LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

PRACTICA No 1

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO VISIBLE

OBJETIVO : DEMOSTRAR QUE EL ESPECTRO VISIBLE SE DESCOMPONE EN UN CONJUNTO INFINITO DE COLORES,Y QUE PARA CADA COLOR LE CORRESPONDE UNA LONGITUD DE ONDA ESPECÍFICA.

Teoría: Notas del curso Espectro Electromagnético. En el curso se explica que el espectro electromagnético está formado por un conjunto de ondas de diferente longitud de onda o frecuencia. En ingeniería se utiliza el espectro electromagnético para diferentes fines prácticos. Las ondas cortas se utilizan para comunicaciones de radio, TV. Enseguida viene el espectro de microondas que se usa para comunicaciones, secado de alimentos, bioingeniería. Le sigue la banda infraroja, el visible, el ultarvioleta. La banda de rayos X, y las bandas del espectro rayos beta y gamma.

EQUIPO Y MATERIALES UTILIZADOS:

MONOCROMADOR BAUSH + LOMB

CALCULADORA .

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA: Se conecta al monocromador a la línea de 120 V, estando el laboratio completamente obscuro se procede a hacer un barrido con la manivela del monocromador seleccionando un color determinado, se toma la lectura correspondiente a la longitud de onda del color escogido y se determina la frecuencia y la energía asociada al color.

El estudiante deberá elaborar una tabla con los siguientes datos:

Color	Longitud de onda	Frecuencia	Energía

Observaciones:_____

_____

_____

_____

_____

_____

Conclusiones:_____

_____

PRACTICA NO 2

MATERIALES, CONECTORES, ADAPTADORES Y CABLES MAS COMUNES EN TECNOLOGÍA DE RF Y MICROONADAS.

OBJETIVO. Presentar al estudiante los tipos de materiales (substratos) que se utilizan para la fabricación de circuitos de radio frecuencia y microondas, así como también enseñarles los diferentes conectores que se manejan, así como su aplicación y manejo. Se presentan diferentes tipos de cables coaxiales y de par de alambres paralelos, también se muestran las guías de onda rectangulares.

Al finalizar la práctica el estudiante podrá reconocer los materiales, conectores y tipos de cable utilizados en RF y microondas, así como su aplicación.

Bases Teóricas. Capítulos 1 y 6 del texto. Se explican las propiedades de los dieléctricos, también se muestran las diferentes estructuras que se utilizan para la fabricación de circuitos integrados de microondas como la microcinta y la guía de onda coplanar.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA: El profesor presenta físicamente un conjunto de substratos, explicando las propiedades de estos así como también sus aplicaciones. De la misma manera el profesor presenta un conjunto de cables coaxiales utilizados en RF y microondas y finalmente un conjunto de conectores. Los materiales presentados son:

Substratos:

FR4

Duroid 5870 PTFE

Duroid 5880 PTFE

Duroid 6010.5 PTFE

Alumina (Al_2O_3)

Oblea de Si

Cables y líneas de transmisión:

CABLE COAXIAL RG 214/U

CABLE COAXIAL

CABLE DE ALAMBRES PARALELOS

GUIAS DE ONDA RECTANGULARES WR 90

LÍNEA TRANSMISIÓN EN MICROCINTA

LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN GUÍA DE ONDA COPLANAR

Conectores

CONECTORES TIPO SMA

CONECTORES TIPO N

CONECTORES TIPO APC-7

CONECTORES TIPO BNC

Los estudiantes entregan un reporte mencionando algunas características adicionales que les deja el profesor como trabajo de investigación, por ejemplo, significado de la nomenclaturas de conectores, rango de operación de cables, substratos y conectores. Indicando la fuente donde se obtuvo la información.

PRACTICA No 3

DETECCIÓN DE SEÑALES ELECTROMAGNETICAS UTILIZANDO EL

ANALIZADOR DE ESPECTRO

OBJETIVO: Revisar las características mas importantes de este equipo de medición con el propósito de utilizarlo en la caracterización de líneas de transmisión y antenas.

Durante esta práctica se proporcionan los elementos básicos del análisis de señales, se explican las diferencias entre medición en el dominio del tiempo y medición en el dominio de la frecuencia. Las bases teóricas se dan en las notas de aplicación No 150 y 243 de Agilent.

Se explica de manera rápida el manejo de los tres controles básicos del analizador de espectros: frecuencia, span y amplitud. Mediante el conocimiento de estos controles, se realiza la siguiente práctica.

EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO

Analizador de espectros Modelo

Cables con terminación BNC

Antena de conejo de TV.

Señal AM/FM	Frecuencia	Potencia transmitida	Potencia Recibida	Pérdidas

Observaciones:

_____
_____
_____
_____
_____

Conclusiones:

_____
_____
_____
_____
_____

PRACTICA No 4

CARACTERIZACIÓN DE CABLES COAXIALES

OBJETIVO: El objetivo de esta práctica , consiste en observar la respuesta del cable en función de la frecuencia (evaluación de las pérdidas).

Equipo y materiales utilizados:

Generador de RF Modelo HP 8656B

Analizador de espectros MODELO GW INSTEK GSP-810 - 1000 MHz

Cables coaxiales RG 214 de diferente longitud.

Conectores diversos SMA, Tipo N y BNC

Desarrollo de la práctica:

Paso 1. Calibración del sistema. Se conecta el generador de RF al analizador de espectro através de un cable corto coaxial, el cual se toma como cable de referencia, como se muestra en la figura 1.

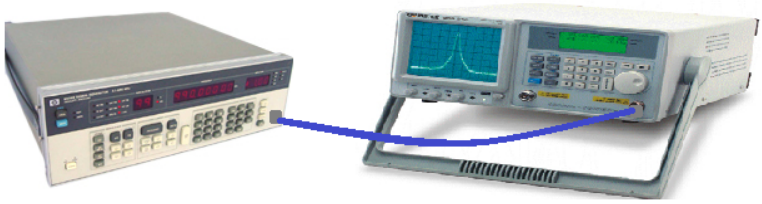


Figura 1. Arreglo experimental, para caracterizar cables coaxiales.

Se realiza un barrido de frecuencias, comenzando en 50 MHz y terminando en 900 MHz con pasos de 50 MHz. Para cada frecuencia, se mide con el analizador de espectros el nivel de cada frecuencia. El nivel medido con el analizador de espectros será la potencia de entrada.

