad \text{ec. 2.10}$$

Figura 2.7.- Gráfico de  $X(w)$  cuando existe un polo en  $w = 0$  y un polo en  $w \rightarrow \infty$ .

## 2.2 DEFINICION DE DATOS DE ENTRADA

### 2.2.1 Elementos que definen la función impedancia de entrada

Las ecuaciones 2.1 y 2.2 describen el comportamiento de la impedancia de entrada en función de las constantes  $w_1, w_2, \dots, w_N$  llamadas singularidades internas. Los  $w_i$  que se encuentran en el numerador definen los ceros, mientras que los que se encuentran en el denominador definen los polos. Las ecuaciones quedan unívocamente determinadas si se conocen todas las singularidades internas (polos y ceros) y el valor de reactancia (condición de impedancia) a una determinada frecuencia (Frec. cond. de imp.). Con este criterio se ha elaborado el formato para ingreso de datos de síntesis (tabla 2.1).

### 2.2.2 Ingreso de datos

El programa acepta los datos ingresados en el formato de la tabla 2.1 y los puede almacenar opcionalmente en un archivo para uso posterior. Los datos así almacenados pueden ser leídos directamente del archivo correspondiente. El número máximo de polos o de ceros que acepta el programa es 6, por lo tanto, el programa recibe como datos de entrada máximo 12 singularidades internas y un valor de reactancia con la frecuencia asociada. Se ha considerado que el límite mencionado es suficiente para fines prácticos.

SINTESIS DE REDES FOSTER Y CAUER

---

INGRESO DE DATOS: Todas las frecuencias en [MHz]. La condicion de impedancia se expresa en ohmios.

Cond. de imp.	Frec. cond. de imp.
polo1	cerol
polo2	cero2
polo3	cero3
polo4	cero4
polo5	cero5
polo6	cero6

Tabla 2.1.- Formato de ingreso de datos para síntesis de redes Foster y Cauer

El ingreso correcto de los datos se verifica aplicando las propiedades de las funciones impedancia de entrada en dos fases:

1. Primera fase.- Se comprueba si los polos y ceros no son dobles y están alternados; y,
2. Segunda fase.- Se comprueba si la impedancia de entrada a una frecuencia dada es correcta.

Se ha previsto el almacenamiento de mensajes de error que ayuden a identificar fallas en el ingreso de datos.

Toda la secuencia lógica del ingreso de datos se encuentra en la fig. 2.8.



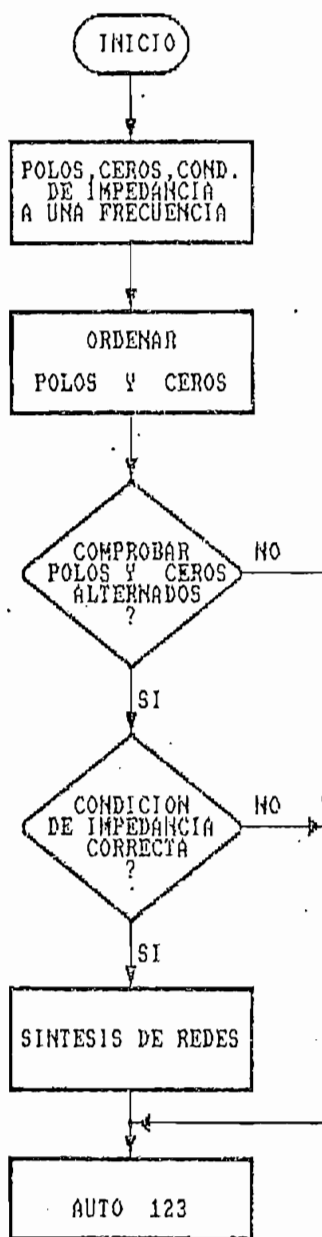


Figura 2.8.- Diagrama de flujo del ingreso de datos para ejecución de síntesis.

## 2.3 ALGORITMOS DE CALCULO

Siendo las redes Foster y Cauer combinaciones serie y paralelo de inductancias y capacitores se debe descomponer las expresiones de las ecuaciones 2.1 y 2.2 en términos simples que representen impedancias de entrada de un capacitor, de un inductor, de una combinación serie L-C y de una combinación paralelo L-C.

Las redes Foster se caracterizan por tener circuitos resonantes paralelo L-C y circuitos resonantes serie L-C en su estructura.

Los circuitos Foster Serie son combinaciones serie de circuitos tanque L-C (fig. 2.9) . Los circuitos Foster Paralelo son combinaciones en paralelo de circuitos serie L-C (fig. 2.10).

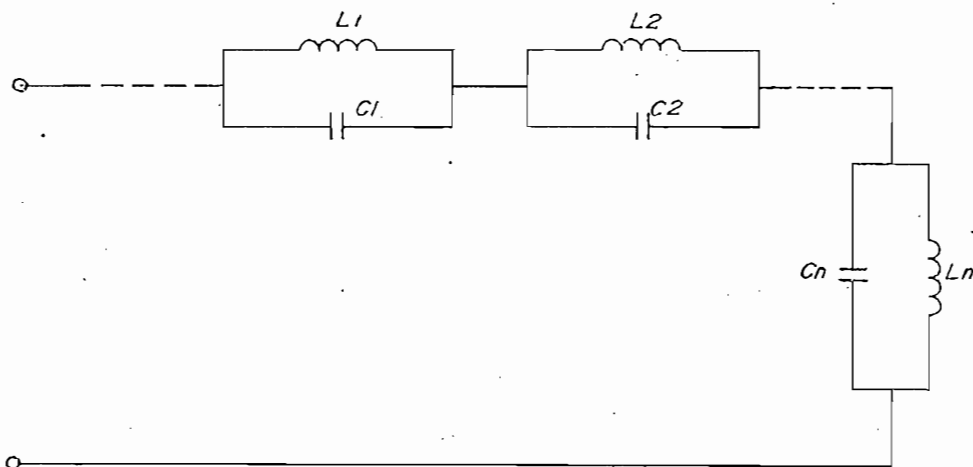


Figura 2.9.- Circuito Foster Serie

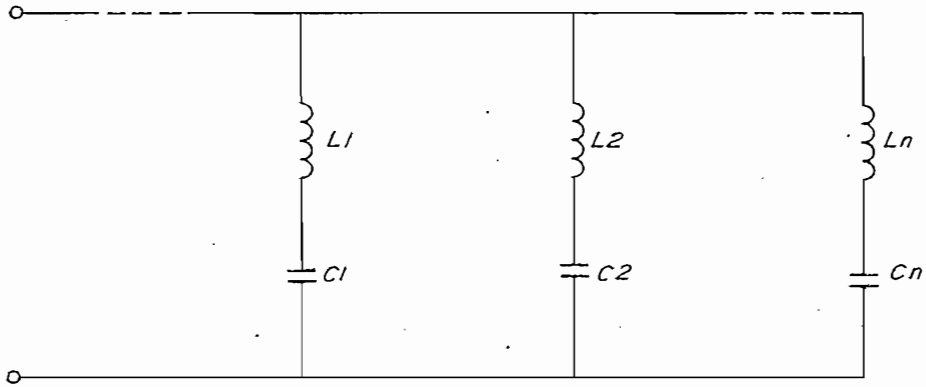


Figura 2.10.- Circuito Foster Paralelo

Los circuitos Cauer se caracterizan por ser redes tipo escalera; si los elementos horizontales (serie) son inductancias, la red toma el nombre de Cauer L-serie (fig. 2.11), si son capacitores, la red se llama Cauer C-serie (fig. 2.12).

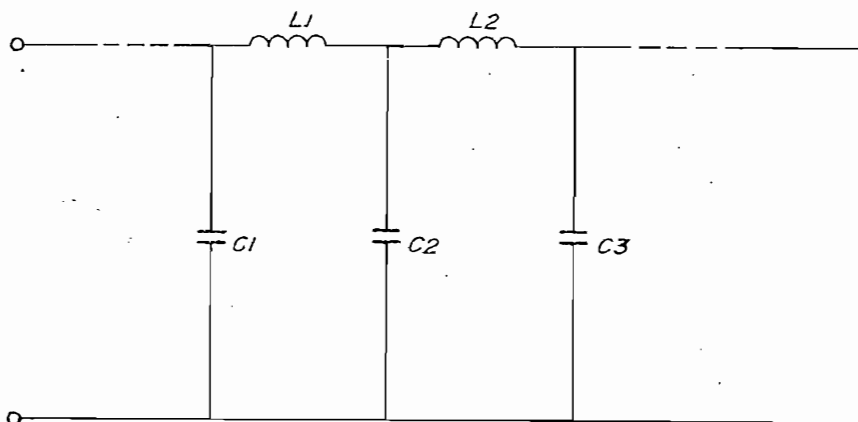


Figura 2.11.- Circuito Cauer L-serie

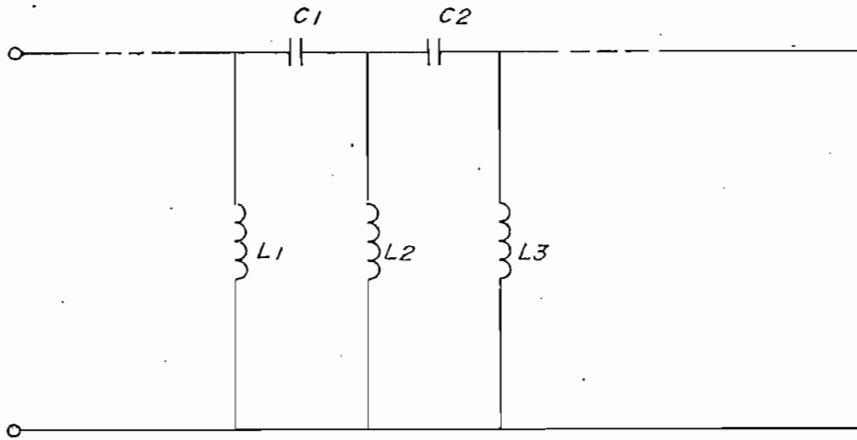


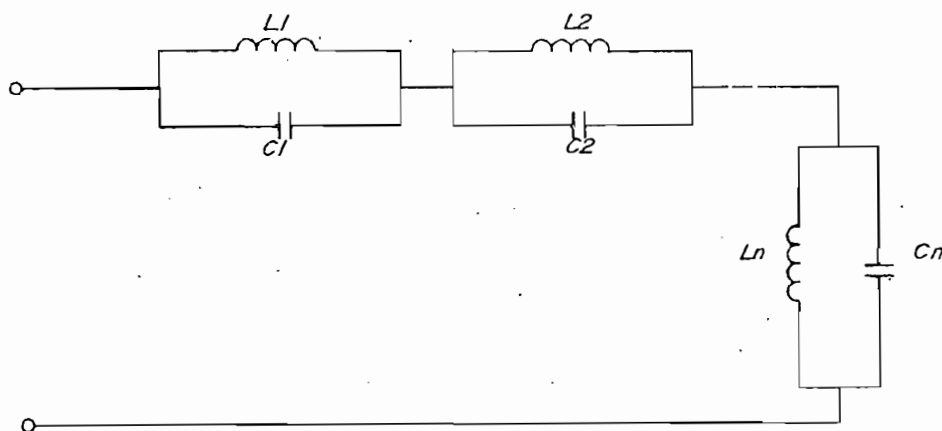
Figura 2.12.- Circuito Cauer C-serie

La descomposición en términos simples de la expresión de impedancia de entrada se consigue básicamente de dos formas para las redes Foster y Cauer respectivamente. El algoritmo para síntesis de redes Foster se basa en la expansión en fracciones parciales de las ecuaciones 2.1 y 2.2. Para las síntesis de redes Cauer se realiza la división en fracciones continuas.

### 2.3.1 Algoritmos para síntesis de redes Foster Serie

Las redes Foster Serie contienen un circuito paralelo L-C por cada polo de la función impedancia de entrada. Las figuras 2.13 a 2.16 indican todas las estructuras Foster Serie posibles, la ecuación de reactancia corres-

pendiente<sup>1\*</sup> y su respectiva expansión en fracciones parciales<sup>3</sup>.



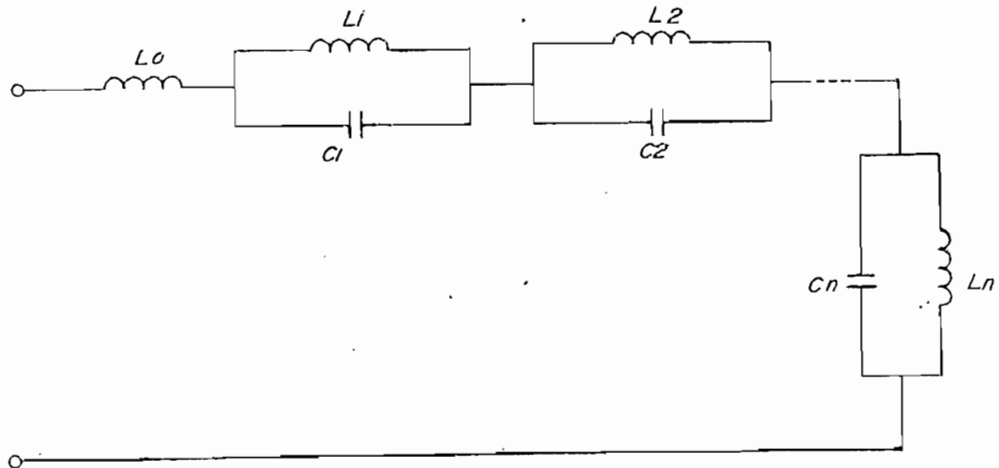
$$X(\omega) = j\omega H \frac{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2) \dots (\omega_{N-1}^2 - \omega^2)}{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2) \dots (\omega_N^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.7}$$

$$X(\omega) = \sum_{i=1}^n \frac{j\omega K_i}{\omega_i^2 - \omega^2} \quad \text{ec. 2.11}$$

$n = 1, 2, 3 \dots$  (n número de polos)

Figura 2.13.- Red Foster Serie correspondiente a la ec. 2.7.  $X(\omega)$  tiene un cero en  $\omega = 0$  y un cero en  $\omega \rightarrow \infty$ ; número de ceros es menor que el número de polos.

<sup>1\*</sup> La numeración de las ecuaciones a las que se hace referencia en las figuras 2.13 a 2.16 corresponde a la asignada en páginas anteriores.

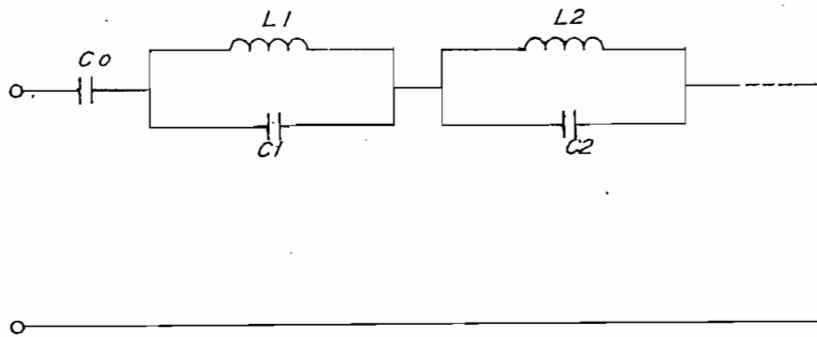


$$X(\omega) = j\omega H \frac{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2) \dots (\omega_n^2 - \omega^2)}{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2) \dots (\omega_{n-1}^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.8}$$

$$X(\omega) = j\omega H + \sum_{i=1}^n \frac{j\omega K_i}{\omega_i^2 - \omega^2} \quad \text{ec. 2.12}$$

$n = 1, 2, 3 \dots$  (n número de polos)

Figura 2.14.- Red Foster Serie correspondiente a la ec. 2.8.  $X(\omega)$  tiene un cero en  $\omega = 0$  y un polo en  $\omega \rightarrow \infty$ ; número de ceros es igual al número de polos.

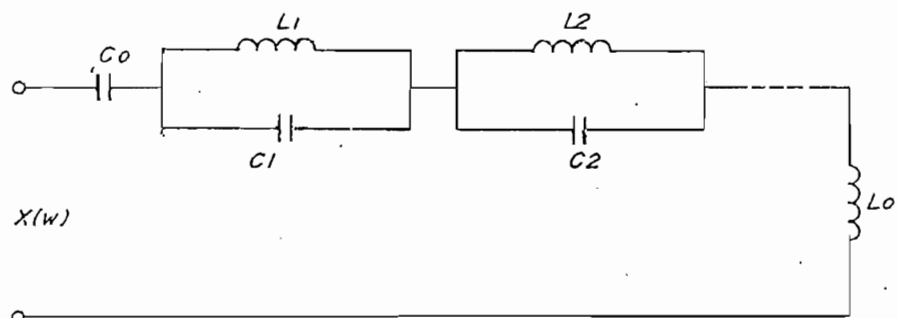


$$X(\omega) = \frac{H}{j\omega} \frac{(w_1^2 - \omega^2)(w_3^2 - \omega^2) \dots (w_{N-1}^2 - \omega^2)}{(w_2^2 - \omega^2)(w_4^2 - \omega^2) \dots (w_N^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.9}$$

$$X(\omega) = \frac{K_0}{j\omega} + \sum_{i=1}^n \frac{j\omega K_i}{w_i^2 - \omega^2} \quad \text{ec. 2.13}$$

$n = 1, 2, 3 \dots$  (n número de polos)

Figura 2.15.- Red Foster Serie correspondiente a la ec. 2.9.  $X(\omega)$  tiene un polo en  $\omega = 0$  y un cero en  $\omega \rightarrow \infty$ ; número de polos es igual al número de ceros.



$$X(\omega) = \frac{H}{j\omega} \frac{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2) \dots (\omega_N^2 - \omega^2)}{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2) \dots (\omega_{N-1}^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.10}$$

$$X(\omega) = jH\omega + \frac{K_0}{j\omega} + \sum_{i=1}^n \frac{j\omega K_i}{\omega_i^2 - \omega^2} \quad \text{ec. 2.14}$$

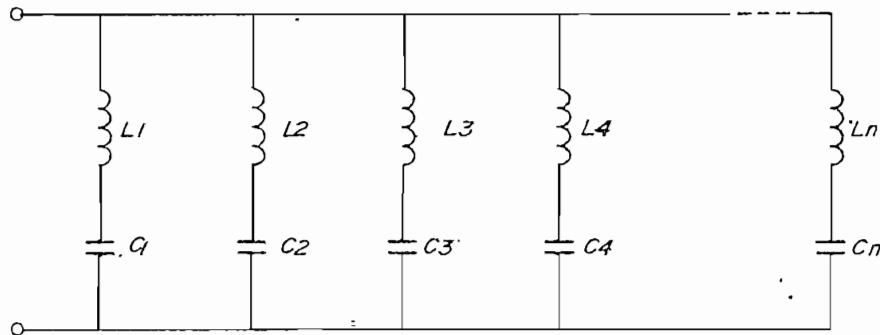
$n = 1, 2, 3, \dots$  (n número de polos)

Figura 2.16.- Red Foster Serie correspondiente a la ec. 2.10.  $X(\omega)$  tiene un polo en  $\omega = 0$  y un polo en  $\omega \rightarrow \infty$ ; número de ceros es mayor que el número de polos.



### 2.3.2 Algoritmos para síntesis de redes Foster Paralelo

Las redes Foster Paralelo contienen un circuito serie L-C por cada cero de la función impedancia de entrada. Las figuras 2.17 a 2.20 indican todas las estructuras Foster Paralelo posibles, la ecuación de susceptancia correspondiente<sup>1\*</sup> y su respectiva expansión en fracciones parciales<sup>3</sup>



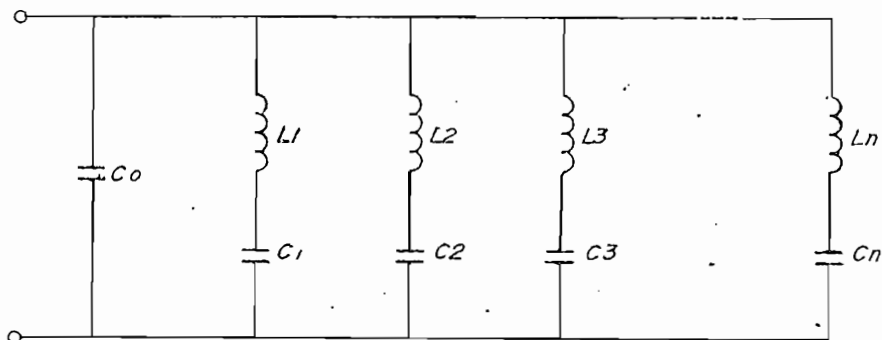
$$B(\omega) = j\omega H_1 \frac{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2) \dots (\omega_{n-1}^2 - \omega^2)}{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2) \dots (\omega_n^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.15}$$

$$B(\omega) = \sum_{i=1}^n \frac{j\omega K_i}{\omega_i^2 - \omega^2} \quad \text{ec. 2.16}$$

$n = 1, 2, 3 \dots$  (n número de ceros)

Figura 2.17.- Red Foster Paralelo correspondiente a la ec. 2.15.  $X(\omega)$  tiene un polo en  $\omega = 0$  y un polo en  $\omega \rightarrow \infty$ ; número de ceros es mayor que el número de polos.

<sup>1\*</sup>  $H_1$  en las expresiones de susceptancia se relaciona con  $H$  en las expresiones de reactancia a través de la relación  $H_1 = 1/H$ .

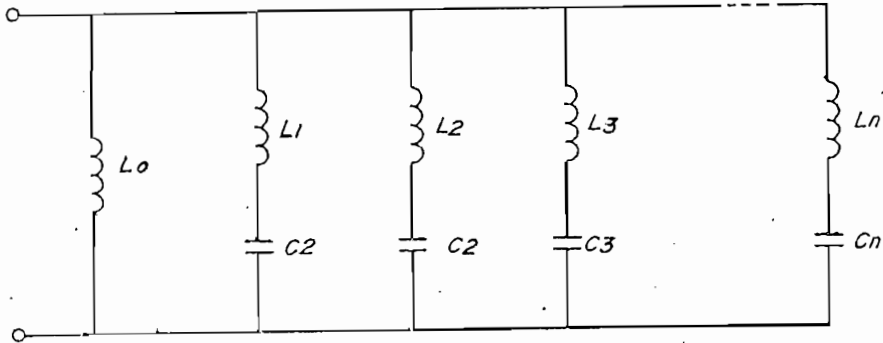


$$B(\omega) = j\omega H \frac{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2) \dots (\omega_n^2 - \omega^2)}{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2) \dots (\omega_{n-1}^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.17}$$

$$B(\omega) = j\omega H + \sum_{i=1}^n \frac{j\omega K_i}{\omega_i^2 - \omega^2} \quad \text{ec. 2.18}$$

$n = 1, 2, 3 \dots$  (n número de ceros)

Figura 2.18.- Red Foster Paralelo correspondiente a la ec. 2.17.  $X(\omega)$  tiene un polo en  $\omega = 0$  y un cero en  $\omega \rightarrow \infty$ ; número de ceros es igual al número de polos.

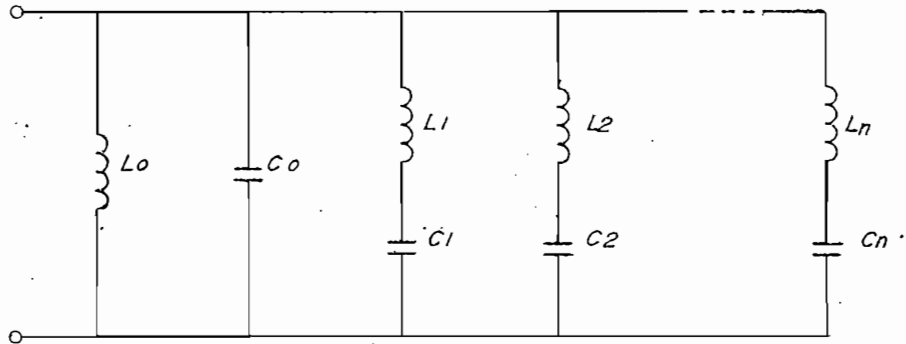


$$B(\omega) = \frac{H_1}{j\omega} \frac{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2) \dots (\omega_{n-1}^2 - \omega^2)}{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2) \dots (\omega_n^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.19}$$

$$B(\omega) = \frac{K_0}{j\omega} + \sum_{i=1}^n \frac{j\omega K_i}{\omega_i^2 - \omega^2} \quad \text{ec. 2.20}$$

$n = 1, 2, 3 \dots$  (n número de ceros)

Figura 2.19.- Red Foster Paralelo correspondiente a la ec. 2.19.  $X(\omega)$  tiene un cero en  $\omega = 0$  y un polo en  $\omega \rightarrow \infty$ ; número de polos es igual al número de ceros.



$$B(w) = \frac{H_1 (w_1^2 - w^2)(w_3^2 - w^2) \dots (w_n^2 - w^2)}{jw (w_2^2 - w^2)(w_4^2 - w^2) \dots (w_{n-1}^2 - w^2)} \quad \text{ec. 2.21}$$

$$B(w) = jHw + \frac{K_0}{jw} + \sum_{i=1}^n \frac{jwK_i}{w_i^2 - w^2} \quad \text{ec. 2.22}$$

$n = 1, 2, 3, \dots$  (n número de ceros)

Figura 2.20.- Red Foster Paralelo correspondiente a la ec. 2.21.  $X(w)$  tiene un cero en  $w = 0$  y un cero en  $w \rightarrow \infty$  ; número de ceros es menor que el número de polos.

### 2.3.3 Algoritmos para síntesis de redes Cauer L-Serie.

La red Cauer L-Serie se obtiene al ordenar descendientemente los polinomios del numerador y del denominador de la función impedancia de entrada (ec. 2.23).

$$X(w) = \frac{a_n w^n + a_{n-2} w^{n-2} + \dots}{b_m w^m + b_{m-2} w^{m-2} + \dots} \quad \text{ec. 2.23}$$

donde:  $n$  → Grado del polinomio numerador.  
 $m$  → Grado del polinomio denominador.

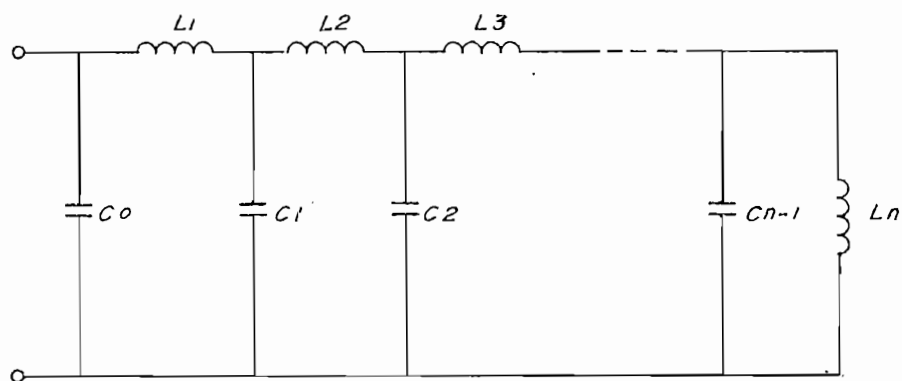
Si el grado del numerador es mayor que el grado del denominador se procede a realizar la división en fracciones continuas y obtener reactancias (inductores) y susceptancias (capacitores) de las ramas de la red.

Si el grado del numerador es menor que el grado del denominador se inicia el proceso con la ecuación de susceptancia ( $B(w) = 1/X(w)$ ). Esto significa que el primer elemento de la red es un capacitor y forzosamente existe un cero cuando  $w \rightarrow \infty$ .

Las figuras 2.21 a 2.24 indican la estructura de las redes Cauer L-Serie correspondiente<sup>1\*</sup> a cada ecuación de reactancia.

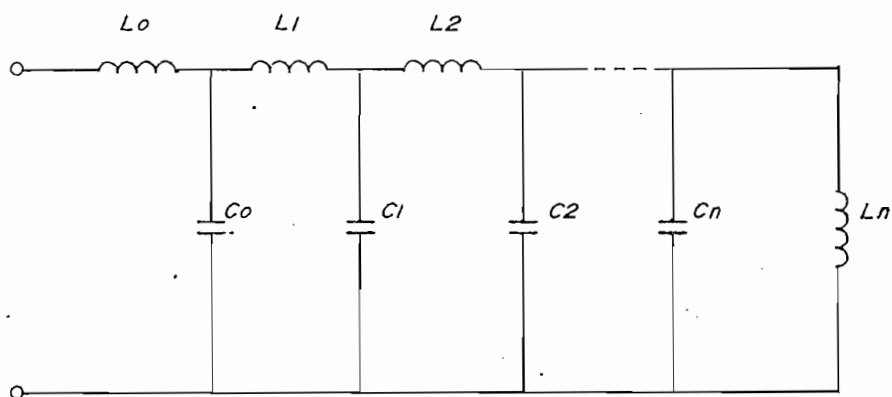
---

<sup>1\*</sup> La numeración de las ecuaciones a las que se hace referencia en las figuras 2.21 a 2.24 corresponde a la asignada en páginas anteriores.



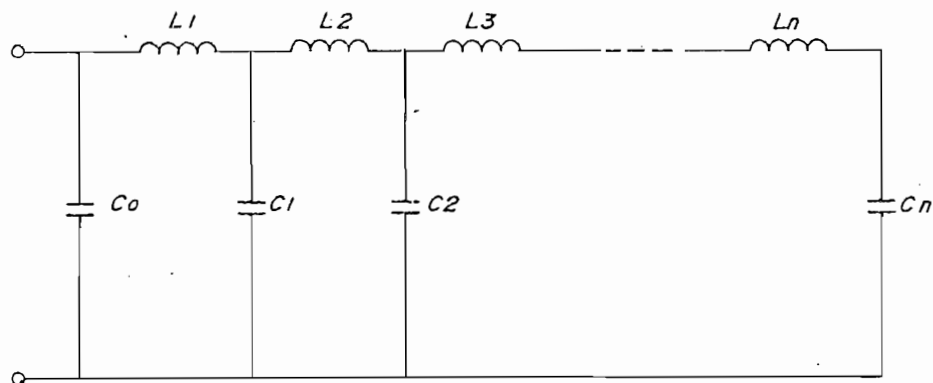
$$X(\omega) = j\omega H \frac{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2) \dots (\omega_{N-1}^2 - \omega^2)}{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2) \dots (\omega_N^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.7}$$

Figura 2.21.- Red Cauer L-Serie para grado del numerador menor que el grado del denominador cuando  $X(\omega)$  tiene un cero en  $\omega = 0$  y un cero en  $\omega \rightarrow \infty$ .



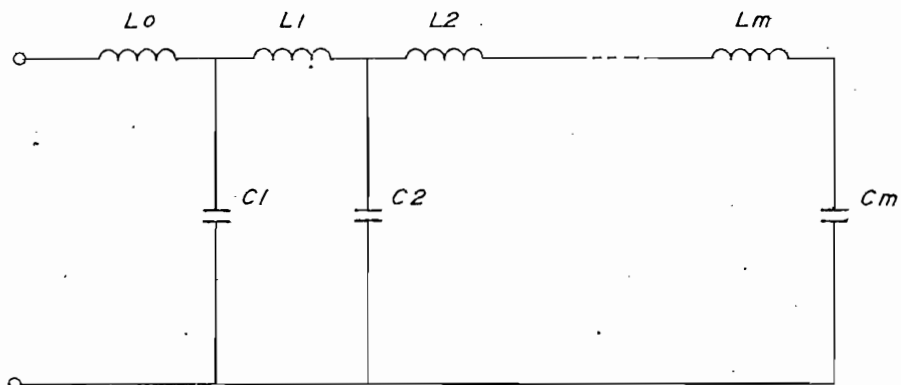
$$X(\omega) = j\omega H \frac{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2) \dots (\omega_N^2 - \omega^2)}{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2) \dots (\omega_{N-1}^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.8}$$

Figura 2.22.- Red Cauer L-Serie para grado del numerador mayor que el grado del denominador cuando  $X(\omega)$  tiene un cero en  $\omega = 0$  y un polo en  $\omega \rightarrow \infty$ .



$$X(\omega) = \frac{H}{j\omega} \frac{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2)\dots(\omega_{N-1}^2 - \omega^2)}{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2)\dots(\omega_N^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.9}$$

Figura 2.23.- Red Cauer L-Serie para grado del numerador menor que el grado del denominador cuando  $X(\omega)$  tiene un polo en  $\omega = 0$  y un cero en  $\omega \rightarrow \infty$ .



$$X(\omega) = \frac{H}{j\omega} \frac{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2)\dots(\omega_N^2 - \omega^2)}{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2)\dots(\omega_{N-1}^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.10}$$

Figura 2.24.- Red Cauer L-Serie para grado del numerador mayor que el grado del denominador cuando  $X(\omega)$  tiene un polo en  $\omega = 0$  y un polo en  $\omega \rightarrow \infty$ .

## 2.3.4 Algoritmos para redes Cauer C-Serie

Para realizar la síntesis de redes Cauer C-Serie es necesario ordenar los polinomios numerador y denominador de la ecuación de impedancia de entrada en forma ascendente (ec. 2.24).

Si la función impedancia de entrada tiene un polo en el origen se realiza la división en fracciones continuas obteniéndose primero una reactancia (capacitor), luego una susceptancia (inductor), y así sucesivamente.

Si la función impedancia de entrada no tiene un polo en  $w = 0$  se debe iniciar la división en fracciones continuas a partir de la ecuación de susceptancia. Esto significa que el primer elemento es una susceptancia (inductor).

$$X(w) = \frac{\dots + a_k w^k + \dots + a_n w^n}{\dots + b_k w^k + \dots + b_m w^m} \quad \text{ec. 2.24}$$

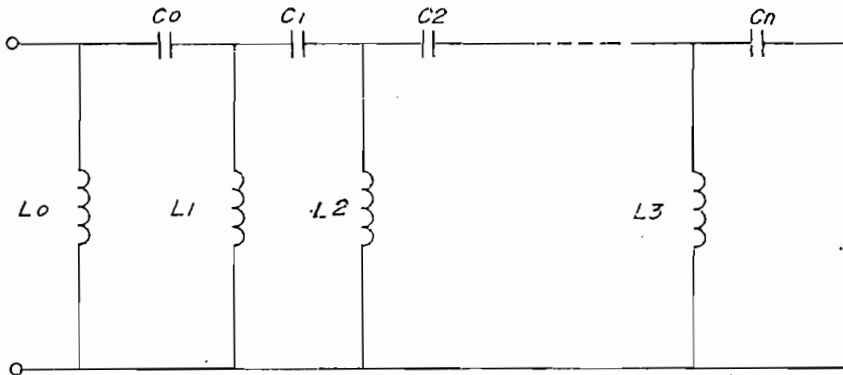
donde:       $n$        $\rightarrow$       Grado del polinomio numerador  
                   $m$        $\rightarrow$       Grado del polinomio denominador

Las figuras 2.25 a 2.28 indican la estructura de las redes Cauer L-Serie correspondiente<sup>1\*</sup> a cada ecuación de reactancia.

---

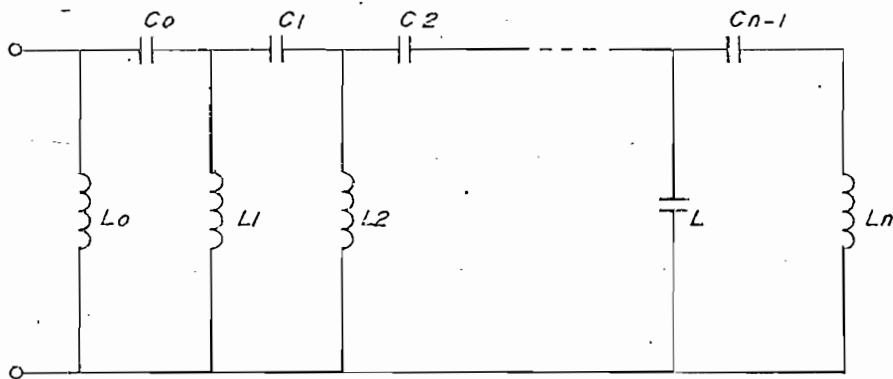
<sup>1\*</sup> La numeración de las ecuaciones a las que se hace referencia en las figuras 2.25 a 2.28 corresponde a la asignada en páginas anteriores.





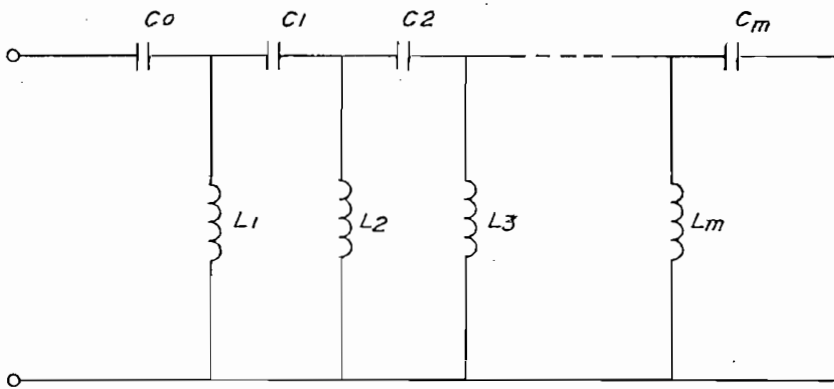
$$X(\omega) = j\omega H \frac{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2) \dots (\omega_{N-1}^2 - \omega^2)}{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2) \dots (\omega_N^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.7}$$

Figura 2.25.- Red Cauer C-Serie para grado del numerador menor que el grado del denominador cuando  $X(\omega)$  tiene un cero en  $\omega = 0$  y un cero en  $\omega + \infty$ .



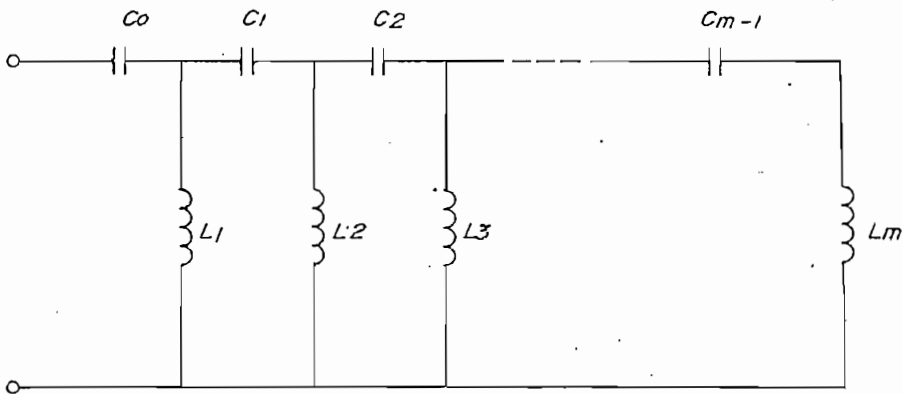
$$X(\omega) = j\omega H \frac{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2) \dots (\omega_N^2 - \omega^2)}{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2) \dots (\omega_{N-1}^2 - \omega^2)} \quad \text{ec. 2.8}$$

Figura 2.26.- Red Cauer C-Serie para grado del numerador mayor que el grado del denominador cuando  $X(\omega)$  tiene un cero en  $\omega = 0$  y un polo en  $\omega + \infty$ .



$$X(w) = \frac{H}{jw} \frac{(w_1^2 - w^2)(w_3^2 - w^2) \dots (w_{N-1}^2 - w^2)}{(w_2^2 - w^2)(w_4^2 - w^2) \dots (w_N^2 - w^2)} \quad \text{ec. 2.9}$$

Figura 2.27.- Red Cauer C-Serie para grado del numerador menor que el grado del denominador cuando  $X(w)$  tiene un polo en  $w = 0$  y un cero en  $w \rightarrow \infty$ .



$$X(w) = \frac{H}{jw} \frac{(w_1^2 - w^2)(w_3^2 - w^2) \dots (w_N^2 - w^2)}{(w_2^2 - w^2)(w_4^2 - w^2) \dots (w_{N-1}^2 - w^2)} \quad \text{ec. 2.10}$$

Figura 2.28.- Red Cauer C-Serie para grado del numerador mayor que el grado del denominador cuando  $X(w)$  tiene un polo en  $w = 0$  y un polo en  $w \rightarrow \infty$ .

X

### 2.3.5 Diagrama de flujo para implementación de algoritmos de síntesis

Después de un ingreso válido de datos, el programa SINTESIS escala los valores de frecuencia con el factor K definido en 2.25.

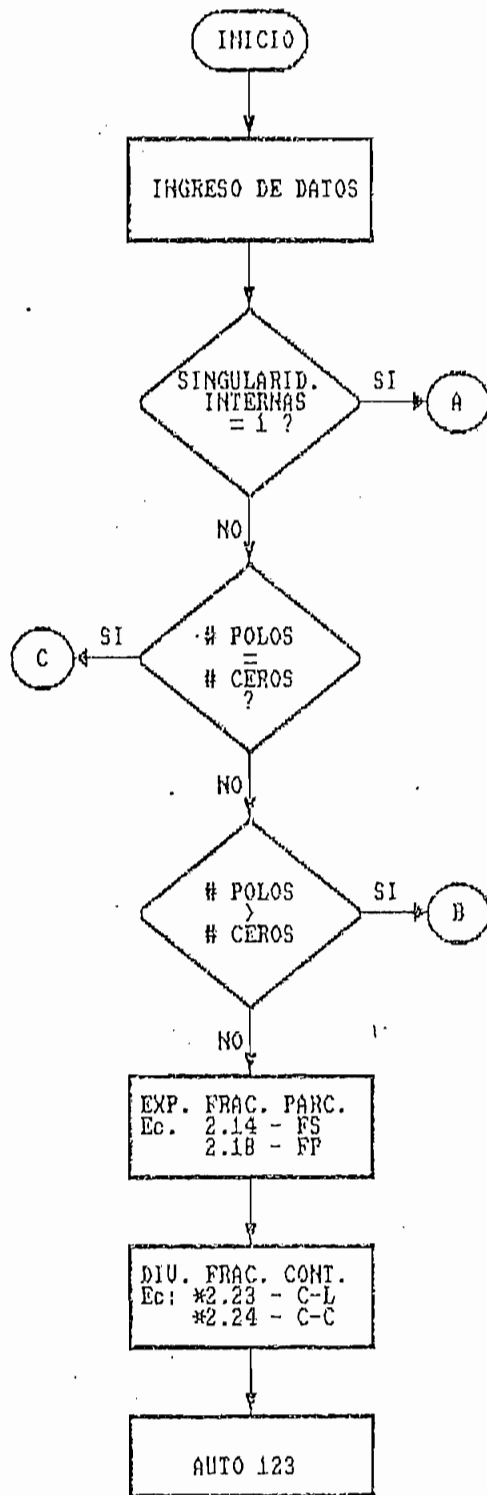
$$K = \frac{F_{MIN} + F_{MAX}}{2} \quad \text{ec. 2.25}$$

donde: FMIN → Frecuencia mínima del rango  
FMAX → Frecuencia máxima del rango

El objetivo de este escalamiento es el de reducir los errores de precisión acumulados en el proceso de cálculo.

El proceso de síntesis (diagrama de flujo de la fig. 2.29) se realiza en 4 etapas:

- 1 Síntesis Redes Foster Serie;
- 2 Síntesis Redes Foster Paralelo;
- 3 Síntesis Redes Cauer L-Serie; y,
- 4 Síntesis Redes Cauer C-Serie.



\* ECUACION INVERTIDA

Figura 2.29.- Diagrama de flujo del proceso de síntesis de redes Foster y Cauer (parte a).

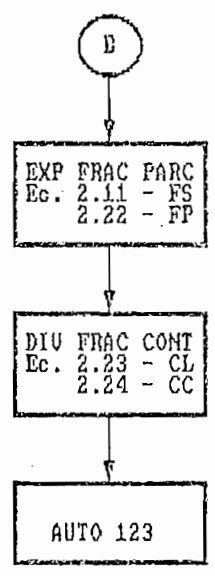
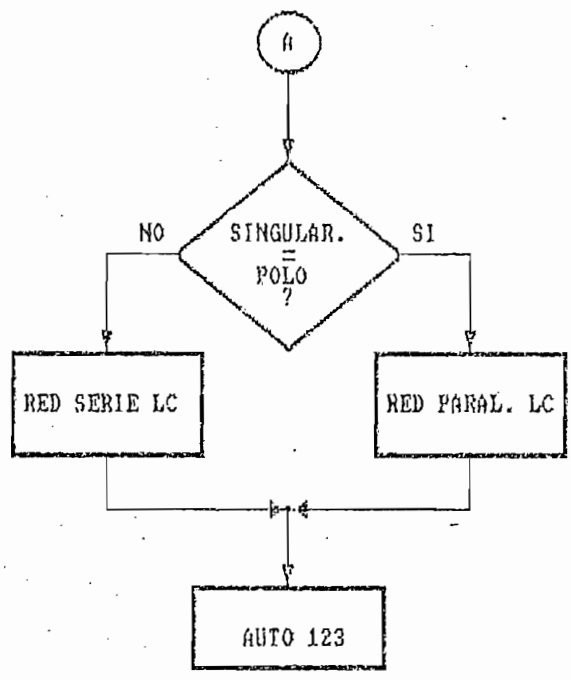
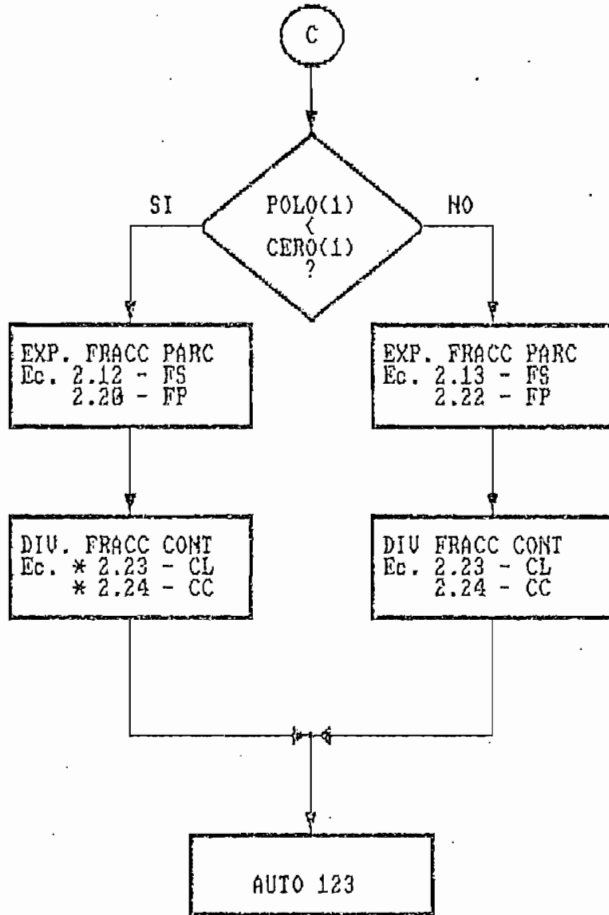


Figura 2.29.- Diagrama de flujo del proceso de síntesis de redes Foster y Cauer (parte b).



\* ECUACION INVERTIDA

Figura 2.29.- Diagrama de flujo del proceso de síntesis de redes Foster y Cauer (parte c).

En cada etapa se analiza el número de singularidades internas. Cuando el número de singularidades es uno, todas las redes son iguales y la respuesta es única. Si el número de singularidades es mayor, se ejecutan los algoritmos correspondientes para cada red. Al finalizar el proceso de síntesis, los valores de inductancia se almacenan en nano-henrios y los de capacidad en pico-faradios, según el formato de la tabla 2.2.

RESULTADOS DE SINTESIS

ELEMENTO	F-S	F-P	C-C	C-L
L0				
C0				
L1				
C1				
L2				
C2				
L3				
C3				
L4				
C4				
L5				
C5				
L6				
C6				
L7				
C7				

NOMENCLATURA

F-S	RED FOSTER SERIE	L	Inductancias en [nano-
F-P	RED FOSTER PARALELO		henrios]
C-C	RED CAUER C-SERIE		
C-L	RED CAUER L-SERIE	C	Capacitores en [pico-
			faradios]

Tabla 2.2.- Formato para presentación de resultados

## 2.4 PRESENTACION DE RESULTADOS

Realizado el programa para síntesis de redes, es necesario analizar los resultados; para cumplir con este objetivo se han ejecutado tres ejemplos.

## 2.4.1 Ejemplo 1

Para un sistema de comunicaciones se desea diseñar una trampa de onda que bloquee las frecuencias de 20 y 40 MHz., y permita el paso de una señal a la frecuencia de 30 MHz. Además, la red debe tener una impedancia de entrada igual a  $-10 \Omega$  a la frecuencia de 10 MHz.

El problema puede enfocarse de las maneras indicadas en la fig. 2.30.

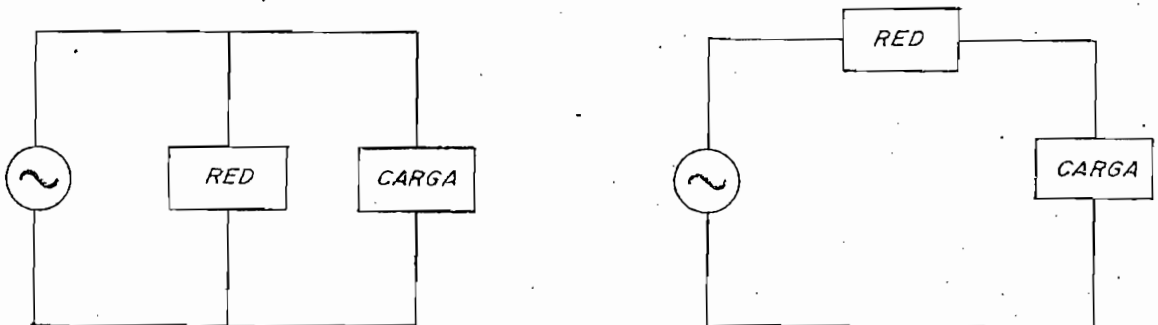


Figura 2.30.- Conexiones que permiten resolver el problema planteado en el ejemplo 1.



Si se escoge la conexión en la que la red a diseñarse se encuentra en serie con la carga, las frecuencias de bloqueo corresponden a las de los polos, mientras que las de paso de señal corresponden a las de los ceros. Se puede pensar de manera análoga para la conexión paralelo, en cuyo caso los ceros corresponden a las frecuencias de bloqueo y las de polos a las de paso de señal. En el presente ejemplo se asume que la red se encuentra en paralelo con la carga.

Según lo indicado anteriormente, se presenta los datos del problema ingresados de acuerdo al formato desarrollado en el programa (tabla 2.3).

#### SINTESIS DE REDES FOSTER Y CAUER

INGRESO DE DATOS:    Todas las frecuencias en [MHz]  
                           La condicion de impedancia se expresa en ohmios

Cond. de imp.	-10	10	Frec. cond. de imp
polo1			cero1
polo2			cero2
polo3			cero3
polo4			cero4
polo5		20	cero5
polo6	30	40	cero6

Tabla 2.3.- Formato de ingreso con datos del ejemplo 1.

Luego de la ejecución del programa de síntesis, se ob-

tienen los resultados tabulados en 2.4 y los circuitos correspondientes<sup>1\*</sup> (fig. 2.31).

