

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



---

## Manual de Laboratorios

---

EL-5522 Taller de Comunicaciones Eléctricas

Preparado por:

Leonardo Castro-Vindas

Gabriel Rodríguez-Rivera

Autor y Edición: Ing. Sergio Arriola-Valverde. M.Sc

Basado en manuales de laboratorio de

Dr.-Ing. Renato Rimolo-Donadio

Ing. Anibal Coto-Cortes. M.Sc

Ing. Luis Carlos Rosales-Alpízar

# Índice

<b>Laboratorio 1 . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>Laboratorio 2 . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>Laboratorio 3 . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>Laboratorio 4 . . . . .</b>	<b>35</b>
<b>Laboratorio 5 . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>Laboratorio 6 . . . . .</b>	<b>57</b>
<b>Anexos . . . . .</b>	<b>67</b>

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons «Reconocimiento-NoCommercial-CompartirIgual 3.0 España».



# Laboratorio 1

## Análisis de conceptos básicos aplicados en equipos de radio frecuencia a partir de entornos de virtuales

### 1. Objeto General

Desarrollar conocimientos básicos en ambientes de radio frecuencia tales como analizador de espectros, generador de radio frecuencia y monitor de comunicaciones a partir de entornos virtuales.

### 2. Objetivos Específicos

1. Comprender el fenómeno de propagación de onda desde una perspectiva a nivel de simulación.
2. Describir las bandas y usos típicos del espectro radioeléctrico.
3. Identificar el espectro y ancho de banda utilizado por un canal en FM mediante un entorno virtual.
4. Establecer mediante mediciones virtuales la relación señal a ruido.
5. Analizar las pérdidas de propagación de una señal de RF.
6. Estimar el ancho de banda ocupado por un canal de FM utilizando herramientas de programación.
7. Analizar el espectro de una señal FM mediante la ayuda de entornos virtuales.

### 3. Cuestionario Previo

1. Explique el principio de radiación de ondas electromagnéticas (OEM).
2. Investigue: ¿Qué relación existe entre la frecuencia, longitud de onda y la antena necesaria para radiar una OEM?
3. Investigue: ¿Qué relación existe entre la frecuencia, la potencia y el alcance de una OEM?
4. ¿Cuál es el ancho de banda de una señal de voz y del espectro audible? ¿Por qué es importante conocerlo si se va a observar el espectro de señales de audio? Relacione su respuesta con el concepto de banda base.
5. ¿Cómo se mide la distorsión armónica en una transmisión de voz?
6. Investigue el principio de funcionamiento de la modulación FM. Investigue como luce un espectro teórico de una señal modulada en frecuencia para diferentes índices de modulación y cómo se ve esa señal en el dominio del tiempo.
7. ¿Cuál es el ancho de banda de una señal de radio comercial FM? ¿Cuál es el espaciado de canal y los límites de la banda?
8. ¿Cuál es el principio de operación de un analizador de espectros?
9. Explique mediante el uso de la transformada rápida de Fourier el funcionamiento del analizador de espectros.
10. ¿Cuál es la diferencia entre un analizador de espectros y un monitor de comunicaciones?
11. ¿Qué significa el piso de ruido de un analizador de espectros? ¿Por qué cambia con el SPAN?
12. ¿Qué se entiende por un acople de impedancia correcto y cuál es su relación con el coeficiente de reflexión?
13. ¿Qué ocurre si un amplificador especificado para 50 Ohms de salida se carga con 25 Ohms? Justifique matemáticamente.
14. ¿Qué ocurre si un amplificador especificado para 50 Ohms de salida se carga con 100 Ohms? Justifique matemáticamente.
15. ¿Qué ocurre si se conecta directamente el generador de RF de 50 Ohms a un osciloscopio de baja frecuencia? (como los osciloscopios usados en los laboratorios básicos). Justifique matemáticamente.

### 4. Equipo

**NOTA IMPORTANTE:** Para esta práctica se hará uso del entorno Matlab y labAlive, para ello es recomendado utilizar el pool de aplicaciones de la Escuela de Ingeniería Electrónica y acceder al computador virtual **RDS-MatlabComu** y utilizar la versión de Matlab 2018 que se encuentra instalada para el software labAlive es necesario

usar su propio PC. Puede descargar los archivos desde la red a los links suministrados en este sección para que no tenga problema al acceder a PC mediante el cliente VMWare. El material de ésta práctica ha sido un compendio y recopilación de materiales de cursos de comunicaciones eléctricas por [1] y [2] los cuales se le da el crédito en este manual de laboratorio.

### **Hardware:**

- Computador Portátil ó Escritorio.

**Software:** El software para desarrollar ésta práctica estará disponible en la computadora virtual llamada *RDS-MatlabComu* ubicada en el pool de aplicaciones.

- Matlab 2018 versión.
- Software open-source labAlive guía de instalación [acá](#) es recomendado leer e instalar previamente.

**Archivos:** En cualquiera de los siguientes enlaces podrá encontrar los archivos que se necesitan para ésta práctica:

- [GitHub](#).
- [Portal Web](#).
- TEC-Digital (según grupo matriculado).
- Archivos labAlive para uso general [aquí](#). NOTA: Hay más ejercicios si desean explorar más
- Scripts Matlab [aquí](#). Los scripts fueron desarrollados en versión Matlab 2018. NOTA: Hay más ejercicios si desean explorar más, algunos dependen del toolboxes específicos.

### **Parte I: Análisis a nivel electromagnético de una antena logarítmica**

#### **5.1 Procedimiento**

1. Para garantizar el funcionamiento del software MMANA\_GAL Basic, se recomienda usar el sistema operativo Windows.
2. Descargue el programa MMANA\_GAL Basic [acá](#).
3. Una vez descargado el programa MMANA\_GAL Basic, es necesario que descomprima la carpeta e instale el software en su computador de escritorio o portátil. En la figura 1 se muestra el panel frontal del software. NOTA: Si desea cambiar el idioma a español ubique la pestaña llamada Setup→Languages seleccionar *spain*.

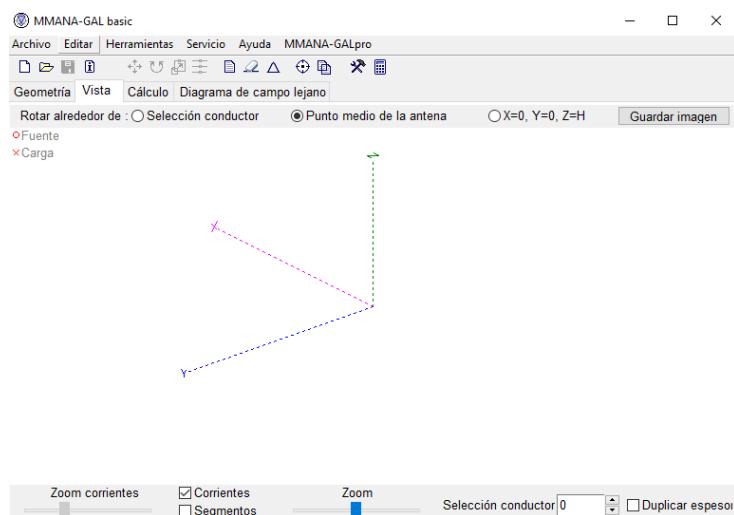


Figura 1: Panel principal del software MMANA\_GAL.

4. Para iniciar el diseño de la antena deberá ubicar la pestaña llamada **Geometría** e insertar los parámetros visualizados en la matriz de la figura 2. NOTA: Lo único que no se cambiará por el momento es el parámetro freq, el cual se definirá cuando se ejecute la simulación.

Geometría		Vista	Cálculo	Diagrama de campo lejano					
aso (grados)				Frec.	14.150	MHz	<input type="checkbox"/> lambda		
conductores 10		Paso grados	DM1	800	80	SC	2.0	EC	2
No.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	R(mm)	Seg.	
1	0.0	0.0825	0.0	0.0	-0.0825	0.0	0.8	-1	
2	0.058	0.097	0.0	0.058	-0.097	0.0	0.8	-1	
3	0.126	0.115	0.0	0.126	-0.115	0.0	0.8	-1	
4	0.207	0.135	0.0	0.207	-0.135	0.0	0.8	-1	
5	0.302	0.158	0.0	0.302	-0.158	0.0	0.8	-1	
6	0.414	0.186	0.0	0.414	-0.186	0.0	0.8	-1	
7	0.545	0.22	0.0	0.545	-0.22	0.0	0.8	-1	
8	0.699	0.2575	0.0	0.699	-0.2575	0.0	0.8	-1	
9	0.881	0.303	0.0	0.881	-0.303	0.0	0.8	-1	
10	1.095	0.355	0.0	1.095	-0.355	0.0	0.8	-1	

Figura 2: Pestaña de geometría a utilizar.

5. Una vez que inserte la geometría que se propone en el punto anterior, en la pestaña **Vista** al seleccionarla deberá ver la geometría física de la antena, según se muestra en la figura 3.

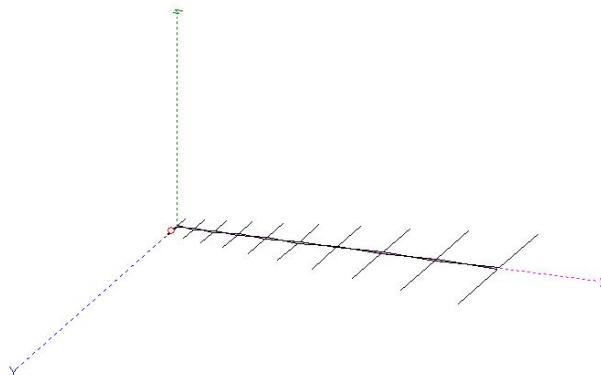


Figura 3: Geometría física de la antena logarítmica.

6. Para establecer la interconexión entre cada elemento de la antena es necesario hacer edición de los elementos, para ello localice la pestaña **Vista** y para ingresar en el modo edición puede pulsar **Ctrl+W** o buscar en la pestaña de **Editar→Editar Conductor**, una vez ingresado en el modo de edición deberá ver la ventana que se muestra en la figura 4. NOTA: Para la edición es muy recomendado seguir este [vídeo](#) con el objetivo de llevar el proceso de edición de elementos de manera adecuada, considere al final dar click en el botón **OK** para guardar los cambios realizados.

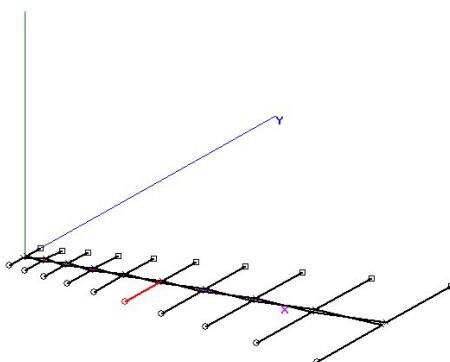


Figura 4: Herramienta de edición de elementos para la antena logarítmica.

7. Una vez interconectados todos los elementos de la antena puede validar el proceso desplazándose a la pestaña **Vista** y ahí deberá visualizar la antena con todos los elementos interconectados, tal como se muestra en la

figura 5.

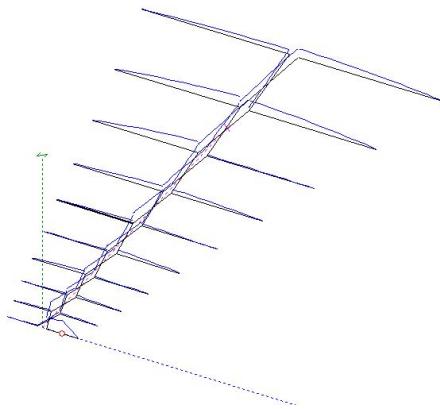


Figura 5: Antena logarítmica completa.

8. Al momento de visualizar que la geometría está correcta, es necesario definir el elemento activo de la antena, para ello deberá ir a la pestaña **Geometría** en el apartado llamado **Fuentes 1** deberá configurar en la sección llamada **PULSE** poner dentro de la casilla el elemento activo **wc1** y presionar el botón **Enter**, cuando lo haga deberá visualizar la configuración mostrada en al figura 6.

Fuentes 1			
No.	PULSE	Volt. V	Phase dg
1	wc1	1.0	0.0
siguiente			

Figura 6: Configuración de elemento activo de la antena.

9. Al tener configurado el elemento activo se deberá hacer la simulación de la antena, para ello deberá localizar la pestaña **Cálculo** y luego deberá digitar en la casilla **Frec** un valor de 207 MHz, luego deberá dejar en la casilla **Tierra** el parámetros **Espacio Libre** y en el sección de **Material** seleccionar **Sin Pérdidas**, al configurar podrá presionar el botón **Calcular**, si no hay errores el software deberá mostrar la ventana de resultados de la figura 7.



Figura 7: Ventana de resultados.

10. A partir de los resultados numéricos obtenidos, es necesario ver los patrones de radiación de campo eléctrico y magnético, para ello seleccione la pestaña llamada **Diagrama de campo lejano**, donde deberá visualizar los patrones E-H según se muestran en la figura 8.

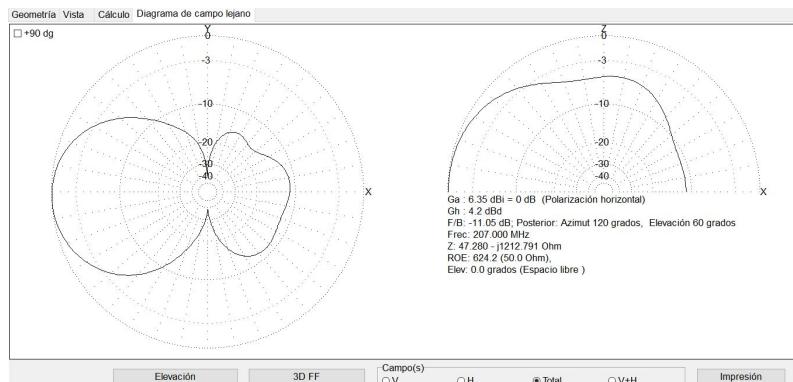


Figura 8: Visualización de polarización de campos E-H

11. Una vez extraídos las vistas de campo E-H, puede ver como se da la propagación en un modelo 3D, para ello en la misma pestaña de **Diagrama de Campo Lejano** al inferior se encuentra un botón llamado **3D FF** al ingresar podrá ver una ventana interactiva donde podrá visualizar el patrón de radiación en 3D, dicha ventana se muestra en la figura 9.

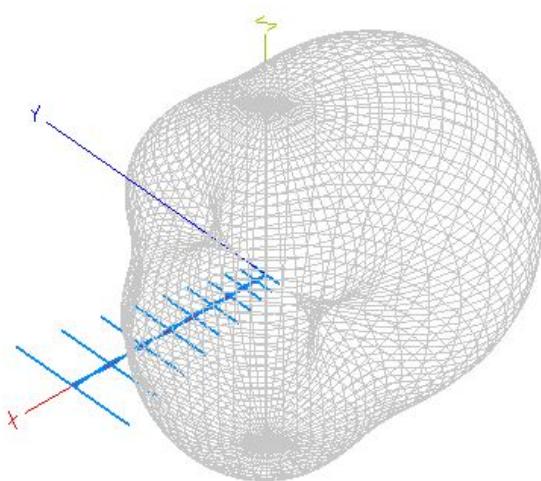


Figura 9: Visualización del patrón de radiación en 3D.

12. Analice si la antena que fue simulada cumple requisitos mínimos para ser interconectada a un analizador de espectros, monitor de comunicaciones u otro apartado/equipo de medición para RF. **NOTA: Es necesario que argumente su respuesta e investigue sobre equipos de medición para RF.**
13. Si tuviera que mejorar la relación F/B de la antena logarítmica, argumente que haría para mejorar dicho parámetro.
14. En relación a los patrones de radiación obtenidos determine que tipo de antena (direccional, omnidireccional) hace referencia la antena simulada y justifique su argumentación.
15. Documente todos los resultados obtenidos y haga un análisis de profundo en cuanto al rendimiento de la antena y los patrones de radiación.

## Parte II:

### Análisis funcional de métricas en sistemas de medición en Radio Frecuencia mediante entornos virtuales

1. Esta sección fue basada con el material disponible en la red por [2], el cual ofrece un entorno virtual para comunicaciones eléctricas, es por ello que es obligatorio leer las instrucciones para dar instalación de manera correcta de las herramientas, favor ingresar [acá](#).
2. Una vez comprendido el proceso de instalación, descargue los instaladores y archivos de práctica [acá](#). **NOTA: Recuerde que para abrir los archivos .jnlp debe instalar iced tea web y luego en la carpeta bin de iced tea web asignar para abrir archivos .jnlp el binario javaws.**
3. Para esta sección se utilizará el archivo llamado **fftspectrum analyzer.jnlp**, si el proceso de instalación fue exitoso, al abrir el archivo se deberá ver la siguiente ventana según se muestra en la figura 10. **NOTA: Si no pudo instalar la herramienta vuelva al primer paso o consulte a su profesor.**

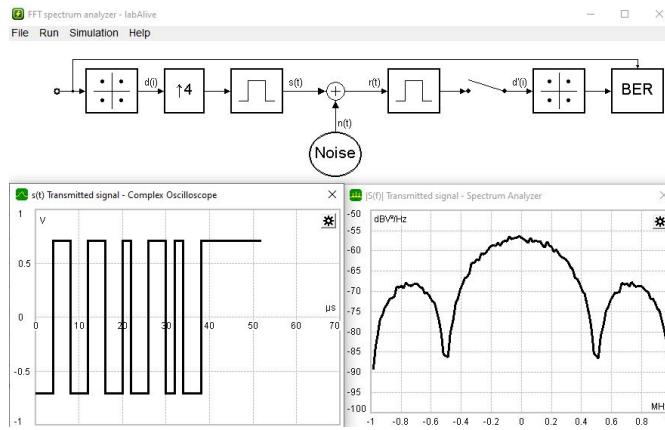


Figura 10: Vista principal del archivo FFT Spectrum Analyzer.

4. Para acelerar el proceso de refrescamiento del espectro, presiones **F8** y aumente la velocidad al máximo, con esto la ventana del analizador de espectros tendrá un refresco mayor.
5. Para observar las configuraciones del analizador de espectros, posicione el puntero del mouse en la ventana y mediante click derecho se deberá abrir la ventana de configuración según se muestra en la figura 11.

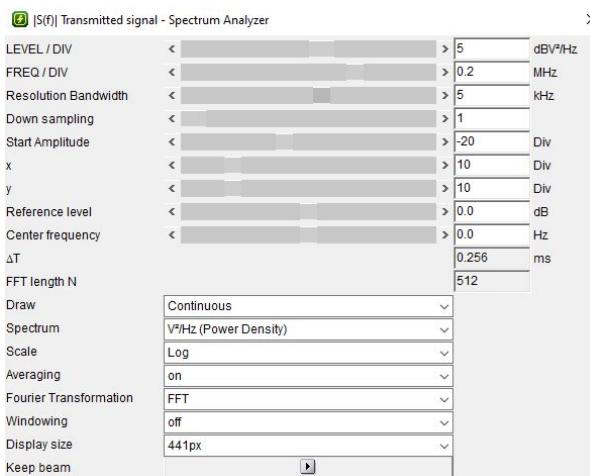


Figura 11: Ventana de configuración analizador de espectros.

6. Basado en la ventana de configuración de la figura 11 ajuste una frecuencia central de 0.6 MHz y seleccione un SPAN de 0.2 MHz para únicamente ver el espectro centrado en esa frecuencia (puede usar el FREQ/DIV para simular el SPAN del analizador de espectros).

7. Para analizar la influencia del ancho de banda de resolución (RBW) del espectro bajo análisis haga un barrido de RBW de 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 0.1 MHz, 0.2 MHz y 0.5 MHz, recopile los espectros y haga medición numérica según los parámetros de SPAN y Frecuencia central configurados en el punto anterior.

## 5.2 Análisis de SNR sobre un espectro mediante Matlab y herramientas virtuales

En esta sección se utilizarán varios software entre Matlab y herramientas de código abierto, a continuación se detalla el procedimiento para ésta sección.

### 5.2.1 Análisis en el entorno de Matlab de ancho banda de un canal FM comercial en función al SNR

1. Para ésta sección de la práctica es necesario ingresar al **Pool de Aplicaciones** de la Escuela de Ingeniería Electrónica para usar Matlab. A continuación puede usar [éste](#) enlace para instalar el cliente de VMware.  
**NOTA: Si tiene su usuario vencido o no tiene cuenta, puede contactar a rsoto@tec.ac.cr y solicitar acceso.**
2. Una vez que accesó al pool de aplicaciones localice el servidor llamado **RDS-MatlabComu** el cual está habilitado con licencia de tipo *Classroom* de Matlab. Descargue la carpeta llamada **Scripts** y abra el script llamado **Canal\_FM\_e.m**.
3. Al abrir el archivo, estudie con detalle el código implementado debido a que se encuentra incompleto, para ello el(la) estudiante deberá investigar de manera profunda la función *powerbw* en Matlab, por lo que se recomienda ver [ésto](#).
4. Investigue cuál es el ancho de ocupación de un canal FM Comercial contenido en el espectro radioeléctrico de Costa Rica.
5. Una vez estudiada la función *powerbw*, favor complete el código de manera que se pueda mostrar en el *workspace* el ancho de banda de cada canal y además mediante un único gráfico muestre la medida del ancho de banda de cada canal para un barrido de valores SNR -5 dB, 0 dB, 5 dB y 10 dB. Recopile sus resultados, tabúlelos y analice el impacto del SNR para un canal FM pensando que fuera comercial.

### 5.2.2 Análisis en el entorno de Matlab del efecto SNR en una señal

1. Para ésta sección de la práctica es necesario ingresar al **Pool de Aplicaciones** de la Escuela de Ingeniería Electrónica para usar Matlab. A continuación puede usar [éste](#) enlace para instalar el cliente de VMware.  
**NOTA: Si tiene su usuario vencido o no tiene cuenta, puede contactar a rsoto@tec.ac.cr y solicitar acceso.**
2. Una vez que accesó al pool de aplicaciones localice el servidor llamado **RDS-MatlabComu** el cual está habilitado con licencia de tipo *Classroom* de Matlab. Descargue la carpeta llamada **Scripts** y abra el script llamado **SNR.m**.
3. Realice un barrido de unidades lineales de ruido de 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 y 5 (**NOTA: Nos son dB**) para una frecuencia fundamental de 10 kHz y tomando como datos de entrada el barrido de ruido solicitado. Analice y documente las gráficas obtenidas.

### 5.2.3 Análisis de SNR para señales usando un entorno virtual

1. Es necesario que haya descargado la carpeta **SW**, si no la ha descargado [acá](#) y localice el archivo llamado **snr.jnlp** y ábralo.
2. Al abrirlo escuchará *play list* donde la señal tiene ruido adicionado y verá la visualización de la señal en un *Osciloscopio*, para el análisis espectral adicione un analizador de espectros para la salida  $x(t) + n(t)$ . **NOTA: Si no recuerda como poner una analizador de espectros use click derecho en la señal medir y lo selecciona.**
3. Para suprimir ruido de la señal configure el filtro que posee el sistema el cual puede verse en el bloque , seleccione la frecuencia adecuada, analice el número de taps y que implicaciones tiene el seleccionar un enventanado tipo Hamming o Raised-Cosinus. Muestre los espectros y señales temporales obtenidas para un caso con alta influencia con ruido y otro con influencia de ruido reducida debido al filtrado. Se recomienda que analice y discuta los resultados obtenidos de manera concreta y objetiva.

## 5.3 Análisis de SINAD en el entorno Matlab para un espectro

- Para ésta sección de la práctica es necesario ingresar al **Pool de Aplicaciones** de la Escuela de Ingeniería Electrónica para usar Matlab. A continuación puede usar [éste](#) enlace para instalar el cliente de VMware. **NOTA: Si tiene su usuario vencido o no tiene cuenta, puede contactar a rsoto@tec.ac.cr y solicitar acceso.**
- Una vez que accesó al pool de aplicaciones localice el servidor llamado **RDS-MatlabComu** el cual está habilitado con licencia de tipo *Classroom* de Matlab. Descargue la carpeta llamada **Scripts** y abra el script llamado **SINAD.m**.
- Realice un barrido de unidades lineales de ruido de 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 y 5 (**NOTA: Esto no son dB**) para una frecuencia fundamental de 10 kHz y tomando como datos de entrada el barrido de ruido solicitado. Analice y documente las gráficas obtenidas.

#### 5.4 Análisis de THD en el entorno Matlab para un espectro

- Para ésta sección de la práctica es necesario ingresar al **Pool de Aplicaciones** de la Escuela de Ingeniería Electrónica para usar Matlab. A continuación puede usar [éste](#) enlace para instalar el cliente de VMware. **NOTA: Si tiene su usuario vencido o no tiene cuenta, puede contactar a rsoto@tec.ac.cr y solicitar acceso.**
- Una vez que accesó al pool de aplicaciones localice el servidor llamado **RDS-MatlabComu** el cual está habilitado con licencia de tipo *Classroom* de Matlab. Descargue la carpeta llamada **Scripts** y abra el script llamado **THD.m**.
- Realice un barrido de unidades lineales de ruido de 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 y 5 (**NOTA: No son dB**), cantidad de armónicos 4,8 y 12 para una frecuencia fundamental de 1 kHz y tomando como datos de entrada el barrido solicitado y la cantidad de armónicos. Analice y documente las gráficas obtenidas.

#### 5.5 Modulación FM

##### 5.5.1 Análisis teórico de ancho de banda ocupado por un canal FM.

- Implemente un script en Matlab o Octave que le permita determinar el ancho de banda ocupado para una señal FM, y con base a ello llene la Tabla 1.
- A partir de los resultados obtenidos, argumente y discuta bajo que criterio o teorema logró la estimación del ancho de banda de manera correcta.

Tabla 1: Ancho de banda ocupado en una modulación FM para distintas desviaciones FM y frecuencias moduladoras

Desviación FM [kHz]	Frecuencia de la señal moduladora [Hz]	Ancho de banda ocupado [kHz]
10	400	
30	400	
50	400	
70	400	
10	1000	
30	1000	
50	1000	
70	1000	

##### 5.5.2 Análisis del efecto del índice de modulación para un esquema de modulación FM en un entorno virtual.

- Esta sección al igual que las pasadas fue basada con material disponible en la red por [2], el cual ofrece un entorno virtual para comunicaciones eléctricas, es por ello que es obligatorio leer las instrucciones para dar instalación de manera correcta de las herramientas, favor ingresar [acá](#).
- Una vez comprendido el proceso de instalación, descargue los instaladores y archivos de práctica [acá](#). **NOTA: Recuerde que para abrir los archivos .jnlp debe instalar iced tea web y luego en la carpeta bin de iced tea web asignar para abrir archivos .jnlp el binario javaws, se vuelve a repetir si por alguna razón la aplicación no funciona.**

3. Localice en la carpeta descargada llamada **SW** el archivo llamado **fm.jnlp**, si el proceso de instalación fue exitoso, al abrir el archivo se deberá ver la siguiente ventana según se muestra en la figura 12.

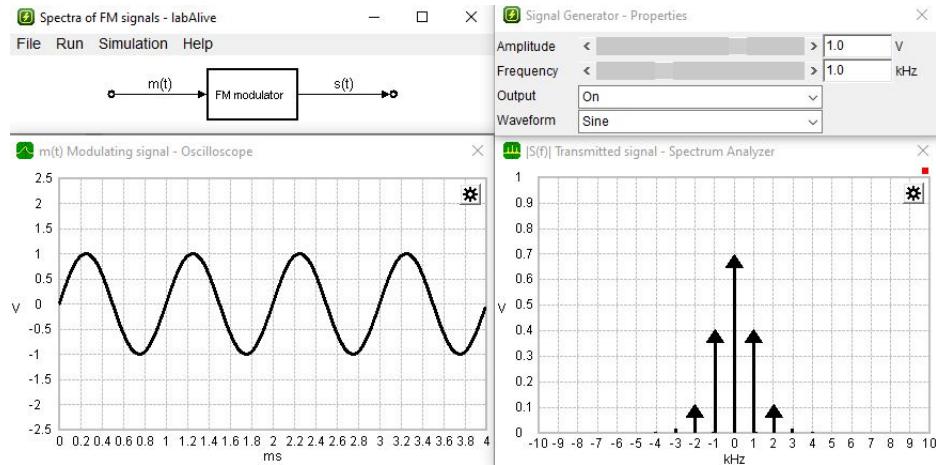


Figura 12: Vista principal del archivo FM.

4. Para acelerar el proceso de refrescamiento del espectro, presiones **F8** y aumente la velocidad al máximo, con esto la ventana del analizador de espectros tendrá un refresco mayor.
5. Utilice una frecuencia portadora de 100 kHz para ello de doble click al bloque llamado **FM modulator**, para el mensaje  $m(t)$  utilice una frecuencia de 1 kHz la cual puede configurarla en el módulo llamado *Signal Generator - Properties*, para este primer caso mantenga el índice de modulación de 1 kHz/V. Al haber completado los procesos anteriores deberá visualizar el espectro FM mostrado en la figura 13. **NOTA: Deberá ajustar la frecuencia central a 100 kHz en el analizador de espectros, y recuerde que para entrar en los módulos use doble click.**

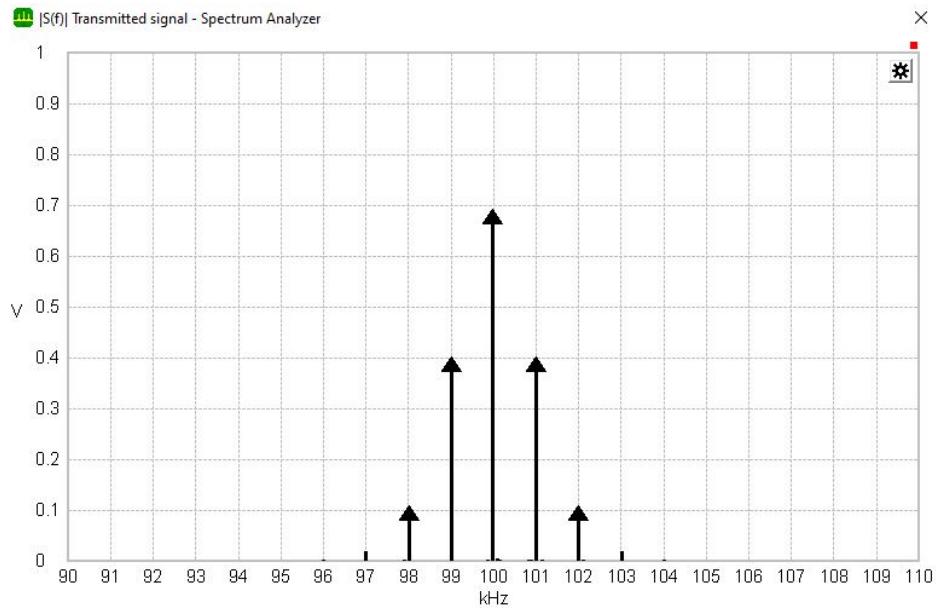


Figura 13: Vista del espectro FM con un índice de modulación de 1, frecuencia portadora de 100 kHz y mensaje de 1 kHz.