Los datos medidos se tabulan como se indica en la tabla1:

Frecuencia (MHz)	Potencia de entrada Pe (dB)
50	
100	
150	
.	
.	
.	
900	

Tabla 1. Potencia de entrada

Paso 2. Se conecta el cable coaxial a medir como se indica en la figura 2, y se vuelve a realizar el barrido para cada una de las frecuencias. La potencia medida será la potencia de salida del cable coaxial Ps.

Figura 2. Conexión del cable coaxial a medir.

Los datos medidos se tabulan como se indica en la tabla 2.

Frecuencia (MHz)	Potencia de entrada Pe (dB)	Potencia de salida Ps (dB)	Pérdidas=(Pe-Ps) dB
50			
100			
150			
.			
.			
.			
900			

Paso 3. Se determinan las pérdidas del cable restando la potencia de salida menos la potencia de entrada.

Paso 4. Se realiza una grafica de pérdidas v.s. frecuencia.

Observaciones:

_____
_____
_____

Conclusiones:

_____
_____
_____

PRACTICA No 5

CARACTERIZACIÓN DE LINEAS DE TRANSMISION BIFILIARES UTILIZANDO UN MEDIDOR DE POTENCIA

OBJETIVO: El objetivo de esta práctica , consiste en medir las pérdidas de una línea de transmisión bifiliar a una frecuencia dada.

Como se ha mencionado en clase, estas líneas cada vez se utilizan en menor escala, es decir cada día están mas en desuso.

Equipo y materiales utilizados:

Generador de RF.

Un medidor de potencia.

Una línea de transmisión bajo prueba.

Un cable de referencia (con pérdidas conocidas)

Conectores y Adaptadores Tipo N a BNC

Desarrollo de la práctica:

Antes de iniciar la práctica, se debe recordar que sobrecargas pueden dañar al medidor de potencia. Siempre estime la potencia que se vaya aplicar al dispositivo antes de conectarlo y asegurarse que opera en el rango adecuado.

Paso 1. Calibración del sistema. Se conecta el generador de RF ajustando la salida a un nivel de 0 dBm y a una frecuencia determinada, desahabilitar cualquier tipo de modulación en el generador de RF, si es posible deshabilite la salida del generador ("RF OFF)como se muestra en la figura 1.

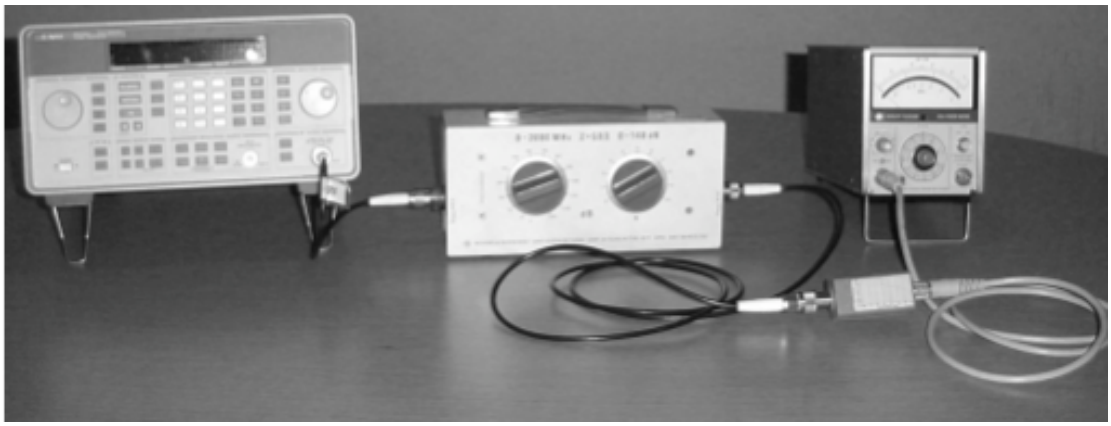


Figura 1. Arreglo experimental para medir potencia en lineas de transmisión bifiliares usando un medidor de potencia y un sensor de potencia.

Paso 2. Conectar el sensor de potencia siguiendo las instrucciones antes de encenderlo. Siga las instrucciones del medidor de potencia. El procedimiento consiste en encender el medidor por espacio de cinco minutos al menos, para que el medidor se estabilice (temperatura de operación). Después, utilizar la señal de referencia generada internamente para calibrar la ganancia del sensor de potencia. Después de la calibración, no se debe apagar el medidor de potencia. Salir del modo de calibracióndel medidor de potencia.

Paso 3. Ajuste el atenuador variable a -20 dB.

Paso 4. Cheque nuevamente el nivel de salida del generador (debe estar en 0 dBm o 1 mW) y la atenuación variable debe ser de -20 dB. Calcule las pérdidas del cable a la frecuencia de operación y determine el nivel de potencia a la entradad del medidor de potencia.

Potencia (dBm)= Potencia generada(dBm) + Pérdidas cable(dB) + Perdidas conector(dB) + Atenuación (dB).

En nuestro caso el valor esperado no debe exceder de -20 dBm.

Paso 5. Se debe asegurar que este valor estimado se ajusta en el rango de medición del medidor de potencia, ajustando la perilla al rango.

Paso 6. Conecte el generador de RF al medidor de potencia pasando a través del atenuador. Habilitar la salida del generador en caso de que haya sido inhabilitado.

Paso 7. Si todo está correcto, el medidor de potencia podría indicar el valor de potencia esperado. En caso de no tener la lectura esperada, apagar de inmediato el generador de RF y verificar cuidadosamente las conecciones, ajuste de instrumentos, verificar los cálculos y consultar con el profesor antes de repetir la medición.

Paso 8. Se puede observar una pequeña diferencia, del orden de pocos dB, entre lo estimado y lo medido. Esta diferencia está dada por las pérdidas de los conectores en la cadena de RF y además por la incertidumbre de los instrumentos.

Paso 9. Desabilite la salida del generador de RF o redezca al mínimo el nivel de salida, luego apague el generado de RF. Desconecte el cable de RF del sensor de potencia pero no apague el medidor de potencia.

Paso 10. Repita el procedimiento de calibración, para validar las mediciones. Si observa que la calibración del instrumento ha cambiado, repita todo el procedimiento.Finalmente apague el medidor de potencia y desconecte el sensor de potencia.