RESULTADOS DE SINTESIS

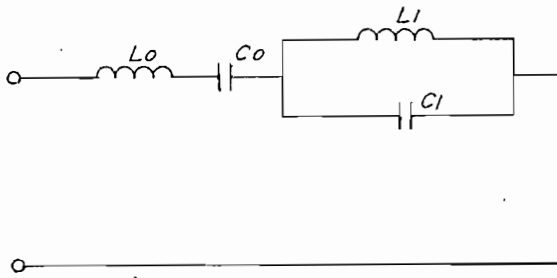
ELEMENTO	F-S	F-P	C-C	C-L
L0	28.29421			28.29421
C0	1258.940		1258.940	813.8605
L1	12.22589	67.90610	40.52010	97.81713
C1	2302.062	932.5484	209.5739	445.0799
L2		48.50436	93.77510	
C2		326.3919		
L3				
C3				
L4				
C4				
L5				
C5				
L6				
C6				
L7				
C7				

NOMENCLATURA

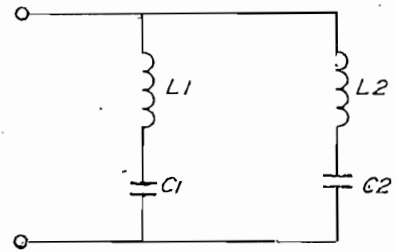
F-S	RED FOSTER SERIE	L	Inductancias en [nano-
F-P	RED FOSTER PARALELO		henrios]
C-C	RED CAUER C-SERIE		
C-L	RED CAUER L-SERIE	C	Capacitores en [pico-
			faradios]

Tabla 2.4.- Formato de presentación de resultados con valores calculados para el ejemplo 1.

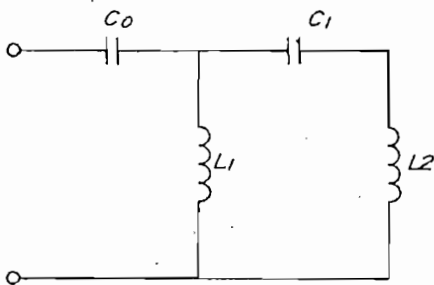
<sup>1\*</sup> Se recomienda analizar con cuidado la relación entre la notación utilizada para tabular los elementos resultantes de la síntesis y su ubicación en cada red. Mayor información al respecto se encuentra en el Anexo 1 (Manual de utilización del programa).



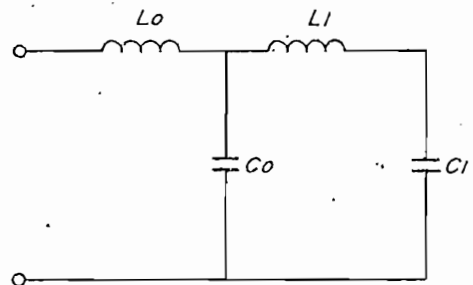
a) Red Foster Serie



b) Red Foster Paralelo



c) Red Cauer L-Serie



d) Red Cauer C-Serie

Figura 2.31.- Circuitos correspondientes a los elementos indicados en la tabla 2.4

Si en el ejemplo anterior, a la misma frecuencia de 10 MHz, se cambia la condición de impedancia de  $10 \Omega$  a  $100 \Omega$ , se obtiene los resultados indicados en la tabla 2.5.

## RESULTADOS DE SINTESIS

ELEMENTO	F-S	F-P	C-C	C-L
L0	282.9421			282.9421
C0	125.8940		125.8940	81.38605
L1	122.2589	679.0610	405.2010	978.1713
C1	230.2062	93.25484	20.95739	44.50799
L2		485.0436	937.7510	
C2		32.63919		
L3				
C3				
L4				
C4				
L5				
C5				
L6				
C6				
L7				
C7				

Tabla 2.5.- Resultados de síntesis del ejemplo 1 para condición de impedancia de  $100 \Omega$  a la frecuencia de 10 MHz

Sean:

- a.  $C_i$  + condensadores en la tabla 2.4,  
 $L_i$  + bobinas en la tabla 2.4,  
 $Z_i$  + condición de impedancia que cumplen las redes con los elementos indicados en la tabla 2.4.
- b.  $C_k$  + condensadores en la tabla 2.5,  
 $L_k$  + bobinas en la tabla 2.5,

$Z_k$  → condición de impedancia que cumplen las redes con los elementos indicados en la tabla 2.5.

Del análisis de los resultados presentados en las tablas 2.4 y 2.5 se deduce las expresiones 2.26 y 2.27.

$$C_k = \frac{Z_k}{Z_i} C_i \quad \text{ec. 2.26}$$

$$L_k = \frac{Z_i}{Z_k} L_i \quad \text{ec. 2.27}$$

De lo indicado anteriormente, se afirma que el escalamiento de la condición de impedancia (manteniendo inalteradas todas las singularidades) a una frecuencia determinada, produce un escalamiento en los elementos de las redes. Debe notarse que el factor de escalamiento de los condensadores es el recíproco del de las bobinas.

#### 2.4.2 Ejemplo 2

En este ejemplo se plantea una función de impedancia con una singularidad interna correspondiente a un polo en 10 MHz y con condición de impedancia de  $100 \Omega$  a la frecuencia de 5 MHz. Para este caso especial en el que existe una sola singularidad interna (tabla 2.6), la síntesis de Foster y Cauer da como resultado una red única (tabla 2.7).

SINTESIS DE REDES FOSTER Y CAUER

INGRESO DE DATOS: Todas las frecuencias en [MHz]  
 La condicion de impedancia se expresa en ohmios

Cond. de imp.	100	5	Frec. cond. de imp
polo1			cero1
polo2			cero2
polo3			cero3
polo4			cero4
polo5			cero5
polo6	10		cero6

Tabla 2.6.- Datos del problema planteado en el ejemplo 2.

RESULTADOS DE SINTESIS

ELEMENTO	F-S	F-P	C-C	C-L
L0		2387.324	2387.324	
C0		106.1032	106.1032	106.1032
L1	2387.324			2387.324
C1	106.1032			
L2				
C2				
L3				
C3				
L4				
C4				
L5				
C5				
L6				
C6				
L7				
C7				

Tabla 2.7.- Resultados de la ejecución del programa de síntesis para el ejemplo 2

## 2.4.3 Ejemplo 3

El objetivo de presente ejemplo es el de analizar la validez del programa para el máximo número de 12 singularidades internas especificado<sup>1\*</sup>.

SINTESIS DE REDES FOSTER Y CAUER

---

INGRESO DE DATOS:      Todas las frecuencias en [MHz]  
                             La condicion de impedancia se expresa en ohmios

Cond. de imp.	100	10	Frec. cond. de imp.
polo1	20	30	cero1
polo2	40	50	cero2
polo3	60	70	cero3
polo4	80	90	cero4
polo5	100	110	cero5
polo6	120	130	cero6

Tabla 2.8.-      Formato de ingreso con datos del ejemplo 3 (número máximo de singularidades internas).

Correspondiéndole las siguientes redes tabla (2.9):

---

<sup>1\*</sup> El número máximo de 12 singularidades fue determinado en base al conocimiento de que las redes utilizadas en la práctica (trampas de onda, diplexers, etc.) no exceden normalmente de 4 singularidades internas. Sin embargo, si el límite de 12 singularidades resultara insuficiente para algún problema especial, se requieren modificaciones de dimensionamiento de variables en el inicio del programa de síntesis y en los formatos de ingreso de datos y presentación de resultados.

## RESULTADOS DE SINTESIS

ELEMENTO	F-S	F-P	C-C	C-L
L0	150.4144	1293.600	1293.600	150.4144
C0			34.22812	18.71148
L1	852.9235	1750.704	474.1055	291.1246
C1	74.24550	16.07625	17.22204	20.92251
L2	164.7693	1544.739	452.6926	263.6826
C2	96.08241	6.559112	6.064647	26.37955
L3	66.25644	1394.330	838.2036	222.8722
C3	106.1963	3.707477	1.179562	38.38268
L4	33.12822	1207.335	3134.341	174.1760
C4	119.4709	2.590163	0.118774	68.44984
L5	17.63188	940.9829	23468.99	122.3169
C5	143.6619	2.224708	5.107145	182.2603
L6	8.476865	488.1557	427308.4	69.01372
C6	207.5116	3.070401		
L7				
C7				

Tabla 2.9.- Resultados de la ejecución del programa de síntesis para el ejemplo 3

En una red Foster serie, las frecuencias de resonancia de los circuitos tanque L-C que la integran, corresponden a las frecuencias de los polos de la función de impedancia. En una red Foster paralelo, las frecuencias de resonancia de los circuitos serie L-C que la integran, corresponden a las frecuencias de los ceros de la condición de impedancia.

Considerando que las frecuencias de resonancia de circuitos tanque L-C y circuitos serie L-C son muy fáciles de obtener con una calculadora, se han evaluado las frecuencias de polos y ceros para las redes Foster serie y paralelo respectivamente (tablas 2.10 y 2.11).



## VERIFICACION DE POLOS EN LA RED FOSTER SERIE

L [Nano- henrios]	C [Pico- faradios]	Frecuencia de resonan. [MHz]
852.9235	74.24550	20.0000000
164.7693	96.08241	40.0000000
66.256446056	106.196358653	60.0000000
33.128223028	119.470903485	80.0000000
17.631880686	143.6619063	100.0000000
8.4768657144	207.51164244	120.0000000

Tabla 2.10.- Resultado de la evaluación de las frecuencias de resonancia de los circuitos tanque L-C de la red Foster Serie del ejemplo 3 (tabla 2.9).

## VERIFICACION DE CEROS EN LA RED FOSTER PARALELO

L [Nano- henrios]	C [Pico- faradios]	CERO. [MHz]
1750.704374	16.076256878	30.0000000
1544.7391535	6.5591128062	50.0000000
1394.3303412	3.7074773403	70.0000000
1207.3356016	2.5901638467	90.0000000
940.98298094	2.2247085522	110.0000000
488.15575186	3.070401346	130.0000000

Tabla 2.11.- Resultado de la evaluación de las frecuencias de resonancia de los circuitos serie L-C de la red Foster Paralelo del ejemplo 3 (tabla 2.9).

Los cálculos realizados confirman parcialmente la validez del proceso de síntesis en las redes Foster serie y paralelo.

Una de las opciones para la verificación total de los resultados requiere de la obtención de la función de impedancia a partir de los elementos calculados, la misma que debe coincidir con la función de impedancia obtenida a partir de las singularidades internas y la condición de impedancia. Se podría pensar en un programa que obtenga la función impedancia de entrada teniendo como datos los valores de cada elemento y la topología de las diferentes redes. Este método de comprobación no está desarrollado en esta tesis.

Por razones de aplicación práctica, se ha implementado un programa de análisis de redes que, entre otras cosas, permite encontrar la respuesta de frecuencia de los voltajes de nodo de un circuito. Suponiendo la conexión de la fig. 2.32, la respuesta de frecuencia del voltaje en el nodo (a) revela las frecuencias de las singularidades internas y el valor de la condición de impedancia. Utilizando este método, se ha comprobado que las cuatro redes, resultado de la síntesis del ejemplo 3 (tabla 2.9), tienen la misma respuesta de frecuencia de voltaje en el nodo (a) (tabla 2.12), y cumplen con las condiciones especificadas en los datos de entrada. Con este procedimiento se ha verificado (en varios ejemplos) la validez del programa.

El comando cálculo determina un tiempo de ejecución de 3.5 minutos en un computador IBM XT, independientemente del número de singularidades del problema. Por lo indicado se concluye que predominan los tiempos de las ope-

raciones de entrada-salida sobre el tiempo de ejecución de los algoritmos de cálculo.

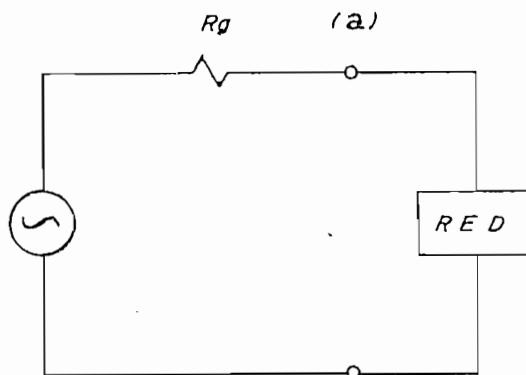


Figura 2.32.- Conexión de las redes del ejemplo 3 a la excitación para comprobación de las singularidades internas.

[MHz]	VOLTAJE EN EL NODO (a) [mV]		
FRECUENCIA	REAL	IMAGINARIA	MAGNITUD
10	799.99997	400.00002	894.427173
20	1000	0.00006	1000
30	0	-0.00127	0.00127
40	1000	0.00027	1000
50	0	-0.00338	0.00338
60	1000	0.00129	1000
70	0	-0.00487	0.00487
80	1000	0.00036	1000
90	0	-0.00224	0.00224
100	1000	0.00037	1000
110	0	-0.00253	0.00253
120	1000	0.00226	1000
130	0	-0.00229	0.00229

Tabla 2.12.- Valores calculados del voltaje en el nodo (a) (fig. 2.32) para las frecuencias de la singularidades internas y de la condición de impedancia. Los valores calculados son los mismos para las redes Foster y Cauer.

El formato de presentación de resultados considera las unidades de inductancia y capacidad aplicables al rango de frecuencia definido para el desarrollo de esta tesis, esto es, nano-henrios para las inductancias y pico-faradios para los capacitores.

Para circuitos sobre los 100 o 200 MHz, es preferible utilizar técnicas de strip-line en lugar de componentes discretos; un alcance de esta tesis sugiere la implementación de programas que faciliten adaptar la tecnología strip-line a los resultados de síntesis obtenidos.

### 3. CAPITULO 3: ANALISIS DE REDES

#### 3.1 DEFINICION DE PARAMETROS PARA ANALISIS

Una vez obtenidas las redes Foster y Cauver con el proceso de síntesis explicado en el capítulo anterior, se requiere un programa que permita analizar el comportamiento de voltajes, corrientes y potencias en todos los elementos, para el rango de frecuencia de operación.

Para un análisis completo de la situación real, se debe considerar que los condensadores e inductores presentan pérdidas. Estas pérdidas, como se indicó en el Capítulo 1, están representadas por una resistencia en serie o paralelo con el elemento.

A pesar de que la resistencia es función de frecuencia, en este trabajo se consideran pérdidas óhmicas constantes en todo el rango de frecuencia. Este criterio es válido si el rango de operación del circuito es muy pequeño (10% de la frecuencia central, o máximo una relación 1 a 2 entre las frecuencias mínima y máxima). Sin embargo, podría pensarse en plantear el estudio de análisis para resistencias que sean función de frecuencia, si alguna aplicación así lo requiere.

Se ha considerado dos formas de representar las pérdidas:

- a. Los condensadores y los inductores presentan resistencias en paralelo de tal manera que el número de nodos de la red no cambie con el incremento del número de ramas.

- b. Los condensadores e inductores presentan resistencias en serie de tal manera que incrementa el número de nodos y el número de ramas de la red.

Para el ingreso de datos al programa de análisis se escogió la opción "a" por la ventaja, desde el punto de vista de programación, de mantener constante el número de nodos con respecto a las pérdidas.

Una vez ingresados los elementos de la red, se considera la conexión de la fig. 3.1 para realizar el análisis de los siguientes parámetros: Voltaje de nodo; Voltaje de rama; Corriente de rama; y, Potencia aparente ( $S = VI^*$ ) en cada elemento.

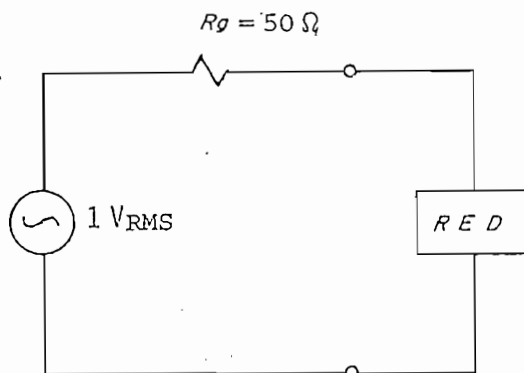


Figura 3.1.- Conexión de la red a la excitación para análisis de voltajes de nodo, voltajes de rama, corrientes de rama y potencia aparente.

Los parámetros de voltaje, corriente y potencia en un elemento real se deben calcular considerando los terminales del circuito equivalente. Esto significa que en la representación paralelo (elemento reactivo en paralelo con resistencia de pérdidas), el voltaje en el

elemento reactivo (o en su resistencia) corresponde al voltaje del elemento real, pero la corriente en el elemento real es la suma fasorial de las corrientes en el elemento reactivo y en su resistencia.

### 3.1.1 Influencia de las pérdidas en la función impedancia de entrada

Para el análisis de la influencia de pérdidas en la función impedancia de entrada existen dos opciones: las pérdidas se encuentran en serie con el elemento; o, las pérdidas se encuentran en paralelo con el elemento. Como se indicó anteriormente, para el desarrollo de este programa se ha escogido la opción de pérdidas en paralelo.

De acuerdo al modelo escogido, la frecuencia de resonancia en un circuito tanque L-C no depende de las pérdidas, por esta razón, se hace el análisis de influencia de pérdidas solamente para el circuito serie L-C (fig. 3.2).

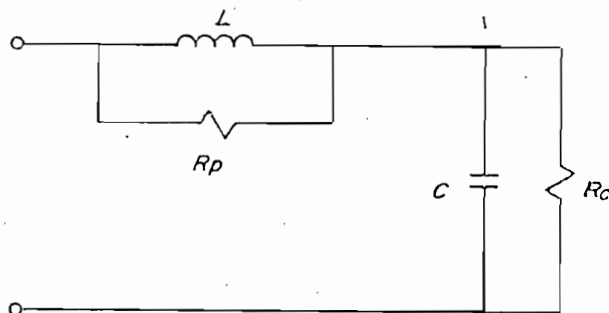


Figura 3.2.- Circuito serie L-C con pérdidas.

La impedancia de entrada del circuito de la fig. 3.2 es:

$$Z = j \frac{\omega L R_L}{R_L + j\omega L} - j \frac{1/\omega C R_c}{R_c - j/\omega C} \quad \text{ec. 3.1}$$

Separando parte real y parte imaginaria se tiene:

$$Z = \left( \frac{R_L \omega^2 L^2}{R_L^2 + \omega^2 L^2} + \frac{R_c}{\omega^2 C^2 (R_c^2 + (1/\omega C)^2)} \right) + \dots$$

$$\dots + j \left( \frac{R_L^2 \omega L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} - \frac{R_c^2}{\omega C (R_c^2 + (1/\omega C)^2)} \right) \quad \text{ec. 3.2}$$

A la frecuencia de resonancia la parte imaginaria es cero, entonces:

$$\frac{R_L^2 \omega_r L}{R_L^2 + \omega_r^2 L^2} = \frac{R_c^2}{\omega_r C (R_c^2 + (1/\omega_r C)^2)} \quad \text{ec. 3.3}$$

que puede ser expresado de las siguientes formas:

$$\omega_r^2 = \frac{R_c^2 R_L^2 + R_L^2 L/C}{R_L^2 R_c^2 LC + R_c^2 L^2} \quad \text{ec. 3.4}$$

$$\omega_r^2 = \frac{1 + \frac{L}{R_c^2 C}}{1 + \frac{L^2}{R_L^2}} \quad \text{ec. 3.5}$$



En la ec. 3.5 se observa que cuando hay pérdidas en el condensador, pero no en la bobina, la frecuencia de resonancia aumenta. De la misma manera, cuando hay pérdidas en la bobina, pero no en el condensador, la frecuencia de resonancia disminuye.

Si no existen pérdidas en la bobina ni en el condensador, o si el factor de calidad de los elementos es suficientemente alto (mayor que 100), la frecuencia de resonancia permanece inalterada. No se ha considerado pérdidas como datos de entrada al programa de síntesis en el supuesto de que los circuitos implementados en la práctica están contruidos con elementos de alto Q. Sin embargo, el programa de análisis permite observar la influencia de las pérdidas en las singularidades de la red.

### 3.1.2 Ingreso de datos

Para el análisis de redes se tiene dos formas de ingreso de datos:

1. Ingreso de datos para cualquier red (tabla 3.1).
2. Ingreso de datos de redes Foster o Cauer con elementos que presentan pérdidas (tabla 3.2).

INGRESO DE ELEMENTOS PARA ANALISIS DE CUALQUIER RED

No	ELEMENTO	RAMA	NODO DESDE	NODO HASTA	VALOR	PREFIJO	ANGULO (GRADOS)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							

INGRESO DATOS:

1	--	FUENTE DE VOLTAJE (VOLTIOS)	No NODOS
2	--	FUENTE DE CORRIENTE (AMPERIOS)	No RAMAS
3	--	RESISTENCIA (OHMIOS)	TERMINAR [ALT][P]
4	--	INDUCTANCIA (HENRIOS)	
5	--	CAPACITANCIA (FARADIOS)	FACTOR: PICO -12 KILO 3
6	--	CONDUCTANCIA (MHOS)	NANO -9 MEGA 6
			MICRO-6 GIGA 9
			MILI -3 TERA 12

OPCIONES DE ANALISIS:

1	VOLTAJE DE NODO	FMIN
2	VOLTAJE DE RAMA	FMAX
3	CORRIENTE DE RAMA	RANGO
4	POTENCIA DE RAMA	NODO/RAMA
		OPCION

Tabla 3.1.- Ingreso de datos de la topología de cualquier red.

## ANALISIS DE REDES FOSTER Y CAUER

ELEMENTO	VALOR	PERDIDAS
L0		
C0		
L1		
C1		
L2		
C2		
L3		
C3		
L4		
C4		
L5		
C5		
L6		
C6		
L7		
C7		

L: Induc. [NanoHenrios]  
 C: Capac. [PicoFarad.]  
 Perdidas [Ohmios]  
 Frecuencia [MHz]  
 Terminado ingreso de  
 Perdidas [ALT] [P]

FMIN  
 FMAX  
 RANGO  
 NODO/RAMA  
 OPCION  
 FSENS

[ALT][R]

Tabla 3.2.- Formato de ingreso de datos de las redes Foster o Cauer (resultantes de la síntesis) con elementos que presentan pérdidas.

### 3.1.3.- Algoritmo utilizado para el análisis de redes.

El análisis de redes comprende 2 etapas: configuración de la red y proceso de cálculo.

#### 3.1.3.1 Codificación de la topología de la red

El ingreso de resistencias en paralelo que representan pérdidas en las redes Foster y Cauer, determina que en

la topología de las redes incrementa el número de ramas, sin variar el número de nodos.

Una de las propiedades de la función impedancia de entrada (Capítulo 1), establece que el número de polos y el número de ceros difieren máximo en uno. Esto determina que el número mínimo ( $N_1$ ) de elementos sea igual al número de singularidades internas aumentado en uno (ec. 3.6).

$$N_1 = M + N + 1 \quad \text{ec. 3.6}$$

donde:

M	→	Número de polos
N	→	Número de ceros
NODOS	→	Número de nodos
RAMAS	→	Número de ramas
$N_1$	→	Número de ramas capacitivas e inductivas

El proceso de análisis de redes se inicia estableciendo la descripción topológica de la red con un sentido asumido para la dirección de la corriente en cada rama.

La descripción topológica de redes<sup>4</sup> permite elaborar esquematizar la red reemplazando a los elementos por flechas que indican el sentido asumido de la corriente (las ramas que tienen elementos activos se excluyen).

Se denomina árbol a una trayectoria no cerrada que contiene a todos los nodos del esquema. Esto determina que el número de ramas de un árbol sea igual al número de nodos menos uno, o si se considera a uno de los nodos como nodo de referencia (nodo 0), el número de nodos independientes es igual al número de ramas.

$$\# \text{ Nodos indep.} = \# \text{ de ramas del árbol} \quad \text{ec. 3.7}$$

Aplicando las expresiones 3.6 y 3.7 a las redes Foster y Cauer se tiene que el número de nodos independientes es igual al número de ceros de la función impedancia de entrada aumentado en uno (ec. 3.8).

$$\text{NODOS} = N + 1 \quad \text{ec. 3.8}$$

donde:  $N \rightarrow$  Número de ceros

El número de ramas de la red esta dado por los polos y los ceros, por la rama de excitación y por las ramas que representan las pérdidas.

La rama de excitación contiene, por definición para este programa, una fuente de voltaje de 1 V<sub>RMS</sub> con desfasaje de 0° y resistencia interna de 50 Ω .

Cada elemento inductivo o capacitivo puede tener pérdidas, entonces, el número máximo de ramas resistivas es igual a uno más el número de singularidades internas (ec. 3.9).

$$\# \text{ Máx. Ramas} = 2( M + N + 1 ) + 1 \quad \text{ec. 3.9}$$

donde:  $M \rightarrow$  # polos  
 $N \rightarrow$  # ceros

Para cada elemento se debe ingresar la siguiente información:

a. Clase de elemento:

- 1 FUENTE DE VOLTAJE
- 2 FUENTE DE CORRIENTE
- 3 RESISTENCIA
- 4 INDUCTANCIA
- 5 CAPACITANCIA
- 6 CONDUCTANCIA

b. Rama a la que pertenece

c. Nodo "DESDE"

d. Nodo "HASTA"

e. Valor del elemento

f. Factor de multiplicación (Nano  $10^{-9}$ , Pico  $10^{-12}$ , . . . etc.)

g. Angulo de fase (para fuentes de Corriente o Voltaje)

El programa DATSINT1 (diagrama de flujo en la fig. 3.3) codifica la topología de la red con el número de nodos dado por la expresión 3.8. Para el efecto, utiliza los valores de los elementos calculados con el programa de síntesis, y las pérdidas óhmicas especificadas en el formato de ingreso (tabla 3.1).

Se ha considerado la opción de analizar redes de hasta 16 elementos y de cualquier configuración. En este caso se debe ingresar toda la información desde el teclado, la misma que es revisada por el programa INGRESO2 (diagrama de flujo en la fig. 3.4).

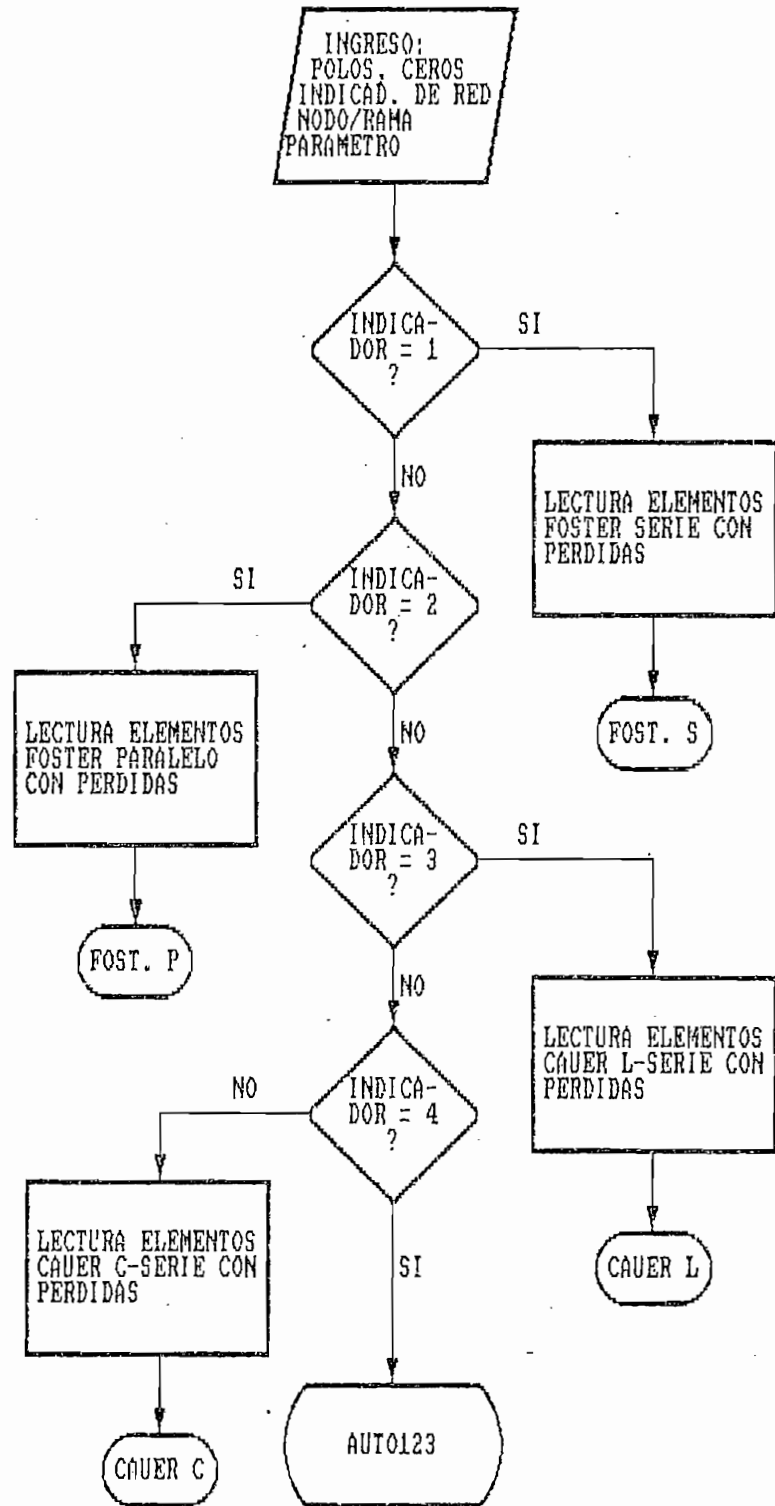


Figura 3.3.- Diagrama de flujo del programa DATSINT1 que codifica la topología de las redes que resultan del proceso de síntesis.

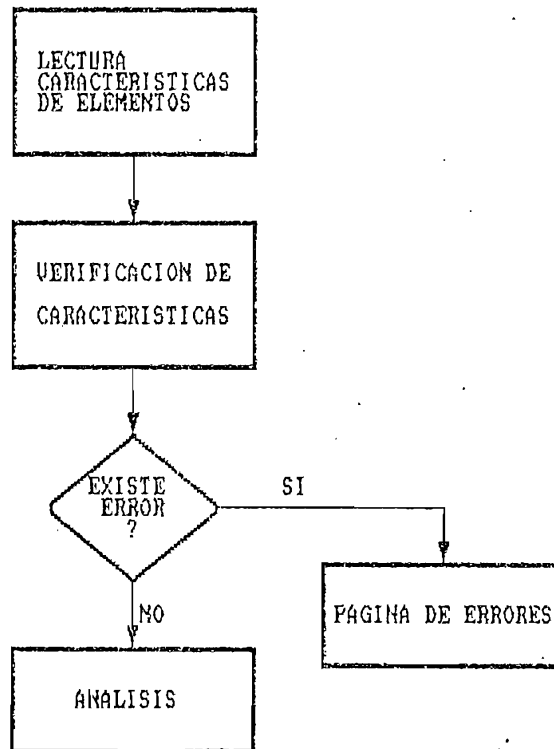


Figura 3.4.- Diagrama de flujo del programa INGRESO2 que revisa la validez de los datos de topología de una red cualquiera con hasta 16 elementos.

### 3.1.3.2 Algoritmo de Cálculo

El algoritmo empleado es el análisis nodal<sup>5</sup>, el cual calcula los voltajes de nodo que sirven de base para luego determinar los voltajes, corrientes y potencias de rama.



A. Cálculo de la matriz incidencia [A].

La secuencia de cálculo se inicia con la formación de la matriz incidencia A, llamada matriz de interconexión, que define como se conectan las ramas a los nodos independientes. Esta matriz tiene tantas columnas como número de ramas tenga la red, por lo tanto su dimensión es #NODOS x #RAMAS.

El procedimiento para la formación de la matriz incidencia es el siguiente:

- a. Inicializar la matriz incidencia con ceros.
- b. Analizar uno por uno los diferentes elementos, que pueden ser R, G, L, C, V, I. El análisis consiste en encontrar el número de rama en que se localiza el elemento, el número de nodo "DESDE" el cual sale y el número de nodo "HASTA" el cual llega.
- c. En la columna indicada por el número de rama y en la fila indicada por el número de nodo "DESDE" poner un "1" (excepto si el nodo "DESDE" es cero).
- d. En la columna indicada por el número de rama y en la fila indicada por el número de nodo "HASTA" poner "-1" (excepto si el nodo "HASTA" es cero).

Los elementos de la matriz incidencia A son: 0, 1, -1. En un computador las cantidades numéricas se representan con más bytes que las cantidades literales, por lo cual es preferible representar los números 0, 1 y -1 por los caracteres literales "0", "1" y "2" respectivamente. Esto significa que la matriz incidencia se ha transfor-

mado en una sucesión de caracteres literales y cualquier operación que se realice con A, se limita a una simple decisión lógica.

B. Cálculo de la matriz admitancia de elementos.

La matriz admitancia de elementos  $Y_E$  (con elementos  $Y_{eij}$ ), es una matriz diagonal (no se consideran inductancias mutuas) que se evalúa con la ec. 3.10.

$$Y_{eii} = \frac{1}{R_{ii}} + G_{ii} + j \left( \omega C_{ii} - \frac{1}{\omega L_{ii}} \right)$$

$$Y_{eij} = 0 \quad i \neq j \quad \text{ec. 3.10}$$

donde:  $R_{ii}$  → Resistencia de la rama i  
 $G_{ii}$  → Conductancia de la rama i  
 $C_{ii}$  → Capacidad de la rama i  
 $L_{ii}$  → Inductancia de la rama i

C. Cálculo de la matriz admitancia ramal.

La matriz admitancia ramal se define en la ec. 3.11 como:

$$Y_b = (U + F) Y_e (U + D)^{-1} \quad \text{ec. 3.11}$$

donde: U → Matriz unitaria [RAMAS x RAMAS]  
 F → Definida por la existencia de fuentes dependientes de corriente controladas por corriente o controladas por voltaje.  
 D → Definida por la presencia de fuentes dependientes de voltaje controladas por corriente o por voltaje.

En este caso F y D no existen, entonces  $Y_b = Y_e$

D. Cálculo de la matriz admitancia nodal.

La matriz impedancia nodal  $Y_n$  se obtiene con la ec. 3.12.

$$Y_n = A Y_b A^T \quad \text{ec. 3.12}$$

donde:  $Y_n$  → Matriz nodal  
 A → Matriz de incidencia  
 $A^T$  → Matriz transpuesta de A  
 $Y_b$  → Matriz admitancia ramal

E. Cálculo de la matriz de corriente equivalente.

La matriz corriente equivalente  $I_s$  se calcula con la ec. 3.13.

$$I_s = A [I_g - Y_b V_g] \quad \text{ec. 3.13}$$

donde:  $I_g$  → Matriz de fuentes de corriente  
 $V_g$  → Matriz de fuentes de voltaje  
 $I_s$  → Matriz de corrientes equivalentes

F. Cálculo de los voltajes de nodo  $V_n$ .

De la ecuación matricial  $Y_n V_n = I_s$  se obtiene la ec. 3.14 que representa un sistema de  $n$  ecuaciones lineales simultáneas de donde se obtienen los voltajes de nodo de la red.

$$[Y_n : I_s] = V_n \quad \text{ec. 3.14}$$

donde:  $Y_n$  → Matriz admitancia de nodos  
 $V_n$  → Vector de voltajes de nodo  
 $I_s$  → Matriz de corrientes equivalentes

El sistema de  $n$  ecuaciones lineales simultáneas se resuelve utilizando el procedimiento de eliminación de Gauss, que consiste en reducir las incógnitas y transformar el sistema en otro equivalente a través de varias operaciones. Las operaciones posibles que se realizan con las filas son: sumar una fila a otra; multiplicar una fila por un escalar; sumar a una fila el producto de otra fila por un escalar; e, intercambiar las filas sin alterar la solución del sistema.

La solución de las  $n$  ecuaciones lineales simultáneas se resume en la reducción de la matriz de coeficientes a una matriz triangular superior y en la evaluación de las incógnitas.

El procedimiento para la resolución de las  $n$  ecuaciones lineales simultáneas es el siguiente:

a. El proceso se inicia con  $i = 1$

- b. Se debe buscar al elemento pivote, elemento de mayor valor absoluto de la columna  $i$ -ésima; es buscado desde  $Y_{i1}$  hasta  $Y_{iNODOS}$
- c. Si el elemento pivote se encuentra en una posición diferente a  $Y_{i1}$ , se coloca en ésta, realizando intercambio de filas.
- d. Partiendo de la matriz ampliada  $[Y_n : I_s]$ , formar una matriz triangular superior con el método de pivotaje total. El factor pivote viene dado por la ec. 3.15.

$$F = - \frac{Y_{ki}}{Y_{i1} \text{ Elemento pivote}} \quad \text{ec. 3.15}$$

$$k = i+1, \dots, \text{NODOS}$$

- e. Terminada la reducción de Gauss se procede a la evaluación regresiva de las incógnitas, es decir, primero se obtiene  $V_n$ , luego  $V_{n-1}$ , . . . , hasta  $V_1$ .

G. Cálculo de voltajes de rama  $V_b$ .

Una vez obtenidos los voltajes de nodo, se puede calcular los voltajes de rama  $V_b$  con la ec. 3.16.

$$V_b = A^T V_n \quad \text{ec. 3.16}$$

H. Cálculo de las corrientes de rama Ib.

Para el cálculo de las corrientes de rama se utiliza la ec. 3.17.

$$I_b = Y_b [V_b + V_g] - I_g \quad \text{ec. 3.17}$$

donde:

$I_b$	→	Corrientes de rama
$Y_b$	→	Matriz de admitancia ramal
$V_b$	→	Voltajes de rama
$V_g$	→	Fuentes independientes de voltaje
$I_g$	→	Fuentes independientes de corriente

Para el análisis de redes Foster y Cauer no se considera fuentes independientes de corriente.

I. Cálculo de potencias.

Para el cálculo de potencia en las redes Foster y Cauer, una vez definido el elemento de interés, se evalúa la potencia almacenada en el equivalente reactivo, y la potencia disipada en la resistencia de pérdidas. En el caso de una red cualquiera, se calcula la potencia compleja  $S$  del ramal, con la ec. 3.18.

$$S = V I^* \quad \text{ec. 3.18}$$

El diagrama de flujo de la implementación de los algoritmos de cálculo para análisis de redes, se presenta en la fig. 3.5.

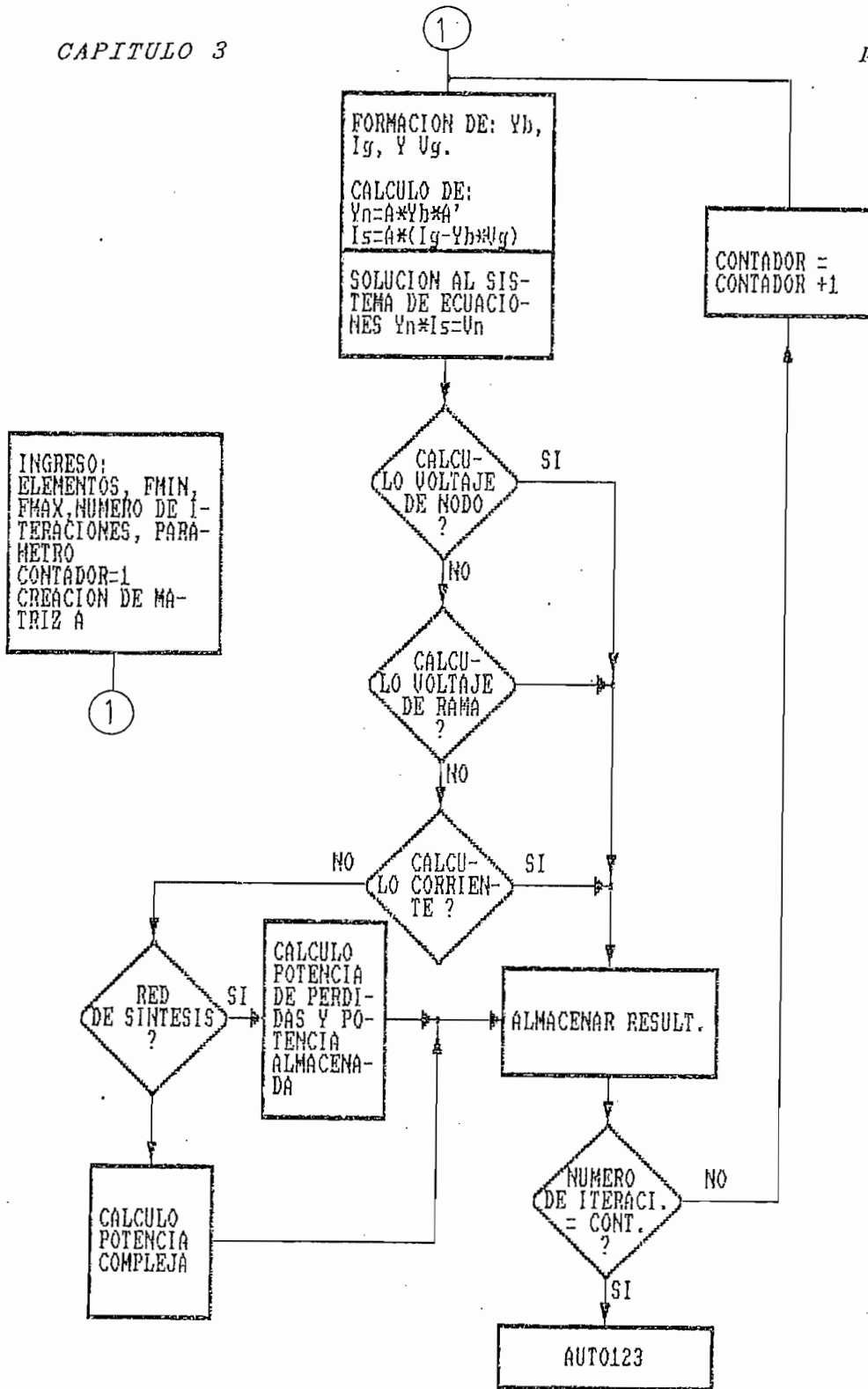


Figura 3.5.- Diagrama de flujo del programa ANALISIS en el que se encuentran implementados los algoritmos para análisis de redes. Parte a.

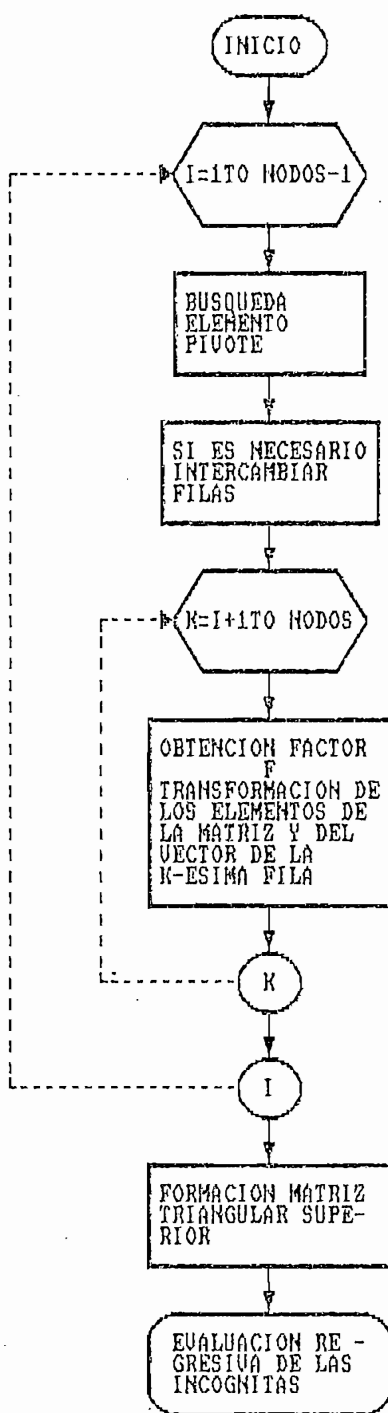


Figura 3.5.- Diagrama de flujo del programa ANALISIS en el que se encuentran implementados los algoritmos para análisis de redes. Parte b.



## 3.2 RESPUESTA DE FRECUENCIA

## 3.2.1 Generalidades

Sea  $G(w)$  una función compleja; se la puede expresar en coordenadas rectangulares como sigue:

$$G(w) = R(w) + jX(w) \quad \text{ec. 3. 19}$$

o bien en forma polar:

$$G(w) = |G(w)| \text{EXP}(j\Phi(w)) \quad \text{ec. 3.20}$$

En este caso:

$$R(w) \quad \text{Real } \{ G(w) \}$$

$$X(w) \quad \text{Imag } \{ G(w) \}$$

$$|G(w)| \quad \text{Magnitud de } G(w)$$

$$\Phi(w) \quad \text{Fase de } G(w)$$

Las notaciones rectangular y polar indicadas en las ecuaciones 3.19 y 3.20 se relacionan de la siguiente manera:

$$\Phi(w) = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{X(w)}{R(w)} \right) \quad \text{ec. 3.21}$$

$$|G(w)| = \text{SQRT}((R(w))^2 + (X(w))^2) \quad \text{ec. 3.22}$$

La notación polar tiene especial importancia en el diseño de redes por dos razones:

- a. Las especificaciones a partir de las cuales se diseñan las redes casi siempre se dan en términos de magnitud y fase, y con menos frecuencia en función de las partes real e imaginaria.
  
- b. Las mediciones de valores eficaces de voltaje y corriente, se efectúan con facilidad si se emplean instrumentos standards tales como osciloscopio, voltímetro, amperímetro. De la misma forma, los módulos de potencia y admitancia, o el factor de calidad, se miden con el watímetro, el puente de admitancias o el medidor de Q, respectivamente. Aunque en este caso el interés se centra en los métodos analíticos para facilitar la determinación de las partes de  $G(w)$ , se debe tener en cuenta que tal vez haya que comprobar los resultados en el laboratorio y hacerlo en forma rápida y adecuada usando instrumentos sencillos.

En la respuesta de frecuencia, la variable independiente es siempre " $w$ ", pero la variable dependiente puede ser módulo, fase, parte real o parte imaginaria de una magnitud de interés.

$G(w)$  representa voltaje de nodo, voltaje de rama, corriente de rama o potencia compleja.

## 3.2.2 Presentación de resultados de análisis

La tabulación de los valores calculados en una respuesta de frecuencia no es muy práctica por la cantidad de números involucrada. Es más adecuado presentar los resultados en forma gráfica.

A continuación se presenta el análisis (respuesta de frecuencia en la fig. 3.7) para la red del ejemplo 2 (fig. 3.6) del capítulo anterior. Se ha asumido que el factor de calidad de la bobina es 150 mientras que el del capacitor es 400.

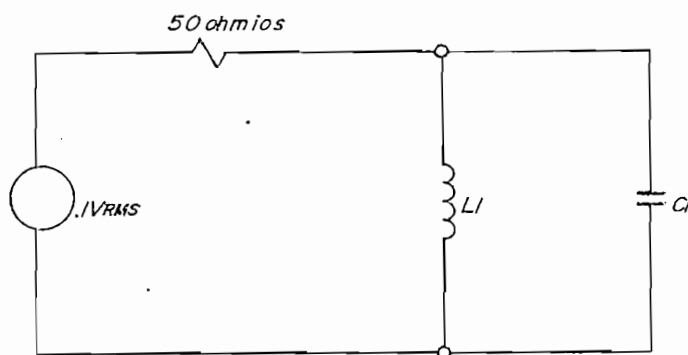


Figura 3.6.- Red correspondiente a la síntesis del ejemplo 2 (capítulo 2), con una excitación de 1 VRMS.

## RESPUESTA DE FRECUENCIA

Voltaje en nodo (a)

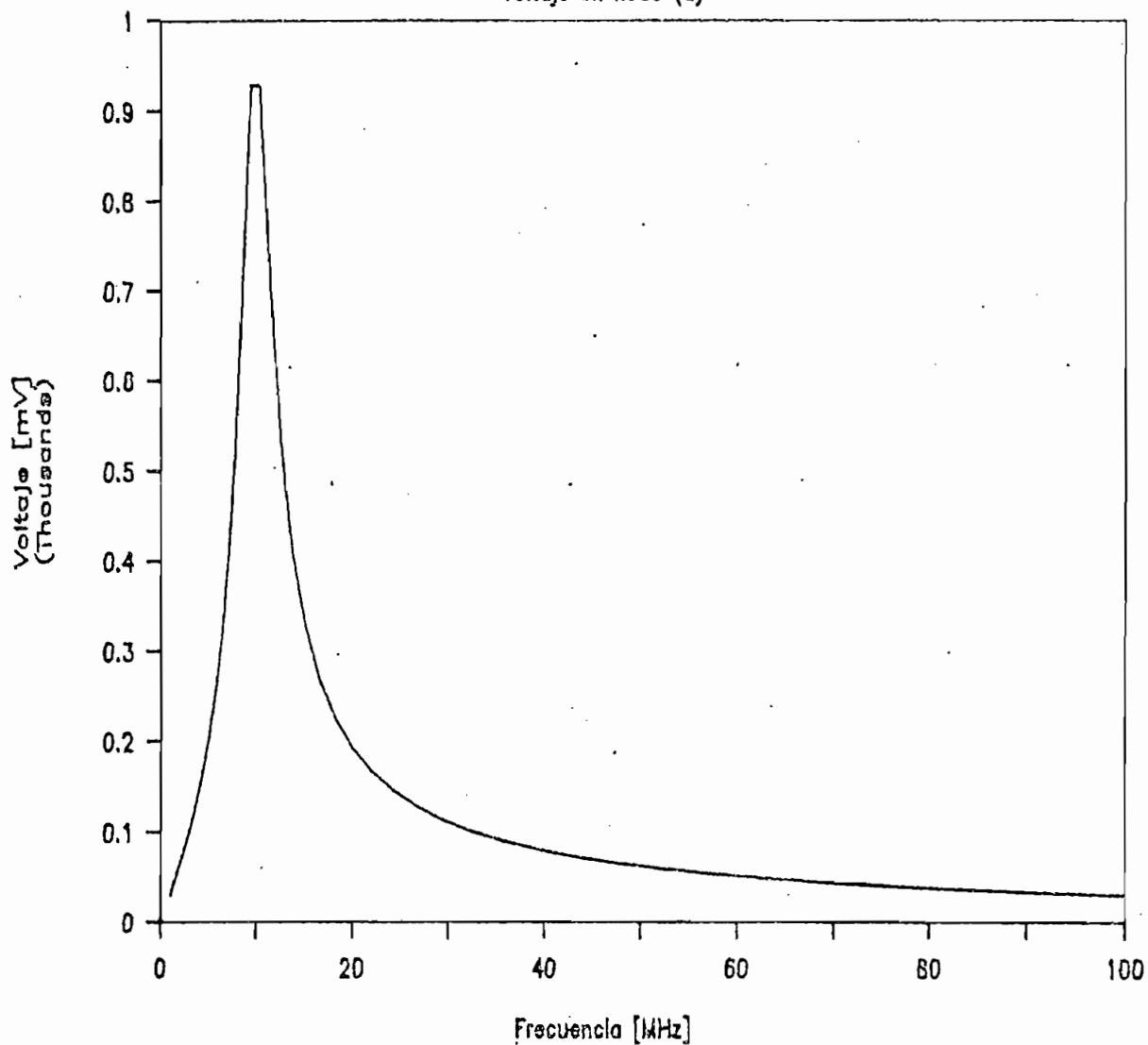


Figura 3.7.- Respuesta de frecuencia del módulo del voltaje en el nodo (a).

