

ADAPTACIÓN DE IMPEDANCIAS

Trabajo práctico 6 – Electrónica Aplicada III

5R2



Alassia, Francisco; 60861

Amaya, Matías; 68284

Lamas, Matías; 65536

Navarro, Facundo; 63809

Verón, Misael; 62628

Introducción

De acuerdo al teorema de máxima transferencia de potencia, tenemos máximo aprovechamiento de energía cuando la relación entre la carga Z_L que alimentamos y la impedancia interna Z_G de la fuente de alimentación es la siguiente:

$$Z_L = \bar{Z}_G$$

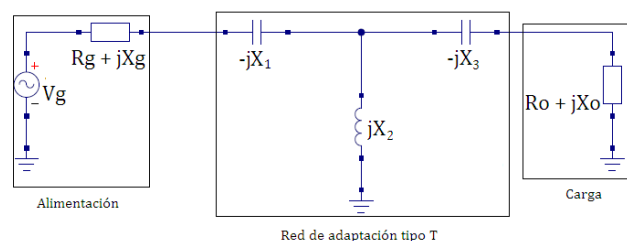
Para cuando lo anterior no se cumpla, se hace necesario el uso de una red de adaptación de impedancias.

Llevado al plano del diseño de amplificadores, resulta importante que tanto la entrada como la salida del amplificador estén adaptadas. En el presente trabajo trabajaremos ese concepto.

Desarrollo

Cálculo analítico de una red de adaptación

Existen diversos tipos de redes de adaptación pero en este trabajo vamos a analizar sólo la tipo T. Consideremos el siguiente esquema:



Los bloques de alimentación y carga pueden ser equivalentes correspondientes a dos puntos cualesquiera de un circuito. Por ejemplo: entrada o salida de un amplificador.

Para máxima transferencia de potencia se debe cumplir:

$$\bar{Z}_g = R_g - jX_g = -jX_1 + \{jX_2 // [R_o + j(X_o - X_3)]\}$$

De la expresión anterior, formamos dos ecuaciones con tres incógnitas. Desarrollando, llegamos a lo siguiente:

$$X_3 = X_2 + X_o - \sqrt{X_2^2 \frac{R_o}{R_g} - R_o^2} \quad \backslash 1$$

$$X_1 = X_g + \frac{R_g}{R_o X_2} [R_o^2 + (X_o - X_3)(X_2 + X_o - X_3)] \quad \backslash 2$$

Para resolver este sistema, necesitamos definir una incógnita o ecuación. Si definimos arbitrariamente:

$$X_3 = X_2$$

De $\backslash 1$:

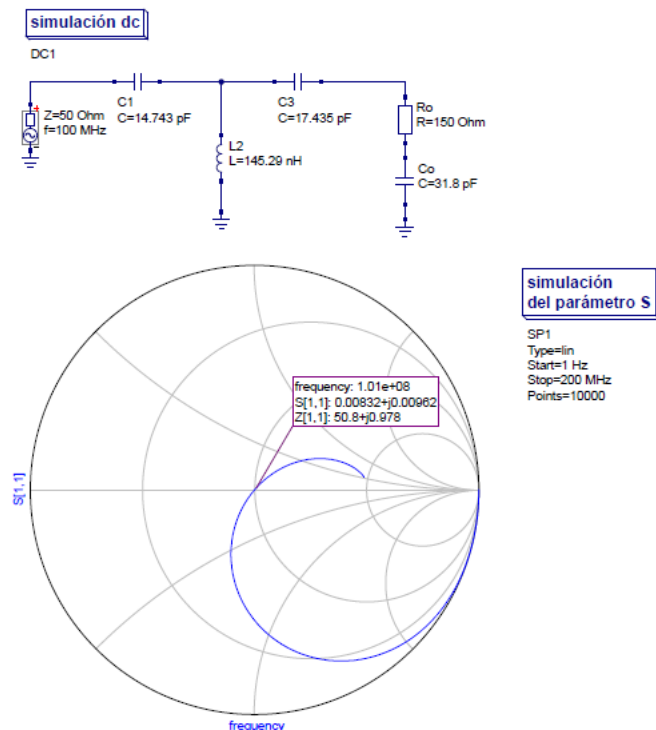
$$X_3 = X_2 = \sqrt{\frac{R_g}{R_o}} \sqrt{(X_o^2 + R_o^2)} \quad \backslash 3$$

De $\backslash 2$:

$$X_1 = X_g + \frac{R_g}{R_o X_2} [R_o^2 + (X_o - X_3)X_o] \quad \backslash 4$$

Actividad 1: Diseños y simulaciones de redes

Con las ecuaciones desarrolladas diseñamos redes para ciertas condiciones de carga dadas y se simula sus parámetros S_{11} (Coeficiente de reflexión).