Observaciones:

_____
_____
_____

Conclusiones:

_____
_____
_____

PRACTICA No 6

DETERMINACION DE LA RELACION DE ONDA ESTACIONARIA ROEV EN UNA LINEA DE TRANSMISION

El objetivo de esta práctica es entender el concepto de Patrón de onda estacionaria o relación de onda estacionaria de voltaje ROEV, el concepto de línea acoplada, línea desacoplada, además de observar el comportamiento frecuencia contra la razón de onda estacionaria.

Marco teórico (Notas del curso)

Tipos de líneas de transmisión

Para aplicaciones de radiofrecuencias (RF) y microondas, existen una gran variedad de líneas de transmisión, entre ellas:

- Bifilar
- Coaxial
- Microcinta
- Cinta suspendida
- Guías de onda

Cada una de ellas, de acuerdo a su geometría, sus dimensiones y material de construcción, es más adecuada para determinar su aplicación. Por ejemplo, la línea bifilar es más común para las bandas VHF y UHF, en particular para conectar la antena con el receptor de la televisión. La línea coaxial es usada en aplicaciones de VHF y UHF, y muchas otras de inmunidad de ruedo es requerido, como en el equipo de audio e instrumentación. El rango de aplicaciones de las líneas coaxiales puede ir, incluso hasta los 26 GHz. y en casos especiales a frecuencias mayores. Estas líneas de acuerdo a sus dimensiones, pueden ser terminadas para conectores tipo F,BNC, N, SMA, 3.5 mm y APC7, de acuerdo al rango de frecuencias en que se encuentra la aplicación .

Por su parte, las líneas de microcinta y cintas suspendidas son comunes en la construcción de circuitos integrados hibridos y monolíticos de microondas; su rango de aplicación va desde 1 GHz hasta aproximadamente 70 GHz.

De acuerdo a su geometría las hace atractivas para canalizar las ondas electromagnéticas en las distintas tecnologías que se utilizan en las telecomunicaciones.

Por ejemplo la guía de onda, incluyendo todas sus posibles variantes (circular, rectángular, etc.) es usada cuando la aplicación requiere de altas potencias. Sin embargo, debido a lo difícil de su manejo, peso y costo, han sido reemplazadas poco a poco, por líneas de transmisión, así como conectores usados en ellos.

Banda de frecuencia	Frecuencia (GHz)	Conectores	Líneas de transmisión
UHF	3-1	F, BNC	Coaxial
L	1-2		Coaxial
S	2-4		Coaxial, guía de onda, microcinta
C	4-8		Coaxial, guía de onda, microcinta
X	8-12	N, NTC	Coaxial, guía de onda, microcinta
Ku	12-18.4	APC7-SMA	Coaxial, guía de onda, microcinta
K	18.4-26.5	3.5 mm	Coaxial, guía de onda, microcinta
Ka	26.5-40	K	Coaxial, guía de onda, microcinta
V	40-60	2.4 mm	Coaxial, guía de onda, microcinta

Cuando $Z_0=Z_1$, la carga absorbe toda la potencia incidente y no existe potencia reflejada, aesto se le llama línea acoplad.

Cuando $Z_0 \neq Z_1$parte de la potencia incidente es absorbida por la carga y parte se regresa a la fuente a esto se le llama línea desacoplada. Con una línea de transmisión desacoplada, existen don ondas electromagnéticas que viajan en direcciones opuestas y están presentes en la línea todo el tiempo.

Se le llaman ondas viajeras y establecen un patrón de interferencia conocido como onda estacionaria. Se llama patrón de onda estacionaria por que permanece en posición fija en la línea variando solamente su amplitud.

La relación de onda estacionaria ROEV se define como la relación de voltaje máximo con el voltaje mínimo, o también la relación de la corriente máxima con la corriente mínima de una onda estacionaria en una línea de transmisión. Esencialmente el ROEV es una medición de desacoplamiento entre la impedancia de carga y la impedancia característica de la línea de transmisión, matemáticamente , el ROEV es:

$$ROEV= Vmax/Vmin$$

El máximo voltaje (Vmax) ocurre cuando las ondas incidentes y reflejadas están en fase y el mínimo voltaje (Vmin) ocurre cuando las ondas incidentes y reflejadas están a 180 fuera de su fase. Matemáticamente se expresa como:

$$ROEV= Vmax/Vmin=(Ei+Er)/(Ei-Er)$$

De la ecuación anterior puede verse que cuando las ondas incidentes y reflejadas son iguales en amplitud (desacoplamiento total), $ROEV=\infty$. Esta condición del

peor caso. Además de la ecuación anterior puede verse que cuando existe onda reflejada (Er=0), VSWR=1, esta condición ocurre cuando Z0=Z1 y es la situación ideal. La relación de onda estacionaria también puede escribirse en términos puede escribirse en términos de r (coeficiente de reflexión), arreglando la ecuación anterior obtenemos:

$$r = (ROEV-1)/(ROEV+1)$$

Los valores de Γ y VSWR para los cuales se presenta un acoplamiento y un perfecto desacoplamiento son las siguientes:

Tipo de acoplamiento	**r**	**ROEV**
Perfecto acoplamiento	0	1
Perfecto desacoplamiento	1	∞

Las ventajas de no tener una línea de transmisión acoplada puede resumirse como sigue:

- En desacoplamiento perfecto, cerca del 100% de la potencia incidente proviene de la fuente, no alcanzan la carga
- Lo que se traduce en perdida (atenuación) de potencia transmitida.
- La atenuación también provoca que la señal se encuentre más cerca del ruido.

En la práctica es poco probable que una línea de transmisión sea determinada en una carga que sea un corto circuito o un circuito abierto, se examina estas condiciones por que ilustran las peores condiciones posibles que pueden ocurrir y producir y producir andas estacionarias que son representativas de condiciones menos severas.

Equipo utilizado

Un generador de señales de RF

Una con línea ranurada de guia de onda con sensor acoplado.

Un multímetro

Cable coaxial

Desarrollo de la práctica:

Se deben realizar mediciones de voltaje variando la distancia del sensor a través de la línea guia de onda ranurada, para determinar los voltajes máximos y mínimos a lo largo de la línea de transmisión. Para realizar lo anterior, se debe colocar un corto circuito al final de la línea ranurada.