## RESPUESTA DE FRECUENCIA

Corriente en la bobina

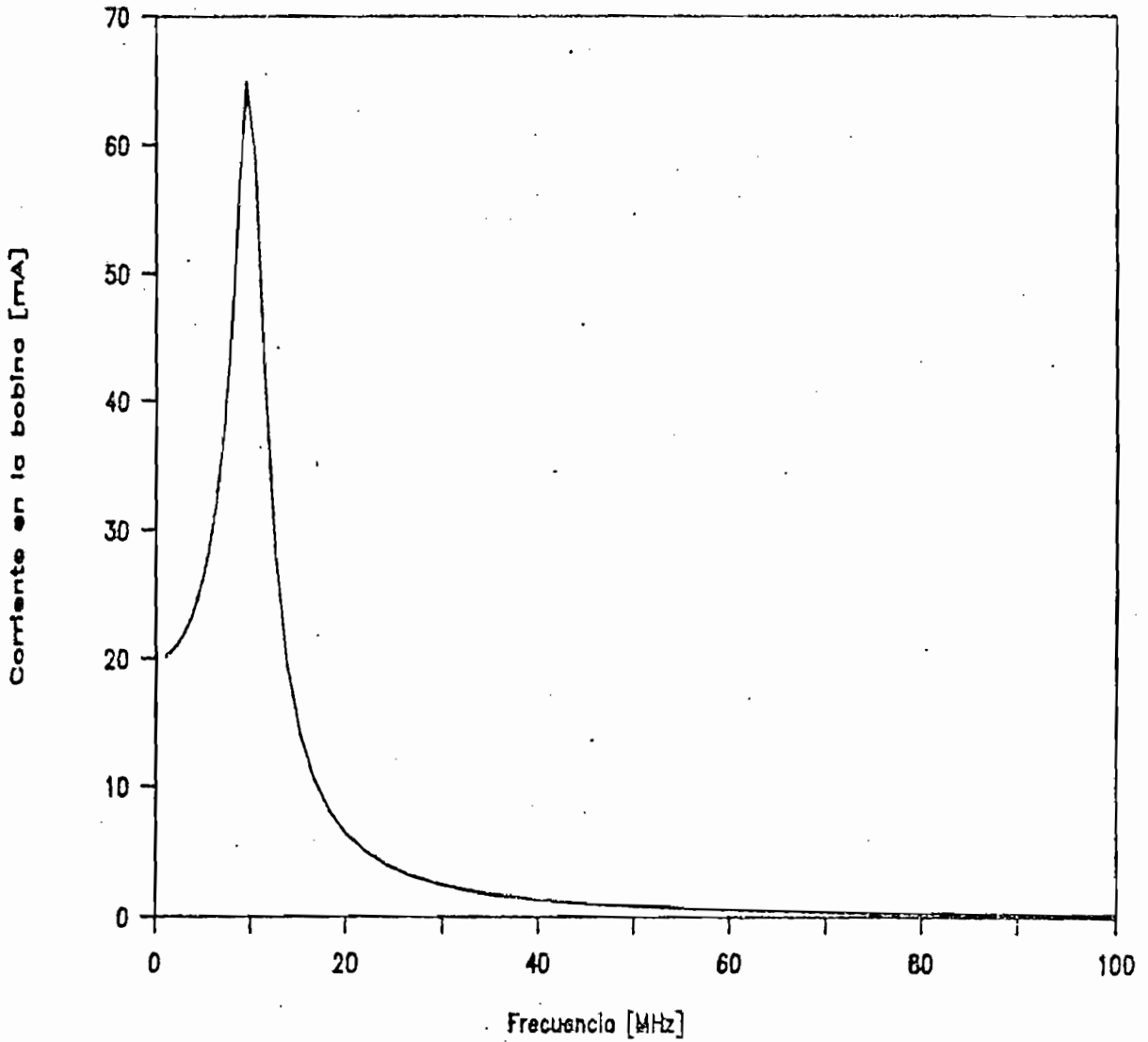


Figura 3.8.- Respuesta de frecuencia del módulo de la corriente en la bobina.

## RESPUESTA DE FRECUENCIA

Potencia disipada en la bobina

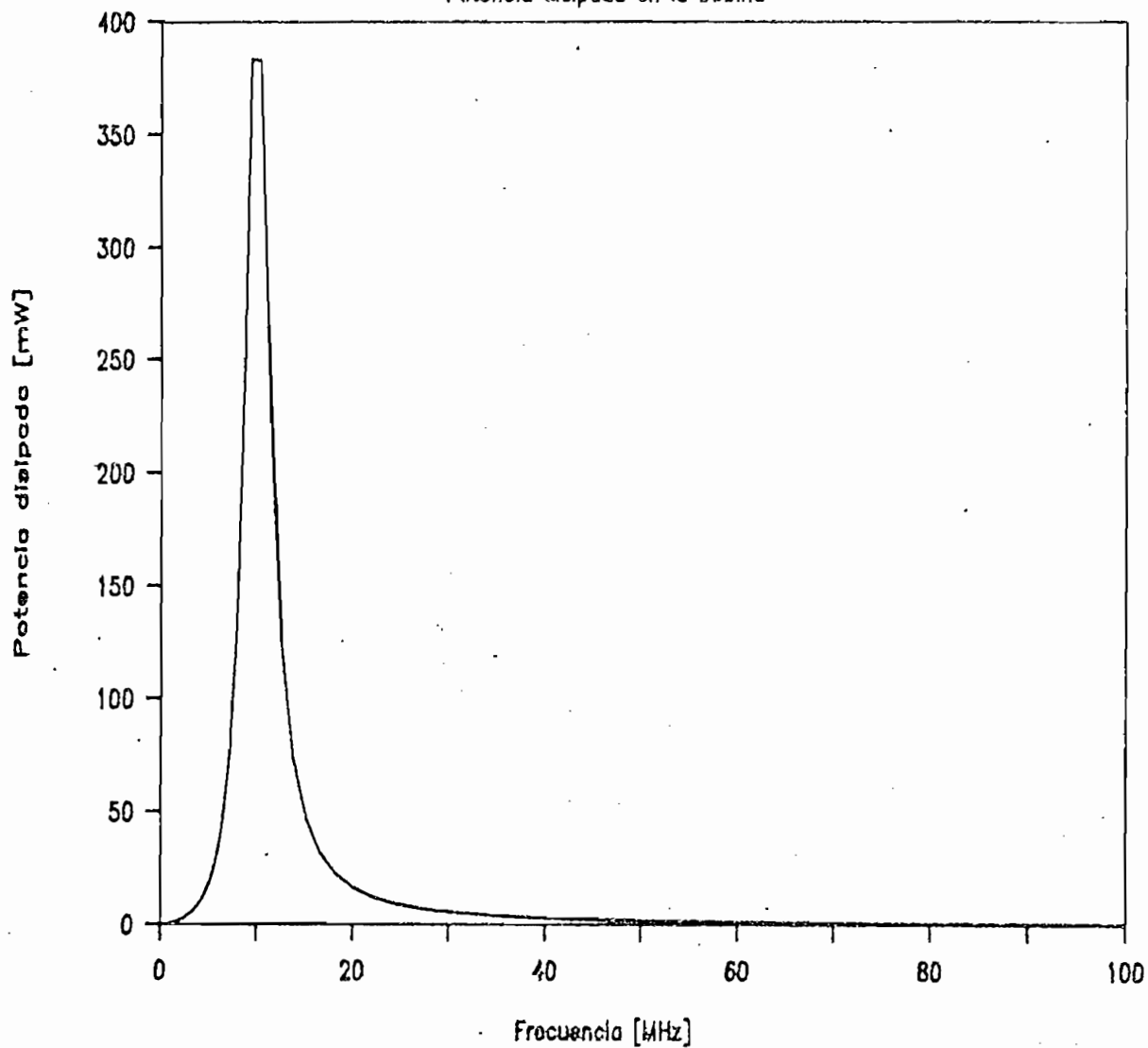


Figura 3.9.- Respuesta de frecuencia de la potencia disipada en la bobina.

## RESPUESTA DE FRECUENCIA

Potencia almacenada en la bobina

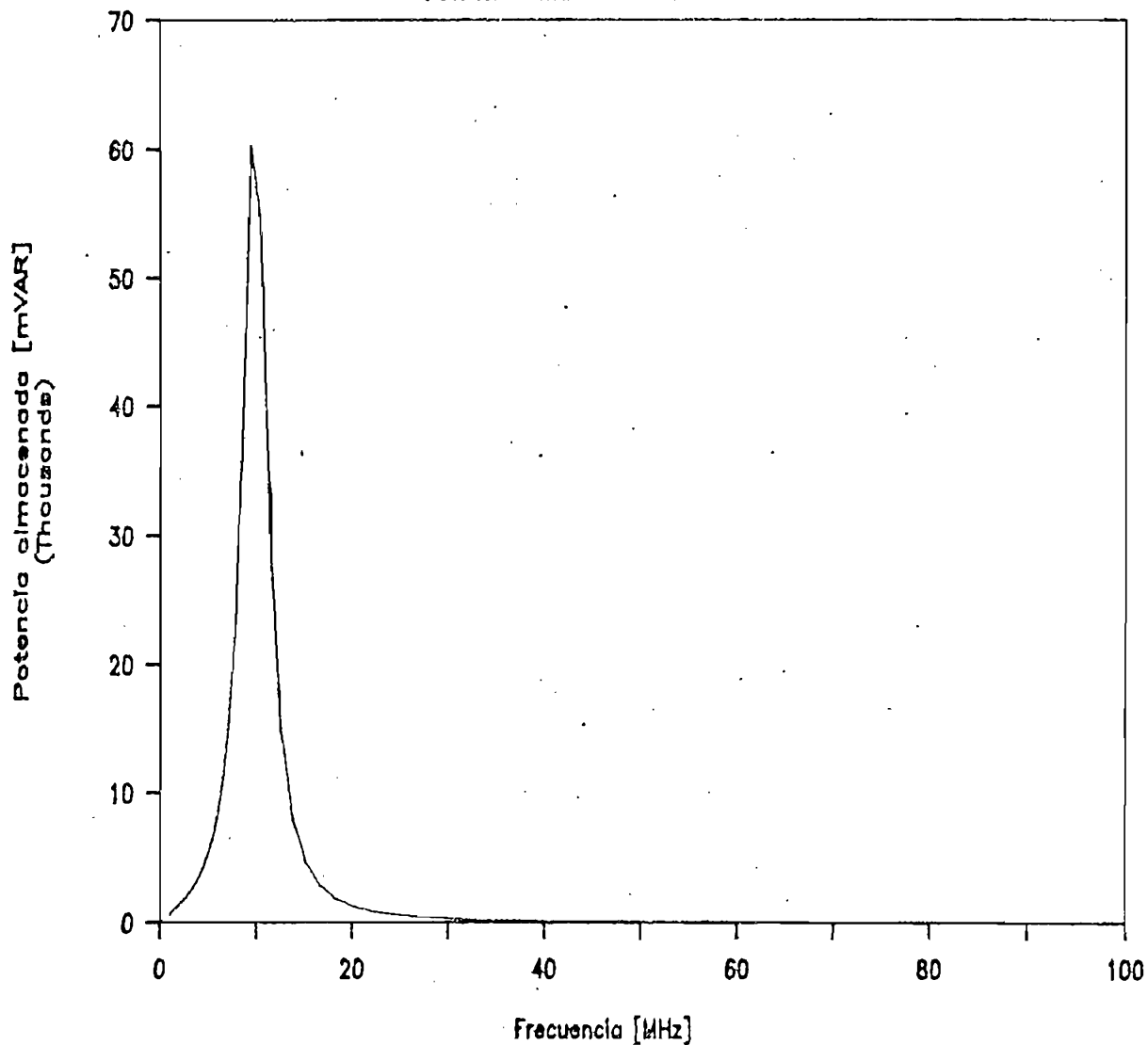


Figura 3.10.- Respuesta de frecuencia de la potencia reactiva almacenada en la bobina.

En el Capítulo 4 se presentan más ejemplos y su comprobación experimental.

### 3.3 ANALISIS DE SENSITIVIDAD Y TOLERANCIA

Para un adecuado análisis y diseño, se debe considerar las variaciones de los elementos, para conocer los límites de especificación que cumple un circuito.

Es necesario entonces, conocer como cambia la función de interés cuando varían los valores de los elementos dentro de ciertos límites. Este análisis y resolución es muy laboriosa y requiere demasiado tiempo, pues para cada valor de frecuencia se necesita re-calcular considerando la variación de los componentes. Se considera variaciones en capacitores e inductores.

En general la sensibilidad se define como el diferencial de una función de varias variables<sup>6</sup>. En el caso de variación monoparamétrica o variación no simultánea de los elementos de la red, la sensibilidad para una función de  $p$  variables es:

$$dV = \frac{\delta V}{\delta p_k} \times dp_k \quad \text{ec. 3.22}$$

donde:  $V \rightarrow$  función de  $p$  variables  
 $p_k \rightarrow$  variable de la función  $V$

Aplicando la expresión 3.22 al vector voltaje de nodo para una variación de un elemento se tiene :



$$dV_n = \frac{\delta V_n}{\delta p_k} \times dp_k \quad \text{ec. 3.23}$$

Para una variación finita absoluta de  $V_n$ , debido a un cambio porcentual normalizado de  $p_k$  se tiene:

$$\Delta V_n = \frac{\delta V_n}{\delta p_k} \times \Delta p_k \quad \text{ec. 3.24}$$

o, expresado de otra manera,

$$\Delta V_n = \frac{\delta V_n}{\delta p_k} \times p_k \times \frac{\Delta p_k}{p_k} \quad \text{ec. 3.25}$$

Para este trabajo, la sensibilidad monoparamétrica de  $V_n$  con respecto a los inductores y capacitores de la red se define como el cambio de voltaje en los nodos para una variación del 1% en el valor de los elementos.

$$S_{|p_k|} = \frac{V_n}{|p_k|} \times \frac{\delta V_n}{\delta |p_k|} \times \frac{|p_k|}{100} \quad \text{ec. 3.26}$$

donde:  $V_n \rightarrow$  Vector voltaje de nodo  
 $|p_k| \rightarrow$  Inductor o capacitor

La ecuación 3.26 permite calcular la variaciones de voltaje de nodo tanto en magnitud como en fase, para la variación del 1%. Esta variación se calcula utilizando las expresiones obtenidas de la representación gráfica de voltajes de nodo<sup>6</sup> de la fig. 3.11.

$$\Delta |V_k| = |\Delta V_k| \times \text{Cos} (\beta - \alpha) \quad \text{ec. 3.27}$$

$$\Phi = \text{arc tan} \left( \frac{|\Delta V_k| \times \text{Sen} (\beta - \alpha)}{|V_k| + \Delta |V_k|} \right) \quad \text{ec. 3.28}$$

donde:  $|\Delta V_k|$  → Módulo de sensibilidad  
 $\beta$  → Angulo de sensibilidad  
 $|V_k|$  → Módulo voltaje de nodo  
 $\alpha$  → Angulo de voltaje de nodo  
 $\Delta |V_k|$  → Módulo variación de voltaje  
 $\Phi$  → Angulo de la variación de voltaje

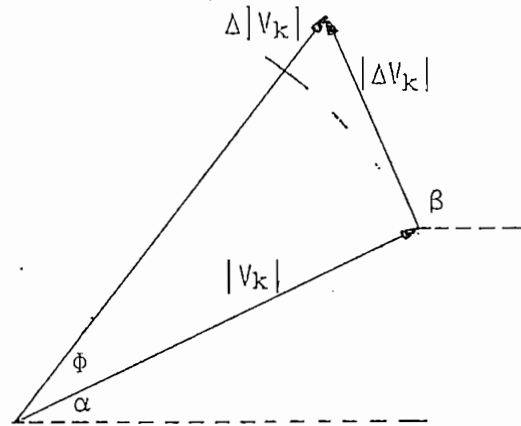


Figura 3.11.- Gráfico para cálculo de variaciones de voltaje cuando se conoce la sensibilidad.

Conocidos los valores de sensibilidad se puede determinar aquellos elementos que deben ser escogidos con la menor tolerancia posible.

Es necesario conocer también la variación de los voltajes de nodo debido a la variación finita de un solo elemento (inductor o capacitor del circuito). En este caso se tiene las expresiones 3.27 y 3.28 que represen-

tan la tolerancia, considerada como el cambio de voltaje en los nodos debido a la variación de un solo elemento.

Como ejercicio, se presenta el cálculo de sensibilidad para la red Cauer L-Serie del ejemplo 1 del capítulo anterior (tabla 3.3) y las variaciones de voltaje debidas a sensibilidad (tabla 3.4). Adicionalmente, se considera una variación del 5% en el condensador C0 para análisis de tolerancia (tabla 3.5).

FRECUENCIA (MHz)		30	
Voltaje en Nodos (mV)		Sensibilidad (mV)	
Magnitud(mV)	Fase(Grados)	Magnitud(mV)	Fase(Grados)
-----			
NODO	1	1 .- INDUCTOR = 28.29421	
834.1410305	0.0424256	Nano-henrios	
		0.029342307	88.80942216
NODO	2	0.147566102 87.84986131	
834.1317212	-1.1727954	0.269791226	89.335281099
NODO	3	/ 2 .- CAPACITOR = 813.8605	
1525.0211988	0.3126197	Pico-faradio	
		53.369171122	87.654383646
		53.709624582	-86.261652256
		98.195897292	-84.776236873
		3 .- INDUCTOR = 97.81713	
		Nano-henrios	
		150.9035698	89.574831005
		151.86621368	-84.341203632
		276.30157879	88.218146797
		4 .- CAPACITOR = 445.0799	
		Pico-faradio	
		97.557564444	-89.374787846
		98.17990268	-83.290821778
		179.59045021	84.398362533

Tabla 3.3.- Resultados de sensibilidad para la red Cauer L-Serie del ejemplo 1 (capítulo 2).

VARIACIONES DE VOLTAJE (mV)		TERMINAR IMPRESION [Q]
Magnitud (Mili-voltios)	Angulo (Grados)	
-----		
1.00 .-	INDUCTOR =	28.29
		Nano-henrios
0.00	0.00	
0.00	0.01	
0.00	0.01	
2.00 .-	CAPACITOR =	813.86
		Pico-faradios
2.22	3.65	
4.60	-3.65	
8.41	-3.65	
3.00 .-	INDUCTOR =	97.82
		Nano-henrios
1.23	10.24	
18.06	-10.03	
10.10	10.20	
4.00 .-	CAPACITOR =	445.08
		Pico-faradios
0.99	-6.66	
13.46	-6.55	
18.51	6.60	

Tabla 3.4.- Resultados de variaciones de voltaje debidas a sensibilidad para la red Cauer L-Serie del ejemplo 1 (capítulo 2).

FRECUENCIA (MHz)		TOLERANCIA			
No. ELEMENTO		30.00			
VARIACION ( % )		2.00			
VOLTAJES DE NODO [mV]		5.00		TOLERANCIA [%]	
MAG	FASE	No NODO	MAG	FASE	
NODO	1	CAPACITOR =		813.86	
834.27	0.04			Pico-faradios	
NODO	2	1	11.11	17.51	
834.26	-1.17	2	23.00	-17.34	
NODO	3	3	42.06	-17.34	
1525.25	0.31				

Tabla 3.5.- Resultados de tolerancia para la red Cauer L-Serie del ejemplo 1 (capítulo 2), cuando se considera una variación del 5% en el condensador C0.

4. CAPITULO 4: PRUEBAS EXPERIMENTALES

El programa REDESHF facilita el estudio de la respuesta de frecuencia de un circuito constituido por bobinas, condensadores, resistencias y fuentes independientes de voltaje y corriente

Para realizar el contraste experimental, se construyeron varias redes en el laboratorio y se midió la respuesta de frecuencia del voltaje en el nodo (a) de acuerdo a la configuración circuital indicada en la fig. 4.1.

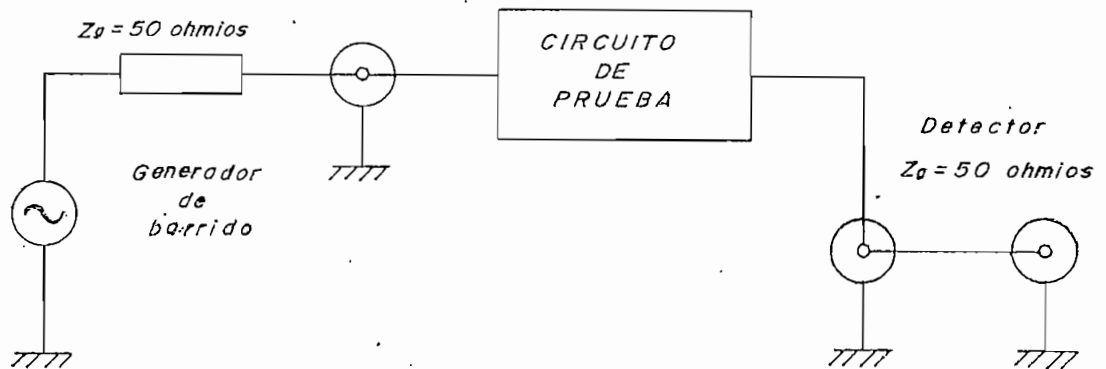


Figura 4.1.- Diagrama del circuito de prueba para encontrar la respuesta de frecuencia de una red.

En el diagrama de la figura 4.1, la red de prueba está conectada en serie con el detector que simula ser la carga, de tal manera que en los polos el voltaje en el nodo (a) es máximo, y en los ceros, mínimo. El generador de barrido tiene una impedancia interna de  $50\Omega$ , al igual que el detector.

Las pérdidas de los elementos fueron medidas a 50 MHz en el medidor de Q Hewlett Packard Modelo 4342A. Para el análisis teórico se ha asumido que las pérdidas medidas a 50 MHz permanecen constantes en todo el rango de frecuencia. Naturalmente las pérdidas varían con la frecuencia pero la primera aproximación de considerarlas constantes permite realizar un cálculo teórico para efectos de contraste con los valores experimentales.

En la tabla 4.1 se presenta los Factores de Calidad y la resistencia en paralelo de los elementos utilizados en el laboratorio.

ELEMENTO	FACTOR DE CALIDAD	RESISTENCIA EN PARALELO (K $\Omega$ )
L1 = 0.268 Nano-henrios	410	34.62
L2 = 0.243 Nano-henrios	470	35.88
L3 = 0.098 Nano-henrios	254	7.80
L4 = 0.114 Nano-henrios	250	8.99
C1 = 27 Pico-faradios	268	29.284
C2 = 39 Pico-faradios	324	23.980

Tabla 4.1.- Características de los elementos utilizados en el laboratorio.

Las tablas 4.2 a 4.4 indican el formato de ingreso de los valores de los elementos de tres redes implementadas en el laboratorio con el propósito de medir la respuesta de frecuencia.

No	ELEMENTO	RAMA	NODO DESDE	NODO HASTA	VALOR	PREFIJO	ANGULO (GRADOS)
1	1.00	1.00	0.00	0.00	1	0	0
2	3	1	0	1	50	0	
3	5	2	1	2	27	-12	
4	3	3	1	2	23.980	3	
5	4	4	2	3	0.0978	-6	
6	3	5	2	3	7.804	3	
7	5	6	2	3	27	-12	
8	3	7	2	3	23.980	3	
9	3	8	3	0	50	0	

Tabla 4.2.- Ingreso de datos de la topología del circuito de prueba No 1.

No	ELEMENTO	RAMA	NODO DESDE	NODO HASTA	VALOR	PREFIJO	ANGULO (GRADOS)
1	1.00	1.00	0.00	0.00	1	0	0
2	3	1	0	1	50	0	
3	5	2	1	2	27	-12	
4	3	3	1	2	29.284	3	
5	4	4	2	3	0.268	-6	
6	3	5	2	3	34.617	3	
7	4	6	3	4	-0.243	-6	
8	3	7	3	4	35.877	3	
9	5	8	3	4	27	-12	
10	3	9	3	4	29.284	3	
11	3	10	4	0	50	0	
12							

Tabla 4.3.- Ingreso de datos de la topología del circuito de prueba No 2.



No	ELEMENTO	RAHA	NODO DESDE	NODO HASTA	VALOR	PREFIJO	ANGULO (GRADOS)
1	1.00	1.00	0.00	0.00	1	0	0
2	3	1	0	1	50	0	
3	5	2	1	2	27	-12	
4	3	3	1	2	29.284	3	
5	4	4	2	3	0.0978	-6	
6	3	5	2	3	7.804	3	
7	5	6	2	3	27	-12	
8	3	7	2	3	29.284	3	
9	4	8	3	4	0.268	-6	
10	3	9	3	4	34.617	3	
11	5	10	3	4	39	-12	
12	3	11	3	4	323.75	3	
13	3	12	4	0	50	0	

INGRESO DATOS:

1 -- FUENTE DE VOLTAJE (VOLTIOS)	No NODOS	4
2 -- FUENTE DE CORRIENTE (AMPERIOS)	No RAHAS	12
3 -- RESISTENCIA (OHMIOS)	TERMINAR [ALT][P]	
4 -- INDUCTANCIA (HENRIOS)		
5 -- CAPACITANCIA (FARADIOS)	PREFIJO: PICO -12 KILO 3	
6 -- CONDUCTANCIA (MHOS)	NANO -9 MEGA 6	
	MICRO -6 GIGA 9	
	MILI -3 TERA 12	

Tabla 4.4.- Ingreso de datos de la topología del circuito de prueba No 3.

#### 4.1 PRUEBA No 1

En la figura 4.2 se tiene una red Cauer C-Serie, formada por tres elementos, lo que significa que el número de singularidades internas es dos.

En la tabla 4.2 se tiene el ingreso de datos de la topología del circuito de prueba.

La respuesta de frecuencia teórica y experimental del voltaje detectado en el terminal (a) de la red se encuentra en la figura 4.3.

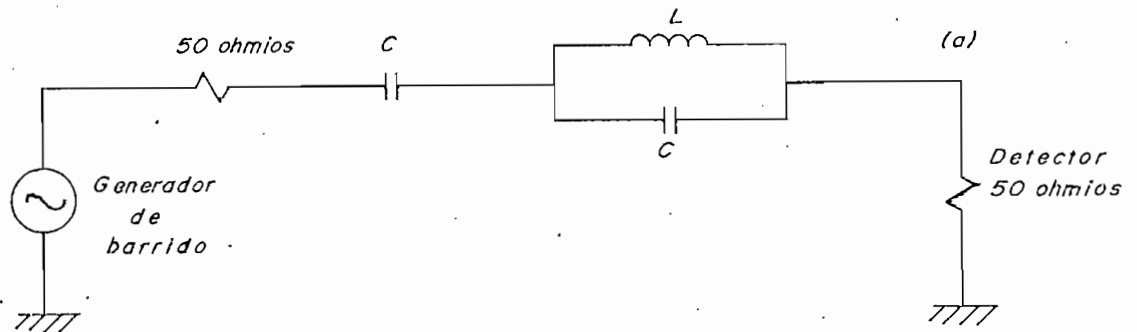


Figura 4.2.- Circuito de prueba No 1.

#### 4.2 PRUEBA No 2

En la figura 4.4 se tiene una red Foster Serie, formada por cuatro elementos, lo que significa que el número de singularidades internas es tres.

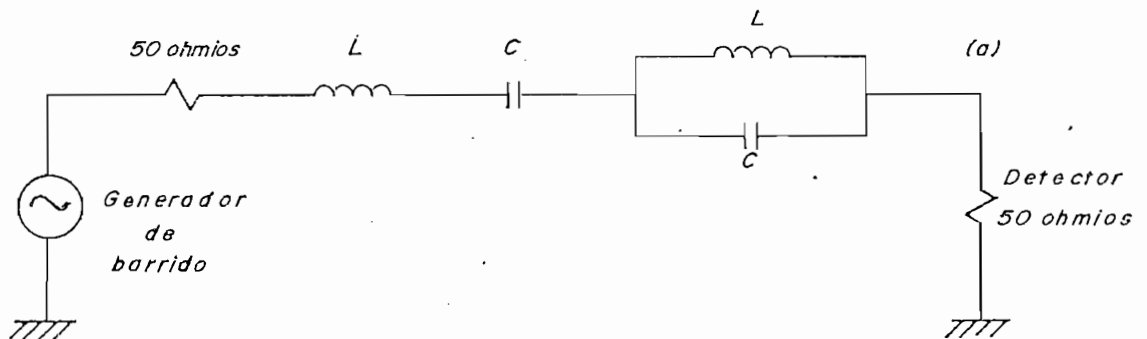


Figura 4.4.- Circuito de prueba No 2.

En la tabla 4.3 se tiene el ingreso de datos de la topología del circuito de prueba No 2.

La respuesta de frecuencia teórico-experimental del voltaje detectado en el terminal (a) de la red se encuentra en la figura 4.5.

#### 4.3 PRUEBA No 3

En la figura 4.6 se tiene una red Foster Serie, formada por cinco elementos, lo que significa que el número de singularidades internas es cuatro.

En la tabla 4.4 se tiene el ingreso de datos de la topología del circuito de prueba No 3.

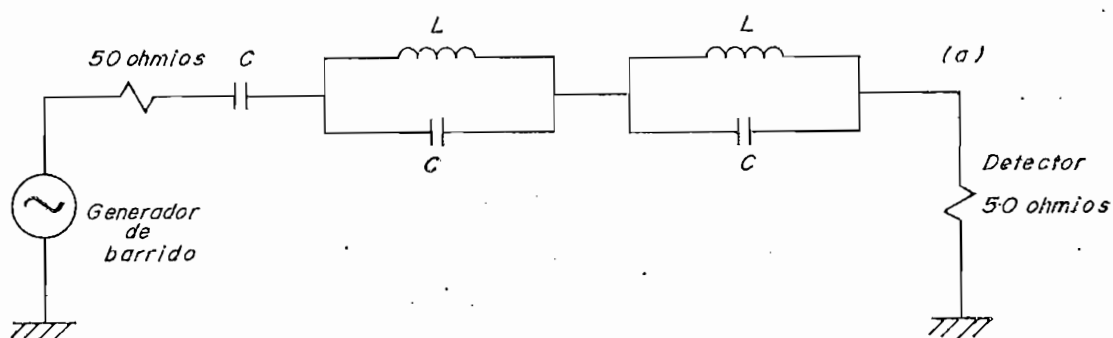


Figura 4.6.- Circuito de prueba No 3.

La respuesta de frecuencia teórica y experimental del voltaje detectado en el terminal (a) de la red, se encuentra en la figura 4.7.

En todos los experimentos se comprueba la estrecha relación con los valores calculados. Las diferencias más notables están sobre los 90 MHz, debido especialmente a que las pérdidas se hacen muy dependientes de la frecuencia.

## RESPUESTA DE FRECUENCIA

Voltaje en el nodo (a)

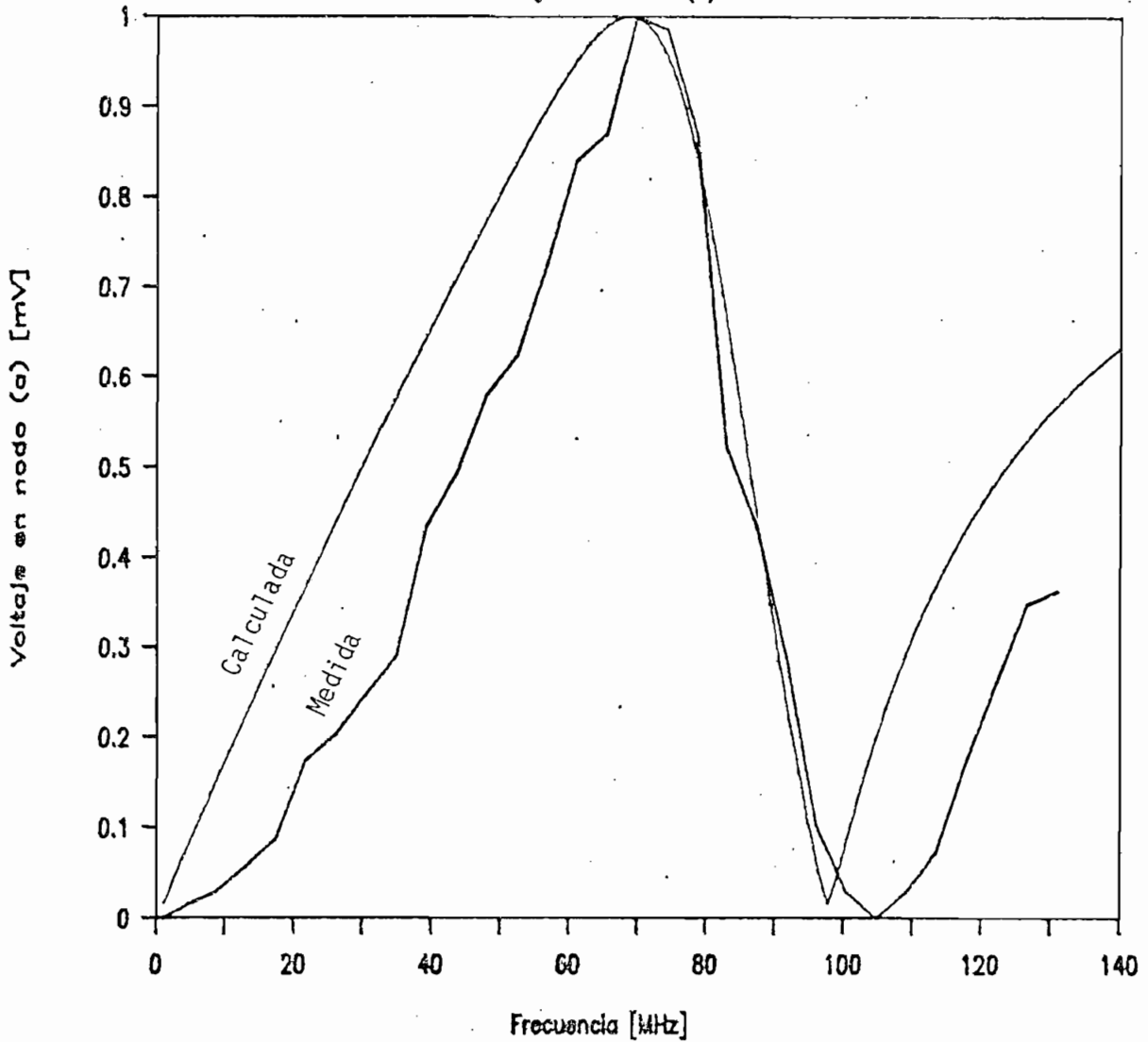


Figura 4.3.- Respuesta de frecuencia teórico-experimental del circuito de prueba No 1.

## RESPUESTA DE FRECUENCIA

Voltaje en el nodo (a)

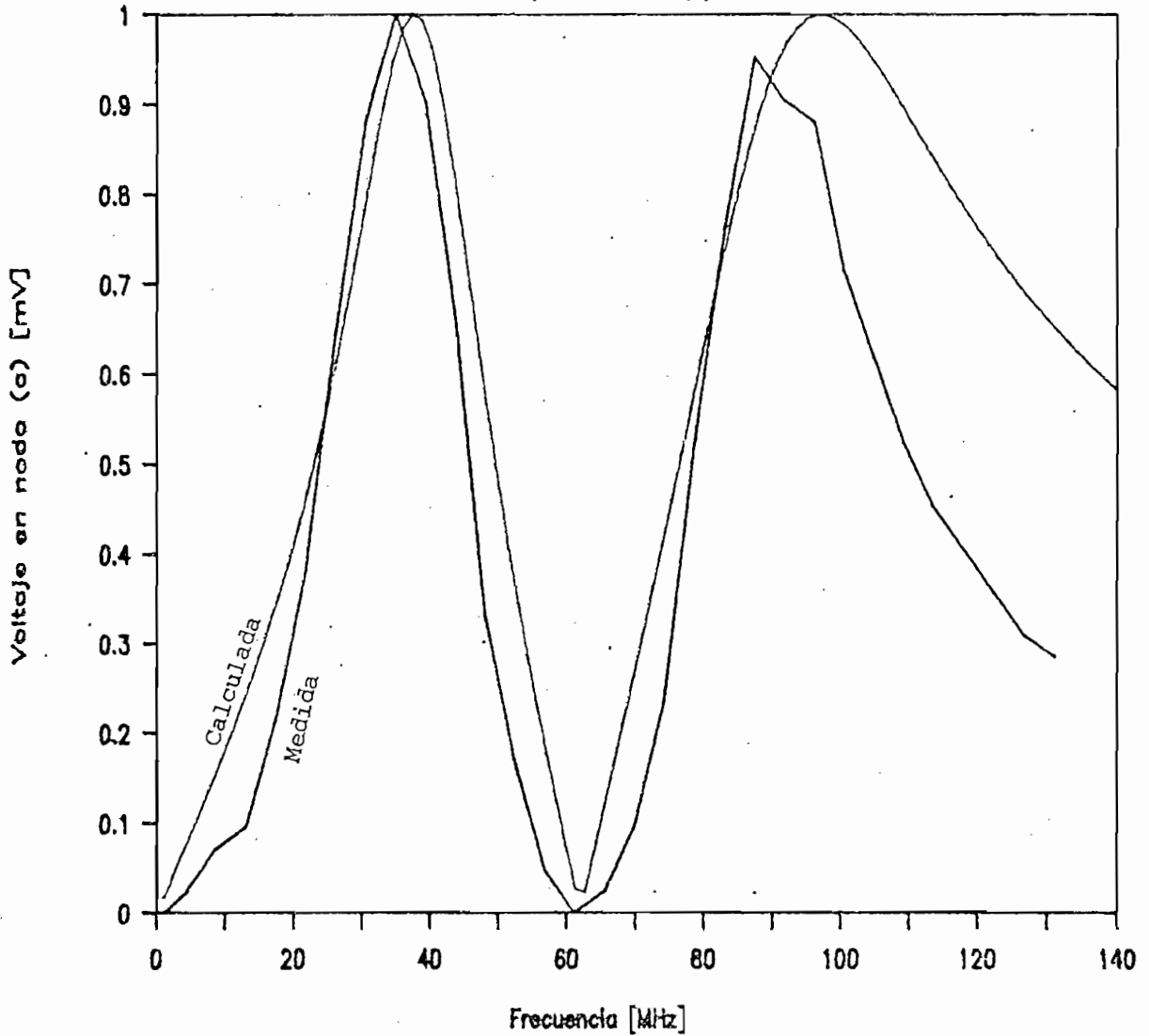


Figura 4.5.- Respuesta de frecuencia teórico-experimental del circuito de prueba No 2.

## RESPUESTA DE FRECUENCIA

Voltaje en el nodo (a)

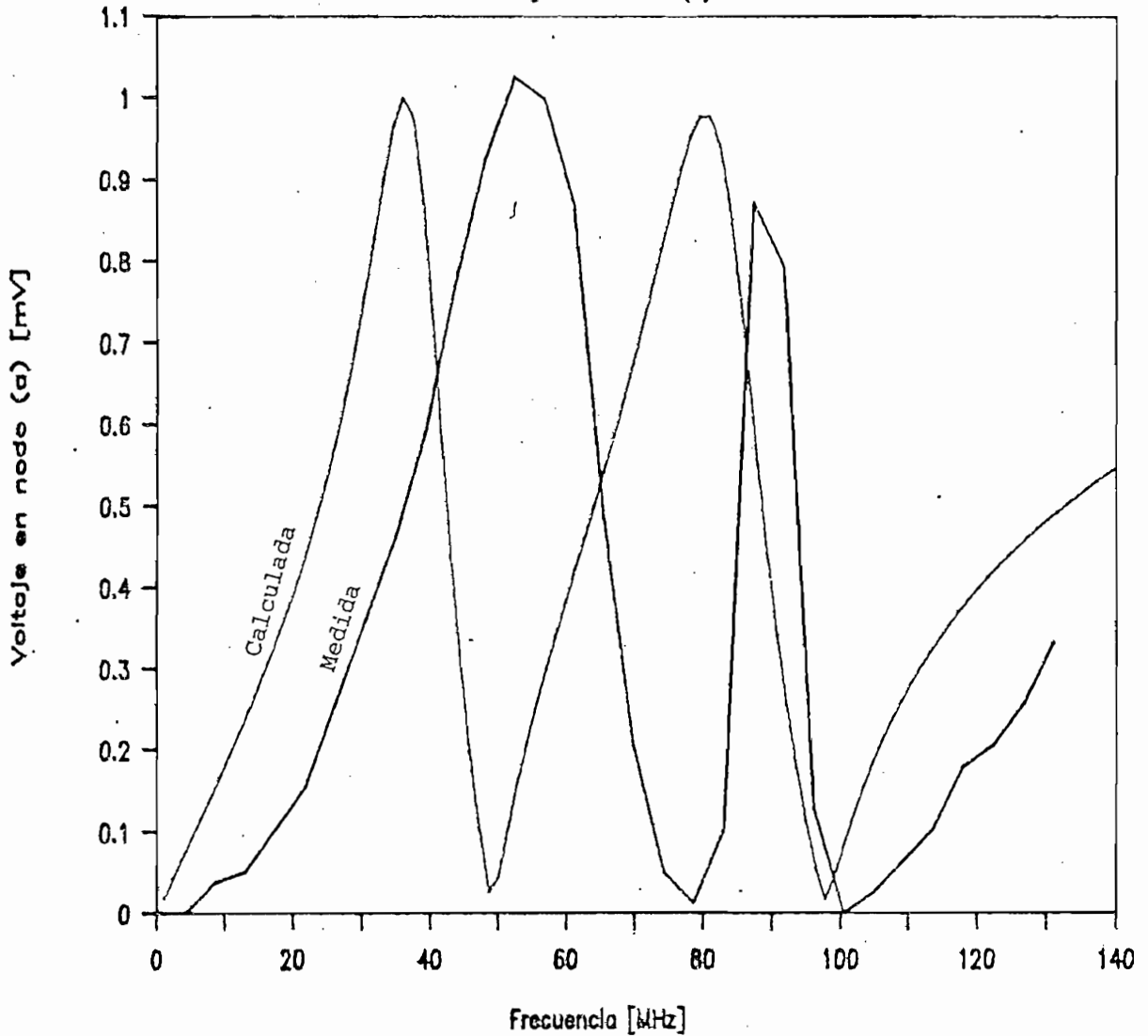


Figura 4.7.- Respuesta de frecuencia teórica y experimental del circuito de prueba No 3.

5. CAPITULO 5: CONCLUSIONES

El programa REDESHF se basa en trabajos anteriores escritos en FORTRAN IV, y contiene varios programas, desarrollados con el intérprete BASIC y la Hoja Electrónica 123. Estos programas cumplen la función de ejecutar algoritmos de síntesis de redes Foster y Cauer y, análisis de redes de variada topología en rangos de frecuencia comprendidos entre 1 MHz y 1000 MHz.

La síntesis de redes considera un ingreso máximo de 12 singularidades internas y la condición de impedancia a una frecuencia determinada. El ingreso puede ser manual o desde archivo.

Para el análisis de redes se tiene dos formas de ingreso de datos: ingreso de red Foster o Cauer e ingreso de red de topología variada e integrada por resistencias, condensadores, inductancias y fuentes independientes de corriente y de voltaje.

Para el análisis de una red Foster o Cauer se utiliza una fuente de excitación de  $1V_{RMS}$  con resistencia interna de  $50\Omega$ . El formato de ingreso de datos (tabla 3.1) permite incorporar las pérdidas de las bobinas y de los condensadores. Los parámetros de entrada para el cálculo de análisis son: frecuencias de trabajo; número de iteraciones; magnitudes de corriente, voltaje y potencia aparente con número de nodo o rama.

El ingreso de datos para una red cualquiera, se realiza en forma manual en el formato presentado en la tabla 3.2, también se debe ingresar frecuencias de trabajo,

número de iteraciones, parámetro a calcularse con su nodo correspondiente.

Se analiza la respuesta de frecuencia de voltaje, corriente y potencia, y se realizan cálculos de sensibilidad y tolerancia. En el cálculo de sensibilidad se considera una variación del 1 % en los condensadores, inductores y resistencias del circuito; se calcula también las variaciones de voltaje debido a sensibilidad. En el cálculo de tolerancia se determina las variaciones de voltaje debido a la variación porcentual de un elemento cualquiera (condensador, inductancia, resistencia) de la red.

Los resultados de análisis de voltaje, corriente y potencia permiten graficar la respuesta de frecuencia. Cuando la relación entre la frecuencia mínima y máxima es mayor a 10, el incremento para el cálculo se realiza en forma logarítmica.

Los resultados de sensibilidad facilitan determinar cuál es el elemento más sensible de la red así como las variaciones de voltaje que se producen debido a la sensibilidad.

Los resultados de tolerancia determinan las variaciones de voltajes de nodo debido a la variación porcentual del elemento.

La utilización de la Hoja Electrónica 123 ha reducido considerablemente el tiempo de programación de formatos de ingreso de datos y presentación de resultados con la facilidad de permitir la generación de gráficos.



## 6. ANEXO 1: MANUAL DE UTILIZACION DEL PROGRAMA

### 6.1 INTRODUCCION

REDESHF, es un programa autoejecutable (.BAT) que realiza síntesis y análisis de redes en el rango de frecuencias comprendido entre 1 y 1000 MHz. Los subprogramas que realizan cálculos para síntesis de redes Foster y Cauer y análisis de respuesta de frecuencia, sensibilidad y tolerancia, se han desarrollado en el intérprete BASIC ver. 3.0. Para el ingreso de datos y la presentación de resultados se ha estructurado macros en la hoja de cálculo electrónico 123 de LOTUS ver. 2.0.

### 6.2 FUNCIONES DEL PROGRAMA

#### 6.2.1 Síntesis de redes

El programa REDESHF realiza síntesis de redes L-C para las configuraciones Foster Serie, Foster Paralelo, Cauer C-serie y Cauer L-serie.

Los datos de entrada que necesita el programa son: polos, ceros y condición de impedancia a determinada frecuencia. El máximo número de polos o ceros que acepta el programa es 6, lo que significa un total de 12 singularidades internas.

### 6.2.2 Análisis de redes

El análisis de redes, en este programa, se restringe a la evaluación de la respuesta de frecuencia de voltajes de nodo, voltajes de rama, corrientes de rama y potencia compleja en cada elemento.

REDESHF ejecuta el análisis para redes con elementos capacitivos, inductivos, resistivos y fuentes de voltaje y/o corriente no controladas. Para el análisis de estas redes la información de la clase de elemento, rama a la que pertenece y nodos a los que se encuentra conectado se ingresa desde teclado.

REDESHF también ejecuta el análisis de redes Foster o Cauer resultantes del programa de síntesis. Para el efecto, el programa utiliza una fuente de voltaje de 1 Voltio (rms) con resistencia interna de  $50\ \Omega$ , codificando internamente la topología de las redes que resultan del proceso de síntesis.

El análisis de sensibilidad es monoparamétrico, y considera una variación del 1% para todos los elementos. El valor de sensibilidad permite obtener los cambios de voltaje en cada nodo debido a la variación del 1% (definición) de un parámetro en particular.

El análisis de tolerancia consiste en el cálculo de la variación de los voltajes de nodo, debido a la variación porcentual del valor de un elemento de la red. El análisis de sensibilidad es igual al análisis de tolerancia cuando se considera una variación del 1% en el valor del elemento.

El análisis de sensibilidad y tolerancia se realiza para una sola frecuencia.

### 6.3 FORMATO PARA DATOS DE ENTRADA

#### 6.3.1 Datos de entrada para síntesis

Los datos de entrada para síntesis utilizan la hoja de cálculo 123 de LOTUS. Las celdillas utilizan formato general en un campo que tiene un ancho de 8 caracteres. Las frecuencias ingresan en MHz y la condición de impedancia en Ohmios.

El ingreso de datos puede ser manual o desde un archivo. Los datos ingresados tienen el formato indicado en la tabla 6.1.

#### SINTESIS DE REDES FOSTER Y CAUER

---

INGRESO DE DATOS: Todas las frecuencias en [MHz]  
La condición de impedancia se expresa en ohmios

Cond. de imp.	Frec.	cond. de imp.
polo1		cero1
polo2		cero2
polo3		cero3
polo4		cero4
polo5		cero5
polo6		cero6

Tabla 6.1.- Formato de ingreso de datos para síntesis de redes Foster y Cauer.

### 6.3.2 Datos de entrada para análisis

Los datos de entrada para análisis utiliza formato general y un campo de 8 dígitos, el ingreso de datos esta definido por el tipo de red a ser analizada.

#### 6.3.2.1 Datos de entrada para análisis de redes Foster y Cauer resultantes del proceso de síntesis

Una vez especificada la red Foster o Cauer que va ha ser analizada, el programa lee desde un archivo generado por el programa de síntesis los valores de inductores (en nano-henrios) y capacitores en (pico-faradios). Posteriormente, los presenta en un formato que permite ingresar pérdidas paralelo en ohmios para cada elemento.

A continuación se ingresa el rango de frecuencia para el análisis, el mismo que debe enmarcarse dentro de los límites establecidos (1MHz a 1000MHz), y el número de frecuencias de análisis (máximo 1000), equidistantes en el rango. Finalmente se escoge una de las opciones de análisis: Voltaje de nodo, Voltaje de rama, corriente de rama, o potencia de rama. Para cada una de estas opciones es necesario ingresar el nodo o la rama que va a ser analizada.

El formato de presentación para ingreso de pérdidas óhmicas en los elementos de la red Foster o Cauer seleccionada es el siguiente:

## ANALISIS DE REDES FOSTER Y CAUER

ELEMENTO	VALOR	PERDIDAS
L0		L:Induc.[NanoHenrios]
C0		C:Capac.[PicoFarad.]
L1		Perdidas[Ohmios]
C1		Frecuencia [MHz]
L2		Terminado ingreso de
C2		Perdidas [ALT] [P]
L3		
C3		FMIN
L4		FMAX
C4		RANGO
L5		NODO/RAMA
C5		OPCION
L6		FSENS
C6		
L7		[ALT][R]
C7		

Tabla 6.2.- Formato de ingreso de pérdidas óhmicas en paralelo con los elementos de una red Foster o Cauer resultado del proceso de síntesis.

#### 6.3.2.2 Datos de entrada para análisis de cualquier red con elementos R, L y C

Para una red cualquiera es necesario el ingreso la topología de la red (tipo de elementos, rama en la que se encuentran, nodos a los cuales se conectan, fuentes,...) en forma manual. El proceso de análisis es el mismo que se utiliza en el numeral anterior aunque el formato de ingreso de datos es diferente (tabla 6.3)

## INGRESO DE ELEMENTOS PARA ANALISIS DE CUALQUIER RED

No	ELEMENTO RAMA	NODO DESDE	NODO HASTA	VALOR	PREFIJO	ANGULO (GRADOS)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

INGRESO DATOS:

1	-- FUENTE DE VOLTAJE (VOLTIOS)	No NODOS
2	-- FUENTE DE CORRIENTE (AMPERIOS)	No RAMAS
3	-- RESISTENCIA (OHMIOS)	TERMINAR [ALT][P]
4	-- INDUCTANCIA (HENRIOS)	
5	-- CAPACITANCIA (FARADIOS)	FACTOR: PICO -12 KILO 3
6	-- CONDUCTANCIA (MHOS)	NANO -9 MEGA 6
		MICRO-6 GIGA 9
		MILI -3 TERA 12

OPCIONES DE ANALISIS:

1	VOLTAJE DE NODO	FMIN
2	VOLTAJE DE RAMA	FMAX
3	CORRIENTE DE RAMA	RANGO
4	POTENCIA DE RAMA	NODO/RAMA
		OPCION

Tabla 6.3.- Formato de ingreso de datos de la topología de una red con elementos resistivos, inductivos, capacitivos y fuentes independientes de voltaje y/o corriente.

