



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS  
POTOSÍ**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**PRÁCTICAS DE PROPAGACIÓN A GRAN ESCALA  
Y DESVANECIMIENTOS A PEQUEÑA ESCALA EN  
COMUNICACIONES INALÁMBRICAS**

**DR. MARCO AURELIO CÁRDENAS JUÁREZ**

# PREFACIO

En la actualidad, las labores de formación de especialistas de alto perfil en el área de Ingeniería en Telecomunicaciones requiere de una gama flexible de actividades que van desde el trabajo teórico hasta la implementación y desarrollo de prototipos funcionales a partir del conocimiento adquirido en el aula. Esto último, derivado de la creciente necesidad de articular la cooperación entre actores que son parte del escenario de la innovación como lo son el gubernamental, industrial, académico y social. Para lograrlo, es preciso contar con una base experimental sólida para proporcionar al estudiante una educación congruente con las demandas actuales de la academia e industria. Además, para conseguir la formación de Ingenieros en Telecomunicaciones de alta calidad es necesario fomentar la enseñanza en nuevas tecnologías que resuelvan problemas abiertos en su área de especialidad de acuerdo con las tendencias globales.

Particularmente, las comunicaciones inalámbricas son un área de rápido crecimiento que está impulsando fuertemente el desarrollo y la innovación en nuestra manera de comunicarnos, y promete impactar significativamente en todos los sectores de las tecnologías de comunicación. En la actualidad, el entorno laboral de la Ingeniería en Telecomunicaciones requiere personal con el conocimiento, las habilidades y las herramientas necesarias para abordar los distintos aspectos que imponen las comunicaciones inalámbricas a nivel sistema y a nivel práctico. El desarrollo de comunicaciones inalámbricas necesariamente implica un conjunto de disciplinas que incluyen el electromagnetismo, ingeniería de radio-frecuencia (RF), sistemas de comunicación, tratamiento digital de señales, sistemas integrados (embebidos), programación de computadoras e ingeniería de sistemas, entre otras.

En el plan de estudios de Ingeniería en Telecomunicaciones, además de cubrir todos estos aspectos, se incluye un curso dedicado a las comunicaciones inalámbricas con el objetivo de fungir como un medio integrador que facilite el pensamiento sistémico y la interiorización de los conocimientos aprendidos en estas áreas.

Considerando las premisas anteriores, las prácticas de este manual se enfocan en conceptos fundamentales de la propagación de señales de RF a gran escala y en los desvanecimientos a pequeña

escala de las comunicaciones inalámbricas. Lo anterior tiene el objetivo de introducir a los estudiantes de manera sencilla y práctica en la teoría de la propagación de señales RF para integrar e interiorizar estos conceptos que suelen parecer (particularmente) muy complejos entre los estudiantes de los últimos semestres de la carrera.

En este manual se presentan cuatro prácticas de comunicaciones inalámbricas que cubren los conceptos fundamentales de tasa señal/ruido (SNR, por sus siglas en inglés) y tasa de errores de bit (BER, por sus siglas en inglés), fundamentos teóricos y prácticos de propagación a gran escala, fundamentos prácticos de desvanecimientos a pequeña escala y finalmente, los efectos de los canales inalámbricos multi-trayecto en una red de área local inalámbrica (WLAN, por sus siglas en inglés).

# Contenido

0. Introducción .....	6
0.1 Guía para presentar los informes de las prácticas .....	7
0.2 Información adicional sobre la presentación de informes de laboratorio.....	8
Práctica 1: Relación entre BER y SNR. ....	9
1.1 Introducción .....	9
1.2 Objetivos .....	9
1.3 Material .....	9
1.4 Procedimiento .....	9
1.5 Referencias.....	12
1.6 Rúbrica .....	13
Práctica 2: Efectos de propagación a gran escala.....	14
2.1 Introducción .....	14
2.2 Objetivos .....	14
2.3 Material .....	14
2.4 Procedimiento .....	14
2.5 Referencias.....	15
2.6 Rúbrica .....	16
Práctica 3: Efectos de desvanecimientos a pequeña escala. ....	17
3.1 Introducción .....	17
3.2 Objetivo.....	17
3.3 Material .....	17
3.4 Procedimiento .....	17
3.5 Referencias.....	19
3.6 Rúbrica .....	20
Práctica 4: Efectos de un canal multi-trayecto en redes WLAN. ....	21
4.1 Introducción .....	21
4.2 Objetivos .....	21
4.3 Material .....	21
4.4 Procedimiento .....	21
4.5 Referencias.....	23
4.6 Rúbrica .....	24



# 0. Introducción

En las últimas décadas, la sociedad ha experimentado el continuo desarrollo exhibido por las redes y tecnologías inalámbricas, las cuales han revolucionado la forma de comunicarnos, convirtiendo al mundo en un lugar más pequeño días tras día. La clave fundamental detrás del éxito de las comunicaciones inalámbricas es precisamente el hecho de que los dispositivos de comunicación involucrados no dependen de una línea de transmisión tangible (como el cable par trenzado o la fibra óptica), lo que les permite un gran rango de movilidad; haciendo más atractivos su uso y aplicaciones.

Sin embargo, el medio de transmisión inalámbrico (i.e. el canal de comunicación) tiene una naturaleza estocástica, además de que la transmisión de señales a través de ellos está sujeta a los efectos nocivos del ruido aditivo, blanco y Gaussiano (AWGN, por sus siglas en inglés), atenuaciones y distorsiones. Lo anterior provoca deterioros a la señal que pueden hacer imposible la comunicación entre un transmisor y un receptor inalámbrico.

Dado que el fin último del Ingeniero en Telecomunicaciones es llevar información entre dos puntos con suficiente calidad para ser comprendida por el receptor, resulta fundamental entender de forma precisa la propagación de las señales en canales inalámbricos. Particularmente, estos temas resultan (en la mayoría de los casos) muy difíciles de comprender por los estudiantes de licenciatura; pues su estudio involucra un buen dominio de las matemáticas, haciendo más difícil comprender la utilidad práctica de las mismas. Por lo anterior, los estudiantes requieren de actividades prácticas que refuercen los conocimientos teóricos de las comunicaciones inalámbricas.