De $\backslash 3$ y $\backslash 4$:

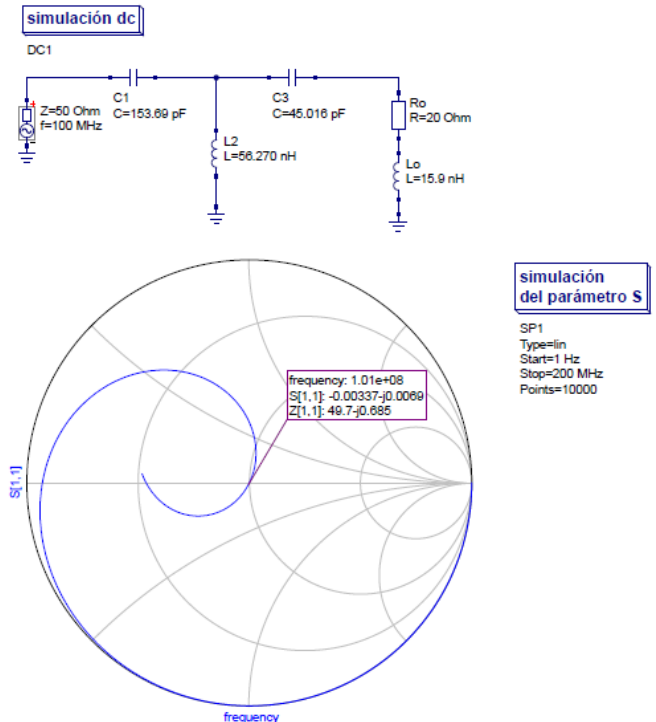
$$R_g + jX_g = 50\Omega + j0$$

$$R_o + jX_o = 150\Omega - j50$$

$$L_2 = \frac{X_2}{\omega} = 145.29 \text{ nH}$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega X_1} = 14.743 \text{ pF}$$

$$C_3 = \frac{1}{\omega X_3} = 17.435 \text{ pF}$$



De $\backslash 3$ y $\backslash 4$:

$$R_g + jX_g = 50\Omega + j0$$

$$R_o + jX_o = 20\Omega + j10$$

$$L_2 = \frac{X_2}{\omega} = 56.270 \text{ nH}$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega X_1} = 153.69 \text{ pF}$$

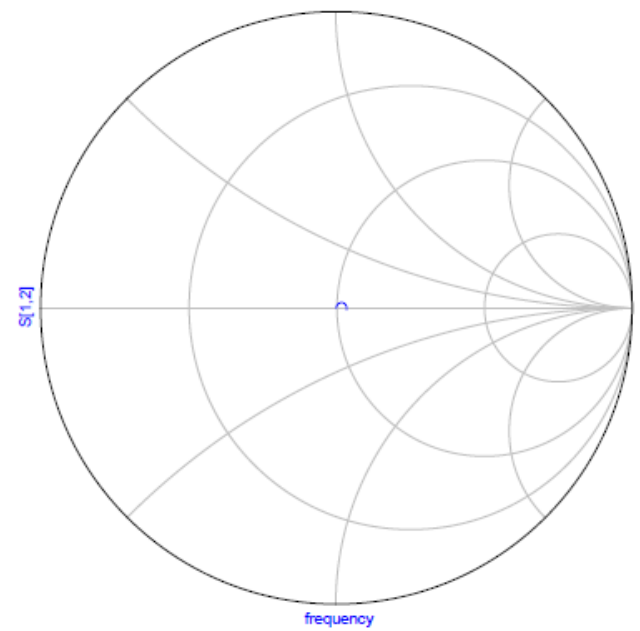
$$C_3 = \frac{1}{\omega X_3} = 45.016 \text{ pF}$$

Como se ve en ambas simulaciones $S_{11} \approx 0$, como es de esperarse ya que la carga conectada al generador es igual a R_g , reflexión cero.