### 6.3.2.3 Datos de entrada para sensibilidad

Para análisis de sensibilidad es necesario ingresar desde teclado el valor de frecuencia a la que se realiza el análisis. En el monitor se lee el siguiente mensaje:

Ingrese frecuencia para Sensitividad -

### 6.3.2.4 Datos de entrada para tolerancia

Para análisis de tolerancia es necesario ingresar el número del elemento, el % de variación, y la frecuencia de trabajo.

El formato de mensajes que se utiliza es el siguiente :

Ingrese frecuencia para Tolerancia -

Número de elemento para tolerancia -

% de variación -

## 6.4 PRESENTACION DE RESULTADOS

### 6.4.1 Resultados de síntesis

La presentación de los resultados de síntesis se ilustra en la tabla 6.4.

A partir de la notación utilizada para tabulación de resultados, se deduce la topología de la red.

## RESULTADOS DE SINTESIS

ELEMENTO	F-S	F-P	C-C	C-L
L0				
C0				
L1				
C1				
L2				
C2				
L3				
C3				
L4				
C4				
L5				
C5				
L6				
C6				
L7				
C7				

## NOMENCLATURA

F-S	RED FOSTER SERIE	L	Inductancias en [nano henrios]
F-P	RED FOSTER PARALELO		
C-C	RED CAUER C-SERIE		
C-L	RED CAUER L-SERIE	C	Capacitores en [picofaradios]

Tabla 6.4.- Formato de presentación de resultados de síntesis Foster y Cauer.

Para las redes Foster C0 y L0 representan los elementos que permiten cumplir las condiciones de las singularidades externas y los elementos L1 y C1, C2 y L2, ... etc., forman la red serie o paralelo L-C dependiendo si los resultados corresponden a una red foster serie o paralelo.

Para las redes Cauer L0, C0, L1, C1, ... etc. indican el



orden en que van conectándose los elementos de la red, de acuerdo al tipo Cauer C-serie o Cauer L-serie.

Si se tiene dos ceros a las frecuencias de 11 MHz y 21 MHz, y dos polos a las frecuencias de 15 y 27 MHz; con una impedancia de  $-50 \Omega$  a la frecuencia de 7 MHz. Los datos y resultados son los presentados en las tablas 6.5 y 6.6.

#### SINTESIS DE REDES FOSTER Y CAUER

---

INGRESO DE DATOS:      Todas las frecuencias en [MHz]  
                             La condicion de impedancia se expresa en ohmios

Cond. de imp.	-50	7	Frec. cond. de imp
polo1			cero1
polo2			cero2
polo3			cero3
polo4			cero4
polo5	15	11	cero5
polo6	27	21	cero6

Tabla 6.5.-      Formato de ingreso de datos.      La función impedancia de entrada presenta dos ceros a 11 MHz y 21 MHz y dos polos a 15 MHz y 27 MHz, con  $-50$  ohmios a 7 MHz.

## RESULTADOS DE SINTESIS

ELEMENTO	F-S	F-P	C-C	C-L
L0				
C0	329.6363	107.2380	329.6363	107.2380
L1	207.9613	1195.375	362.3807	602.5666
C1	541.3461	175.1260	219.1418	150.2976
L2	154.4193	1215.052	85.12558	1841.450
C2	225.0147	47.27230	578.6554	72.10066
L3				
C3				
L4				
C4				
L5				
C5				
L6				
C6				
L7				
C7				

NOMENCLATURA

---

F-S	RED FOSTER SERIE	L	Inductancias en [nano-
F-P	RED FOSTER PARALELO		henrios]
C-C	RED CAUER C-SERIE		
C-L	RED CAUER L-SERIE	C	Capacitores en [pico - faradios]

Tabla 6.6.- Formato de presentación de resultados de síntesis para el problema ingresado en la tabla 6.5.

La configuración de las redes a partir de los resultados se encuentra en las figs. 6.1 a 6.4.

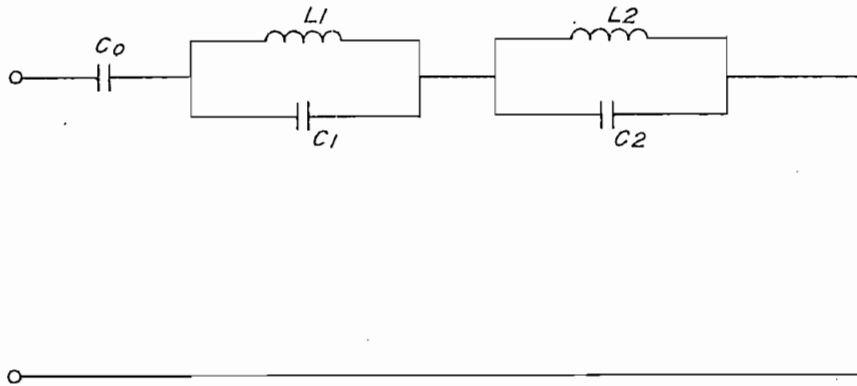


Figura 6.1.- Red Foster Serie

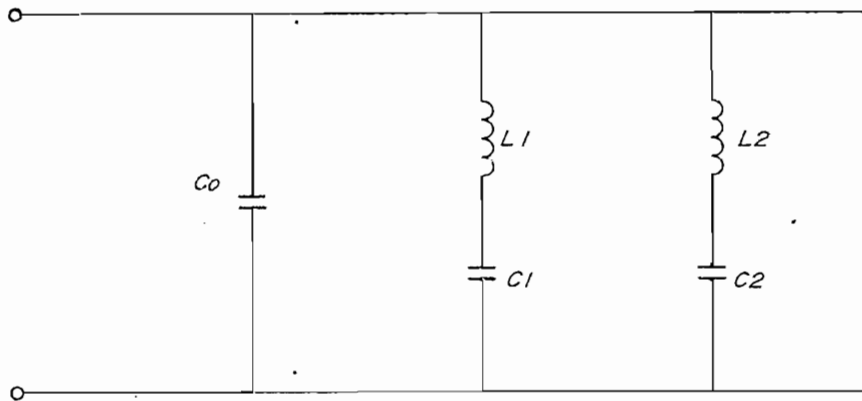


Figura 6.2.- Red Foster Paralelo

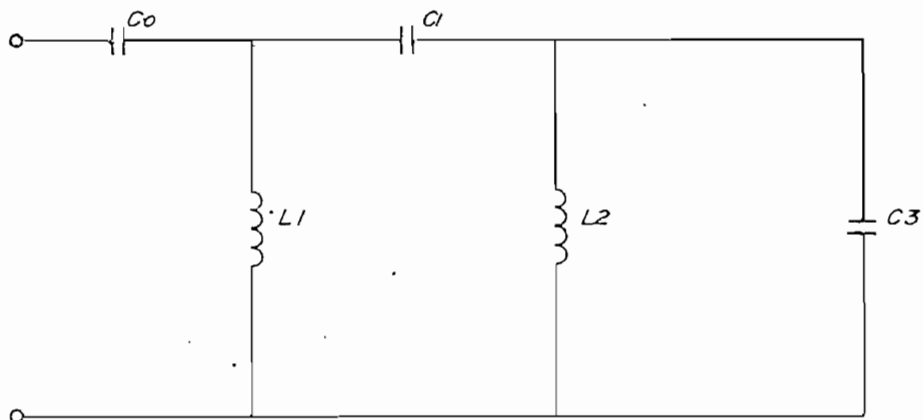


Figura 6.3.- Red Cauer C-Serie

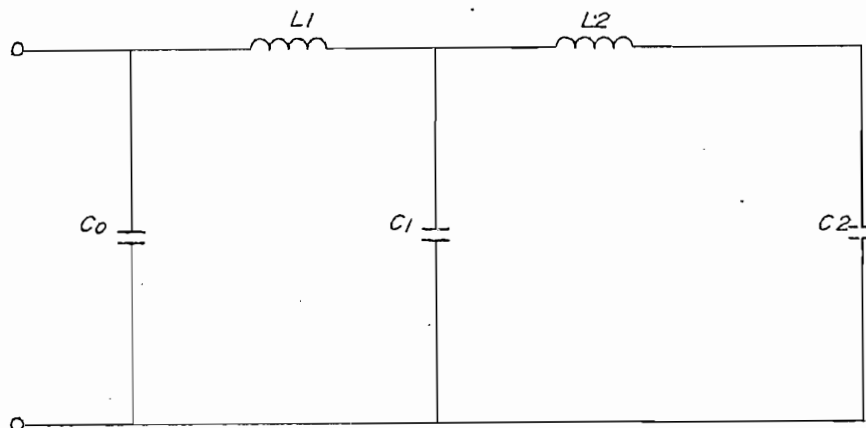


Figura 6.4.- Red Cauer L-Serie

#### 6.4.2 Resultados de análisis de redes

##### 6.4.2.1 Resultados de respuesta de frecuencia

La presentación de resultados es similar para todos los parámetros (voltaje, corriente, ....). En este numeral se presenta los resultados de análisis del voltaje en el nodo (a) (fig. 6.5), con la respuesta evaluada en 10 valores de frecuencia equidistantes en el rango considerado. Este número de puntos no es suficiente para realizar un gráfico de respuesta de frecuencia, pero no es procedente ilustrar la tabulación de resultados para más puntos. El circuito corresponde a la red Cauer L-Serie de la fig. 6.4.

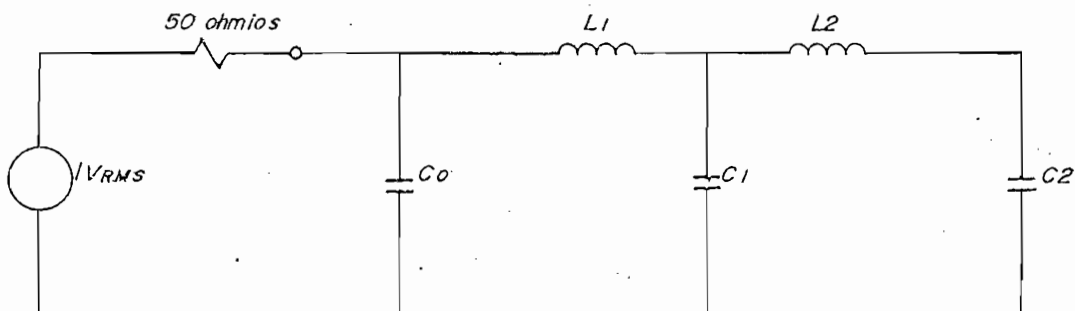


Figura 6.5.- Circuito con red Cauer L-Serie.

## RESULTADOS DE ANALISIS

## VOLTAJE EN EL NODO (a)

FRECUENCIA	REAL	IMAGINARIA	MAGNITUD	MAGNITUD(Db)	FASE
5.00	733.19	-427.98	848.96	58.58	-30.27
7.7778	392.56411	-474.49	615.83	55.79	-50.40
10.5556	34.1259	-119.90	124.66	41.91	-74.11
13.3333	613.1349	456.25	764.26	57.66	36.65
16.1111	873.37953	-298.36	922.94	59.30	-18.86
18.8889	297.0154	-433.82	525.75	54.42	-55.60
21.6667	70.54541	192.55	205.06	46.24	69.88
24.4444	760.11889	397.12	857.61	58.67	27.58
27.2222	984.24221	-29.87	984.70	59.87	-1.74
30	896.05974	-289.33	941.61	59.48	-17.89

Tabla 6.7.- Resultados de respuesta de frecuencia del voltaje en el nodo (a) del circuito de la fig. 6.5.

Las unidades de las magnitudes calculadas en la respuesta de frecuencia de la tabla 6.7 son las siguientes:

- [MHz] para frecuencia.
- Voltajes en milivoltios.
- Corrientes en miliamperios.

- d. Potencia aparente en mili-volt-amperios. La parte real de la potencia aparente (potencia activa) se mide en milivatios, y la parte imaginaria (potencia reactiva), se mide en milivars.

#### 6.4.2.2 Resultados de potencia para redes Foster y Cauer

Los resultados de análisis de potencia para las redes Foster y Cauer se presentan de la siguiente forma (referirse al ejemplo del numeral 6.3.2.1):

#### ANALISIS DE POTENCIA PARA REDES LC

Potencia de perdidas [mili-Vatios] -- Pp  
 Potencia reactiva [mili-Var] -- Pq  
 Frecuencia [MHz] -- F

F( MHz )	Pp( mW )	Pq( mW )
5.00	60.70	2428.12
7.78	31.94	1987.51
10.56	1.31	110.52
13.3333	49.1954	5247.5026
16.1111	71.7436	9246.933
18.8889	23.2809	3517.991
21.6667	3.5417	613.8995
24.4444	61.9463	12113.915
27.2222	81.6664	17785.079
30	74.6764	17922.293

Tabla 6.8.- Formato de presentación de potencia (almacenada y perdida) en circuitos con redes resultantes del programa de síntesis.

## 6.4.2.3 Resultados de sensibilidad

Los resultados de sensibilidad se expresan en función de los incrementos de voltaje de nodo debido a la variación del 1% del valor de cada elemento.

FRECUENCIA (MHz)		10	
Voltaje en Nodos (mV)		Sensibilidad (mV)	
Magnitud(mV)	Fase(Grados)	Magnitud(mV)	Fase(Grados)
NODO	1	1 .-	CAPACITOR = 107.238
257.0482039	-71.1842499		Pico-faradio
		0.222601301	-52.368408306
NODO	2	0.787623947	-55.496492104
909.5064535	-74.3122401	1.654982033	-56.369469615
NODO	3	2 .-	INDUCTOR = 602.5666
1911.0855588	-75.1852179		Nano-henrios
		5.631195629	-61.086100861
		6.29068702	48.614164675
		13.218202804	47.741188796
		3 .-	CAPACITOR = 150.2976
			Pico-faradio
		3.905831127	-58.624482285
		4.161320459	-13.060817657
		8.743906626	-13.933798009
		4 .-	INDUCTOR = 1841.45
			Nano-henrios
		4.336859604	-61.955563497
		4.620543319	-16.391902901
		18.190694143	75.644495867
		5 .-	CAPACITOR = 72.10066
			Pico-faradio
		8.272739724	-60.37043836
		8.81387834	-14.80677583
		20.039325048	50.350692249

Tabla 6.9.- Resultados de sensibilidad para el circuito de la fig. 6.5.

Para el ejemplo de la figura 6.5 los resultados de sensibilidad se encuentran en la tabla 6.9.

La tabulación de las variaciones de voltaje es opcional. Para el circuito de la fig. 6.5 las variaciones de voltaje calculadas en el programa de sensibilidad se encuentran en la tabla 6.10.

VARIACIONES DE VOLTAJE (mV)

Magnitud (Mili-voltios)	Angulo (Grados)
1.00 .- CAPACITOR =	107.24
	Pico-faradios
0.21	0.02
0.75	0.02
1.57	0.02
2.00 .- INDUCTOR =	602.57
	Nano-henrios
5.54	0.22
-3.42	0.33
-7.18	0.33
3.00 .- CAPACITOR =	150.30
	Pico-faradios
3.81	0.19
2.00	0.23
4.21	0.23
4.00 .- INDUCTOR =	1841.45
	Nano-henrios
4.28	0.15
2.45	0.25
-15.88	0.27
5.00 .- CAPACITOR =	72.10
	Pico-faradios
8.13	0.34
4.47	0.48
-11.65	0.49

Tabla 6.10.- Resultados de variaciones de voltaje para el circuito de la fig. 6.5



## 6.4.2.4 Resultados de tolerancia

Los resultados de tolerancia para el circuito de la fig. 6.5, considerando un incremento del 5% en el valor del capacitor C0, se presentan en la tabla 6.11.

FRECUCENCIA (MHz)		TOLERANCIA			
No. ELEMENTO		10.00			
VARIACION ( % )		1.00			
VOLTAJES DE NODO [mV]		5.00		TOLERANCIA [%]	
MAGNITUD	FASE	No NODO	MAG	FASE	
NODO	1	INDUCTOR =		28.29	
195.73	-78.13			Micro-henrios	
NODO	2	1	1.67	0.09	
230.52	-78.24	2	-0.08	0.10	
NODO	3	3	-0.09	0.10	
278.37	-78.35				

Tabla 6.11.- Resultados de variación de voltaje para una tolerancia del 5% en el condensador C0 del circuito de la fig. 6.5.

#### 6.4.2.5 Gráficos e impresión de resultados de análisis

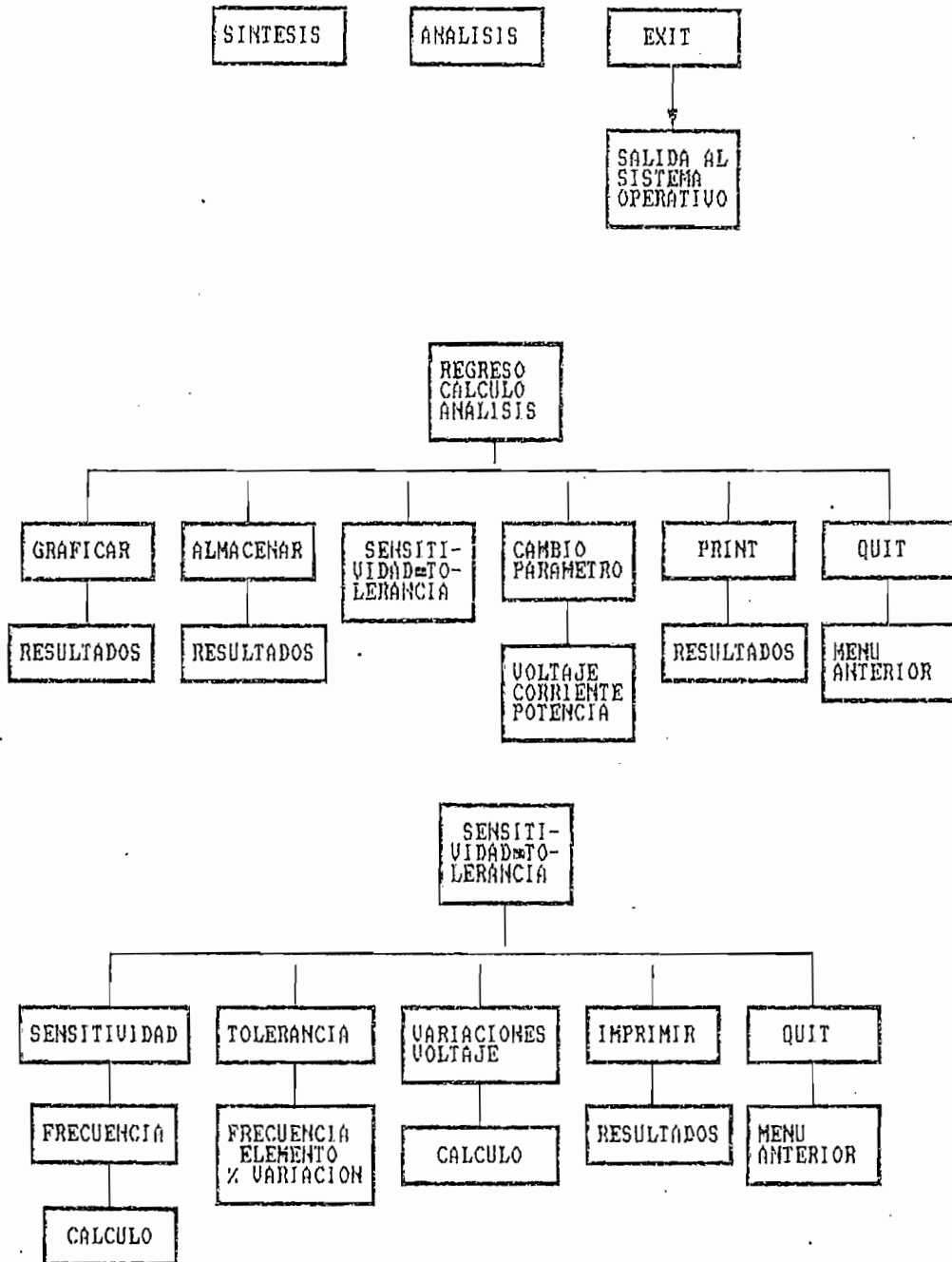
Para realizar un gráfico de la respuesta de frecuencia de cualquiera de las magnitudes analizadas se debe utilizar los comandos de gráficos de la hoja electrónica 123.

De igual manera para imprimir resultados de análisis, de sensibilidad y variaciones de voltaje se debe utilizar los comandos de copia e impresión de la hoja electrónica 123. Los comandos de copia sirven para generar las fórmulas de magnitud y fase en el rango de frecuencia analizado. Se ha considerado prudente no almacenar las fórmulas en todo el rango por la cantidad de memoria que esta operación representa.

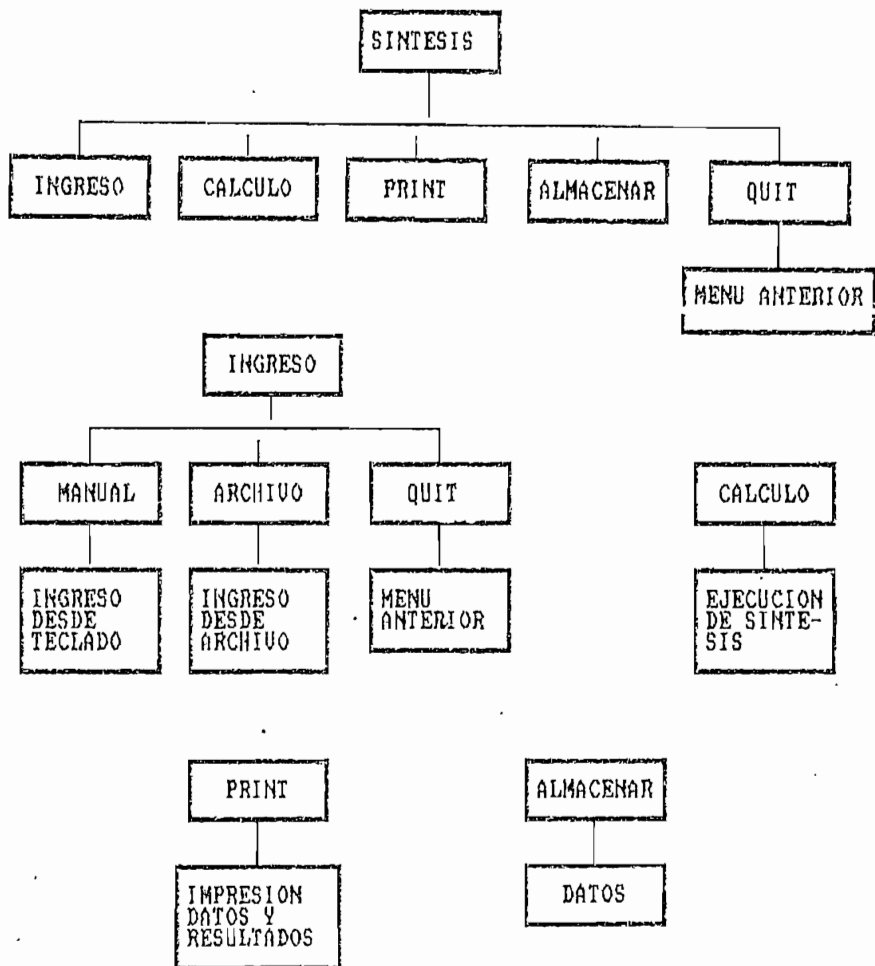
En el caso de síntesis y de tolerancia la impresión se realiza directamente desde el menú.

#### 6.5 MENUS DEL PROGRAMA REDESHE

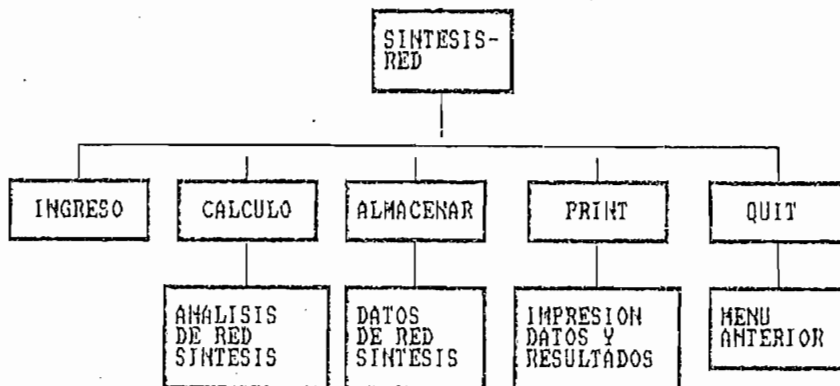
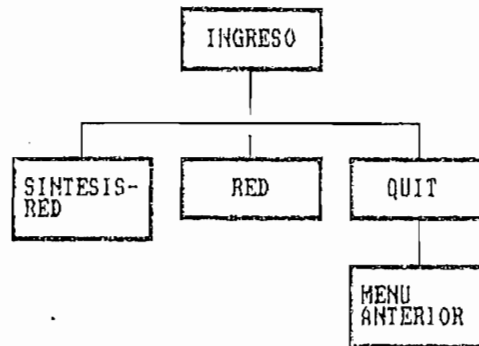
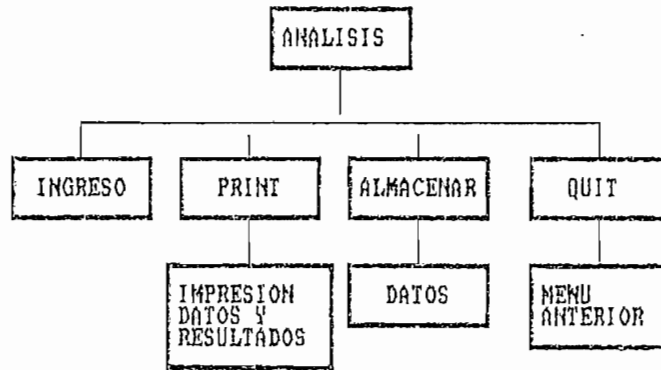
6:5.1 Menú raiz



6.5.2 Menú para síntesis de redes Foster y Cauet

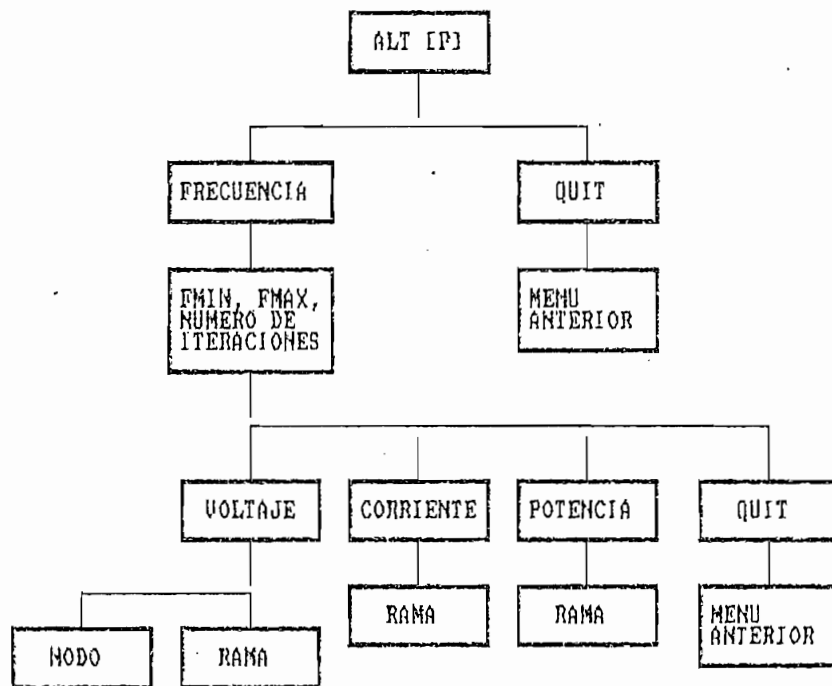
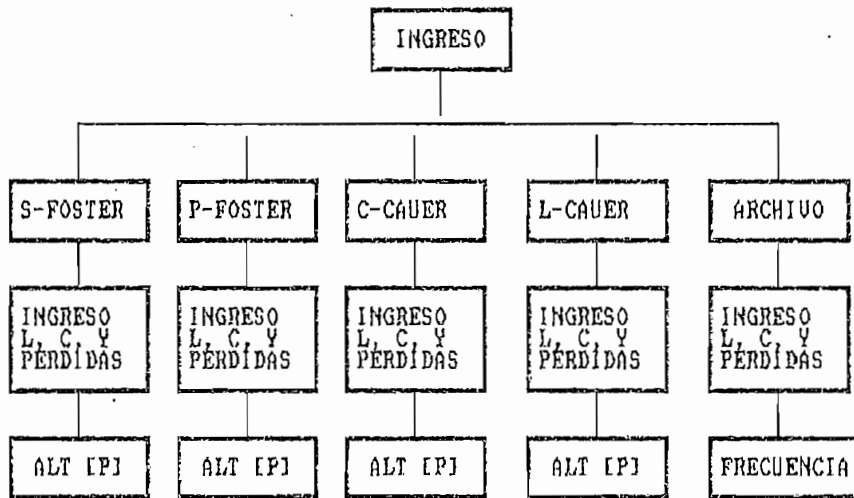


6.5.3 Menú para análisis de redes



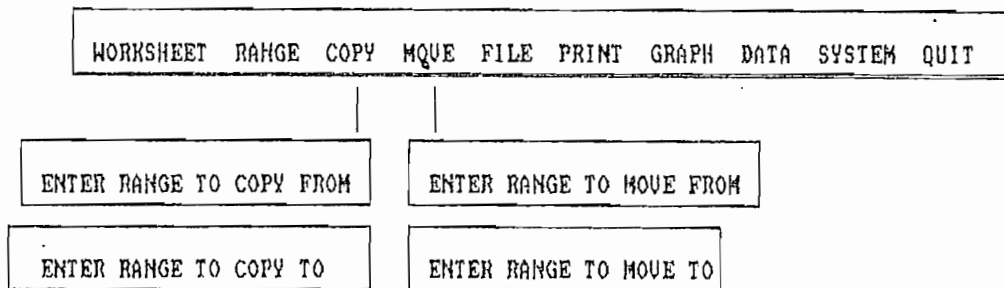
ANEXO 1

6.5.3 Menú para análisis de redes

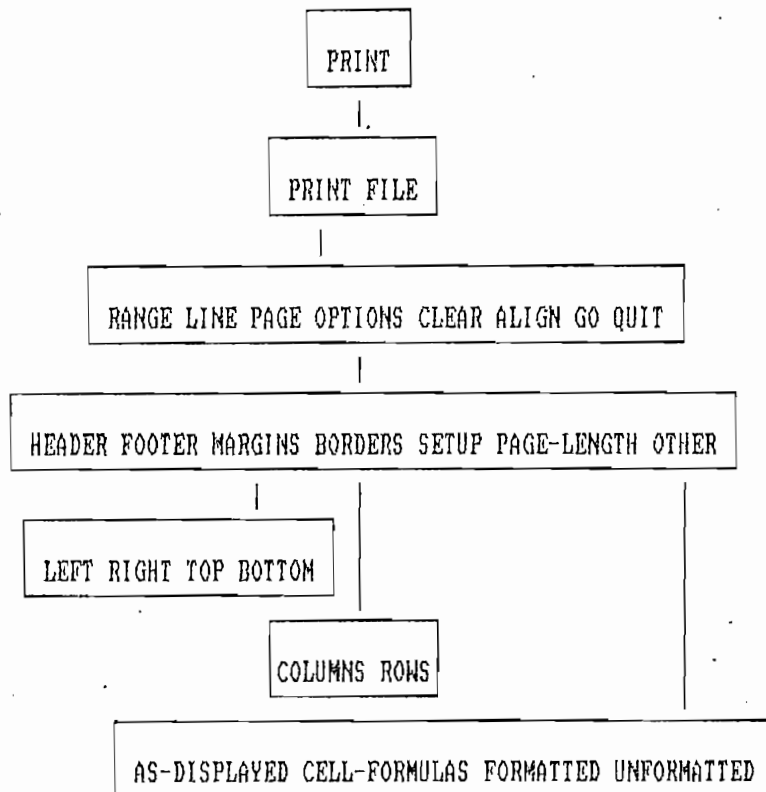


6.6 ALGUNOS MENUS DE UTILIDAD DEL PROGRAMA 123

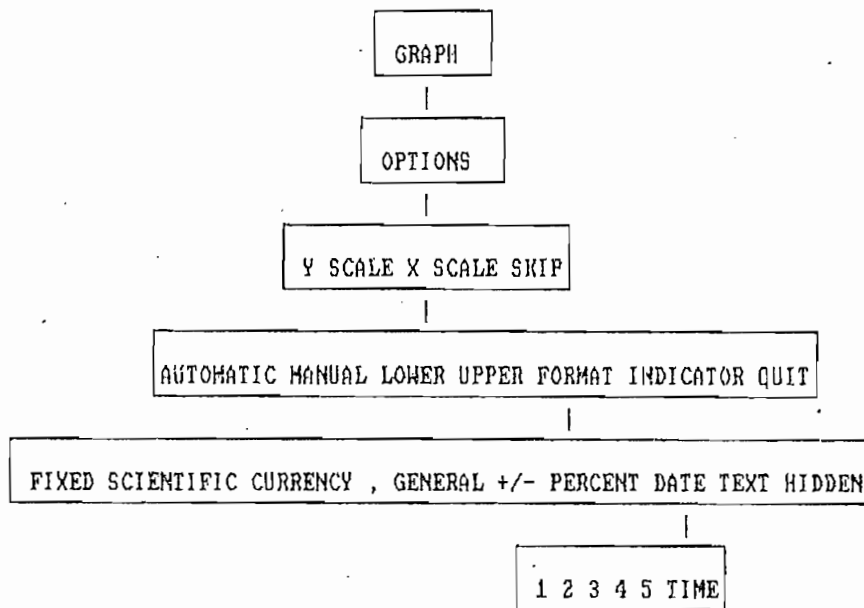
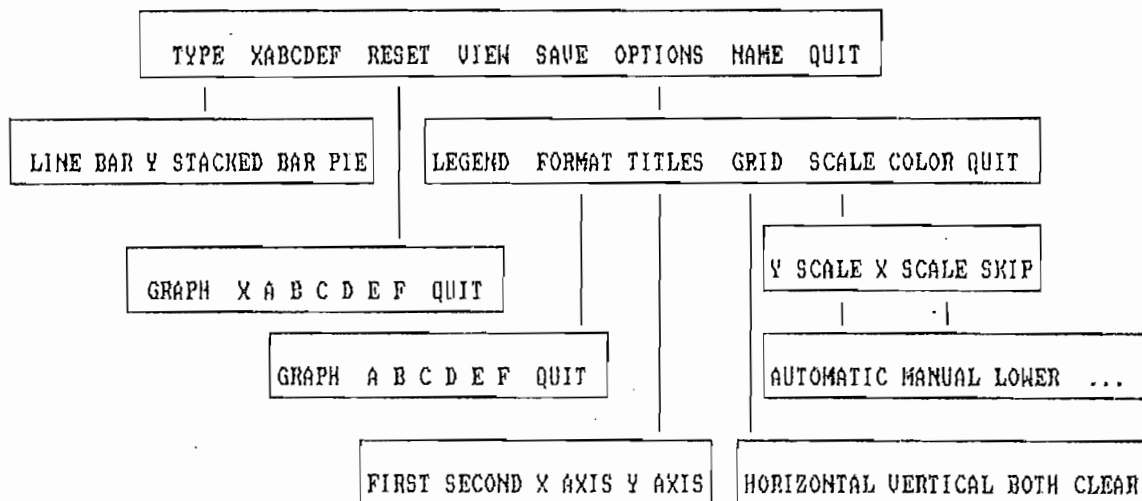
6.6.1 Menú para copia de rangos



6.6.2 Menú para impresión



6.6.3 Menú para gráficos





## 6.7 INSTALACION DEL PROGRAMA REDESHF

### 6.7.1 Requerimientos que debe cumplir el computador

Para la ejecución del programa REDESHF se debe disponer del siguiente equipo:

- a. Computador personal IBM compatible con 512KB de memoria RAM, monitor (monocromático o de color) con capacidad de gráficos opcional, 1 disco duro, una unidad para diskettes de 5 1/4".
- b. Impresora.

El software requerido comprende los siguientes programas:

- a. Intérprete BASIC ver. 3.0.
- b. LOTUS 123 ver. 2.0.

El funcionamiento del programa REDESHF con el software adicional mencionado ha sido probado con el sistema operativo MS-DOS ver. 3.1.

### 6.7.2 Secuencia para ejecución del programa REDESHF

- a. Encender el computador. El momento del encendido se realiza un chequeo del hardware luego del cual se carga el sistema operativo residente en el disco duro. Finalmente, el computador queda bajo el control del DOS y entra a un estado latente pasivo

en espera de comandos; en este instante el monitor indica la unidad de trabajo, por ejemplo:

C >

- b. Colocar el disco de trabajo en la unidad A.
- c. Cambiar la unidad de default a aquella en la que se encuentra el diskette con el programa REDESHF. Para hacerlo debe ingresar el comando:

A: [RETURN]

con [RETURN] se representa el presionar la tecla ENTER

El monitor indicará:

A >

- d. Ejecutar el programa REDESHF.BAT, para lo cual se usa el comando:

REDESHF [RETURN]

- e. Escoger la opción de interés de acuerdo al menú disponible.

## 6.8 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA REDESHF

REDESHF es un conjunto de programas que realiza la síntesis de redes Cauver y Foster y, el análisis de redes constituidas por resistencias, capacitores, inductores, fuentes de voltaje y de corriente no controladas.

Los programas que conforman REDESHF son:

- REDESHF
- AUTO123
- CARGA
- CARGAL
- ANALISIS
- SINTESIS
- SENSIT1
- TOLERAN
- DATSINT1
- INGRESO2

### 6.8.1 Funciones de los programas contenidos en REDESHF

a. REDESHF se encuentra en ASCII y es un archivo auto-ejecutable (.BAT) que contiene comandos del sistema operativo que realizan las siguientes funciones:

a.1 Copia el programa autol23.wkl en el directorio C:\LOTUS\DATOS que debe ser el directorio de default del programa 123 residente en el disco duro. Se debe tener en cuenta que cualquier pro-

grama AUT0123.WK1 existente será sustituido por el existente en el diskette del programa REDESHF.

- a.2 Ingresa al intérprete BASIC con la opción de doble precisión, carga y ejecuta el programa CARGA. Debe haber un PATH que permita el ingreso al intérprete BASIC estando predefinida la unidad con el diskette de trabajo.
- a.3 Cuando se termina la ejecución de los programas de cálculo y se escoge la opción EXIT de finalización del programa, se borra el archivo AUT0123.WK1 que se encuentra en el directorio C:\LOTUS\DATOS del disco duro, y presenta en el monitor el mensaje:

"GRACIAS", RETIRE SU DISKETTE Y APAGUE EL COMPUTADOR

- b. CARGA y CARGAL son programas escritos en BASIC. Su función es la de ingresar a la hoja de cálculo 123 o ejecutar los programas ANALISIS, SINTESIS, SENSIT1, TOLBRAN, DATSINT1 e INGRESO2. Para cumplir este propósito, se utiliza las variables PROG y REANA.

CARGA inicializa variables y utiliza la instrucción SHELL "123" para ingresar a la hoja de trabajo AUT0123 que contiene el rango \0 con un macro auto-ejecutable. Dependiendo del valor de las variables PROG y REANA, el programa CARGA ejecuta los programas de síntesis o análisis la primera vez. A partir de este momento, el control de ejecución de programas queda delegado a CARGAL.

El valor de PROG permite cumplir las siguientes funciones:

PROG=0 termina la ejecución del programa REDESHEF.

PROG=1 llama y ejecuta el programa SINTESIS.

PROG=2 carga y ejecuta uno de los programas DATSINT1 o INGRESO2. variable REANA.

PROG=3 carga y ejecuta el programa SENSIT1.

PROG=4 registra los mensajes de error que produce el intérprete BASIC, y aquellos definidos en la ejecución de los programas de cálculo, regresando a la hoja electrónica 123, que presenta estos mensajes en la página de errores y el menú de inicio.

PROG=5 carga y ejecuta el programa TOLERAN.

El valor de REANA determina las siguientes funciones:

REANA=0 llama y ejecuta el programa DATSINT1.

REANA=1 llama y ejecuta el programa INGRESO2.

- c. SINTESIS ejecuta el proceso de síntesis de redes FOSTER y CAUER.

- d. DATSINT1 determina la topología de la red Foster o Cauer a ser analizada.
- e. INGRESO2 verifica el ingreso correcto de datos desde el teclado para el análisis de una red.
- f. ANALISIS ejecuta el análisis de redes FOSTER, CAUER o cualquier red.
- g. SENSIT1 realiza el cálculo de sensibilidad y variaciones de voltaje.
- h. TOLERAN realiza el cálculo de tolerancia de los voltajes de nodo debido a la variación de uno de los elementos de la red.
- i. AUTO123.WK1 programa de propósito general que contiene menús y sirve para ingreso de datos, presentación de resultados y selección de procesos de cálculo.

La estructura de la hoja AUTO123 es la siguiente:

- i.1 En la columna A se tiene el nombre de las variables y comentarios.
- i.2 En las columnas B a F se tiene programación estructurada en base a rangos, macros etc para ingreso, cálculo y presentación de resultados de la hoja de trabajo AUTO123.
- i.3 En las columnas G ... (en adelante) se tiene la presentación de datos de entrada y de resultados.

### 6.8.2 Programación estructurada

Un macro constituye un conjunto de caracteres, cada uno de los cuales ejecuta un comando de la hoja 123. Las opciones presentadas en los menús de 123 pueden ejecutarse posicionando la celdilla en video reverso sobre el comando deseado y presionando la tecla ENTER, o simplemente presionando la tecla correspondiente a la letra inicial del nombre del comando.

123 permite la creación de menús de aplicación particular, como aquellos que se requieren para el análisis y síntesis de redes, para lo cual dispone de comandos simples.

El manual del programa 123 contiene la información pertinente para la elaboración de macros, por esta razón no se abunda sobre el tema en este trabajo. Sin embargo, se adjunta los listados de los macros desarrollados (tabla 6.12) para la presentación de menús así como para entrada salida de datos.

## 7. ANEXO 2: CONCEPTOS BASICOS DE REDES ELECTRICAS

### 7.1. FRECUENCIA COMPLEJA

La frecuencia compleja permite desarrollar técnicas generales para el análisis de circuitos (Ej: transformada de Laplace).

Cualquier función que pueda escribirse de la forma

$$f(t) = K e^{st} , \quad \text{ec. 7.1}$$

donde  $K$  y  $s$  son constantes complejas (independientes del tiempo), está caracterizada por la frecuencia compleja  $s$ , por tanto, el factor que multiplica a  $t$  en esta representación exponencial compleja de  $f(t)$ , es decir la frecuencia compleja  $s$ , define a una senoide que varía exponencialmente. La parte real de  $s$  está asociada con la variación exponencial; si es negativa, la función decrece; si es positiva, la función crece; si es cero, la amplitud sinusoidal es constante. La parte imaginaria de  $s$  describe la variación sinusoidal; específicamente es la frecuencia angular. Se llama  $\sigma$  a la parte real de  $s$  y  $\omega$  a la parte imaginaria. Por consiguiente

$$s = \sigma + j\omega \quad \text{ec. 7.2}$$

donde:

$\sigma$	+	Frecuencia neperiana (Neper/segundo)
$\omega$	+	Frecuencia angular (radianes/segundo)
$s$	+	Frecuencia compleja (nepers complejos/segundo) o (radianes complejos/segundo)



Considerando el concepto general de frecuencia para una función como la razón de variación de ésta, se define a la frecuencia compleja como:

$$s = \frac{df(t)/t}{f(t)} \quad \text{ec. 7.3}$$

Esta razón de variación es una constante independiente del tiempo. Así se interpreta a la frecuencia compleja como la razón de variación normalizada de la función exponencial compleja  $f(t)$ .

Teniendo  $s$  la configuración de un número complejo, se lo puede representar en un sistema de coordenadas, donde la abscisa sea  $\sigma$  y la ordenada sea  $w$ ; llamándolo plano  $s$ .

## 7.2 FUNCION DE RED

Sea  $F(s)$  una función real positiva<sup>7</sup>. Si  $F(s)$  es capaz de describir el comportamiento de una red que esta sujeta a una excitación arbitraria, entonces llámase a  $F(s)$  Función de Red. El comportamiento de la red es, la relación de corrientes y voltajes en los diferentes nodos o ramas de la misma.

$F(s)$  es un polinomio racional, función de la frecuencia compleja. En general se lo representa como:

$$N(s) = \frac{P(s)}{Q(s)} = \frac{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n}{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}$$

donde:     a y b → coeficientes reales  
           n     → grado del polinomio P(s) si  $a_0 = 0$   
           m     → grado del polinomio Q(s) si  $b_0 = 0$

Si ambos polinomios pueden factorarse,  $P(s)/Q(s)$  se escribe como:

$$a_0 = \frac{(s - z_1)(s - z_2) \dots (s - z_n)}{(s - p_1)(s - p_2) \dots (s - p_m)} \quad \text{ec. 7.5}$$

Donde las raíces de  $P(s) = 0$ ;  $z_1, z_2, \dots, z_n$  se llaman ceros de la función de red y las raíces de  $Q(s) = 0$ ;  $p_1, p_2, \dots, p_m$  se llaman polos de la función de red. En el plano complejo se representa a los polos por "x" y a los ceros por "o".

En las funciones de red se distinguen: las funciones de red de transferencia cuando la respuesta se obtiene en terminales distintos a los de la excitación; y las funciones de red de excitación cuando la respuesta se obtiene en los mismos terminales de la excitación.

Las Funciones de Red para redes de un puerto son funciones de red de excitación. La impedancia transformada ( $Z(s)$ ) en un puerto se ha definido como la relación entre la transformada de voltaje a la transformada de corriente para una red en estado cero (sin condiciones iniciales) que no tiene fuentes internas independientes de voltaje o corriente.

$$Z(s) = \frac{V(s)}{I(s)} \quad \text{ec. 7.6}$$

De igual manera, la admitancia transformada se define como la relación indicada en la ec. 7.7

$$Y(s) = \frac{I(s)}{V(s)} = \frac{I}{Z(s)} \quad \text{ec. 7.7}$$

Las transformadas de voltaje y de corriente que definen la impedancia transformada y la admitancia transformada se relacionan con el mismo puerto, como se observa en la fig. 7.1.

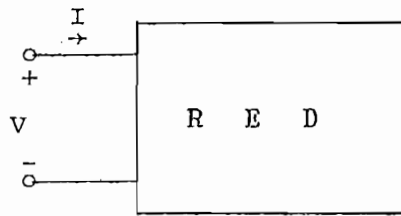


Figura 7.1.- Diagrama de una red con un puerto

Debido a la similitud de impedancia y de admitancia (para no tener que escribir "impedancia y admitancia"), las dos cantidades se identifican con el nombre de IMMITANCIA. La immitancia de entrada es una función de red de excitación.

Polo y Ceros son frecuencias críticas; la función de red es infinita en los polos; en los ceros es cero; a otras frecuencias complejas, la función de red tiene un valor finito distinto de cero.

Para las immitancias de entrada, los polos y los ceros tienen significados que se pueden ver con toda claridad, analizando la ecuación 7.6; un polo de  $Z(s)$  implica una corriente cero para un voltaje finito, lo que significa un circuito abierto; por otro lado, un cero de  $Z(s)$  significa voltaje nulo con una corriente finita, es decir, un corto circuito. Por lo tanto una red de un solo puerto, es un circuito abierto para las frecuencias de polo y un corto circuito para las frecuencia de cero.

Esto se puede representar con facilidad en funciones de red de un solo elemento. Para un capacitor, la impedancia de entrada es:

$$Z(s) = \frac{1}{C s} \quad \text{ec. 7.8}$$

Tal función de red tiene un polo en  $s=0$  y un cero en  $s \rightarrow \infty$ ; se comporta como un circuito abierto para  $s=0$  y como un corto circuito para frecuencia infinita. De igual manera para una inductancia, la impedancia de entrada es:

$$Z(s) = L s \quad \text{ec. 7.9}$$

Esta función de red tiene un cero en  $s=0$  y un polo en  $s \rightarrow \infty$ ; este elemento se comporta como un corto circuito para frecuencia cero y como un circuito abierto a una frecuencia infinita.

En la fig. 7.2 se tiene la representación de  $Z(s)$  para un condensador y para un inductor.

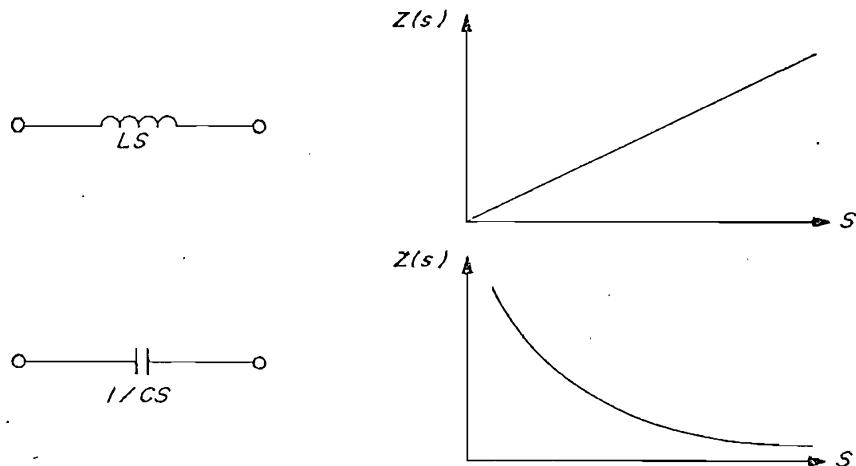


Figura 7.2 Representación de  $Z(s)$  en función de  $s$  para un inductor y para un capacitor.

### 7.3 PROPIEDADES DE FUNCIONES DE RED

- a. Los polos de todas las funciones de red deben ubicarse en el semiplano izquierdo del plano complejo  $s$ , para tener una red estable; estos polos reciben el nombre de frecuencias naturales (las frecuencias naturales son invariantes). Si todos los polos de la función de red están ubicados en el semiplano izquierdo el polinomio  $Q(s)$  (ecuación 7.4) es conocido como polinomio de Hurwitz.
- b. La ecuación 7.4 puede ser escrita en términos de la suma de componentes real e imaginaria.

$$N(s) = N(\sigma + j\omega) = U(\sigma, \omega) + jV(\sigma, \omega)$$

Por ser una función real positiva se tiene

$$\frac{\delta U}{\delta \sigma} = \frac{\delta V}{\delta w} * \frac{\delta U}{\delta w} = \frac{\delta V}{\delta \sigma} \quad \text{ec.7.10}$$

- c. Las funciones de red pueden separarse en polinomio par e impar. Se dice que la función  $f(x)$  es par si  $f(x) = f(-x)$  y es impar si  $f(x) = -f(-x)$ .