En este manual se incluyen seis prácticas que están enfocadas a la comprensión de la propagación de señales a gran escala y los efectos de los desvanecimientos a pequeña escala en comunicaciones inalámbricas. Para ello se utilizan simulaciones en Matlab y herramientas gratuitas de software en línea que implementan los modelos teóricos utilizando datos de entornos reales. Además, se presentan dos prácticas de laboratorio para caracterizar los efectos de la propagación a gran escala y de canales con desvanecimientos. Se espera que estas sean de utilidad en la formación profesional de estudiantes de comunicaciones inalámbricas.

Estas prácticas están diseñadas para ser realizadas individualmente o en grupos de no más de tres personas, según se indique. Todas las prácticas presentadas en este manual requieren de la presentación de un informe escrito, el que será evaluado de acuerdo con la rúbrica que se incluye al

final de cada práctica. Este informe debe apegarse estrictamente al formato de presentación de informes, cuya guía de elaboración se introduce a continuación.

## 0.1 Guía para presentar los informes de las prácticas

Los informes formales de las prácticas deben ser escritos en papel tamaño carta y deben contener las siguientes secciones cuidando de no exceder el límite de número de páginas específico en cada práctica de laboratorio.

- **Portada:**  
Título del experimento o práctica, nombre de los autores (máximo tres en prácticas por equipo) y matrículas de estudiante. Carrera a la que pertenecen. Fecha en que se entrega del informe. Nombre del instructor.
- **Objetivos y metas**  
¿Cuál fue el propósito del experimento? ¿Qué se suponía que revelaría?
- **Introducción / Teoría**  
La introducción debe dar algunos antecedentes sobre el problema que su experimento investigó. La sección de teoría presenta modelos teóricos, ecuaciones, principios físicos, etc., que son relevantes para la investigación descrita en el informe. Debe estar dentro de una página.
- **Materiales**  
Lista de todos los materiales y equipos necesarios para completar el experimento.
- **Método / Procedimiento<sup>1</sup>**  
Describa los pasos que usted llevó a cabo durante su investigación. No se limite a copiar las instrucciones dadas en la práctica de laboratorio. Usted necesita describir lo que hizo. Haga buen uso de diagramas, dibujos o fotografías para mostrar aspectos importantes del diseño, cableado o conexiones.
- **Resultados experimentales y explicaciones**  
Presente sus resultados y resuma los datos mediante gráficos y cuadros. Cada figura **DEBE** ir numerada y acompañada de un “pie de figura” o “leyenda” que explique el contenido de la figura. Cada cuadro **DEBE** ir numerado y acompañado con un “encabezado de cuadro” que explique el contenido del cuadro, aclarando las posibles abreviaturas o símbolos utilizados en la misma. Evite incluir muchas figuras y cuadros en esta sección sin ninguna explicación intentando llenar un número más grande de páginas. Una regla básica en la escritura de informes es que **todos los cuadros y todas las figuras deben ser mencionados en el texto**. Es decir, cuando se hace referencia en el informe a la información que se presenta en forma de cuadro o de figura, debe mencionarse específicamente en qué cuadro o figura puede encontrarse dicha información. De otro modo, no hay relación entre el texto y los cuadros o figuras, quedando convertidas en

---

<sup>1</sup> La metodología se refiere al estudio o tratado del método. En cambio, de acuerdo con la Real Academia Española (RAE), el método es el procedimiento que se sigue en las ciencias para hallar la verdad y enseñarla. No utilice la palabra metodología en esta sección de su informe.

elementos sin sentido en el informe, y por lo tanto inútiles. En los informes de laboratorio, lo mejor es ubicar las figuras y cuadros dentro del texto (de preferencia en la misma página en donde se mencionan) en lugar de agruparlas juntas al final del informe.

- **Discusión**

Discutir el significado y la importancia de los resultados experimentales, comparar los resultados con las predicciones teóricas, describir la exactitud de los resultados, la resolución de discrepancias, y en última instancia, llegar a conclusiones en cuanto a los objetivos del experimento.

- **Conclusiones y Recomendaciones**

Esta sección resume las conclusiones que se han hecho y da recomendaciones específicas para los próximos pasos que podrían tomarse en experimentos posteriores o futuras investigaciones.

- **Referencias**

Si la investigación se basó en el trabajo de otra persona o si citó hechos que requieren la documentación, entonces usted debe hacer una lista de estas referencias.

## 0.2 Información adicional sobre la presentación de informes de laboratorio

Dr. Sandra Dudley, Typical Lab report contents

BJ Furman, Laboratory Report Guidelines



# Práctica 1: Relación entre BER y SNR.

## 1.1 Introducción

La razón señal/ruido (SNR, por sus siglas en inglés) y la tasa de errores de bit (BER, por sus siglas en inglés) son dos métricas utilizadas para evaluar el desempeño de los sistemas de comunicaciones. La SNR se obtiene al dividir la potencia de la señal recibida entre la potencia del ruido y es común expresarla en decibelios (dB) por simplicidad. Por otro lado, la BER se obtiene experimentalmente al transmitir una trama de bits a través de un canal de comunicaciones y posteriormente contando el número de bits que llegaron con errores al receptor. De esta forma, la BER se obtiene dividiendo el número de bits con errores entre el número total de bits transmitidos. Existe una relación intrínseca entre BER y SNR, pues obviamente cuando una transmisión se realiza a través de un canal muy ruidoso (i.e. SNR es un valor muy pequeño) existen más errores de bit. Por lo tanto, la BER está en función de la SNR. En esta práctica se analiza el desempeño de dos sistemas de comunicaciones inalámbricos utilizando estas métricas.

## 1.2 Objetivos

Que el alumno investigue y entienda la relación que existe entre BER y SNR y su empleo en el análisis del desempeño de los sistemas inalámbricos.

## 1.3 Material

Computadora con el software MATLAB, *Simulink* con acceso al *Communications Blockset*.

## 1.4 Procedimiento

- Iniciar MATLAB haciendo doble clic en el ícono del programa.
- Teclar ***commhiperlan2*** en la línea de comandos de MATLAB para abrir el modelo llamado ***commhiperlan2***. Después, guardar el modelo como ***xx\_hiperlan*** en el directorio en el cual guarde sus archivos de trabajo. (xx podría ser su primer nombre).