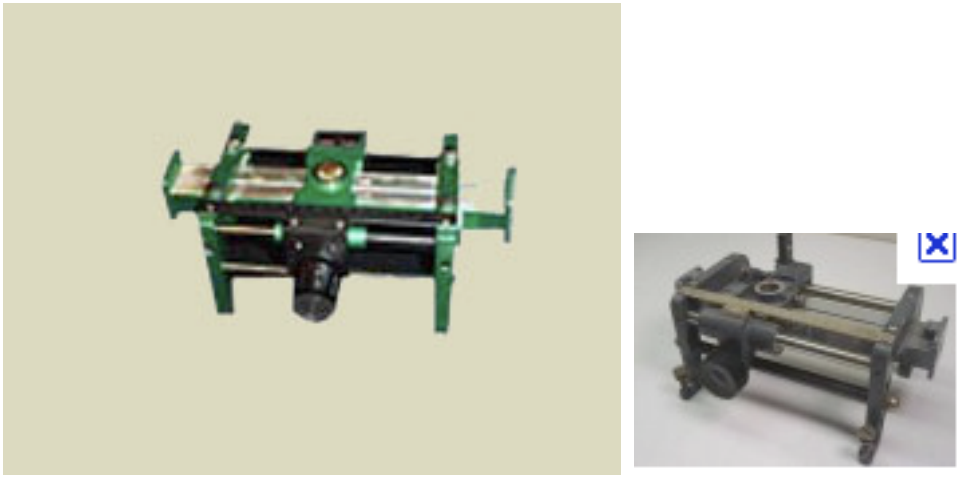


Figura 1) Linea ranurada en guia de onda con escala graduada integrada.

Al realizar las mediciones de frecuencia y la longitud de onda en una guía de onda se puede apreciar las características reales del comportamiento de una señal que viaja en una línea de transmisión. De acuerdo al método de línea ranurada se obtuvo los voltajes mínimos y máximos de la señal, con estos datos se puede determinar:

- La longitud de onda de la guía de onda
- Frecuencia en la guia
- ROEV o VSWR

Medición de voltajes con respecto a la distancia. Con circuito en corto	
Distancia (cm.)	**Voltaje (mV.)**
9.1	0.1
9.28	4.9
9.34	10.2
9.4	15.4
9.44	20.1
9.49	25.6
9.55	30.1
9.6	33
9.66	40
9.73	45.1
9.81	50
10.01	54.4
10.2	50
10.3	45
10.38	39.9
10.44	35.1
10.5	28.1
10.56	24.9
10.62	19.9
10.67	15.1
10.73	10
10.8	4.9
10.93	0.1
11.09	5.01
11.16	10.1
11.22	15.4
11.26	19.9
11.31	25
11.37	30.1
11.42	35.3
11.44	40
11.55	45.3
11.64	50.2
11.85	54
12.01	50.1
12.1	44.9
12.19	40
12.25	35
12.31	29.9
12.37	25.7
12.42	20.4
12.49	15
12.54	10.1

Medición de voltajes con respecto a la distancia. Guia de onda con carga de 50 ohms	
Distancia (cm.)	**Voltaje (mV.)**
9.11	26.2
9.12	26.3
9.13	26.4
9.22	26.5
9.28	26.3
9.29	26.4
9.31	26.4
9.34	26.3
9.59	26.2
9.66	26.4
9.75	26.5
9.86	26.4
9.99	26.5
10.13	26.6
10.21	26.7
10.52	26.6
10.56	26.6
10.66	26.5
10.78	26.4
10.89	26.3

El ROEV se determina como:

ROEV=VMAX− VMIN=23.32 con f=10.543 a+4dBm

ROEV	RETURN LOSSES	TRANS. LOSS (dB)	VOLT. REFL. COEFF.	POWER TRANS. (%)	POWER REFL. (%)
25	**0.7**	**8.299**	**0.92**	**14.8**	**85.2**

PRACTICA No 7

ANALIZADOR DE REDES VECTORIAL.

Objetivo: Proporcionar al estudiante, los elementos básicos del analizador de redes mencionando los tipos de medición que se pueden realizar, se mencionan los tipos de estándares que hay, así como también las técnicas de calibración que hay, se los tipos de errores que existen y se presentan sus modelos. Se describe de manera sencilla la medición de los parámetros de dispersión de un dispositivo bajo prueba.

Definición: Un Analizador de Redes es un instrumento capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas, especialmente aquellas propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas, conocidas como parámetros de dispersión (Parámetros-S). Los analizadores de redes son más frecuentemente usados en altas frecuencias, que operan entre los rangos de 9 kHz hasta 110 GHz.

Este tipo de equipo es ampliamente utilizado en la fabricación de amplificadores de alta potencia y en filtros para señales de radiofrecuencia para obtener la precisión requerida en los parámetros de respuesta a las señales.

Existen también algunos tipos de analizadores de redes especiales que cubren rangos más bajos de frecuencias de hasta 1 Hz. Estos pueden ser usados por ejemplo en el análisis de estabilidad de lazos abiertos o para la medición de audio y componentes ultrasónicos.

Un analizador de redes es como el que se muestra en la figs. 1 y fig. 2.

Figura 1 Analizador de redes vectorial.

Figura 2 Analizador de redes vectorial.

Para utilizar este equipo de medición es necesario recurrir a técnicas de calibración. En estas técnicas se utilizan standares de calibración como los que se muestran en las figuras 3, 4 y 5. Dependiendo de lo vaya a medirse, se debe usar los standares correspondientes.

Figura 3 Estándar de calibración coaxial. Figura 4 Estándar de calibración coax.

Figura 5. Estandar de calibración en guia de onda.

Las mediciones que se pueden realizar con el analizador de redes vectorial son de dos tipos:

1) De Reflexión:
-S11 y S22
-Pérdidas por regreso
-Relación de onda estacionaria
-Impedancia

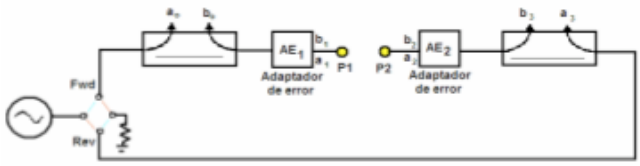
2) De Transmisión:
-S12 y S21
-Pérdidas por Inserción
-Ganancia
-Atenuación

Dispositivos Activos:
-Frecuencia
-Voltaje y corriente de alimentación
-Temperatura

Planos de referencia:

Es de suma importancia especificar los planos de referencia del dispositivo o circuito para obtener sus parámetros "S" en el plano deseado.