Siendo la función de red una función real positiva, cumple con todas sus propiedades.

#### 7.4 LIMITACIONES PARA LAS UBICACIONES DE POLOS Y CEROS DE FUNCIONES DE EXCITACION

Se observa que los polinomios  $P(s)$  y  $Q(s)$  de la función de red  $N(s) = P(s)/Q(s)$  tiene la forma

$$P(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n \quad \text{ec.7.11}$$

Los coeficientes son reales y positivos. Si  $P(s)$  de la ecuación 7.11 es una función real y si uno de los ceros de  $P(s)$  es complejo, su conjugado también debe ser un cero de  $P(s)$ ; de otra manera, algunos coeficientes de  $P(s)$  son complejos. Por tanto se cumple:

$$P(s) = (s + a + jb)(s + a - jb) = (s + a)^2 + b^2$$

$$P(s) = s^2 + 2as + (a^2 + b^2)$$

Los coeficientes son reales cuando  $a$  y  $b$  son reales.

Para que el segundo coeficiente sea positivo, es necesario que  $a$  sea positivo.

La primera propiedad de  $N(s)$  se deriva del supuesto de que las redes compuestas solo de elementos pasivos son estables en el sentido de que la excitación debida a una condición inicial en el elemento da como resultado una salida limitada, lo cual significa una salida que nunca se hace infinita sea cual fuese la duración que se considere.

Si la excitación es una fuente de voltaje, la respuesta es la corriente en la entrada. Sin embargo si la excitación es una fuente de corriente la respuesta es el voltaje de entrada. Como la red debe ser estable para cualquiera de las dos clases de entrada, es evidente que las conclusiones para los polos se aplican a los ceros también.

Si el denominador de la immitancia de excitación contiene el factor  $(s - s_a)$  donde  $s_a = \sigma_a + j\omega_a$ . Este factor dará como resultado un término en la respuesta del dominio de tiempo de la forma:

$$K_a e^{s_a t} = K_a e^{\sigma_a t} e^{j\omega_a t}$$

Para que la respuesta este limitada es necesario que  $\sigma_a < 0$ . Puesto que estos argumentos se aplican tanto a los polos como a los ceros, se observa que los polos y los ceros de las immitancias de excitación tienen solo partes reales negativas (o cero). Como ya se dijo en las propiedades de las funciones de red, los polos y los ceros deben estar en la mitad izquierda del plano  $s$ ; los polos y los ceros pueden estar en el eje imaginario, con

la limitación de que tales polos y ceros sean simples, la razón de esta limitación es que los polos de orden 2 o mayor dan origen a términos en el dominio del tiempo que crecen según  $t^{n-1}$  en donde  $n$  es el orden del polo, y este tipo de respuesta no están limitadas como es necesario.

En resumen,  $P(s)$  y  $Q(s)$  son polinomio producto de los siguientes factores:  $K$ ,  $(s + a)$ , donde  $a$  puede ser cero,  $s^2 + bs + c$  y  $s^2 + d$ , donde  $K$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  son reales y positivos.

Cuando se forma el producto de estos factores no existe un mecanismo para que se introduzca un signo negativo, y sin términos negativos que cancelen a los positivos no es posible que un coeficiente sea cero (ningún término del polinomio puede faltar) excepto en dos casos especiales. Si  $P(s)$  se compone exclusivamente de factores del tipo  $s^2 + d$ , entonces  $P(s)$  es un polinomio par y los coeficientes de todos los polinomios impar son cero.

Si  $P(s)$  tiene un cero simple en el origen, los término  $s^2 + d_j$  se multiplican por  $s$  y se obtiene como resultado un polinomio impar, lo que significa que los coeficientes de todos los término pares son cero.

Otra propiedad importante esta relacionada con la conducta de la red de un puerto a frecuencias muy altas o muy bajas. La immitancia del inductor y del capacitor cambia con la frecuencia. A frecuencias muy elevadas las immitancias de estos dos elemento dominan la función de immitancia de la red, de igual manera existirá un



dominio de la immitancia de los elementos a bajas frecuencias.

Para que esto se cumpla se tiene que

$$\lim_{s \rightarrow \infty} N(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{a_0 s^n}{b_0 s^m} = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{a_0}{b_0} s^{n-m}$$

para que este límite exista,  $s$ ,  $1/s$  o  $1$ , es necesario que

$$|n-m| \leq 1$$

lo que significa que  $n-m$  puede tener los valores de  $-1$ ,  $0$ , ó  $1$ .

De la misma manera, a frecuencias bajas, conforme se tiende a cero, los términos de  $P(s)$  o  $Q(s)$  de grado elevado son relativamente pequeños, de manera que se pueden desechar en tal forma que  $N(s)$  sea aproximadamente

$$N(s) = \frac{\dots + a_{n-1}s + a_n}{\dots + b_{m-1}s + b_m}$$

Suponiendo  $a_{n-1} \neq 0$  y  $b_{m-1} \neq 0$ . Si  $N(s)$  es impedancia, entonces  $a_n = 0$ ,  $b_m \neq 0$  representa un inductor, en tanto que  $a_n \neq 0$  y  $b_m = 0$  representa a un capacitor. Si  $N(s)$  es admitancia, entonces se requieren las condiciones opuestas para representar al inductor y al capacitor. Por último,  $a_n \neq 0$  y  $b_m \neq 0$  significa que

$N(0)$  es una constante que puede representar ya sea la impedancia o la admitancia de un resistor. En resumen, los términos del grado más bajo del numerador y el denominador de  $N(s)$  deben diferir de grado cuando mucho en uno.

8. ANEXO 3: LISTADO DE PROGRAMAS

## 8.1 PROGRAMA REDESHF

rem REDESHF

rem SINTESIS (FOSTER/CAUER) - ANALISIS REDES EN HF

rem TESIS DE GRADO - FAC. ING. ELECTRICA - EPN  
rem GLORIA TUQUERRES CERON  
rem JULIO/1987

ECHO OFF  
copy a:\gloria\auto123.wk1 c:\lotus\datos  
rem  
rem  
basic carga/d/f:10  
rem  
rem  
rem  
erase c:\lotus\datos\auto123.wk1  
rem  
CLS  
echo on  
rem "GRACIAS", RETIRE SU DISKETTE Y APAGUE EL COMPUTADOR

## 8.2 PROGRAMA CARGA

10 REM           PROGRAMA "CARGA" ESCRITO EN BASIC PARA REALIZAR  
20 REM           SINTESIS Y ANALISIS DE REDES LC PARA ALTA  
30 REM  
40 REM           PROGRAMAS ESCRITOS EN BASIC PARA REALIZAR LOS PROCESOS  
50 REM           DE CALCULO EN LA SINTESIS Y ANALISIS DE REDES LC EN ALTA  
60 REM           FRECUENCIA.  
70 REM  
80 REM           LA ESTRUCTURA DE LOS PROGRAMAS SE ENCUENTRA EN LA INTRODU-  
90 REM           CCION DE ESTE ANEXO  
100 REM  
110 REM           PROGRAMAS QUE SE UTILIZAN CONJUNTAMENTE CON UN PROGRAMA  
120 REM           ESCRITO EN EL EDITOR DE LINEA Y OTRO EN LOTUS (1-2-3 ).

```
130 REM
140 REM      AUTOR:
150 REM      GLORIA TUQUERRES C.
160 REM
170 REM
180 REM
190 KEY OFF
200 REM      INICIALIZACION
210 REM
220 REM      VARIABLES PROG, REANA, RESIN CON 0
230 REM      PROG      INDICADOR DEL PROCESO QUE SE REALIZA
240 REM      0        -----  SYSTEM
250 REM      1        -----  SINTESIS
260 REM      2        -----  ANALISIS
270 REM      3        -----  SENSITIVIDAD
280 REM      4        -----  ERROR EN EL PROGRAMA
290 REM      5        -----  TOLERANCIA
300 REM
310 REM      REANA     INDICADOR DE RED ANALIZADA
320 REM      0        -----  RED DE SINTESIS
330 REM      1        -----  RED K-L-C
340 REM
350 PROG$="A:PROG.PRN":REANA$="A:REANA.PRN":RESIN$="A:RESIN.PRN":DATAN$="A:DATAN-
.PRN"
360 OPEN PROG$ FOR OUTPUT AS #1
370 OPEN REANA$ FOR OUTPUT AS #2
380 PRINT #1,0
390 PRINT #2,0
400 CLOSE
410 OPEN RESIN$ FOR OUTPUT AS #1
420 OPEN DATAN$ FOR OUTPUT AS #2
430 PRINT #1,0
440 PRINT #2,0
450 CLOSE
460 SHELL "123"
470 OPEN PROG$ FOR INPUT AS #1
480 INPUT #1, PROG
490 CLOSE #1
500 IF PROG=0 THEN SYSTEM
510 IF PROG=1 THEN RUN "A:SINTESIS"
520 IF PROG=2 THEN S70
530 IF PROG=3 THEN RUN "A:SENSITI"
540 IF PROG=5 THEN RUN "A:TOLERAN"
550 IF PROG=4 THEN SYSTEM
560 PRINT "ERROR":BEEP:BEEP:END
570 OPEN REANA$ FOR INPUT AS #1
580 INPUT #1,REANA
590 CLOSE
600 IF REANA=0 THEN RUN"A:DATSINT1"
610 IF REANA =1 THEN RUN"A:INGRESO2"
```

620 GOTO 560

## 8.3 PROGRAMA CARGAL

```

10 REM          CARGAL
12 REM
13 REM          PROG  INDICADOR DE OPCIONES DE TRABAJO
14 REM          0      ----- SYSTEM
16 REM          1      ----- SINTESIS
17 REM          2      ----- ANALISIS
18 REM          3      ----- SENSITIVIDAD
20 REM          4      ----- DETECCION DE ERRORES
22 REM          5      ----- TOLERANCIA
24 REM
26 REM
30 REM          REANA  INDICADOR RED ANALIZADA
32 REM          0      ----- RED DE SINTESIS
34 REM          1      ----- RED R-L-C
36 REM
38 REM
100 KEY OFF
110 PROG$="A:PROG.PRN":REANA$="A:REANA.PRN"
120 OPEN PROG$ FOR INPUT AS #1
130 INPUT #1, PROG
140 CLOSE
150 IF PROG=0 THEN SYSTEM
160 IF PROG=1 THEN RUN "A:SINTESIS"
170 IF PROG=2 THEN 220
180 IF PROG=3 THEN RUN "A:SENSITI"
190 IF PROG=4 THEN SYSTEM
200 IF PROG=5 THEN RUN "A:TOLERAN"
210 PRINT "ERROR":BEEP:BEEP:END
220 OPEN REANA$ FOR INPUT AS #1
230 INPUT #1,REANA
240 CLOSE
250 IF REANA =0 THEN RUN"A:DATSINT1"
260 IF REANA =1 THEN RUN"A:INGRESO2"
270 GOTO 210

```

## 8.4 PROGRAMA SINTESIS

```

10 DEFDBL A-H,0-Z
20 REM          ***      SINTESIS
30 REM          ***      REDES FOSTER Y CAUER
40 REM
50 REM          REALIZADO POR : GLORIA TUQUERRES C.

```

```

60 REM
70 REM
80 REM      SUBROUTINA DE INGRESO DE DATOS Y CHEQUEO
90 REM
100 REM     AGOSTO 28 DE 1986
110 REM
120 REM
130 REM     VINGRESO$      ---      NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS
140 REM     VINGRESO(I,J)  ---      MATRIZ DE INGRESO DE DATOS
150 REM
160 REM     POLOS(6)       ---      VINGRESO(2-7,1)
170 REM     CEROS(6)      ---      VINGRESO(2-7,2)
180 REM     FO           ---      FRECUENCIA DE LA CONDICION DE IMPED.
190 REM                                VINGRESO(1,2)
200 REM     ZO           ---      IMPED. A LA FRECUENCIA FO
210 REM                                VINGRESO(1,1)
220 REM
230 KEY OFF
240 CLS:COLOR 0,7:LOCATE 13,30:PRINT "CALCULO DE SINTESIS":COLOR 7,0
250 ERROR1$="A:ERRORESa.PRN":HODORAHA$="A:HORA.PRN":VINGRESO$="A:SIM.PRN"
260 LOCATE 25,65
270 ON ERROR GOTO 7610
280 DIM VINGRE(7,2),POLOS(8),CEROS(8),P(7),Q(7),G(7),H(7),RAICES(8),COEFC(9)-
,COEFP(9),AUX(8),PROD(8),YKK(13),AA(13),BB(13),A(13),B(13),FS(16),FP(16),CI(16)-
,CC(16)
290 REM
300 REM     *** LECTURA DE DATOS DE ARCHIVO INGRESO$= "A: SIM.PRN" ***
310 REM
320 PMAX0=6
330 PMAX1=7
340 PMAX2=8
350 PMAX3=9
360 REM
370 REM
380 OPEN VINGRESO$ FOR INPUT AS #2
390 FOR I=1 TO PMAX1
400 LINE INPUT #2,X$
410 A$= MID$(X$,1,10):B$= MID$(X$,11,34)
420 REM
430 VINGRE(I,1)=CDBL(VAL(A$)):VINGRE(I,2)=CDBL(VAL(B$))
440 REM
450 NEXT I
460 CLOSE #2
470 REM
480 REM
490 REM     FORMACION VECTOR POLOS Y VECTOR CEROS
500 REM
510 REM
520 ' REM     COMPROBAR SI POLOS Y CEROS ESTAN ALTERNADOS
530 REM

```

```

540 REM CONTADOR ----- VARIABLE AUXILIAR PARA DETERMINAR NUMERO DE PO
550 REM                               LOS Y NUMERO DE CEROS
560 REM   M ----- NUMERO DE POLOS
570 REM
580 REM   N ----- NUMERO DE CEROS
590 REM
600 REM   POLOS ----- CONTIENE POLOS DE LA RED
610 REM   CEROS ----- CONTIENE CEROS DE LA RED
620 CONTADOR=0
630 FOR J=2 TO PMAX1:IF VINGRE(J,1)=0 THEN 640 ELSE CONTADOR=CONTADOR+1:GOTO 640
640 NEXT J
650 M=CONTADOR:CONTADOR=0
660 FOR J=2 TO PMAX1:IF VINGRE(J,2)=0 THEN 670 ELSE CONTADOR=CONTADOR+1
670 NEXT J
680 N=CONTADOR
690 T=PMAX1-M:S=PMAX1-N
700 FOR I=1 TO M:POLOS(I)=VINGRE(T+I,1):NEXT I
710 FOR I=1 TO N:CEROS(I)=VINGRE(S+I,2):NEXT I
720 REM           *** COMPROBAR SI LA SINTESIS ES REALIZABLE ***
730 REM
740 REM           *** ANALISIS DE POLOS Y CEROS DOBLES ***
750 REM
760 FOR I=1 TO N-1:IF CEROS(I)=CEROS(I+1) THEN 1110 ELSE NEXT I
770 FOR J=1 TO M-1:IF POLOS(J)=POLOS(J+1) THEN 1110 ELSE NEXT J
780 REM
790 REM   **** COMPROBAR POLOS Y CEROS ALTERNADOS ****
800 REM
810 REM   M=N : POLOS(I) > CEROS(I)
820 IF POLOS(1)>CEROS(1) THEN 830 ELSE IF M=N THEN 1030 ELSE 830
830 FMIN=CEROS(1):IF M=N THEN 840 ELSE IF M>N THEN 980 ELSE 960
840 FOR I=1 TO M:IF POLOS(I)> CEROS(I) THEN 850 ELSE GOTO 1110
850 NEXT I
860 FHAX=POLOS(M)
870 GOTO 1160
880 ' REM
890 REM   M > N : CEROS(I) > POLOS(I)
900 REM
910 FMIN=POLOS(1)
920 FOR I= 1 TO N:IF CEROS(I)>POLOS(I) THEN 930 ELSE GOTO 1110
930 NEXT I
940 FHAX=POLOS(N)
950 IF POLOS(H)>CEROS(M) THEN 1160 ELSE GOTO 1110
960 REM
970 REM   M < N : CEROS(I) < POLOS(I)
980 REM
990 FOR I=1 TO M:IF POLOS(I)>CEROS(I) THEN 1000 ELSE GOTO 1110
1000 NEXT I
1010 FHAX=CEROS(H)
1020 IF POLOS(H) < CEROS(H) THEN GOTO 1160 ELSE GOTO 1110
1030 REM   H=N : CEROS(I) > POLOS(I)

```

```
1040 FMIN=POLOS(1)
1050 FOR I=1 TO H:IF CEROS(I) ) POLOS(I) THEN 1060 ELSE 1110
1060 NEXT I
1070 FMAX=CEROS(H)
1080 REH
1090 REH      CONTINUAR CON EL CHEQUEO DE CONDICION DE IMPEDANCIA
1100 GOTO 1160
1110 'REH
1120 REH
1130 REH
1140 A$="ERROR EN EL INGRESO DE POLOS Y/O CEROS " :GOTO 7740
1150 REH
1160 '
1170 REH      **** COMPROBAR CONDICION DE IMPEDANCIA      ****
1180 REH
1190 REH      Z0  -----   CONTIENE CONDICION DE IMPEDANCIA
1200 REH
1210 REH      F0  -----   CONTIENE FRECUENCIA PARA Z0
1220 REH
1230 REH
1240 Z0=VINGRE(1,1):F0=VINGRE(1,2)
1250 IF F0\FMIN THEN 1260 ELSE FMIN=F0:GOTO 1260
1260 IF F0\FMAX THEN 1270 ELSE FMAX=F0:GOTO 1270
1270 DOS=2#:FACTORN=(FMIN+FMAX)/DOS
1280 IF H=N THEN 1510 ELSE IF H>N THEN 1360 ELSE IF F0<CEROS(1) AND F0>POLOS(1)
THEN 1470
1290 IF F0 < POLOS(1) THEN 1340
1300 FOR I=2 TO H
1310 IF F0<CEROS(I) THEN 1330 ELSE NEXT I
1320 GOTO 1340
1330 IF F0<POLOS(I-1) THEN 1340 ELSE 1470
1340 IF Z0>0 THEN 1580
1350 A$="ERROR EN EL INGRESO DE LA CONDICION DE IMPEDANCIA ":GOTO 7740
1360 IF F0<POLOS(1) AND F0>CEROS(1) THEN 1340 ELSE IF F0<CEROS(1) THEN 1470
1370 FOR I=2 TO H
1380 IF F0<POLOS(I) THEN 1410
1390 NEXT I
1400 GOTO 1470
1410 IF F0<CEROS(I-1) THEN 1470 ELSE IF F0<POLOS(1) THEN 1340
1420 FOR I=2 TO H
1430 IF F0<POLOS(I) THEN 1460
1440 NEXT I
1450 IF F0<CEROS(H) THEN 1470 ELSE 1340
1460 IF F0>CEROS(I-1) THEN 1340
1470 IF Z0<0 THEN 1580
1480 IF F0<POLOS(1) AND F0 > CEROS(1) THEN 1580 ELSE A$="ERROR EN EL INGRESO DE
CONDICION DE IMPEDANCIA ": GOTO 7740
1490 IF F0>POLOS(I-1) THEN 1470
1500 GOTO 1340
1510 IF POLOS(1)<CEROS(1) THEN 1290
```



```

1520 IF FO( CEROS(1) THEN 1470
1530 FOR I=2 TO H
1540 IF FO(CEROS (I) THEN 1570
1550 NEXT I
1560 IF FO ( POLOS(N) THEN 1340 ELSE 1470
1570 IF FO ) POLOS(I-1) THEN 1470 ELSE 1340
1580 REM
1590 REM
1600 REM
1610 REM          FACTORN ---      MEDIA ARITMETICA      (Fmin+Fmax)/2
1620 REM
1630 REM
1640 PI= ATH(1#)*4#
1650 FOR I=1 TO H:POLOS(I)=2*PI*POLOS(I)/FACTORN:NEXT I
1660 FOR I=1 TO H:CEROS(I)=2*CEROS(I)*PI/FACTORN:NEXT I
1670 W0=2*PI*FO/FACTORN
1680 REM          *** SINTESIS FOSTER DE LA IMPEDANCIA ***
1690 REM
1700 REM          FOSTIH ----- ARCHIVO DE RESULTADOS
1710 REM
1720 REM          H          ----- CONSTANTE DE LA FUNCION DE IMPEDANCIA
1730 REM
1740 REM          VK          ----- CONSTANTE DE LA EXPRESION:  K/(H^2-WP^2)
1750 REM
1760 REM
1770 REM
1780 REM
1790 REM
1800 REM
1810 FOSTERIS="A:FSERIE.PRN"
1820 REM
1830 REM          SINTESIS PARA REDES QUE TIENEN UNA SOLA SINGULARIDAD
1840 REM
1850 REM
1860 IF H=0 THEN 1870 ELSE IF H=0 THEN 1900 ELSE 1940
1870 'CALCULO DE LA SINTESIS FOSTER DE LA IMPEDANCIA PARA UNA RED QUE NO TIENE
POLOS'
1880 H=-Z0*W0/(CEROS(1)^2-W0^2):FS(1)=ABS(1000#*H):FS(2)=ABS(1000000#/H/CEROS(1)-
^2)
1890 GOTO 2640
1900 'CALCULO DE LA SINTESIS FOSTER DE LA IMPEDANCIA PARA UNA RED QUE NO TIENE
CEROS'
1910 H=(Z0*(POLOS(1)^2-W0^2))/W0:FS(4)=ABS(1000000#/H):FS(3)=ABS(1000#*H/POLOS-
(1)^2)
1920 GOTO 2640
1930 REM          SINTESIS PARA REDES CON CUALQUIER NUMERO DE SINGULARIDADES
1940 IF H=H THEN 1950 ELSE GOTO 2280
1950 REM
1960 REM          SINTESIS          F=0 (CERO)          F=INFINITO (POLO)
1970 REM

```

```

1980 REM
1990 IF POLOS(1)<CEROS(1) THEN 2000 ELSE 2110
2000 GOSUB 7360:FS(1)=ABS(1000#*H)
2010 L=2
2020 FOR I=1 TO M
2030 P3=1:D3=1
2040 FOR J=1 TO N:P3=P3*((CEROS(J)^2)-(POLOS(I)^2)):NEXT J
2050 FOR J=1 TO M:IF POLOS(I)=POLOS(J) THEN 2060 ELSE D3=D3*((POLOS(J)^2)-(PO-
LOS(I)^2))
2060 NEXT J
2070 VK1=H*P3/D3
2080 FS(L+2)=ABS(1000000#/VK1):FS(L+1)=ABS(1000#*VK1/(POLOS(I)^2)):L=L+2
2090 NEXT I
2100 GOTO 2640
2110 'REM
2120 REM      SINTESIS      F=0 (POLO)      F=INFINITO (CERO)
2130 REM
2140 REM
2150 GOSUB 7130
2160 FS(2)=ABS(1000000#/VK0):L=2
2170 FOR I=1 TO M
2180 P3=1:D3=1
2190 FOR J=1 TO N:P3=P3*(CEROS(J)^2-POLOS(I)^2):NEXT J
2200 FOR J=1 TO M
2210 IF POLOS(I)=POLOS(J) THEN 2230
2220 D3=D3*((POLOS(J)^2)-(POLOS(I)^2))
2230 NEXT J
2240 VK1=(H*P3)/(D3*POLOS(I)^2)
2250 FS(L+1)=ABS(1000#*VK1/(POLOS(I)^2)):FS(L+2)=ABS(1000000#/VK1):L=L+2
2260 NEXT I
2270 GOTO 2640
2280 ' REM
2290 REM
2300 IF N>M THEN 2310 ELSE 2500
2310 '
2320 REM      SINTESIS      F=0 (POLO)      F=INFINITO (POLO)
2330 REM
2340 REM
2350 GOSUB 7130
2360 FS(2)=1000000#/VK0:FS(1)=1000#*H:L=2
2370 FOR I=1 TO M
2380 P3=1:D3=1
2390 FOR J=1 TO N
2400 D3=D3*(CEROS(J)^2-POLOS(I)^2)
2410 NEXT J
2420 FOR J=1 TO M
2430 IF POLOS(I)=POLOS(J) THEN 2450
2440 P3=P3*(POLOS(J)^2-POLOS(I)^2)
2450 NEXT J
2460 VK1=ABS(H*D3/(P3*POLOS(I)^2))

```

```

2470 FS(L+1)=1000#*VK1/(POLOS(I)^2):FS(L+2)=1000000#*VK1:L=L+2
2480 NEXT I
2490 GOTO 2640
2500 '
2510 REM      SINTESIS      F=0 (CERO)      F=INFINITO (CERO)
2520 GOSUB 7360
2530 L=2
2540 FOR I=1 TO M
2550 P3=1:D3=1
2560 FOR J=1 TO M:P3=P3*((CEROS(J)^2)-(POLOS(I)^2)):NEXT J
2570 FOR J=1 TO M
2580 IF POLOS(I)=POLOS(J) THEN 2600
2590 D3=D3*((POLOS(J)^2)-(POLOS(I)^2))
2600 NEXT J
2610 VK1 =ABS(H*P3/D3)
2620 FS(L+1)=VK1*1000#/(POLOS(I)^2):FS(L+2)=1000000#*VK1:L=L+2
2630 NEXT I
2640 REM
2650 REM
2660 REM      *** TERMINADA SINTESIS FOSTER DE LA IMPEDANCIA ***
2670 REM
2680 REM      *** SINTESIS FOSTER DE LA ADMITANCIA ***
2690 REM
2700 REM      FPARA  -----  ARCHIVO DE RESULTADOS
2710 REM
2720 REM      H      -----  CONSTANTE DE LA FUNCION DE IMPEDANCIA
2730 REM
2740 REM      K      -----  CONSTANTE DE LA EXPRESION:  K/(W0^2-WP^2)
2750 REM
2760 REM
2770 REM
2780 REM
2790 A$="2"
2800 FOSTER2$="A:FPARA.PRN"
2810 REM
2820 REM
2830 REM      INTERCAMBIO POLOS POR CEROS PARA FOSTER DE LA ADMITANCIA
2840 REM
2850 GOSUB 7530
2860 REM
2870 REM      SINTESIS PARA REDES QUE TIENEN UNA SOLA SINGULARIDAD
2880 REM
2890 REM
2900 IF M=0 THEN 2910 ELSE IF H=0 THEN 2940 ELSE 2970
2910 'CALCULO DE LA SINTESIS FOSTER DE LA ADMITANCIA PARA UNA RED QUE NO TIENE
CEROS'
2920 H=-Z0*W0/(CEROS(1)^2-W0^2):FP(1)=ABS(1000#*H):FP(2)=ABS(1000000#*H/CEROS(1)-
^2)
2930 GOTO 3680

```



```

3410 FOR I=1 TO M
3420 P3=1:D3=1
3430 FOR J=1 TO N
3440 D3=D3*(CEROS(J)^2-POLOS(I)^2)
3450 NEXT J
3460 FOR J=1 TO M
3470 IF POLOS (I)= POLOS(J) THEN 3490
3480 P3=P3*(POLOS(J)^2-POLOS(I)^2)
3490 NEXT J
3500 VK1=ABS(H*D3/(P3*POLOS(I)^2))
3510 FP(L+2)=1000000#*VK1/(POLOS(I)^2):FP(L+1)=1000#*VK1:L=L+2
3520 NEXT I
3530 GOTO 3680
3540 '
3550 REM      SINTESIS      F=0 (POLO)      F=INFINITO (POLO)
3560 GOSUB 7360
3570 L=2
3580 FOR I=1 TO M
3590 P3=1:D3=1
3600 FOR J=1 TO N:P3=P3*{(CEROS(J)^2)-(POLOS(I)^2)}:NEXT J
3610 FOR J=1 TO H
3620 IF POLOS(I)=POLOS(J) THEN 3640
3630 D3=D3*{(POLOS(J)^2)-(POLOS(I)^2)}
3640 NEXT J
3650 VK1 =ABS(H*P3/D3)
3660 FP(L+2)=VK1*1000000#/(POLOS(I)^2):FP(L+1)=1000#*VK1:L=L+2
3670 NEXT I
3680 'REM INTERCAMBIO DE POLOS POR CEROS PARA CONTINUAR CON LA SINTESIS
3690 REM
3700 GOSUB 7530
3710 REM
3720 REM
3730 REM      *** TERMINADA SINTESIS FOSTER DE LA ADMITANCIA ***
3740 REM
3750 REM
3760 A$="0"
3770 REM      *** SINTESIS CAUER-L SERIE ***
3780 REM
3790 REM      CAUE-L ----- ARCHIVO CON RESULTADOS
3800 REM
3810 CAUER1$="A:CIHD.PRN"
3820 REM
3830 REM      SINTESIS CAUER-L PARA UNA SINGULARIDAD
3840 REM
3850 IF N=0 THEN 3870 ELSE IF M=0 THEN 3960 ELSE 3990
3860 REM
3870 REM      CALCULO DE LA SINTESIS CAUER-L SERIE PARA UNA RED QUE NO TIENE
3880 REM      CEROS
3890 REM

```

```

3900 H=(Z0*(POLOS(1)^2-W0^2))/W0:CI(2)=ABS(1000000#/H):CI(3)=ABS(1000##H/POLOS-
(1)^2)
3910 GOTO 5060
3920 REM
3930 REM      CALCULO DE LA SINTESIS CAUER-L SERIE PARA UNA RED QUE NO TIENE
3940 REM      POLOS
3950 REM
3960 H=-Z0*W0/(CEROS(1)^2-W0^2):CI(1)=ABS(1000##H):CI(2)=ABS(1000000#/H/CEROS(1)-
^2)
3970 GOTO 5060
3980 REM
3990 REM      SINTESIS CAUER-L PARA MAS DE UNA SINGULARIDAD
4000 REM
4010 REM
4020 REM
4030 REM      RAICES ----- VECTOR AUXILIAR
4040 REM
4050 REM      COEFP ----- VECTOR PARA COEFICIENTES DEL DENOMINADOR
4060 REM
4070 REM      *** COEFICIENTES DEL DENOMINADOR ***
4080 REM
4090 FOR J=1 TO M:RAICES(J)=POLOS(J)^2:NEXT J
4100 RS=H
4110 GOSUB 6760
4120 COEFP(1)=1#
4130 FOR I=1 TO M+1:COEFP(I+1)=AUX(I):NEXT I
4140 FOR J=1 TO M:RAICES(J)=CEROS(J)^2:NEXT J
4150 REM
4160 REM      COEFC ----- VECTOR PARA COEFICIENTES DEL NUMERADOR
4170 REM
4180 REM      *** COEFICIENTES DEL NUMERADOR ***
4190 RS=H
4200 GOSUB 6760
4210 COEFC(1)=1#
4220 FOR I=1 TO (M+1):COEFC(I+1)=AUX(I):NEXT I
4230 REM
4240 IF N<>H THEN 4250 ELSE 4700
4250 IF CEROS(1)<POLOS(1) THEN 4300 ELSE 4470
4260 REM
4270 REM
4280 REM      SINTESIS CAUER-L SERIE  F=0 (POLO)      W=INFINITO (POLO)
4290 REM
4300 '
4310 REM
4320 REM      CALCULO DE H
4330 REM
4340 GRADOC=2*H:GRADOP=2*H+1
4350 GOSUB 7130
4360 FOR J=1 TO M+1:AA(J)=COEFC(J)*H:NEXT J
4370 FOR J=1 TO M+1:BB(J)=COEFP(J):NEXT J

```

```

4380 COEA=M+1:COEB=M+1
4390 REM
4400 REM      COEFICIENTES DEL NUMERADOR Y DENOMINADOR LISTOS PARA SINTESIS
4410 REM
4420 REM      DIVISION EN FRACCIONES CONTINUAS
4430 GOSUB 6920
4440 L=0
4450 J=1:FOR I=1 TO M:CI(L+1)=ABS(1000#*VKK(J)):J=J+1:CI(L+2)=ABS(1000000#*VKK-
(J)):J=J+1:L=L+2:NEXT I
4460 GOTO 5060
4470 '
4480 'REM      SINTESIS CAUER-L SERIE F=0 (CERO)      W=INFINITO (CERO)
4490 REM
4500 GRADOC=2*N+1:GRADOP=2*M
4510 REM
4520 REM      CALCULO DE H
4530 GOSUB 7360
4540 FOR J=1 TO (M+1):AA(J)=COEFP(J):NEXT J
4550 FOR J=1 TO (M+1):BB(J)=COEFC(J)*H:NEXT J
4560 COEA=M+1:COEB=M+1
4570 REM
4580 REM      COEFICIENTES DEL NUMERADOR Y DENOMINADOR LISTOS PARA SINTESIS
4590 REM
4600 REM      DIVISION EN FRACCIONES CONTINUAS
4610 REM
4620 GOSUB 6920
4630 CI(2)=ABS(1000000#*VKK(1)):L=2
4640 J=2
4650 FOR I=2 TO M
4660   CI(L+1)=ABS(1000#*VKK(J)):J=J+1:CI(L+2)=ABS(1000000#*VKK(J)):J=J+1:L=L+2-
:NEXT I
4670 REM
4680 CI(L+1)=ABS(1000#*VKK(2*M))
4690 GOTO 5060
4700 IF GEROS(1)}POLOS(1) THEN 4710 ELSE 4900
4710 'REM      SINTESIS CAUER-L SERIE F=0 (CERO)      F=INFINITO (POLO)
4720 REM
4730 GRADOC=2*N+1:GRADOP=2*M
4740 REM      CALCULO DE H
4750 REM
4760 GOSUB 7360
4770 FOR J=1 TO (M+1):AA(J)=COEFC(J)*H:BB(J)=COEFP(J):NEXT J
4780 COEA=M+1:COEB=M+1
4790 REM
4800 REM      COEFICIENTES DEL NUMERADOR Y DENOMINADOR LISTOS PARA SINTESIS
4810 REM
4820 REM      DIVISION EN FRACCIONES CONTINUAS
4830 GOSUB 6920:L=0
4840 J=1:FOR I=1 TO M:CI(L+1)=ABS(1000#*VKK(J)):J=J+1
4850 CI(L+2)=ABS(1000000#*VKK(J)):J=J+1:L=L+2 :NEXT I

```

```

4860 CI(L+1)=ABS(1000#*VKK(2*M+1))
4870 GOTO 5060
4880 REM      SINTESIS CAUER-L SERIE F=0 (POLO)      F=INFINITO(CERO)
4890 REM
4900 GRADOC=2*M:GRADOP=2*M+1
4910 REM
4920 REM      CALCULO DE H
4930 REM
4940 GOSUB 7130
4950 FOR J=1 TO (M+1):AA(J)=COEFP(J):BB(J)=COEFC(J)*H:NEXT J
4960 COEA=M+1:COEB=M+1
4970 REM
4980 REM      COEFICIENTES DEL NUMERADOR Y DENOMINADOR LISTOS PARA SINTESIS
4990 REM
5000 REM      DIVISION EN FRACCIONES CONTINUAS
5010 REM
5020 GOSUB 6920
5030 CI(2)=ABS(1000000#*VKK(1)):L=2
5040 J=2:FOR I=1 TO M:CI(L+1)=ABS(1000#*VKK(J)):J=J+1
5050 CI(L+2)=ABS(1000000#*VKK(J)):J=J+1:L=L+2:NEXT I
5060 REM
5070 REM
5080 REM      ***  TERMINADA SINTESIS CAUER-L SERIE      ***
5090 REM
5100 REM
5110 REM
5120 REM      *** SINTESIS CAUER-C SERIE ***
5130 REM
5140 REM      CAUE-C -----  ARCHIVO CON RESULTADOS
5150 REM
5160 CAUER2$="A:CCAP.PRN"
5170 REM
5180 REM      SINTESIS CAUER-C PARA UNA SINGULARIDAD
5190 REM
5200 IF N=0 THEN 5220 ELSE IF H=0 THEN 5310 ELSE 5340
5210 REM
5220 'REM      CALCULO DE LA SINTESIS CAUER-C SERIE PARA UNA RED QUE NO TIENE
5230 REM      CEROS
5240 REM
5250 H=(20*(POLOS(1)^2-WO^2))/WO:CC(2)=ABS(1000000#/H):CC(1)=ABS(1000#*H/POLOS-
(1)^2)
5260 GOTO 6480
5270 REM
5280 REM      CALCULO DE LA SINTESIS CAUER-C SERIE PARA UNA RED QUE NO TIENE
5290 REM      POLOS
5300 REM
5310 H=-20*WO/(CEROS(1)^2-WO^2):CC(1)=ABS(1000#*H):CC(2)=ABS(1000000#/H/CEROS-
(1)^2)
5320 GOTO 6480
5330 REM

```



```

5340 'REM      SINTESIS CAUER-C PARA MAS DE UNA SINGULARIDAD
5350 REM
5360 REM
5370 REM      **** COEFICIENTES DEL DENOMINADOR ****
5380 REM
5390 REM      RAICES ----- VECTOR AUXILIAR
5400 REM
5410 REM      COEFP ----- VECTOR PARA COEFICIENTES DEL DENOMINADOR
5420 REM
5430 REM      **** COEFICIENTES DEL DENOMINADOR ****
5440 REM
5450 FOR J=1 TO M:RAICES(J)=POLOS(J)^2:NEXT J
5460 RS=M
5470 GOSUB 6760
5480 COEFP(1)=1#
5490 FOR I=1 TO M+1:COEFP(I+1)=AUX(I):NEXT I
5500 FOR J=1 TO N:RAICES(J)=CEROS(J)^2:NEXT J
5510 REM
5520 REM      COEFC ----- VECTOR PARA COEFICIENTES DEL NUMERADOR
5530 REM
5540 REM      **** COEFICIENTES DEL NUMERADOR ****
5550 RS=N
5560 GOSUB 6760
5570 COEFC(1)=1#
5580 FOR I=1 TO (N+1):COEFC(I+1)=AUX(I):NEXT I
5590 FOR J=1 TO (M+1):P(J)=COEFP(J):NEXT J'P(J) CONTIENE COEFICIENTES DEL DENOMI-
HADOR'
5600 FOR J=1 TO N+1:Q(J)=COEFC(J):NEXT J'Q(J) CONTIENE COEFICIENTES DEL NUMERA-
DOR(CEROS)'
5610 MIV=M+1:MIV=N+1:IIV=-1
5620 FOR I=1 TO MIV:IIV=IIV+1:NI=MIV-IIV:G(I)=P(NI):NEXT I
5630 IIV=-1
5640 FOR I=1 TO MIV:IIV=IIV+1:NI=MIV-IIV:H(I)=Q(NI):NEXT I
5650 FOR I=1 TO MIV:COEFP(I)=G(I):NEXT I
5660 FOR J=1 TO MIV:COEFC(J)=H(J):NEXT J
5670 IF N(>)H THEN 5680 ELSE 6120
5680 IF CEROS(1)<POLOS(1) THEN 5710 ELSE 5920
5690 REM      SINTESIS CAUER-C SERIE F=0 (POLO)      W=INFINITO (POLO)
5700 REM
5710 '
5720 REM
5730 REM
5740 GRADOC=2*N:GRADOP=2*M+1
5750 REM      CALCULO DE H
5760 REM
5770 REM
5780 GOSUB 7130
5790 FOR J=1 TO M+1:AA(J)=COEFC(J)*H:NEXT J
5800 FOR J=1 TO M+1:BB(J)=COEFP(J):NEXT J
5810 COEA=M+1:COEB=M+1

```

```

5820 REM
5830 REM      COEFICIENTES DEL NUMERADOR Y DENOMINADOR LISTOS PARA SINTESIS
5840 REM
5850 REM      DIVISION EN FRACCIONES CONTINUAS
5860 GOSUB 6920
5870 CC(2)=ABS(1000000#/VKK(1)):L=2
5880 J=2
5890 FOR I=2 TO N :CC(L+1)=ABS(1000#/VKK(J)):J=J+1:CC(L+2)=ABS(1000000#/VKK(J))-
:J=J+1:L=L+2 :NEXT I
5900 CC(L+1)=ABS(1000#/VKK(2*H))
5910 GOTO 6480
5920 '
5930 REM      SINTESIS CAUER-C SERIE F=0 (CERO)      W=INFINITO (CERO)
5940 REM
5950 GRADOC=2*N+1:GRADOP=2*H
5960 REM
5970 REM      CALCULO DE H
5980 GOSUB 7360
5990 FOR J=1 TO (N+1):AA(J)=COEFP(J):NEXT J
6000 FOR J=1 TO (N+1):BB(J)=COEFC(J)*H:NEXT J
6010 COEA=M+1:COEB=M+1
6020 REM
6030 REM      COEFICIENTES DEL NUMERADOR Y DENOMINADOR LISTOS PARA SINTESIS
6040 REM
6050 REM      DIVISION EN FRACCIONES CONTINUAS
6060 REM
6070 GOSUB 6920
6080 J=1:L=0
6090 FOR I=1 TO H
6100  CC(L+1)=ABS(1000#/VKK(J)):J=J+1:CC(L+2)=ABS(1000000#/VKK(J)):J=J+1:L=L+2-
:NEXT I
6110 GOTO 6480
6120 IF CEROS(1)>POLOS(1) THEN 6130 ELSE 6300
6130 'REM      SINTESIS CAUER-C SERIE F=0 (CERO)      F=INFINITO (POLO)
6140 REM
6150 GRADOC=2*N+1:GRADOP=2*H
6160 REM      CALCULO DE H
6170 REM
6180 GOSUB 7360
6190 FOR J=1 TO (M+1):AA(J)=COEFP(J):BB(J)=COEFC(J)*H:NEXT J
6200 COEA=M+1:COEB=M+1
6210 REM
6220 REM      COEFICIENTES DEL NUMERADOR Y DENOMINADOR LISTOS PARA SINTESIS
6230 REM
6240 REM      DIVISION EN FRACCIONES CONTINUAS
6250 GOSUB 6920:L=0
6260 J=1:FOR I=1 TO H:CC(L+1)=ABS(1000#/VKK(J)):J=J+1
6270 CC(L+2)=ABS(1000000#/VKK(J)):J=J+1:L=L+2:NEXT I
6280 CC(L+1)=ABS(1000#/VKK(2*H+1))
6290 GOTO 6480

```

```
6300 'REM      SINTESIS CAUER-C SERIE F=0 (POLO)      F=INFINITO(CERO)
6310 REM
6320 GRADOC=2*N:GRADOP=2*M+1
6330 REM
6340 REM      CALCULO DE H
6350 REM
6360 GOSUB 7130
6370 FOR J=1 TO (M+1):AA(J)=CDEFC(J)*H:BB(J)=COEFP(J):NEXT J
6380 COEA=M+1:COEB=M+1
6390 REM
6400 REM      COEFICIENTES DEL NUMERADOR Y DENOMINADOR LISTOS PARA SINTESIS
6410 REM
6420 REM      DIVISION EN FRACCIONES CONTINUAS
6430 REM
6440 GOSUB 6920
6450 CC(2)=ABS(1000000#/VKK(1)):L=2
6460 J=2:FOR I=1 TO M:CC(L+1)=ABS(1000#/VKK(J)):J=J+1
6470 CC(L+2)=ABS(1000000#/VKK(J)):J=J+1:L=L+2:NEXT I
6480 REM
6490 FOR I=1 TO PHAX2*2:FS(I)=FS(I)/FACTORN:FP(I)=FP(I)/FACTORN:CI(1)=CI(I)/FACTORN:CC(I)=CC(I)/FACTORN:NEXT I
6500 REM
6510 REM
6520 OPEN FOSTER1$ FOR OUTPUT AS #2
6530 OPEN FOSTER2$ FOR OUTPUT AS #3
6540 OPEN CAUER1$ FOR OUTPUT AS #4
6550 OPEN CAUER2$ FOR OUTPUT AS #5
6560 OPEN MODORAMA$ FOR OUTPUT AS #6
6570 OPEN ERROR1$ FOR OUTPUT AS #7
6580 FOR I=1 TO PHAX2*2
6590 IF FS(I)(<>0) THEN 6600 ELSE PRINT #2,0:GOTO 6610
6600 PRINT #2,FS(I)
6610 IF FP(I)(<>0) THEN 6620 ELSE PRINT #3,0:GOTO 6630
6620 PRINT #3,FP(I)
6630 IF CI(I)(<>0) THEN 6640 ELSE PRINT #4,0:GOTO 6650
6640 PRINT #4,CI(I)
6650 IF CC(I)(<>0) THEN 6660 ELSE PRINT #5,0:GOTO 6670
6660 PRINT #5,CC(I)
6670 NEXT I
6680 PRINT #6,N+1
6690 PRINT #6,N+M+1
6700 REM
6710 PRINT #7,0
6720 PRINT #7,"CALCULO CORRECTO DE SINTESIS"
6730 CLOSE #2,#3,#4,#5,#6,#7
6740 REM
6750 SHELL "123":RUN "A:CARGA1"
6760 'REM
6770 REM
6780 REM "SUBROUTINA PARA ENCONTRAR LOS COEFICIENTES"
```

```

6790 REM      AUX      ----- VECTOR PARA LOS COEFICIENTES
6800 REM      PRODUC   ----- VECTOR AUXILIAR
6810 REM
6820 GOTO 6830
6830 FOR I=1 TO RS:AUX(I)=0:PRODUC(I)=0:NEXT I
6840 AUX(1)=RAICES(1)
6850 FOR I=1 TO RS-1
6860 PRODUC(1)=RAICES(I+1)
6870 FOR J=1 TO I:PRODUC(J+1)=AUX(J)*PRODUC(1):NEXT J
6880 FOR J=1 TO I+1:AUX(J)=AUX(J)+PRODUC(J):NEXT J
6890 NEXT I
6900 FOR I=1 TO RS:AUX(I)=(-1)^I*AUX(I):NEXT I
6910 RETURN
6920 REM "SUBROUTINA PARA LA DIVISION EN FRACCIONES CONTINUAS"
6930 FOR I=1 TO COEA:A(I)=AA(I):NEXT I
6940 FOR I=1 TO COEB:B(I)=BB(I):NEXT I
6950 ELEMENTOS=M+M+1
6960 FOR J=1 TO ELEMENTOS
6970 VKK(J)=AA(1)/BB(1)
6980 FOR L=2 TO COEB:W=VKK(J)*BB(L):LI=L-1:C(LI)=AA(L)-W:NEXT L
6990 FOR L=1 TO COEB:AA(L)=BB(L):NEXT L
7000 IF COEA=COEB THEN 7050
7010 C(COEB)=AA(COEA)
7020 FOR L=1 TO COEB:BB(L)=C(L):NEXT L
7030 COEA=COEA-1
7040 GOTO 7090
7050 COEB1=COEB-1
7060 IF COEB1=0 THEN 7090
7070 FOR L=1 TO COEB1:BB(L)=C(L):NEXT L
7080 COEB=COEB-1
7090 NEXT J
7100 RETURN
7110 REM
7120 REM
7130 'REM "SUBROUTINA PARA CALCULAR H Y K0"
7140 REM "H=Z0+W0*(W0^2-WP^2)..../(W0^2-WC^2)...."
7150 REM
7160 REM
7170 P1=1:D1=1:P2=1:D2=1
7180 IF M<N THEN 7270
7190 FOR I=1 TO N
7200 P2=P2*POLOS(I)^2
7210 D2=D2*CEROS(I)^2:P1=P1*(CEROS(I)^2-W0^2):D1=D1*(POLOS(I)^2-W0^2)
7220 NEXT I
7230 IF A$(1)"2" THEN 7240 ELSE H= W0*D1/(Z0+P1):GOTO 7250
7240 H=Z0+W0*D1/P1
7250 VK0=H*D2/P2
7260 GOTO 7320
7270 FOR I=1 TO H:P1=P1*(CEROS(I)^2-W0^2):D1=D1*(POLOS(I)^2-W0^2):P2=P2*(POLOS-
(I)^2):D2=D2*(CEROS(I)^2)

```

```
7280 NEXT I
7290 IF A$(<)"2" THEN 7300 ELSE H=W0*D1/20/(P1*(CEROS(I)^2-W0^2)):GOTO 7310
7300 H=-20*W0*D1/(P1*(CEROS(I)^2-W0^2))
7310 VK0=(H*D2*CEROS(H)^2)/P2
7320 RETURN
7330 REM "H=20*(W0^2-WP^2).../NO(W0^2-WC^2)..."
7340 REM
7350 REM
7360 P1=1:D1=1:P2=1:D2=1
7370 IF M>H THEN 7460
7380 FOR I=1 TO H:P2=P2*(POLOS(I)^2)
7390 D2=D2*(CEROS(I)^2):P1=P1*(CEROS(I)^2-W0^2):D1=D1*(POLOS(I)^2-W0^2)
7400 NEXT I
7410 REM
7420 IF A$(<)"2" THEN 7430 ELSE H=D1/P1/W0/20:GOTO 7440
7430 H=-20*D1/(P1*W0)
7440 VK0=H*D2/P2
7450 GOTO 7520
7460 FOR I=1 TO H:P1=P1*(CEROS(I)^2-W0^2):D1=D1*(POLOS(I)^2-W0^2)
7470 D2=D2*(CEROS(I)^2):P2=P2*(POLOS(I)^2)
7480 NEXT I
7490 IF A$(<)"2" THEN 7500 ELSE H=D1*(POLOS(H)^2 -W0^2)/20/W0/P1:GOTO 7510
7500 H=20*D1*(POLOS(H)^2-W0^2)/(W0*P1)
7510 VK0=H*D2/(P2*(POLOS(H)^2))
7520 RETURN
7530 'REM SUBROUTINA PARA INTERCAMBIAR POLOS POR CEROS
7540 REM
7550 FOR I=1 TO H+2:SWAP CEROS(I),POLOS(I):NEXT I
7560 SWAP H,H
7570 RETURN
7580 REM
7590 REM          DETECCION DE ERRORES
7600 REM
7610 OPEN ERROR1$ FOR OUTPUT AS #1
7620 REM
7630 REM
7640 REM          ERR    -----  CODIGO DE ERROR EN BASIC
7650 REM          ERL    -----  NUMERO DE LINEA ASOCIADA CON ERROR
7660 REM
7670 WRITE #1,ERR,"CODIGO DE ERROR EN BASIC"
7680 WRITE #1,ERL,"LINEA ASOCIADA CON ERROR"
7690 OPEN "A:PROG.PRN" FOR OUTPUT AS #2
7700 WRITE #2,4
7710 REM
7720 CLOSE #1,#2
7730 RESUME 6750
7740 OPEN ERROR1$ FOR OUTPUT AS #2
7750 OPEN "A:PROG.PRN" FOR OUTPUT AS #3
7760 WRITE #3,4
7770 WRITE #2,A$
```