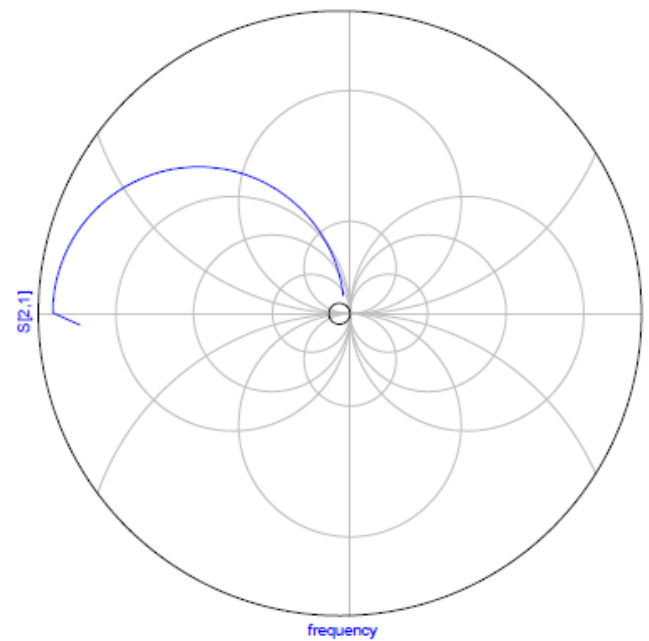
Actividad 2: Diseño de un circuito en el simulador para evaluar los parámetros S desconocidos de un transistor.

Polarizamos un transistor de propósitos generales 2N3904 y evaluamos sus parámetros

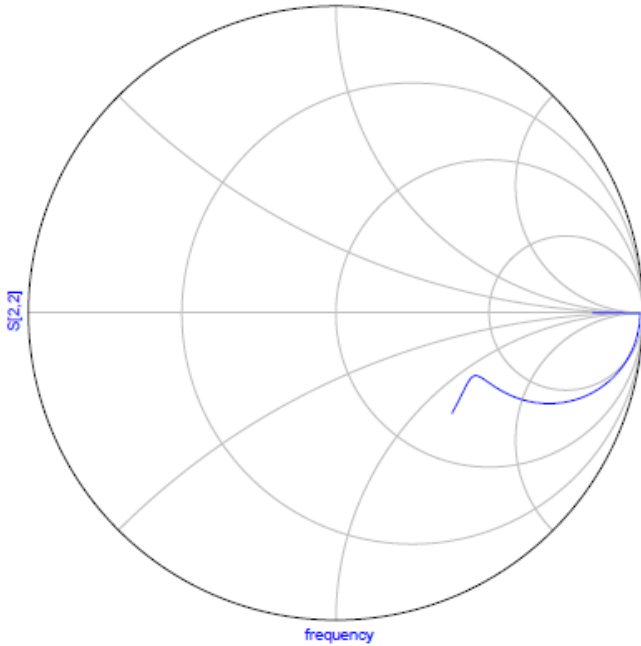
Ganancia de transmisión inversa



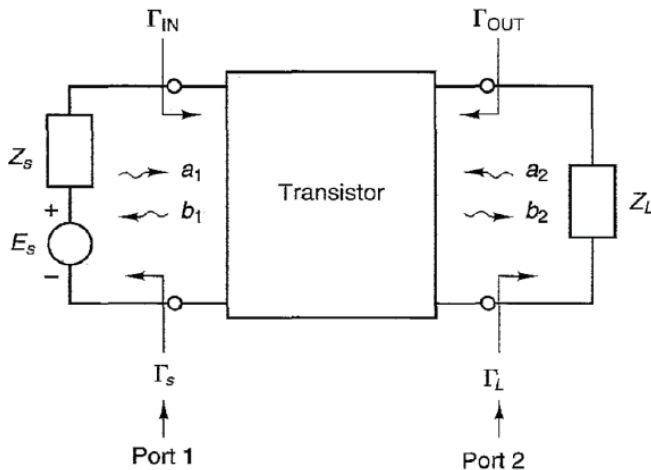
Ganancia de transmisión directa



Coeficiente de reflexión desde la carga



Para explicar la relación de los parámetros con las impedancias de la etapa, consideremos el siguiente esquema:



$$\Gamma_{IN} = -\Gamma_S = \frac{Z_{IN}(Amp) - Z_S}{Z_{IN}(Amp) + Z_S} = S_{11}$$

$$\Gamma_{OUT} = -\Gamma_L = \frac{Z_{OUT}(Amp) - Z_L}{Z_{OUT}(Amp) + Z_L} = S_{22}$$

Las expresiones anteriores son ciertas si $S_{12} = 0$, lo cual en este caso es aproximadamente así. Despejando, tenemos:

$$Z_{IN}(Amp) = Z_S \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \quad \text{5}$$

$$Z_{OUT}(Amp) = Z_L \frac{1+S_{22}}{1-S_{22}} \quad \text{6}$$

Que son los datos necesarios para diseñar las redes de adaptación del amplificador.