Proceso de Medición:
-Se establece el intervalo de frecuencias de medición, número de puntos, potencia, atenuación, etc.
-Calibración del sistema para obtener los parámetros de error.
-Medición de amplitud y fase del dispositivo y se convierte (A/D).
-Transferencia de datos medidos a la computadora.
-Corrección de errores del sistema
-Parámetros "S" resultantes.



Equipo de prueba (Test – Set)

Analizador de redes

Errores del Sistema :

Limitan la precisión de las mediciones y pueden ser del tipo:

SISTEMATICOS:
Se deben a la no idealidad de los componentes que forman el sistema de prueba Test-Set (Acopladores direccionales, divisores, mezcladores, interruptores, etc) . Son estables y repetitivos, y se pueden minimizar durante el proceso de calibración.

ALEATORIOS:
Se deben a efectos desconocidos de naturaleza aleatoria, no se pueden medir ya que no son repetitivos. (Ruido de piso y de fase del generador de RF, Conexiones no repetitivas, etc.)

MEDIO AMBIENTE:
Se deben a cambios en el medio ambiente "Drift" (Temperatura, humedad, presión, etc.) en función del tiempo.

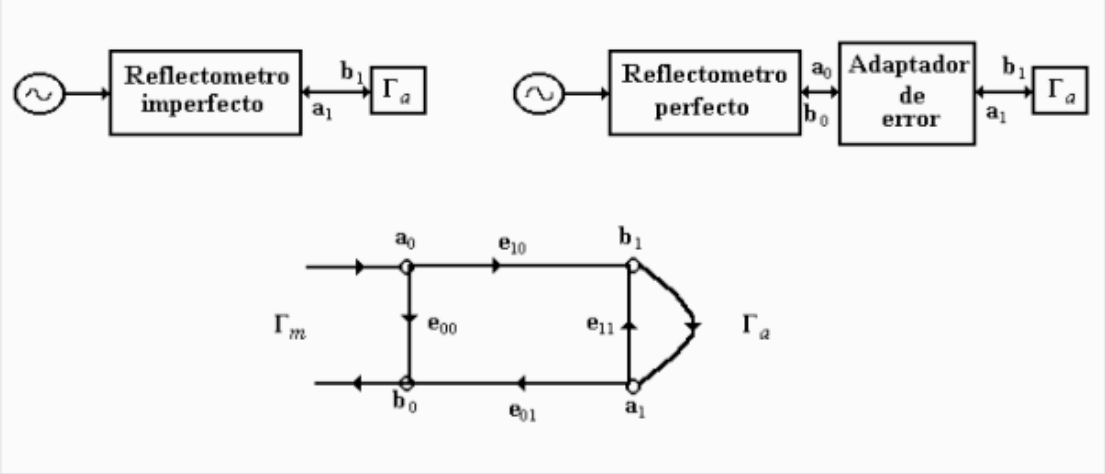
RESIDUALES:
Se deben a la imperfección de los estándares de calibración (Impedancia, longitud eléctrica, εr, etc.)

Modelos de error:

Debido a que los errores determinísticos o sistemáticos son los que se pueden cuantificar y remover, se enfocará a este tipo de errores utilizando los modelos de error:
-Modelo de error de un puerto
-Modelo de error de dos puertos

El adaptador de error contiene los siguientes términos de error:
e00 (Directividad del acoplador)

e11 (Acoplamiento de la fuente)
e01 e10 (Respuesta en frecuencia)



$$\Gamma_m = \frac{b_0}{a_0} = e_{00} + \frac{e_{10}e_{01}\Gamma_a}{1 - e_{11}\Gamma_a} \qquad \text{y} \qquad \Gamma_a = \frac{\Gamma_m - e_{00}}{e_{11}(\Gamma_m - e_{00}) + e_{10}e_{01}}$$

Los términos de error se determinan del proceso de calibración mediante la utilización de estándares de calibración:

-Cortos

-Abiertos

-Cargas

-Conexión directa (Thru)

El tipo de Estándares depende de la técnica de calibración empleada:

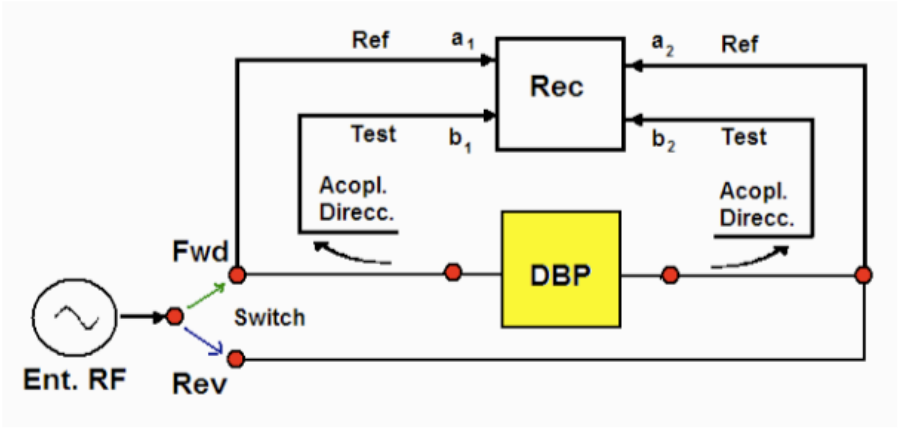
-**SOLT** (Short-Open-load-Thru)

-**TRL** (Thru-Reflect-Line)

-**LRM** (Line-Reflect-Match)

-**TSD** (Thru-Short-Delay)

Medición de Parámetros “S”

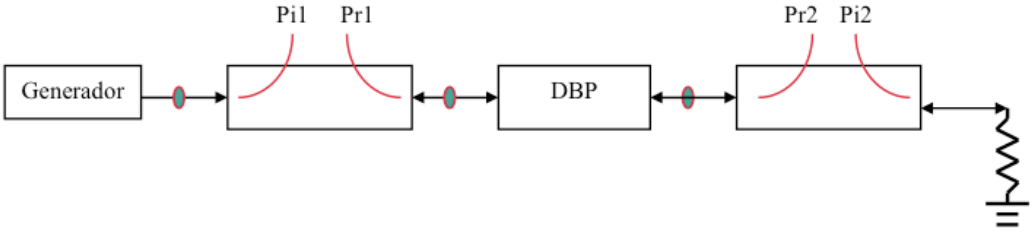


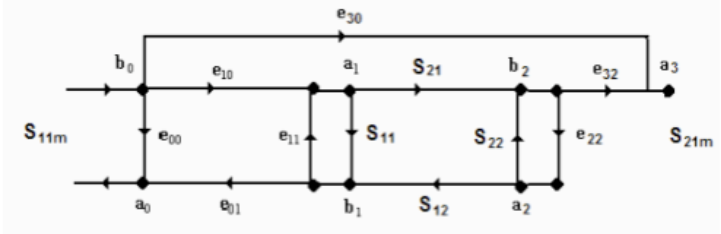
$$S_{11} = \left.\frac{b_1}{a_1}\right|_{a_2=0} \qquad S_{12} = \left.\frac{b_1}{a_2}\right|_{a_1=0}$$

$$S_{21} = \left.\frac{b_2}{a_1}\right|_{a_2=0} \qquad S_{22} = \left.\frac{b_2}{a_2}\right|_{a_1=0}$$