7780 CLOSE #2,#3  
7790 GOTO 6750

## 8.5 PROGRAMA ANALISIS

```

10 REH          ANALISIS
20 REH
30 REH
40 REH          2 - NOV. - 1986
50 REH
60 CLS:WIDTH 80:KEY OFF
70 LOCATE 12,22:COLOR 0,15:PRINT "ANALISIS DE REDES LC EN ALTA FRECUENCIA":COLOR
7,0
80 DEFDBL A-H,R-Z,0,P
90 REH
100 REH         DATO$ ----- ARCHIVO CONTIENE NODOS,RANAS,
110 REH         NUERO DE ELEMENTOS
120 REH
130 REH         ELEMENTO$ --- ARCHIVO ELEMENTOS DEL CIRCUITO
140 REH
150 REH         RESULTADO$ -- ARCHIVO RESULTADOS DEL ANALISIS
160 REH
170 REH         ERRORESA$ --- ARCHIVO ERRORES EN EL ANALISIS:
180 REH         1      EXISTE ERROR
190 REH         0      NO EXISTE ERROR
200 REH
210 REH
220 DATO$="A:DATOS.PRN":ERRORESA$="A:ERRORESA.PRN":OPCION$="A:OPCAN.PRN"
230 RESULTF$="A:RESULTF.PRN":RESULI$="A:RESULI.PRN":RESULR$="A:RESULR.PRN"
240 REANA$="A:REANA.PRN":OPCION1$="A:OPCAN1.PRN"
250 ELEMENTO$="A:ELEMENTO.PRN":ALTERNA$="A:ALTERNA.PRN"
260 REH
270 EG=.0434294482#
280 REH
290 ON ERROR GOTO 6340
300 OPEN DATO$ FOR INPUT AS #2
310 INPUT #2,H,M,N1
320 REH
330 REH
340 DIM V(7,M1)
350 OPEN ELEMENTO$ FOR INPUT AS #3
360 OPEN REANA$ FOR INPUT AS #4
370 OPEN ALTERNA$ FOR INPUT AS #5
380 FOR I=1 TO M1
390 LINE INPUT #3,X$
400 T=-14
410 FOR J=1 TO 7:T=T+15:V(J,I)=VAL(MID$(X$,T,14)):T=T-1:NEXT J
420 NEXT I

```

```
430 REM
440 REM
450 INPUT #4,REANA
460 INPUT #5,HD1
470 INPUT #5,HD2
480 INPUT #5,AL
490 INPUT #5,AC
500 INPUT #5,AR
510 CLOSE #2,#3,#4,#5
520 IF REANA=0 THEN 530 ELSE OPEN OPCION1$ FOR INPUT AS #2:INPUT #2,F1:INPUT
#2,F2:INPUT #2,N2:INPUT #2,I5:INPUT #2,A1$:CLOSE #2:GOTO 570
530 OPEN OPCION$ FOR INPUT AS #2
540 INPUT #2,F1:INPUT #2,F2:INPUT #2,N2:INPUT #2,I5:INPUT #2,A1$
550 CLOSE #2
560 REM
570 DIM A$(N*M)
580 REM          RANGO DE FRECUENCIAS
590 REM          F1      ----  FRECUENCIA INFERIOR
600 REM          F2      ----  FRECUENCIA SUPERIOR
610 REM          N2      ----  NUMERO DE FRECUENCIAS
620 REM
630 REM
640 REM
650 OPEN RESULT$ FOR APPEND AS #2
660 OPEN RESULTR$ FOR APPEND AS #3
670 OPEN RESULTI$ FOR APPEND AS #4
680 IF F1=F2 THEN 700
690 IF F2=0 THEN 700 ELSE 750
700 VA$="1"
710 F1=F1*1000000#
720 REM
730 GOTO 810
740 REM
750 VA$="2"
760 REM
770 F1=F1*1000000#
780 REM
790 REM
800 F2=F2*1000000#
810 REM
820 IF A1$="1" THEN 830 ELSE IF A1$="2" THEN 850 ELSE IF A1$="3" THEN 870 ELSE IF
A1$="4" THEN 890
830 REM
840 IF I5)=1 AND I5(<=N THEN 910 ELSE GOTO 6410
850 REM
860 IF I5)=1 AND I5(<=M THEN 910 ELSE GOTO 6410
870 REM
880 IF I5)=1 AND I5(<=M THEN 910 ELSE GOTO 6410
890 REM
900 IF I5 >= 1 AND I5(<= M THEN 910 ELSE GOTO 6410
```

```

910 REM
920 A1=VAL(A1$)
930 IF VA$="2" THEN 940 ELSE 970
940 REM
950 IF (F2/F1)>10 THEN 960 ELSE D=(F2-F1)/(N2-1):Z=1:GOTO 970
960 D=(F2/F1)^(1/(N2-1)):Z=2
970 REM
980 I1=1:F3=F1
990 REM          I1      -----  INDICADOR NUMERO DE FRECUENCIAS
1000 REM
1010 IF I1=1 THEN 1020 ELSE 1430
1020 REM
1030 REM *****  MATRIZ-INCIDENCIA (VECTORAS)      *****
1040 REM
1050 REM  FORMACION MATRIZ INCIDENCIA
1060 REM
1070 REM  MATRIZ-A      -----  ARCHIVO (CONTIENE A$ )
1080 REM
1090 REM
1100 FOR I=1 TO M*N:A$(I)="1":NEXT I
1110 REM
1120 REM
1130 FOR I=1 TO N1
1140 IF V(1,I)<3 THEN 1160 ELSE IF V(3,I)=0 THEN 1150 ELSE K=(V(3,I)-1)*M+V(2,I)-
:A$(K)="2":GOTO 1150
1150 IF V(4,I)=0 THEN 1160 ELSE K=(V(4,I)-1)*M+V(2,I):A$(K)="0":GOTO 1160
1160 NEXT I
1170 REM          ***      ADMITANCIA      ***
1180 REM
1190 REM  PROGRAMA PARA ESTRUCTURAR LA MATRIZ DE ADMITANCIA RAMAL Yb PARA UNA
1200 REM
1210 REM  SOLA FRECUENCIA
1220 REM
1230 REM  INDICADOR      :      F0      F
1240 REM
1250 REM                      0      0      CIRCUITO RESISTIVO
1260 REM                      0      1      CIRCUITO L-C
1270 REM                      1      1      CIRCUITO R-L-C-G
1280 REM
1290 REM          INICIALIZACION
1300 REM
1310 MATRIZYb$="A:MATRYb":PI=ATN(1#)*4#
1320 REM
1330 REM          MATRIZ Yb PARA CIRCUITO RESISTIVO
1340 REM
1350 F0=0:F=0
1360 FOR I=1 TO N1
1370 IF V(1,I)=4 OR V(1,I)=5 THEN 1400
1380 IF V(1,I)=3 OR V(1,I)=6 THEN 1410 ELSE F0=1:GOTO 1400
1390 REM

```



```
1400 F=1
1410 NEXT I
1420 REM
1430 W=2*PI*F3
1440 IF F0=0 AND F=0 THEN 1460 ELSE IF F0=0 AND F=1 THEN 1640 ELSE 1780
1450 REM
1460 REM ANALISIS PARA CIRCUITO RESISTIVO
1470 REM
1480 REM E1 ----- VECTOR DIMENSION(M) (ELEMENTOS DIAGONALES YE)
1490 DIM E1(M)
1500 REM FORMAR LA MATRIZ Yb=YE
1510 REM
1520 REM
1530 REM LECTURA DE LOS ELEMENTOS
1540 REM
1550 FOR I=1 TO M1
1560 REM
1570 IF V(1,I)=3 THEN 1580 ELSE IF V(1,I) <> 6 THEN 1590 ELSE E1(V(2,I))=E1(V(2-
,I))+V(5,I)*10^V(6,I):GOTO 1590
1580 E1(V(2,I))=E1(V(2,I))+1/(V(5,I)*10^V(6,I))
1590 NEXT I
1600 GOTO 2000
1610 REM
1620 REM FORMAR MATRIZ Yb PARA CIRCUITOS L-C
1630 REM
1640 REM E2 ----- VECTOR DIMENSION (M) (ELEMENTOS DIAGONALES YE )
1650 REM
1660 DIM E2(M)
1670 REM FORMACION DE LA MATRIZ Yb
1680 REM
1690 REM
1700 REM LECTURA DE ELEMENTOS
1710 REM
1720 FOR I=1 TO M1
1730 IF V(1,I)=4 THEN 1740 ELSE IF V(1,I) <> 5 THEN 1750 ELSE E2(V(2,I))=E2(V(2-
,I))+W*(V(5,I)*10^V(6,I)):GOTO 1750
1740 E2(V(2,I))=E2(V(2,I))-1/(W*V(5,I)*10^V(6,I))
1750 NEXT I
1760 GOTO 2000
1770 REM
1780 REM FORMAR MATRIZ Yb PARA CIRCUITOS R-L-C-G
1790 REM
1800 REM MATRYb ----- ARCHIVO PARA E1,E2
1810 REM
1820 REM E1 ----- VECTOR DIM(M)(PARTE REAL DE YE)
1830 REM
1840 REM E2 ----- VECTOR DIM(M)(PARTE IMAG. DE YE)
1850 REM
1860 REM
1870 DIM E1(M),E2(M)
```

```

1880 REM FORMACION DE LA MATRIZ YE (YE=Yb)
1890 REM
1900 REM LECTURA DE ELEMENTOS
1910 REM
1920 FOR I=1 TO NI
1930 IF V(1,I)-3=0 THEN 1940 ELSE IF V(1,I)-3=1 THEN 1950 ELSE IF V(1,I)-3=2 THEN
1960 ELSE IF V(1,I)-3=3 THEN 1970 ELSE 1980
1940 E1(V(2,I))=E1(V(2,I))+1/(V(5,I)*(10^V(6,I))):GOTO 1980
1950 E2(V(2,I))=E2(V(2,I))-1/(W*(V(5,I)*10^V(6,I))):GOTO 1980
1960 E2(V(2,I))=E2(V(2,I))+W*(V(5,I)*10^V(6,I)):GOTO 1980
1970 E1(V(2,I))=E1(V(2,I))+V(5,I)*10^V(6,I)
1980 NEXT I
1990 REM
2000 'REM
2010 REM      TERMINADO CALCULO MATRIZ ADMITANCIA      ***
2020 REM
2030 REM      *****  ADMITANCIAS  *****
2040 REM
2050 REM      *****  MATRIZ DE ADMITANCIA DE NODOS  *****
2060 REM
2070 MATRIZYH$="A:MATRYH":MATRIZAYB$="A:MATRAYB"
2080 IF F0=0 AND F=0 THEN 2090 ELSE IF F0=0 AND F=1 THEN 2480 ELSE 2880
2090 REM
2100 REM  ESTRUCTURAR LA MATRIZ Yn PARA CIRCUTOS RESISTIVOS
2110 REM  CALCULO DE A*Yb
2120 REM  Y1      -----  VECTOR(A*Yb)
2130 DIM Y1(N,H)
2140 REM
2150 REM
2160 REM  MULTIPLICACION A*Yb
2170 REM
2180 REM  X$      -----  VARIABLE AUX. CONTIENE ELEMENTO DE A
2190 REM
2200 FOR I=1 TO N
2210 FOR J=1 TO H: X$=A$((I-1)*H+J): T=VAL(X$)
2220 IF T=0 THEN 2230 ELSE IF T=1 THEN 2250 ELSE IF T=2 THEN 2240 ELSE END
2230 Y1(I,J)=-E1(J):GOTO 2250
2240 Y1(I,J)=E1(J)
2250 NEXT J
2260 NEXT I
2270 REM
2280 REM  A'      -----  TRANSPUESTA DE A
2290 REM
2300 REM      CALCULO Y1*A'
2310 DIM Y(N,H)
2320 REM
2330 FOR I=1 TO N
2340 FOR J=1 TO H
2350 Y(I,J)=0
2360 FOR K=1 TO H

```

```

2370 X$=A$((J-1)*M+K): T=VAL(X$)
2380 IF T=0 THEN 2390 ELSE IF T=1 THEN 2410 ELSE IF T=2 THEN 2400 ELSE END
2390 Y(I,J)=Y(I,J)-Y1(I,K):GOTO 2410
2400 Y(I,J)=Y(I,J)+Y1(I,K)
2410 NEXT K
2420 NEXT J
2430 NEXT I
2440 REM
2450 REM
2460 GOTO 3230
2470 REM
2480 'REM MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS PARA REDES L-C
2490 REM
2500 REM          CALCULO DE A*Yb
2510 REM
2520 REM          Y2          ----- VECTOR PARA A*Yb
2530 REM
2540 DIM Y2(N,H)
2550 REM
2560 REM          MULTIPLICACION A*Yb
2570 REM
2580 REM X$          ----- VARIABLE AUXILIAR CONTIENE ELEMENTO DE A$
2590 REM
2600 FOR I=1 TO N
2610 FOR J=1 TO M
2620 X$=A$((I-1)*M+J):X=VAL(X$)
2630 IF X=0 THEN 2640 ELSE IF X=1 THEN 2660 ELSE IF X=2 THEN 2650 ELSE END
2640 Y2(I,J)=-E2(J):GOTO 2660
2650 Y2(I,J)=E2(J)
2660 NEXT J
2670 NEXT I
2680 REM
2690 REM Y1*A'          A'          ----- TRANSPUESTA DE A
2700 REM
2710 REM          Y0          ----- MATRIZ Yn
2720 REM
2730 DIM Y0(N,N)
2740 FOR I=1 TO N
2750 FOR J=1 TO N
2760 FOR K=1 TO M
2770 X$=A$((J-1)*M+K):X=VAL(X$)
2780 IF X=0 THEN 2790 ELSE IF X=1 THEN 2810 ELSE IF X=2 THEN 2800 ELSE END
2790 Y0(I,J)=Y0(I,J)-Y2(I,K):GOTO 2810
2800 Y0(I,J)=Y0(I,J)+Y2(I,K)
2810 NEXT K
2820 NEXT J
2830 NEXT I
2840 REM
2850 REM
2860 GOTO 3230

```

```

2870 REM
2880 'REM      MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS PARA REDES L,C,R,G
2890 REM
2900 REM CALCULO DE A*Yb
2910 REM      Y1      -----  CONTIENE A*Yb (REAL)
2920 REM      Y2      -----  CONTIENE A*Yb (IMAG)
2930 REM
2940 DIM Y1(N,M),Y2(N,M)
2950 REM
2960 REM
2970 REM      MULTIPLICACION A*Yb
2980 FOR I=1 TO N
2990 FOR J=1 TO M
3000 X$=A$((I-1)*M+J):X=VAL(X$)
3010 IF X=0 THEN 3020 ELSE IF X=1 THEN 3040 ELSE IF X=2 THEN 3030 ELSE END
3020 Y1(I,J)=-E1(J):Y2(I,J)=-E2(J):GOTO 3040
3030 Y1(I,J)=E1(J):Y2(I,J)=E2(J)
3040 NEXT J
3050 NEXT I
3060 REM
3070 REM      CALCULO Y1*A'  A'=TRANSPUESTA DE A
3080 REM
3090 REM      Y      -----  MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS(REAL)
3100 REM
3110 REM      Y0     -----  MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS(IMAG)
3120 REM
3130 FOR I=1 TO N
3140 FOR J=1 TO N
3150 FOR K=1 TO M:X$=A$((J-1)*M+K):X=VAL(X$)
3160 IF X=0 THEN 3170 ELSE IF X=1 THEN 3190 ELSE IF X=2 THEN 3180 ELSE PRINT
"ERROR EN INGRESO DE DATOS":END
3170 Y(I,J)=Y(I,J)-Y1(I,K):Y0(I,J)=Y0(I,J)-Y2(I,K):GOTO 3190
3180 Y(I,J)=Y(I,J)+Y1(I,K):Y0(I,J)=Y0(I,J)+Y2(I,K)
3190 NEXT K
3200 NEXT J
3210 NEXT I
3220 REM
3230 'REM
3240 REM      TERMINADO CALCULO MATRIZ ADMITNODOS      ****
3250 REM
3260 REM      ****  ISVNVBIB      ****
3270 REM
3280 REM      CALCULO Is Y Vn
3290 REM
3300 REM
3310 REM      INICIALIZACION
3320 REM
3330 IF F0=0 AND F=0 THEN 3350 ELSE 4050
3340 REM
3350 REM CALCULO PARA UN CIRCUITO RESISTIVO

```

```

3360 REM
3370 ' REM ANALISIS PARA AC
3380 REM      E      -----  CONTIENE PARTE REAL FUENTES DE VOLTAJE
3390 REM      E0     -----  CONTIENE PARTE IMAG FUENTES DE VOLTAJE
3400 REM      C      -----  CONTIENE PARTE REAL FUENTE DE CORRIENTE
3410 REM      C0     -----  CONTIENE PARTE IMAG FUENTE DE CORRIENTE
3420 DIM E(H),E0(H),C(H),C0(H),C1(N),C2(N)
3430 REM
3440 REM
3450 REM      ESTRUCTURAR Ig Y Vg(COMPLEJOS)
3460 REM
3470 GOSUB 6240
3480 REM
3490 REM      PRODUCTO A*Yb*Vg
3500 REM
3510 FOR I=1 TO N
3520 FOR J=1 TO M:C1(I)=C1(I)-Y1(I,J)*E(J):C2(I)=C2(I)-Y1(I,J)*E0(J):NEXT J
3530 NEXT I
3540 REM
3550 REM      FORMACION VECTOR Is
3560 REM
3570 FOR I=1 TO N
3580 FOR J=1 TO M:X$=A$((I-1)*M+J):X=VAL(X$)
3590 IF X=0 THEN 3600 ELSE IF X=1 THEN 3620 ELSE IF X=2 THEN 3610 ELSE END
3600 C1(I)=C1(I)-C(J):C2(I)=C2(I)-C0(J):GOTO 3620
3610 C1(I)=C1(I)+C(J):C2(I)=C2(I)+C0(J)
3620 NEXT J
3630 NEXT I
3640 '
3650 REM
3660 REM SOLUCION SISTEMA DE ECUACIONES (ELIMINACION DE GAUSS)
3670 REM
3680 REM      Yn*Vn=Is
3690 IF N(>1 THEN 3700 ELSE C1(1)=C1(1)/Y(1,1):GOTO 3990
3700 '      CON PIVOTAJE SIMPLE
3710 REM
3720 REM
3730 R=I:T=ABS(Y(I,I))
3740 FOR J=I+1 TO N:IF T>ABS(Y(J,I)) THEN 3750 ELSE T=ABS(Y(J,I)):R=J:GOTO 3750
3750 NEXT J
3760 IF T<=1E-12 THEN 4030 ELSE IF R=I THEN 3830 ELSE 3780
3770 REM
3780 REM INTERCAMBIAR FILAS R y I
3790 REM
3800 FOR K=I TO N:T=Y(I,K):Y(I,K)=Y(R,K):Y(R,K)=T:NEXT K
3810 T=C1(I):C1(I)=C1(R):C1(R)=T
3820 REM CEROS BAJO PIVOTE
3830 FOR K=I+1 TO N
3840 T=-Y(K,I)/Y(I,I)
3850 FOR J=I+1 TO M:Y(K,J)=Y(K,J)+T*Y(I,J):NEXT J

```

```

3860 C1(K)=C1(K)+T*C1(I)
3870 NEXT K
3880 NEXT I
3890 REM
3900 REM EVALUACION DE INCOGNITAS Vn
3910 REM
3920 IF ABS(Y(N,N))<=1E-12 THEN 4030 ELSE C1(N)=C1(N)/Y(N,N):GOTO 3930
3930 FOR I=N-1 TO 1 STEP -1
3940 S=0#
3950 FOR K=I+1 TO N:S=S+Y(I,K)*C1(K):NEXT K
3960 C1(I)=(C1(I)-S)/Y(I,I)
3970 NEXT I
3980 REM
3990 REM          TERMINADO CALCULO VOLTAJES DE NODOS
4000 DIM Y0(N),Y2(N),C2(N)
4010 FOR I=1 TO N:C2(I)=0#:Y0(I)=0#:Y2(I)=0#:NEXT I
4020 GOTO 4980
4030 PRINT "MATRIZ DE ADMITANCIA DE NODOS DEL CIRCUITO ES SINGULAR"
4040 END
4050 '
4060 REM          ***   CALCULO DE TERMINOS INDEPENDIENTES   ***
4070 REM
4080 REM          . ***   Y VOLTAJES DE NODOS   ***
4090 REM
4100 REM
4110 REM          ***   ANALISIS PARA AC   ***
4120 REM
4130 REM          E   -----   CONTIENE PARTE REAL DE Vg
4140 REM
4150 REM          E0  -----   CONTIENE PARTE IMAG DE Vg
4160 REM
4170 REM          C   -----   CONTIENE PARTE REAL DE Ig
4180 REM
4190 REM          C0  -----   CONTIENE PARTE IMAG DE Ig
4200 REM
4210 DIM E(M),E0(M),C(M),C0(M)
4220 IF F0=0 AND F=1 THEN 4230 ELSE 4250
4230 REM
4240 FOR I=1 TO M:E1(I)=0:NEXT I
4250 REM          ***   FORMACION DE Ig Y Vg COMPLEJOS   ***
4260 REM
4270 GOSUB 6240
4280 REM
4290 REM          FORMACION (Ig-Yb*Vg)
4300 REM
4310 FOR I=1 TO M:C(I)=C(I)-(E1(I)*E(I)-E2(I)*E0(I)):CO(I)=CO(I)-(E1(I)*E0(I)+E-
(I)*E2(I)):NEXT I
4320 REM
4330 REM          FORMACION DE Is
4340 REM

```

```

4350 REH
4360 REH      C1      ----- PARTE REAL DE Is
4370 REH
4380 REH      C2      ----- PARTE IMAG DE Is
4390 REH
4400 DIM C1(N),C2(N)
4410 REH
4420 FOR I=1 TO N
4430 FOR J=1 TO M:X$=A$((I-1)*M+J):X=VAL(X$)
4440 IF X=0 THEN 4450 ELSE IF X=1 THEN 4470 ELSE IF X=2 THEN 4460 ELSE END
4450 C1(I)=C1(I)-C(J):C2(I)=C2(I)-C0(J):GOTO 4470
4460 C1(I)=C1(I)+C(J):C2(I)=C2(I)+C0(J)
4470 NEXT J
4480 NEXT I
4490 REH
4500 REH
4510 'REH      ***      SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES      ***
4520 REH
4530 REH      N      ----- NUMERO DE ECUACIONES
4540 REH      Y      ----- MATRIZ COEFICIENTES (N,N) REAL
4550 REH      Y0     ----- MATRIZ COEFICIENTES (N,N) IMAG
4560 REH      C1     ----- VECTOR TERMINOS INDEPENDIENTES REAL
4570 REH      C2     ----- VECTOR TERMINOS INDEPENDIENTES IMAG
4580 REH
4590 Q2=1E-12
4600 FOR Q6=1 TO N-1
4610 REH
4620 REH      BUSCAR PIVOTE
4630 REH
4640 Q5=SQR(Y(Q6,Q6)*Y(Q6,Q6)+Y0(Q6,Q6)*Y0(Q6,Q6)):Q4=Q6
4650 FOR Q3=Q6+1 TO N
4660 Q1=SQR(Y(Q3,Q6)*Y(Q3,Q6)+Y0(Q3,Q6)*Y0(Q3,Q6))
4670 IF Q5>Q1 THEN 4680 ELSE Q5=Q1:Q4=Q3:GOTO 4680
4680 NEXT Q3
4690 IF Q5>Q2 THEN 4720
4700 PRINT "MATRIZ DE COEFICIENTES ES SINGULAR":END
4710 REH
4720 IF Q4=Q6 THEN 4800
4730 REH
4740 REH      INTERCAMBIO FILAS Q4 Y Q6
4750 FOR Q3=Q6 TO N:Q5=Y(Q4,Q3):Y(Q4,Q3)=Y(Q6,Q3):Y(Q6,Q3)=Q5:Q5=Y0(Q4,Q3):Y0(Q4-
,Q3)=Y0(Q6,Q3):Y0(Q6,Q3)=Q5:NEXT Q3
4760 Q5=C1(Q4):C1(Q4)=C1(Q6):C1(Q6)=Q5:Q5=C2(Q4):C2(Q4)=C2(Q6):C2(Q6)=Q5
4770 REH
4780 REH      CEROS BAJO PIVOTE
4790 REH
4800 FOR Q5=Q6+1 TO N
4810 Q1=-1/(Y(Q6,Q6)*Y(Q6,Q6)+Y0(Q6,Q6)*Y0(Q6,Q6)) :Q3=Q1*(Y(Q5,Q6)*Y(Q6,Q6)-
+Y0(Q5,Q6)*Y0(Q6,Q6)):Q1=Q1*(Y0(Q5,Q6)*Y(Q6,Q6)-Y(Q5,Q6)*Y0(Q6,Q6))

```

```

4820 FOR Q4=Q6+1 TO H :00=Y(Q5,Q4)+03*Y(Q6,Q4)-01*Y0(Q6,Q4):Y0(Q5,Q4)=Y0(Q5,Q4)-
+03*Y0(Q6,Q4)+01*Y(Q6,Q4):Y(Q5,Q4)=00:NEXT Q4
4830 00=C1(Q5)+03*C1(Q6)-01*C2(Q6):C2(Q5)=C2(Q5)+03*C2(Q6)+01*C1(Q6):C1(Q5)=00
4840 NEXT Q5
4850 NEXT Q6
4860 IF SQR(Y(N,H)*Y(N,H)+Y0(N,H)*Y0(N,H))<02 THEN 4700
4870 REM
4880 REM      CALCULO DE INCOGNITAS
4890 REM
4900 00=1/(Y(N,H)*Y(N,H)+Y0(N,H)*Y0(N,H)):01=00*(C1(N)*Y(N,H)+C2(N)*Y0(N,H))-
:C2(N)=00*(C2(N)*Y(N,H)-C1(N)*Y0(N,H)):C1(N)=01
4910 FOR Q6=N-1 TO 1 STEP -1
4920 Q3=0#:01=0#
4930 FOR Q5=Q6+1 TO N
4940 Q3=Q3+Y(Q6,Q5)*C1(Q5)-Y0(Q6,Q5)*C2(Q5) :01=01+Y(Q6,Q5)*C2(Q5)+Y0(Q6,Q5)-
*C1(Q5)
4950 NEXT Q5
4960 Q7=1/(Y(Q6,Q6)*Y(Q6,Q6)+Y0(Q6,Q6)*Y0(Q6,Q6)) :00=Q7*((C1(Q6)-Q3)*Y(Q6,Q6)-
+(C2(Q6)-01)*Y0(Q6,Q6)):C2(Q6)=Q7*((C2(Q6)-01)*Y(Q6,Q6)-(C1(Q6)-Q3)*Y0(Q6,Q6))-
:C1(Q6)=00
4970 NEXT Q6
4980 REM
4990 REM
5000 REM
5010 REM      RESULTADO      -----      ARCHIVO FUNCION CALCULADA
5020 REM
5030 REM
5040 IF A1=1 THEN 5050 ELSE 5140
5050 REM
5060 REM      ALMACENAMIENTO VOLTAJE DE NODO
5070 REM
5080 REM
5090 IF Z=2 THEN 5100 ELSE PRINT #2,USING "###.###";F3/1000000!:GOTO 5110
5100 PRINT #2,USING "##.#####";LOG(F3/1000000!)*EG
5110 PRINT #3,USING "###.#####";C1(I5)*1000
5120 PRINT #4,USING "###.#####";C2(I5)*1000
5130 ERASE C1,C2,E1,E2,Y,Y0,Y1,Y2,E,E0,C,C0:GOTO 6080
5140 REM
5150 REM
5160 REM      CALCULO Vb=A'*Vn      Ib=Yb[Vb+Vg]-Ig
5170 REM
5180 '      CALCULAR Vb E Ib COMPLEJOS PARA UNA FRECUENCIA
5190 REM
5200 REM      CALCULO Vb E Ib COMPLEJOS
5210 REM
5220 DIM V1(H),V2(H),V11(H),V22(H)
5230 FOR I=1 TO H
5240 FOR J=1 TO H:X=A*((J-1)*H+I):X=VAL(X)
5250 IF X=0 THEN 5260 ELSE IF X=1 THEN 5280 ELSE IF X=2 THEN 5270 ELSE END
5260 V1(I)=V1(I)-C1(J):V2(I)=V2(I)-C2(J):V11(I)=V1(I):V22(I)=V2(I):GOTO 5280

```



```

5270 V1(I)=V1(I)+C1(J):V2(I)=V2(I)+C2(J):V22(I)=V2(I):V11(I)=V1(I)
5280 NEXT J
5290 NEXT I
5300 IF A1=2 THEN 5310 ELSE 5460
5310 IF REANA=0 THEN 5320 ELSE 5410
5320 IF Z=2 THEN 5330 ELSE PRINT #2,USING "###.###";F3/1000000!:GOTO 5340
5330 PRINT #2,USING "##.#####";LOG(F3/1000000!)*EG
5340 PRINT #3,USING "#####.###";(V1(ND2)-V1(ND1))*1000
5350 PRINT #4,USING "#####.###";(V2(ND2)-V2(ND1))*1000
5360 GOTO 5450
5370 REM
5380 REM      Vb      -----  ARCHIVO VOLTAJES DE RAMA
5390 REM
5400 REM
5410 IF Z=2 THEN 5420 ELSE PRINT #2,USING "###.###";F3/1000000!:GOTO 5430
5420 PRINT #2,USING "##.#####";LOG(F3/1000000!)*EG
5430 PRINT #3,USING "#####.###";V1(I5)*1000
5440 PRINT #4,USING "#####.###";V2(I5)*1000
5450 ERASE V1,V2,C1,C2,E1,E2,E,E0,C,G0,Y,Y0,Y1,Y2,V11,V22:GOTO 6080
5460 REM
5470 REM
5480 FOR I=1 TO N:V1(I)=V1(I)+E(I):NEXT I
5490 FOR I=1 TO N:V2(I)=V2(I)+E0(I):NEXT I
5500 REM
5510 REM
5520 DIM C3(H),C4(H)
5530 FOR I=1 TO N:C3(I)=E1(I)*V1(I)-E2(I)*V2(I):C4(I)=E1(I)*V2(I)+E2(I)*V1(I)-
-NEXT I
5540 REM
5550 FOR I=1 TO N1
5560 V(7,I)=PI*V(7,I)/180#
5570 IF V(1,I)>2 THEN 5600 ELSE C3(V(2,I))=C3(V(2,I))-V(5,I)*COS(V(7,I))*10-
^V(6,I):C4(V(2,I))=C4(V(2,I))-V(5,I)*SIN(V(7,I))*10^V(6,I) :GOTO 5600
5580 REM
5590 REM
5600 NEXT I
5610 IF A1=3 THEN 5620 ELSE 5840
5620 IF REANA=0 THEN 5630 ELSE 5770
5630 IF Z=2 THEN 5640 ELSE PRINT #2,USING "###.###";F3/1000000!:GOTO 5650
5640 PRINT #2,USING "##.#####";LOG(F3/1000000!)*EG
5650 W9=2*PI*F3
5660 IF AL=0 THEN 5670 ELSE 5700
5670 IR=(-W9)*AC*(C2(ND2)-C2(ND1))
5680 II=W9*AC*(C1(ND2)-C1(ND1))
5690 GOTO 5720
5700 IR=(C2(ND2)-C2(ND1))/W9/AL
5710 II=(C1(ND2)-C1(ND1))/W9/AL
5720 PRINT #3,USING "#####.###";IR*1000
5730 PRINT #4,USING "#####.###";II*1000
5740 GOTO 5810

```

```

5750 REM
5760 REM
5770 IF Z=2 THEN 5780 ELSE PRINT #2,USING "###.###";F3/1000000!:GOTO 5790
5780 PRINT #2,USING "##.#####";LOG(F3/1000000!)*EG
5790 PRINT #3,USING "#####.###";C3(I5)*1000
5800 PRINT #4,USING "#####.###";C4(I5)*1000
5810 ERASE C3,C4,C1,C2,E1,E2,E,E0,C,V11,V22,C0,Y,Y0,Y1,Y2,V1,V2:GOTO 6080
5820 REM
5830 REM
5840 IF REANA=0 THEN 5850 ELSE 5970
5850 IF Z=2 THEN 5860 ELSE PRINT #2,USING "###.###";F3/1000000!:GOTO 5870
5860 PRINT #2,USING "##.#####";LOG(F3/1000000!)*EG
5870 W9=2*PI*F3
5880 IF AC=0 THEN 5890 ELSE 5920
5890 PR=((C2(HD2)-C2(HD1))*C2(HD2)-C2(HD1))+((C1(HD2)-C1(HD1))*(C1(HD2)-C1(-
ND1))))/AR
5900 PII=((C2(HD2)-C2(HD1))*C2(HD2)-C2(HD1))+((C1(HD2)-C1(HD1))*(C1(HD2)--
C1(HD1))))/W9/AL
5910 GOTO 5940
5920 PR=((C2(HD2)-C2(HD1))*C2(HD2)-C2(HD1))+((C1(HD2)-C1(HD1))*(C1(HD2)-C1(-
ND1))))/AR
5930 PII=AC*W9*(((C2(HD2)-C2(HD1))*C2(HD2)-C2(HD1))+((C1(HD2)-C1(HD1))*(C1(-
ND2)-C1(HD1))))))
5940 PRINT #3,USING "#####.###";PR*1000*1000
5950 PRINT #4,USING "#####.###";PII*1000*1000
5960 GOTO 6070
5970 P2=V22(I5)*C3(I5)-V11(I5)*C4(I5)
5980 P1=V11(I5)*C3(I5)+V22(I5)*C4(I5)
5990 REM ALMACENAMIENTO POTENCIA
6000 REM
6010 REM
6020 IF Z=2 THEN 6030 ELSE PRINT #2,USING "###.###";F3/1000000!:GOTO 6040
6030 PRINT #2,USING "##.#####";LOG(F3/1000000!)*EG
6040 PRINT #3,USING "#####.###";P1*1000*1000
6050 PRINT #4,USING "#####.###";P2*1000*1000
6060 REM
6070 ERASE C1,C2,E1,E2,E,E0,C,C0,Y,Y0,Y1,Y2,V1,V2,C3,C4,V11,V22
6080 REM
6090 REM TERMINADO CALCULO ISVNYBIB ***
6100 REM
6110 LOCATE 25,65:COLOR 0,15:PRINT "CONTADOR = "I1;:COLOR 7,0
6120 I1=I1+1
6130 IF I1<=N2 THEN 6140 ELSE 6180
6140 IF F3<=F2 THEN 6150 ELSE F3=F2:GOTO 1000
6150 REM
6160 IF Z=2 THEN 6170 ELSE F3=F1+(I1-1)*D:GOTO 1000
6170 F3=F3*D:GOTO 1000
6180 CLOSE
6190 REM
6200 OPEN ERRORA$ FOR OUTPUT AS #1

```



```

170 REM                                     3   CAUER-L SERIE
180 REM                                     4   CAUER-C SERIE
190 REM          OPCAN  ----- ARCHIVO NODO O RAMA A ANALIZARSE
200 REM          ALTERNA ----- ARCHIVO NODO DE PARTIDA NODO DE LLEGADA
210 REM                                     ELEMENTO ENTRE NODOS
220 REM          POLOS(6) ---- INGRE(2-7,1)
230 REM          CEROS(6) ---- INGRE(2-7,2)
240 REM          V4      ----- MATRIZ PARA TOPOLOGIA DE LA RED
250 REM
260 PHAX1=7
270 DIM INGRE(PHAX1+1,2):DIM V4(7,30)
280 REM
290 REM          ***   INGRESO DE DATOS          ***
300 REM
310 OPEN INGRESO$ FOR INPUT AS #1
320 OPEN RESIN$ FOR INPUT AS #2
330 OPEN OPCAN$ FOR INPUT AS #3
340 INPUT #2,C$
350 FOR I=1 TO PHAX1
360 INPUT #1,INGRE(I,1),INGRE(I,2)
370 NEXT I
380 INPUT #3,FMIN
390 INPUT #3,FMAX
400 INPUT #3,RANGO
410 INPUT #3,OPCION
420 INPUT #3,PPA1
430 CLOSE
440 REM
450 REM          TERMINADO INGRESO DE DATOS
460 REM
470 REM
480 CONTADOR=0
490 FOR J=2 TO PHAX1:IF INGRE(J,1)=0 THEN 500 ELSE CONTADOR=CONTADOR+1:GOTO 500
500 NEXT J
510 H=CONTADOR:CONTADOR=0
520 FOR J=2 TO PHAX1:IF INGRE(J,2)=0 THEN 530 ELSE CONTADOR=CONTADOR+1:GOTO 530
530 NEXT J
540 H=CONTADOR
550 REM
560 REM
570 REM DATAH ----- ARCHIVO. DATOS PARA ANALISIS DE RED SINTESIS
580 REM RESIN  ----- ARCHIVO TIPO DE RED SINTESIS
590 REM C$     ----- INDICADOR TIPO DE RED A SER ANALIZADA
600 REM NODOS  ----- NUMERO DE NODOS
610 REM RAMAS  ----- NUMERO DE RAMAS
620 REM N1     ----- NUMERO DE ELEMENTOS
630 REM H      ----- POLOS
640 REM H      ----- CEROS
650 REM INDUCTAN ---- RESUL(1...8,1)
660 REM PERDIDAS ---- RESUL(1...8,2)

```

```

670 REM CAPACIT ----  RESUL(1...8,3)
680 REM PERDIDAS ----  RESUL(1...8,4)
690 REM
700 REM
710 NE=16:NELEMENTOS=0
720 NODOS=N+1:DIH RESUL(8,4)
730 REM
740 REM ELEMENTO ---  ARCHIVO (7,1-RAMAS).
750 REM                CONTIENE CARACTERISTICAS DE CADA RAMA
760 REM DATOS  ----- ARCHIVO NODOS, RAMAS, NUMERO DE ELEMENTOS
770 REM V      ----- VECTOR (7)
780 REM V(1)  ----- TIPO DE ELEMENTO
790 REM                FUENTE DE VOLTAJE          1
800 REM                RESISTENCIA                3
810 REM                INDUCTANCIA                4
820 REM                CAPACITANCIA              5
830 REM V(2)  ----- RAMA
840 REM V(3)  ----- NODO DE PARTIDA
850 REM V(4)  ----- NODO DE LLEGADA
860 REM V(5)  ----- VALOR DEL ELEMENTO
870 REM V(6)  ----- FACTOR DE MULTIPLICACION
880 REM                SIN FACTOR                0
890 REM                NANO                      -9
900 REM                PICO                      -12
910 REM V(6)  ----- FASE (GRADOS)
920 REM
930 REM                CARACTERISTICAS DE LA FUENTE DE EXCITACION .
940 REM                FUENTE DE VOLTAJE          1 VOLTIO, IMPEDANCIA INTERNA 50 OHMIOS
950 REM
960 OPEN ELEMENTO$ FOR OUTPUT AS #1
970 OPEN DATO$ FOR OUTPUT AS # 2
980 V(1)=1:V(2)=1:V(3)=0:V(4)=0:V(5)=1:V(6)=0:V(7)=0
990 GOSUB 2900
1000 V(1)=3:V(4)=1:V(5)=50
1010 GOSUB 2900
1020 REM
1030 IF C$="1" THEN 1040 ELSE IF C$="2" THEN 1610 ELSE IF C$="3" THEN 2000 ELSE
IF C$="4" THEN 2350 :ELSE PRINT "ERROR AL INGRESAR INDICADOR DE RED A SER ANALI-
ZADA":BEEP:BEEP:END
1040 REM
1050 REM                ALMACENAMIENTO DE DATOS DEACUERDO A LA TOPOLOGIA DE LA RED
1060 REM                OBTENIDA EN EL PROCESO DE SINTESIS.
1070 REM                EL PROGRAMA OBTIENE LOS DATOS NECESARIOS PARA REALIZAR EL
1080 REM                ANALISIS SOLO PARA UN TIPO DE RED A LA VEZ.
1090 REM
1100 REM                INGRESO DE DATOS PARA REDES FOSTER SERIE
1110 REM
1120 OPEN DATA$ FOR INPUT AS # 3
1130 REM
1140 GOSUB 2790

```

```
1150 REM
1160 IF M=N THEN 1170 ELSE IF M>N THEN 1370 ELSE IF M=0 THEN 1440 ELSE 1510
1170 IF RESUL(1,1)=0 THEN 1180 ELSE LE=2:V(1)=4:V(5)=RESUL(1,1):V(6)=-9:GOTO 1190
1180 LE=4:V(1)=5:V(5)=RESUL(1,3):V(6)=-12
1190 V(2)=2:V(3)=1:V(4)=2
1200 GOSUB 2900
1210 J=3:I=2:L=2:L4=1
1220 IF RESUL(1,LE)=0 THEN 1230 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(3)=I-1:V(4)=I:V(5)=RESUL(1-
,LE):V(6)=0:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 1230
1230 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=I:V(4)=I+1:V(5)=RESUL(L,L4):V(6)=-9:J=J+1
1240 GOSUB 2900
1250 IF RESUL(L,L4+1)=0 THEN 1260 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(L,L4+1):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900 :GOTO 1260
1260 V(1)=5:V(2)=J:V(3)=I:V(4)=I+1:V(5)=RESUL(L,L4+2):V(6)=-12:J=J+1
1270 GOSUB 2900
1280 IF RESUL(L,L4+3)=0 THEN 1290 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(L,L4+3):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 1290
1290 IF I)=MODOS-1 THEN 1300 ELSE I=I+1:L=I:GOTO 1230
1300 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=MODOS:V(4)=0:V(5)=RESUL(M+1,L4):V(6)=-9:J=J+1
1310 GOSUB 2900
1320 IF RESUL(M+1,L4+1)=0 THEN 1330 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(M+1,L4+1):V(-
6)=0:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 1330
1330 V(1)=5:V(2)=J:V(5)=RESUL(M+1,L4+2):V(6)=-12:J=J+1
1340 GOSUB 2900
1350 IF RESUL(M+1,L4+3)=0 THEN 1360 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(M+1,L4+3):V(-
6)=0:GOSUB 2900:GOTO 1360
1360 GOTO 2950
1370 IF M=0 THEN 1380 ELSE J=2:I=1:L=2:L4=1:GOTO 1230
1380 J=2:V(1)=4:V(2)=J:V(3)=1:V(4)=0:V(5)=RESUL(M+1,1):V(6)=-9:J=J+1:GOSUB 2900
1390 IF RESUL(M+1,2)=0 THEN 1400 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(M+1,2):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900 :GOTO 1400
1400 V(1)=5:V(2)=J:V(4)=0:V(5)=RESUL(M+1,3):V(6)=-12:J=J+1
1410 GOSUB 2900
1420 IF RESUL(M+1,4)=0 THEN 1430 ELSE V(1)=3 :V(2)=J :V(5)=RESUL(M+1,4) :V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 1430
1430 GOTO 2950
1440 J=2:V(1)=4:V(2)=J:V(3)=1:V(4)=2:V(5)=RESUL(1,1):V(6)=-9:J=J+1
1450 GOSUB 2900
1460 IF RESUL(1,2)=0 THEN 1470 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(1,2):V(6)=0:J=J+1
:GOSUB 2900:GOTO 1470
1470 V(1)=5:V(2)=J:V(3)=2:V(4)=0:V(5)=RESUL(1,3):V(6)=-12:J=J+1
1480 GOSUB 2900
1490 IF RESUL(1,4)=0 THEN 1500 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(1,4):V(6)=0:J=J+1-
:GOSUB 2900:GOTO 1500
1500 GOTO 2950
1510 J=2:V(1)=4:V(2)=J:V(3)=1:V(4)=2:V(5)=RESUL(1,1):V(6)=-9:J=J+1
1520 GOSUB 2900
1530 IF RESUL(1,2)=0 THEN 1540 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(1,2):V(6)=0:J=J+1-
:GOSUB 2900:GOTO 1540
1540 V(1)=5:V(2)=J:V(3)=2:V(4)=3:V(5)=RESUL(1,3):V(6)=-12:J=J+1
```

```

1550 GOSUB 2900
1560 IF RESUL(1,4)=0 THEN 1570 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(1,4):V(6)=0:J=J+1-
:GOSUB 2900 :GOTO 1570
1570 L=-1:I=2:L4=1:GOTO 1290
1580 REH
1590 REH      INGRESO DE DATOS PARA REDES FOSTER PARALELO
1600 REH
1610 OPEN DATA$ FOR INPUT AS # 3
1620 REH
1630 GOSUB 2790
1640 REH
1650 IF M=H THEN 1660 ELSE IF M>H THEN 1800 ELSE J=2:I=2:L=3:L4=1:GOTO 1890
1660 IF RESUL(1,1)=0 THEN 1670 ELSE LE=2:V(1)=4 :V(5)=RESUL(1,1):V(6)=-9:GOTO
1680
1670 LE=4:V(1)=5:V(5)=RESUL(1,3):V(6)=-12
1680 V(2)=2:V(3)=1:V(4)=0
1690 GOSUB 2900
1700 J=3:I=2:L4=1
1710 IF RESUL(1,LE)=0 THEN 1720 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(3)=1:V(4)=0:V(5)=RESUL(1-
,LE):V(6)=0:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 1720
1720 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=1:V(4)=I:V(5)=RESUL(I,L4):V(6)=-9:J=J+1
1730 GOSUB 2900
1740 IF RESUL(I,L4+1)=0 THEN 1750 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(I,L4+1):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 1750
1750 V(1)=5:V(2)=J:V(3)=I:V(4)=0:V(5)=RESUL(I,L4+2):V(6)=-12 :J=J+1
1760 GOSUB 2900
1770 IF RESUL(I,L4+3)=0 THEN 1780 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(I,L4+3):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 1780
1780 IF I<NODOS THEN 1790 ELSE GOTO 2950
1790 I=I+1:GOTO 1720
1800 L4=1:J=2:V(1)=4:V(2)=J:V(3)=1:V(4)=0:V(5)=RESUL(1,1):V(6)=-9:J=J+1
1810 GOSUB 2900
1820 IF RESUL(1,2)=0 THEN 1830 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(1,2):V(6)=0:J=J+1-
:GOSUB 2900 :GOTO 1830
1830 V(1)=5:V(2)=J:V(5)=RESUL(1,3):V(6)=-12:J=J+1
1840 GOSUB 2900
1850 IF RESUL(1,4)=0 THEN 1860 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(1,4):V(6)=0:J=J+1-
:GOSUB 2900:GOTO 1860
1860 IF N=0 THEN 1870 ELSE I=2:GOTO 1720
1870 GOTO 2950
1880 REH
1890 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=1:V(4)=I:V(5)=RESUL(L-1,1):V(6)=-9:J=J+1
1900 GOSUB 2900
1910 IF RESUL(L-1,2)=0 THEN 1920 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(L-1,2):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 1920
1920 V(1)=5:V(2)=J:V(3)=I:V(4)=0:V(5)=RESUL(L-1,3):V(6)=-12:J=J+1
1930 GOSUB 2900
1940 IF RESUL(L-1,4)=0 THEN 1950 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(L-1,4):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 1950
1950 IF I=NODOS THEN 1960 ELSE I=I+1:L=L+1:GOTO 1890

```

```
1960 GOTO 2950
1970 REM
1980 REM      INGRESO DE DATOS PARA REDES CAUER -L SERIE
1990 REM
2000 OPEN DATAN$ FOR INPUT AS # 3
2010 REM
2020 GOSUB 2790
2030 REM
2040 IF RESUL(1,1)=0 THEN 2050 ELSE J=2:I=1:GOTO 2190
2050 J=2:I=1
2060 V(1)=5:V(2)=J:V(3)=I:V(4)=0:V(5)=RESUL(I,3):V(6)=-12:J=J+1
2070 GOSUB 2900
2080 IF RESUL(I,4)=0 THEN 2090 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(I,4):V(6)=0:J=J+1-
:GOSUB 2900:GOTO 2090
2090 IF I<NODOS THEN 2100 ELSE IF RESUL(M+1,3)=0 THEN 2140 ELSE 2170
2100 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=I:V(4)=I+1:V(5)=RESUL(I+1,1):V(6)=-9:J=J+1
2110 GOSUB 2900
2120 IF RESUL(I+1,2)=0 THEN 2130 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(I+1,2):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 2130
2130 I=I+1:GOTO 2060
2140 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=NODOS:V(4)=0:V(5)=RESUL(M+1,1):V(6)=-9:J=J+1
2150 GOSUB 2900
2160 IF RESUL(M+1,2)=0 THEN 2170 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(M+1,2):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 2170
2170 GOTO 2950
2180 REM
2190 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=I:V(4)=I+1:V(5)=RESUL(I,1):V(6)=-9:J=J+1
2200 GOSUB 2900
2210 IF RESUL(I,2)=0 THEN 2220 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(I,2):V(6)=0:J=J+1-
:GOSUB 2900:GOTO 2220
2220 V(1)=5:V(2)=J:V(3)=I+1:V(4)=0:V(5)=RESUL(I,3):V(6)=-12:J=J+1
2230 GOSUB 2900
2240 IF RESUL(I,4)=0 THEN 2250 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(I,4):V(6)=0:J=J+1-
:GOSUB 2900:GOTO 2250
2250 IF I>NODOS-1 THEN 2260 ELSE I=I+1:GOTO 2190
2260 IF M=0 THEN 2300 ELSE IF RESUL(M+1,3)=0 THEN 2270 ELSE 2300
2270 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=NODOS:V(4)=0:V(5)=RESUL(M+1,1):V(6)=-9:J=J+1
2280 GOSUB 2900
2290 IF RESUL(M+1,2)=0 THEN 2300 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(M+1,2):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 2300
2300 GOTO 2950
2310 REM
2320 REM
2330 REM      INGRESO DE DATOS PARA REDES CAUER C-SERIE
2340 REM
2350 OPEN DATAN$ FOR INPUT AS # 3
2360 REM
2370 GOSUB 2790
2380 REM
2390 IF RESUL(1,1)=0 THEN 2400 ELSE J=2:I=1:GOTO 2630
```



```
2400 J=2:I=1
2410 V(1)=5:V(2)=J:V(3)=I:V(4)=I+1:V(5)=RESUL(I,3):V(6)=-12 :J=J+1
2420 GOSUB 2900
2430 IF RESUL(I,4)=0 THEN 2440 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(I,4):V(6)=0:J=J+1-
:GOSUB 2900 :GOTO 2440
2440 IF I<=NODOS-1 THEN 2450 ELSE IF RESUL(N+1,3)=0 THEN 2540 ELSE 2610
2450 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=I+1:V(4)=0:V(5)=RESUL(I+1,1):V(6)=-9:J=J+1
2460 GOSUB 2900
2470 IF RESUL(I+1,2)=0 THEN 2480 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(I+1,2):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 2480
2480 I=I+1
2490 IF I=NODOS THEN 2500 ELSE 2410
2500 IF RESUL(N+1,3)<>0 THEN 2510 ELSE 2610
2510 V(1)=5:V(2)=J:V(3)=NODOS:V(4)=0:V(5)=RESUL(N+1,3):V(6)=-12:J=J+1
2520 GOSUB 2900
2530 IF RESUL(N+1,4)=0 THEN 2610 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(N+1,4):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 2610
2540 IF M=0 THEN 2550 ELSE 2580
2550 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=2:V(4)=0:V(5)=RESUL(N+1,1):V(6)=-9:J=J+1
2560 GOSUB 2900
2570 IF RESUL(N+1,2)=0 THEN 2610 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(N+1,2):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 2610
2580 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=NODOS:V(4)=0:V(5)=RESUL(N+1,1):V(6)=-9:J=J+1
2590 GOSUB 2900
2600 IF RESUL(N+1,2)=0 THEN 2610 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(N+1,2):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 2610
2610 GOTO 2950
2620 REM
2630 V(1)=4:V(2)=J:V(3)=I:V(4)=0:V(5)=RESUL(I,1):V(6)=-9:J=J+1
2640 GOSUB 2900
2650 IF RESUL(I,2)=0 THEN 2660 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(I,2):V(6)=0:J=J+1-
:GOSUB 2900:GOTO 2660
2660 IF I<NODOS THEN 2670 ELSE IF RESUL(N+1,3)=0 THEN 2730 ELSE 2740
2670 V(1)=5:V(2)=J:V(3)=I:V(4)=I+1:V(5)=RESUL(I,3):V(6)=-12:J=J+1
2680 GOSUB 2900
2690 IF RESUL(I,4)=0 THEN 2700 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(I,4):V(6)=0:J=J+1-
:GOSUB 2900:GOTO 2700
2700 I=I+1:GOTO 2630
2710 V(1)=4:V(2)=RAMAS:V(3)=NODOS:V(4)=0:V(5)=RESUL(N+1,1):V(6)=-9
2720 GOSUB 2900
2730 GOTO 2950
2740 V(1)=5:V(2)=J:V(3)=NODOS:V(4)=0:V(5)=RESUL(N+1,3):V(6)=-12:J=J+1
2750 GOSUB 2900
2760 IF RESUL(N+1,4)=0 THEN 2730 ELSE V(1)=3:V(2)=J:V(5)=RESUL(N+1,4):V(6)=0-
:J=J+1:GOSUB 2900:GOTO 2730
2770 REM
2780 REM          SUBROUTINA LECTURA RESULTADOS DE SINTESIS
2790 REM
2800 FOR I=1 TO NE
2810 IF EOF(3) THEN 2870
```

```

2820 INPUT #3,RESUL(I,1),RESUL(I,2)
2830 IF EOF(3) THEN 2870
2840 INPUT #3,RESUL(I,3),RESUL(I,4)
2850 IF EOF(3) THEN 2870
2860 NEXT I
2870 REH
2880 RETURN
2890 REH
2900 REH      SUBRUTINA PARA ALMACENAR ELEMENTOS
2910 FOR K=1 TO 7:PRINT #1,V(K),-NEXT K
2920 PRINT #1,:NELEMENTOS=NELEMENTOS+1
2930 FOR K=1 TO 7:V4(K,NELEMENTOS)=V(K):NEXT K
2940 RETURN
2950 REH
2960 PRINT #2,NODOS,NELEMENTOS-1,NELEMENTOS
2970 CLOSE #1,#2,#3
2980 IF PPAI <1 THEN 2990 ELSE VN1=0:VN2=0:L=0:C=0:GOTO 3140
2990 NCONTA=0
3000 FOR I=1 TO NELEMENTOS
3010 IF V4(1,I)=4 OR V4(1,I)=5 THEN 3020 ELSE 3030
3020 NCONTA=NCONTA+1
3030 IF NCONTA=OPCION THEN 3040 ELSE NEXT I
3040 IF V4(1,I)=4 THEN 3050 ELSE C=V4(5,I)*10^V4(6,I):L=0:GOTO 3060
3050 L=V4(5,I)*10^V4(6,I):C=0
3060 VN1=V4(3,I):VN2=V4(4,I)
3070 REH
3080 REH      VN1      -----  NODO DE PARTIDA (PRIMER NODO)
3090 REH      VN2      -----  NODO DE LLEGADA (SEGUNDO NODO)
3100 REH      L        -----  INDUCTANCIA ENTRE NODOS
3110 REH      C        -----  CAPACITANCIA ENTRE NODOS
3120 REH
3130 REH
3140 OPEN ALTERNAS$ FOR OUTPUT AS #1
3150 PRINT #1,VN1
3160 PRINT #1,VN2
3170 PRINT #1,L
3180 PRINT #1,C
3190 CLOSE
3200 RUN"A:ANALISIS"