Actividad 3: Diseño de las redes de adaptación de una etapa amplificadora para obtener no menos de 130 mW a partir de 2 mW.

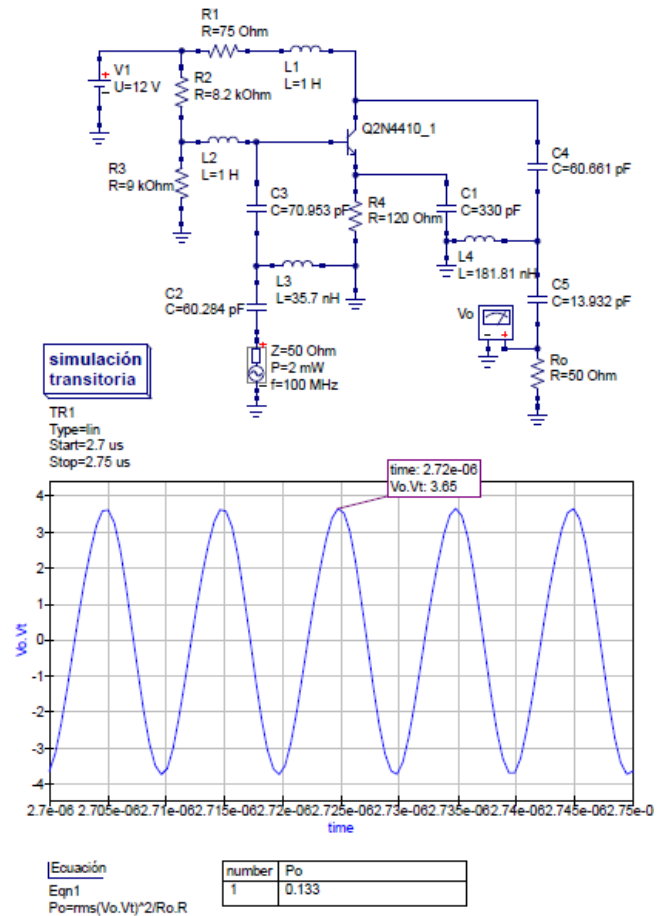
$$Z_G = 50 \Omega$$

$$Z_O = 50 \Omega$$

$$Z_{IN}(Amp) = 10 - j0.794$$

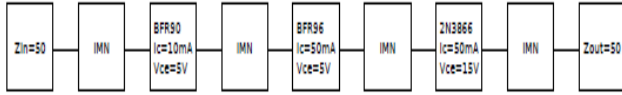
$$Z_{OUT}(Amp) = 261 - j88$$

$$Q = 2N4410$$



Las redes se calcularon a partir de las ecuaciones de la actividad 1. Para la red de entrada, considerando como Z_O a $Z_{IN}(Amp)$; y para la red de salida, considerando como Z_G a $Z_{OUT}(Amp)$.

Actividad 4: Cálculo de las redes de adaptación para un amplificador de 3 etapas.



$$f = 100 \text{ MHz}$$

El BFR90 (Vishay), polarizado según la imagen, tiene las siguientes características:

$$S_{11} = 0.260 - j0.367$$

$$S_{22} = 0.735 - j0.289$$

De \5 y \6:

$$Z_{IN}(BFR90) = 50\Omega \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} = 58.541 - j53.851$$

$$Z_{OUT}(BFR90) = 50\Omega \frac{1 + S_{22}}{1 - S_{22}} = 122.36 - j187.97$$

El BFR96 (Vishay), polarizado según la imagen, tiene las siguientes características:

$$S_{11} = -0.021 - j0.537$$

$$S_{22} = 0.522 - j0.422$$

$$Z_{IN}(BFR96) = 50\Omega \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} = 26.66 - j40.339$$

$$Z_{OUT}(BFR96) = 50\Omega \frac{1 + S_{22}}{1 - S_{22}} = 67.570 - j103.796$$

El 2N3866, polarizado según la imagen, tiene las siguientes características:

$$S_{11} = -0.249 - j0.09$$

$$S_{22} = 0.478 - j0.146$$

$$Z_{IN}(2N3866) = 50\Omega \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} = 29.632 - j5.779$$