6. Una vez configurado el sistema de modulación FM, realice un barrido de índice de modulación con parámetros de 0.5, 2.4, 5.5 y 8.6 manteniendo constante la frecuencia de la portadora y el mensaje. Documente y analice cada espectro obtenido.
7. Investigue el método de modulación FM utilizando el enfoque de la función Bessel. Analice y haga una comparación con los espectros obtenidos en el punto anterior.

## Guía para la elaboración del reporte escrito

### Parte I: Análisis a nivel electromagnético de una antena logarítmica

- Con base en los resultados obtenidos analice los parámetros que el simulador electromagnético le proporcionó. Determine si es necesario insertar un acoplador de impedancia y además investigue como sería el proceso para hacer una conexión segura a equipos de radio frecuencia.
- Analice que influencia tendrá el insertar un elemento que tenga función de director, explique que implicaciones tendría en el patrón de radiación.
- Discuta los patrones de radiación obtenidos y establezca cual pertenece al campo magnético y eléctrico argumentando de manera concreta.
- Argumente según el patrón en 3D por qué es necesario conocer el diagrama de campo lejano de una antena.
- En relación a la antena simulada compare la topología contra una antena Yagui.

### Parte II: Análisis funcional de métricas en sistemas de medición en Radio Frecuencia mediante entornos virtuales

- Discuta que influencia existe en el espectro al realizar un aumento de RBW, trate de relacionar esta influencia con el piso de ruido.
- Con base en la relación SNR presente en un canal FM comercial, argumente que implicaciones habrían en el ancho de banda del canal FM si hay aumento o disminución de ruido.
- Con base al filtro utilizado, argumente los parámetros de configuración usados para reducir el ruido y además investigue implicaciones a nivel de diseño tendría dicho filtro si fuera a implementarse.
- En relación a los resultados del SINAD y THD argumente por qué dichas son métricas necesarias a la hora de realizar un análisis de un espectro en un analizador de espectros o monitor de comunicaciones.
- Con base a los resultados de la ocupación de un canal FM, explique el método de regla Carlson y función Bessel que importancia tienen estos métodos.
- En relación a los resultados obtenidos en la variación de los índices de modulación, argumente su discusión según el comportamiento observado por cada espectro resultante.

## Laboratorio 2

### Uso de un Entorno de Simulación para Radiofrecuencia

#### 1. Objetivo General

Al finalizar este experimento el estudiante estará en capacidad de entender y operar a nivel básico el funcionamiento de un entorno de simulador para radiofrecuencia.

#### 2. Objetivos Específicos

1. Familiarizarse con un entorno de simulación de RF.
2. Simular varios tipos de circuitos, incluyendo modelos numéricos.
3. Obtener gráficas de los parámetros S de los distintos circuitos.
4. Realizar optimizaciones de los circuitos.

#### 3. Cuestionario Previo

1. ¿En qué se diferencia un simulador de radiofrecuencia, como el simulador Microwave Office, de otros simuladores electrónicos convencionales? ¿Qué permite un entorno de este tipo? Busque al menos otras dos alternativas de simuladores de este tipo.
2. Investigue los fundamentos de una línea de transmisión. Indique cómo se modela y que tipos de modos soporta una línea de n conductores. Investigue la definición del factor de reflexión y su representación gráfica en la carta de Smith.
3. Investigue que son los parámetros de microondas y para qué se utilizan.
4. Explique que es la matriz de scattering ó matriz S (parámetros S) y explique el significado físico de cada uno de sus valores, además de su uso en los circuitos de telecomunicaciones. ¿Bajo qué condiciones se obtienen los parámetros S? ¿Cuál es su diferencia con la matriz de impedancias Z?
5. Explique cómo es la estructura de un PCB laminado y qué es una línea de microcinta (microstripline).
6. Explique el principio de operación de un filtro pasivo Butterworth (paso bajo y paso alto) de cuarto orden. Presente el circuito ¿Cuál es su particularidad respecto a un filtro pasivo RC? ¿Qué ecuaciones se utilizan para definir los valores de sus componentes en función de su frecuencia de corte e impedancia de salida?
7. Explique el principio de operación de un Diplexer y su uso. Investigue adicionalmente que es un Duplexer y aclare la diferencia, para no confundir los términos.

#### 4. Equipo

##### Hardware:

- Computador Portátil ó Escritorio.

##### Software:

- Software de simulación MWO disponible en las computadoras del laboratorio de Comunicaciones Eléctricas de la Escuela de Electrónica y en el pool de aplicaciones virtual.

##### Archivos:

- Documento: RF Electronics Chapter 2: Computer Simulation.
- Tutoriales: Jump Start MWO.

### Parte I: Introducción a la elaboración de simulaciones utilizando AWR

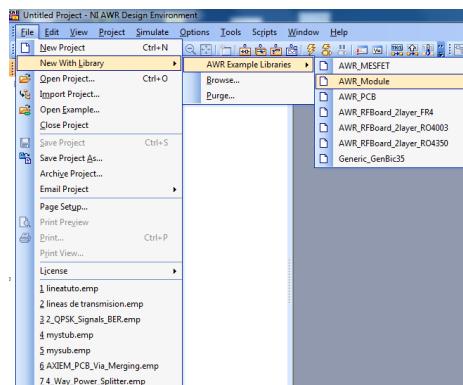
#### 5.1. Procedimiento

Esta sección está basada en el video tutorial introductorio “Jumpstart” para AWR MWO, para ello puede acceder a la siguiente dirección y descargar los videos del tutorial:

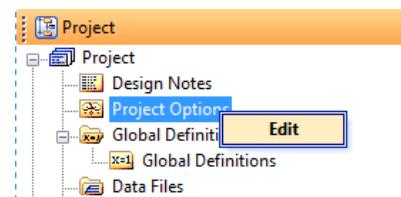
[https://tecnube1-my.sharepoint.com/personal/sarriola\\_itcr\\_ac\\_cr/\\_layouts/15/guestaccess.aspx?docid=039d1e815e74846f0be23a1056f2c4a84&authkey=AftB0cqA8ejbbPAr9C33hNI](https://tecnube1-my.sharepoint.com/personal/sarriola_itcr_ac_cr/_layouts/15/guestaccess.aspx?docid=039d1e815e74846f0be23a1056f2c4a84&authkey=AftB0cqA8ejbbPAr9C33hNI)

Con base a lo anterior, el video tutorial sugerido en el enlace anterior, para ejecución correcta de este apartado puede seguir los siguientes pasos:

1. Inicie el programa MWO de AWR y cree un nuevo proyecto con librerías.

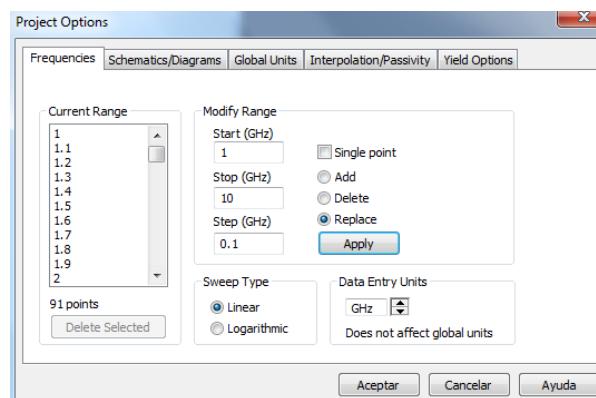


2. Se introducen las opciones del proyecto donde se detalla los límites de frecuencia del mismo.

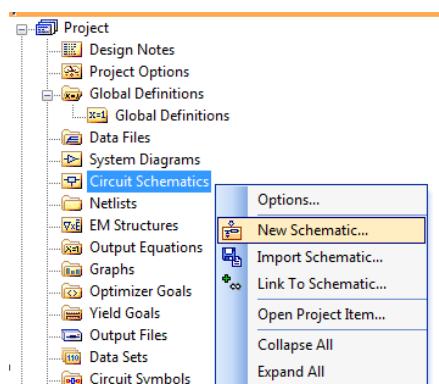


3. Se coloca la frecuencia deseada, en este caso dicha frecuencia se encuentra entre 1 y 10 GHz.

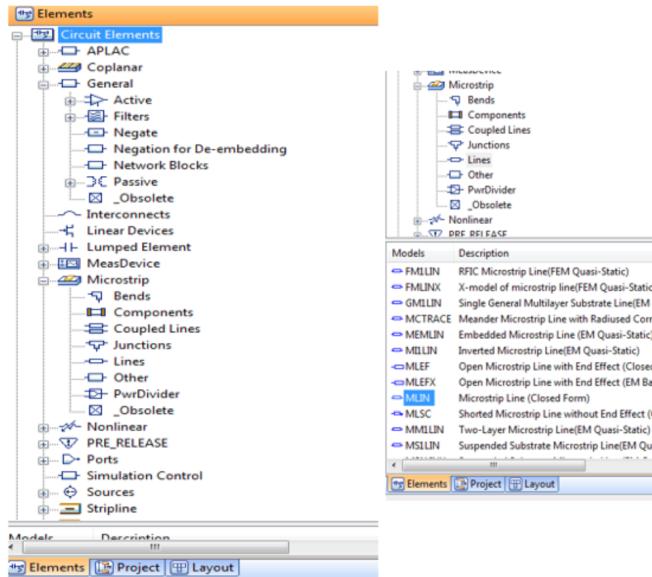
Click Apply→Aceptar.



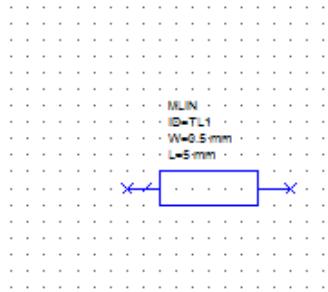
4. Seguidamente se crea un nuevo esquemático como Circuit Schematics→New Schematic.



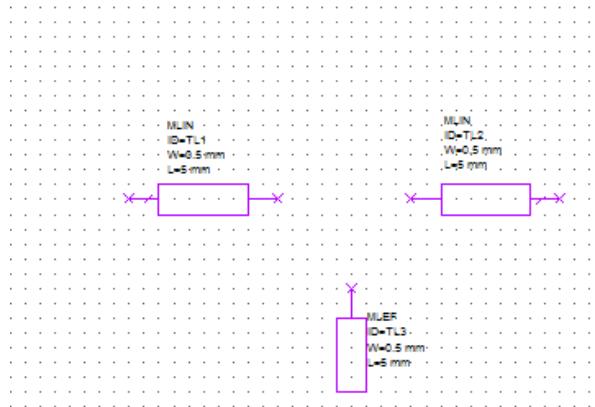
El esquemático es donde se colocan los elementos a simular, los cuales pueden ser ubicados mediante el cambio de ventana como:



- En este caso se desea simular una línea en un circuito impreso por lo que se colocarán un par de líneas. **Elements→Microstrip→Lines→Mlin** una vez seleccionada la misma se debe arrastrar el elemento hacia el esquemático



- Además, se deben ingresar otras 2 líneas de la misma manera, solo que en la última cambia a **Mlef** con esto el circuito se ve como se muestra a continuación.



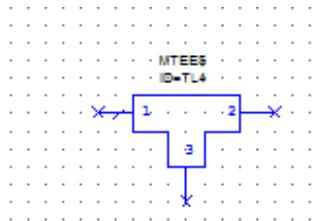
Si se desea conocer más del elemento utilizado se puede observar más información del mismo como **Click Derecho→Element Help**.

### Restrictions

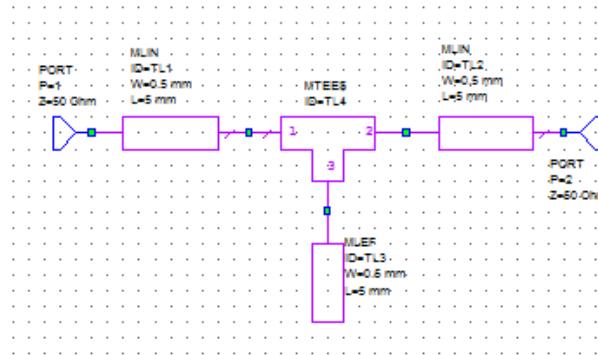
$0.02 \leq W/H \leq 20$  recommended  
 $T/W \leq 0.7$  recommended  
 $T/H \leq 0.5$  recommended  
 $\epsilon_r \leq 16$  recommended  
 $1 \leq \epsilon_r$  required  
 $T_{and} \geq 0$  required  
 $0 \leq \rho \leq 1000$  required  
 $0 \leq \rho \leq 100$  recommended

7. De igual manera se coloca una unión para estas líneas la cual se obtiene.

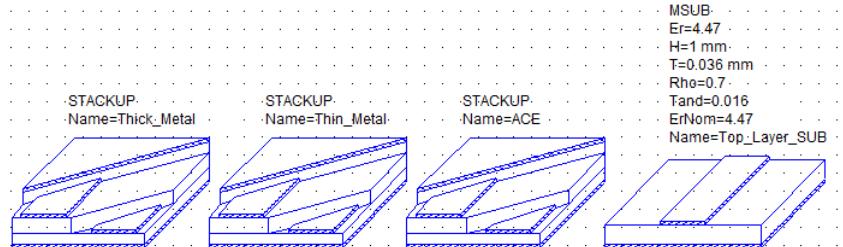
**Elements→Microstrip→Junctions→MTEE\$.**



8. Se agregan los puertos los de salida mediante **Elements→Ports→Port**, con lo que el circuito queda como:



9. Es posible conocer el sustrato en el que se va a colocar el sistema ya que gracias a las librerías se tienen algunos sustratos con los parámetros ya conocidos para observar esto se puede accesar mediante **Project→Global Definitions**.



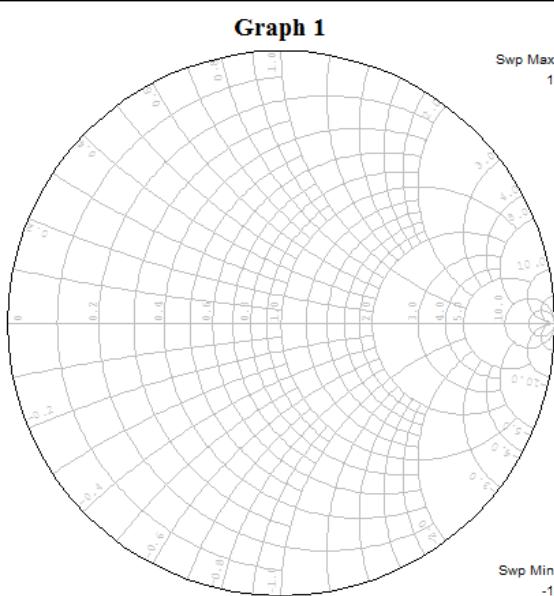
Para asignar estos sustratos se lleva a cabo la instrucción **click derecho→add model block** de esta manera se asigna el último de los blocks presentados en la figura anterior.

10. 10. Se procede a colocar los valores de las líneas que se desean para esto se modifican los valores de largo y ancho de las mismas a  $L=10$  mm,  $W=0.5$  mm lo cual se logra dando **doble click** al elemento.

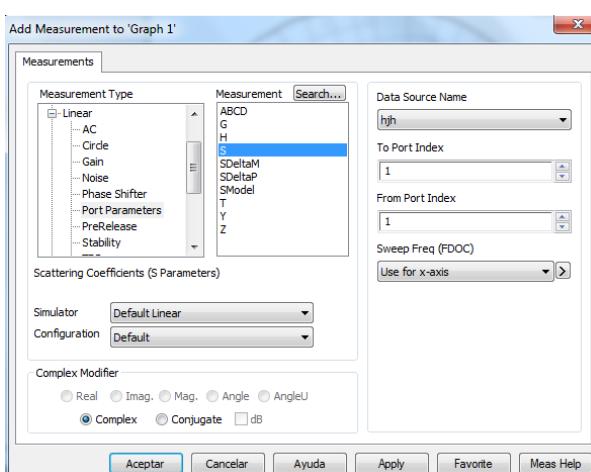
## Propiedades: Element Options: MLIN - Microstrip Line (Closed Form)

Parameters										
Name	Value	Unit	Tune	Opt	Limit	Lower	Upper	Step	Description	
<b>N</b> ID	TL1								Element ID	
<b>R</b> W	0.5	mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				Conductor Width	
<b>R</b> L	10	mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				Conductor Length	
<b>D</b> MSUB									Substrate Definition	

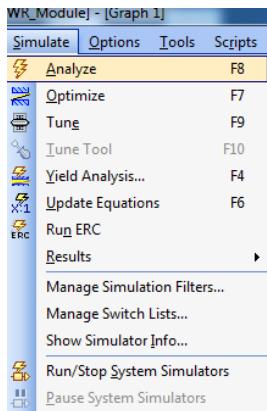
11. Entonces se procede a graficar la respuesta del sistema tanto en parámetros S como en rectangulares lo cual se logra mediante **Project→Graphs→New Graph→Smith Chart**.



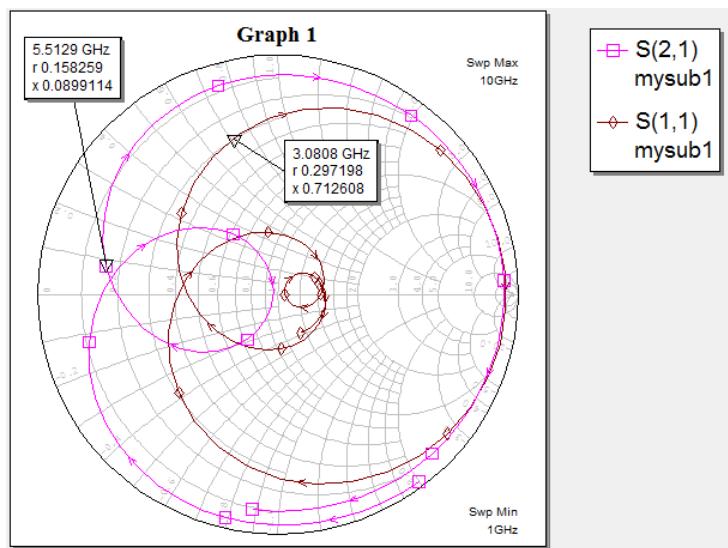
12. Para realizar una nueva medición **Click derecho→Add new measurement**. Se selecciona la medición del nombre del esquemático, así como el tipo de parámetros que se desea medir en este caso “parámetros S” y los puertos entre los que se desea medir 1→1 ó 1→2.



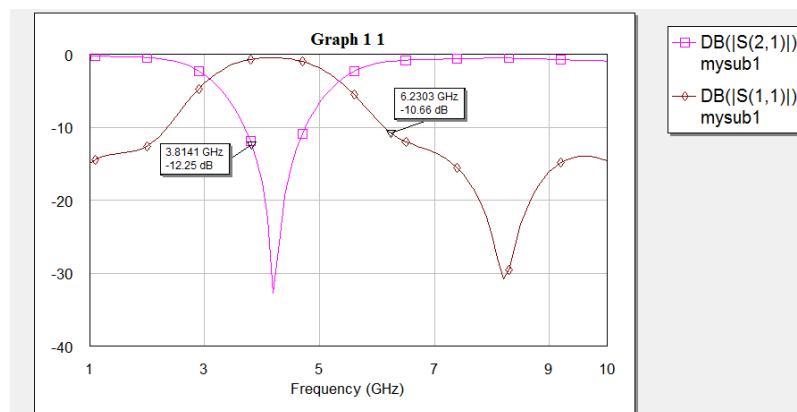
13. Para simular el sistema se debe ir a **Simulate→Analyze**



14. Se obtiene la gráfica de parámetros S como: Adicionalmente se pueden conocer las propiedades de la medición mediante **click derecho→Properties**. Además, se pueden agregar marcadores en la posición que se desee como **click derecho→add marker**.

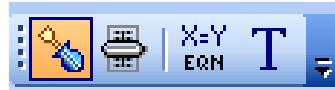


15. De la misma manera se puede replicar la medición con otro tipo de gráfico lo cual se logra mediante **Projects→Graphs→Graph 1→Click derecho→Duplicate as**

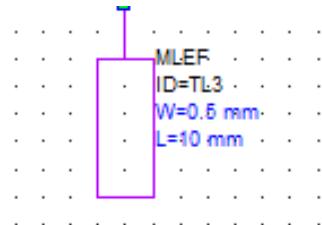


16. Se procede a realizar una simulación por modificación de parámetro, esta se logra mediante la modificación de un parámetro en alguno o todos los elementos del circuito.

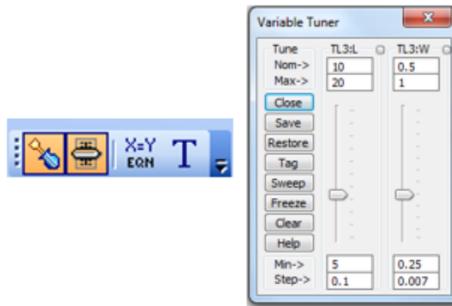
- a) Primeramente, es necesario seleccionar el Tune Tool el cual se encuentra en las barras de herramientas.



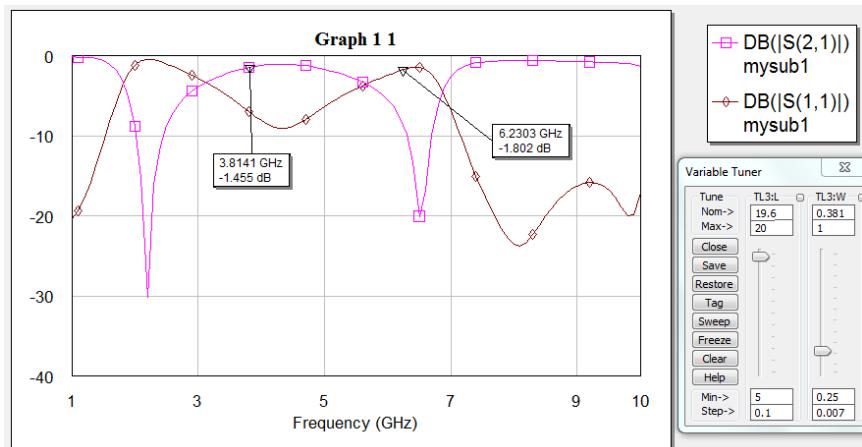
- b) Se seleccionan los parámetros del elemento que se desean modificar durante la simulación con tan solo dar click sobre ellos una vez seleccionado el tunetool, los parámetros se ponen en color azul.



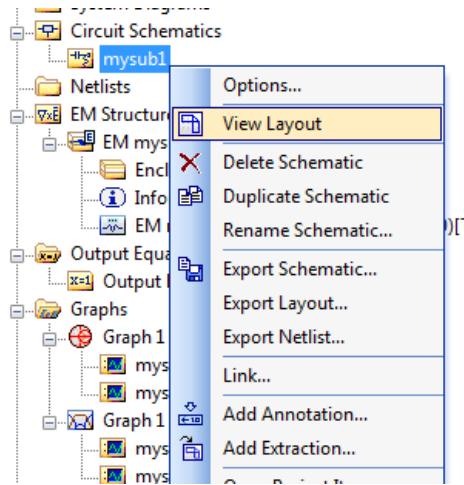
- c) Simular y abrir el Tune



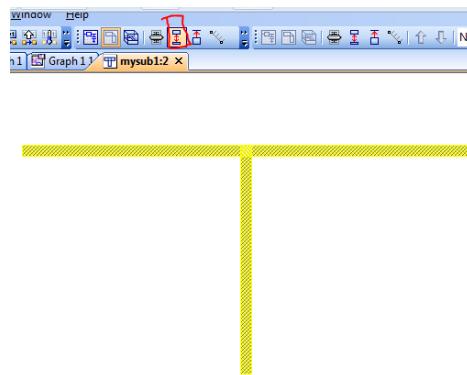
- d) De esta manera se puede modificar la simulación al mover los valores del Tune. Esta simulación se puede comparar con la anterior y se observa que al cambiar los valores de W y L esta se modifica.



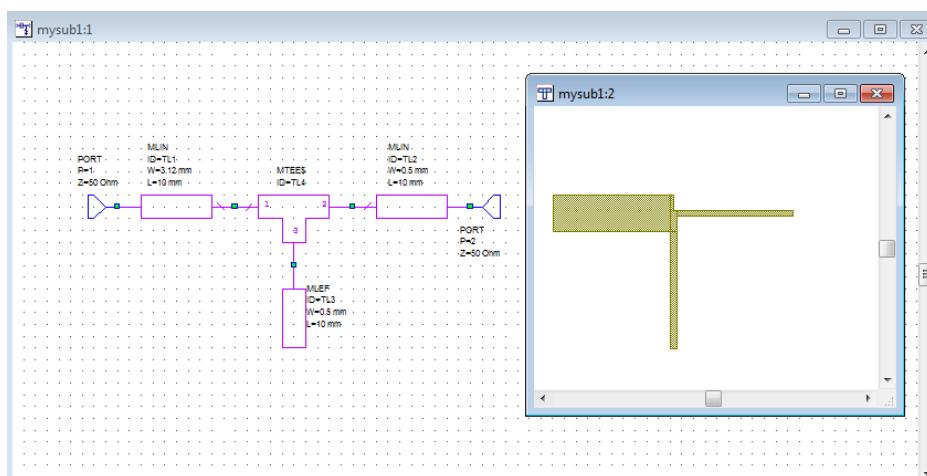
17. Se puede observar el layout del sistema mediante **Projects→Circuits Schematics→Nombre del esquemático→click derecho→view layout**



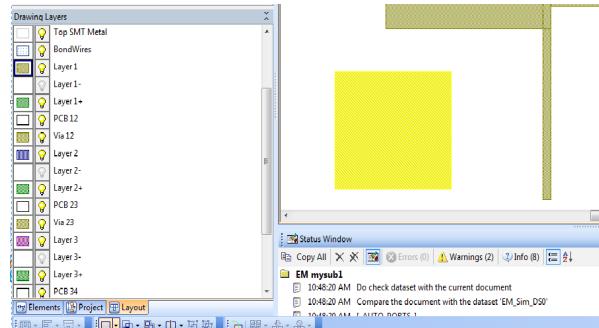
18. Una vez que se ingresa al layout se selecciona todo mediante control-A, y se alinean mediante un botón llamado Snap Together el cual también se encuentra en las barras de herramientas de esta manera se tiene:



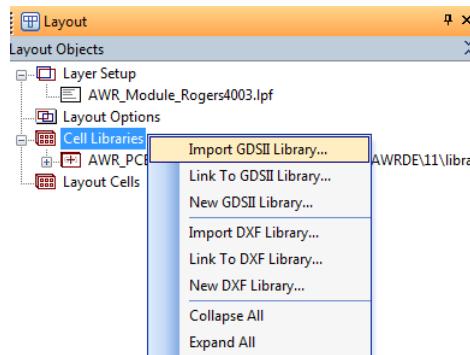
Inclusive se puede modificar en el layout el tamaño del elemento respectivo de manera que esto se ve reflejado de la misma manera en el esquemático. Como se puede ver W cambio en el esquemático al variar el mismo en el layout.



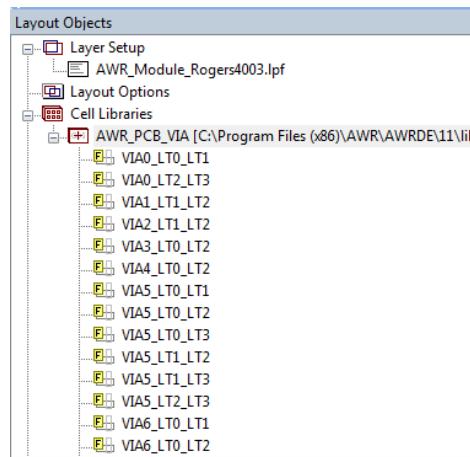
19. Es posible crear un elemento desde el layout el cual se logra accediendo a **layout→barra de herramientas→elemento deseado→tipo de layer deseado**.



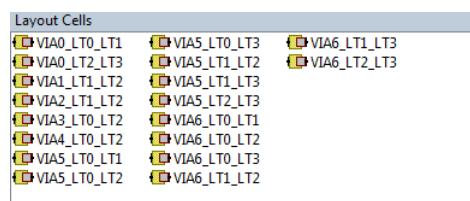
20. De la misma manera es necesario importar las librerías al sistema lo cual se logra en **Layout→Cell libraries→Importe GDSII library**.