```

### 8.7 PROGRAMA INGRESO2

```

10 REH      NOHBRE DEL PROGRAMA INGRESO2
20 REH
30 REH      2 FEBRERO /87
40 REH      ***      INGRESO DE DATOS PARA CUALQUIER TIPO DE RED      ***
50 REH
60 CLS:KEY OFF

```

```

70 REM DATOS ----- ARCHIVO(NUMERO DE NODOS,DE RAMAS,DE ELEMENTOS)
80 REM
90 REM ELEMENTO ----- ARCHIVO ( ELEMENTOS )
100 REM
110 REM INICIALIZACION
120 REM
130 REM H ----- NUMERO DE NODOS
140 REM
150 REM H ----- NUMERO DE RAMAS
160 REM
170 REM
180 CONTADOR=0
190 DATO$="A:DATOS.PR#":ELEMENTO$="A:ELEMENTO.PR#":DATOS1$="A:DATOS1.PR#":ELEMEN-
T01$="A:ELEMEN1.PR#"
200 REM
210 REM
220 REM
230 REM
240 REM V ----- VECTOR(CARACTERISTICAS DEL ELEMENTO),DIM(7)
250 REM
260 REM V(1) ----- TIPO DE ELEMENTO
270 REM
280 REM V(2) ----- RAMA
290 REM
300 REM V(3) ----- NODO DESDE
310 REM
320 REM V(4) ----- NODO HASTA
330 REM
340 REM V(5) ----- VALOR DEL ELEMENTO
350 REM
360 REM V(6) ----- VALOR DEL PREFIJO (UNIDADES)
370 REM
380 REM V(7) ----- FASE
390 REM
400 REM
410 REM
420 REM CODIGO A UTILIZARSE
430 OPEN ELEMENTO1$ FOR INPUT AS #1
440 OPEN DATOS1$ FOR INPUT AS #2
450 OPEN ELEMENTO$ FOR OUTPUT AS #3
460 OPEN DATO$ FOR OUTPUT AS #4
470 INPUT #2,H,H
480 FOR J=1 TO 15
490 INPUT #1,V$
500 V(1)=VAL(MID$(V$,1,2))
510 V(2)=VAL(MID$(V$,8,3))
520 V(3)=VAL(MID$(V$,16,4))
530 V(4)=VAL(MID$(V$,26,4))
540 V(5)=VAL(MID$(V$,31,10))
550 V(6)=VAL(MID$(V$,43,5))

```

```

560 V(7)=VAL(MID$(V$,50,6))
570 PRINT V$
580 FOR I=1 TO 7:PRINT V(I),:NEXT I
590 IF V(5)=0 THEN 870
600 IF V(1)=1 OR V(1)≠6 THEN 630 ELSE PRINT "error en 490":GOTO 930
610 REM
620 REM
630 REM
640 IF V(1)≠1 THEN 650 ELSE V(3)=0:V(4)=0:GOTO 760
650 IF V(1)≠2 THEN 660 ELSE V(3)=0:V(4)=0:GOTO 760
660 IF V(2) ≠ 0 AND V(2) ≠M THEN 680 ELSE PRINT "error en 630":GOTO 930
670 REM
680 REM
690 IF V(3)=0 AND V(3)≠M THEN 710 ELSE PRINT "error en 650":GOTO 930
700 REM
710 REM
720 IF V(4)=0 AND V(4)≠M THEN 730 ELSE PRINT "error en 670":GOTO 930
730 IF V(4)=V(3) AND V(1)=1 THEN 760
740 IF V(4)≠V(3). AND V(1)≠1 THEN 760 ELSE PRINT "error en 690":GOTO 930
750 REM
760 REM
770 REM
780 REM
790 IF V(1)=1 OR V(1)=2 THEN 800 ELSE V(7)=0:GOTO 820
800 REM
810 REM
820 REM ALMACENAMIENTO DE V
830 REM
840 FOR I=1 TO 7:PRINT #3,V(I),:NEXT I
850 PRINT #3,
860 CONTADOR=CONTADOR+1
870 NEXT J
880 REM
890 PRINT #4,M,M,CONTADOR
900 CLOSE
910 STOP
920 RUN"A:ANALISIS"
930 CLOSE:STOP:LOCATE 10,10:PRINT "ERROR EN EL INGRESO DE DATOS: REGRESO A LA
HOJA DE CALCULO"
940 SHELL "123"

```

### 8.8 PROGRAMA SENSIT1

```

10 REM          SENSITIVIDAD
20 REM
30 CLS:LOCATE 12,30:COLOR 0,7:PRINT "CALCULO DE SENSITIVIDAD":COLOR 7,0:LOCATE
25,80
40 DEFDBL A-H,R-Z,0,P

```

```

50 REM
60 REM      DATO$ ----- ARCHIVO CONTIENE NODOS, RAMAS,
70 REM                               NUMERO DE ELEMENTOS
80 REM
90 REM      ELEMENTO$ --- ARCHIVO ELEMENTOS DEL CIRCUITO
100 REM
110 REM      RESULDER$ -- ARCHIVO DERIVADA VOLTAJE DE NODOS
120 REM      ERRORESA$ --- ARCHIVO ERRORES EN EL ANALISIS:
130 REM                               1 EXISTE ERROR
140 REM                               0 NO EXISTE ERROR
150 REM      RESULV$ --- ARCHIVO VOLTAJE DE NODOS
160 REM      OPCION$ ---- ARCHIVO FRECUENCIA
170 REM      RESULS$ ---- ARCHIVO SENSITIVIDAD
180 REM      RESULVV$ ---- ARCHIVO VARIACIONES DE VOLTAJE
190 DATO$="A:DATOS.PRN":ERRORESA$="A:ERRORESA.PRN":OPCION$="A:FRECSSENS.PRN"
200 RESULV$="A:RESULV.PRN":RESULS$="A:RESULS.PRN"
210 ELEMENTO$="A:ELEMENTO.PRN":RESULVV$="A:RESULVV.PRN"
220 REM
230 ON ERROR GOTO 6090
240 OPEN DATO$ FOR INPUT AS #2
250 INPUT #2,N,H,N1
260 REM
270 REM
280 DIM V(7,N1)
290 OPEN ELEMENTO$ FOR INPUT AS #3
300 OPEN OPCION$ FOR INPUT AS #4
310 REM
320 FOR I=1 TO N1
330 INPUT #3,V(1,I),V(2,I),V(3,I),V(4,I),V(5,I),V(6,I),V(7,I)
340 PRINT #3,
350 NEXT I
360 INPUT #4,F3
370 REM
380 CLOSE #2,#3,#4
390 DIM A$(N*H)
400 REM
410 REM
420 F3=F3*1000000!
430 REM
440 REM ***** MATRIZ-INCIDENCIA (VECTORAS) *****
450 REM
460 REM FORMACION MATRIZ INCIDENCIA
470 REM
480 REM MATRIZ-A ----- ARCHIVO (CONTIENE A$ )
490 REM
500 REM
510 FOR I=1 TO M*N:A$(I)="1":NEXT I
520 REM
530 REM
540 FOR I=1 TO N1

```

```

550 IF V(1,I)<3 THEN 570 ELSE IF V(3,I)=0 THEN 560 ELSE K=(V(3,I)-1)*H+V(2,I)-
:A$(K)="2":GOTO 560
560 IF V(4,I)=0 THEN 570 ELSE K=(V(4,I)-1)*H+V(2,I):A$(K)="0":GOTO 570
570 NEXT I
580 REM      ***      ADMITANCIA      ***
590 REM
600 REM  PROGRAMA PARA ESTRUCTURAR LA MATRIZ DE ADMITANCIA RAMAL Yb PARA UNA
610 REM
620 REM  SOLA FRECUENCIA
630 REM
640 REM  INDICADOR      :      F0      F
650 REM
660 REM                  0      0      CIRCUITO RESISTIVO
670 REM                  0      1      CIRCUITO L-C
680 REM                  1      1      CIRCUITO R-L-C-G
690 REM
700 REM      INICIALIZACION
710 REM
720 MATRIZYb$="A:MATRYb":PI=ATN(1#)*4#
730 REM
740 REM      MATRIZ Yb PARA CIRCUITO RESISTIVO
750 REM
760 F0=0:F=0
770 FOR I=1 TO N1
780 IF V(1,I)=4 OR V(1,I)=5 THEN 810
790 IF V(1,I)=3 OR V(1,I)=6 THEN 820 ELSE F0=1:GOTO 810
800 REM
810 F=1
820 NEXT I
830 W=2*PI*F3
840 IF F0=0 AND F=0 THEN 860 ELSE IF F0=0 AND F=1 THEN 1040 ELSE 1180
850 REM
860 REM  ANALISIS PARA CIRCUITO RESISTIVO
870 REM
880 REM  E1      -----  VECTOR DIMENSION(H) (ELEMENTOS DIAGONALES YE)
890 DIM E1(H)
900 REM      FORMAR LA MATRIZ Yb=YE
910 REM
920 REM
930 REM  LECTURA DE LOS ELEMENTOS
940 REM
950 FOR I=1 TO N1
960 REM
970 IF V(1,I)=3 THEN 980 ELSE IF V(1,I)<>6 THEN 990 ELSE E1(V(2,I))=E1(V(2,I))-
+V(5,I)*10^V(6,I):GOTO 990
980 E1(V(2,I))=E1(V(2,I))+1/(V(5,I)*10^V(6,I))
990 NEXT I
1000 GOTO 1400
1010 REM
1020 REM  FORMAR MATRIZ Yb PARA CIRCUITOS L-C

```

```

1030 REM
1040 REM E2 ----- VECTOR DIMENSION (N) (ELEMENTOS DIAGONALES YE )
1050 REM
1060 DIM E2(M)
1070 REM FORMACION DE LA MATRIZ Yb
1080 REM
1090 REM
1100 REM LECTURA DE ELEMENTOS
1110 REM
1120 FOR I=1 TO N1
1130 IF V(1,I)=4 THEN 1140 ELSE IF V(1,I) <> 5 THEN 1150 ELSE E2(V(2,I))=E2(V(2-
,I))+W*(V(5,I)*10^V(6,I)):GOTO 1150
1140 E2(V(2,I))=E2(V(2,I))-1/(W*V(5,I)*10^V(6,I))
1150 NEXT I
1160 GOTO 1400
1170 REM
1180 REM FORMAR MATRIZ Yb PARA CIRCUITOS R-L-C-G
1190 REM
1200 REM MATRYb ----- ARCHIVO PARA E1,E2
1210 REM
1220 REM E1 ----- VECTOR DIM(M)(PARTE REAL DE YE)
1230 REM
1240 REM E2 ----- VECTOR DIM(M)(PARTE IMAG. DE YE)
1250 REM
1260 REM
1270 DIM E1(M),E2(M)
1280 REM FORMACION DE LA MATRIZ YE (YE=Yb)
1290 REM
1300 REM LECTURA DE ELEMENTOS
1310 REM
1320 FOR I=1 TO N1
1330 IF V(1,I)-3=0 THEN 1340 ELSE IF V(1,I)-3=1 THEN 1350 ELSE IF V(1,I)-3=2 THEN
1360 ELSE IF V(1,I)-3=3 THEN 1370 ELSE 1380
1340 E1(V(2,I))=E1(V(2,I))+1/(V(5,I)*(10^V(6,I))):GOTO 1380
1350 E2(V(2,I))=E2(V(2,I))-1/(W*(V(5,I)*10^V(6,I))):GOTO 1380
1360 E2(V(2,I))=E2(V(2,I))+W*(V(5,I)*10^V(6,I)):GOTO 1380
1370 E1(V(2,I))=E1(V(2,I))+V(5,I)*10^V(6,I)
1380 NEXT I
1390 REM
1400 'REM
1410 REM TERMINADO CALCULO MATRIZ ADMITANCIA ***
1420 REM
1430 REM ***** ADMITNODOS *****
1440 REM
1450 REM ***** MATRIZ DE ADMITANCIA DE NODOS *****
1460 REM
1470 MATRIZYH$="A:MATRYN":MATRIZAYB$="A:MATRAYB"
1480 IF FO=0 AND F=0 THEN 1490 ELSE IF FO=0 AND F=1 THEN 1880 ELSE 2280
1490 'REM
1500 REM ESTRUCTURAR LA MATRIZ Yn PARA CIRCUITOS RESISTIVOS

```

```
1510 REM CALCULO DE A*Yb
1520 REM Y1 ----- VECTOR(A*Yb)
1530 DIM Y1(N,H)
1540 REM
1550 REM
1560 REM MULTIPLICACION A*Yb
1570 REM
1580 REM X$ ----- VARIABLE AUX. CONTIENE ELEMENTO DE A
1590 REM
1600 FOR I=1 TO H
1610 FOR J=1 TO H: X$=A$((I-1)*H+J): T=VAL(X$)
1620 IF T=0 THEN 1630 ELSE IF T=1 THEN 1650 ELSE IF T=2 THEN 1640 ELSE END
1630 Y1(I,J)=-E1(J):GOTO 1650
1640 Y1(I,J)=E1(J)
1650 NEXT J
1660 NEXT I
1670 REM
1680 REM A' ----- TRANSPUESTA DE A
1690 REM
1700 REM CALCULO Y1*A'
1710 DIM Y(H,H)
1720 REM
1730 FOR I=1 TO H
1740 FOR J=1 TO H
1750 Y(I,J)=0
1760 FOR K=1 TO H
1770 X$=A$((J-1)*H+K): T=VAL(X$)
1780 IF T=0 THEN 1790 ELSE IF T=1 THEN 1810 ELSE IF T=2 THEN 1800 ELSE END
1790 Y(I,J)=Y(I,J)-Y1(I,K):GOTO 1810
1800 Y(I,J)=Y(I,J)+Y1(I,K)
1810 NEXT K
1820 NEXT J
1830 NEXT I
1840 REM
1850 REM
1860 GOTO 2640
1870 REM
1880 'REM MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS PARA REDES L-C
1890 REM
1900 REM CALCULO DE A*Yb
1910 REM
1920 REM Y2 ----- VECTOR PARA A*Yb
1930 REM
1940 DIM Y2(H,H)
1950 REM
1960 REM MULTIPLICACION A*Yb
1970 REM
1980 REM X$ ----- VARIABLE AUXILIAR CONTIENE ELEMENTO DE A$
1990 REM
2000 FOR I=1 TO H
```



```

2010 FOR J=1 TO N
2020 X$=A$((I-1)*N+J):X=VAL(X$)
2030 IF X=0 THEN 2040 ELSE IF X=1 THEN 2060 ELSE IF X=2 THEN 2050 ELSE END
2040 Y2(I,J)=-E2(J):GOTO 2060
2050 Y2(I,J)=E2(J)
2060 NEXT J
2070 NEXT I
2080 REM
2090 REM Y1*A'          A'      -----  TRANSPUESTA DE A
2100 REM
2110 REM              Y0      -----  MATRIZ Yn
2120 REM
2130 DIM Y0(N,N)
2140 FOR I=1 TO N
2150 FOR J=1 TO N
2160 FOR K=1 TO N
2170 X$=A$((J-1)*N+K):X=VAL(X$)
2180 IF X=0 THEN 2190 ELSE IF X=1 THEN 2210 ELSE IF X=2 THEN 2200 ELSE END
2190 Y0(I,J)=Y0(I,J)-Y2(I,K):GOTO 2210
2200 Y0(I,J)=Y0(I,J)+Y2(I,K)
2210 NEXT K
2220 NEXT J
2230 NEXT I
2240 REM
2250 REM
2260 GOTO 2640
2270 REM
2280 'REM          MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS PARA REDES L,C,R,G
2290 REM
2300 REM CALCULO DE A*Yb
2310 REM          Y1      -----  CONTIENE A*Yb (REAL)
2320 REM          Y2      -----  CONTIENE A*Yb (IMAG)
2330 REM
2340 REM          MULTIPLICACION A*Yb
2350 FOR I=1 TO N
2360 FOR J=1 TO N
2370 X$=A$((I-1)*N+J):X=VAL(X$)
2380 IF X=0 THEN 2390 ELSE IF X=1 THEN 2410 ELSE IF X=2 THEN 2400 ELSE END
2390 Y1(I,J)=-E1(J):Y2(I,J)=-E2(J):GOTO 2410
2400 Y1(I,J)=E1(J):Y2(I,J)=E2(J)
2410 NEXT J
2420 NEXT I
2430 REM
2440 REM          CALCULO Y1*A'   A'=TRANSPUESTA DE A
2450 REM
2460 REM          Y          -----  MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS(REAL)
2470 REM
2480 REM          Y0          -----  MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS(IMAG)
2490 REM
2500 FOR I=1 TO N

```

```

2510 FOR J=1 TO H
2520 FOR K=1 TO M: X$=A$((J-1)*M+K): X=VAL(X$)
2530 IF X=0 THEN 2540 ELSE IF X=1 THEN 2560 ELSE IF X=2 THEN 2550 ELSE PRINT
"ERROR EN INGRESO DE DATOS":END
2540 Y(I,J)=Y(I,J)-Y1(I,K):YO(I,J)=YO(I,J)-Y2(I,K):GOTO 2560
2550 Y(I,J)=Y(I,J)+Y1(I,K):YO(I,J)=YO(I,J)+Y2(I,K)
2560 NEXT K
2570 NEXT J
2580 NEXT I
2590 DIM B4(N,N),B5(N,N)
2600 FOR I=1 TO N:FOR J=1 TO M:B4(I,J)=Y(I,J):B5(I,J)=YO(I,J):NEXT J,I
2610 REM
2620 REM
2630 REM
2640 'REM
2650 REM          TERMINADO CALCULO MATRIZ ADMITNODOS      ***
2660 REM
2670 REM          **** ISVNVBIB          ****
2680 REM
2690 REM          CALCULO Is Y Vn
2700 REM
2710 REM
2720 REM          INICIALIZACION
2730 REM
2740 IF F0=0 AND F=0 THEN 2760 ELSE 3460
2750 REM
2760 REM CALCULO PARA UN CIRCUITO RESISTIVO
2770 REM
2780 ' REM ANALISIS PARA AC
2790 REM          E          ----- CONTIENE PARTE REAL FUENTES DE VOLTAJE
2800 REM          E0         ----- CONTIENE PARTE IMAG FUENTES DE VOLTAJE
2810 REM          C          ----- CONTIENE PARTE REAL FUENTE DE CORRIENTE
2820 REM          CO         ----- CONTIENE PARTE IMAG FUENTE DE CORRIENTE
2830 DIM E(N),E0(N),C(N),CO(N),C1(N),C2(N)
2840 REM
2850 REM
2860 REM          ESTRUCTURAR Ig Y Vg(COMPLEJOS)
2870 REM
2880 GOSUB 5990
2890 REM
2900 REM          PRODUCTO A*Yb*Vg
2910 REM
2920 FOR I=1 TO N
2930 FOR J=1 TO M:C1(I)=C1(I)-Y1(I,J)*E(J):C2(I)=C2(I)-Y1(I,J)*E0(J):NEXT J
2940 NEXT I
2950 REM
2960 REM          FORMACION VECTOR Is
2970 REM
2980 FOR I=1 TO N
2990 FOR J=1 TO M: X$=A$((I-1)*M+J): X=VAL(X$)

```

```

3000 IF X=0 THEN 3010 ELSE IF X=1 THEN 3030 ELSE IF X=2 THEN 3020 ELSE END
3010 C1(I)=C1(I)-C(J):C2(I)=C2(I)-C0(J):GOTO 3030
3020 C1(I)=C1(I)+C(J):C2(I)=C2(I)+C0(J)
3030 NEXT J
3040 NEXT I
3050 '
3060 REM
3070 REM SOLUCION SISTEMA DE ECUACIONES (ELIMINACION DE GAUSS)
3080 REM
3090 REM      Yn*Vn=Is
3100 IF N(>1) THEN 3110 ELSE C1(1)=C1(1)/Y(1,1):GOTO 3400
3110 '      CON PIVOTAJE SIMPLE
3120 REM
3130 REM
3140 R=I:T=ABS(Y(I,I))
3150 FOR J=I+1 TO N:IF T<ABS(Y(J,I)) THEN 3160 ELSE T=ABS(Y(J,I)):R=J:GOTO 3160
3160 NEXT J
3170 IF T<=1E-12 THEN 3440 ELSE IF R=I THEN 3240 ELSE 3190
3180 REM
3190 REM INTERCAMBIAR FILAS R y I
3200 REM
3210 FOR K=I TO N:T=Y(I,K):Y(I,K)=Y(R,K):Y(R,K)=T:NEXT K
3220 T=C1(I):C1(I)=C1(R):C1(R)=T
3230 REM CEROS BAJO PIVOTE
3240 FOR K=I+1 TO N
3250 T=-Y(K,I)/Y(I,I)
3260 FOR J=I+1 TO N:Y(K,J)=Y(K,J)+T*Y(I,J):NEXT J
3270 C1(K)=C1(K)+T*C1(I)
3280 NEXT K
3290 NEXT I
3300 REM
3310 REM EVALUACION DE INCOGNITAS Vn
3320 REM
3330 IF ABS(Y(N,N))<=1E-12 THEN 3440 ELSE C1(N)=C1(N)/Y(N,N):GOTO 3340
3340 FOR I=N-1 TO 1 STEP -1
3350 S=0#
3360 FOR K=I+1 TO N:S=S+Y(I,K)*C1(K):NEXT K
3370 C1(I)=(C1(I)-S)/Y(I,I)
3380 NEXT I
3390 REM
3400 REM      TERMINADO CALCULO VOLTAJES DE NODOS
3410 DIM YO(N),Y2(N),C2(N)
3420 FOR I=1 TO N:C2(I)=0#:YO(I)=0#:Y2(I)=0#:NEXT I
3430 GOTO 4500
3440 PRINT "MATRIZ DE ADMITANCIA DE NODOS DEL CIRCUITO ES SINGULAR"
3450 END
3460 '
3470 REM      ***      CALCULO DE TERMINOS INDEPENDIENTES      ***
3480 REM
3490 REM      ***      Y VOLTAJES DE NODOS      ***

```

```

3500 REM
3510 REM
3520 REM      ***  ANALISIS PARA AC      ***
3530 REM
3540 REM      E      -----  CONTIENE PARTE REAL DE Vg
3550 REM
3560 REM      E0     -----  CONTIENE PARTE IMAG DE Vg
3570 REM
3580 REM      C      -----  CONTIENE PARTE REAL DE Ig
3590 REM
3600 REM      C0     -----  CONTIENE PARTE IMAG DE Ig
3610 REM
3620 DIM E(M),EO(M),C(M),CO(M)
3630 IF F0=0 AND F=1 THEN 3640 ELSE 3660
3640 REM
3650 FOR I=1 TO M:E1(I)=0:NEXT I
3660 REM      ***  FORMACION DE Ig Y Vg COMPLEJOS  ***
3670 REM
3680 GOSUB 5990
3690 REM
3700 REM      FORMACION (Ig-Yb*Vg)
3710 REM
3720 FOR J=1 TO M:C(I)=C(I)-(E1(I)*E(I)-E2(I)*EO(I)):CO(I)=CO(I)-(E1(I)*EO(I)-
+E(I)*E2(I)):NEXT I
3730 REM
3740 REM      FORMACION DE Is
3750 REM
3760 REM
3770 REM      C1      -----  PARTE REAL DE Is
3780 REM
3790 REM      C2      -----  PARTE IMAG DE Is
3800 REM
3810 DIM C1(N),C2(N)
3820 REM
3830 FOR I=1 TO N
3840 FOR J=1 TO M:X$=A$((I-1)*M+J):X=VAL(X$)
3850 IF X=0 THEN 3860 ELSE IF X=1 THEN 3880 ELSE IF X=2 THEN 3870 ELSE END
3860 C1(I)=C1(I)-C(J):C2(I)=C2(I)-CO(J):GOTO 3880
3870 C1(I)=C1(I)+C(J):C2(I)=C2(I)+CO(J)
3880 NEXT J
3890 NEXT I
3900 REM
3910 REM
3920 'REM      ***  SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES      ***
3930 REM
3940 REM      N      -----  NUMERO DE ECUACIONES
3950 REM      Y      -----  MATRIZ COEFICIENTES (N,N) REAL
3960 REM      Y0     -----  MATRIZ COEFICIENTES (N,N) IMAG
3970 REM      C1     -----  VECTOR TERMINOS INDEPENDIENTES REAL
3980 REM      C2     -----  VECTOR TERMINOS INDEPENDIENTES IMAG

```

```

3990 REH
4000 02=1E-12
4010 FOR Q6=1 TO H-1
4020 REH
4030 REH      BUSCAR PIVOTE
4040 REH
4050 05=SQR(Y(Q6,Q6)*Y(Q6,Q6)+Y0(Q6,Q6)*Y0(Q6,Q6)):Q4=Q6
4060 FOR Q3=Q6+1 TO H:01=SQR(Y(Q3,Q6)*Y(Q3,Q6)+Y0(Q3,Q6)*Y0(Q3,Q6)):IF 05>01
THEN 4070 ELSE 05=01:Q4=Q3:GOTO 4070
4070 NEXT Q3
4080 IF 05>02 THEN 4110
4090 PRINT "MATRIZ DE COEFICIENTES ES SINGULAR":END
4100 REH
4110 IF Q4=Q6 THEN 4190
4120 REH
4130 REH      INTERCAMBIO FILAS Q4 Y Q6
4140 FOR Q3=Q6 TO H:05=Y(Q4,Q3):Y(Q4,Q3)=Y(Q6,Q3):Y(Q6,Q3)=05:05=Y(Q4,Q3):Y(Q4-
,Q3)=Y0(Q6,Q3):Y0(Q6,Q3)=05:NEXT Q3
4150 05=C1(Q4):C1(Q4)=C1(Q6):C1(Q6)=05:05=C2(Q4):C2(Q4)=C2(Q6):C2(Q6)=05
4160 REH
4170 REH      CEROS BAJO PIVOTE
4180 REH
4190 FOR Q5=Q6+1 TO H
4200 01=-1/(Y(Q6,Q6)*Y(Q6,Q6)+Y0(Q6,Q6)*Y0(Q6,Q6)) :03=01*(Y(Q5,Q6)*Y(Q6,Q6)-
+Y0(Q5,Q6)*Y0(Q6,Q6)):01=01*(Y0(Q5,Q6)*Y(Q6,Q6)-Y(Q5,Q6)*Y0(Q6,Q6))
4210 FOR Q4=Q6+1 TO H :00=Y(Q5,Q4)+03*Y(Q6,Q4)-01*Y0(Q6,Q4):Y0(Q5,Q4)=Y0(Q5,Q4)-
+03*Y0(Q6,Q4)+01*Y(Q6,Q4):Y(Q5,Q4)=00:NEXT Q4
4220 00=C1(Q5)+03*C1(Q6)-01*C2(Q6):C2(Q5)=C2(Q6)+03*C2(Q6)+01*C1(Q6):C1(Q5)=00
4230 NEXT Q5
4240 NEXT Q6
4250 IF SQR(Y(H,H)*Y(H,H)+Y0(H,H)*Y0(H,H))<02 THEN 4090
4260 REH
4270 REH      CALCULO DE INCOGNITAS
4280 REH
4290 00=1/(Y(H,H)*Y(H,H)+Y0(H,H)*Y0(H,H)):01=00*(C1(H)*Y(H,H)+C2(H)*Y0(H,H))-
:C2(H)=00*(C2(H)*Y(H,H)-C1(H)*Y0(H,H)):C1(H)=01
4300 FOR Q6=N-1 TO 1 STEP -1
4310 03=0#:01=0#
4320 FOR Q5=Q6+1 TO H
4330 03=03+Y(Q6,Q5)*C1(Q5)-Y0(Q6,Q5)*C2(Q5) :01=01+Y(Q6,Q5)*C2(Q5)+Y0(Q6,Q5)-
*C1(Q5)
4340 NEXT Q5
4350 07=1/(Y(Q6,Q6)*Y(Q6,Q6)+Y0(Q6,Q6)*Y0(Q6,Q6)) :00=07*((C1(Q6)-03)*Y(Q6,Q6)-
+(C2(Q6)-01)*Y0(Q6,Q6)):C2(Q6)=07*((C2(Q6)-01)*Y(Q6,Q6)-(C1(Q6)-03)*Y0(Q6,Q6))-
:C1(Q6)=00
4360 NEXT Q6
4370 REH      VHAG ----- MAGNITUD VOLTAJE DE NODO
4380 REH      YANG ----- ANGULO VOLTAJE DE NODO
4390 REH
4400 DIH VHAG(N),VANG(N)

```

```

4410 FOR I=1 TO N:VMAG(I)=SQR(C1(I)^2+C2(I)^2):VANG(I)=ATN(C2(I)/C1(I)):NEXT I
4420 OPEN RESULV$ FOR OUTPUT AS #2
4430 OPEN RESULS$ FOR OUTPUT AS #3
4440 OPEN RESULVV$ FOR OUTPUT AS #4
4450 FOR I=1 TO N
4460 WRITE #2,"      NODO",I
4470 PRINT #2,USING "#####.#####";VMAG(I)*1000,VANG(I)*180/PI
4480 PRINT #2,
4490 NEXT I
4500 REM
4510 REM
4520 REM
4530 REM      SUBROUTINA INVERSION DE MATRIZ COMPLEJA
4540 REM      METODO SHIPLEY
4550 REM
4560 REM      INVERSION QUEDA EN LAS MISMAS LOCALIDADES
4570 REM
4580 REM      Y + jY0
4590 REM
4600 FOR I=1 TO N:FOR J=1 TO H:Y(I,J)=B4(I,J):YO(I,J)=B5(I,J):NEXT J,I
4610 ERASE B4,B5
4620 FOR KI=1 TO N
4630 Q=1/(Y(KI,KI)*Y(KI,KI)+YO(KI,KI)*YO(KI,KI))
4640 Y(KI,KI)=Y(KI,KI)*Q
4650 YO(KI,KI)=-YO(KI,KI)*Q
4660 FOR KI1=1 TO N
4670 IF KI1=KI THEN 4770
4680 Q=-Y(KI,KI)*Y(KI1,KI)+YO(KI,KI)*YO(KI1,KI)
4690 YO(KI1,KI)=-Y(KI,KI)*YO(KI1,KI)-YO(KI,KI)*Y(KI1,KI)
4700 Y(KI1,KI)=Q
4710 FOR KI2=1 TO N
4720 IF KI2=KI THEN 4760
4730 Q=Y(KI1,KI2)+Y(KI1,KI)*Y(KI,KI2)-YO(KI1,KI)*YO(KI,KI2)
4740 YO(KI1,KI2)=YO(KI1,KI2)+Y(KI1,KI)*YO(KI,KI2)+YO(KI1,KI)*Y(KI,KI2)
4750 Y(KI1,KI2)=Q
4760 NEXT KI2
4770 NEXT KI1
4780 FOR KI2=1 TO N
4790 IF KI2=KI THEN 4830
4800 Q=Y(KI,KI)*Y(KI,KI2)-YO(KI,KI)*YO(KI,KI2)
4810 YO(KI,KI2)=Y(KI,KI)*YO(KI,KI2)+YO(KI,KI)*Y(KI,KI2)
4820 Y(KI,KI2)=Q
4830 NEXT KI2
4840 NEXT KI
4850 DIM X(N,H),X0(N,H),X1(N,H),X2(N,H),Z(H),Z0(H),Z1(H),Z2(H)
4860 REM
4870 REM      CALCULO (1/Yn)*A = X+jX0
4880 FOR I=1 TO N
4890 FOR J=1 TO H
4900 X(I,J)=0:X0(I,J)=0

```

```

4910 FOR L=1 TO H
4920 X=VAL(A$((L-1)*H+J))
4930 IF X=0 THEN 4940 ELSE IF X=1 THEN 4960 ELSE IF X=2 THEN 4950 ELSE END
4940 X(I,J)=X(I,J)-Y(I,L):X0(I,J)=X0(I,J)-Y0(I,L):GOTO 4960
4950 X(I,J)=X(I,J)+Y(I,L):X0(I,J)=X0(I,J)+Y0(I,L)
4960 NEXT L
4970 NEXT J,I
4980 REM
4990 REM      CALCULO (1/Yn)*A*Yb = X1+jX2
5000 REM
5010 FOR I=1 TO M
5020 FOR J=1 TO H
5030 X1(I,J)=(X(I,J)*E1(J))-(X0(I,J)*E2(J)):X2(I,J)=(X0(I,J)*E1(J))+(X(I,J)*E2(-
J))
5040 NEXT J,I
5050 REM
5060 REM      CALCULO A'*Vn = Z+jZ0
5070 REM
5080 FOR J=1 TO M
5090 Z(J)=0:Z0(J)=0
5100 FOR L=1 TO H
5110 X=VAL(A$((L-1)*H+J))
5120 IF X=0 THEN 5130 ELSE IF X=1 THEN 5150 ELSE IF X=2 THEN 5140 ELSE END
5130 Z(J)=Z(J)-C1(L):Z0(J)=Z0(J)-C2(L):GOTO 5150
5140 Z(J)=Z(J)+C1(L):Z0(J)=Z0(J)+C2(L)
5150 NEXT L
5160 NEXT J
5170 REM
5180 REM      Ye*(A'*Vn+Vg) = Z1+jZ2
5190 REM
5200 FOR J=1 TO M:E(J)=0:C(J)=0:C0(J)=0:E0(J)=0:NEXT J
5210 FOR I=1 TO N1
5220 REM
5230 IF V(1,I)=1 THEN 5240 ELSE IF V(1,I)<>2 THEN 5250 ELSE C(V(2,I))=V(5,I)-
*cos(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I):C0(V(2,I))=V(5,I)*SIN(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I)-
:GOTO 5250
5240 E(V(2,I))=V(5,I)*COS(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I):E0(V(2,I))=V(5,I)*SIN(PI-
*V(7,I)/180#)*10^V(6,I)
5250 NEXT I
5260 REM
5270 FOR I=1 TO M
5280 Z1(I)=E1(I)*(Z(I)+E(I))-E2(I)*(Z0(I)+E0(I))
5290 Z2(I)=E1(I)*(Z0(I)+E0(I))+E2(I)*(Z(I)+E(I))
5300 NEXT I
5310 REM
5320 REM
5330 REM
5340 REM      DER Vn/DER C      ----      DC3+jDC4
5350 REM
5360 REM      DER Vn/DER L      ----      DL+jDLO

```

```

5370 REM
5380 REM      SENSITIVIDAD ----- VARIACIONES DEL 1% EN LOS ELEMENTOS
5390 REM      VCMAG ----- MAGNITUD DE SENSITIVIDAD(CAPACITOR)
5400 REM      VCANG ----- ANGULO DE SENSITIVIDAD(CAPACITOR)
5410 REM      VLHAG ----- MAGNITUD DE SENSITIVIDAD(INDUCTOR)
5420 REM      VLANG ----- ANGULO DE SENSITIVIDAD(INDUCTOR)
5430 REM      VVHAG ----- MAGNITUD VARIACIONES DE VOLTAJE HODO
5440 REM      VVANG ----- ANGULO VARIACIONES DE VOLTAJE HODO
5450 REM
5460 CONTADOR=0
5470 FOR I=1 TO III
5480 IF V(1,I)=2 THEN 5870 ELSE IF V(1,I)=1 THEN 5870 ELSE IF V(1,I)=3 OR
V(1,I)=6 THEN 5870 ELSE IF V(1,I)=4 THEN 5690 ELSE IF V(1,I)=5 THEN 5500 ELSE END
5490 GOTO 5870
5500 REM
5510 WC=W*((V(5,I)*10^V(6,I))^2)
5520 CONTADOR=CONTADOR+1
5530 WRITE #3,CONTADOR,".- CAPACITOR =",V(5,I)
5540 WRITE #3,"      ","      ","Pico-faradios"
5550 WRITE #4,CONTADOR,".- CAPACITOR =",V(5,I)
5560 WRITE #4,"      ","      ","Pico-faradios"
5570 FOR J=1 TO N
5580 DC3=(((X1(J,V(2,I))*Z2(V(2,I)))+(X2(J,V(2,I))*Z1(V(2,I))))/WC/100)*(V(5,I)-
*10^V(6,I))
5590 DC4=(((X1(J,V(2,I))*Z1(V(2,I)))+(X2(J,V(2,I))*Z2(V(2,I))))/WC/100)*(V(5,I)-
*10^V(6,I))
5600 VCMAG=SQR(DC3^2+DC4^2):VCANG=ATN(DC4/DC3)
5610 REM
5620 PRINT #3,USING "###.#####";VCMAG*1000,VCANG*180/PI
5630 VVHAG=VCMAG*COS(VCANG-VANG(J)):VVANG=ATN((VCMAG*SIN(VCANG-VANG(J)))/(VHAG(-
J)+VVHAG))
5640 PRINT #4,USING "###.#####";VVHAG*1000,VVANG*180/PI
5650 NEXT J
5660 PRINT #3,
5670 PRINT #4,
5680 GOTO 5870
5690 REM
5700 CONTADOR=CONTADOR+1
5710 WRITE #3,CONTADOR,".- INDUCTOR =",V(5,I)
5720 WRITE #3,"      ","      ","Nano-henrios"
5730 WRITE #4,CONTADOR,".- INDUCTOR =",V(5,I)
5740 WRITE #4,"      ","      ","Nano-henrios"
5750 FOR J=1 TO N
5760 DL=(((X2(J,V(2,I))*Z1(V(2,I)))+(X1(J,V(2,I))*Z2(V(2,I))))*W)*(V(5,I)*10-
^V(6,I))/100
5770 DLO=(((X2(J,V(2,I))*Z2(V(2,I)))-(X1(J,V(2,I))*Z1(V(2,I))))*W)*(V(5,I)*10-
^V(6,I))/100
5780 VLHAG=SQR(DL^2+DLO^2):VLANG=ATN(DLO/DL)
5790 PRINT #3,USING "###.#####";VLHAG*1000,VLANG*180/PI
5800 VVHAG=VLHAG*COS(VLANG-VANG(J))

```



```

5810 VVANG=ATH((VLMAG*SIN(VLANG-VANG(J)))/(VMAG(J)+VVMAG))
5820 PRINT #4,USING "###.#####";VVMAG*1000,VVANG*180/PI
5830 NEXT J
5840 PRINT #3,
5850 PRINT #4,
5860 REH
5870 NEXT I
5880 REH
5890 REH
5900 CLOSE #2,#3,#4
5910 REH
5920 REH
5930 REH
5940 REH
5950 OPEN ERROR$ FOR OUTPUT AS #1
5960 PRINT #1,0
5970 PRINT #1,"NO EXISTE ERROR EN CALCULO DE SENSITIVIDAD ":CLOSE
5980 GOTO 6160
5990 REH          SUBROUTINA FORMACION Ig Y Vg COMPLEJOS
6000 REH
6010 FOR I=1 TO N1
6020 REH
6030 PI=ATH(1#)*4#
6040 IF V(1,I)=1 THEN 6050 ELSE IF V(1,I)<2 THEN 6060 ELSE C(V(2,I))=V(5,I)-
*CO$(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I):CO(V(2,I))=V(5,I)*SIN(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I)-
:GOTO 6060
6050 E(V(2,I))=V(5,I)*CO$(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I):EO(V(2,I))=V(5,I)*SIN(PI-
*V(7,I)/180#)*10^V(6,I)
6060 NEXT I
6070 RETURN
6080 REH
6090 OPEN ERROR$ FOR OUTPUT AS #1
6100 OPEN "A:PROG.PRN" FOR OUTPUT AS #2
6110 PRINT #1,ERR,"CODIGO DE ERROR EN BASIC"
6120 PRINT #1,ERL,"NUMERO DE LINEA ASOCIADA CON ERROR"
6130 PRINT #2.4
6140 CLOSE
6150 RESUME 6160
6160 SHELL "123":RUN"A:CARGAI"

```

### 8.9 PROGRAMA TOLERAN

```

10 REH          TOLERAN
20 REH
30 CLS:LOCATE 12,30:COLOR 0,7:PRINT "CALCULO DE TOLERANCIA":COLOR 7,0:LOCATE
25,80
40 DEFDBL A-H,R-Z,0,P
50 REH

```

```

60 REM      DATO$  -----  ARCHIVO CONTIENE NODOS, RAMAS,
70 REM                                     NUMERO DE ELEMENTOS
80 REM
90 REM      ELEMENTO$ ---  ARCHIVO ELEMENTOS DEL CIRCUITO
100 REM
110 REM      RESULDER$ --  ARCHIVO DERIVADA VOLTAJE DE NODOS
120 REM      ERRORESA$ ---  ARCHIVO ERRORES EN EL ANALISIS:
130 REM          1      EXISTE ERROR
140 REM          0      NO EXISTE ERROR
150 REM      RESULV$  --  ARCHIVO VOLTAJE DE NODOS
160 REM      OPCION$  ----  ARCHIVO FRECUENCIA
170 REM      RESULS$  ----  ARCHIVO SENSITIVIDAD
180 REM      RESULVY$ ----  ARCHIVO VARIACIONES DE VOLTAJE
190 DATO$="A:DATOS.PRN":ERRORESA$="A:ERRORESA.PRN":OPCION$="A:TOLE.PRN"
200 RESULV$="A:RESULV.PRN":RESULS$="A:RESULS.PRN"
210 ELEMENTO$="A:ELEMENTO.PRN":RESULVY$="A:RESULVY.PRN"
220 REM
230 ON ERROR GOTO 6150
240 OPEN DATO$ FOR INPUT AS #2
250 INPUT #2,H,M,N1
260 REM
270 REM
280 DIM V(7,H1)
290 OPEN ELEMENTO$ FOR INPUT AS #3
300 OPEN OPCION$ FOR INPUT AS #4
310 REM
320 FOR I=1 TO N1
330 INPUT #3,V(1,I),V(2,I),V(3,I),V(4,I),V(5,I),V(6,I),V(7,I)
340 PRINT #3,
350 NEXT I
360 INPUT #4,F3
370 INPUT #4,ELETO
380 INPUT #4,TOLE
390 REM
400 CLOSE #2,#3,#4
410 DIM A$(N*M)
420 REM
430 REM
440 F3=F3*1000000!
450 REM
460 REM *****  MATRIZ-INCIDENCIA (VECTORAS)  *****
470 REM
480 REM FORMACION MATRIZ INCIDENCIA
490 REM
500 REM MATRIZ-A      -----  ARCHIVO (CONTIENE AS )
510 REM
520 REM
530 FOR I=1 TO M*N:A$(I)="1":NEXT I
540 REM
550 REM

```

```

560 FOR I=1 TO N1
570 IF V(1,I)<3 THEN 590 ELSE IF V(3,I)=0 THEN 580 ELSE K=(V(3,I)-1)*H+V(2,I)-
:A$(K)="2":GOTO 580
580 IF V(4,I)=0 THEN 590 ELSE K=(V(4,I)-1)*H+V(2,I):A$(K)="0":GOTO 590
590 NEXT I
600 REM      ***  ADMITANCIA      ***
610 REM
620 REM  PROGRAMA PARA ESTRUCTURAR LA MATRIZ DE ADMITANCIA RAMAL Yb PARA UNA
630 REM
640 REM  SOLA FRECUENCIA
650 REM
660 REM  INDICADOR      :      F0      F
670 REM
680 REM                0      0      CIRCUITO RESISTIVO
690 REM                0      1      CIRCUITO L-C
700 REM                1      1      CIRCUITO R-L-C-G
710 REM
720 REM      INICIALIZACION
730 REM
740 MATRIZYb$="A:MATRYb":PI=ATN(1#)*4#
750 REM
760 REM      MATRIZ Yb PARA CIRCUITO RESISTIVO
770 REM
780 F0=0:F=0
790 FOR I=1 TO N1
800 IF V(1,I)=4 OR V(1,I)=5 THEN 830
810 IF V(1,I)=3 OR V(1,I)=6 THEN 840 ELSE F0=1:GOTO 830
820 REM
830 F=1
840 NEXT I
850 W=2*PI*F3
860 IF F0=0 AND F=0 THEN 880 ELSE IF F0=0 AND F=1 THEN 1060 ELSE 1200
870 REM
880 REM  ANALISIS PARA CIRCUITO RESISTIVO
890 REM
900 REM  E1      -----  VECTOR DIMENSION(M) (ELEMENTOS DIAGONALES YE)
910 DIM E1(M)
920 REM      FORMAR LA MATRIZ Yb=YE
930 REM
940 REM
950 REM  LECTURA DE LOS ELEMENTOS
960 REM
970 FOR I=1 TO N1
980 REM
990 IF V(1,I)=3 THEN 1000 ELSE IF V(1,I)<>6 THEN 1010 ELSE E1(V(2,I))=E1(V(2-
,I))+V(5,I)*10^V(6,I):GOTO 1010
1000 E1(V(2,I))=E1(V(2,I))+1/(V(5,I)*10^V(6,I))
1010 NEXT I
1020 GOTO 1420
1030 REM

```

```

1040 REM FORMAR MATRIZ Yb PARA CIRCUITOS L-C
1050 REM
1060 REM E2 ----- VECTOR DIMENSION (M) (ELEMENTOS DIAGONALES YE )
1070 REM
1080 DIM E2(M)
1090 REM FORMACION DE LA MATRIZ Yb
1100 REM
1110 REM
1120 REM LECTURA DE ELEMENTOS
1130 REM
1140 FOR I=1 TO N1
1150 IF V(1,I)=4 THEN 1160 ELSE IF V(1,I) <> 5 THEN 1170 ELSE E2(V(2,I))=E2(V(2-
,I))+W*(V(5,I)*10^V(6,I)):GOTO 1170
1160 E2(V(2,I))=E2(V(2,I))-1/(W*V(5,I)*10^V(6,I))
1170 NEXT I
1180 GOTO 1420
1190 REM
1200 REM FORMAR MATRIZ Yb PARA CIRCUITOS R-L-C-G
1210 REM
1220 REM MATRYb ----- ARCHIVO PARA E1,E2
1230 REM
1240 REM E1 ----- VECTOR DIM(M) (PARTE REAL DE YE)
1250 REM
1260 REM E2 ----- VECTOR DIM(M) (PARTE IMAG. DE YE)
1270 REM
1280 REM
1290 DIM E1(M),E2(M)
1300 REM FORMACION DE LA MATRIZ YE (YE=Yb)
1310 REM
1320 REM LECTURA DE ELEMENTOS
1330 REM
1340 FOR I=1 TO N1
1350 IF V(1,I)-3=0 THEN 1360 ELSE IF V(1,I)-3=1 THEN 1370 ELSE IF V(1,I)-3=2 THEN
1380 ELSE IF V(1,I)-3=3 THEN 1390 ELSE 1400
1360 E1(V(2,I))=E1(V(2,I))+1/(V(5,I)*(10^V(6,I))):GOTO 1400
1370 E2(V(2,I))=E2(V(2,I))-1/(W*(V(5,I)*10^V(6,I))):GOTO 1400
1380 E2(V(2,I))=E2(V(2,I))+W*(V(5,I)*10^V(6,I)):GOTO 1400
1390 E1(V(2,I))=E1(V(2,I))+V(5,I)*10^V(6,I)
1400 NEXT I
1410 REM
1420 'REM
1430 REM TERMINADO CALCULO MATRIZ ADMITANCIA ***
1440 REM
1450 REM ***** ADMITNDOS *****
1460 REM
1470 REM ***** MATRIZ DE ADMITANCIA DE NODOS *****
1480 REM
1490 MATRIZYN$="A:MATRYN":MATRIZAYB$="A:MATRAYB"
1500 IF FO=0 AND F=0 THEN 1510 ELSE IF FO=0 AND F=1 THEN 1900 ELSE 2300
1510 'REM