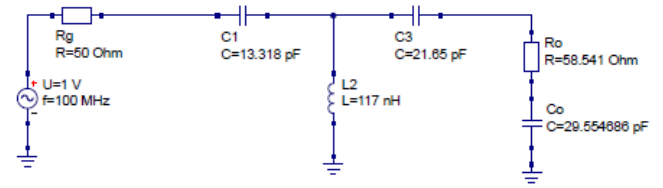
$$Z_{OUT}(2N3866) = 50\Omega \frac{1 + S_{22}}{1 - S_{22}} = 127.672 - j49.694$$

Los parámetros S fueron tabulados según los puntos Q de trabajo y frecuencia de trabajo de los transistores. Además, el fabricante da el dato considerando entrada y salida adaptada a 50Ω.

Adaptación entrada BFR90

simulación ac

AC1
Type=const
Values=[100 MHz]



Ecuación

Eqn1
 $X1 = -j(2\pi \text{acfrequency} \cdot C1 \cdot C)$

Ecuación

Eqn2
 $X2 = jL2 \cdot L \cdot 2\pi \text{acfrequency}$

Ecuación

Eqn3
 $X3 = -j(2\pi \text{acfrequency} \cdot C3 \cdot C)$

Ecuación

Eqn4
 $Xo = -j(2\pi \text{acfrequency} \cdot Co \cdot C)$

Ecuación

Eqn6
 $Zo = Ro \cdot R + Xo$

Ecuación

Eqn9
 $S11 = (Z11 - Zg) / (Z11 + Zg)$

Ecuación

Eqn5
 $Z11 = X1 + (X2 \cdot (X3 + Zo) / (Zo + X2 + X3))$

acfrequency	S11	Z11
1e08	7.38e-05 / 62.41	50 + j0.00652

$$R_g + jX_g = Z_{in} = 50\Omega$$

$$R_o + jX_o = Z_{IN}(BFR90) = 58.541 - j53.851$$

De \3 y \4:

$$L_2 = \frac{X_2}{\omega} = 117 \text{ nH}$$

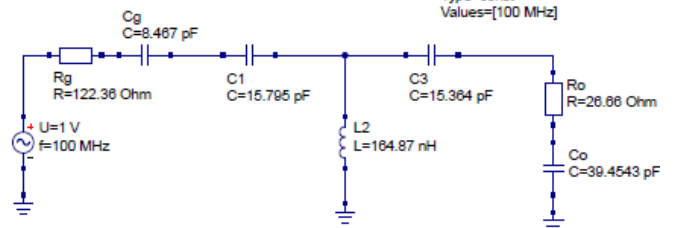
$$C_1 = \frac{1}{\omega X_1} = 13.318 \text{ pF}$$

$$C_3 = \frac{1}{\omega X_3} = 21.650 \text{ pF}$$

Adaptación salida BFR90/entrada BFR96

simulación ac

AC1
Type=const
Values=[100 MHz]



Ecuación

Eqn1
 $X1 = -j(2\pi \text{acfrequency} \cdot C1 \cdot C)$

Ecuación

Eqn2
 $X2 = jL2 \cdot L \cdot 2\pi \text{acfrequency}$

Ecuación

Eqn3
 $X3 = -j(2\pi \text{acfrequency} \cdot C3 \cdot C)$

Ecuación

Eqn4
 $Xo = -j(2\pi \text{acfrequency} \cdot Co \cdot C)$

Ecuación

Eqn10
 $Xg = -j(2\pi \text{acfrequency} \cdot Cg \cdot C)$

Ecuación

Eqn6
 $Zo = Ro \cdot R + Xo$

Ecuación

Eqn9
 $S11 = (Z11 - Zg) / (Z11 + Zg)$

Ecuación

Eqn5
 $Z11 = X1 + (X2 \cdot (X3 + Zo) / (Zo + X2 + X3))$

acfrequency	S11	Z11	Zg
1e08	1.64 / 90°	122 + j188	122 - j188

$$R_g + jX_g = Z_{OUT}(BFR90) = 122.36 - j187.97$$

$$R_O + jX_O = Z_{IN}(BFR96) = 26.66 - j40.339$$

De \3 y \4:

$$L_2 = \frac{X_2}{\omega} = 164.87 \text{ nH}$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega X_1} = 15.795 \text{ pF}$$

$$C_3 = \frac{1}{\omega X_3} = 15.364 \text{ pF}$$

Adaptación salida BFR96/entrada 2N3866

$$R_g + jX_g = Z_{OUT}(BFR96) = 67.570 - j103.796$$

$$R_O + jX_O = Z_{IN}(2N3866) = 29.632 - j5.779$$

Aplicando las ecuaciones \3 y \4 nos va a dar un valor de C negativo. Matemáticamente es porque $X_O \ll X_g$. Lo que hacemos es incrementar X_O agregando a la salida de la red un capacitor de 82 pF de manera que la nueva $X_O = 25,188 \Omega$. A partir de ese valor:

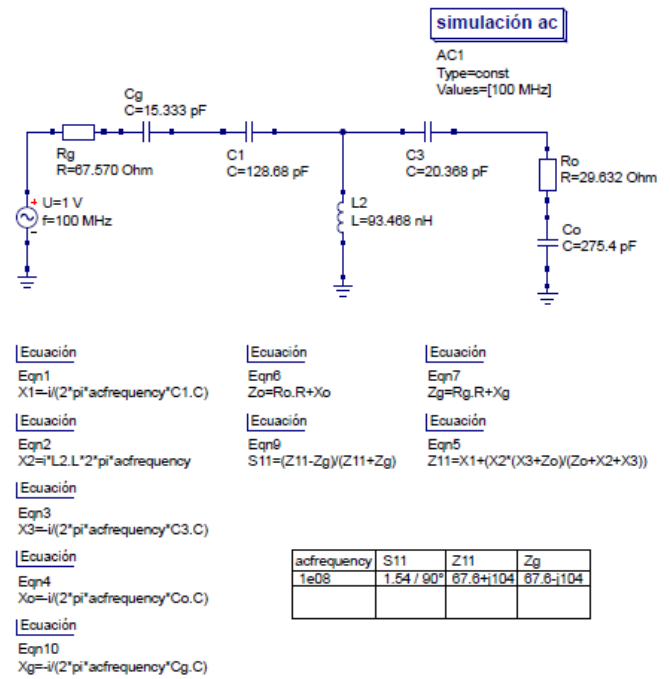
$$L_2 = \frac{X_2}{\omega} = 93.468 \text{ nH}$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega X_1} = 128.68 \text{ pF}$$

$$C_3 = \frac{1}{\omega X_3} = 27.1 \text{ pF}$$

Físicamente no sería necesario agregar el capacitor. Simplemente lo incorporamos en C_3 de manera que:

$$C_3(\text{actualizado}) = C_3 / 82 \text{ pF} = 20.368 \text{ pF}$$



Adaptación salida 2N3866/carga

$$R_g + jX_g = Z_{OUT}(2N3866) = 127.672 - j49.694$$

$$R_O + jX_O = 50 \Omega + j0$$

De \3 y \4:

$$L_2 = \frac{X_2}{\omega} = 127.16 \text{ nH}$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega X_1} = 52.694 \text{ pF}$$

$$C_3 = \frac{1}{\omega X_3} = 19.920 \text{ pF}$$

Conclusiones

La adaptación es muy importante, no sólo para el aprovechamiento de la energía sino también para ahorrar estrés en los componentes de un circuito que pueda ocasionar las reflexiones. Lo que en corto o largo plazo implica la destrucción del componente.

Existen diversos tipos de redes y diversas formas de calcularlas. Métodos analíticos y gráficos. Existen software's que diseñan específicamente redes e incluso los simuladores suelen tener herramientas para diseñar ciertos tipos de redes. En este trabajo se operó sobre un método analítico con cierto grado de arbitrariedad lo que llevó a un cálculo fallido de un capacitor de una red. Eso se debe a la falta de análisis del circuito considerando todas las condiciones posibles sobre las cuales podría trabajar. Un análisis completo y una arbitrariedad bien fundamentada debería tener un margen de error nulo. Los métodos analíticos siempre están menos expuestos al error que los gráficos, pero por otro lado requieren de conocimientos matemáticos y físicos para emplearlos.

Para conocer las impedancias de entrada y salida de un transistor se está sujeto a los ensayos del fabricante hechos en determinadas condiciones. Lo que lo deja a uno con dos opciones, trabajar en las mismas condiciones de ensayo del fabricante o realizar nuevos ensayos en base a condiciones propias. La segunda opción requiere de tener las herramientas necesarias para los ensayos o mediciones, lo cual puede ser un inconveniente.