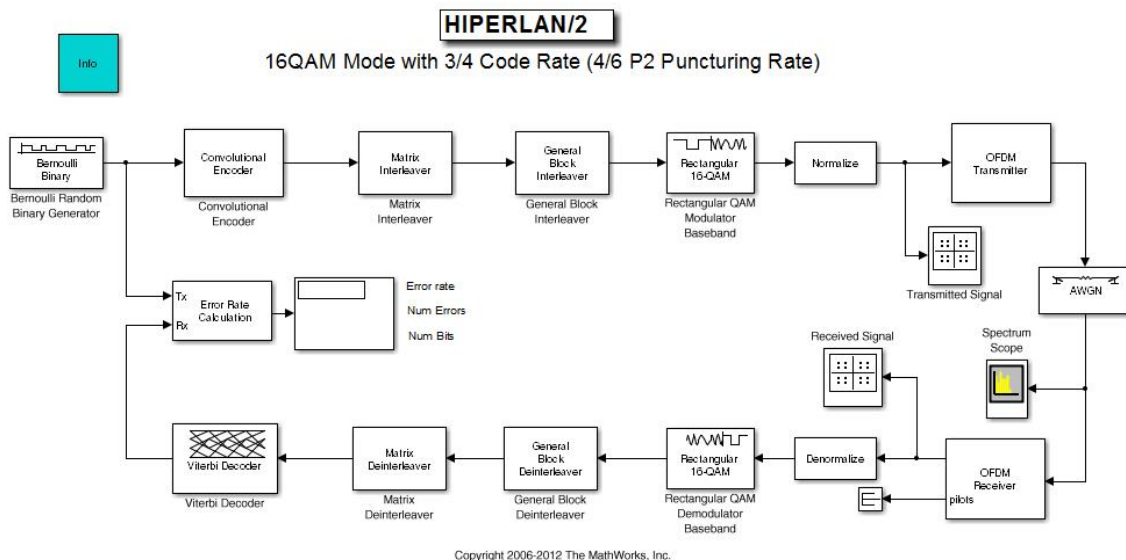


Figura 1.1 Modelo HIPERLAN/2 en Matlab Simulink.

- Hacer doble clic en el bloque llamado **AGWN**. Registrar el SNR pre establecido en su libreta de trabajo. Ejecutar el modelo haciendo doble clic en el botón ejecutar de la barra de herramientas. Grabar la lectura de la tasa de error que se muestra en el bloque de pantalla. Cambiar la configuración del SNR para obtener la tendencia del BER. Obtener una gráfica del BER contra el SNR.

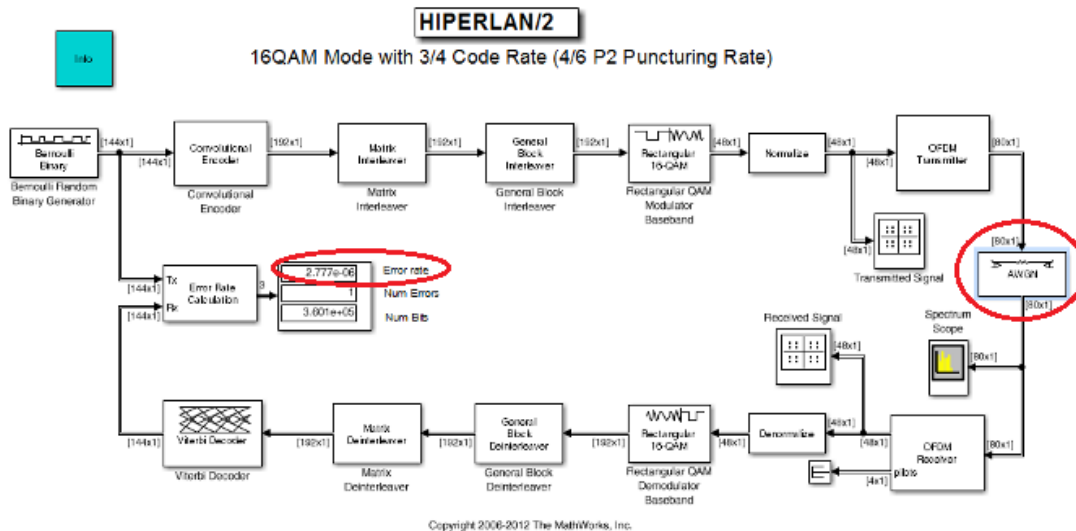


Figura 1.2 Detalle del Modelo HIPERLAN/2 en Matlab Simulink.

Actividades:

- Explique con detalle qué es HIPERLAN/2
  - ¿Qué es el SNR? ¿Qué es el BER? ¿Cuál es la relación entre el BER y el SNR?
  - Obtener una gráfica del BER contra el SNR para este sistema de comunicación y explique su resultado.
- Teclrear *commbluetoothvoice* en la línea de comandos de MATLAB para abrir el modelo llamado **Bluetooth Voice Transmission**. Después, guardar el modelo como xx\_bluetooth en el directorio donde guarda sus archivos de trabajo. (xx podría ser su nombre)
  - Hacer doble clic en el bloque llamado **802.11b**, desactivar la opción *Turn On 802.11*. Esto apagará la interfaz Wi-Fi. Ejecutar el modelo haciendo clic en el botón ejecutar de la barra de herramientas. Cerrar las ventanas emergentes. Hacer doble clic en el botón **Open Scopes** en el bloque llamado **Error Rate Display Block**. Debería ver 0 FER en el receptor Rx, esto debido a que el AWGN y el 802.11 están apagados.