```

```

1520 REM ESTRUCTURAR LA MATRIZ Yn PARA CIRCUITOS RESISTIVOS .
1530 REM CALCULO DE A*Yb
1540 REM Y1 ----- VECTOR(A*Yb)
1550 DIM Y1(N,H)
1560 REM
1570 REM
1580 REM MULTIPLICACION A*Yb
1590 REM
1600 REM X$ ----- VARIABLE AUX. CONTIENE ELEMENTO DE A
1610 REM
1620 FOR I=1 TO N
1630 FOR J=1 TO H: X$=A$((I-1)*H+J): T=VAL(X$)
1640 IF T=0 THEN 1650 ELSE IF T=1 THEN 1670 ELSE IF T=2 THEN 1660 ELSE END
1650 Y1(I,J)=-E1(J):GOTO 1670
1660 Y1(I,J)=E1(J)
1670 NEXT J
1680 NEXT I
1690 REM
1700 REM A' ----- TRANSPUESTA DE A
1710 REM
1720 REM CALCULO Y1*A'
1730 DIM Y(N,N)
1740 REM
1750 FOR I=1 TO N
1760 FOR J=1 TO N
1770 Y(I,J)=0
1780 FOR K=1 TO H
1790 X$=A$((J-1)*H+K): T=VAL(X$)
1800 IF T=0 THEN 1810 ELSE IF T=1 THEN 1830 ELSE IF T=2 THEN 1820 ELSE END
1810 Y(I,J)=Y(I,J)-Y1(I,K):GOTO 1830
1820 Y(I,J)=Y(I,J)+Y1(I,K)
1830 NEXT K
1840 NEXT J
1850 NEXT I
1860 REM
1870 REM
1880 GOTO 2670
1890 REM
1900 'REM MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS PARA REDES L-C
1910 REM
1920 REM CALCULO DE A*Yb
1930 REM
1940 REM Y2 ----- VECTOR PARA A*Yb
1950 REM
1960 DIM Y2(N,H)
1970 REM
1980 REM MULTIPLICACION A*Yb
1990 REM
2000 REM X$ ----- VARIABLE AUXILIAR CONTIENE ELEMENTO DE A$
2010 REM

```

```

2020 FOR I=1 TO H
2030 FOR J=1 TO H
2040 X$=A$((I-1)*H+J):X=VAL(X$)
2050 IF X=0 THEN 2060 ELSE IF X=1 THEN 2080 ELSE IF X=2 THEN 2070 ELSE END
2060 Y2(I,J)=-E2(J):GOTO 2080
2070 Y2(I,J)=E2(J)
2080 NEXT J
2090 NEXT I
2100 REM
2110 REM Y1*A'      A'      -----  TRANSPUESTA DE A
2120 REM
2130 REM          YO      -----  MATRIZ Yn
2140 REM
2150 DIM YO(N,N)
2160 FOR I=1 TO N
2170 FOR J=1 TO N
2180 FOR K=1 TO N
2190 X$=A$((J-1)*H+K):X=VAL(X$)
2200 IF X=0 THEN 2210 ELSE IF X=1 THEN 2230 ELSE IF X=2 THEN 2220 ELSE END
2210 YO(I,J)=YO(I,J)-Y2(I,K):GOTO 2230
2220 YO(I,J)=YO(I,J)+Y2(I,K)
2230 NEXT K
2240 NEXT J
2250 NEXT I
2260 REM
2270 REM
2280 GOTO 2670
2290 REM
2300 'REM      MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS PARA REDES L,C,R,G
2310 REM
2320 REM CALCULO DE A*Yb
2330 REM      Y1      -----  CONTIENE A*Yb (REAL)
2340 REM      Y2      -----  CONTIENE A*Yb (IMAG)
2350 REM
2360 REM      MULTIPLICACION A*Yb
2370 DIM Y1(N,H),Y2(N,H)
2380 FOR I=1 TO N
2390 FOR J=1 TO H
2400 X$=A$((I-1)*H+J):X=VAL(X$)
2410 IF X=0 THEN 2420 ELSE IF X=1 THEN 2440 ELSE IF X=2 THEN 2430 ELSE END
2420 Y1(I,J)=-E1(J):Y2(I,J)=-E2(J):GOTO 2440
2430 Y1(I,J)=E1(J):Y2(I,J)=E2(J)
2440 NEXT J
2450 NEXT I
2460 REM
2470 REM      CALCULO Y1*A'      A'=TRANSPUESTA DE A
2480 REM
2490 REM      Y      -----  MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS(REAL)
2500 REM
2510 REM      YO      -----  MATRIZ ADMITANCIA DE NODOS(IMAG)

```

```

2520 REM
2530 FOR I=1 TO N
2540 FOR J=1 TO N
2550 FOR K=1 TO M: X$=A$((J-1)*M+K): X=VAL(X$)
2560 IF X=0 THEN 2570 ELSE IF X=1 THEN 2590 ELSE IF X=2 THEN 2580 ELSE PRINT
"ERROR EN INGRESO DE DATOS":END
2570 Y(I,J)=Y(I,J)-Y1(I,K):YO(I,J)=YO(I,J)-Y2(I,K):GOTO 2590
2580 Y(I,J)=Y(I,J)+Y1(I,K):YO(I,J)=YO(I,J)+Y2(I,K)
2590 NEXT K
2600 NEXT J
2610 NEXT I
2620 DIM B4(N,N),B5(N,N)
2630 FOR I=1 TO N:FOR J=1 TO M:B4(I,J)=Y(I,J):B5(I,J)=YO(I,J):NEXT J,I
2640 REM
2650 REM
2660 REM
2670 'REM
2680 REM          TERMINADO CALCULO MATRIZ ADMITIVOS          ****
2690 REM
2700 REM          **** ISVHVBI8          ****
2710 REM
2720 REM          CALCULO Is Y Vn
2730 REM
2740 REM
2750 REM          INICIALIZACION
2760 REM
2770 IF F0=0 AND F=0 THEN 2790 ELSE 3490
2780 REM
2790 REM CALCULO PARA UN CIRCUITO RESISTIVO
2800 REM
2810 ' REM ANALISIS PARA AC
2820 REM          E          ----- CONTIENE PARTE REAL FUENTES DE VOLTAJE
2830 REM          E0         ----- CONTIENE PARTE IMAG FUENTES DE VOLTAJE
2840 REM          C          ----- CONTIENE PARTE REAL FUENTE DE CORRIENTE
2850 REM          CO         ----- CONTIENE PARTE IMAG FUENTE DE CORRIENTE
2860 DIM E(N),E0(N),C(N),CO(N),C1(N),C2(N)
2870 REM
2880 REM
2890 REM          ESTRUCTURAR Ig Y Vg(COMPLEJOS)
2900 REM
2910 GOSUB 6050
2920 REM
2930 REM          PRODUCTO A*Yb*Vg
2940 REM
2950 FOR I=1 TO N
2960 FOR J=1 TO M:C1(I)=C1(I)-Y1(I,J)*E(J):C2(I)=C2(I)-Y1(I,J)*E0(J):NEXT J
2970 NEXT I
2980 REM
2990 REM          FORMACION VECTOR Is
3000 REM

```

```

3010 FOR I=1 TO N
3020 FOR J=1 TO N: X$=A$((I-1)*N+J): X=VAL(X$)
3030 IF X=0 THEN 3040 ELSE IF X=1 THEN 3060 ELSE IF X=2 THEN 3050 ELSE END
3040 C1(I)=C1(I)-C(J):C2(I)=C2(I)-C0(J):GOTO 3060
3050 C1(I)=C1(I)+C(J):C2(I)=C2(I)+C0(J)
3060 NEXT J
3070 NEXT I
3080 '
3090 REM
3100 REM SOLUCION SISTEMA DE ECUACIONES (ELIMINACION DE GAUSS)
3110 REM
3120 REM      Yn*Vn=Is
3130 IF N(>1) THEN 3140 ELSE C1(1)=C1(1)/Y(1,1):GOTO 3430
3140 '      CON PIVOTAJE SIMPLE
3150 REM
3160 REM
3170 R=I:T=ABS(Y(I,I))
3180 FOR J=I+1 TO N:IF T=>ABS(Y(J,I)) THEN 3190 ELSE T=ABS(Y(J,I)):R=J:GOTO 3190
3190 NEXT J
3200 IF T(<=1E-12) THEN 3470 ELSE IF R=I THEN 3270 ELSE 3220
3210 REM
3220 REM INTERCAMBIAR FILAS R y I
3230 REM
3240 FOR K=I TO N:T=Y(I,K):Y(I,K)=Y(R,K):Y(R,K)=T:NEXT K
3250 T=C1(I):C1(I)=C1(R):C1(R)=T
3260 REM CEROS BAJO PIVOTE
3270 FOR K=I+1 TO N
3280 T=-Y(K,I)/Y(I,I)
3290 FOR J=I+1 TO N:Y(K,J)=Y(K,J)+T*Y(I,J):NEXT J
3300 C1(K)=C1(K)+T*C1(I)
3310 NEXT K
3320 NEXT I
3330 REM
3340 REM EVALUACION DE INCOGNITAS Vn
3350 REM
3360 IF ABS(Y(N,N))(<=1E-12) THEN 3470 ELSE C1(N)=C1(N)/Y(N,N):GOTO 3370
3370 FOR I=N-1 TO 1 STEP -1
3380 S=0#
3390 FOR K=I+1 TO N:S=S+Y(I,K)*C1(K):NEXT K
3400 C1(I)=(C1(I)-S)/Y(I,I)
3410 NEXT I
3420 REM
3430 REM      TERMINADO CALCULO VOLTAJES DE NODOS
3440 DIM Y0(N),Y2(N),C2(N)
3450 FOR I=1 TO N:C2(I)=0#:Y0(I)=0#:Y2(I)=0#:NEXT I
3460 GOTO 4530
3470 PRINT "MATRIZ DE ADMITANCIA DE NODOS DEL CIRCUITO ES SINGULAR"
3480 EHD
3490 '
3500 REM      ***      CALCULO DE TERMINOS INDEPENDIENTES      ***

```



```

3510 REM
3520 REM      ***   Y VOLTAJES DE NODOS      ***
3530 REM
3540 REM
3550 REM      ***   ANALISIS PARA AC      ***
3560 REM
3570 REM      E      -----   CONTIENE PARTE REAL DE Vg
3580 REM
3590 REM      E0     -----   CONTIENE PARTE IMAG DE Vg
3600 REM
3610 REM      C      -----   CONTIENE PARTE REAL DE Ig
3620 REM
3630 REM      C0     -----   CONTIENE PARTE IMAG DE Ig
3640 REM
3650 DIM E(N),EO(N),C(N),CO(N)
3660 IF FO=0 AND F=1 THEN 3670 ELSE 3690
3670 REM
3680 FOR I=1 TO N:EI(I)=0:NEXT I
3690 REM      ***   FORMACION DE Ig Y Vg COMPLEJOS   ***
3700 REM
3710 GOSUB 6050
3720 REM
3730 REM      FORMACION (Ig-Yb*Vg)
3740 REM
3750 FOR I=1 TO N:C(I)=C(I)-(E1(I)*E(I)-E2(I)*EO(I)):CO(I)=CO(I)-(E1(I)*EO(I)-
+E(I)*E2(I)):NEXT I
3760 REM
3770 REM      FORMACION DE Is
3780 REM
3790 REM
3800 REM      C1     -----   PARTE REAL DE Is
3810 REM
3820 REM      C2     -----   PARTE IMAG DE Is
3830 REM
3840 DIM C1(N),C2(N)
3850 REM
3860 FOR I=1 TO N
3870 FOR J=1 TO N:X=A*((I-1)*N+J):X=VAL(X)
3880 IF X=0 THEN 3890 ELSE IF X=1 THEN 3910 ELSE IF X=2 THEN 3900 ELSE END
3890 C1(I)=C1(I)-C(J):C2(I)=C2(I)-CO(J):GOTO 3910
3900 C1(I)=C1(I)+C(J):C2(I)=C2(I)+CO(J)
3910 NEXT J
3920 NEXT I
3930 REM
3940 REM
3950 'REM      ***   SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES      ***
3960 REM
3970 REM      N      -----   NUMERO DE ECUACIONES
3980 REM      Y      -----   MATRIZ COEFICIENTES (N,N) REAL
3990 REM      YO     -----   MATRIZ COEFICIENTES (N,N) IMAG

```

```

4000 REM      C1      ----- VECTOR TERMINOS INDEPENDIENTES REAL
4010 REM      C2      ----- VECTOR TERMINOS INDEPENDIENTES IMAG
4020 REM
4030 Q2=1E-12
4040 FOR Q6=1 TO N-1
4050 REM
4060 REM      BUSCAR PIVOTE
4070 REM
4080 Q5=SQR(Y(Q6,Q6)*Y(Q6,Q6)+Y0(Q6,Q6)*Y0(Q6,Q6)):Q4=Q6
4090 FOR Q3=Q6+1 TO N:Q1=SQR(Y(Q3,Q6)*Y(Q3,Q6)+Y0(Q3,Q6)*Y0(Q3,Q6)):IF Q5>Q1
THEN 4100 ELSE Q5=Q1:Q4=Q3:GOTO 4100
4100 NEXT Q3
4110 IF Q5=)Q2 THEN 4140
4120 PRINT "MATRIZ DE COEFICIENTES ES SINGULAR":END
4130 REM
4140 IF Q4=Q6 THEN 4220
4150 REM
4160 REM      INTERCAMBIO FILAS Q4 Y Q6
4170 FOR Q3=Q6 TO N:Q5=Y(Q4,Q3):Y(Q4,Q3)=Y(Q6,Q3):Y(Q6,Q3)=Q5:Q5=Y(Q4,Q3):Y(Q4-
,Q3)=Y(Q6,Q3):Y0(Q6,Q3)=Y0(Q4,Q3):NEXT Q3
4180 Q5=C1(Q4):C1(Q4)=C1(Q6):C1(Q6)=Q5:Q5=C2(Q4):C2(Q4)=C2(Q6):C2(Q6)=Q5
4190 REM
4200 REM      CEROS BAJO PIVOTE
4210 REM
4220 FOR Q5=Q6+1 TO N
4230 Q1=-1/(Y(Q6,Q6)*Y(Q6,Q6)+Y0(Q6,Q6)*Y0(Q6,Q6)) :Q3=Q1*(Y(Q5,Q6)*Y(Q6,Q6)-
+Y0(Q5,Q6)*Y0(Q6,Q6)):Q1=Q1*(Y0(Q5,Q6)*Y(Q6,Q6)-Y(Q5,Q6)*Y0(Q6,Q6))
4240 FOR Q4=Q6+1 TO N :Q0=Y(Q5,Q4)+Q3*Y(Q6,Q4)-Q1*Y0(Q6,Q4):Y(Q5,Q4)=Y0(Q5,Q4)-
+Q3*Y0(Q6,Q4)+Q1*Y(Q6,Q4):Y(Q5,Q4)=Q0:NEXT Q4
4250 Q0=C1(Q5)+Q3*C1(Q6)-Q1*C2(Q6):C2(Q5)=C2(Q5)+Q3*C2(Q6)+Q1*C1(Q6):C1(Q5)=Q0
4260 NEXT Q5
4270 NEXT Q6
4280 IF SQR(Y(N,N)*Y(N,N)+Y0(N,N)*Y0(N,N))<Q2 THEN 4120
4290 REM
4300 REM      CALCULO DE INCOGNITAS
4310 REM
4320 Q0=1/(Y(N,N)*Y(N,N)+Y0(N,N)*Y0(N,N)):Q1=Q0*(C1(N)*Y(N,N)+C2(N)*Y0(N,N))-
:C2(N)=Q0*(C2(N)*Y(N,N)-C1(N)*Y0(N,N)):C1(N)=Q1
4330 FOR Q6=N-1 TO 1 STEP -1
4340 Q3=Q0#Q1=Q0#
4350 FOR Q5=Q6+1 TO N
4360 Q3=Q3+Y(Q6,Q5)*C1(Q5)-Y0(Q6,Q5)*C2(Q5) :Q1=Q1+Y(Q6,Q5)*C2(Q5)+Y0(Q6,Q5)-
*C1(Q5)
4370 NEXT Q5
4380 Q7=1/(Y(Q6,Q6)*Y(Q6,Q6)+Y0(Q6,Q6)*Y0(Q6,Q6)) :Q0=Q7*((C1(Q6)-Q3)*Y(Q6,Q6)-
+(C2(Q6)-Q1)*Y0(Q6,Q6)):C2(Q6)=Q7*((C2(Q6)-Q1)*Y(Q6,Q6)-(C1(Q6)-Q3)*Y0(Q6,Q6))-
:C1(Q6)=Q0
4390 NEXT Q6
4400 REM      VHAG      ----- MAGNITUD VOLTAJE DE NODO
4410 REM      VANG      ----- ANGULO VOLTAJE DE NODO

```

```

4920 FOR J=1 TO H
4930 X(I,J)=0:X0(I,J)=0
4940 FOR L=1 TO H
4950 X=VAL(A*((L-1)*H+J))
4960 IF X=0 THEN 4970 ELSE IF X=1 THEN 4990 ELSE IF X=2 THEN 4980 ELSE END
4970 X(I,J)=X(I,J)-Y(I,L):X0(I,J)=X0(I,J)-Y0(I,L):GOTO 4990
4980 X(I,J)=X(I,J)+Y(I,L):X0(I,J)=X0(I,J)+Y0(I,L)
4990 NEXT L
5000 NEXT J,I
5010 REM
5020 REM      CALCULO (1/Yn)*A*Yb = X1+jX2
5030 REM
5040 FOR I=1 TO H
5050 FOR J=1 TO H
5060 X1(I,J)=(X(I,J)*E1(J))-(X0(I,J)*E2(J)):X2(I,J)=(X0(I,J)*E1(J))+(X(I,J)*E2(-
J))
5070 NEXT J,I
5080 REM
5090 REM      CALCULO A'*Vn = Z+jZ0
5100 REM
5110 FOR J=1 TO H
5120 Z(J)=0:Z0(J)=0
5130 FOR L=1 TO H
5140 X=VAL(A*((L-1)*H+J))
5150 IF X=0 THEN 5160 ELSE IF X=1 THEN 5180 ELSE IF X=2 THEN 5170 ELSE END
5160 Z(J)=Z(J)-C1(L):Z0(J)=Z0(J)-C2(L):GOTO 5180
5170 Z(J)=Z(J)+C1(L):Z0(J)=Z0(J)+C2(L)
5180 NEXT L
5190 NEXT J
5200 REM
5210 REM      Ye*(A'*Vn+Vg) = Z1+jZ2
5220 REM
5230 FOR J=1 TO H:E(J)=0:C(J)=0:C0(J)=0:E0(J)=0:NEXT J
5240 FOR I=1 TO N1
5250 REM
5260 IF V(1,I)=1 THEN 5270 ELSE IF V(1,I)<>2 THEN 5280 ELSE C(V(2,I))=V(5,I)-
* COS(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I):C0(V(2,I))=V(5,I)*SIN(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I)-
:GOTO 5280
5270 E(V(2,I))=V(5,I)*COS(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I):E0(V(2,I))=V(5,I)*SIN(PI-
*V(7,I)/180#)*10^V(6,I)
5280 NEXT I
5290 REM
5300 FOR I=1 TO H
5310 Z1(I)=E1(I)*(Z(I)+E(I))-E2(I)*(Z0(I)+E0(I))
5320 Z2(I)=E1(I)*(Z0(I)+E0(I))+E2(I)*(Z(I)+E(I))
5330 NEXT I
5340 REM
5350 REM
5360 REM
5370 REM      DER Vn/DER C      ----      DC3+jDC4

```

```

5380 REM
5390 REM      DER Vn/DER L      ----   DL+JDLO
5400 REM
5410 REM      TOLERANCIA      -----  VARIACIONES PORCENTUAL DE UN ELEMENTO
5420 REM      VCMAG           -----  MAGNITUD DE TOLERANCIA(CAPACITOR)
5430 REM      VCANG           -----  ANGULO DE TOLERANCIA(CAPACITOR)
5440 REM      VLHAG           -----  MAGNITUD DE TOLERANCIA(INDUCTOR)
5450 REM      VLANG           -----  ANGULO DE TOLERANCIA(INDUCTOR)
5460 REM      VVMAG          -----  MAGNITUD VARIACIONES DE VOLTAJE NODO
5470 REM      VVANG          -----  ANGULO VARIACIONES DE VOLTAJE NODO
5480 REM
5490 CONTADOR=0
5500 FOR I=1 TO N1
5510 IF V(1,I)=2 THEN 5930 ELSE IF V(1,I)=1 THEN 5930 ELSE IF V(1,I)=3 OR
V(1,I)=6 THEN 5930 ELSE IF V(1,I)=4 THEN 5750 ELSE IF V(1,I)=5 THEN 5530 ELSE END
5520 GOTO 5930
5530 REM
5540 WC=W*((V(5,I)*10^V(6,I))^2)
5550 CONTADOR=CONTADOR+1
5560 IF CONTADOR=ELETO THEN 5570 ELSE 5930
5570 REM
5580 REM
5590 REM
5600 REM
5610 FOR J=1 TO N
5620 DC3=(((X1(J,V(2,I))*Z2(V(2,I)))+(X2(J,V(2,I))*Z1(V(2,I))))/WC/100)*(V(5,I)-
*10^V(6,I))*TOLE
5630 DC4=(((X1(J,V(2,I))*Z1(V(2,I)))+(X2(J,V(2,I))*Z2(V(2,I))))/WC/100)*(V(-
5,I)*10^V(6,I))*TOLE
5640 VCMAG=SQR(DC3^2+DC4^2):VCANG=ATN(DC4/DC3)
5650 REM
5660 PRINT #3,USING "###.#####";J,VCMAG*1000,VCANG*180/PI
5670 PRINT #3,
5680 VVMAG=VCMAG*COS(VCANG-VANG(J)):VVANG=ATN((VCMAG*SIN(VCANG-VANG(J)))/(VVMAG(-
J)+VVMAG))
5690 PRINT #4,USING "###.#####";J,VVMAG*1000,VVANG*180/PI
5700 PRINT #4,
5710 NEXT J
5720 PRINT #3,
5730 PRINT #4,
5740 GOTO 5930
5750 REM
5760 CONTADOR=CONTADOR+1
5770 IF CONTADOR=ELETO THEN 5780 ELSE 5930
5780 REM
5790 FOR J=1 TO N
5800 DL=(((X2(J,V(2,I))*Z1(V(2,I)))+(X1(J,V(2,I))*Z2(V(2,I))))*N)*(V(5,I)*10^V(-
6,I))/100)*TOLE
5810 DLO=(((X2(J,V(2,I))*Z2(V(2,I)))-(X1(J,V(2,I))*Z1(V(2,I))))*N)*(V(5,I)*10^
V(6,I))/100)*TOLE

```

```

5820 VLHAG=SQR(DL^2+DLO^2):VLANG=ATN(DLO/DL)
5830 PRINT #3,USING "###.#####";J,VLHAG*1000,VLANG*180/PI
5840 PRINT #3,
5850 VVHAG=VLHAG*COS(VLANG-VANG(J))
5860 VVANG=ATH((VLHAG*SIN(VLANG-VANG(J)))/(VHAG(J)+VVHAG))
5870 PRINT #4,USING "###.#####";J,VVHAG*1000,VVANG*180/PI
5880 PRINT #4,
5890 NEXT J
5900 PRINT #3,
5910 PRINT #4,
5920 REH
5930 NEXT I
5940 REH
5950 REH
5960 CLOSE #2,#3,#4
5970 REH
5980 REH
5990 REH
6000 REH
6010 OPEN ERRORA$ FOR OUTPUT AS #1
6020 PRINT #1,0
6030 PRINT #1,"NO EXISTE ERROR EN CALCULO DE SENSITIVIDAD ":CLOSE
6040 GOTO 6220
6050 REH          SUBROUTINA FORMACION Ig Y Vg COMPLEJOS
6060 REH
6070 FOR I=1 TO N1
6080 REH
6090 PI=ATN(1#)*4#
6100 IF V(1,I)=1 THEN 6110 ELSE IF V(1,I)>2 THEN 6120 ELSE C(V(2,I))=V(5,I)-
* COS(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I):CO(V(2,I))=V(5,I)*SIN(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I)-
:GOTO 6120
6110   E(V(2,I))=V(5,I)*COS(PI*V(7,I)/180#)*10^V(6,I):EO(V(2,I))=V(5,I)*SIN(PI-
*V(7,I)/180#)*10^V(6,I)
6120.NEXT I
6130 RETURN
6140 REH
6150 OPEN ERRORA$ FOR OUTPUT AS #1
6160 REH
6170 PRINT #1,ERR,"CODIGO DE ERROR EN BASIC"
6180 PRINT #1,ERL,"NUMERO DE LINEA ASOCIADA CON ERROR"
6190 REH
6200 CLOSE
6210 RESUME 6220
6220 SHELL "123":RUN"A:CARGA1"

```

8.10 HOJA ELECTRONICA AUTOL23.WK1

(SE ADJUNTA 4 PAGINAS DEL PROGRAMA DE MANERA ILUSTRATIVA)

\*\* · VARIABLES DE USO GENERAL \*\*

PROG --- Numero de programa

POINT --- Lugar de retorno

RESIH --- Red Sintesis

REANA --- Sintesis o Red

3

O HAST:

Sintesis	Analisis	Exit
Ingreso,Print,Gr	Ingreso,Print,Gr	Salida al DOS
{MENCALL SINT}	{MENCALL INAN}	{LET PROG,0}
{MENCBRANCH HAST}	{BRANCH \R}	/PFPROG~RRPROG~
		00U0G0
		/0Y

```

*** INICIALIZACION ***  {PANELOFF}
                          /FDA=~
                          {GOTO}PROG~
                          /FINPROG~{GOTO}PAGO~
                          {IF PROG=1}{BRANCH CASI}
                          {IF PROG=2}{BRANCH CAAN}
                          {IF PROG=3}{BRANCH CASE}
                          {IF PROG=4}{BRANCH CAEB}
                          {MENCBRANCH HAST}
    
```

SINT:

Ingreso	Calculo	Almacenar
Manual,Archivo,00	Ejecucion de sint	Almacenamiento de
{MENCALL INSI}	{LET PROG,1}	{BRANCH ALSI}
{BRANCH HAST}	/PFPROG~RRPROG~	
	00U0G0	
	/0Y	

```

*** RETORNO DE INGRESO *** {PANELOFF}
                             {IF POINT=1}{BRANCH RESI}
                             {IF POINT=2}{BRANCH REAN}
                             {IF POINT=3}{BRANCH RETO}
                             {MENCBRANCH HAST}
    
```

INSI:

Manual	Archivo	Quit
Ingreso por tecla	Ingreso desde un	Menu anterior
{GOTO}PAG5~	{GOTO}PAG5~	{MENCBRANCH SINT}
{GOTO}PAG5A~	{GOTO}PAG5A~	
{LET POINT,1}	{BRANCH LESI}	
{QUIT}		

Clasif. polos  
Clasif. ceros

```

RESI:
{LET POINT,0}
/DSDPAG5B~PPAG5B~A~G
/DSDPAG5C~PPAG5C~A~G
/PFSIH~RRPAG5A~00U0G0
{GOTO}PAG5~{MENCALL SINT}
{MENCBRANCH HAST}
    
```

ALSI:

```

{GOTO}PAG5~
{GETLABEL INGRESE NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ,NO
/CHOARCH~BOARCH~
/CHOARCH~ALARCH~
{GOTO}PAG7A~
{ONERROR INSI1,PAG8A}
/XCHOAR~{GOTO}PAG5~
{MENCBRANCH ARCH}
    
```

```

*** RETORNO DE SINTESIS *** CASI:
    {GOTO}PAG5~
    {GOTO}PAG5A~/FINSIH~
    {GOTO}PAG6~
    {GOTO}PAG6A~/FINFSERIE~
    {GOTO}PAG6B~/FINFPARA~
    {GOTO}PAG6C~/FINCCAP~
    {GOTO}PAG6D~/FINCIND~
    {GOTO}PAG6~{MENUCALL SINT}{MENUBRANCH MAST}

ARCH:
    Cancelar      Reemplazar
    Deja el archivo iBorra el archivo existente y crea
    {MENUBRANCH SINT}/XCBOAR~
                                {BRANCH INSI1}

*** NOMBRE ARCHIVO *** NOAR:
nombre del archivo (NOARCH) /FINSINTESIS\
                                LESI:
                                {GETLABEL INGRESE NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ,LE
                                {ONERROR INSI2,PAG8A}
                                /FINSINTESIS\

BOAR:
nombre del archivo (BOARCH) /FEPSINTESIS\
                                ~{RETURN}
                                ~/DSDPAG5B~PPAG5B~A~G
                                /DSDPAG5C~PPAG5C~A~G
                                /PFSIH~RRPAG5A~00UQGQ
                                ~{MENUBRANCH INSI}

*** ALMACENAMIENTO SINT. *** INSI:
nombre del archivo (ALARCH) /PFSINTESIS\
                                ~RPAG5A~00UQGQ
                                {GOTO}PAG5~{MENUCALL SINT}{MENUBRANPRINTSI:
                                {ONERROR INSI1,PAG8A}
                                /PPRPAG1A~
                                AOKL2~WRB0~S\01B~
                                QG
                                RPAG5~G
                                RPAG6~G
                                RPAG1B~GPQ
                                {MENUBRANCH SINT}

*** REGRESO CALCULO ANALISIS PARA SINTESIS *** CAANR:
    {GOTO}REANA~/FINREANA~
    {IF REANA=1}{BRANCH CAANR}
    {GOTO}PAG11~
    {GOTO}PAG11C~/FINDATAN~
    {GOTO}OPCAN~/FINOPCAN~
    {IF PPA1=4}{BRANCH REPO}
    {GOTO}PAG12~
    /REPAG12B~
    {GOTO}PAG12B~/FINRESULF~
    /REPAG12C~
    {GOTO}PAG12C~/FINRESULR~
    /REPAG12D~
    {GOTO}PAG12D~/FINRESULI~{GOTO}PAG12PRINTAN:
    {MENUCALL FIAN}{MENUBRANCH MAST} {IF RESIN=1}{BRANCH PRINTFS}
    {IF RESIN=2}{BRANCH PRINTFP}
    {IF RESIN=3}{BRANCH PRINTCC}
    {BRANCH PRINTCI}

*** REGRESO CALCULO ANALISIS PARA RED *** CAANR:
    {GOTO}PAG9~

```

```

{GOTO}PAG9A~/FINLEHENI~
{GOTO}DATOS~/FINDATOSI~
{GOTO}OPCANI~/FINOPCANI~
{CONTENTS PRANG,PRANGI}
{CONTENTS PPA1,PPA2}
{GOTO}PAG12~
/REPAG12B~{GOTO}PAG12B~/FINRESULF~/PPRPAG10A~
/REPAG12C~{GOTO}PAG12C~/FINRESULR~ AOML2~MR80~S\018~
/REPAG12D~{GOTO}PAG12D~/FINRESULI~ 0G
{MENUCALL INAH}{MENUBRANCH HAST} RPAG11~G
RPAG10E~GQ
{MENUBRANCH INAS1}

ALMACENAMIENTO DE DATOS CON {PANELOFF}
PERDIDAS PARA ANALISIS /PFRESIN~RRRESIN~00U0GQ
/PFREANA~RRREANA~00U0GQ
{IF REANA=1}{BRANCH FRED}
/PFDATAN~RRPAG11C~00U0GQ PRINTFP:
{GOTO}PAG11~ {ONERROR INAH1,PAG13A}
{MENUCALL FVCP}{MENUBRANCH INAH} /PPRPAG10B~
AOML2~MR80~S\018~

** ALMACENAMIENTO DE DATOS ** FRED:
PARA UNA RED /WTC/WNC
/PFELEHENI~RRPAG9A~00U0GQ
/PFDATOSI~RRDATOS~00U0GQ RPAG11~G
{GOTO}PAG9D~{MENUCALL FVCP} RPAG10E~GQ
{MENUBRANCH INAH} {MENUBRANCH INAS1}

** TERMINADO INGRESO ** REAN:
** PARAMETROS PARA ANALISIS ** {LET POINT,0}
** {IF REANA=1}{BRANCH REAND}
/PFOPCAN~RROPKAN~00U0GQ PRINTCC:
{GOTO}PAG11~{MENUCALL INAS1}{MENUBRANCH INAS1} {ONERROR INAH1,PAG13A}
/PPRPAG10C~

** TERMINADO INGRESO RED ** REAND:
/REOPCAN~
/PFOPCANI~RROPCANI~00U0GQ AOML2~MR80~S\018~
{GOTO}PAG9~ 0G
{MENUCALL REDE} RPAG11~G
{MENUBRANCH INAH} RPAG10E~GQ
{MENUBRANCH INAS1}

*** NOMBRE ARCHIVO *** NOARI:
nombre del archivo (NOARCH1) /FINANALSINT\
PRINTCI:
~{RETURN} {ONERROR INAH1,PAG13A}
/PPRPAG10D~
AOML2~MR80~S\018~
0G
RPAG11~G
BOARI: RPAG10E~GQ
/FEPANALSINT\ {MENUBRANCH INAS1}
nombre del archivo (BOARCH1) ~Y{RETURN}

*** ALMACENAMIENTO ANALISIS ***
DATOS INAH1:
/PFANALSINT\ PRINTAH1:
{ONERROR INAH1,PAG13A}

```



```

{GOTO}PAG9A~/FINELEHENI~
{GOTO}DATOS~/FINDATOS1~
{GOTO}OPCAN1~/FINOPCAN1~
{CONTENTS PRANG,PRANG1}
{CONTENTS PPA1,PPA2}
{GOTO}PAG12~
/REPAG12B~{GOTO}PAG12B~/FINRESULF~/PPRPAG10A~
/REPAG12C~{GOTO}PAG12C~/FINRESULR~
/REPAG12D~{GOTO}PAG12D~/FINRESULI~
{MENUCALL IHAN}{MENUBRANCH MAST}
ALMACENAMIENTO DE DATOS CON PERDIDAS PARA ANALISIS
{PANELOFF}
/PFRESIH~RRRESIN~00UQGQ
/PFREANA~RRREANA~00UQGQ
{IF REANA=1}{BRANCH FRED}
/PFDATAN~RRPAG11C~00UQGQ
{GOTO}PAG11~
{MENUCALL FVCP}{MENUBRANCH INAN}
** ALMACENAMIENTO DE DATOS ** PARA UNA RED
FRED:
/WTC/WWC
/PFELEHENI~RRPAG9A~00UQGQ
/PFDATOS1~RRDATOS~00UQGQ
{GOTO}PAG9D~{MENUCALL FVCP}
{MENUBRANCH INAN}
** TERMINADO INGRESO **
** PARAMETROS PARA ANALISIS **
REAN:
{LET POINT,0}
{IF REANA=1}{BRANCH REAND}
/PFOPCAN~RROPCAN~00UQGQ
{GOTO}PAG11~{MENUCALL INAS1}{MENUBRANCH INAN}
** TERMINADO INGRESO RED **
REAND:
/REOPCAN~
/PFOPCAN1~RROPCAN1~00UQGQ
{GOTO}PAG9~
{MENUCALL REDE}
{MENUBRANCH INAN}
*** HOMBRE ARCHIVO ***
nombre del archivo (NOARCHI)
NOAR):
/FINANALSINT\
~{RETURN}
BOAR):
/FEPANALSINT\
~Y{RETURN}
*** ALMACENAMIENTO ANALISIS ***
DATOS
INAN):
/PFANALSINT\
PRINTFS:
{ONERROR IHAN1,PAG13A}
/PPRPAG10A~
AOHL2~MR80~S\018~
QG
RPAG11~G
RPAG10E~GQ
{MENUBRANCH INAS1}
PRINTFP:
{ONERROR IHAN1,PAG13A}
/PPRPAG10B~
AOHL2~MR80~S\018~
QG
RPAG11~G
RPAG10E~GQ
{MENUBRANCH INAS1}
PRINTCC:
{ONERROR IHAN1,PAG13A}
/PPRPAG10C~
AOHL2~MR80~S\018~
QG
RPAG11~G
RPAG10E~GQ
{MENUBRANCH INAS1}
PRINTCI:
{ONERROR IHAN1,PAG13A}
/PPRPAG10D~
AOHL2~MR80~S\018~
QG
RPAG11~G
RPAG10E~GQ
{MENUBRANCH INAS1}
PRINTANI:
{ONERROR IHAN1,PAG13A}

```

9. LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1.-	Circuito eléctrico constituido por la excitación y la estructura de la red. . . . .	4
Figura 1.2.-	Circuitos equivalentes de una bobina. . . . .	5
Figura 1.3.-	Circuitos equivalentes de un capacitor. . . . .	5
Figura 1.4.-	Conexiones serie y paralelo de "n" redes con un par de terminales. . .	12
Figura 1.5.-	Conexión serie-paralelo en forma de escalera. . . . .	12
Figura 1.6.-	Gráfico de la ec. 1.9 para $s=jw$ y $K=sH$ . . . . .	14
Figura 2.1.-	Representación general de $X(w)$ de acuerdo a la ocurrencia de las singularidades internas en la red. . .	18
Figura 2.2.-	Gráfico de $X(w)$ para un circuito serie inductancia-capacitor. . . . .	19
Figura 2.3.-	Gráfico de $X(w)$ para un circuito tanque LC. . . . .	20
Figura 2.4.-	Gráfico de $X(w)$ cuando existe un cero en $w = 0$ y un cero en $w \rightarrow \infty$ . .	21
Figura 2.5.-	Gráfico de $X(w)$ cuando existe un cero en $w = 0$ y un polo en $w \rightarrow \infty$ . .	21
Figura 2.6.-	Gráfico de $X(w)$ cuando existe un polo en $w = 0$ y un cero en $w \rightarrow \infty$ . .	22
Figura 2.7.-	Gráfico de $X(w)$ cuando existe un polo en $w = 0$ y un polo en $w \rightarrow \infty$ . .	22
Figura 2.8.-	Diagrama de flujo del ingreso de datos para ejecución de síntesis. .	25
Figura 2.9.-	Circuito Foster Serie . . . . .	26

Figura 2.10.-	Circuito Foster Paralelo . . . . .	27
Figura 2.11.-	Circuito Cauer L-serie . . . . .	27
Figura 2.12.-	Circuito Cauer C-serie . . . . .	28
Figura 2.13.-	Red Foster Serie correspondiente a la ec. 2.7. $X(w)$ tiene un cero en $w = 0$ y un cero en $w \rightarrow \infty$ ; número de ceros es menor que el número de polos. . . . .	29
Figura 2.14.-	Red Foster Serie correspondiente a la ec. 2.8. $X(w)$ tiene un cero en $w = 0$ y un polo en $w \rightarrow \infty$ ; número de ceros es igual al número de polos. . . . .	30
Figura 2.15.-	Red Foster Serie correspondiente a la ec. 2.9. $X(w)$ tiene un polo en $w = 0$ y un cero en $w \rightarrow \infty$ ; número de polos es igual al número de ceros. . . . .	31
Figura 2.16.-	Red Foster Serie correspondiente a la ec. 2.10. $X(w)$ tiene un polo en $w = 0$ y un polo en $w \rightarrow \infty$ ; número de ceros es mayor que el número de polos. . . . .	32
Figura 2.17.-	Red Foster Paralelo correspondiente a la ec. 2.15. $X(w)$ tiene un polo en $w = 0$ y un polo en $w \rightarrow \infty$ ; número de ceros es mayor que el número de polos. . . . .	33
Figura 2.18.-	Red Foster Paralelo correspondiente a la ec. 2.17. $X(w)$ tiene un polo en $w = 0$ y un cero en $w \rightarrow \infty$ ; número de ceros es igual al número de polos. . . . .	34
Figura 2.19.-	Red Foster Paralelo correspondiente a la ec. 2.19. $X(w)$ tiene un cero en $w = 0$ y un polo en $w \rightarrow \infty$ ; número	

	de polos es igual al número de ceros. . . . .	35
Figura 2.20.-	Red Foster Paralelo correspondiente a la ec. 2.21. $X(w)$ tiene un cero en $w = 0$ y un cero en $w \rightarrow \infty$ ; número de ceros es menor que el número de polos. . . . .	36
Figura 2.21.-	Red Cauer L-Serie para grado del numerador menor que el grado del denominador cuando $X(w)$ tiene un cero en $w = 0$ y un cero en $w \rightarrow \infty$ . . .	38
Figura 2.22.-	Red Cauer L-Serie para grado del numerador mayor que el grado del denominador cuando $X(w)$ tiene un cero en $w = 0$ y un polo en $w \rightarrow \infty$ . . .	38
Figura 2.23.-	Red Cauer L-Serie para grado del numerador menor que el grado del denominador cuando $X(w)$ tiene un polo en $w = 0$ y un cero en $w \rightarrow \infty$ . . .	39
Figura 2.24.-	Red Cauer L-Serie para grado del numerador mayor que el grado del denominador cuando $X(w)$ tiene un polo en $w = 0$ y un polo en $w \rightarrow \infty$ . . .	39
Figura 2.25.-	Red Cauer C-Serie para grado del numerador menor que el grado del denominador cuando $X(w)$ tiene un cero en $w = 0$ y un cero en $w \rightarrow \infty$ . . .	41
Figura 2.26.-	Red Cauer C-Serie para grado del numerador mayor que el grado del denominador cuando $X(w)$ tiene un cero en $w = 0$ y un polo en $w \rightarrow \infty$ . . .	41
Figura 2.27.-	Red Cauer C-Serie para grado del numerador menor que el grado del	

	denominador cuando $X(w)$ tiene un polo en $w = 0$ y un cero en $w \rightarrow \infty$ . . .	42
Figura 2.28.-	Red Cauer C-Serie para grado del numerador mayor que el grado del denominador cuando $X(w)$ tiene un polo en $w = 0$ y un polo en $w \rightarrow \infty$ . . .	42
Figura 2.29.-	Diagrama de flujo del proceso de síntesis de redes Foster y Cauer (parte a). . . . .	44
Figura 2.29.-	Diagrama de flujo del proceso de síntesis de redes Foster y Cauer (parte b). . . . .	45
Figura 2.29.-	Diagrama de flujo del proceso de síntesis de redes Foster y Cauer (parte c). . . . .	46
Figura 2.30.-	Conexiones que permiten resolver el problema planteado en el ejemplo 1.	48
Figura 2.31.-	Circuitos correspondientes a los elementos indicados en la tabla 2.4	51
Figura 2.32.-	Conexión de las redes del ejemplo 3 a la excitación para comprobación de las singularidades internas. . . . .	59
Figura 3.1.-	Conexión de la red a la excitación para análisis de voltajes de nodo, voltajes de rama, corrientes de rama y potencia aparente. . . . .	62
Figura 3.2.-	Circuito serie L-C con pérdidas. . . . .	63
Figura 3.3.-	Diagrama de flujo del programa DATSINT1 que codifica la topología de las redes que resultan del proceso de síntesis. . . . .	71
Figura 3.4.-	Diagrama de flujo del programa INGRESO2 que revisa la validez de los	

	datos de topología de una red cualquiera con hasta 16 elementos. . . . .	72
Figura 3.5.-	Diagrama de flujo del programa ANALISIS en el que se encuentran implementados los algoritmos para análisis de redes. Parte a. . . . .	79
Figura 3.5.-	Diagrama de flujo del programa ANALISIS en el que se encuentran implementados los algoritmos para análisis de redes. Parte b. . . . .	80
Figura 3.6.-	Red correspondiente a la síntesis del ejemplo 2 (capítulo), con una excitación de 1 V <sub>RMS</sub> . . . . .	83
Figura 3.7.-	Respuesta de frecuencia del módulo del voltaje en el nodo (a) . . . . .	84
Figura 3.8.-	Respuesta de frecuencia del módulo de la corriente en la bobina. . . . .	85
Figura 3.9.-	Respuesta de frecuencia de la potencia disipada en la bobina. . . . .	86
Figura 3.10.-	Respuesta de frecuencia de la potencia reactiva almacenada en la bobina. . . . .	87
Figura 3.11.-	Gráfico para cálculo de variaciones de voltaje cuando se conoce la sensibilidad. . . . .	90
Figura 4.1.-	Diagrama del circuito de prueba para encontrar la respuesta de frecuencia de una red. . . . .	94
Figura 4.2.-	Circuito de prueba No 1. . . . .	98
Figura 4.4.-	Circuito de prueba No 2. . . . .	98
Figura 4.6.-	Circuito de prueba No 3. . . . .	99
Figura 4.3.-	Respuesta de frecuencia teórico-experimental del circuito de prueba No 1. . . . .	100

Figura 4.5.-	Respuesta de frecuencia teórico-experimental del circuito de prueba No 2. . . . .	101
Figura 4.7.-	Respuesta de frecuencia teórica y experimental del circuito de prueba No 3. . . . .	102
Figura 6.1.-	Red Foster Serie . . . . .	115
Figura 6.2.-	Red Foster Paralelo . . . . .	115
Figura 6.3.-	Red Cauer C-Serie . . . . .	115
Figura 6.4.-	Red Cauer L-Serie . . . . .	116
Figura 6.5.-	Circuito con red Cauer L-Serie. . .	116
Figura 7.1.-	Diagrama de una red con un puerto .	138
Figura 7.2	Representación de $Z(s)$ en función de $s$ para un inductor y para un capacitor. . . . .	140

10. LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1.-	Impedancias y admitancias de resistencias, bobinas y condensadores. . . . .	7
Tabla 1.2.-	Potencia máxima almacenada, energía disipada y factor de calidad para bobinas y condensadores. . . . .	9
Tabla 1.3.-	Factor de Calidad para circuitos serie y paralelo en función de la frecuencia. . . . .	10
Tabla 2.1.-	Formato de ingreso de datos para síntesis de redes Foster y Cauer . . . . .	24
Tabla 2.2.-	Formato para presentación de resultados . . . . .	47
Tabla 2.3.-	Formato de ingreso con datos del ejemplo 1. . . . .	49
Tabla 2.4.-	Formato de presentación de resultados con valores calculados para el ejemplo 1. . . . .	50
Tabla 2.5.-	Resultados de síntesis del ejemplo 1 para condición de impedancia de 100 $\Omega$ a la frecuencia de 10 MHz . . . . .	52
Tabla 2.6.-	Datos del problema planteado en el ejemplo 2. . . . .	54
Tabla 2.7.-	Resultados de la ejecución del programa de síntesis para el ejemplo 2 . . . . .	54
Tabla 2.8.-	Formato de ingreso con datos del ejemplo 3 (número máximo de singularidades internas). . . . .	55
Tabla 2.9.-	Resultados de la ejecución del programa de síntesis para el ejemplo 3 . . . . .	56
Tabla 2.10.-	Resultado de la evaluación de las frecuencias de resonancia de los	



	circuitos tanque L-C de la red Foster Serie del ejemplo 3 (tabla 2.9).	57
Tabla 2.11.-	Resultado de la evaluación de las frecuencias de resonancia de los circuitos serie L-C de la red Foster Paralelo del ejemplo 3 (tabla 2.9).	57
Tabla 2.12.-	Valores calculados del voltaje en el nodo (a) (fig. 2.32) para las frecuencias de la singularidades internas y de la condición de impedancia. Los valores calculados son los mismos para las redes Foster y Cauer.	59
Tabla 3.1.-	Ingreso de datos de la topología de cualquier red.	66
Tabla 3.2.-	Formato de ingreso de datos de las redes Foster o Cauer (resultantes de la síntesis) con elementos que presentan pérdidas.	67
Tabla 3.3.-	Resultados de sensibilidad para la red Cauer L-Serie del ejemplo 1 (capítulo 2).	91
Tabla 3.4.-	Resultados de variaciones de voltaje debidas a sensibilidad para la red Cauer L-Serie del ejemplo 1 (capítulo 2).	92
Tabla 3.5.-	Resultados de tolerancia para la red Cauer L-Serie del ejemplo 1 (capítulo 2), cuando se considera una variación del 5% en el condensador C0.	93
Tabla 4.1.-	Caraterísticas de los elementos utilizados en el laboratorio.	95
Tabla 4.2.-	Ingreso de datos de la topología del circuito de prueba No 1.	96

Tabla 4.3.-	Ingreso de datos de la topología del circuito de prueba No 2. . . . .	96
Tabla 4.4.-	Ingreso de datos de la topología del circuito de prueba No 3. . . . .	97
Tabla 6.1.-	Formato de ingreso de datos para síntesis de red Foster y Cauet. . .	107
Tabla 6.2.-	Formato de ingreso de pérdidas óhmicas en paralelo con los elementos de una red Foster o Cauet resultado del proceso de síntesis. . . . .	109
Tabla 6.3.-	Formato de ingreso de datos de la topología de una red con elemento resistivos, inductivos, capacitivos y fuentes independientes de voltaje y/o corriente. . . . .	110
Tabla 6.4.-	Formato de presentación de resultados de síntesis Foster y Cauet. .	112
Tabla 6.5.-	Formato de ingreso de datos. La función impedancia de entrada presenta dos ceros a 11 MHz y 21 MHz y dos polos a 15 MHz y 27 MHz, con -50 ohmios a 7 MHz. . . . .	113
Tabla 6.6.-	Formato de presentación de resultados de síntesis para el problema ingresado en la tabla 6.5. . . . .	114
Tabla 6.7.-	Resultados de respuesta de frecuencia del voltaje en el nodo (a) del circuito de la fig. 6.5. . . . .	117
Tabla 6.8.-	Formato de presentación de potencia (almacenada y perdida) en circuitos con redes resultantes del programa de síntesis. . . . .	118
Tabla 6.9.-	Resultados de sensibilidad para el circuito de la fig. 6.5. . . . .	119

Tabla 6.10.-	Resultados de variaciones de voltaje para el circuito de la fig. 6.5	120
Tabla 6.11.-	Resultados de variación de voltaje para una tolerancia del 5% en el condensador C0 del circuito de la fig. 6.5.	121

11. BIBLIOGRAFIA

1. VAN VALKENBURG M.E., Introduction to modern network synthesis, Wiley International Edition, 1960.
2. KUO, Franklin F., Network Analysis and Synthesis, Wiley International Edition.
3. CALAHORRANO, Washington, Programa digital para la síntesis Foster y Cauer de redes canónicas de dos tipos de elementos: L-C, L-R, y R-C, Tesis de Grado EPN, 1983.
4. VAN VALKENBURG M.E., Network Analysis, Limusa, 1976
5. RODRIGUEZ, Elizabeth, Programa digital para análisis de circuitos eléctricos lineales en el dominio de la frecuencia, Tesis EPN, 1983.
6. MORALES, Héctor, Análisis de tolerancia y sensibilidad en redes utilizando computador digital, Tesis EPN, 1980
7. OLALLA, Víctor, Estudio de las funciones reales positivas, Tesis EPN, 1983.
8. POSNER, John - HILL, Jeff ..., LOTUS USER'S MANUAL LOTUS Development Corporation, 1983.

11. BIBLIOGRAFIA

1. VAN VALKENBURG M.E., Introduction to modern network synthesis, Wiley International Edition, 1960.
2. KUO, Franklin F., Network Analysis and Synthesis, Wiley International Edition.
3. CALAHORRANO, Washington, Programa digital para la síntesis Foster y Cauer de redes canónicas de dos tipos de elementos: L-C, L-R, y R-C, Tesis de Grado EPN, 1983.
4. VAN VALKENBURG M.E., Network Analysis, Limusa, 1976
5. RODRIGUEZ, Elizabeth, Programa digital para análisis de circuitos eléctricos lineales en el dominio de la frecuencia, Tesis EPN, 1983.
6. MORALES, Héctor, Análisis de tolerancia y sensibilidad en redes utilizando computador digital, Tesis EPN, 1980
7. OLALLA, Víctor, Estudio de las funciones reales positivas, Tesis EPN, 1983.
8. POSNER, John - HILL, Jeff ..., LOTUS USER'S MANUAL, LOTUS Development Corporation, 1983.