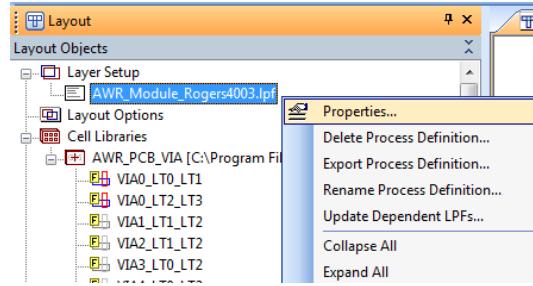
En este caso la librería deseada se encuentra en C:\ProgramFiles(x86)\AWR\AWRDE\11\Library\example\\_pdks\module\Library\AWR\\_PCB\\_VIA, una vez introducida esta librería, se selecciona la misma y se tiene:



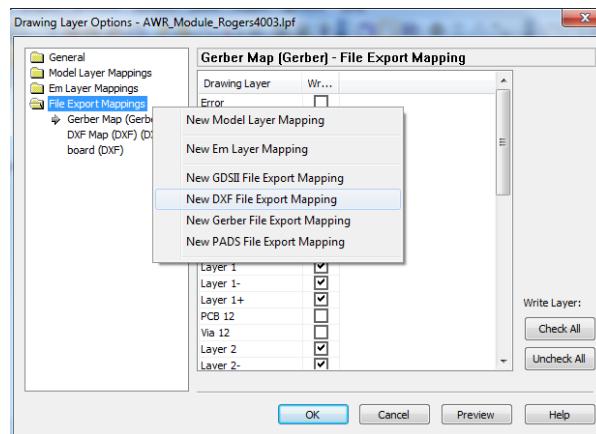
Y se tienen las siguientes, las cuales se colocan en el layout arrastrando los elementos



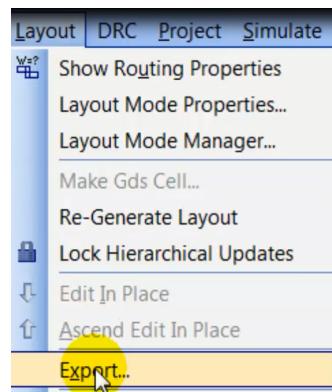
21. Las características de estas capas se pueden observar como



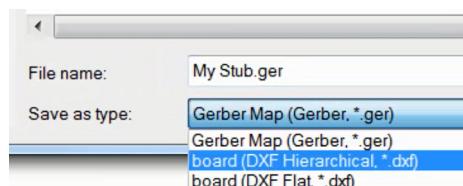
22. Para exportar se debe generar un nuevo DXF lo cual se logra mediante **FileExport Mappings→new DVF file export mapping**.



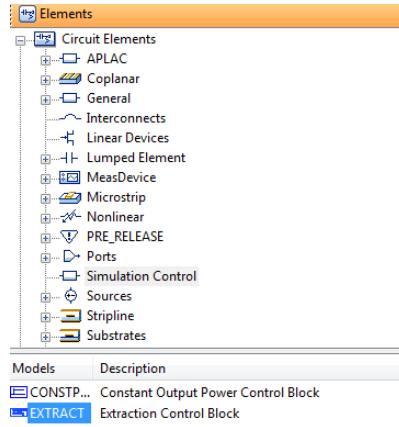
Una vez que se coloca el nombre pertinente se exporta el sistema **Herramientas→layout→Export**.



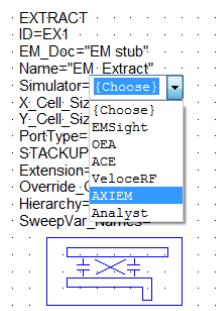
Se utiliza el nombre que se colocó anteriormente en nuestro caso **Board**



23. Para extraer el sistema es necesario introducir un elemento llamado Extract lo cual se logra mediante. **Elements→Simulation Control→Extract**.

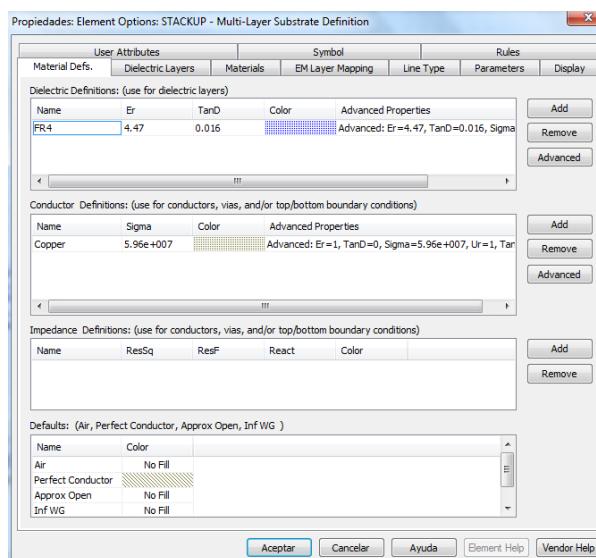


Una vez que le mismo se coloca en el esquemático este debe modificarse en ciertos parámetros, colocarle un nombre específico entre otros. En nuestro caso el nombre será EM\_stub. Un parámetro importante es que el simulador asignado sea AXIEM.

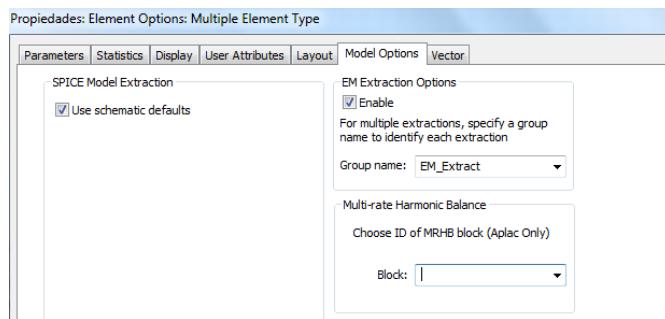


Además, se debe modificar el tamaño de la línea que se tiene para realizar

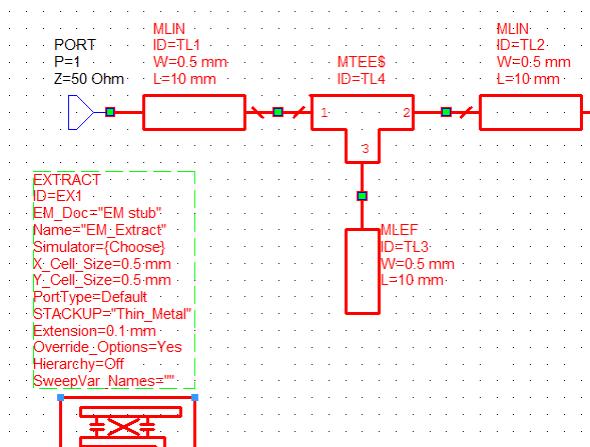
- X\_cell\_size=0.05 mm.
- Y\_cell\_size=0.05 mm.
- En el stackup se selecciona el Thin\_metal (la diferencia es el número de capas) los stackup se pueden observar en **Global Definitions**. Se puede accesar a la información de estos al hacer click sobre los mismos. En estos se muestra información acerca del tipo de metal que se usa, conductor, entre otros parámetros de importancia para generar el PCB. De esta manera se escoge el Thin\_Metal.



24. Se seleccionan los elementos que van a ser extraídos en el esquemático Luego **click derecho→properties**. De esta manera se ingresa a las propiedades de elementos en conjunto con lo que se ingresa a **Model Options** y se habilita la extracción de los mismos.

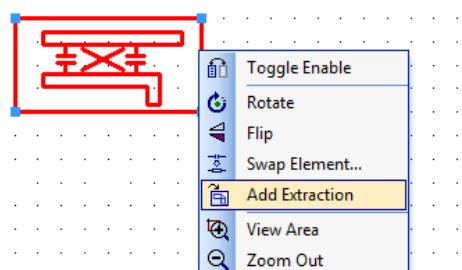


Una vez seleccionado esto se puede verificar que estos elementos forman parte de la extracción click en el elemento Extract y se observa los elementos asociados al mismo.

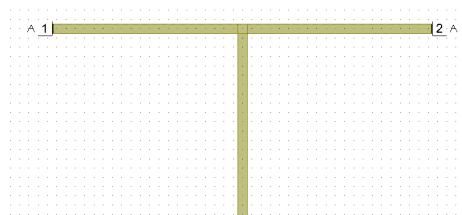


Igualmente, esto se puede ver reflejado de la misma manera en el Layout.

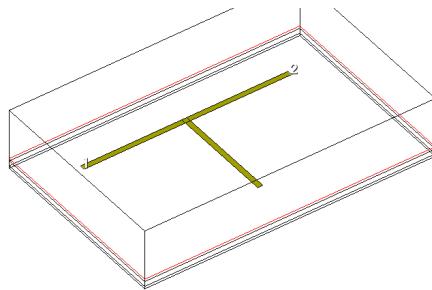
25. Para observar lo que se va a extraer esto se realiza mediante el block **Extract→click derecho→Add Extraction**.



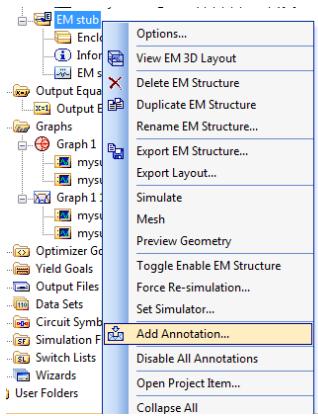
Con lo que se puede ver cómo será el diagrama de la extracción



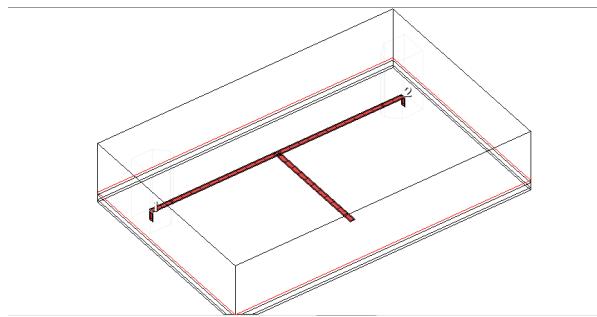
Así como su diagrama en 3D.



Finalmente se puede observar la introducción de los puertos mediante **EMstub→click derecho→add annotation**.



De esta manera es posible observar La extracción en 3D.



Donde se observa la presencia de los puertos inclusive.

26. Finalmente se puede volver a simular el sistema con la finalidad de observar las diferencias entre el mismo con el modelo y el que se tenía anteriormente. Es decir las diferencias respecto al block modelo en el que se implemente.

## Parte II: Simulación de un Filtro Pasa Bajo (LPF) y un Filtro Pasa Alto (HPF)

### 5.2. Procedimiento

Esta y las siguientes secciones se basan en el documento en línea **RF Electronics Chapter 2: Computer Simulation**, el cual se debe consultar para completar los ejercicios.

1. Calcule los parámetros de un LPF Butterworth con frecuencia de corte de 250 MHz e impedancia de salida de  $75 \Omega$ .
2. Monte el esquemático en el simulador MWO.
3. Haga un análisis de parámetros S y obtenga las cuatro gráficas.
4. Defina los valores de los componentes del circuito como variables.

5. Utilice el “variable tuner” para mover la frecuencia de corte a 400 MHz.
6. Hágalo mientras observa la gráfica que define la frecuencia de corte. ¿Qué valores definió?
7. Ahora defina la frecuencia de corte como una variable utilizando ecuaciones, y establezca su valor en 150 MHz. ¿Qué valores de parámetros obtuvo?
8. Repita los pasos del 1 al 5 para el HPF.

### 5.3. Simulación de un Diplexer

1. Diseñe un diplexer que permita el paso de dos señales, utilizando los filtros LPF y HPF del punto 5.1 como sub-circuitos. La frecuencia de corte se define en 250 MHz.
2. Monte el circuito en el MWO.
3. Simule el circuito y realice un análisis de parámetros S.
4. Optimice el circuito para que las señales del LPF y el HPF se mezclen a menos de 20 dB.
5. Obtenga los nuevos valores de los componentes del sistema optimizado.

### 5.4. Simulación de un Amplificador

1. Diseñe un amplificador tomando como base el transistor 2N4124 (utilice el modelo del documento mencionado en el equipo).
2. Ingrese los valores del transistor en el MWO para poder utilizarlo en la simulación.
3. Revise los valores de polarización del circuito.
4. Realice la simulación analizando los parámetros S y determine cuál gráfica es la más relevante.

## Guía para la elaboración del reporte escrito

### Parte I: Introducción a la elaboración de simulaciones utilizando AWR

- Analice y argumenta cual es la función del esquemático utilizado, para ello haga referencia a los parámetros S obtenidos.
- Según el esquemático utilizado, realice una investigación amplia del funcionamiento de cada dispositivo y cuál de ellos necesita una aproximación numérica para el funcionamiento.
- Compare el stack-up utilizado contra un stack-up comercial tipo FR-4.
- Analice las implicaciones que tiene hacer variaciones de W y L en el esquemático, para ello tome como referencia los parámetros S.
- Investigue y analice en que consiste el proceso de extracción y por qué es necesario volver a llevar a cabo un proceso de simulación después de hacer la extracción.

### Parte II: Simulación de un Filtro Paso Bajo (LPF) y un Filtro Pasa Alto (HPF)

- Discuta las topología pasivas utilizadas, y haga una comparación en términos de rendimiento de usar componentes tradicionales contra de montaje superficial (SMD).
- Investigue por qué las redes utilizadas existe una respuesta simétrica de parámetros en los DUTs medidos.
- Analice el comportamiento y rendimiento del diplexer previo a la optimización, para ello utilice los gráficos de parámetros S.
- Al dar la optimización utilice al menos dos diferentes métodos de optimización y con base a ello discuta la convergencia del método numérico contra la función de costo y respuesta objetivo.
- Analice a partir del amplificador utilizado, cual debería ser el punto de polarización y zona de operación adecuada para operar como amplificador.
- De amplificadores discretos básicos, analice e investigue sobre el empleo de topologías diferenciales que beneficios existen para manejo de ruido.

## Laboratorio 3

### Caracterización de líneas de transmisión y filtros a partir de archivos de un analizador vectorial de redes (VNA)

#### 1. Objeto General

Al finalizar este experimento el estudiante estará en capacidad de analizar mediciones a partir de archivos tipo Touchstone exportados de un analizador vectorial de redes para líneas de transmisión tipo microstrip line, filtros y un duplexer de cavidad. En relación a las líneas de transmisión tipo microstrip line los resultados serán comparados contra una simulación utilizando entornos de radio frecuencia.

#### 2. Objetivos Específicos

1. Analizar el proceso de calibración de un analizador vectorial de redes.
2. Analizar mediciones de parámetros S de diferentes filtros.
3. Analizar mediciones de respuesta de fase de diferentes filtros.
4. analizar mediciones de retardo de grupo (group delay) de diferentes filtros.
5. Analizar mediciones de parámetros S de diferentes líneas de transmisión tipo microstrip line.
6. Realizar y analizar simulaciones de parámetros S de diferentes líneas de transmisión tipo microstrip line mediante uso de entornos de simulación en radio frecuencia.
7. Comparar mediciones y simulaciones de parámetros S de diferentes líneas de transmisión tipo microstrip line.

#### 3. Cuestionario Previo

1. Investigue en que consiste una calibración SOLT
2. Investigue qué es el retardo de fase y su importancia en filtros. Además muestre la diferencia entre un retardo de fase lineal y uno no lineal.
3. Investigue qué es el retardo de grupo y su importancia en filtros. Además muestre la diferencia entre un retardo de grupo lineal y uno no lineal.
4. Investigue la relación entre el retardo de fase y el retardo de grupo. Muestre la relación entre sus gráficas.
5. Muestre gráficas típicas de la respuesta de frecuencia de amplitud, retardo de fase y de grupo para filtros pasabajos, pasabanda y pasa altos.
6. Investigue cómo se puede describir una línea de transmisión analíticamente en términos de parámetros de microondas.
7. Investigue qué una línea de transmisión de microcinta (microstrip line) y mencione su diferencia con una línea de transmisión de cinta (strip line).
8. Investigue como se calcula la impedancia característica de una línea de transmisión de microcinta. Destaque sus principales variables y típicamente cual se altera para establecer una impedancia deseada en una tarjeta de circuito impreso (PCB).
9. Investigue que es un archivo de tipo Touchstone, para que se usa, el sistema utilizado para nombrar sus extensiones de archivos y como se importan en Matlab.

#### 4. Equipo

- Computador portátil ó escritorio.
- Software Matlab versión 2015 en adelante y AWR versión 14.
- Guía de instalación de EAGLE, enlace disponible [aquí](#) ó consultar la sección 1.1.7 de Anexos.
- Placa a nivel de board en EAGLE [aquí](#).
- Archivos Touchstone [aquí](#).
- Scripts de apoyo [aquí](#) ó GitHub [aquí](#). Los scripts fueron desarrollados en versión Matlab 2015.

- Vídeo tutoriales [aquí](#).

## Parte I: Análisis de un PCB con líneas de transmisión tipo microstrip-line

### 5. Procedimiento

#### 5.1.1 Análisis de tarjeta en EAGLE

1. Antes de iniciar deberá tener el archivo de extensión **.brd**, el cual para ésta práctica se llama **Lineas.brd**. **NOTA:** Para abrir el archivo no es necesario asignarla ninguna ruta de almacenamiento específica, es completamente abierto donde quieran localizar el archivo.
2. Para abrir el archivo **Lineas.brd** puede ser de dos manera, la primera forma es ubicar el archivo  y con un doble clic el archivo abre sin problema, mientras que la segunda forma consiste en abrir el software Eagle, **File→Open→Board→Ruta del archivo**, sino vea el siguiente video de como hacerlo [aquí](#). En la figura 1 se muestra el resultado de abrir el archivo **Lineas.brd** en el software EAGLE.

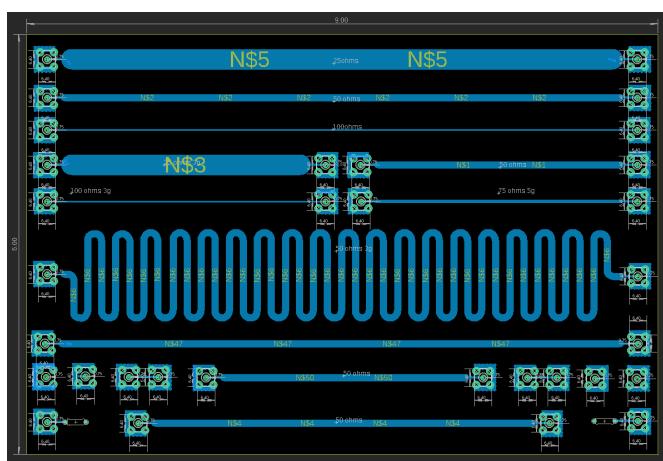


Figura 1: Líneas de transmisión en el software EAGLE.

3. Previo a determinar la longitud de cada línea de transmisión es necesario cambiar rejilla ó grid  a unidades **mm**, para ello en la ventana principal se debe acceder a **View→Grid** donde se podrá hacer la configuración según se muestra en la figura 2

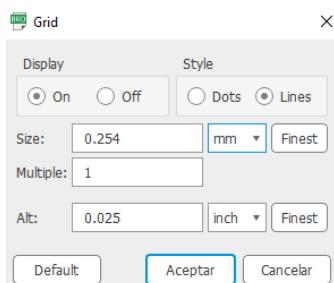


Figura 2: Configuración del grid en escala de **mm**

4. Para las simulaciones en radio frecuencias en AWR, es necesario determinar las dimensiones de cada línea una para ello se deberá ubicar en la esquina inferior izquierda el botón  el cual se llama **Dimension**, esta herramienta le permitirá determinar la longitud en **mm** de cada línea de transmisión según la impedancia. **NOTA:** Si observa la placa PCB tiene, al menos 3 dimensiones entre líneas largas, medianas y cortas, además es necesario usar un mouse con scroll para hacer zoom in y zoom out a la placa y la tecla del teclado **ESC** les servirá para reiniciar las mediciones. En el siguiente enlace [aquí](#) puede ubicarse y entender como es el proceso de medición, y se tomará como dimensiones de líneas las siguientes:

- Línea Larga ó LL es de:  $\approx 214$  mm.
- Línea Mediante ó LM es de:  $\approx 150$  mm.
- Línea Corta ó LC es de:  $\approx 100$  mm.

- Serpentina ó SPR es de  $\approx 1600$  mm.

(\*\*) El valor es aproximado de 1590 mm pero se da a 1600 mm para contemplar las entradas a los puertos. El cálculo de las curvas se contempla la mitad del perímetro de un anillo debido a que cada curva se puede ver representada como la mitad de un anillo circular.

- La impedancia de  $25 \Omega$  el ancho es de  $\approx 7.33$  mm.
- La impedancia de  $50 \Omega$  el ancho es de  $\approx 2.54$  mm.
- La impedancia de  $75 \Omega$  el ancho es de  $\approx 1.10$  mm.
- La impedancia de  $100 \Omega$  el ancho es de  $\approx 0.50$  mm.

### 5.1.2 Distribución de las Líneas De Transmisión

La placa PCB a analizar en esta práctica fue diseñada para comprobar el funcionamiento de las líneas de transmisión en diferentes escenarios, por lo que cuenta con diferentes líneas de diversas longitudes e impedancias, **así como terminales de Cortocircuito, Circuito Abierto, Carga ( $50 \Omega$ ) y a través (las cuales no serán analizadas en ésta práctica)**; estas últimas con el fin de ser utilizadas para calibración SOLT (por sus siglas en inglés). La placa contiene 11 líneas de transmisión a saber: 4 que abarcan toda su longitud, 1 de media longitud y 5 líneas de longitud, además de una serpentina de  $50 \Omega$  y dos juegos SOLT para calibración **No usado en ésta práctica**. En la figura 3 se detalla la ubicación de cada una de las líneas, donde se indica el tipo de conexión (como se explica a continuación), seguido de su impedancia característica (en caso de las líneas, cargas y serpentina):

- LT: Línea de Transmisión.
- SP: Serpentina.
- SC: Corto Circuito.
- OC: Circuito Abierto.
- LD: Carga.
- TH: A Través.

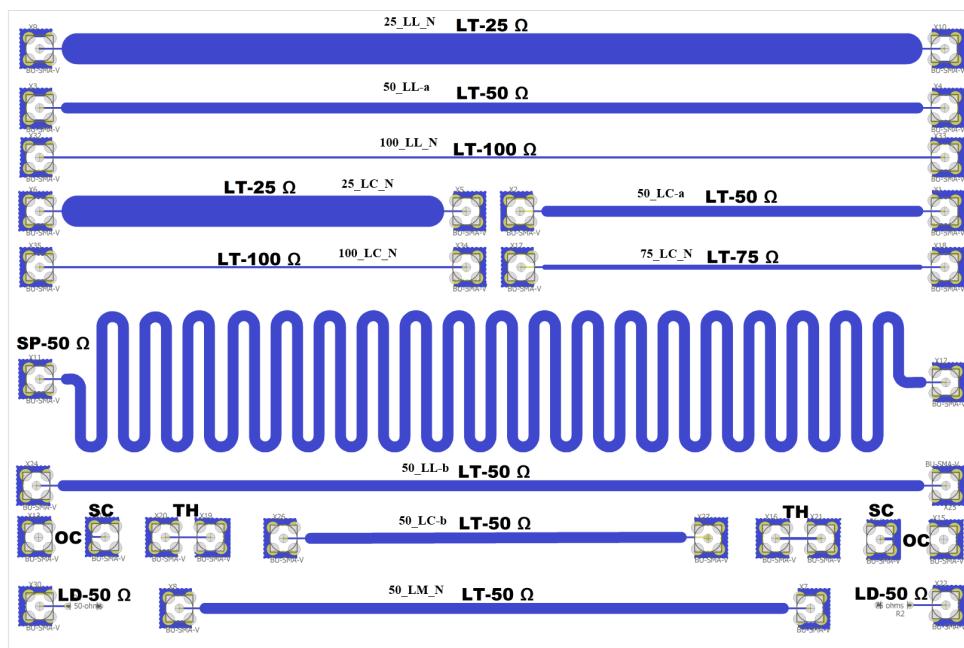


Figura 3: Esquema de la tarjeta de pruebas.

### 5.1.3 Análisis de calibración SOLT

- Analice el proceso de calibración SOLT, según se muestra en la guía “Guía de Calibración para VNA”

### 5.1.4 Simulación de líneas de transmisión

- Abra el software NI AWR Design Environment y diríjase **File→New Project with Library→AWR Examples Libraries→AWR Module**, inserte el modelo de stack-up para este caso se utilizará el MSUB.
- Configure un barrido de frecuencias en **Project Options** y de click derecho en **Edit** y localice **Frequencies** y establezca un barrido de frecuencias desde 9e-6 hasta 6 GHz, en pasos de 0.0030 GHz. **NOTA: Asegure que el Data Entry Units este en unidades de GHz.**
- Realice un esquemático de línea de transmisión con dos puertos; tal y como se muestra en la figura 4 Nota: Utilice el elemento de línea de transmisión: MLIN y puertos de interconexión. **NOTA: El modelo de simulación de una serpentina no es posible con el esquemático utilizado, es por ello que la comparación se hará con una línea de largo de 50 Ω.**

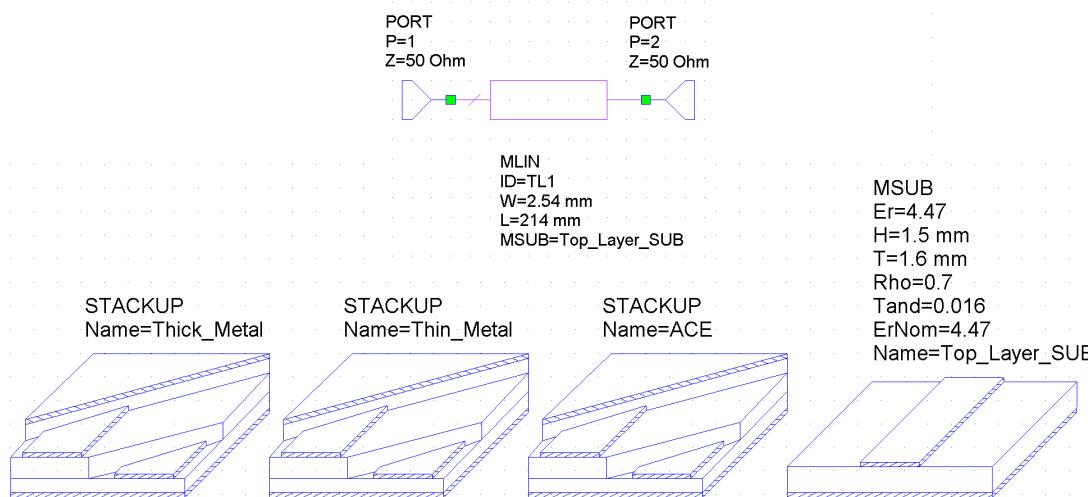


Figura 4: Esquemático para simulación

- Utilice la herramienta “Tune Tool” para hacer ajustables los valores de longitud, impedancia. Para la longitud, tome como valor de referencia inicial la longitud física de la línea de transmisión el cual fue extraído del board de EAGLE. Esta longitud en realidad es algo más amplia, debido a la longitud del conector que no se toma en cuenta en la medición. En cuanto a la impedancia de la línea, tome en cuenta que la línea de grosor medio es de aproximadamente 50 Ω. Tome esto como referencia para saber cómo variar el valor de las impedancias si fuera necesario.
- Grafique la respuesta de los parámetros S de la línea simulada tal como se muestra en la figura 5.

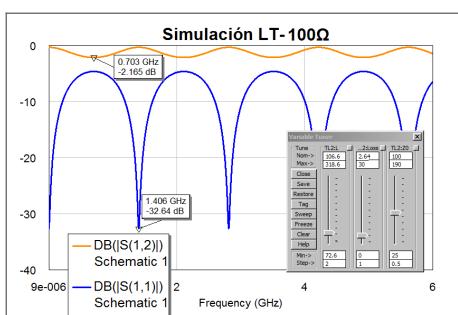


Figura 5: Simulación de Líneas de Transmisión en AWR.

- Aproxime la respuesta de la línea simulada en relación a los archivos Touchstone suministrados y teniendo como prioridad la frecuencia de la primera resonancia en reflexión y la ganancia de transmisión.

### 5.1.5 Comparación de resultados contra Simulación

1. Para dar inicio con las comparaciones de los archivos simulados y proporcionados pueden ser importados de al menos 2 formas, tal como:
  - a) Si desea importar los archivos Touchstone suministrados en el software AWR localice en la pestaña **Project→Data Files→Import Data Files** y a partir de ahí busque la ubicación en su computador podrá ver que hay un acceso llamado **USUARIO on NOMBRE\_PC** con ese acceso está ingresando a su propio computador. **NOTA: Se recomienda que los archivos Touchstone estén localizados en el escritorio de su PC por simplicidad.**
  - b) Si utiliza Matlab para importar los archivos Touchstone suministrados, puede utilizar scripts que le permitan importar archivos en formato Touchstone, los cuales se pueden acceder a los siguientes enlaces **Material extra ó Scripts**

**Nota:** Para importar los archivos Touchstone (\*.snp) y graficar en el espacio de trabajo de Matlab los parámetros S utilice la función “Sparameters\_Graph” ó “Sparameters\_Graph\_AWR” que utiliza las funciones del Toolbox de RF en Matlab para leer este tipo de archivo y además funciones para calcular magnitud en función de la frecuencia. Es importante que este Script este dentro de la carpeta de archivos Touchstone. Al utilizar el script se producirá dos tipos de variable: una matriz de dimensiones n x n x m, donde n es el número de puertos (2 en este caso) y m el número de frecuencias.
2. Importe el archivo Touchstone generado de las simulaciones, para extraer los datos en AWR ubique en **Project→Output Files** y cree un archivo tipo .snp para ello únicamente es necesario asigna la ruta de su computador donde guardará los datos, recuerde que el tipo de archivo deberá ser tipo Touchstone file. Si desea ver el proceso puede consultar [aquí](#)
3. Haga un gráfico para cada respuesta de parámetro S, donde se vea en una sola gráfica la comparación de la medición y la simulación entre reflexiones y transmisiones, para ello tome como referencia las figuras 6 y 7.

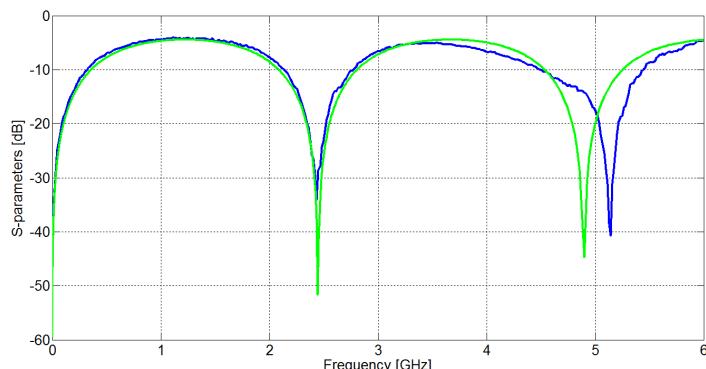


Figura 6: Comparación simulación y medición para líneas de  $50 \Omega$  (reflexión).

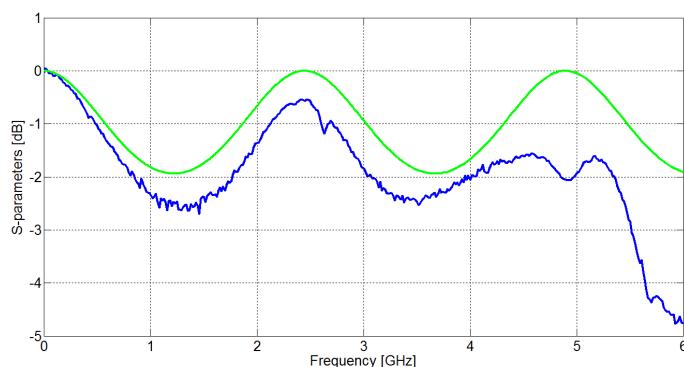


Figura 7: Comparación simulación y medición para líneas de  $50 \Omega$  (transmisión).

4. Repita las secciones desde el apartado 1 hasta el 3 de ésta sección para las líneas largas de  $25\ \Omega$  y  $100\ \Omega$ ; también para las líneas cortas de  $25\ \Omega$ ,  $50\ \Omega$ ,  $75\ \Omega$  y  $100\ \Omega$ .
5. Basado en las diferencias entre ambos espectros y en su conocimiento sobre el comportamiento de las líneas de transmisión, **argumente porqué** los valores de simulación que mejor se aproximan al espectro obtenido en la práctica difieren de los valores nominales de longitud e impedancia característica de la línea medida.

#### 5.1.6 Comparación de resultados de igual Impedancia Característica

1. Seleccione un valor de impedancia característica  $Z_0$  que esté en el board de EAGLE, asegurándose que haya otra línea de diferente longitud pero igual  $Z_0$ .
2. Grafique en Matlab ó AWR los mismos parámetros de dispersión para las dos líneas seleccionadas. Por ejemplo, en la figura 7 se muestra el gráfico de los parámetros  $S_{22}$  de las dos líneas de  $Z_0=100\ \Omega$ , tanto la larga (azul) como la corta (verde). Para este paso, utilice la función “Sparameters\_Graph” ó “Sparameters\_Graph\_AWR” (Opcional) ó AWR. Anote sus observaciones para su posterior análisis.
3. Basado en los gráficos obtenidos, discuta sobre el efecto que tiene el variar la longitud de una línea de transmisión, conservando su impedancia intrínseca.

#### 5.1.7 Comparación de resultados de igual Longitud

1. Seleccione una línea de transmisión disponible en el board de EAGLE suministrado, asegurándose que haya otra línea de igual longitud, pero diferente impedancia característica.
2. Grafique en Matlab ó AWR los mismos parámetros de dispersión para las dos líneas seleccionadas. Por ejemplo, en la figura 8 se muestra el gráfico de los parámetros  $S_{21}$  de dos líneas cortas: de  $Z_0=25\ \Omega$  (azul) y la de  $Z_0=100\ \Omega$  (verde). Para este paso, utilice la función “Sparameters\_Graph” ó “Sparameters\_Graph\_AWR” ó AWR. Anote sus observaciones para su posterior análisis.

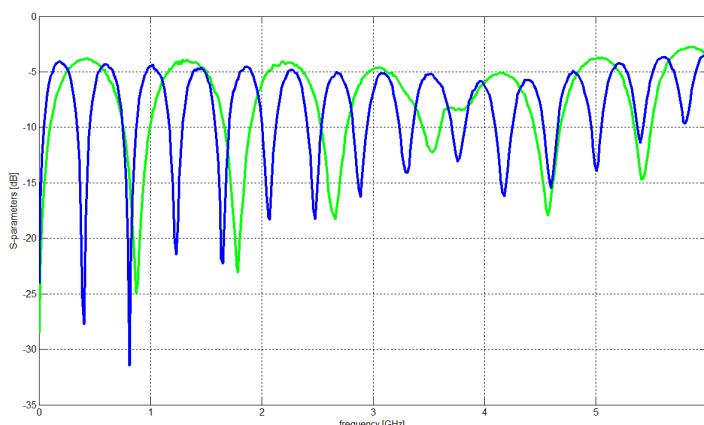


Figura 8: Comparación para líneas de diferente longitud.

3. Basado en los gráficos obtenidos, discuta sobre el efecto que tiene el variar  $Z_0$  en una línea de transmisión, conservando su longitud, según el resultado mostrado en la figura 9

#### 5.1.8 Comparación de resultados de igual Impedancia y Longitud

1. Grafique en Matlab los mismos parámetros de dispersión para las dos líneas iguales en impedancia y longitud. Por ejemplo, en la figura 10 se muestra el gráfico de los parámetros  $S_{11}$  de las dos líneas largas: de  $Z_0=50\ \Omega$ . Para este paso, utilice la función “Sparameters\_Graph” ó “Sparameters\_Graph\_AWR” (Opcional) ó AWR. Anote sus observaciones para su posterior análisis.

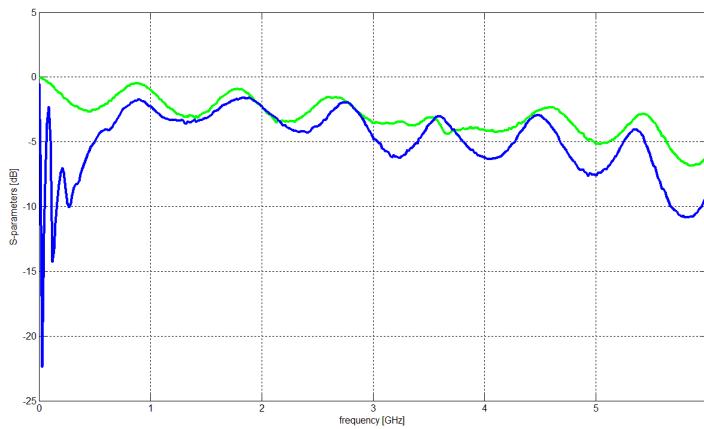


Figura 9: Comparación para líneas de diferente impedancia.

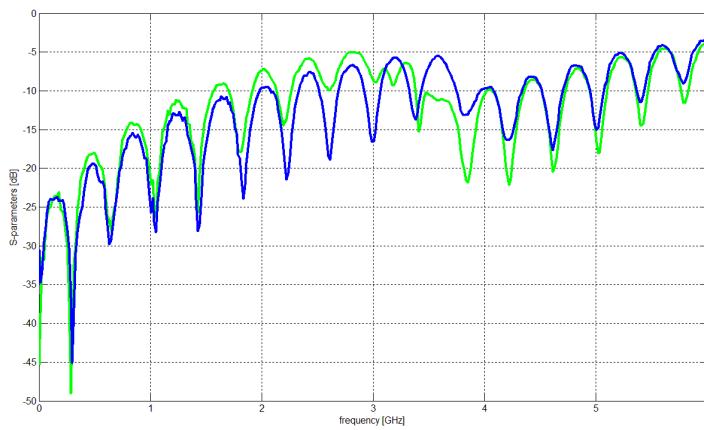


Figura 10: Comparación para líneas de igual características en diseño.

### 5.1.9 Comparación de resultados de Serpentina

1. Grafique en Matlab ó AWR los mismos parámetros de dispersión de la serpentina con respecto a los de una línea larga de  $Z_0=50 \Omega$ . Por ejemplo, en la figura 11 se muestra el gráfico de los parámetros  $S_{12}$  de la línea larga (verde) y la serpentina (azul). Para este paso, utilice la función “Sparameters\_Graph” ó “Sparameters\_Graph\_AWR” (Opcional) ó AWR. Anote sus observaciones para su posterior análisis. **NOTA: El modelo de simulación de una serpentina no es posible con el esquemático utilizado, es por ello que la comparación se hará con una línea de largo de  $50 \Omega$ .**
2. Basado en los gráficos obtenidos y sus observaciones, discuta porqué los espectros de los parámetros de dispersión de dos líneas idénticas son diferentes.

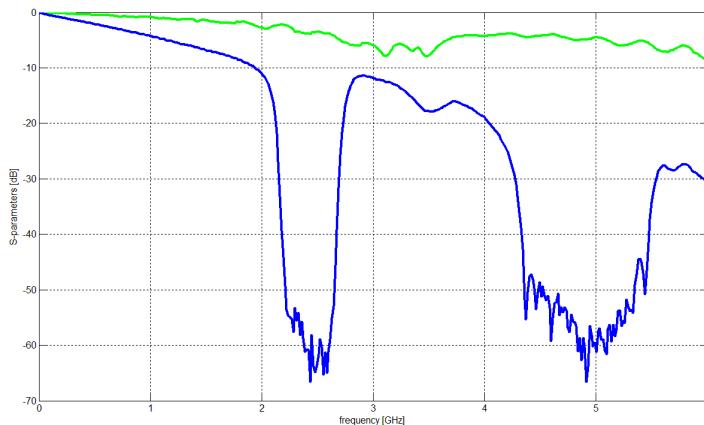


Figura 11: Comparación para el caso de la línea con trazado en serpentina.

## Parte II: Análisis de parámetros S de filtros

### 5.2. Procedimiento

#### 5.2.1 Análisis de parámetros S

1. Localice los archivos que están en la carpeta que descargó al iniciar la práctica:
  - filtro HPF\_79 MHz.s2p.
  - filtro LPF\_2.5 MHz.s2p.
  - filtro LPF\_115 MHz.s2p.
  - filtro cavidad high.s2p.
  - filtro cavidad low.s2p.
2. Grafique las respuestas de los filtros utilizando el script “Sparameters\_Graph” ó AWR. **NOTA: Recuerde que el script debe ser ejecutado en la carpeta donde estan los archivos.**
3. Documente las gráficas de los parámetros S. **NOTA: Al exportar las gráficas cuide el aspecto visual y asegure que sean visibles y posean etiquetas en los ejes.**
4. El duplexer de cavidad posee tres entradas denominadas como high, low y antena. Considere que la medición de parámetros S fue realizada con un analizador vectores de redes con dos puertos. Analice y justifique que debe considerarse durante la medición para asegurar un proceso de medición correcto en dicho duplexer.

#### 5.2.2 Análisis de la respuesta de fase

1. Desarrolle un script en Matlab ó adapte el script “Sparameters\_Phase” que fue suministrado graficar la fase a partir de parámetro.
2. Determine el parámetros S que le permita ver la respuesta de fase de cada filtro.
3. Documente las gráficas de fase correctas. **NOTA: Al exportar las gráficas cuide el aspecto visual y asegure que sean visibles y posean etiquetas en los ejes.**

#### 5.2.3 Medición de retraso de grupo

1. Utilice el software AWR para el análisis de retraso de grupo, para ello considere importar los datos s2p suministrados en el software. **NOTA: Revise las consideraciones de la sección 5.1.2 punto 1 inciso a).**
2. Analice las respuestas de magnitud de los parámetros S y determine cual parámetro S le permite extraer el retraso de grupo de cada filtro.

3. Cree un **Graph** con el parámetro S que servirá para analizar el retraso de grupo de cada filtro.
4. Localice el gráfico y mediante click derecho seleccione **Add Measurement** eso va a abrir una ventana donde deberá seleccionar **Linear** en la sección de **Measurement Type** y en la caja de selección **Measurement** seleccionará la herramienta llamada **GD** es importante que la opción **Complex Modifier** la casilla **dB** este desactivada, esto se debe a que se el eje del tiempo se quiere en escala de segundos y no decibeles.
5. Para una visualización correcta, ajuste la escala de tiempo ubicada en el eje vertical. **NOTA: La configuración del eje se logra dando click derecho en el gráfico y en el apartado Axis gestionan la nueva escala máxima y mínima.**
6. Documente las gráficas de retraso de grupo correctas. **NOTA: Al exportar las gráficas cuide el aspecto visual y asegure que sean visibles y posean etiquetas en los ejes.**

## Guía para la elaboración del reporte escrito

### Parte I: Análisis de un PCB con líneas de transmisión tipo microstrip-line

- Relacione el modelo teórico de una línea de transmisión con lo analizado en los archivos Touchstone suministrados.
- Observe el comportamiento de los parámetros S en función de la impedancia y longitud de la línea. Deduzca las tendencias y periodicidad de los gráficos.
- Discuta las diferencias que se observan entre los parámetros S medidos en los archivos Touchstone y simulación, tratando de explicar la razón de las diferencias.
- Adjunte a su entrega el archivo de AWR que le permitió llevar a cabo las simulaciones.

### Parte II: Análisis de parámetros S

- Demuestre mediante las gráficas de parámetros S, la región de operación de filtros.
- Compare las gráficas de la respuesta de fase de los filtros y comente diferencias y semejanzas.
- Compare las gráficas de retardo de grupo de los filtros pasabajas y comente diferencias y semejanzas.
- Analice que relación existente entre el retardo de fase y retardo de grupo según los gráficos de retardo de grupo.
- Explique la función del duplexer a partir de sus gráficas de parámetros S y comente la gráfica de retardo de fase de su filtro pasabajas y su gráfica de retardo de grupo de su filtro pasaaltas.

## Laboratorio 4

### Esquemas de modulación analógica y digital mediante simulaciones en Matlab/Simulink

#### 1. Objetivo General

Aplicar los conceptos de modulación analógica y digital a través de scripts desarrollados en Matlab y esquemáticos en el entorno Simulink con el objetivo de comprender los principios de operación y parámetros relativos a diferentes esquemas de modulación.

#### 2. Objetivos Específicos

1. Comprender los conceptos de esquemas de modulación y demodulación analógica AM-DSB, AM-DSB-SC y PM.
2. Analizar y comprender el efecto de variar parámetros en la señal transmitida y su espectro en frecuencia para ambos esquemas de modulación analógicos.
3. Comprender los procesos de modulaciones y demodulaciones digitales PSK y QAM.
4. Analizar y comprender el efecto de variar parámetros de configuración en el gráfico de constelación del emisor y el receptor para ambos esquemas de modulación digital.

#### 3. Cuestionario Previo

1. Explique de forma breve el principio funcionamiento de la modulación AM, FM y PM.
2. Mencione las características que existen entre la modulación FM y PM.
3. Explique el efecto tanto en la señal temporal, como en el espectro de variar los siguientes parámetros:
  - Frecuencia del tono.
  - Separación de los tonos.
  - Cantidad de tonos.
  - Supresión de portadora.
  - Índice de modulación.
4. ¿Cuál es el comportamiento de la calidad en la recepción conforme se aumentan la cantidad de tonos en el transmisor?
5. Explique y analice de manera breve el funcionamiento del demodulador *Square-Law-Demodulator Model*.
6. Explique cuál es la función de los parámetros *Sample Time*, *Sample per Frame*, *Set Size* y *Symbol period* principalmente utilizado en bloque de señales en Simulink.
7. Investigue sobre la funcionalidad que tiene el bloque *Spectrum Analyzer*, *Constellation Diagram* and *Phase Noise* en el entorno de Simulink y que parámetros de configuración y visualización posee.
8. Investigue que es el bloque *AWGN* y que parámetros de configuración posee dentro el ambiente Simulink.
9. Explique de manera breve el principio de funcionamiento de las modulaciones PSK, BPSK y QAM.
10. ¿Cuál es la función de los filtros utilizados en transmisores QAM, especialmente el filtro *Raised-Cosine*?
11. En relación a modulaciones digitales explique que es BER y además investigue la funcionalidad del mismo.
12. Investigue sobre el *Hilbert transform filter* aplicado en comunicaciones eléctricas.

#### 4. Equipo

**NOTA IMPORTANTE:** Para esta práctica se hará uso del entorno Matlab y Simulink, para ello es recomendado utilizar el pool de aplicaciones de la Escuela de Ingeniería Electrónica y acceder al computador virtual **Por Definir** y utilizar la versión de Matlab 2018 que se encuentra instalada. Puede descargar los archivos desde la red a los links suministrados en este sección para que no tenga problema al acceder a PC mediante el cliente VMWare. El material de ésta práctica ha sido un compendio y recopilación de materiales de cursos de comunicaciones eléctricas por [1] y [3] los cuales se le da el crédito en este manual de laboratorio.

**Hardware:**

- Computador Portátil ó Escritorio.

**Software:** El software para desarrollar ésta práctica estará disponible en la computadora virtual *Por Definir* ubicada en el pool de aplicaciones.

- Matlab versión 2015 ó superior.
- Simulink versión 2015 ó superior.

**Archivos:** En cualquiera de los siguientes enlaces podrá encontrar los archivos que se necesitan para ésta práctica:

- [GitHub](#).
- [Portal Web](#).
- TEC-Digital (según grupo matriculado).

**Parte I:  
Simulación y Análisis de Esquemas de Modulaciones Analógicas AM y PM**

### 5.1 Procedimiento

Para el inicio de esta primera parte de la práctica guiada es necesario utilizar los archivos siguientes, los cuales tuvo que haber descargado previamente:

- AM\_Full.m (Entorno de Matlab).
- MOD\_DEM.slx (Entorno Simulink).
- AM.slx (Entorno Simulink).
- PM\_Modulation (Entorno de Matlab).
- PM.slx (Entorno Simulink).

**NOTA:** No olvide primero abrir Matlab y buscar los folders donde esta la información, esto le evitará cualquier error.

#### 5.1.1 Modulación AM-DSB y AM-DSB-SC en Simulink

1. Abra el archivo el archivo **AM.slx** inspeccione todos los módulos en términos de configuración e interconexión. En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques general.

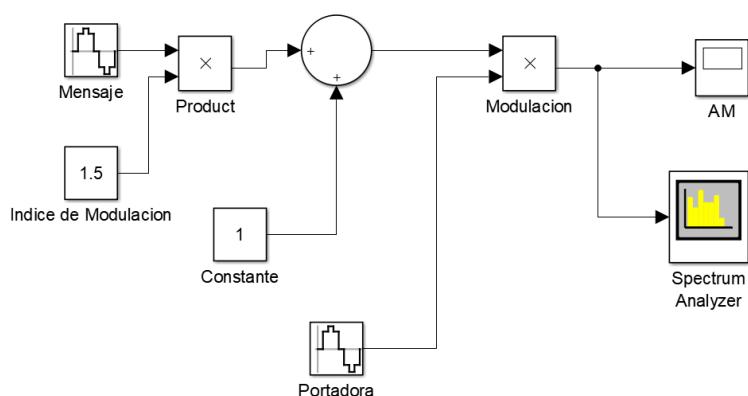


Figura 1: Modulación AM-DSB en Simulink.

2. Ajuste los siguientes parámetros de configuración en los bloques *Mensaje* y *Portadora*.

a) **Mensaje:**

- 1) Sine Type como *Timed based*.
- 2) Time (t) como *Use simulation time*.
- 3) Amplitude con un valor de 1.

- 4) Bias de 0.
- 5) Frecuency (rad/sec) como  $2\pi * f$ , donde  $f$  es el valor de frecuencia por ejemplo 0.5 MHz, se traduce como 0.5e6 por simplicidad y recuerde que Matlab recibe el valor  $\pi$  como pi. **NOTA: Configure bien la frecuencia con el valor pi para evitar errores.**
- 6) Phase (rad) con un valor de 0.
- 7) Sample Time: con un valor de 1/(1e9), recuerde que el mismo puede variar según sea la señal que quiere visualizar, este valor es debido al teorema de Nyquist.
- 8) Seleccionar la casilla *Interpret vector parameters as 1-D*.

b) **Portadora:**

- 1) Sine Type como *Timed based*.
- 2) Time (t) como *Use simulation time*.
- 3) Amplitude con un valor de 1.
- 4) Bias de 0.
- 5) Frecuency (rad/sec) como  $2\pi * f$ , donde  $f$  es el valor de frecuencia por ejemplo 10 MHz, se traduce como 10e6 por simplicidad y recuerde que Matlab recibe el valor  $\pi$  como pi. **NOTA: Configure bien la frecuencia con el valor pi para evitar errores.**
- 6) Phase (rad) con un valor de 0.
- 7) Sample Time: con un valor de 1/(1e9), recuerde que el mismo puede variar según sea la señal que quiere visualizar, este valor es debido al teorema de Nyquist.
- 8) Seleccionar la casilla *Interpret vector parameters as 1-D*.

Una vez que el ambiente este configurado es posible hacer una ejecución para revisar el funcionamiento del mismo, para ello solo basta con ubicar el icono de llamo *Run*  ó en su defecto puede presionar *Crtl + T*. En la figura 2 se muestra el diagrama espectral resultante al ejecutar el bloque de Simulink. **NOTA: La señal temporal saldrá también, si no sale únicamente se deberá dar doble en el icono Time Scope llamado AM y visualizará. SI desea que salga siempre al abrir la ventana de la señal temporal mediante click derecho podrá activarlo en Configuration Properties→Main y seleccionar la opción Open at simulator start.**

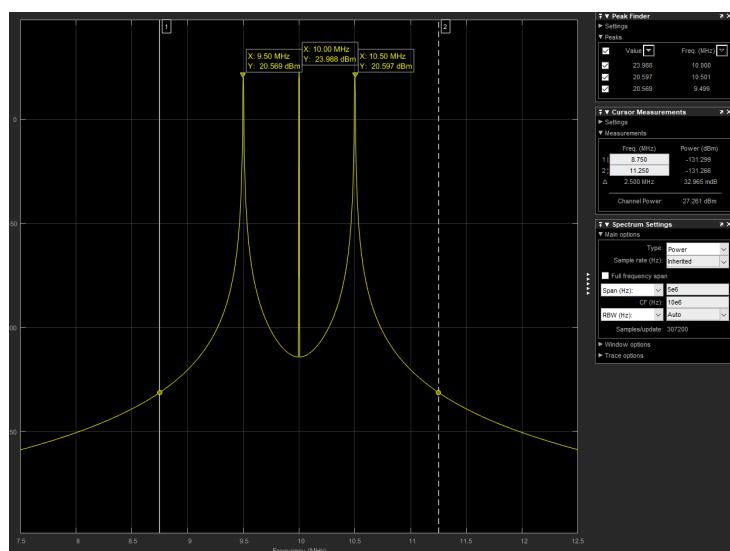


Figura 2: Espectro AM-DSB con los parámetros configurados.

3. Una vez ejecutado el bloque de Simulink correctamente, genere resultados basado en el siguiente formato:

- a) Haga un barrido de frecuencias cambiando la frecuencia del mensaje en el bloque llamado **Mensaje** utilizando para este caso un índice de modulación de 0.5 y las siguientes frecuencias:

- 1) 0.5 MHz.
- 2) 0.75 MHz.
- 3) 1 MHz.
- 4) 1,25 MHz.
- 5) 1,75 MHz

Es necesario reportar información en cuanto a potencia para ello localice la ventana llamada *Spectrum Analyzer* la cual es de color negro y contiene el espectro visualizado (vea figura 2). Antes de visualizar los valores de potencia, es necesario ir a la pestaña View y seleccionar la casilla *Spectrum Settings* el objetivo de ésta casilla es mejorar la visualización del espectro seleccionando un SPAN y frecuencia central adecuada, tal como se hace en un analizador de espectros convencional.

Finalmente para hacer lectura de potencia dentro de la ventana *Spectrum Analyzer* busque la opción llamada *Peak Finder* según el siguiente ícono deberá salir a su derecha y tendrá que marcar en la casilla *Peaks* donde todos los valores la potencia serán mostrados en pantalla según los picos que se visualicen.

**Para este apartado reporte las señales temporales, espectros y valores de potencia obtenidos según índice de modulación.**

4. Repita el paso 3 pero utilizando valores de índices de modulación ( $\mu$ ) de 1 y 1.5 usando el mismo barrido de frecuencia para el bloque **Mensaje**.
5. Ajuste el bloque de Simulink en función de visualizar una modulación AM-DSM-SC, para ello analice el diagrama de bloques y haga la modificación que le permita ver una señal temporal y espectro AM-DSB-SC. Para este caso utilice una frecuencia de mensaje de 1 MHz, índice de modulación ( $\mu$ ) de 1 y documente **únicamente** la señal temporal, espectro y valores de potencia obtenidos.

### 5.1.2 Modulación y Demodulación AM en Simulink

1. Localice el archivo **MOD\_DEM\_AM.slx** y proceda a abrirlo. Es importante que inspeccione el archivo y los bloques estén interconectados de forma correcta. En la figura 3 se muestra el diagrama de bloques para un modulador y demodulador en Simulink.

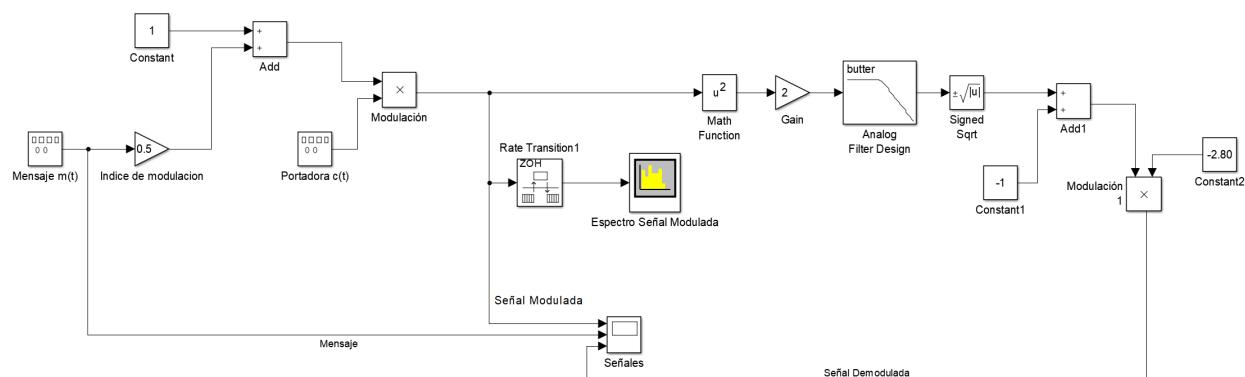


Figura 3: Bloque Modulador y Demodulador AM

2. Ajuste los siguientes parámetros de configuración para los bloques *Mensaje m(t)* y *Portadora*
  - a) **Mensaje m(t):**
    - 1) Wave form: *sine*
    - 2) Time (t) como *Use simulation time*.

- 3) Amplitude con un valor de 1.
- 4) Frequency con un valor de 10000, usando **Units** en Hz.
- 5) Seleccionar la casilla *Interpret vector parameters as 1-D*.

b) **Portadora:**

- 1) Wave form: *sine*
- 2) Time (t) como *Use simulation time*.
- 3) Amplitude con un valor de 1.
- 4) Frequency con un valor de 50000, usando **Units** en Hz.
- 5) Seleccionar la casilla *Interpret vector parameters as 1-D*.

3. Una vez configurados los parámetros para los bloques *Mensaje m(t)* y *Portadora*, es necesario llevar a cabo la configuración de los bloques *Rate Transition* como:

a) **Rate Transition:**

- 1) En la sección Parameters marque las casillas *Ensure data integrity during data transfer* y *Ensure deterministic data transfer (maximum delay)*.
- 2) Initial conditions deberá ser 0.
- 3) La opción *Output port sample time options* deberá estar en *Specify*.
- 4) La opción *Output port sample time* deberá ser de 0.000001. **NOTA: Seguir sea la configuración que se use éste parámetro deberá ser modificado, función de mejorar la visualización de los resultados.**

4. Para que el demodulador *Square-Law-Demodulator Model* pueda funcionar es necesario configurar la frecuencia de banda pasante en el bloque *Analog Filter Design* según se muestra en los siguientes parámetros:

a) **Analog Filter Design:**

- 1) En la sección Parameters seleccione en *Design method* el tipo *Butterworth* y en *Filter type* configure de tipo *LowPass*
- 2) La opción *Filter Order* utilice una configuración de orden 4.
- 3) La opción *Passband edge frequency (rad/s)*: deberá ser  $2 * \pi * 10000$ . **NOTA: Recuerde que Matlab utiliza como  $\pi$  este método pi.**

5. Con los parámetros de configuración realizados, proceda en ejecutar el bloque de Simulink. En la figura 4 se muestra la señal temporal obtenida. **NOTA: Es de esperar también el bloque *Spectrum Analyzer*.**

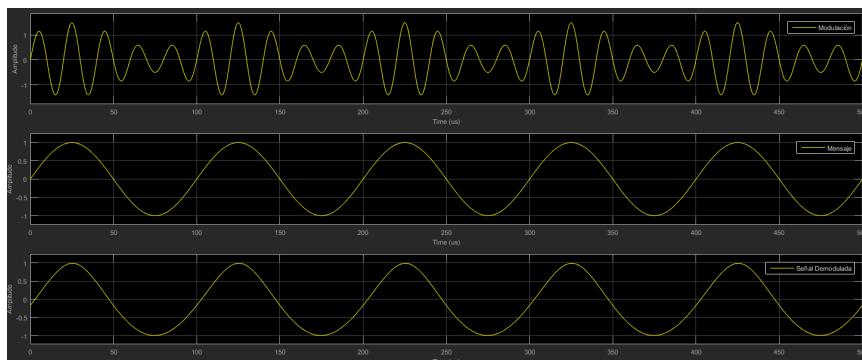


Figura 4: Señales temporales para mensaje, modulada y demodulada.

6. En relación a la recopilación de resultados, adjunte señales temporales y espectrales modificando el orden del filtro paso bajos con parámetros  $n = 1, 2, 3, 4$ . **NOTA: Documente para ésta sección las señales y espectros solicitados según orden del filtro.**

### 5.1.3 Modulación AM Multi-Tono

1. Localice el archivo **AM\_Full.m** y proceda a abrirlo. Este script tiene como objetivo graficar señales temporal y espectral de señales AM-DSB y AM-DSB-SC incluyendo múltiples tonos. Si desea ampliar el sobre modulación AM multitono puede ir [aquí](#).
2. Ejecute el script y configure lo siguiente:
  - a) En la sentencia en pantalla *Digite la cantidad de tonos que desea visualizar: 0*
  - b) Configure el índice de modulación *Digite el índice de modulación: 1*

**NOTA:** Documente la señal temporal y espectro obtenido, según el índice de modulación ( $\mu$ ).

3. En relación al punto 2, haga un barrido de tonos de 1, 5 y 15 utilizando un índice de modulación ( $\mu$ ) de 0.5. En la figura 5 se muestra lo que se debe obtener tras configurar varios tonos (e.g 5 tonos). **NOTA:** Documente las señales temporales y espectrales obtenidas según las cantidad de tonos.

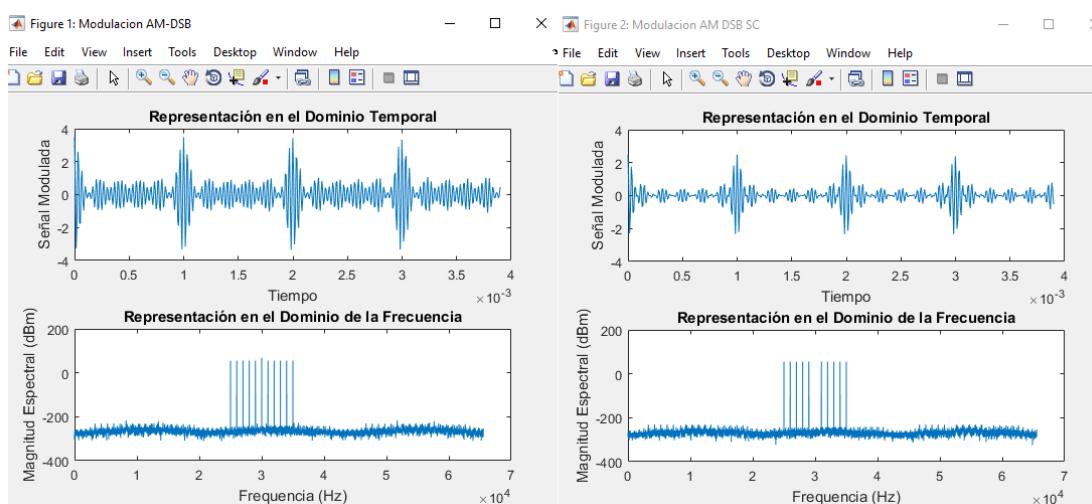


Figura 5: Modulación AM-DSB y AM-DSB-SC multitono

### 5.1.4 Modulación y Demodulación PM con Simulink

1. Localice el archivo **PM.slx** y proceda a abrirlo. Es importante que inspeccione el archivo y los bloques estén interconectados de forma correcta. En la figura 6 se muestra el diagrama de bloques para un modulador y demodulador en Simulink.

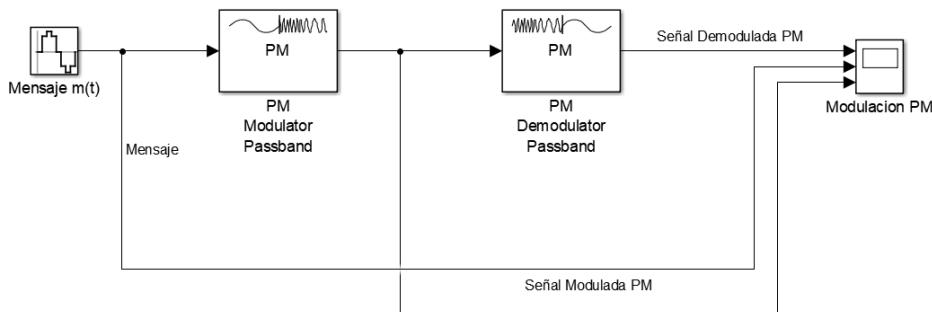


Figura 6: Bloque Modulador y Demodulador PM

2. Ajuste los siguientes parámetros de configuración para el bloque *Mensaje m(t)*
  - a) **Mensaje m(t):**
    - 1) Sine Type como *Timed based*.

- 2) Time (t) como *Use simulation time*.
  - 3) Amplitude con un valor de 1.
  - 4) Bias de 0.
  - 5) Frecuency (rad/sec) como  $2\pi * f$ , donde  $f$  es el valor de frecuencia por ejemplo 1000 Hz, recuerde que Matlab recibe el valor  $\pi$  como **pi**. **NOTA: Configure bien la frecuencia con el valor pi para evitar errores.**
  - 6) Phase (rad) con un valor de 0.
  - 7) Sample Time: con un valor de 0.000001, recuerde que el mismo puede variar según sea la señal que quiere visualizar, este valor es debido al teorema de Nyquist.
  - 8) Seleccionar la casilla *Interpret vector parameters as 1-D*.
3. Una vez configurados los parámetros el bloque *Mensaje m(t)*, es necesario llevar acabo la configuración de los bloques *PM Modulator PassBand* y *PM Demodulator PassBand* como:
- a) **PM Modulator PassBand:**
    - 1) En la sección Parameters el *Carrier frecuency (Hz)* de 100000.
    - 2) *Initial phase (rad)* deberá ser 0.
    - 3) *Phase deviation (rad)* deberá ser  $\pi/2$ .
  - b) **PM Demodulator PassBand:**
    - 1) En la sección Parameters el *Carrier frecuency (Hz)* de 100000.
    - 2) *Initial phase (rad)* deberá ser 0.
    - 3) *Phase deviation (rad)* deberá ser  $\pi/2$ .
    - 4) *Hilbert transform filter order (must be even)*: sea de valor de 30. **NOTA: Realice análisis de este filtro y que conlleve hacer modificación del orden mismo.**
4. Con base en los puntos anteriores, lleve acabo una configuración de desviaciones de fase de  $\frac{\pi}{4}$  y  $\frac{\pi}{2}$ , cambiando el orden del filtro con parámetros de 4, 10 y 30. En la figura 7 se muestran las señales temporales para modulación PM (*e.g* con una desviación de fase de  $\frac{\pi}{2}$ ). **NOTA: Documente las señales temporales según las configuraciones realizadas de desviación de fase y orden del filtro.**

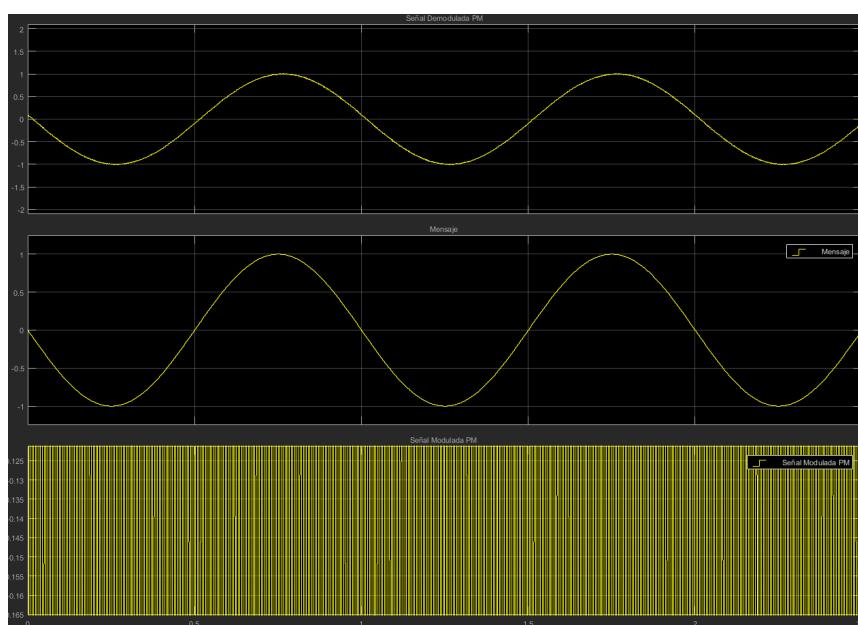


Figura 7: Señales del mensaje, modulación y demodulación para un esquema de modulación y demodulación PM.

### 5.1.3 Modulación PM Multi-Tono

1. Localice el archivo **PM\_Modulation.m** y proceda a abrirlo. Este script tiene como objetivo graficar señales temporal y espectral de señales PM incluyendo múltiples tonos.
2. Ejecute el script y configure lo siguiente:
  - a) En la sentencia en pantalla *Digite la cantidad de tonos que desea visualizar: 0*
  - b) Configure la desviación de fase *Digite la desviación de fase en grados: 0*

**NOTA:** Documente la señal temporal y espectro obtenido, según el índice de modulación ( $\mu$ ).
3. En relación al punto 2, haga un barrido de tonos de 1,5 y 10 utilizando una desviación de fase de  $45^\circ$ . En la figura 8 se muestra lo que se debe obtener tras configurar varios tonos (e.g usando 5 tonos y una desviación de fase de  $\frac{\pi}{4}$  ó  $45^\circ$ ). **NOTA:** Documente las señales temporales y espetrales obtenidas, segun las desviaciones de fase y cantidad de tonos.

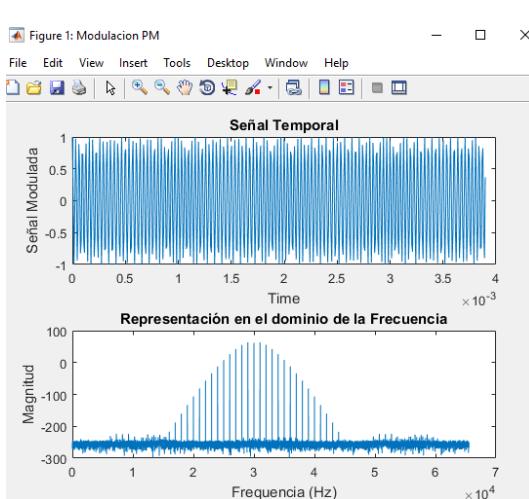


Figura 8: Modulación PM multitone

## Parte II: Simulación y Análisis de Esquemas de Modulaciones Digitales PSK y QAM

### 5.2 Procedimiento

Para el inicio de esta segunda parte de la práctica guiada es necesario utilizar los archivos siguientes:

- BSPK\_Sound.slx (Entorno Simulink)
- PSK.m (Entorno de Matlab)
- QAM.slx (Entorno Simulink)
- speech\_dft.wav

#### 5.2.1 Análisis y Construcción de Modulador Binario PSK

1. Localice el archivo **PSK.m** y proceda a abrirlo. Es necesario que se haga un análisis del código en relación de comprender el esquema que sigue el mismo.
2. El script esta incompleto debido a que falta asignar una sección dentro del modulador PSK (entre líneas 60 a 67 del script). Para ello considere la siguiente asignación descrita por (1):

$$f(t) = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{Acos}(2\pi ft) \\ 0 \rightarrow \text{Acos}(2\pi ft + \pi) \end{cases} \quad (1)$$

3. Localice en el script el siguiente código en la sección del Modulador (entre líneas 60 a 67 del script), poner atención y analizar bien la sección que se muestra a continuación:

```

for ( i=1:1:length(x))
    ... su codigo va aca para completar la modulacion PSK
m=[m y];
end

```

Puede ahondar más sobre el código ver [aquí](#).

4. Una vez constituido el modulador con la consideración del punto 2, utilice como datos de entrada los siguientes. **NOTA: Ponga los datos con paréntesis cuadrados esto se debe a que la entrada del script necesita un arreglo.** En la figura 9 se muestra un ejemplo del diagrama temporal de los datos transmitidos y recibidos para una modulación PSK.

- El primer dato es [1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0]
- El segundo dato es [0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1].

**NOTA: Documente las señales obtenidas según los datos binarios de entrada utilizados.**

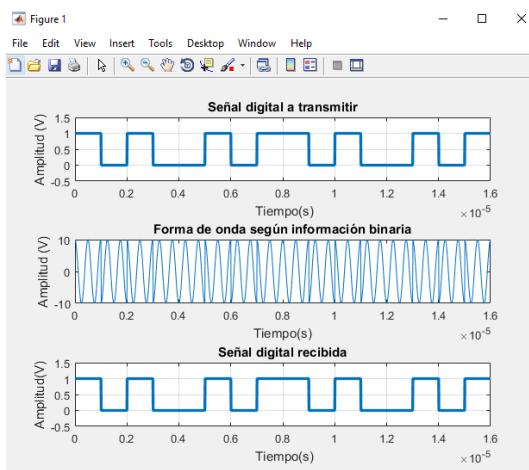


Figura 9: Modulación PSK

### 5.2.2 Modulación y Demodulación PSK usando Streaming de Audio en Simulink

1. Localice el archivo **BPSK\_Sound.slx** y proceda a abrirlo. Es importante que inspeccione el archivo y los bloques estén interconectados de forma correcta. En la figura 10 se muestra el diagrama de bloques para un modulador y demodulador en Simulink. **NOTA: Es importante tomar en cuenta que el bloque To Audio Device fue usado para la versión de Matlab 2015b pero para versiones superiores puede utilizar Audio Device Writer si fuera necesario que le de un problema.**

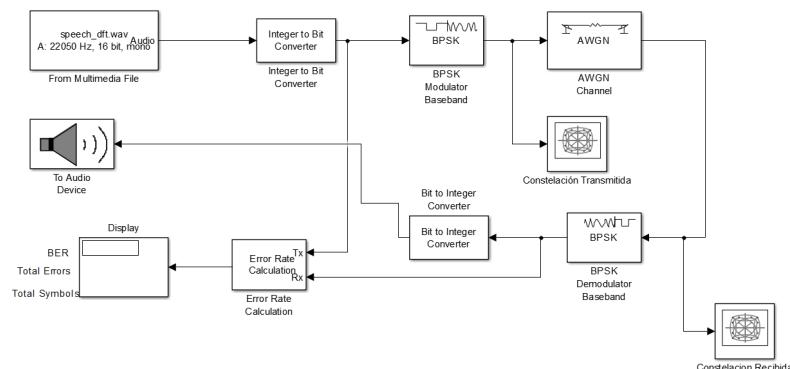


Figura 10: Bloque Modulador y Demodulador BPSK para streaming de audio

2. Para realizar la prueba es necesario ubicar el archivo de audio el cual para esta práctica se llama *speech\_dft.wav*. Para ello sólo de doble click en el *From Multimedia File* y busque la ruta del archivo y deje la configuración que por defecto tiene. **NOTA: Es importante que la frecuencia sea de 22050 Hz, 16 bit y de tipo mono.**
3. Antes de ejecutar el bloque, se debe analizar la configuración del bloque AWGN el cual deberá tener los siguientes parámetros:
  - a) **AWGN:**
    - 1) En el apartado de *Parameters* la opción *Input Processing* deberá seleccionar *Columns as channels (framed based)*.
    - 2) El parámetro *Initial seed* debe tener un valor de 67.
    - 3) El *Mode* deberá seleccionarse *Signal to noise ratio (SNR)* donde el parámetro *SNR* se deberá ingresar un valor 30 dB.
    - 4) El parámetro *Input signal power, referenced to 1 ohm (watts)*: configure un valor de 1.
4. En relación a los bloques de modulación y demodulación PSK los parámetros de configuración serán:
  - a) **BPSK Modulator Baseband:**
    - 1) En el apartado de *Parameters* la opción *Phase offset (rad)* deberá seleccionar un valor de 0.
  - b) **BPSK Demodulator Baseband:**
    - 1) En el apartado de *Parameters* la opción *Phase offset (rad)* deberá seleccionar un valor de 0.
    - 2) La sección de *Decision Type* deberá seleccionar *Hard Decision*.
5. Una vez configurado todo el sistema realice un barrido de valores SNR de 0, 4, 8, 10 y 30. Documente y grafique los parámetros de BER, Total Errors y Total Symbols según cada configuración de parámetros de SNR, los cuales los podrá visualizar en el módulo *Display* por cada ejecución. Además documente los diagramas de constelación recibidos en función de los parámetros SNR utilizados.

### 5.2.3 Modulación y Demodulación QAM en Simulink

1. Localice el archivo **QAM.slx** y proceda a abrirlo. Es importante que inspeccione el archivo y los bloques estén interconectados de forma correcta. En la figura 11 se muestra el diagrama de bloques para un modulador y demodulador en Simulink.

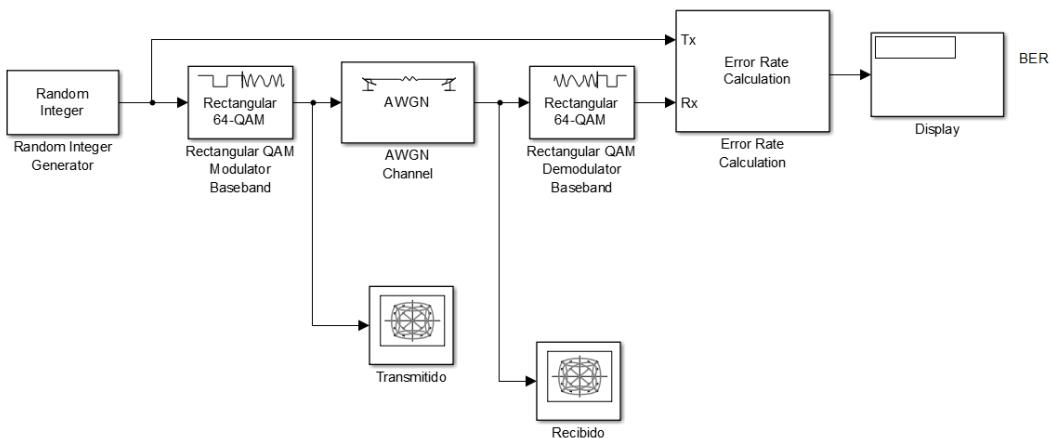


Figura 11: Bloque Modulador y Demodulador QAM

2. Antes de ejecutar el bloque, se debe analizar la configuración del bloque Random Integer el cual deberá tener los siguientes parámetros:
  - a) **Random Integer:**

- 1) En el apartado de *Parameters* la opción *Set size* deberá seleccionar una valor de 64.
- 2) El parámetro *Source of initial seed* debe tener un parámetro *Auto*.
- 3) En *Sample time* el valor de configuración deberá ser 1e-6.
- 4) En el parámetro *Sample per frame* el valor deberá ser de 1024.
- 5) En el bloque de *Output data type* es valor a asignar deberá ser de tipo *double*.
- 6) Y para el parámetro *Simulate using* deberá seleccionarse *Interpreted execution*.

3. En relación a los bloques de modulación y demodulación PSK los parámetros de configuración serán:

a) **Rectangular QAM Modulator Baseband:**

- 1) En el apartado de *Parameters* la opción *M-ary number* deberá seleccionar un valor de 64.
- 2) El *Input type* deberá ser configurado como un *Integer*.
- 3) El parámetro *Constellation ordering* deberá de tipo *Gray*.
- 4) En *Normalizarion method* se debe usar el parámetro *Min. distance between symbols*.
- 5) El valor para de *Minimun distance* deberá ser de 0.35.
- 6) Y en relación al parámetro *Phase offset (rad)* deberá ser 0.

b) **Rectangular QAM Demodulator Baseband:**

- 1) En el apartado de *Parameters* la opción *M-ary number* deberá seleccionar un valor de 64.
- 2) El *Input type* deberá ser configurado como un *Integer*.
- 3) El parámetro *Constellation ordering* deberá de tipo *Gray*.
- 4) En *Normalizarion method* se debe usar el parámetro *Min. distance between symbols*.
- 5) El valor para de *Minimun distance* deberá ser de 0.35.
- 6) Y en relación al parámetro *Phase offset (rad)* deberá ser 0.
- 7) Se deberá asignar un tipo *Integer* al parámetro *Output data*.

4. En relación al bloque de *AWGN* los parámetros deberán configurar como:

a) **AWGN:**

- 1) En el apartado de *Parameters* la opción *Input processing* se deberá seleccionar el parámetro *Columns as channels (framed based)*.
- 2) El parámetro *Initial seed* se deberá asignar un valor de 67.
- 3) El *mode* se deberá usar la forma *Signal to noise ratio (SNR)*.
- 4) Para hacer la prueba el *SNR* deberá ser 50 dB.
- 5) Se deberá asignar un valor de 1 al parámetro *Input signal power, referenced to 1 Ohm (watts)*.

5. Una vez configurado el bloque QAM, lleve acabo un barrido de valores *SNR* en el bloque *AWGN* en un intervalo de 0, 5, 10, 20 y 30 dB utilizando un orden de M = 16, 64 y 128. Documente el diagrama de constelación recibido y el BER por cada parámetro de *SNR* configurado, en término de encontrar que tendencia existe entre el BER y SNR según el orden M .

**NOTA:** Si al cambiar el valor de M, recuerde que sebe ser consistente en la asignación por ejemplo deberá cambiar si M=64 deberá cambiar únicamente en el bloque *Rando Integer* el parámetro *Set Size* por 128, también en los bloques de modulador y demodulador el valor de M a 128, no olvide que el parámetro *Minimun distance* lo puede cambiar a 0.25 esto le permite ajustar la escala de visualización.

## Guía para la elaboración del reporte escrito

### Parte I: Simulación y Análisis de Esquemas de Modulaciones Analógicas AM y PM

- Para el caso de esquemas de modulación AM-DSB y AM-DSB-SC en Simulink, es necesario analizar el comportamiento de índice de modulación en términos de potencia además de comprobar la ocupación de ancho de banda.
- Para el apartado de Modulación y Demodulación en AM utilizando Simulink, es necesario que se discute la selección de la frecuencia de corte del filtro utilizado, además de como afecta el orden del filtro en el mensaje demodulado. Es importante analizar el funcionamiento del bloque *Rate Transition* utilizado en el analizador de espectros.
- En cuanto a la sección de AM multitone, se recomienda discutir sobre el ancho de banda de ocupación en relación a los tonos agregados al mensaje construido. (Recuerde que el script hace una separación de 1 kHz entre tonos)
- Para la sección de modulación y demodulación PM en Simulink, es importante analizar el cambio de la desviación de fase en función del orden del filtro en el demodulador PM.
- En cuanto a modulación PM se recomienda observar el ancho de banda de ocupación en relación a los tonos configurados.

### Parte II: Simulación y Análisis de Esquemas de Modulaciones Digitales PSK y QAM

- En la sección de análisis y construcción del modulador binario PSK, es necesario discutir el código que le permitió completar el modulador y además las señales transmitidas y recibidas.
- En relación al streaming de audio usando un esquema de modulación y demodulación PSK, discuta en relación a los parámetros *BER*, *Total Symbols* y *Total Errors* en función de la calidad de recepción, es importante utilizar los diagramas de constelación de recepción para la discusión de resultados.
- En la sección del modulador y demodulador QAM, mediante las variaciones del orden de la constelación y parámetros de SNR, comente los resultados obtenidos mediante los diagramas de constelación y determine la tendencia que existe entre el *BER* y *SNR* según el valor de *M*.

## Laboratorio 5

### Análisis de Señales Digitales Vectoriales generadas a partir del entorno Matlab/Simulink

#### 1. Objetivo General

Aplicar los conceptos de modulaciones digitales vectoriales para comprender los protocolos de comunicación digitales comúnmente utilizados en sistemas modernos.

#### 2. Objetivos Específicos

1. Comprender el principio de funcionamiento de los sistemas de modulación vectorial.
2. Analizar el funcionamiento de un analizador vectorial de señales.
3. Analizar efectos de ruido asociados, según esquemas de modulación.

#### 3. Cuestionario Previo

1. Explique el funcionamiento de los diferentes tipos de los sistemas de modulación multicanal que permite recibir el analizador de señales:
  - BPSK.
  - QPSK.
  - $\pi/4$  DQPSK.
  - 8 PSK.
  - 16 PSK.
  - 16 QAM.
  - 64 QAM.
  - 128 QAM.
  - 256 QAM.
  - OQPSK.
2. Mencione las ventajas y desventajas del uso de los sistemas de N-símbolos.
3. Explique qué es *ISI* ó interferencia intersímbolo, y cómo se visualiza dentro de un diagrama de ojo.
4. Investigue que hace el módulo de Simulink llamado *Imbalance IQ*.
5. Investigue cuál es la función que tiene la herramienta en Matlab llamada *bertool*.
6. Investigue y explique en qué consiste una simulación de tipo Monte Carlo.
7. Explique los datos que se pueden adquirir a partir de las gráficas de: Constelación, IQ vs Símbolo, Diagrama de ojo, Trellis.
8. Explique que es el EVM *Error Vector Magnitude* y *Jitter*.
9. Explique por qué es importante cuantificar la apertura del ojo en un diagrama de ojo.
10. Investigue en que consiste la codificación *2/3 rate convolution trellis*.
11. Investigue en el “**Brochure of MS2690A/MS2691A/MS2692A Signal Analyzer**” que mediciones pude llevar a cabo el Analizador de Señales.

#### 4. Equipo

**NOTA IMPORTANTE:** Para esta práctica se hará uso del entorno Matlab y Simulink, para ello es recomendado utilizar el pool de aplicaciones de la Escuela de Ingeniería Electrónica y acceder al computador virtual **RDS-Labview** y utilizar la versión de Matlab 2018 que se encuentra instalada. Puede descargar los archivos desde la red a los links suministrados en este sección para que no tenga problema al acceder a PC mediante el cliente VMWare. El material de ésta práctica ha sido un compendio y recopilación de materiales de cursos de comunicaciones eléctricas por [1] los cuales se le da el crédito en este manual de laboratorio.

## Hardware:

- Computador Portátil ó Escritorio.

**Software:** El software para desarrollar ésta práctica estará disponible en la computadora virtual llamada *RDS-LabView* ubicada en el pool de aplicaciones.

- Matlab versión 2017 ó superior.
- Simulink versión 2017 ó superior.

**Archivos:** En cualquiera de los siguientes enlaces podrá encontrar los archivos que se necesitan para ésta práctica:

- [GitHub](#).
- [Portal Web](#).
- TEC-Digital (según grupo matriculado).

### Parte I:

#### Simulación y Análisis del BER e ISI en un sistema digital vectorial M-PSK y M-QAM

##### 5.1 Procedimiento

Para el inicio de esta primera parte de la práctica guiada es necesario utilizar los archivos siguientes, los cuales tuvo que haber descargado previamente:

- BER\_Simulation.slx (Entorno Simulink).
- ISI.m (Entorno Matlab).

**NOTA:** No olvide primero abrir Matlab y buscar los folders donde esta la información, esto le evitará cualquier error.

###### 5.1.1 Simulación de BER mediante método Monte Carlo

1. Abra el archivo el archivo **BER\_Simulation.slx** inspeccione todos los módulos en términos de configuración e interconexión. En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques general.

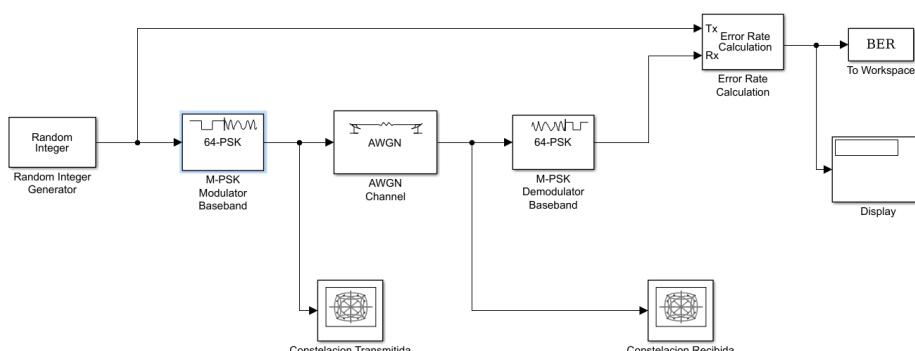


Figura 1: Sistema digital M-PSK.

2. Considere los siguientes parámetros de configuración para cada bloque.
  - a) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en el bloque *Random Integer*:
    - 1) *Set size* de 64.
    - 2) *Source of initial seed* deberá ser Auto.
    - 3) *Sample time* de 1e-6, recuerde que el mismo puede variar según sea la señal que quiere visualizar, este valor es debido al teorema de Nyquist.
    - 4) *Samples per frame* de 2048.
    - 5) *Output data type* deberá ser double.

- 6) *Simulate using* se deberá establecer la configuración Interpreted execution.
- b) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en el bloque *AWGN*:
- 1) *Initial seed* con un valor de 67.
  - 2) *Mode*: deberá seleccionarse Signal to noise ratio  $E_b/N_o$ . **NOTA:** Este parámetro deberá ser así debido a que será la entrada de la simulación Monte Carlo.
  - 3) *Number of bits per period* con un valor de 6.
  - 4) *Input signal power, referenced to 1 ohm (watts)* con un valor de 1.
  - 5) *Symbol period(s)* con un valor de 1e-6.
- c) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en los bloques *M-PSK Modulator Baseband* y *M-PSK Demodulator Baseband*:
- M-PSK Modulator Baseband
    - 1) *M-ary number* con un valor de 64.
    - 2) *Input type* se deberá asignar el tipo Integer.
    - 3) *Constellation ordering* será de tipo Gray.
    - 4) *Phase offset (rad)* deberá ser de 0.
  - M-PSK Demodulator Baseband
    - 1) *M-ary number* con un valor de 64.
    - 2) *Output type* se deberá asignar el tipo Integer.
    - 3) *Constellation ordering* será de tipo Gray.
    - 4) *Phase offset (rad)* deberá ser de 0.
- d) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en el bloque *Error Rate Calculation*:
- 1) *Receive delay* deberá ser de valor 0.
  - 2) *Computation delay* será de valor 0.
  - 3) *Computation mode* se deberá seleccionar el modo Entire frame.
  - 4) *Output data* deberá estar asignado Port.
  - 5) *Reset Port* deberá estar deshabilitado.
  - 6) *Stop Simulation* deberá estar habilitado.
  - 7) *Target number of errors* se asignará un valor de 100.
  - 8) *Maximun number of symbols* se deberá configurar un valor de 1e4.
- e) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en el bloque *Display*:
- 1) *Format* se deberá seleccionar el short\_e.
  - 2) *Decimation* deberá ser un valor de 1.
  - 3) *Floating display* deberá estar desmarcada.
- f) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en el bloque *To Workspace*:
- 1) *Variable name* ser deberá llamar BER. **NOTA:** Esta variable deberá ser llamada en la interfaz de bertool para hacer la simulación.
  - 2) *Limit data points to last* se asignará un valor de 2.
  - 3) *Decimation* debe ser un valor de 1.
  - 4) *Save format* se debe configurar como Array.