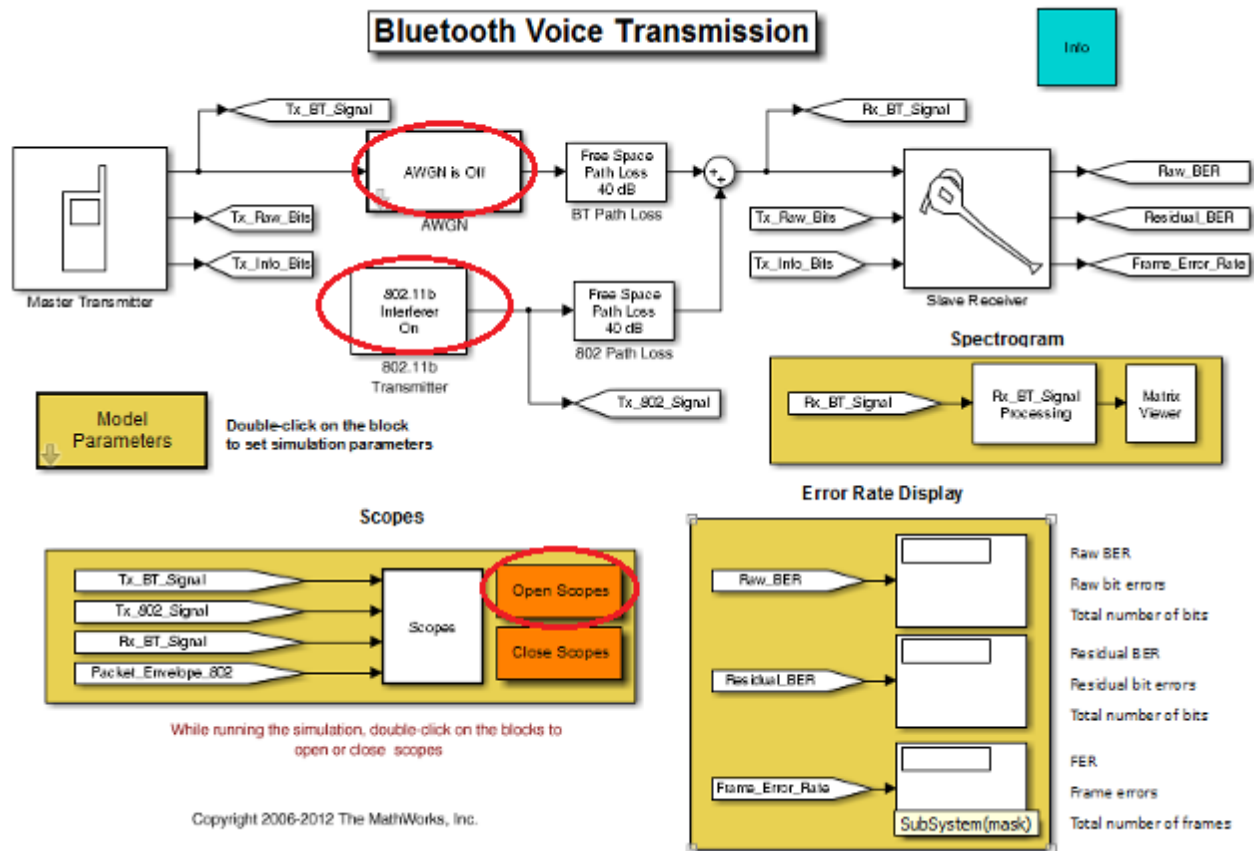


Figura 1.3 Modelo Bluetooth en Matlab Simulink.

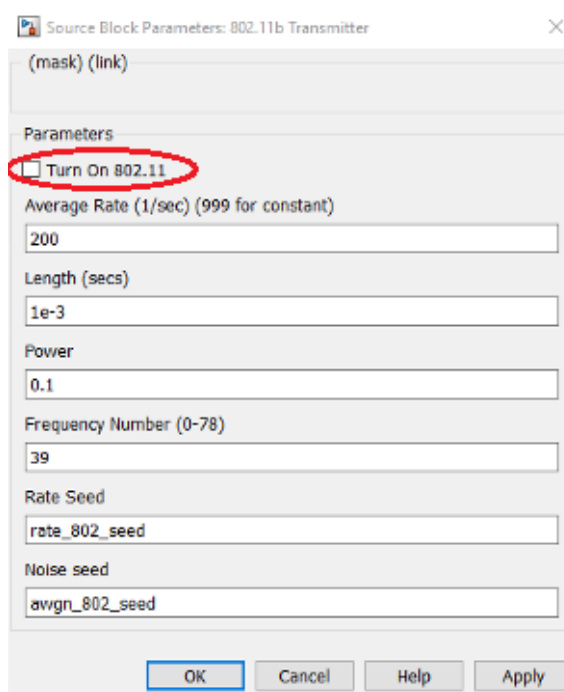


Figura 1.4 Detalle del modelo Bluetooth en Matlab Simulink.

- Activar el bloque 802.11b. Escoger un número de frecuencia diferente (0 – 78) para verificar el FER recibido.
- Apagar el bloque **802.11b**. Encender el bloque **AWGN**. Investigar la relación entre  $E_s/N_0$  y **FER**. Cambiar el valor de  $E_s/N_0$  de 5 a 10 cada 0.5 (o inclusive menor). Desplegar la gráfica.
- Establecer el  $E_s/N_0$  en el bloque **AWGN** a 10. Hacer doble clic en el bloque llamado **Master Transmitter**, luego en el bloque llamado **Encode and modulate**, después en el bloque **GFSK Modulate and Frequency Hop** y finalmente en el bloque llamado **Free Space Path Loss**. Cambie el **Loss (dB)** entre 30 a 35. Registrar los resultados de la simulación y hacer la gráfica.

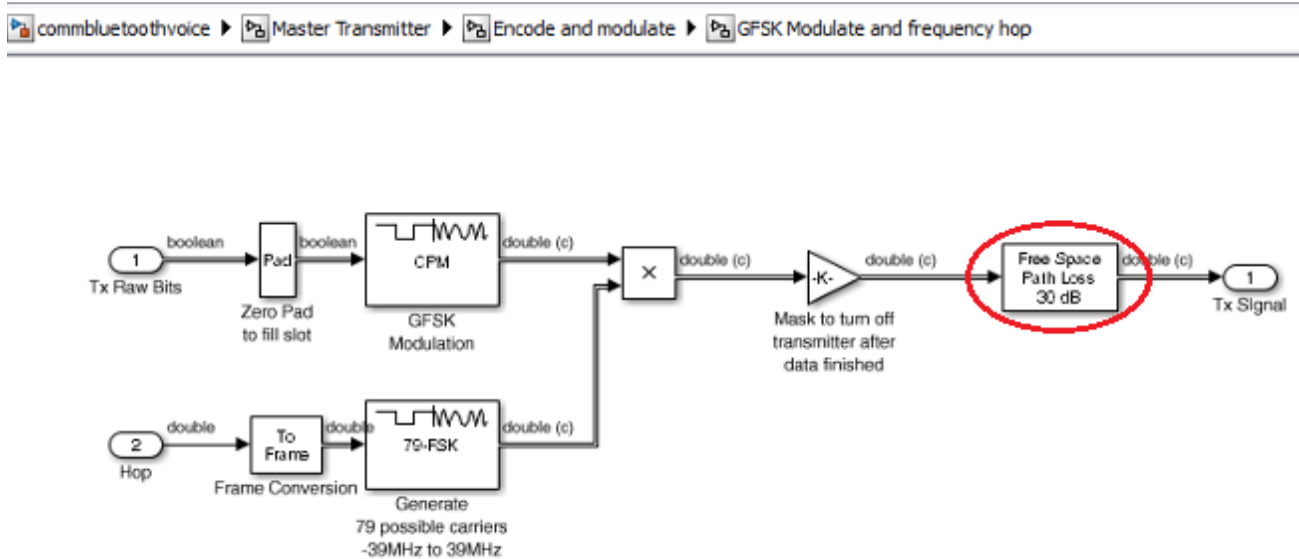


Figura 1.4 Detalle del bloque Free Space Path Loss en el modelo Bluetooth en Matlab Simulink.m

➤ ¿Cómo interfiere el 802.11 con Bluetooth?