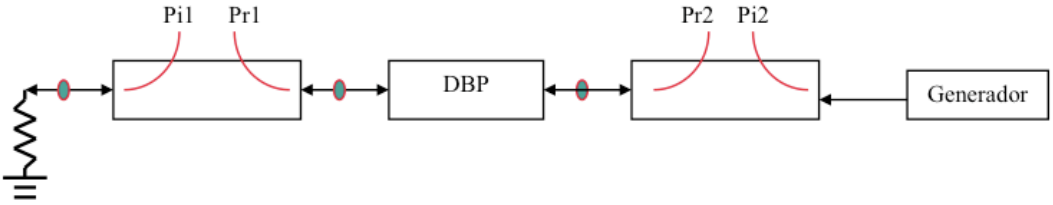
Obtención del modelo de error de dos puertos:

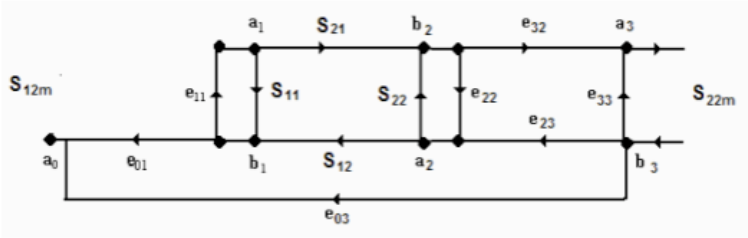
En sentido directo (Fwd)





En sentido inverso (Rev)





Los cuales tienen siete términos de error cada uno

Parámetros "S" medidos en función de los términos de error:

$$S_{11m} = \frac{b_o}{a_0} = e_{oo} + (e_{10}e_{01})\left[\frac{S_{11a} - e_{22}|Sa|}{1 - e_{11}S_{11a} - e_{22}S_{22a} + e_{11}e_{22}|Sa|}\right]$$

$$S_{12m} = \frac{b_o}{a_3} = e_{03} + (e_{23}e_{01})\left[\frac{S_{12a}}{1 - e_{11}S_{11a} - e_{22}S_{22a} + e_{11}e_{22}|Sa|}\right]$$

$$S_{21m} = \frac{b_3}{a_0} = e_{30} + (e_{10}e_{32})\left[\frac{S_{21a}}{1 - e_{11}S_{11a} - e_{22}S_{22a} + e_{11}e_{22}|Sa|}\right]$$

$$S_{22m} = \frac{b_3}{a_3} = e_{33} + (e_{23}e_{32})\left[\frac{S_{22a} - e_{11}|Sa|}{1 - e_{11}S_{11a} - e_{22}S_{22a} + e_{11}e_{22}|Sa|}\right]$$

$$\text{donde} \quad |Sa| = S_{11a}S_{22a} - S_{12a}S_{21a}$$

Parámetros "S" actuales en función de los términos de error:

$$S_{11a} = \frac{1}{D}\left[\frac{S_{11m} - e_{00}}{e_{10}e_{01}}\left(1 + \frac{S_{22m} - e'_{33}}{e'_{23}e'_{32}}e'_{22}\right) - e_{22}\left(\frac{S_{21m} - e_{30}}{e_{10}e_{32}}\right)\frac{S_{12m} - e'_{03}}{e'_{23}e_{01}}\right]$$

$$S_{12a} = \frac{1}{D}\left(\frac{S_{12m} - e'_{03}}{e'_{23}e'_{01}}\right)\left[1 + \left(\frac{S_{11m} - e_{00}}{e_{10}e_{01}}\right)(e_{11} - e'_{11})\right]$$

$$S_{21a} = \frac{1}{D}\left(\frac{S_{21m} - e_{30}}{e_{10}e_{32}}\right)\left[1 + \left(\frac{S_{22m} - e'_{33}}{e'_{23}e'_{32}}\right)(e'_{22} - e_{22})\right]$$

$$S_{22a} = \frac{1}{D}\left[\frac{S_{22m} - e'_{33}}{e'_{23}e'_{32}}\left(1 + \frac{S_{11m} - e_{00}}{e_{10}e_{01}}e_{11}\right) - e'_{11}\left(\frac{S_{21m} - e_{30}}{e_{10}e_{32}}\right)\frac{S_{12m} - e'_{03}}{e'_{23}e'_{01}}\right]$$

donde $$D = \left[\left(1 + \frac{S_{11m} - e_{00}}{e_{10}e_{01}}e_{11}\right)\left(1 + \frac{S_{22m} - e'_{33}}{e'_{23}e'_{32}}e'_{22}\right) - \left(\frac{S_{21m} - e_{30}}{e_{10}e_{32}}\right)\left(\frac{S_{12m} - e'_{03}}{e'_{23}e'_{01}}e_{22}e'_{11}\right)\right]$$

Los términos de error se determinan del proceso de calibración mediante la utilización de estándares de calibración. El tipo de estándares depende de la técnica de calibración empleada:

-**SOLT** (Short-Open-load-Thru)

-**TRL** (Thru-Reflect-Line)

-**LRM** (Line-Reflect-Match)

-**TSD** (Thru-Short-Delay)

Estándares de calibración SOLT:

Corto **Abierto** **Carga** **Conexión directa (thru)**

Tipos de calibración del analizador de redes vectorial HP8510C:
•Response (Trans:Thru Refl: Short o Open)
•Response & Isolation (Trans:Thru Refl: Short o Open)
•S11 1-port (Open Short Loads)
•S22 1-port (Open Short Loads)
•One path 2-port (Refl: Open, Short, Load Trans:Thru)
•Full 2-port (Refl: Open, Short, Load Trans:Thru & Isol)
•TRL 2-port (Thru, Reflect (Short or Open) Lines)