- 5) *Save 2-D signals as:* se asignará como 2-D array (concatenate along first dimension).
  - 6) *Log fixed-point data as a fi object* deberá estar marcada.
  - 7) *Sample time (-1 for inherited):* se debe dejar con un valor de -1.
3. Una vez configurados los parámetros si ejecuta el bloque de Simulink obtendrá un error, esto se debe a que el valor  $E_b/N_o$  espera un valor numérico para este caso, pero para llevar acabo la simulación Monte Carlo es parametrizado con la variable  $E_b/N_o$ . En la figura 2 se muestra la ventana de error obtenida al ejecutar el bloque de Simulink.

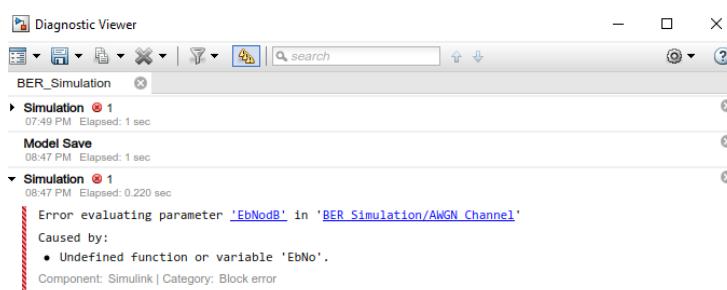


Figura 2: Mensaje de error al ejecutar el bloque.

4. Para llevar acabo la simulación Monte Carlo vaya al entorno gráfico de Matlab y ubique el *Command Window* ó ventana de comandos y digite el comando *bertool* y seguido de la tecla *Enter* deberá abrir una ventana de configuración, según se muestra en la figura 3.

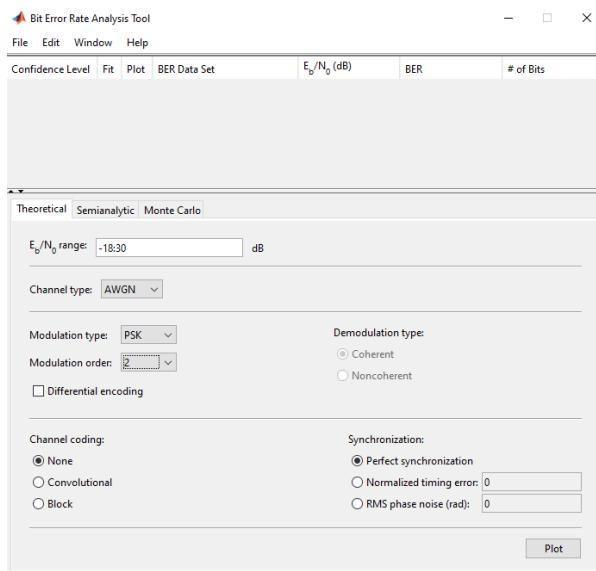


Figura 3: Ventana de Bertool.

5. Una vez abierta la ventana de bertool ubique la pestaña *Theoretical* y configure los siguientes parámetros:
- a) *E<sub>b</sub>/N<sub>o</sub> range* deberá ser para todos los casos de simulación teóricos de -18:30 dB.
  - b) *Channel type* deberá ser AWGN.
  - c) *Modulation type* deberá ser para este caso PSK.
  - d) *Modulation Order* se iniciará con un parámetro de 2, y luego se cambiarán los valores por 8,16,64,32 y 64.
  - e) *Differential encoding* deberá estar desactivado.
  - f) *Demodulation type* por defecto está configurada Coherent.

g) *Channel encoding* deberá dejarse el parámetro None.

h) *Synchronization* deberá ser Perfect synchronization.

Una vez configurados los parámetros anteriores puede presionar la tecla *Plot* la cual deberá mostrarle un gráfico como el de la figura 4. Para cambiar el eje Y de  $10^0$  hasta  $10^{-4}$  es necesario dar click en la ventana *Edit* y en *Y Axis Limits ...* configurar el *Lower limit* con 1e-4. Finalmente para darle nombre a las gráficas tome como referencia la figura 3 y ubique la pestaña *BER Data Set* donde seleccionará la gráfica y con doble click asigne el nombre de la modulación simulada adicionando la etiqueta teórico para poder identificarlas luego, (*e.g* 2-PSK-Teórico).

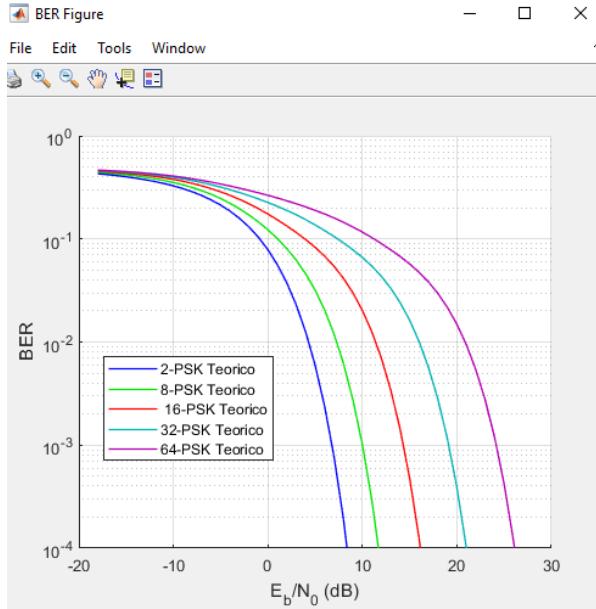


Figura 4: Simulaciones teóricas con diversos ordenes de M para PSK.

- Al obtener todas las curvas teóricas, con base en la figura 3 ubique la pestaña llamada Monte Carlo y al dar click deberá observar la pantalla de configuración tal como se muestra en la figura 5.

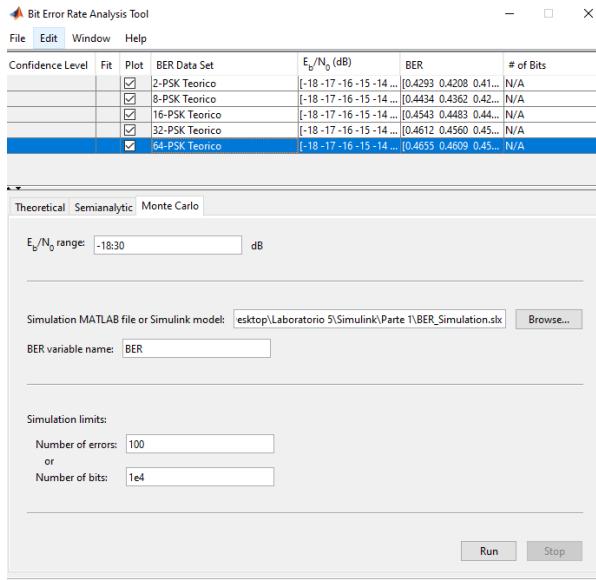


Figura 5: Ventana de configuración para simulación Monte Carlo.

Para iniciar la simulación Monte Carlo deberá atender los siguientes parámetros, considerando que la primera simulación es a partir de 2-PSK ó BPSK hasta 64-PSK.

- a)  $E_b/N_o$  range -18:1:30 dB (Con pasos de 1 dB).
- b) *Simulation MATLAB file or Simulink model* ubique el archivo **BER\_Simulation-slx** según la ruta donde esta almacenado.
- c) *BER variable name* poner la variable **BER**.
- d) *Simulations limits* Number of errors con un valor de 100 y Number of bits de 1e4.

Una vez configurados los parámetros anteriores se deberá dar click en el botón *Run*. **NOTA: Es importante que verifique que los parámetros contenidos en los bloques Random Integer, M-PSK Modulator Baseband, M-PSK Demodulator Baseband y AWGN corresponden al orden M de la modulación y símbolos. Finalmente dependiendo de su HW la simulación puede ir poco lenta.**

Considere el siguiente ejemplo de configuración para una modulación 2-PSK ó BPSK:

- a) En el módulo *Random Integer* el valor de Set size deberá ser de 2. (Debido a que hay sólo 2 bits, debido a que el valor de M = 2.)
- b) En los bloques M-PSK Modulator Baseband y M-PSK Demodulator se deberá asignar un parámetro de M-ary number de 2.
- c) En el bloque AWGN *Number of bits per symbol* sería 1 para este tipo de modulación.

Una vez atendida la consideración para el caso BPSK, en la figura 6 se muestra el resultado de simulación Monte Carlo. **NOTA: Recuerde cambiar las etiquetas de cada simulación por ejemplo 2-PSK-Simulado, es para tener una mejor identificación en el gráfico.**

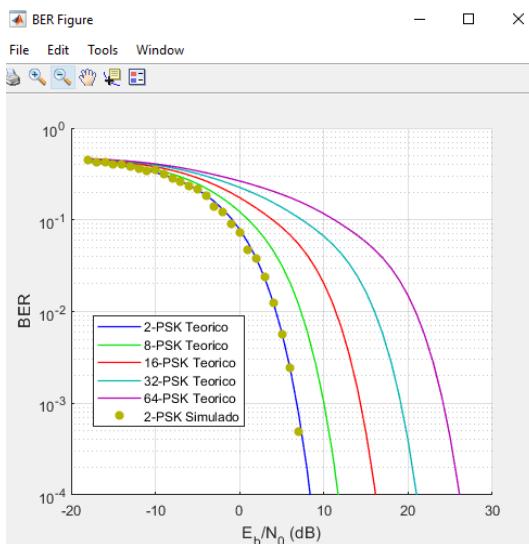


Figura 6: Resultado de simulación Monte Carlo para 2-PSK.

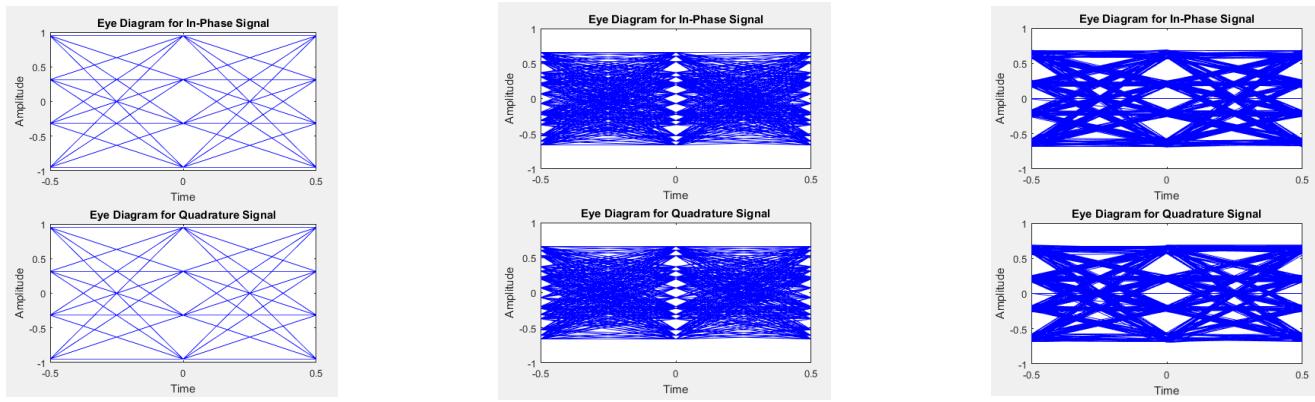
7. Repita 6 tomando en cuenta valores de M de 8, 16, 32 y 64. Documente la familia de curvas y además la constelación resultante recibida en cada simulación.

### 5.1.2 Análisis de ISI para una modulación QAM

1. Localice el archivo **ISI.m** y proceda a abrirlo. Analice la funcionalidad del código previamente a ejecutarlo.
2. Una vez que analizó el código, proceda a su ejecución mediante la pestaña de *Run* ó ejecutar en el *Command window* el nombre del script **ISI** deberá observar lo siguiente:

Modulacion QAM M-ary  
Digite el orden de la modulacion : 16

Si se selecciona el orden de la modulación con un valor de 16 el resultado obtenido se muestra en la figura 7.



(a) Diagrama de Ojo Tx

(b) Diagrama de Ojo con adición de ruido

(c) Diagrama de Ojo con filtrado Raised-Cosine

Figura 7: Diagramas de Ojo utilizando un sistema digital 16-QAM.

3. Repita el paso 2 para ordenes de modulación QAM de 32, 64, 128 y 256. Documente los diagramas de Ojo obtenidos y analice el impacto que tiene el ISI al escalar el orden la modulación.

## Parte II:

### Simulación y Análisis de Métricas para Modulaciones Digitales y Codificación 2/3 Rate Trellis

#### 5.2 Procedimiento

Para el inicio de esta segunda parte de la práctica guiada es necesario utilizar los archivos siguientes:

- BPSK.slx (Entorno Simulink).
- Eight\_PSK.slx (Entorno Simulink).
- OQPSK.slx (Entorno Simulink).
- piDQPSK.slx (Entorno Simulink).
- Sixteen-PSK.slx (Entorno Simulink).
- TrellisQAM.m (Entorno Matlab).

#### 5.2.1 Análisis de métricas y diagrama de ojo para sistemas de modulaciones digitales

1. Abra todos los archivos con extensión .slx e inspeccione todos los módulos en términos de configuración e interconexión. En la figura 8 se muestra el diagrama de bloques general para los sistemas de modulación bajo análisis. **NOTA: Todos los sistemas digitales a analizar poseen la misma jerarquía de bloques es por ello que se dará una explicación breve de configuración de bloques genéricos tales como Random Integer, Imbalance I/Q, AWGN, Diagrama de Ojo, EVM y Error Rate Calculation.**

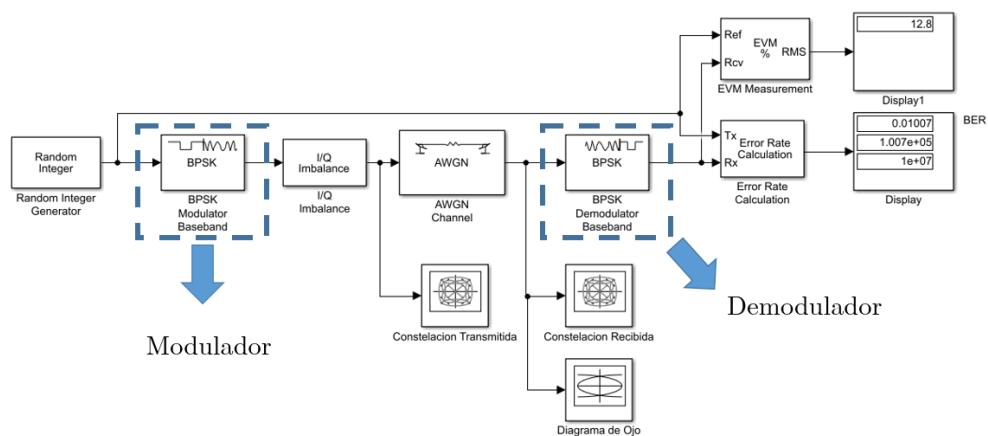


Figura 8: Esquema de interconexión general para los sistemas digitales bajo estudio.

2. Considere los siguientes parámetros de configuración para cada bloque.

a) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en el bloque *Random Integer*:

- 1) *Set size* **Configurarlo según modulación** (*e.g si es BPSK deberá ser de 2, pero recuerde que es por que  $M = 2$* ).
- 2) *Source of initial seed* deberá ser Auto.
- 3) *Sample time* de  $1e-6$ , recuerde que el mismo puede variar según sea la señal que quiere visualizar, este valor es debido al teorema de Nyquist.
- 4) *Samples per frame* de 1024.
- 5) *Output data type* deberá ser double.
- 6) *Simulate using* se deberá establecer la configuración Interpreted execution.

b) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en el bloque *I/Q Imbalance*:

- 1) *I/Q amplitude imbalance (dB)* **Este parámetro variará en -10, -5 y 0 dB.**
- 2) *I/Q phase imbalance (deg)* **Este parámetro se variará en  $0^\circ$  y  $45^\circ$ .**
- 3) *I dc offset* se dejará en un valor de 0.
- 4) *Q dc offset* se dejará en un valor de 0.

c) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en el bloque *AWGN*:

- 1) *Input processing* como Columns as channels (framed based).
- 2) *Initial seed* con un valor de 67.
- 3) *Mode:* deberá seleccionarse Signal to noise ratio (SNR). **NOTA: Este parámetro deberá ser modificado en 5 dB y luego por 10 dB.**
- 4) *Input signal power, referenced to 1 ohm (watts)* con un valor de 1.

d) Al darle doble click en el bloque de diagrama de Ojo se deberá abrir un ventana tal como se muestra en la figura 9, donde se visualiza al lado derecho la pestaña llamada *Eye Measurements*. **NOTA: Matlab por defecto para las mediciones del diagrama de ojo desecha la parte imaginaria, pero si desea observar las respuestas de fase y cuadratura haga click en y luego en la pestaña View→Configurations properties ... en la casilla llamada Eye diagram to display seleccione real and imaginary**

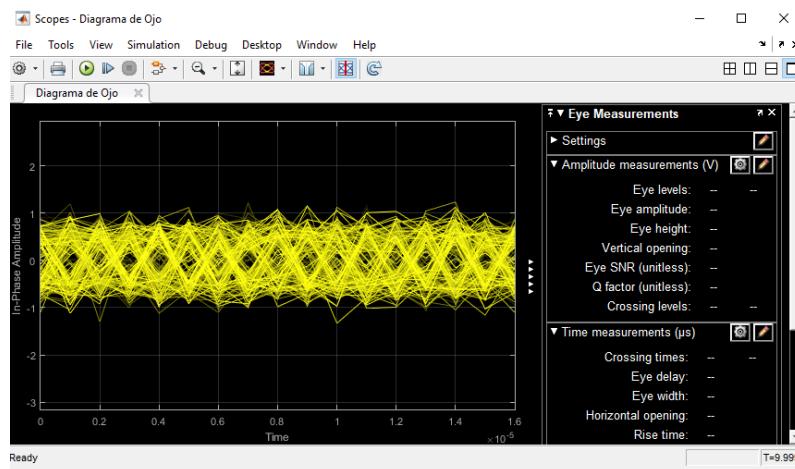


Figura 9: Diagrama de Ojo en Fase.

e) Los parámetros de configuración para los bloques *Modulador* y *Demodulador* deberán ser configurados según el orden M seleccionado, bits por símbolo y tiempo de bit.

- f) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en el bloque *Error Vector Magnitude*:
- 1) *Normalize RMS error vector by* deberá usarse la Average reference signal power.
  - 2) *Referece signal* deberá ser Input port.
  - 3) *Measurement interval* deberá ser Input lenght.
  - 4) *Averaging dimensions* deberá tener un valor de 1.
  - 5) Las opciones *Output maximun EVM* y *Output X-percentile EVM* deberán estar desactivadas.
  - 6) El parámetros *Simulate using* deberá ser configurado como Interpreted execution.
- g) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en el bloque *Error Rate Calculation*:
- 1) *Receive delay* deberá ser de valor 0.
  - 2) *Computation delay* será de valor 0.
  - 3) *Computation mode* se deberá seleccionar el modo Entire frame.
  - 4) *Output data* deberá estar asignado Port.
  - 5) *Reset Port* deberá esta deshabilitado.
  - 6) *Stop Simulation* deberá estar habilitado. (**NOTA: Si fuera que no visualiza los diagramas de ojo, puede deshabilitar esta opción.**
  - 7) *Target number of errors* se asignará un valor de 100.
  - 8) *Maximun number of symbols* se deberá configurar un valor de 1e4.
- h) Ajuste los siguientes parámetros de configuración en el bloque *Display*:
- 1) *Format* se deberá seleccionar el short\_e.
  - 2) *Decimation* deberá ser un valor de 1.
  - 3) *Floating display* deberá estar desmarcada.

3. Una vez configurados los parámetros mencionados, puede iniciar la ejecución de los bloques de Simulink en el siguiente orden:

- BPSK.slx (Entorno Simulink).
- Eight\_PSK.slx (Entorno Simulink).
- OQPSK.slx (Entorno Simulink).
- piDQPSK.slx (Entorno Simulink).
- Sixteen-PSK.slx (Entorno Simulink).
- TrellisQAM.m (Entorno Matlab).

Por cada ejecución deberá completar la tabla 1 basado en cambio de fase y amplitud por el bloque *Imbalance I/Q* y AWGN por el cambio de valores *SNR* y además registre los diagramas de Ojo para parámetros de **Amplitude** y **Phase** de 0 únicamente. **NOTA: Los parámetros BER, EVM, Eye Amplitud y Jitter puede ser obtenidos en los bloques de Simulink y Diagramas de Ojo.**

### 5.2.1 Análisis de codificación convolucional rate 2/3 en un sistema digital M-QAM

1. Localice el archivo **TrellisQAM.m** y proceda a abrirlo. Analice la funcionalidad del código previamente a ejecutarlo.
2. Una vez que analizó el código, proceda a su ejecución mediante la pestaña de *Run* ó ejecutar en el *Command window* el nombre del script TrellisQAM deberá observar lo siguiente:

Modulacion QAM M-ary  
Digite el orden de la modulacion : 16

Tabla 1: Métricas para un sistema de modulación digital

AWGN	Imbalance I/Q		Display		Eye Diagram		
	SNR (dB)	Amplitud (dB)	Phase (°)	EVM	BER	Eye Amplitude (V)	Total Jitter ( $\mu$ s)
5	-10	45					
	-5	45					
	0	45					
	0	0					
10	-10	45					
	-5	45					
	0	45					
	0	0					

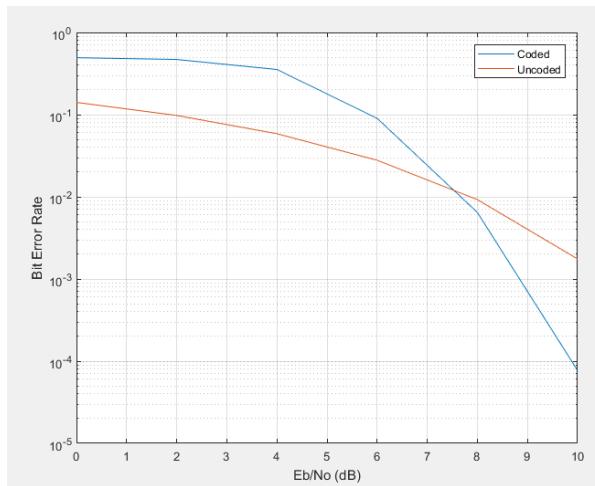


Figura 10: Resultado de modulación M-QAM con y sin codificación.

Si se selecciona el orden de la modulación con un valor de 16 el resultado obtenido se muestra en la figura 10.

3. Repita el paso 2 para ordenes de modulación QAM de 32, 64, 128. Documente los diagramas obtenidos y analice el impacto que tiene al escalar el orden de la modulación cuando hay y no hay codificación durante el proceso de modulación M-QAM.

## Guía para la elaboración del reporte escrito

### Parte I: Simulación y Análisis de Esquemas de Modulaciones Analógicas AM y PM

- Para la simulación Monte Carlo, documente la gráfica que condensa los parámetros teóricos contra los simulados. Analice que efecto existe en escalar el orden de modulación en función del BER y  $E_b/N_o$  para los casos estudiados.
- En relación al análisis ISI, ejecute el script, recopile los diagramas de ojo del RX y analice que implicaciones existen si se escala el orden de la modulación y se agrega ruido gausiano, en términos ISI.

### Parte II: Simulación y Análisis de Métricas para Modulaciones Digitales y Codificación 2/3 Rate Trellis

- Para la sección de análisis de métricas con diferentes sistemas digitales de modulación, es necesario recopilar los datos sugeridos en la tabla 1 para todas las modulaciones y además recopile los diagramas de ojo para los casos donde no se aplica desbalance en I/Q, y discuta las desviaciones numéricas y apariencia del ojo.
- Para el código convolucional, recopile las gráficas al variar el orden de la modulación y con base a ello analice el comportamiento de escalar el orden de modulación según cuando se utiliza el método de codificación.

## Laboratorio 6

### Simulación de Enlaces de Radio Frecuencia y Antenas Tipo Yagui

#### 1. Objetivo General

Aplicar los conceptos básicos sobre el diseño de antenas tipo Yagui además de enlaces de radio frecuencia a nivel de simulación

#### 2. Objetivos Específicos

1. Comprender el principio de funcionamiento de los Enlaces de Radio Frecuencia.
2. Aplicar una herramienta de simulación de radio enlaces.
3. Analizar pérdidas físicas para diferentes antenas según su patrón de radiación.
4. Comprender el comportamiento de una Antena tipo Yagui mediante simulación a nivel de software.

#### 3. Cuestionario Previo

1. Investigue sobre los siguientes conceptos:
  - a) Análisis del receptor
    - Sensibilidad.
    - Rango dinámico.
    - Rechazo al canal adyacente.
  - b) Análisis de la etapa de TX
    - Ruido en la banda.
    - Ruido fuera de banda.
    - Control de nivel de potencia de salida (ALC).
  - c) Medios de transmisión en cobre
    - Par telefónico
    - UTP, STP.
    - Cable Coaxial.
    - Velocidades de TX y BER típicos.
  - d) Medios de transmisión ópticos
    - Fibra óptica monomodo.
    - Fibra óptica multimodo.
    - Velocidades de TX y BER típicos.
  - e) Enlaces por Radiofrecuencia.
  - f) Pérdida de propagación en el espacio libre (FSPL).
  - g) Cálculo de enlaces en línea de vista.
2. Investigue que es una cámara anecoica (anechoic Chamber) y para qué sirve.
3. Explique qué significa que una onda electromagnética presenta polarización elíptica. Aclare mediante un diagrama y mencione un caso práctico en el que se da esta polarización.
4. Investigue el principio de funcionamiento de una antena lineal. Describa las expresiones para el campo lejano alrededor de la antena.
5. ¿Qué condiciones físicas y eléctricas deben cumplirse para que una antena trabajando en modo recepción no irradie la energía al espacio?

6. Investigue el principio de funcionamiento de una antena Yagui-Uda ¿Es necesario conectar un acoplador simetrizador para acoplar una antena Yagui-Uda a la línea de transmisión coaxial? Justifique.
7. Investigue en que consiste el análisis numérico MoM (Método de los Momentos) aplicado en el ámbito electromagnetismo y radio frecuencia.

#### 4. Equipo

**NOTA IMPORTANTE:** Para esta práctica guiada lo software utilizados serán de acceso libre los cuales deberán ser descargados e instalados en su computador portátil o escritorio.

##### Hardware:

- Computador de escritorio o portátil.

##### Software

- Software para simulación de enlaces de Radio Frecuencia Radio Mobile.
- Software para simulación de antenas MMANA-GAL, puede descargar la versión 3 **aquí**. **NOTA: Este enlace es recomendado para la plataforma Windows, para otros sistemas operativos deberá solucionar las dependencias que considere necesarias para su funcionamiento.**

**Archivos:** En cualquiera de los siguientes enlaces podrá encontrar los archivos que se necesitan para ésta práctica:

- [GitHub](#).
- [Portal Web](#).
- TEC-Digital (según grupo matriculado).

### Parte I: Simulación de enlaces de radio frecuencia

#### 5.1 Procedimiento

1. Para garantizar el funcionamiento del software Radio Mobile, se recomienda usar el sistema operativo Windows.
2. Descargue el programa Radio Mobile **aquí**.
3. Una vez descargado el programa Radio Mobile, es necesario que descomprima la carpeta en la ruta C: o donde se encuentra instalado su sistema operativo, en su computador de escritorio o portátil. En la figura 1 se muestra la ubicación del software Radio Mobile.

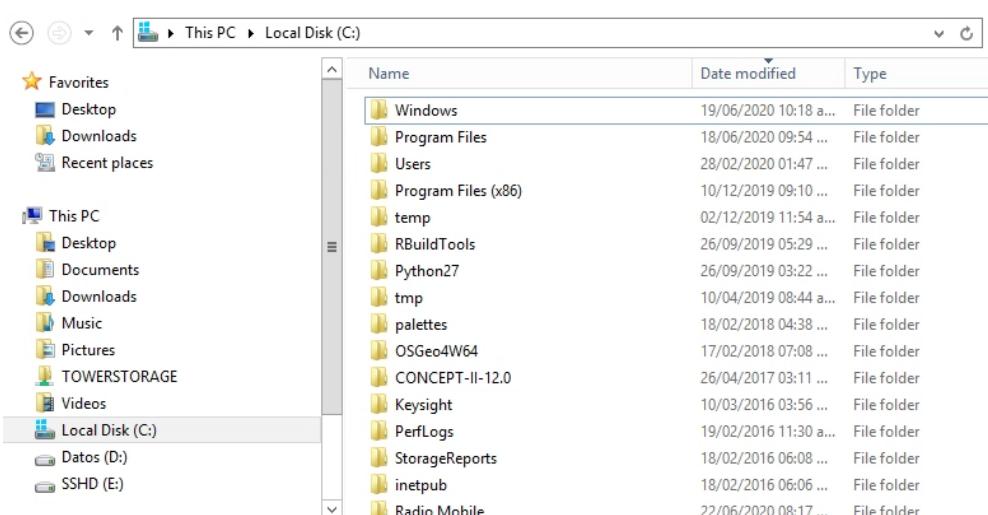


Figura 1: Ubicación de folder de Radio Mobile.

4. Para acceder al software, deberá buscar el archivo ejecutable llamado **rmwspa** y con doble click la herramienta abrirá y deberá visualizar el panel frontal mostrado en la figura 2.

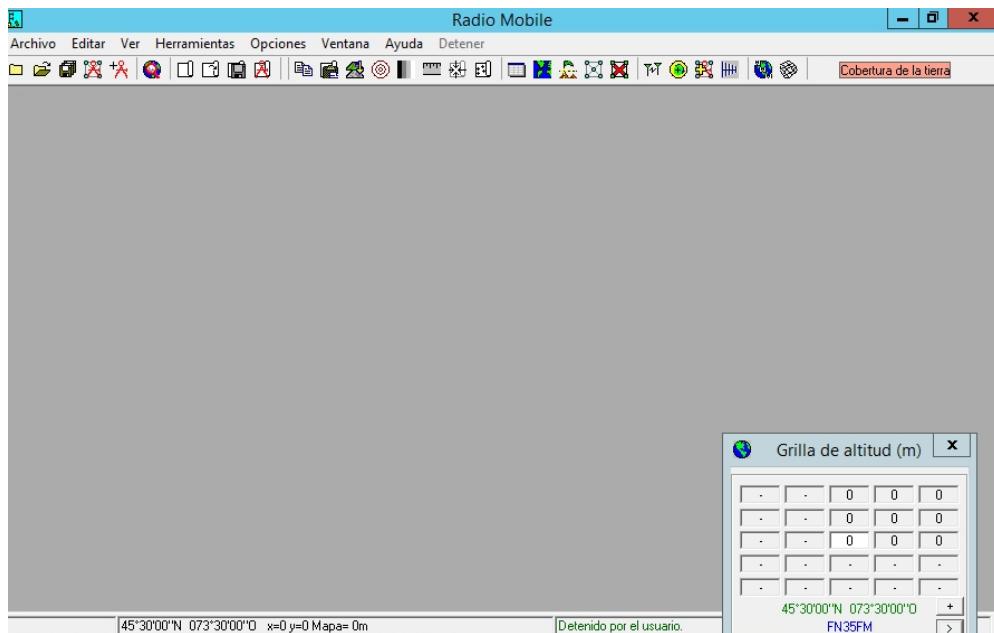


Figura 2: Panel frontal de Radio Mobile.

5. Una vez abierta la aplicación, es necesario configurar los mapas. Para ello es necesario ir **Archivo→Propiedades de mapa** ó en su defecto presionar la tecla **F8**. En la figura 3 se muestra la ventana de configuración del mapa.

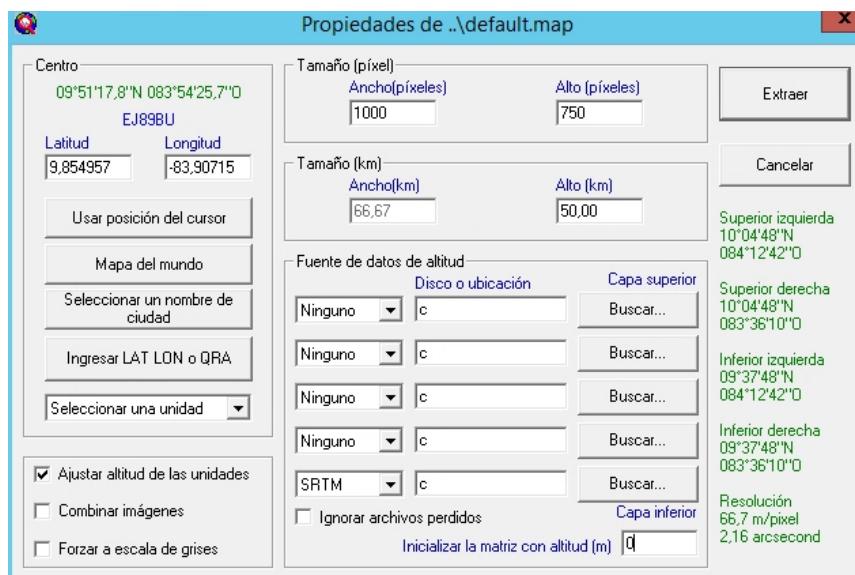


Figura 3: Configuración de mapa.

6. Para ubicar la provincia de Cartago, considere los siguiente parámetros:

- Latitud de 9,854957.
- Longitud de -83,90715.
- Seleccionar la casilla llamada *Ajustar altitud de las unidades*.
- Tamaño (píxel) con un Ancho (píxeles) de 1000 y Alto (píxeles) de 750.
- Tamaño (km) con un Alto (km) de 50.

Configurados los parámetros anteriores deberá dar click en la casilla **Extraer**, donde deberá visualizar un mapa de elevaciones con una paleta de colores que le permite identificar altas y bajas elevaciones según se muestra en la figura 4.

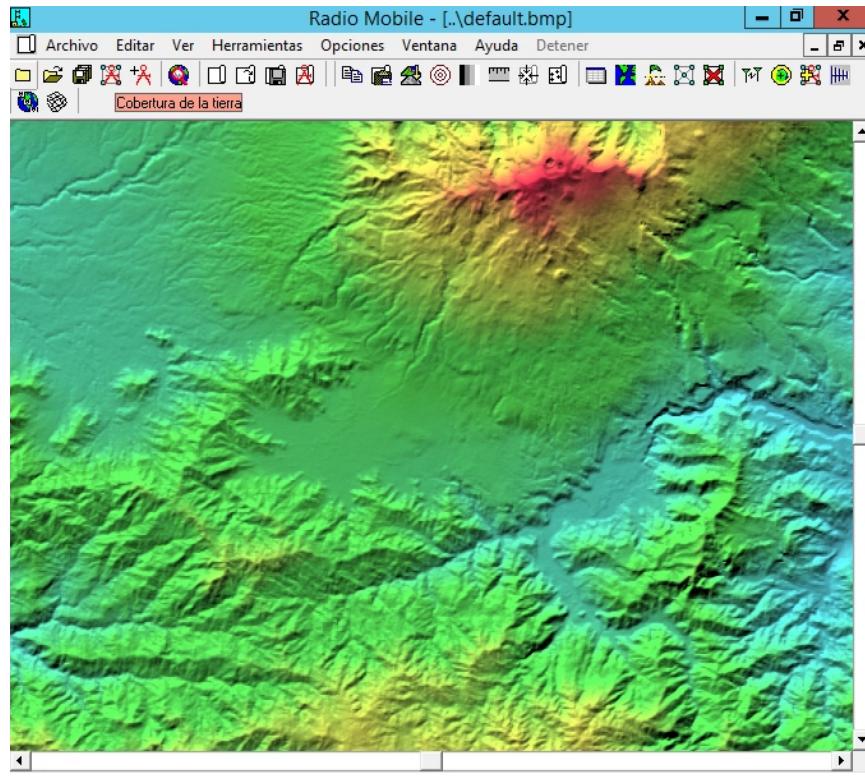


Figura 4: Mapa de elevación.

7. Luego de extraer el mapa se deberá agregar puntos de interés en los cuales se desea simular el radio enlace. Estos puntos se agregan de la siguiente manera: **File→Propiedades de la Unidad** o presionar **Crtl + U**. En la figura 5 se muestra las propiedades de la unidad.

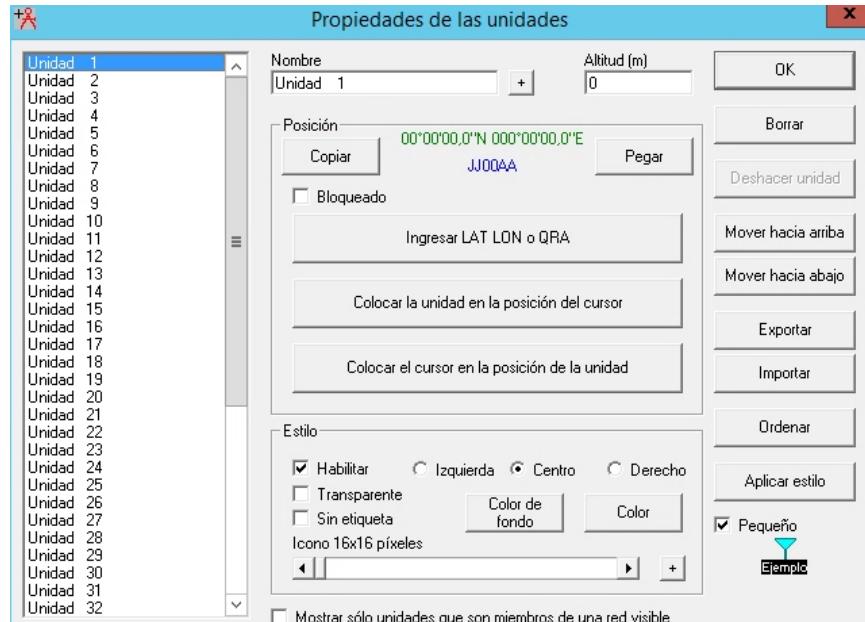


Figura 5: Configuración de propiedades de la unidad.

Dentro de la ventana deberá crear e ingresar las siguientes localizaciones, mediante la casilla *Ingresar LAT LON o QRA*.

- Escuela de Electrónica: LAN (9,854957) LON (-83,90715) ALT (1397,2).
- Basílica: LAN (9,864111) LON (-83,91288) ALT (1430,3).
- Llano Grande: LAN (9,940442) LON (-83,91182) ALT (2276,7).
- Tres Ríos: LAN (9,905618) LON (-83,98508) ALT (1338,4)

Nota: (valores obtenidos de la página: <http://www.coordenadas-gps.com/>)

Una vez configuradas las unidades en el mapa deberá visualizar la ubicación de cada unidad, tal como se muestra en la figura 6.

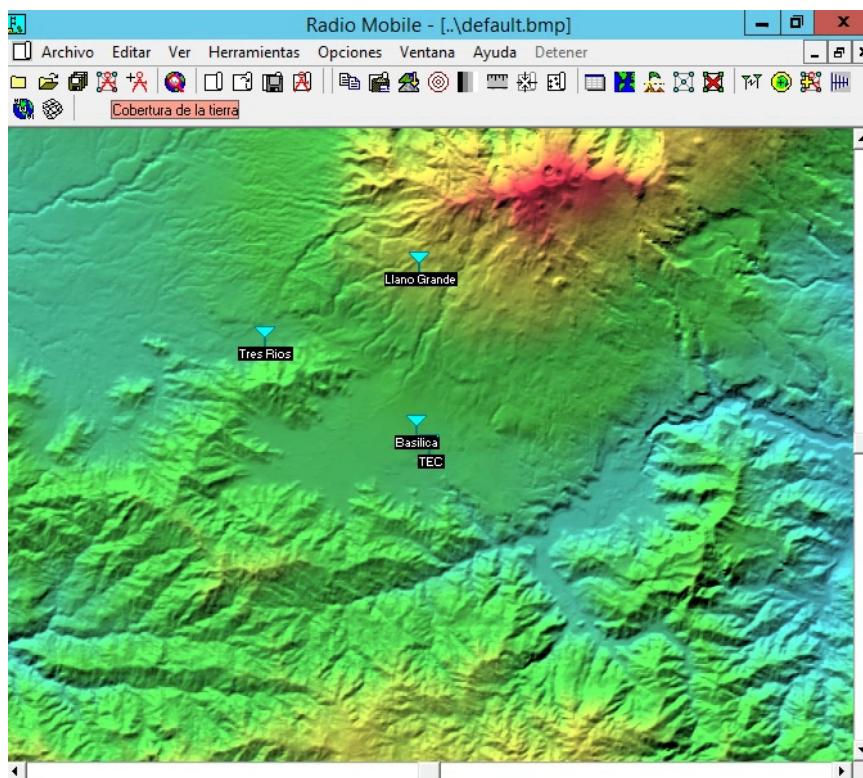


Figura 6: Unidades ubicadas en el mapa de elevaciones.

8. Al estar configuradas las unidades es necesario establecer la configuración de las redes según los siguientes enlaces:

- Electrónica-Basílica.
- Electrónica-Llano Grande.
- Electrónica-Tres Ríos.

Para crear las redes deberá ir **Archivo→Propiedades de redes** ó **Ctrl + N**. No olvide que acá deberá usarse parámetros de configuración de antenas y rangos de frecuencia. En esta simulación se deberá utilizar los siguientes parámetros para todas las redes:

- Se deberá utilizar una frecuencia mínima (MHz) de 900 y máxima de 1800 MHz.
- Para el *Modo estadístico* se deberá utilizar un % de situaciones de 50.
- Para la casilla de *Pérdida adicional* se deberá usarse *Ciudad* con un parámetro de 15 %. **NOTA: Si en su versión de Radio Mobile no aparece puede obviar esta configuración.**

9. Una vez configurados los parámetros de las redes localice la pestaña **Topología** y seleccione las siguientes configuraciones:

- Marque la casilla **visible**.
- Seleccione la configuración de *Red de datos, Topología estrella (Master/Esclavo)*, y seleccione las casillas llamadas *Si una unidad es configurada como master, configurar todas las otras como esclavas y La unidad Esclava debe tener una antena direccional apuntando hacia un Mast*.

10. Para configurar los miembros localice la pestaña **Miembros** y tome como referencia las siguientes configuraciones:

- Electrónica-Basílica. (seleccionar Electrónica como **Master** y Basílica como **Esclavo**)
- Electrónica-Llano Grande. (seleccionar Electrónica como **Master** y Llano Grande como **Esclavo**)
- Electrónica-Tres Ríos. (seleccionar Electrónica como **Master** y Tres Ríos como **Esclavo**)

11. Para dar configuración a los sistemas localice la pestaña llamada **Sistemas**. Para la configuración considere los siguientes parámetros de un sistema marca Xbee modelo Xbee-PRO:

- Dejar la opción 00 y *Seleccionar desde VHF ... UHF ...*
- Nombre del sistema *Xbee*
- Potencia del Transmisor de 24 dBm.
- Umbral del receptor ( $\mu$ V) de -110 dBm.
- Pérdida de la línea (dB) 0.
- Tipo de antena seleccionar *omni.ant*.
- Ganancia de antena (dBi) de 2.
- Altura de la antena de 50 m.
- Pérdida adicional del cable (dB/m) 0,03857.

12. Una vez configurado todo lo anterior para la visualización de los resultados de cada uno de los enlaces es necesario dirigirse a **Herramientas→Enlace de Radio** ó **F2** y ahí se pueden visualizar todos los datos del radio enlace entre nodos, así como los puntos donde es necesario poner repetidores. En la figura 7, se muestran los datos de la red simulada. **NOTA: Si desea ubicar algún punto importante en el perfil del enlace ubique con el puntero el lugar de interés y de click ahí saldrá una línea punteada.**

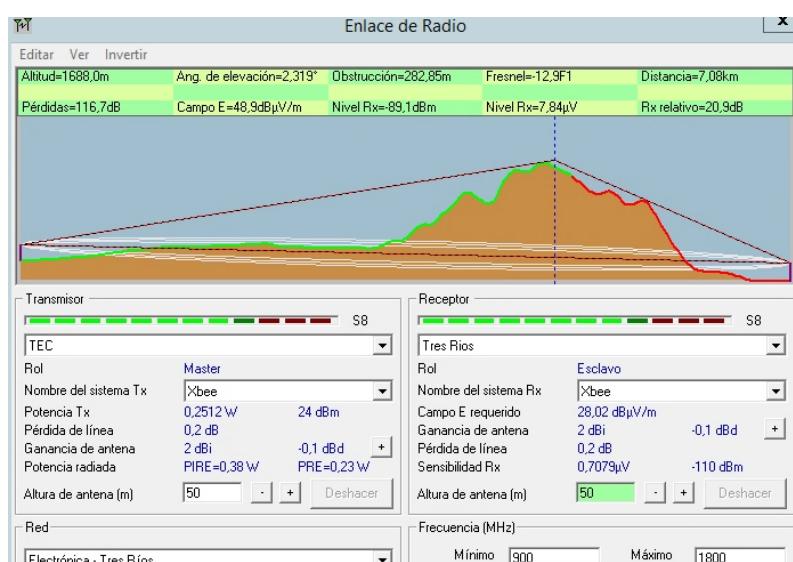


Figura 7: Datos de simulación de la red seleccionada.

13. Analice los enlaces realizados y determine si es necesario ubicar repetidores con el objetivo de establecer el enlace.
14. Para agregar repetidores los mismos se deberán crear como unidades tal como se realizó en el punto 7. **NOTA:** **Para ubicar el repetidor es posible hacerlo de manera manual solamente ubicando en el mapa el lugar y en el bloque de configuración puede seleccionar la opción Colocar la unidad en la posición del cursor.**
15. Al agregar el repetidor como unidad es necesario ir a **Propiedades de red** en la pestaña **Topología** y seleccionar **Red de voz (Controlador/Subordinado/Repetidor)**, si tiene no recuerda como realizarlo revise el punto 9.
16. Finalmente para asignar los roles es necesario localizar la pestaña **Miembros** y establecer lo siguiente:
  - Electrónica deberá ser **Control**.
  - Tres Ríos deberá ser **Subordinado**.
  - El repetidor deberá ser **Repetidor**

Una vez realizadas las configuraciones anteriores en el mapa de elevaciones deberá observar que existe un línea verde entre el enlace que necesita repetidor. En la figura 8 se muestra el enlace entre Electrónica y Tres Ríos con un repetidor. **NOTA: Puede usar más repetidores, pero piense en que poner más repetidores representa un alto costo económico.**

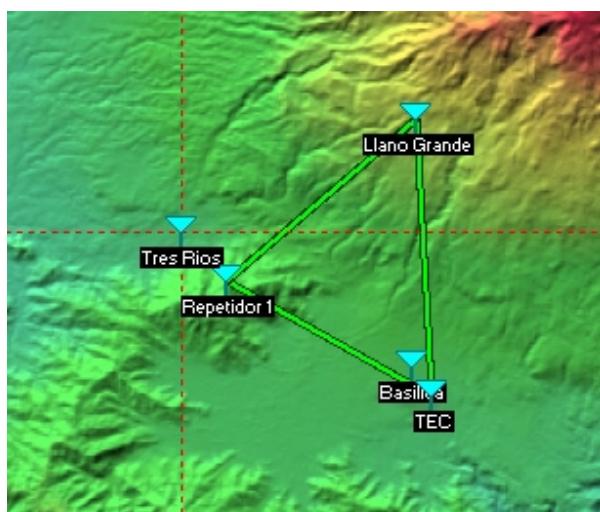


Figura 8: Esquema de repetidor para radio enlace.

17. En relación a todos los enlaces simulados recopile y organice todos los perfiles simulados y analice los resultados obtenidos para cada uno.

#### Parte II: Simulación de una antena Yagui

##### 5.2 Procedimiento

1. Para garantizar el funcionamiento del software MMANA\_GAL Basic, se recomienda usar el sistema operativo Windows.
2. Descargue el programa MMANA\_GAL Basic [acá](#).
3. Una vez descargado el programa MMANA\_GAL Basic, es necesario que descomprima la carpeta e instale el software en su computador de escritorio o portátil . En la figura 9 se muestra el panel frontal del software. **NOTA: Si desea cambiar el idioma a español ubique la pestaña llamada Setup→Languages seleccionar spain.**

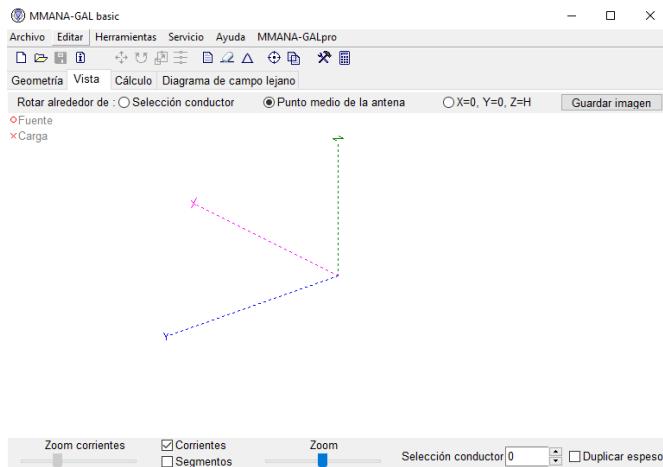


Figura 9: Panel principal del software MMANA\_GAL.

4. Para iniciar el diseño de la antena deberá ubicar la pestaña llamada **Geometría**, en dicha pestaña visualizará una matriz de dimensiones la cual se muestra en la figura 10.

Geometría Vista Cálculo Diagrama de campo lejano								
o (grados)		Frec. 2400 MHz	<input checked="" type="checkbox"/> lambda					
conductores 8 Peso grados DM1 800 DM2 80 SC 2 EC 2 Mantener conexión.								
No.	X1(w)	Y1(w)	Z1(w)	X2(w)	Y2(w)	Z2(w)	R(w)	Seg.
1	0.3	0.23625	0.0	0.3	-0.23625	0.0	0.006404	-1
2	0.0	0.225	0.0	0.0	-0.225	0.0	0.006404	-1
3	0.125	0.2	0.0	0.125	-0.2	0.0	0.006404	-1
4	0.325	0.175	0.0	0.325	-0.175	0.0	0.006404	-1
5	0.525	0.15	0.0	0.525	-0.15	0.0	0.006404	-1
6	0.725	0.125	0.0	0.725	-0.125	0.0	0.006404	-1
7	0.925	0.01	0.0	0.925	-0.01	0.0	0.006404	-1
8	1.125	0.075	0.0	1.125	-0.075	0.0	0.006404	-1
siguiente								

Fuentes 1				Cargas 0 (L - uH; C - pF; R/JX - Ohm)				<input type="checkbox"/> Use cargas			
No.	PULSE	Volt. V	Phase dg	No.	PULSE	Type	L/R/A0	C/JX/B0	Q/A1	F/B1	
1	w2c	1.0	0.0	siguiente							

Figura 10: Pestaña de geometría.

5. El diseño de la Antena Yagui estará inspirado en una frecuencia de operación de 2,4 GHz la cual tendrá una impedancia de operación cercana a los  $50 \Omega$ . En la figura 11 se muestra el diagrama de la antena Yagui a simular. NOTA: Esta figura contiene las distancias de elementos, es importante tomar en cuenta que la distancia entre directores será siempre la misma para este caso es de  $0.2\lambda$ . Para este caso la longitud de onda se utilizará como velocidad de propagación  $c$ .

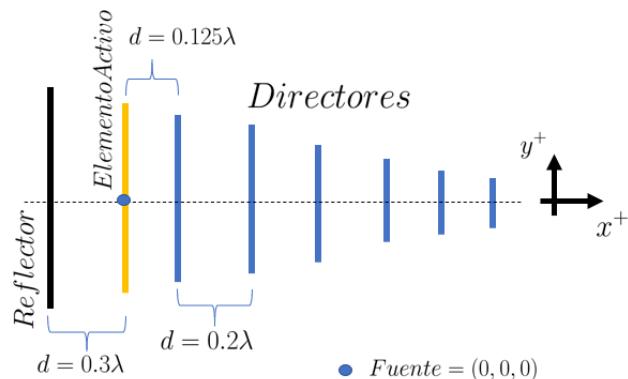


Figura 11: Antena Yagui a simular con vista del plano XY.

6. En cuanto a distancias entre elementos considere los parámetros mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2: Longitudes de elementos para la antena Yagui

Elemento	Longitud
Reflector	0,4725 $\lambda$
Elemento Activo	0,45 $\lambda$
Director 1	0,4 $\lambda$
Director 2	0,35 $\lambda$
Director 3	0,30 $\lambda$
Director 4	0,25 $\lambda$
Director 5	0,20 $\lambda$
Director 6	0,15 $\lambda$

7. Una vez analizados los parámetros del puntos 5 y 6, en la pestaña **Geometría** se deberá insertar los parámetros de longitud y distancia entre cada elemento, para ello es importante fijar que el valor **Frec** a 2400 MHz y puede seleccionar la opción llamada **lamba** esto le permitirá insertar los parámetros de distancias y longitudes en términos de longitudes de onda. Conforme vaya ingresando los parámetros podrá observar la antena espacial mediante la pestaña **Vista**. En la figura 12 se muestra la vista espacial de los elementos que conforman la antena Yagui. **NOTA:** Recuerde que deberá asignar el elemento fuente para ello ubique el elemento activo de la antena y con click derecho localice la opción llamada *Desplazar o agregar fuente* a deberá seleccionar la opción llamada *centro del conductor*.

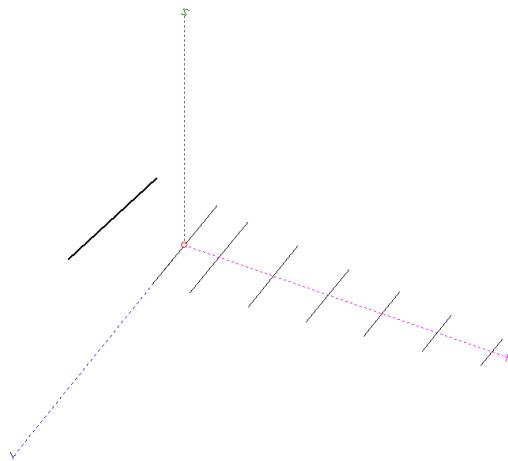


Figura 12: Antena Yagui en un espacio X, Y e Z.

8. Una vez conformada la geometría y verificada la antena en términos de parámetros, es posible llevar a cabo la simulación para ello localice la pestaña **Cálculo** donde deberá considerar lo siguiente:

- Frecuencia de operación ó **Frec** deberá ser de 2400 MHz.
- Tierra se podrá seleccionar **Perfecta**.
- La altura podrá ser de 3 m.
- Material seleccione un tubo de Al. **NOTA:** Esto se debe a que la mayoría de los casos el **boom** ó soporte de la antena es de material de tipo **Aluminio**.

Al momento de finalizar la configuración anterior, localice el botón **Calcular** y dele click al realizar dicho evento la ventana deberá mostrar el resultado de la simulación según se describe en la figura 13.

Con base a los resultados obtenidos preste atención y analice los resultados de manera que le permitan concluir aspectos importantes en términos de operación de la antena.

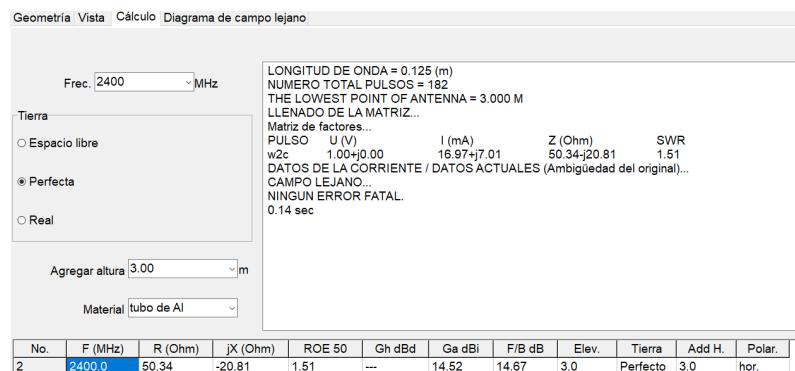


Figura 13: Resultado de la simulación para la antena Yagui.

- Al obtener los valores numéricos de la simulación, para la visualización del patrón de radiación localice la pestaña **Diagrama de campo lejano** donde se podrá visualizar el patrón de radiación y haciendo click en el botón **3D FF** podrá ver una perspectiva de dicho patrón de radiación en 3D. En la figura 14 se muestra el patrón de radiación obtenido para la antena Yagui. **NOTA: Para obtener la misma proyección en la esquina superior izquierda deshabilite la opción +90 dg.**

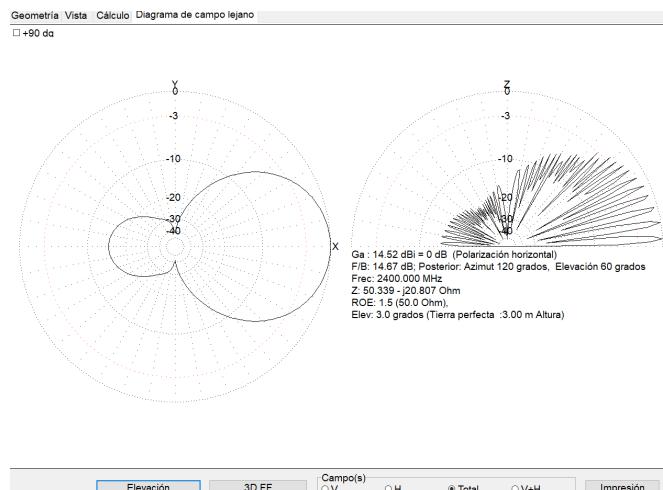


Figura 14: Patrón de radiación obtenido para la antena Yagui.

- Una vez ejecutada la simulación de la antena Yagui con 6 directores para una polarización horizontal, vuelva a realizar la simulación pero haciendo una barrido en el número de directores y analice el comportamiento de la ganancia de la antena, F/B, ROE y patrón de radiación partiendo desde un director hasta seis directores. Documente y analice los resultados y patrones de radiación resultantes.

## Guía para la elaboración del reporte escrito

### Parte I: Simulación de enlaces de radio frecuencia

- Analice los perfiles de enlace obtenidos según las redes utilizadas, para ello es necesario hacer referencia a la información obtenida por el transmisor y receptor. Es importante que haga hincapié a las zonas de Fresnel según cada red simulada.

### Parte II: Simulación de una antena Yagui

- Con base a las simulaciones de las antenas Yagui, según el barrido de directores que hizo determine la tendencia que existen en parámetros como ganancia, F/B, ROE y los patrones de radiación si se aumentan los directores.

## Anexos

### 1. Anexos

#### 1.1. Stimulus/Response measurement suite

El paquete de medición de Estimulo-Respuesta del Analizador de Espectros Agilent N1996a-506 permite hacer una fácil y precisa medición de las características de transmisión y reflexión de dispositivos de uno y dos puertos, como amplificadores, filtros, cables y sistemas de alimentación para antenas. Cualquier dispositivo selectivo en frecuencia como amplificadores, filtros, atenuadores, cables, etc., son caracterizados para un buen desempeño en función de la frecuencia. Al hacer mediciones con este tipo de dispositivos, cualquier pérdida adicional debe ser tomada en cuenta. Por ejemplo un cable conectado entre el analizador de espectros y una antena (o algún otro dispositivo) puede agregar alguna pérdida a la medición. Esto se conoce como perdidas de inserción. La medición es importante para cuantificar con precisión la cantidad de pérdidas que sufrirá una señal al pasar por un cable, un atenuador, o cualquier otro dispositivo.

##### 1.1.1 Parámetros de Dispersión (S-Parameters)

Los parámetros de dispersión son los coeficientes de reflexión y transmisión entre la onda incidente y la reflejada. Estos parámetros describen completamente el comportamiento de un dispositivo bajo condiciones lineales en determinado rango de frecuencia. Cada parámetro es caracterizado por magnitud, decibeles y una fase. A pesar de ser aplicables a cualquier frecuencia, los parámetros S son usados principalmente para redes que operan en radiofrecuencia (RF) y frecuencias de micro-ondas. En general, para redes prácticas, los parámetros S cambian con la frecuencia a la que se miden, razón por la cual ésta debe especificarse para cualquier medición de parámetros S, junto con la impedancia característica o la impedancia del sistema. En el contexto de los parámetros S, dispersión se refiere a la forma en que las corrientes y tensiones que se desplazan en una línea de transmisión son afectadas cuando se encuentran con una discontinuidad debida por la introducción de una red en una línea de transmisión. Esto equivale a la onda encontrándose con una impedancia diferente de la impedancia característica de la línea. La descripción de los parámetros es la siguiente:

- $S_{11}$ : Coeficiente de reflexión a la entrada.
- $S_{21}$ : Coeficiente de transmisión o ganancia con la tensión en directa.
- $S_{22}$ : Coeficiente de reflexión a la salida.
- $S_{12}$ : Coeficiente de transmisión o ganancia con la tensión en reversa.

Para que esto sea válido las impedancias en el puerto de entrada y salida deben ser las mismas.

##### 1.1.2 Two Port Insertion Loss

Este procedimiento mide las pérdidas o ganancia de un filtro, amplificador, cable, etc., sobre un rango específico de frecuencias. Con esta medición se cuantifica la cantidad de pérdida o ganancia que la señal puede sufrir al pasar a través de cierto dispositivo. En términos de parámetros de dispersión la perdida de inserción está referida a la medición del parámetro  $S_{21}$ . Pasos para realizar esta medición:

1. Conecte los dispositivos de calibración al conector RF Output del analizador cuando el procedimiento en pantalla lo indique. No haga la conexión del dispositivo de prueba en este momento, luego se le indicará cuando hacerlo.
2. Poner el analizador en el modo Stimulus/Response y seleccionar Two port insertion loss  
**Presione Mode, Stimulus/Response, Two port insertion loss.**
3. Pre programar el analizador.  
**Presione Mode Preset, Meas, Two port insertion loss.**
4. Fijar las frecuencias de inicio y parada.  
**Presione FREQ Channel, Start Freq, (digite el valor numérico) Presione FREQ Channel, Stop Freq, (digite el valor numérico)**
5. Apagar el promediador.  
**Presione Meas Setup, Averaging Off.**

6. Ajustar la potencia de salida del generador de tracking adecuado para el dispositivo de prueba (que no exceda la potencia máxima que el dispositivo tolera)  
Presione **Source, Source Level (Manual)**, (digite el valor numérico)
7. Conecte el cable de prueba (pero no el dispositivo a probar) del conector RF Output a entrada del analizador, como se muestra en la figura 1.

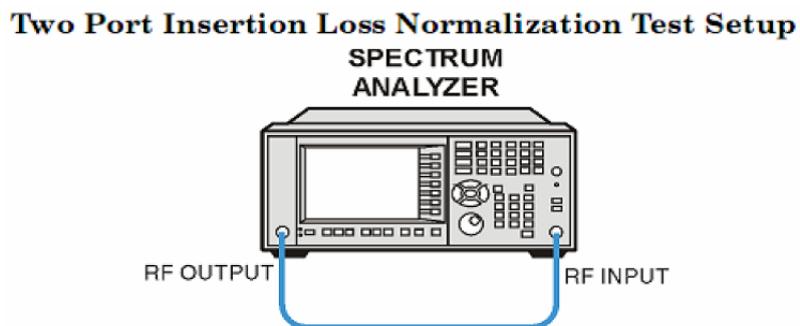


Figura 1: Conexión de calibración del Analizador de Espectros para la calibración de la prueba de two port insertion loss.

8. Normalización de la respuesta en frecuencia.  
Presione **FREQ Channel, Normalize** y siga las instrucciones del Normalize Wizard.
9. Conexión del dispositivo de prueba  
Conecte el dispositivo de prueba entre la RF Input y la RF Output del analizador, como se muestra en la figura 2.

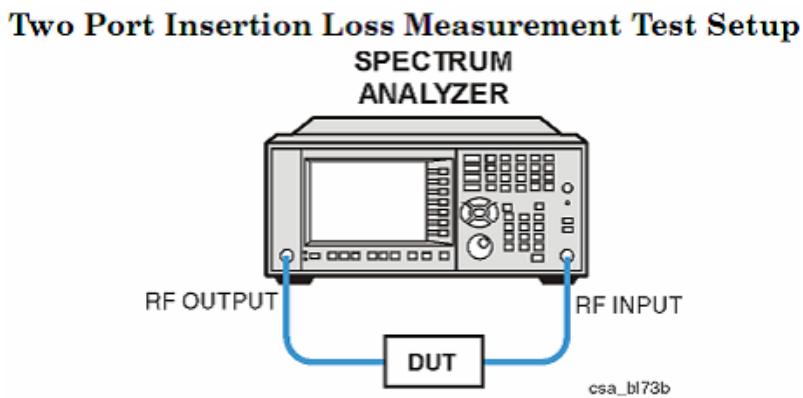


Figura 2: Conexión del dispositivo de prueba (DUT: Device Under Test).

### 1.1.3 One Port Insertion Loss

Esta medición al igual que la anterior permite cuantificar las pérdidas de señal en un cable y en algún otro dispositivo sin necesidad de conectar ambos extremos al analizar de espectros. La medición puede ser muy útil, por ejemplo, para cuantificar pérdidas en la línea de alimentación de una antena situada en una torre; cables largos en los que sea difícil colocar ambos extremos cerca del analizador de espectros o en dispositivos que tienen una entrada pero la salida no es posible conectarse al analizador de espectros, como lo es una antena. One port insertion loss es menos precisa que la medición de two port insertion loss, por lo tanto cuando sea práctico y accesible conectar ambas terminales del dispositivo de prueba al analizador, es mejor usar la opción de two port insertion loss. Pasos para realizar esta medición:

1. El procedimiento requiere de la calibración del analizador de espectros antes de obtener la respuesta a la prueba, este procedimiento consiste en una secuencia guiada de pasos. Conecte los dispositivos de calibración al conector RF Output del analizador cuando el procedimiento guiado lo indique en pantalla (ver la figura 3). No haga la conexión del dispositivo de prueba en este momento, luego se le indicara cuando hacerlo.

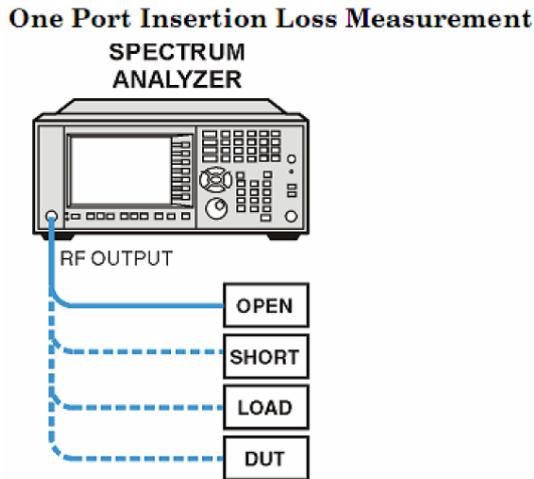


Figura 3: Conexiones para la prueba de un solo puerto (one port insertion loss).

2. Poner el analizador en el modo Stimulus/Response y seleccionar One port insertion loss.  
Presione **Mode, Stimulus/Response, Measure** y **One port insertion loss**.
3. Pre programar el analizador.  
Presione **Mode Preset, Meas, One port insertion loss**.
4. Fijar las frecuencias de inicio y parada.  
Presione **FREQ Channel, Start Freq**, (digite el valor numérico, el mínimo es 10MHz).  
Presione **FREQ Channel, Stop Freq**, (digite el valor numérico, el máximo es 6GHz).
5. Apagar el promediador.  
Presione **Meas Setup, Avg Mode, Off**.
6. Calibrar la medición.  
Presione **FREQ Channel, Calibrate**, siga las instrucciones del Asistente de Calibración (Calibration Wizard) El analizador calibrara sobre el rango de frecuencia deseado.  
En cada paso se le solicitará conectar un corto, un abierto o una carga al puerto RF Output del analizador. Utilice para esto los elementos de calibración que acompañan al analizador de espectros.
7. Conecte el dispositivo bajo prueba con se describe en el paso 1. Las unidades del nivel de referencia están en dB, lo que indica que es una medición relativa a la potencia de referencia que utiliza el analizador de espectros.
8. Si es necesario cambie la amplitud de la escala para una mejor lectura.  
Presione **AMPTD Y Scale, Scale/Div**, (digite el valor numérico).
9. Usar los marcadores para medirlos valores en cualquier punto.  
Presione **Marker, Normal**. Utilice la perilla para situar el marcador en el área de interés.

#### 1.1.4 Return Loss

Con esta opción se puede hacer mediciones de las características de reflexión. Por ejemplo se podría usar para detectar problemas en la línea de alimentación de una antena, o propiamente algún problema en la antena. Una parte de la potencia incidente puede ser reflejada hacia la fuente por algún fallo en la línea de transmisión o bien de la antena.

A la razón de los voltajes reflejados con los voltajes incidentes se le conoce como coeficiente de reflexión. Este coeficiente es un número complejo por lo que tiene magnitud y fase. En términos de los parámetros de dispersión la medición de pérdida de retorno se refiere a la medición del parámetro  $S_{11}$ .

Pasos para realizar esta medición:

1. Poner el analizador en el modo Stimulus/Response y seleccionar Return Loss.  
Presione **Mode, Stimulus/Response, Return Loss**.

2. Pre programar el analizador.  
Presione **Mode Preset, Meas, Return Loss.**
3. Fijar las frecuencias de inicio y parada.  
Presione **FREQ Channel, Start Freq**, (digite el valor numérico, el mínimo es 10MHz).  
Presione **FREQ Channel, Stop Freq**, (digite el valor numérico, el máximo es 6GHz).
4. Apagar el promediador.  
Presione **Meas Setup, Averaging, Off.**
5. Calibrar la medición.  
Presione **FREQ Channel, Calibrate**, siga las instrucciones del Asistente de Calibración (Calibration Wizard) El analizador calibrara sobre el rango de frecuencia deseado.
6. Conecte el cable de prueba (si se utilizara uno) y los dispositivos de calibración al conector RF Output del analizador como se muestra en la figura 4 (Si el dispositivo bajo prueba es de dos puertos, asegurarse de terminar el puerto no utilizado con la impedancia característica adecuada).

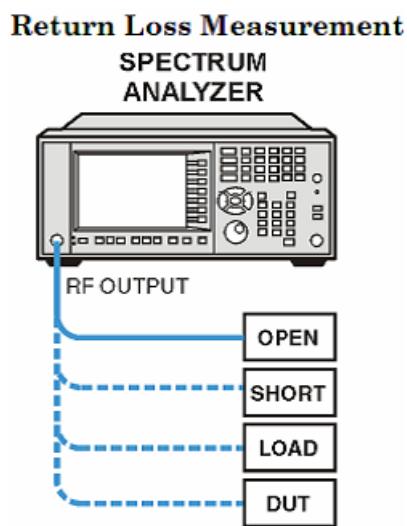


Figura 4: Conexiones para la prueba de pérdidas de retorno (return loss).

7. Usar los marcadores para medir los valores de return loss y el coeficiente de onda estacionaria (SWR) en cualquier punto.  
Presione **Marker, Normal**. Utilice la perilla para situar el marcador en el área de interés

### 1.1.5 Distance to Fault

Para esta medición una señal es transmitida de la salida RF Output del analizador hacia el cable bajo prueba. Las señales reflejadas desde la falla en el cable son recibidas por el analizador. El analizador utiliza reflectometría en el dominio de la frecuencia para llevar a cabo la medición. La interferencia variante de las señales transmitidas y reflejadas contiene la información de la distancia de una o más fallas. La distancia mostrada en el analizador es la distancia física de la posible falla, corregida para las perdidas en el cable y factor de velocidad del cable.

Pasos para realizar esta medición:

1. Poner el analizador en el modo Stimulus/Response y seleccionar Distance to Fault.  
Presione **Mode, Stimulus/Response, Distance to Fault.**
2. Pre programar el analizador.  
Presione **Mode Preset, Meas, Distance to Fault.**
3. Seleccionar el tipo de cable:  
Presione **Meas Setup, Cable Type.**  
\*\*Si el cable a medir estás denotado como RG (ejemplo RG-58), seleccione Cable Type (RG) de otro modo seleccione Cable Type (BTS).

4. Poner el rango automático de frecuencia.  
Presione **FREQ Channel, Freq Range (Auto)**.  
\*\*Las frecuencias de inicio y parada son fijadas automáticamente por la distancia de inicio y parada.
5. Poner la distancia de inicio y parada para el cable a medir.  
Presione **FREQ Channel, Start Distance, (digite el valor inicial)**.  
Luego presione **FREQ Channel, Stop Distance, (digite el valor de parada)**.
6. Fijar las unidades para la distancia.  
Presione **FREQ Channel, Units (Meters or Feet)**.  
\*\*Cada vez que se presione esta tecla de menú las opciones seleccionadas cambian.
7. Calibrar la medición.  
Presione **FREQ Channel, Calibrate**, siga las instrucciones del Asistente de Calibración (Calibration Wizard), el analizador calibrará sobre el rango de frecuencia deseado.
8. Conecte el cable de prueba y los dispositivos de calibración en el conector RF Output como se muestra en la figura 5.

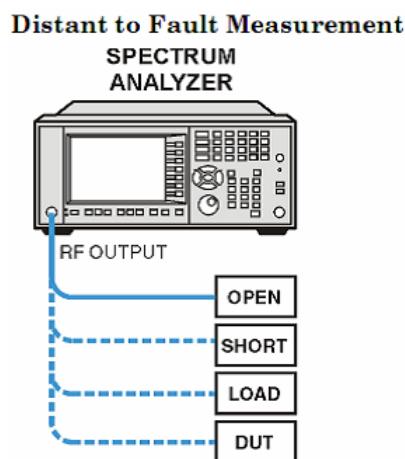


Figura 5: Conexiones para la prueba de distancia a la falla (distance to fault).

### 1.1.6 Plantilla Informes

Para acceder al formato de plantilla de informes y proyecto final puede acceder [aquí](#)

## Análisis de Espectro FM y AM utilizando un analizador de espectros digital Agilent 8600

George Sigmon Ohm<sup>ID</sup>\*, Juan Pérez-Alvarado\*, Andre Marie Ampere\* y Ernest Rutherford\*

\*Escuela de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), 30101 Cartago, Costa Rica,  
{gsohm, jperez, amampere, erutherford}@gmail.com

**Resumen**—En este apartado se resume en cortas palabras de que tratará el informe en términos de metodologías, análisis y resultados importantes logrados durante la práctica dirigida. Es importante tomar en cuenta que esta sección deberá tener una extensión entre 100 a 250 palabras como máximo y nunca se utilizarán referencias bibliográficas de ningún tipo. La coherencia y sentido lógico de la redacción es importante para lograr una buena transmisión de las ideas a la hora de redactar documentos con poca extensión y gran volumen de datos y resultados.

**Palabras Clave**—Se recomienda que sean entre 4 a 5 palabras claves como máximo, estas palabras sirven para agilizar los buscadores cuando se necesitan hacer consultas de temas muy específicos. Una selección adecuada de palabras clave permitirá que otras personas puedan encontrar su artículo o informe.

### I. INTRODUCCIÓN

La introducción de un artículo científico u informe, es una de las partes más importantes debido a que es en dicha parte donde el lector se informará de que trata lo que leerá, es por ello que la organización de las ideas y redacción son importantes. Para la redacción de esta sección, es necesario tomar en cuenta que las ideas deberán ser concisas y directas, es por ello que la redundancia de ideas debe ser eliminada como de lugar.

No obstante es acostumbrado en informes técnicos o de laboratorio discutir los alcances u objetivos del experimento o práctica guiada en prosa, nunca se deberán redactar los pasos de medición ni dar explicaciones de cómo obtener los resultados, y ni muchos utilizar frases genéricas o cualitativas “valores muy altos”, “interfaces amigables”, “los resultados son parecidos”, “nosotros medimos y vimos que no eran iguales”, entre otros.

Finalmente recuerde concluir sus ideas y dar a entender por qué lo que se presentará es relevante, la extensión de este apartado puede ser de una columna únicamente no es necesario exceder dicha extensión. Para una mejor compresión u orientación se recomienda consultar la guía elaborada por el profesor Dr.-Ing. Pablo Alvarado-Moya si desea ver más detalle al respecto y cuestiones de redacción [http://www.ie.tec.ac.cr/palvarado/LabCE/lce\\_guia\\_informe.pdf](http://www.ie.tec.ac.cr/palvarado/LabCE/lce_guia_informe.pdf) [1].

### II. METODOLOGÍA

Antes de iniciar con la explicación del proceso metodológico de medición, es necesario dar una introducción rápida de

lo que se verá dentro de la sección, esto ayuda a orientar al lector. En relación a la extensión del párrafo introductorio, se recomienda de tres a cuatro líneas como máximo.

La metodología de manera genérica pretende dar una explicación del procedimiento o métodos necesario para la obtención de resultados. Para el caso de un curso de ingeniería es prudente que se aprofunden en detalles técnicos y matemáticos para dar explicación robusta y científica del proceso que se llevó a cabo para la generación de resultados y observaciones.

Es importante considerar nunca utilizar redacciones que sean como “Encendimos el analizador y nosotros pusimos un RW de 1 kHz”, “pusimos, vimos, tocamos las perillas”, o también “después del paso anterior, vimos que no vimos nada y cambiamos las configuraciones”, entre otras. Las frases anteriores no son claras y además aportan una discusión lógica, concreta y concisa.

Para brindar un mejor entendimiento de las ideas, en veces es útil la ayuda de diagramas de alto nivel o de flujo que ayuden a entender cómo se llevó el proceso de medición. Recordar que la redacción sea en prosa y evitar usar viñetas para enumerar pasos o procedimientos, no es acostumbrado debido a que introduce ambigüedad al lector para entender lo que está leyendo. En veces son utilizadas subsecciones las cuales muestran orden y es más fácil de granular los procedimientos u procesos de medición, eso sí no abuse de las mismas porque no se ve formal para presentación de un documento técnico.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La sección de análisis y conclusión de los resultados obtenidos según el proceso metodológico de medición serán de importancia para lograr conclusiones relevantes y acertadas, es por ello que la redacción y el tiempo verbal deberán ser importantes, es necesario tomar en cuenta que los resultados ya fueron generados, esto como recomendación para la selección del tiempo verbal de la prosa.

Es recomendable por cada resultado mostrado discutir el mismo con fundamentos teóricos y lógicos, es por ello que es importante tomar tiempo y analizar los resultados, ideas sin respaldo teórico ni lógico no son bien vistas. Como apoyo para la discusión es indispensable usar gráficos, figuras, tablas y cuadros los cuales deben de tener conexión con la prosa y además bien legible, de otra forma si no son discutidos y mucho menos legibles no aportan nada al artículo u informe.

Cuando se vayan a realizar comparaciones utilizar niveles de comparación cuantitativos y no cualitativos, esto hace referencia a lo siguiente:

**“En relación a la figura 1 se ve que cae más brusco en comparación con la figura 2”**, la frase anterior no es clara, pero si se tomará la siguiente redacción es más clara **“Con base al espectro FM de la figura 1 se cuantificó un piso de ruido de -90 dBm, donde para una frecuencia de 500 kHz la potencia medida es de +5 dBm por encima del nivel de piso de ruido obtenido en la figura 2, es por ello que la desviación FM disminuye en al menos 2 % para los casos analizados.”**

Debido a la naturaleza científico-técnica de los reportes es necesario tener en cuenta la notación de ingeniería adecuada, formato de parámetros y las unidades correctas, es por ello que a continuación se muestran los siguientes casos:  $S11 \neq S_{11}$ ,  $db \neq dB$ ,  $miliwatt \neq mW$ ,  $microwatt \neq \mu W$ ,  $w \neq \omega$ ,  $kiloohm \neq k\Omega$ , entre otras.

En relación a la presentación de ecuaciones es necesario, redactar las ideas de tal manera que la ecuación este autocontenido en el texto y sea de fácil entendimiento para el lector. Para ello tome el siguiente ejemplo de ecuación:

**“El nivel de detección mínimo (LOD) para un modelo de elevación digital esta descrito por (1)”:**

$$LOD = \delta(z) = \sqrt{(\delta(z)_{DEM_{t_n}})^2 + (\delta(z)_{DEM_{t_{n+1}}})^2} \quad (1)$$

donde  $\delta(z)_{DEM_{t_n}}$  y  $\delta(z)_{DEM_{t_{n+1}}}$  son los valores RMSE obtenidos en el eje z de modelo de elevación digital.

En relación a las tablas o cuadros, es necesario resumir la información importante, esto con el objetivo de extraer algún comportamiento o tendencia de los datos, sin embargo es importante además utilizar técnicas de estadística descriptiva e inferencial en algunos casos para la discusión de los datos. Al momento de presentar los datos debe ser concisa la prosa y no redundar ni ahondar mucho en la idea. A continuación se muestra un ejemplo de como mostrar los resultados de un cuadro. **En el cuadro I se resumen todos los datos experimentales obtenidos para el piso de ruido en dBm para un rango de frecuencias de 500 hasta 1000 kHz en incremento de 100 kHz respectivamente.**

Cuadro I  
TENDENCIA DEL PISO DE RUIDO EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA

Frecuencia (kHz)	Piso de Ruido (dBm)
500	1.2239
600	1.4576
700	1.9860
800	1.5680
900	1.2370
1000	1.5680

#### IV. CONCLUSIONES

En la sección de conclusiones, es importante responder de manera sistemática los objetivos de la práctica dirigida

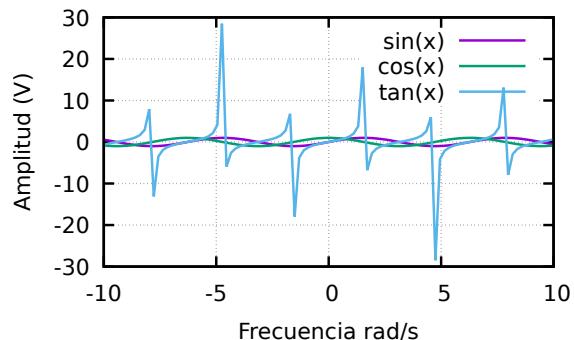


Figura 1. Relación de tensión-corriente para una bobina, utilizando una señal senoidal con una frecuencia de  $f = 1$  GHz.

partiendo desde el general hasta los específicos en prosa nunca en viñetas, para este tipo de documentos como tal. Además de los objetivos, de los resultados experimentales obtenidos y analizados previamente se debe concluir aspectos relevantes que ayuden a dar solidez del artículo o informe, por lo general es necesario ver comparaciones importante a nivel cuantitativo y no cualitativo evitando frases genéricas. Finalmente resultados no obtenidos ni discutidos en el artículo e informe no deberán aparecer en las conclusiones debido a que no tiene sentido alguno discutir de algo que no se llevó acabo.

#### REFERENCIAS

- [1] P. A. Moya, *Guía de Informes de Laboratorio*, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, 2018. [Online]. Available: [http://www.ie.tec.ac.cr/palvarado/LabCE/lce\\_guia\\_informe.pdf](http://www.ie.tec.ac.cr/palvarado/LabCE/lce_guia_informe.pdf)

### 1.1.7 Instalación del software EAGLE

## Guía de instalación de EAGLE

Profesor:  
Ing. Sergio Arriola Valverde, M.Sc

Revisado por:  
Ing. Sergio Arriola Valverde, M.Sc

### Resumen

Esta guía tiene como objetivo explicar de manera básica la instalación del software para diseño de circuitos impresos (PCB) EAGLE. La instalación de ésta herramienta permitirá acceder a proyectos tales como esquemáticos y plataformas impresas ó (boards), entre otros [4].

### Procedimiento

Para la instalación del software EAGLE, será necesario que revise lo siguiente:

1. Es necesario que se revise la distribución del sistema operativo de la computadora donde se va a instalar la herramienta. En la figura 6 se muestran los requisitos según el fabricante según el sistema operativo.

Requisitos del sistema de Autodesk EAGLE	
Sistema operativo	Requisitos
Windows	Se requiere Microsoft® Windows® 7 o posterior. EAGLE de 64 bits requiere un sistema operativo de 64 bits.
Linux	Linux® basado en el kernel 2.6 para equipos Intel, X11 con una profundidad de color mínima de 8 bpp y las bibliotecas en tiempo de ejecución libssl.so.1.0.0, libcrypto.so.1.0.0 y CUPS para la impresión. La versión de 64 bits de EAGLE requiere un sistema operativo de 64 bits y libc.so.6 con la versión secundaria GLIBC_2.14 o posterior.
Mac	Apple® Mac OS® X 10.10 o posterior para equipos Intel.
Todos los sistemas operativos	Una resolución gráfica mínima de 1024 x 768 píxeles y, preferiblemente, un ratón con rueda de 3 botones.

Figura 6: Requerimientos del software Eagle según el distribuidor

2. Acceda y descargue el software EAGLE que esta disponible según la versión de su sistema operativo en el siguiente enlace: <https://www.autodesk.com/products/eagle/free-download>
3. Cuando la instalación este lista en su computador, si utiliza un sistema Windows podrá acceder al botón de Inicio y digitar el nombre *EAGLE* y saldrá el acceso al software como se muestra en la figura 7.
4. Al acceder al programa una vez que se le da click a la aplicación la misma deberá abrir y mostrar una ventana principal según se muestra en la figura 8.
5. Al instalar la herramienta es posible hacer una activación a nivel educacional es por ello que se deberá inscribir en el siguiente enlace: <https://www.autodesk.com/education/free-software/eagle> **Es importante que la suscripción pueda ser con dominio de correo que proporciona el ITCR al estudiante.**
6. Finalmente puede acceder con sus credenciales al software donde se puede registrar con nombre de usuario y contraseña establecida en el registro. En la figura 9 se muestra el registro de credenciales en el software EAGLE.

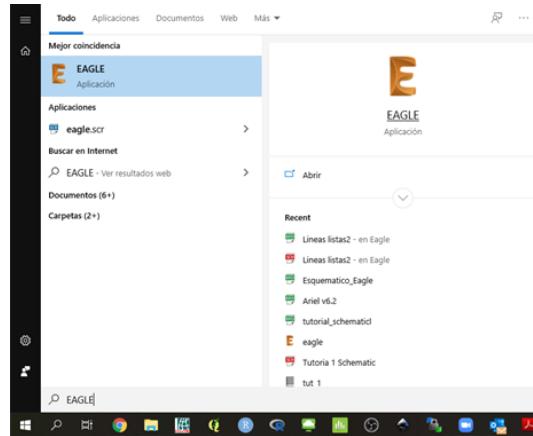


Figura 7: Acceso al software EAGLE en Windows

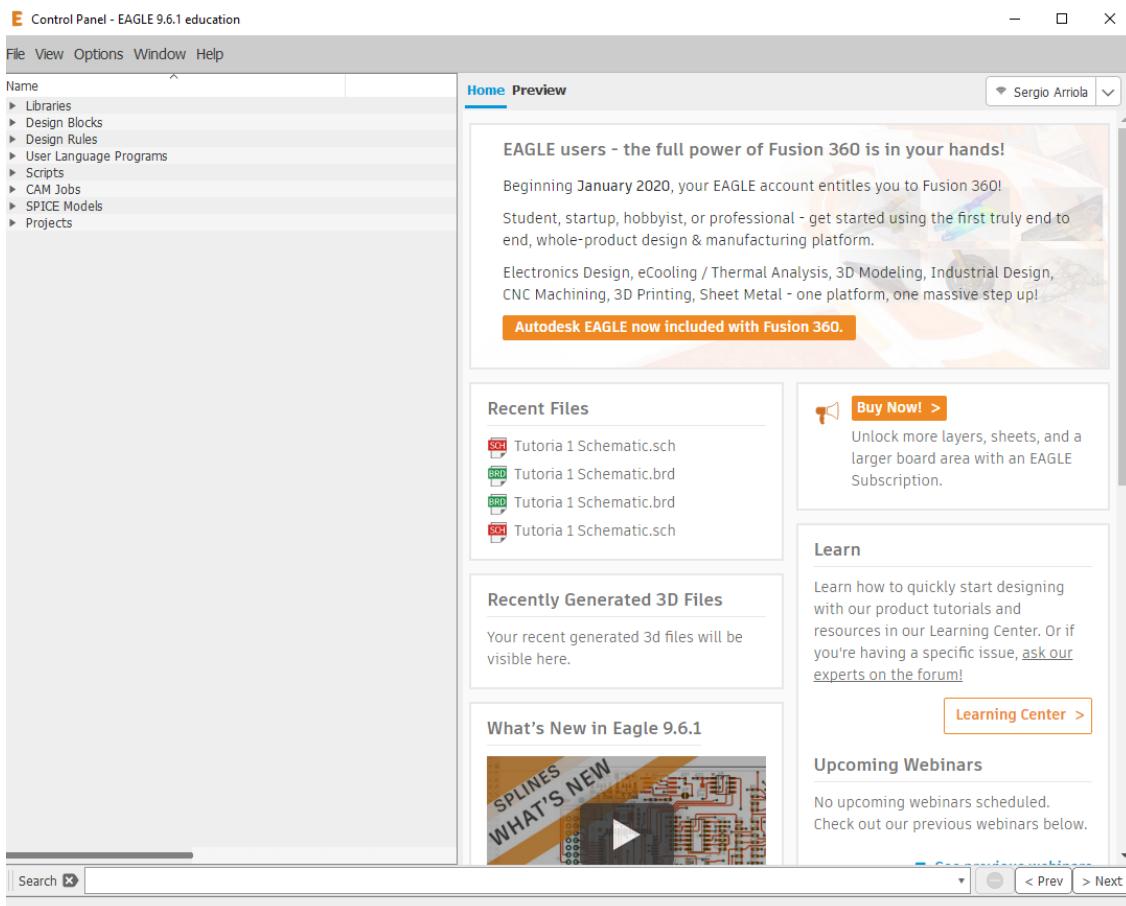


Figura 8: Panel frontal de EAGLE



Figura 9: Acceso de credenciales en la herramienta EAGLE

## Referencias

- [1] Matlab, “Matlab Examples,” 2020, Accesado Mayo 2020. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/examples.html>
- [2] LabAlive, “Examples,” 2020, Accesado Agosto 2020. [Online]. Available: <https://www.eti.unibw.de/labalive/>
- [3] NJIT, “Laboratory Manuals,” 2020, Accesado Mayo 2020. [Online]. Available: <http://ecelabs.njit.edu/>
- [4] Autodesk, “PCB Design & Schematic Software — EAGLE — Autodesk,” 2018, Accesado Mayo 2020. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>