## 1.5 Referencias

- MATLAB R2007b Help file.
- Theodore Rappaport, “Wireless Communications: Principles and Practice,” 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall PTR Upper Sadle River, NJ, USA, 2001
- Simon O. Haykin and Michael Moher, “Modern Wireless Communications,” Prentice Hall PTR Upper Sadle River, NJ, USA, 2005

## 1.6 Rúbrica

Llenar por el/los estudiante(s). Indicar nombre completo y clave única

Estudiante 1: \_\_\_\_\_

Estudiante 2: \_\_\_\_\_

Estudiante 3: \_\_\_\_\_

Seleccione una de las siguientes alternativas:

Estudiante 1 trabajó solo, no hay estudiante 2 ni estudiante 3.

Estudiante 1 y 2 trabajaron solos, no hay estudiante 3.

(Los siguientes campos son llenados por el profesor)

	Aprobado	Reprobado
Longitud del reporte (número de páginas)	menor o igual a 6 <input type="checkbox"/>	mayor que 6 <input type="checkbox"/>
Número de autores	menor o igual a 3 <input type="checkbox"/>	mayor que 3 <input type="checkbox"/>
Se especificó el/los nombre(s) del (los) autor(e)s y su clave única	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
El texto es fácil de seguir y el lenguaje es correcto	Sí <input type="checkbox"/>	La mayoría <input type="checkbox"/>
Los resultados y conclusiones son claramente especificadas	Sí <input type="checkbox"/>	Algunas veces <input type="checkbox"/>
Los resultados son correctos	Sí <input type="checkbox"/>	Solo algunos <input type="checkbox"/>
La extensión del trabajo es satisfactoria	Sí <input type="checkbox"/>	Solo algunos <input type="checkbox"/>
Los resultados pueden ser reproducidos	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Las matemáticas/teoría son correctas	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Resultado: _____	A <input type="checkbox"/>	R <input type="checkbox"/>

Firma:

# Práctica 2: Efectos de propagación a gran escala.

## 2.1 Introducción

En esta práctica se introduce el método para caracterizar los efectos de propagación a gran escala en sistemas inalámbricos de comunicaciones.

## 2.2 Objetivos

- Implementar el método usado para caracterizar la pérdida de propagación a gran escala en los sistemas inalámbricos.
- Caracterizar un ambiente inalámbrico a 915 MHz o 2.4 Ghz usando datos reales y el modelo de sombreado log-normal.

## 2.3 Material

- Generador de señales de radio frecuencia portátil
- Analizador de espectro portátil
- 2 antenas omnidireccionales
- Flexómetro (cinta para medir)

## 2.4 Procedimiento

Como actividad previa, seleccione el ambiente que desea caracterizar en este experimento. El ambiente puede ser en interiores o exteriores pero debe ser relativamente homogéneo sobre el rango en el cual se realizaran las mediciones (100-200 pies). Describa la configuración de la prueba a detalle (frecuencia, altura del transmisor, altura del receptor, descripción del ambiente). ¿Qué tipo de aplicación podría operar en este ambiente? Prepare la hoja de datos en la que guardará sus datos. Contacte al instructor para notificarle lo que planea hacer. Es preferible que sea en persona, de tal forma que cualquier modificación pueda hacerse en el momento.

La tarea es caracterizar los efectos de propagación a gran escala del ambiente que escogió. Se usarán antenas omnidireccionales tanto en el transmisor como en el receptor, permitiendo así comenzar las mediciones relativamente cerca (~ 3 metros). Debería planear realizar mediciones en alrededor de 50 puntos de datos sobre un rango de distancias grande. Por ejemplo, puede configurar el transmisor en la frecuencia central del ambiente que desea caracterizar y luego medir los valores de la señal Norte, Sur, Este, y Oeste de este punto en distancias entre 3 a 50 metros a intervalos de 3 metros. Cuando realice las mediciones, tome gran cuidado en solo variar la distancia entre el transmisor y el receptor. Esto es, la altura del suelo y la polarización de la antena deben permanecer fijas en cada punto.

- Conecte la antena omnidireccional al generador de señales RF. Configure el generador para una frecuencia de 915 MHz (o 2.4 Ghz) y una potencia de salida de 0 dBm. Configure el analizador de espectros para una frecuencia central de 915 MHz (o 2.4 Ghz) y un ancho de banda de 5 MHz. Recolecte sus datos.
- Ingrese sus datos en una hoja de datos de Excel para determinar los coeficientes del

modelo log-shadowing. Use sus datos para generar una gráfica de dispersión log-distance.

- Escribir de dos a tres páginas de discusión del experimento de laboratorio, incluyendo cuáles fueron los conceptos claves demostrados en el laboratorio, qué dificultades tuvo (si existieron) al realizar el experimento y por qué. ¿Qué se aprendió que fuera especialmente intrigante? Específicamente, compare los coeficientes usados para caracterizar su ambiente con aquellos de otros ambientes (i.e., del texto o de los artículos de referencia). Añada a su informe la hoja de datos original en la cual guardó todas las mediciones de campo.

## 2.5 Referencias

- Theodore Rappaport, “Wireless Communications: Principles and Practice,” 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall PTR Upper Sadle River, NJ, USA, 2001
- Simon O. Haykin and Michael Moher, “Modern Wireless Communications,” Prentice Hall PTR Upper Sadle River, NJ, USA, 2005

## 2.6 Rúbrica

Llenar por el/los estudiante(s). Indicar nombre completo y clave única

Estudiante 1: \_\_\_\_\_

Estudiante 2: \_\_\_\_\_

Estudiante 3: \_\_\_\_\_

Seleccione una de las siguientes alternativas:

Estudiante 1 trabajó solo, no hay estudiante 2 ni estudiante 3.