Calibración Full Two Port:

Cal, Cal 3.5mm, Full 2-port
Reflection (6 mediciones)

S11	**S22**
Open	Open
Short	Short
Load	Load

Isolation (2 mediciones)

Fwd Isol	Rev Isol
Load	Load

Transmission (4 mediciones)

Fwd Trans Thru ,	Fwd Match Thru
Rev Trans Thru ,	Rev Match Thru

PRACTICA NO 8

SIMULACION DE LINEAS DE TRANSMISION UTILIZANDO EL PROGRAMA DE USO GRATUITO EN LINEA "AMENOGAWA"

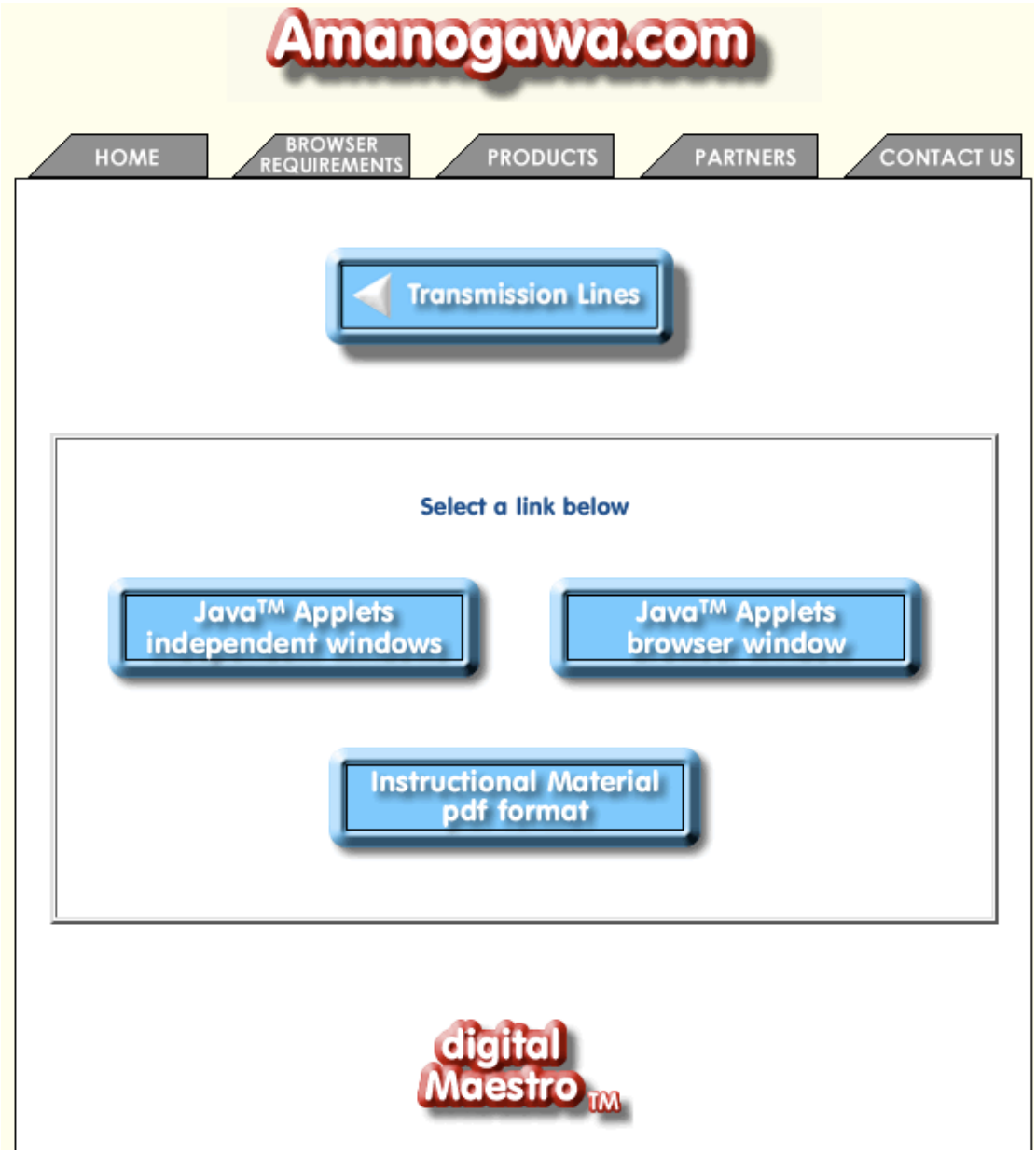
Objetivo: Familiarizar al estudiante con programas de computadora CAD especializados en el tema de líneas de transmisión.