Estudiante 1 y 2 trabajaron solos, no hay estudiante 3.

(Los siguientes campos son llenados por el profesor)

	Aprobado	Reprobado
Longitud del reporte (número de páginas)	menor o igual a 6 <input type="checkbox"/>	mayor que 6 <input type="checkbox"/>
Número de autores	menor o igual a 3 <input type="checkbox"/>	mayor que 3 <input type="checkbox"/>
Se especificó el/los nombre(s) del (los) autore(s) y su clave única	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
El texto es fácil de seguir y el lenguaje es correcto	Sí <input type="checkbox"/>	La mayoría <input type="checkbox"/>
Los resultados y conclusiones son claramente especificadas	Sí <input type="checkbox"/>	Algunas veces <input type="checkbox"/>
Los resultados son correctos	Sí <input type="checkbox"/>	Solo algunos <input type="checkbox"/>
La extensión del trabajo es satisfactoria	Sí <input type="checkbox"/>	Solo algunos <input type="checkbox"/>
Los resultados pueden ser reproducidos	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Las matemáticas/teoría son correctas	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Resultado: _____	A <input type="checkbox"/>	R <input type="checkbox"/>

Firma:



# Práctica 3: Efectos de desvanecimientos a pequeña escala.

## 3.1 Introducción

En esta práctica se introduce el método para caracterizar los efectos de los desvanecimientos a pequeña escala en sistemas inalámbricos de comunicaciones.

## 3.2 Objetivo

Caracterizar los efectos de desvanecimiento a pequeña escala de un ambiente inalámbrico a 2.4 Ghz usando los datos medidos.

## 3.3 Material

- Generador de señales de radio frecuencia portátil
- Analizador de espectros portátil
- Antenas omnidireccionales
- Antena direccional con soporte
- Flexómetro (cinta métrica)

## 3.4 Procedimiento

Como actividad previa, seleccione el ambiente inalámbrico que desea caracterizar en este experimento. Para observar los efectos de mejor manera, el ambiente seleccionado deberá ser lo más “desordenado” posible. Más aún, dado que se llevan a cabo mediciones a 2.4 GHz, se debe tratar de encontrar un escenario que sea relativamente tranquilo en términos de actividad inalámbrica en esta banda. ¿Qué tipo de aplicaciones pudieran operar en el ambiente escogido?

Su tarea es caracterizar los efectos de propagación a pequeña escala del ambiente que escogió. Se usará una antena direccional en el receptor y una antena omnidireccional en el transmisor. Debe dirigir la antena direccional de tal forma que se obtenga la mayor probabilidad de señales multi-trayecto fuertes (e.g., en las esquinas). El transmisor se debe poner a una “distancia justa” del receptor, el transmisor se moverá a cortas distancias del punto de partida y se recolectarán la potencia y los datos en banda medidos.

Configure el analizador de espectro para una frecuencia central de 2440 MHz (**Freq** > *Center Freq*) y un span de 1 MHz (**Span** > *Manual*).

Configure el generador de señales para una frecuencia central de 2440 MHz (flechas derecha/izquierda) y un nivel de potencia de +10 dBm (flechas abajo/arriba).

### **Frecuencia única, potencia contra posición, ambiente estático.**

Para este experimento, asegúrese que su ambiente sea relativamente estático.

- Capture una descripción de la configuración (e.g., diagramas o imágenes).
- Asegúrese que cuando realice las mediciones, nadie este “demasiado cerca” a alguna de las dos antenas.
- Guarde la distancia inicial del transmisor al receptor (T – R) y la potencia recibida a 2440 MHz en el Cuadro 1.
- Mueva el transmisor una distancia pequeña del punto de partida (menor a 6 pulgadas). La

dirección del movimiento debe ser en círculo alrededor del receptor de tal forma que la distancia T - R permanezca constante. Guarde la posición relativa de su punto de partida y la intensidad de la señal.

- Repita las mediciones, introduciendo los datos en el Cuadro 1.

*Análisis:*

Grafique la intensidad de la señal (dBm) contra la distancia viajada.

¿Cuál es la potencia pico y la potencia mínima medida? ¿Cuál es la potencia promedio (convierta la potencia media de dBm a mW y luego nuevamente a dBm). Marque estos tres valores en su gráfica. ¿Cuál es el máximo desvanecimiento del valor promedio (i.e., en dB, la delta entre la potencia mínima y la promedio)?

#### **Frecuencia barrida, potencia contra posición.**

- Regrese el transmisor a la posición inicial.
- Configure el analizador de espectro para una frecuencia inicial de 2400 MHz (**Freq** > *Start Freq*) y una frecuencia final de 2480 MHz (**Freq** > *Stop Freq*).
- Configure el generador de señales para barrer las frecuencias de la frecuencia inicial de 2400 MHz a la frecuencia final de 2480 MHz. Esto se realiza entrando al menú de configuración. De la misma forma, el tiempo de barrido deberá ser 50 mili segundos y el paso de barrido deberá ser 100 kHz. Habilite el barrido. La pantalla del PSG deberá indicar “sweeping” y se deberá observar la portadora siendo barrida en el analizador de espectros. \*Nota: Esto debe ser todo pre-configurado y solo se deberá habilitar el barrido. Al desactivar el generador de señales se restablece para la transmisión a una sola frecuencia.
- Guarde la distancia inicial T-R.
- Configure el analizador de espectros para *max hold* (**Trace** > *Trace Mode* > *Max Hold*) y permita que el canal sea barrido. Guarde esta gráfica (**Save** > *Save* > “**filename**”).
- Mueva el transmisor a aproximadamente la posición número 6 y repita el barrido. Se necesitará limpiar el barrido actual (**Trace** > *Trace Mode* > *Clear/Write*) y después reconfigurar el *max hold*. Capture la gráfica, asegurándose de usar un nombre de archivo diferente.
- Capture tres o más mediciones en banda en aproximadamente las posiciones 11, 16 y 21. Asegúrese de guardar cada archivo con un único nombre.

#### **Frecuencia única, potencia contra posición, ambiente dinámico.**

- Para este experimento, asegúrese que su ambiente tiene un componente dinámico. Capture una descripción de la configuración (e.g., diagramas o imágenes). En este caso, no importa si hay gente cerca de la antena, ya que también puede ser un componente dinámico del medio ambiente.
- Configure el analizador de espectros para una frecuencia central de 2440 MHz y un span de 1 MHz. Configure el generador de señales a una frecuencia central de 2440 MHz y un nivel de potencia de +10 dBm.
- Guarde la distancia del punto inicial y la potencia recibida a 2440 MHz en el Cuadro 2 dejando ambos, el transmisor y el receptor estacionarios, espere un corto periodo de tiempo y guarde el nivel de potencia otra vez. Asegúrese que algo se movió en el medio ambiente. Repita las mediciones, llenando el Cuadro 2.

*Análisis:*

Grafique la intensidad de la señal (dBm) contra el tiempo.

Convierta los datos de potencia a voltaje y grafique un histograma de los voltajes recibidos.

¿Estos resultados indican un desvanecimiento de tipo Rayleigh? Justifique su respuesta.

**Cuadro 1. Nivel de potencia de la señal a 2.4 GHz en un ambiente estático sobre distancias cortas.**

**Distancia T – R para la Parte 1.** \_\_\_\_\_

Posición	Nivel	Posición	Nivel	Posición	Nivel	Posición	Nivel
6		11		16		21	
7		12		17		22	
8		13		18		23	
9		14		19		24	

**Cuadro 2. Nivel de potencia de la señal de 2.4 GHz en un ambiente dinámico sobre intervalos pequeños de tiempo.**

**Distancia T – R para la Parte 2.** \_\_\_\_\_

Tiempo	Nivel	Tiempo	Nivel	Tiempo	Nivel	Tiempo	Nivel	Tiempo	Nivel
1		6		11		16		21	
2		7		12		17		22	
3		8		13		18		23	
4		9		14		19		24	
5		10		15		20		25	
Tiempo	Nivel	Tiempo	Nivel	Tiempo	Nivel	Tiempo	Nivel	Tiempo	Nivel
26		31		36		41		46	
27		32		37		42		47	
28		33		38		43		48	
29		34		39		44		49	
30		35		40		45		50	

### 3.5 Referencias

- Theodore Rappaport, “Wireless Communications: Principles and Practice,” 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall PTR Upper Sadle River, NJ, USA, 2001
- Simon O. Haykin and Michael Moher, “Modern Wireless Communications,” Prentice Hall PTR Upper Sadle River, NJ, USA, 2005

### 3.6 Rúbrica

Llenar por el/los estudiante(s). Indicar nombre completo y clave única

Estudiante 1: \_\_\_\_\_

Estudiante 2: \_\_\_\_\_

Estudiante 3: \_\_\_\_\_

Seleccione una de las siguientes alternativas:

Estudiante 1 trabajó solo, no hay estudiante 2 ni estudiante 3.

Estudiante 1 y 2 trabajaron solos, no hay estudiante 3.

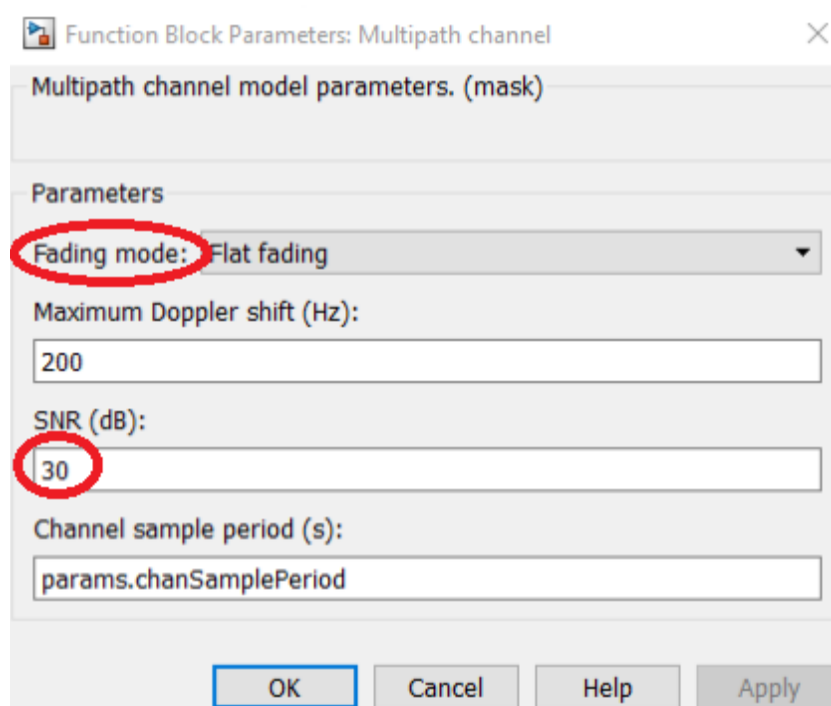
(Los siguientes campos son llenados por el profesor)

	Aprobado	Reprobado
Longitud del reporte (número de páginas)	menor o igual a 6 <input type="checkbox"/>	mayor que 6 <input type="checkbox"/>
Número de autores	menor o igual a 3 <input type="checkbox"/>	mayor que 3 <input type="checkbox"/>
Se especificó el/los nombre(s) del (los) autor(e)s y su clave única	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
El texto es fácil de seguir y el lenguaje es correcto	Sí <input type="checkbox"/>	La mayoría <input type="checkbox"/>
Los resultados y conclusiones son claramente especificadas	Sí <input type="checkbox"/>	Algunas veces <input type="checkbox"/>
Los resultados son correctos	Sí <input type="checkbox"/>	Solo algunos <input type="checkbox"/>
La extensión del trabajo es satisfactoria	Sí <input type="checkbox"/>	Solo algunos <input type="checkbox"/>
Los resultados pueden ser reproducidos	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Las matemáticas/teoría son correctas	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Resultado: _____	A <input type="checkbox"/>	R <input type="checkbox"/>