Material utilizado: Una computadora personal conectada a internet

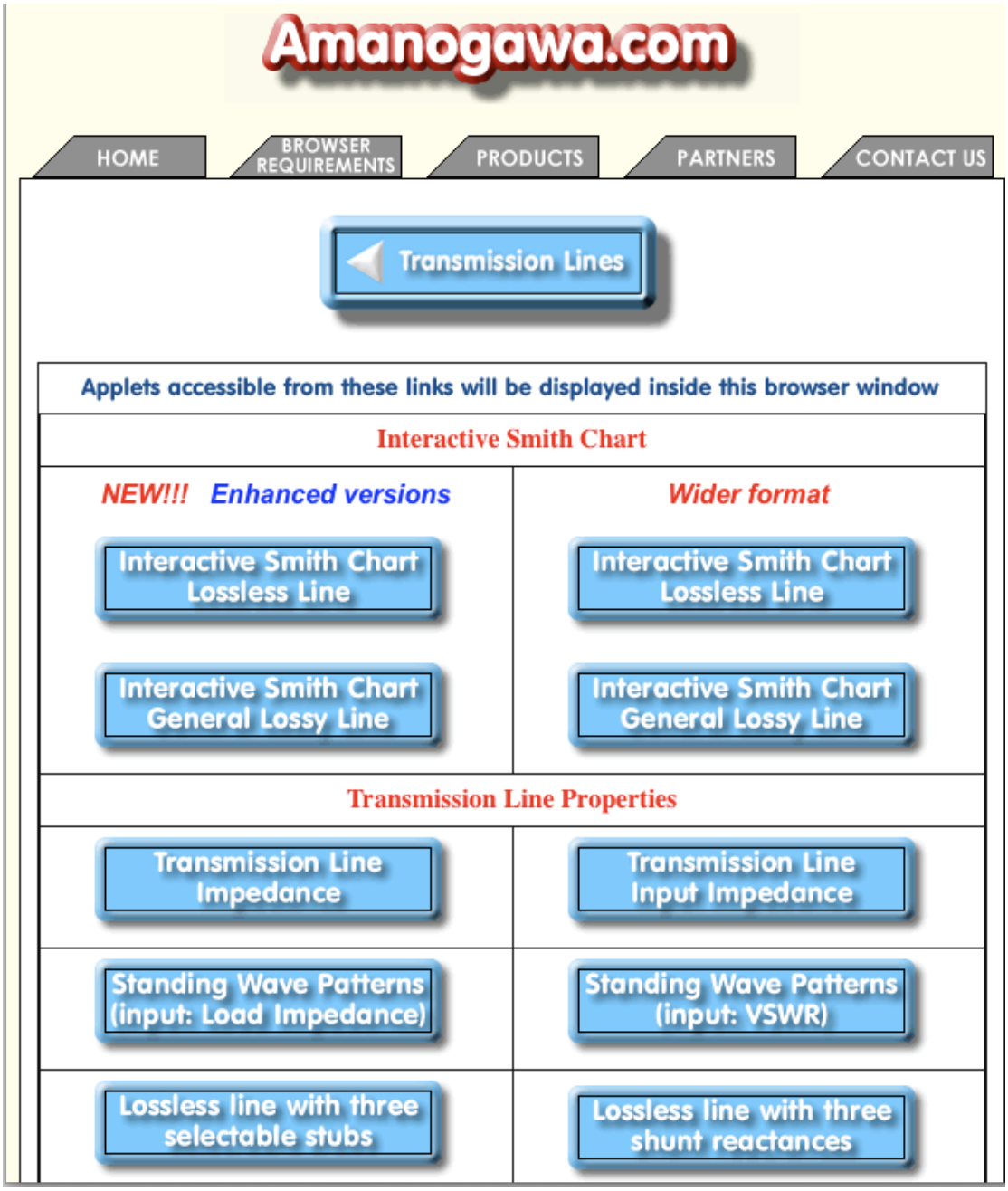
Desarrollo de la práctica: El estudiante puede simular líneas de transmisión ideales o con pérdidas utilizando el programa. Visitar el sitio http://www.amanogawa.com . Donde aparecera la página principal. El estudiante puede seleccionar la opción que desee. En este caso debe seleccionar la opción de Lineas de transmisión.

Paso 1) Seleccionar la opción de Lineas de transmisión.

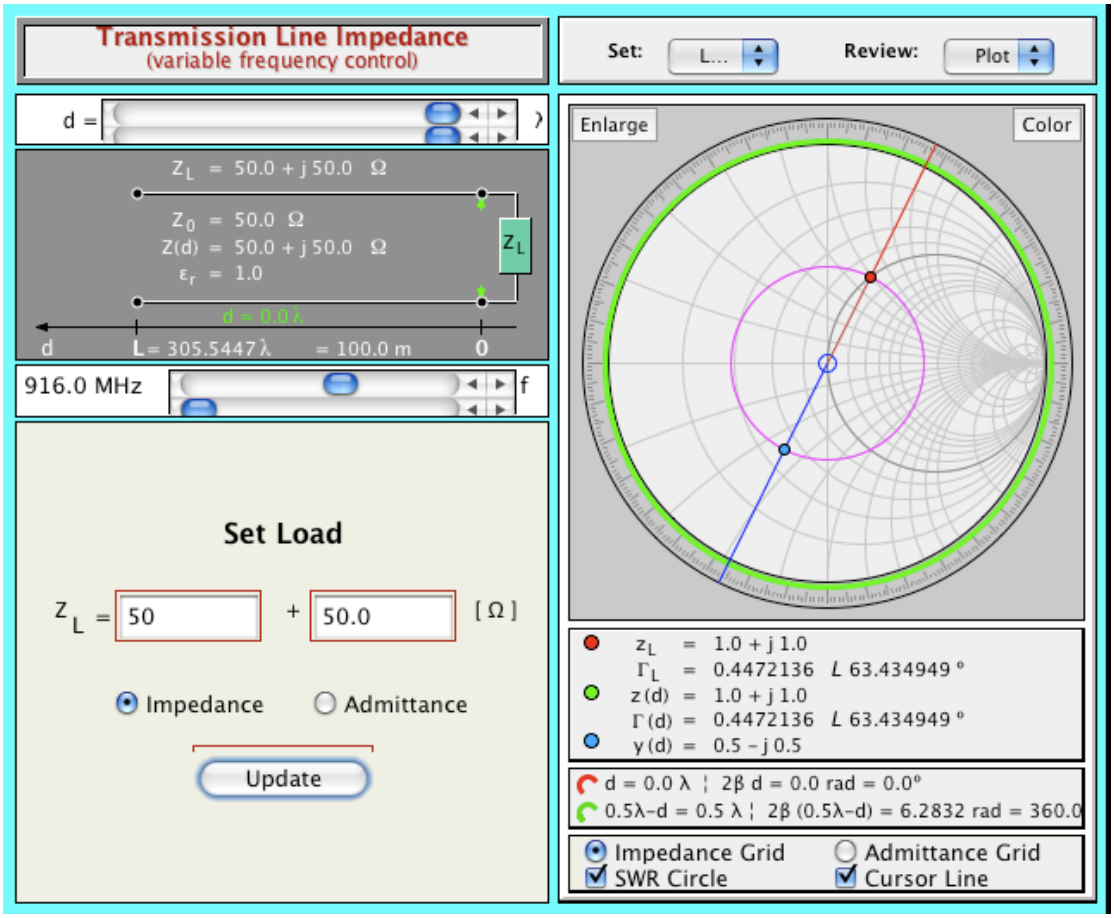
Paso 2) Seleccionar la opción " browser window"



Paso 3) Seleccionar la opción " Transmisision line impedance"



En una simulación típica de una linea de transmisión de longitud de 100 m, conectada a una impedancia de carga Z_L = 50 +j50 . El programa proporcionara los resultados mostrados en la siguiente figura.



Este programa es muy versátil, permite visualizar los resultados de manera grafica, observando por el comportamiento de los diferentes parámetros sobre la carta de Smith.