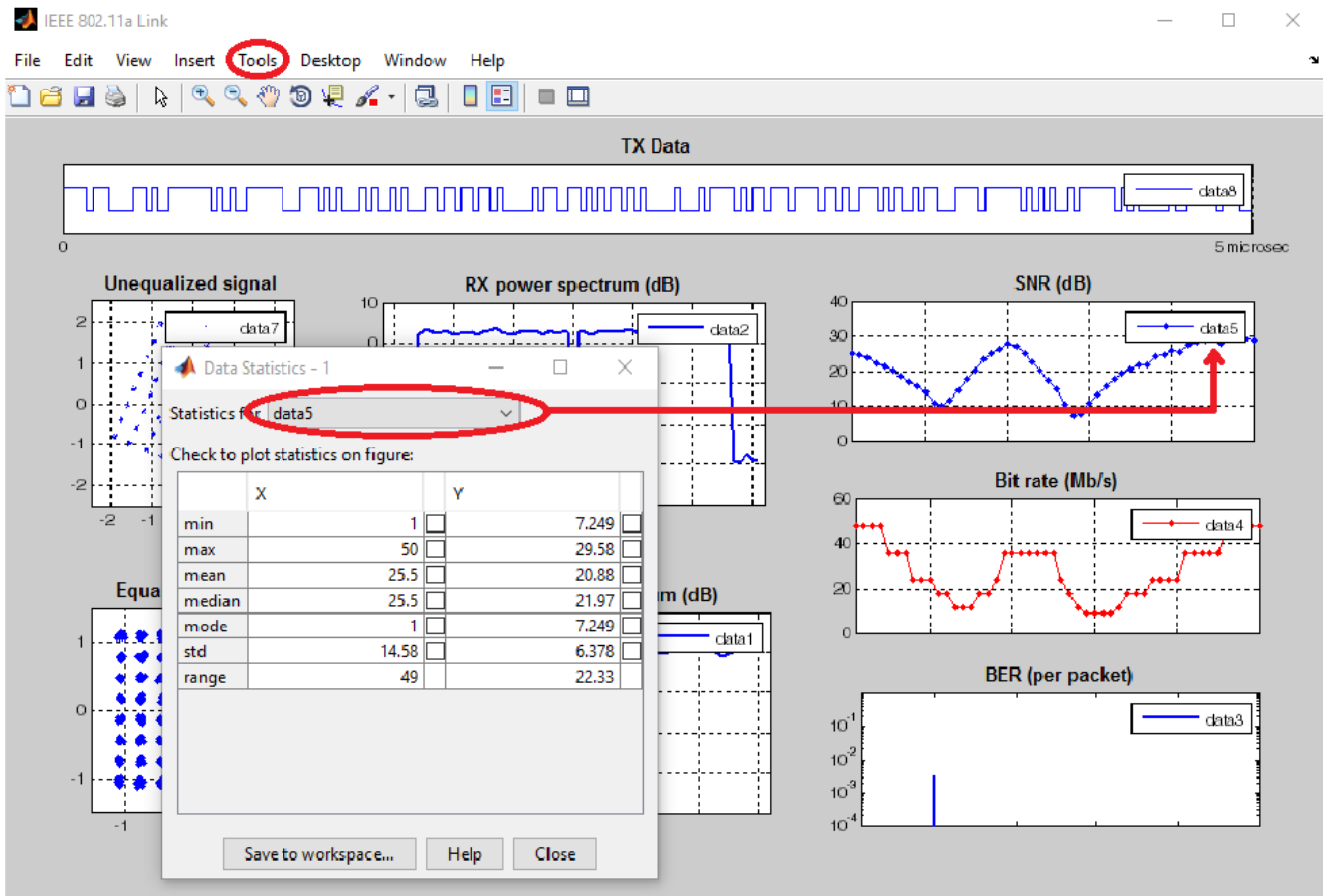
Firma:



- Hacer doble clic en el bloque llamado **Multipath Channel**. Escoger **No Fading** en la opción Fading Mode. Establecer el SNR a 30 dB. Dar clic en Apply y después en OK.



- Ejecutar el modelo haciendo clic en el botón ejecutar de la barra de herramientas. Guardar la lectura de **PER (%)** y **Bit Rate (Mb/s)**.
- Mientras que el modelo se esté ejecutando, hacer doble clic en el bloque **Signal Visualization** para abrir una visualización en tiempo real. Es de gran ayuda entender los efectos del desvanecimiento. Después de la simulación, se puede hacer clic en Tools, Data Statistics, data 5 (SNR) o data 4 (Bit rate) o data 3 (BER). Guardar el valor medio. (Se pueden tomar las mediciones después de ejecutar el programa durante 1 minuto y después para la ejecución. Esperar a que termine la simulación toma tiempo)



- Cambiar a **Flat fading** y **Dispersive fading**, respectivamente. Guardar y graficar el BER contra el SNR y BER contra Bit Rate. (Debido al desvanecimiento, el valor del tiempo real is variable. Se puede usar el promedio de **Data Statistics**.)

Pregunta 2. Explique los siguientes términos:

- Desvanecimiento.
- Desvanecimiento plano.
- Desvanecimiento dispersivo.

#### 4.5 Referencias

- MATLAB R2007b Help file.
- Theodore Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice," 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall PTR Upper Sadle River, NJ, USA, 2001
- Simon O. Haykin and Michael Moher, "Modern Wireless Communications," Prentice Hall PTR Upper Sadle River, NJ, USA, 2005

## 4.6 Rúbrica

Llenar por el/los estudiante(s). Indicar nombre completo y clave única

Estudiante 1: \_\_\_\_\_

Estudiante 2: \_\_\_\_\_

Estudiante 3: \_\_\_\_\_

Seleccione una de las siguientes alternativas:

Estudiante 1 trabajó solo, no hay estudiante 2 ni estudiante 3.

Estudiante 1 y 2 trabajaron solos, no hay estudiante 3.

(Los siguientes campos son llenados por el profesor)

	Aprobado	Reprobado
Longitud del reporte (número de páginas)	menor o igual a 6 <input type="checkbox"/>	mayor que 6 <input type="checkbox"/>
Número de autores	menor o igual a 3 <input type="checkbox"/>	mayor que 3 <input type="checkbox"/>
Se especificó el/los nombre(s) del (los) autor(e)s y su clave única	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
El texto es fácil de seguir y el lenguaje es correcto	Sí <input type="checkbox"/>	La mayoría <input type="checkbox"/>
Los resultados y conclusiones son claramente especificadas	Sí <input type="checkbox"/>	Algunas veces <input type="checkbox"/>
Los resultados son correctos	Sí <input type="checkbox"/>	Solo algunos <input type="checkbox"/>
La extensión del trabajo es satisfactoria	Sí <input type="checkbox"/>	Solo algunos <input type="checkbox"/>
Los resultados pueden ser reproducidos	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Las matemáticas/teoría son correctas	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Resultado: _____	A <input type="checkbox"/>	R <input type="checkbox"/>

Firma: