



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis comparativo de los canales AWGN/Rayleigh/Rician
utilizados en sistemas OFDM**

AUTOR:

Ordeñana Garofalo, Edison Emilio

Componente práctico del examen complejo previo a la
obtención del grado de **INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador

18 de septiembre del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Ordeñana Garofalo, Edison Emilio** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

M. Sc. Pacheco Bonórrquez, Héctor Ignacio

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Ordeñana Garofalo, Edison Emilio**

DECLARÓ QUE:

El **componente práctico del examen complejo, Análisis comparativo de los canales AWGN/Rayleigh/Rician utilizados en sistemas OFDM**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

ORDEÑANA GAROFALO, EDISON EMILIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Ordeñana Garofalo, Edison Emilio**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Análisis comparativo de los canales AWGN/Rayleigh/Rician utilizados en sistemas OFDM** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

ORDEÑANA GAROFALO, EDISON EMILIO

REPORTE DE URKUND

URKUND Fernando Palacios Meléndez (edwin_palacios)

Documento	Edison_Ordeñana_EC2020A.docx (D79060068)
Presentado	2020-09-13 14:41 (-05:00)
Presentado por	fernandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión EC Edison Ordeñana Garofalo Mostrar el mensaje completo 2% de estas 17 páginas, se componen de texto presente en 6 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques	Enlace/nombre de archivo
		DISEÑO DE UNA GUI EN MATLAB PARA EVAL...
		https://docplayer.es/79187623-Universidad...
		https://es.qwe.wiki/wiki/Fading
		https://1library.co/document/gmj70owa-si...
		11198-Hidalgo Castro, Juan Carlos.pdf
		https://es.qwe.wiki/wiki/Rician_fading
		https://dspace.ucv.edu.cu/bitstream/handl...

Reiniciar Exportar Compartir

1 Advertencia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Análisis

comparativo de los canales AWGN/Rayleigh/Rician
utilizados en sistemas OFDM

AUTOR: Ordeñana Garofalo, Edison Emilio

Componente práctico del examen complejo

previo a la obtención del grado de INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES

REVISOR: M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador 10 de septiembre del 2020

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN

TELECOMUNICACIONES

DEDICATORIA

Le dedico este logro a Dios, porque gracias a él lo he conseguido. Se lo dedico a mi familia y a todas las personas que estuvieron en el transcurso de mi preparación porque han sido fundamentales e importantes para yo poder lograrlo. Además, quiero dedicar este logro a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, a sus docentes y áreas administrativas que fueron partícipes de mi formación académica adquirida.

EL AUTOR

ORDEÑANA GAROFALO, EDISON EMILIO

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados, a mi madre y hermana, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en un profesional.

EL AUTOR

ORDEÑANA GAROFALO, EDISON EMILIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
M. Sc. **ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS**
DECANO

f. 
M. Sc. **HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO**
DIRECTOR DE CARRERA

f. 
M. Sc. **PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas.....	XII
Resumen	XIII
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Objetivo General.....	3
1.3. Objetivos Específicos.....	3
Capítulo 2: Fundamentación teórica.....	4
2.1. Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos.....	4
2.2. Limitaciones de los sistemas de comunicaciones inalámbricos.....	5
2.3. Desvanecimiento en comunicaciones inalámbricas.....	6
2.3.1. Desvanecimiento por trayectos múltiples	7
2.3.2. Tipos de desvanecimiento	8
2.4. Entorno de canales de desvanecimiento y ruido.....	9
2.4.1. Desvanecimiento de Rayleigh.....	9
2.4.2. Desvanecimiento de Rician.....	10
2.4.3. Desvanecimiento Nakami-m.....	11
2.4.4. Canal AWGN.....	12
2.5. Sistemas de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM).....	13
Capítulo 3: Diseño. Simulación y Resultados.....	16
3.1. Descripción general del componente práctico.....	16
3.2. Análisis de la tasa de error de bits (BER) en sistemas OFDM.....	16
3.3. Análisis de resultados de la simulación.....	17
3.3.1. Análisis de simulación para el canal AWGN.....	17
3.3.2. Análisis de simulación para el canal de Rayleigh.....	21

3.3.3. Análisis de simulación para el canal de Rician.....	24
Conclusiones.....	28
Recomendaciones.....	29
Bibliografía.....	30

Índice de Figuras

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Desvanecimiento con transmisiones con línea de vista (LOS) y sin línea de vista (NLOS).	6
Figura 2. 2: Efecto de desvanecimiento por trayectos múltiples.	8
Figura 2. 3: Efecto de desvanecimiento por trayectos múltiples.	12
Figura 2. 4: Estructura de Tx y Rx en sistemas OFDM.	14
Figura 2. 5: Diagrama de bloques Guard Interval y Cyclic Prefix	15

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Modelo de Simulink para el código de bloque lineal del sistema OFDM.	17
Figura 3. 2: Algoritmo para calcular la tasa de error de bits.	18
Figura 3. 3: Tasa de error de bits de OFDM en el canal AWGN.	19
Figura 3. 4: Tasa de error de bit del sistema OFDM para diferentes portadoras bajo el canal AWGN usando LBC.	21
Figura 3. 5: Tasa de error de bit del sistema OFDM bajo el canal Rayleigh usando LBC (a) Desplazamiento Doppler = 1 Hz (b) Desplazamiento Doppler = 2 Hz.	22
Figura 3. 6: Rendimiento de la tasa de error de bits del sistema OFDM bajo el canal Rayleigh usando LBC.	23
Figura 3. 7: Tasa de error de bit del sistema OFDM bajo el canal Rician para $k = 1$	25
Figura 3. 8: Rendimiento de la tasa de error de bit del sistema OFDM bajo el canal Rician usando LBC para diferentes valores del factor k	25

Índice de Tablas

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación del sistema OFDM con canales AWGN, Rayleigh y Rician.	19
Tabla 3. 2: BER de OFDM bajo el canal AWGN.....	20
Tabla 3. 3: BER del sistema OFDM para diferentes portadoras bajo el canal AWGN usando LBC.....	20
Tabla 3. 4: BER de OFDM bajo el cambio Doppler del canal Rayleigh 1 Hz y 2 Hz.	23
Tabla 3. 5: BER de OFDM bajo el canal de Rician $k = 1$	26
Tabla 3. 6: BER del sistema OFDM codificado bajo el canal Rician	26

Resumen

En la red de área local inalámbrica (WLAN) moderna, tanto el rendimiento de transmisión de datos como la estabilidad de la conexión son muy importantes. Para la especificación del protocolo IEEE802.11n, está compuesto por un sistema de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) y un sistema de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM). De acuerdo con esta motivación este documento presenta el componente práctico del examen complejo, cuyo tema es “Análisis comparativo de los canales AWGN / Rayleigh / Rician utilizados en sistemas OFDM”. En el capítulo 1, se presenta una descripción general de las comunicaciones inalámbricas y la importancia de los canales, tales como el canal de ruido blanco aditivo Gaussiano (AWGN), y los canales de desvanecimiento de Rayleigh y de Rician. También, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo práctico. En el capítulo 2, se presenta los fundamentos teóricos de las comunicaciones inalámbricas y de los canales de desvanecimientos y de ruido. Finalmente, en el capítulo 3 se presenta los escenarios de simulación para analizar comparativamente los modelos de canales en la comunicación inalámbrica utilizando OFDM.

Palabras claves: WLAN, MIMO, MULTIPLEXACIÓN, FRECUENCIA, CANALES, RUIDO.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO

1.1. Introducción.

Las crecientes demandas de servicios de voz y multimedia en las comunicaciones inalámbricas móviles impulsan el avance del campo de las comunicaciones inalámbricas en la última década. Una de las principales tecnologías subyacentes es la técnica de modulación digital que permite transportar o transmitir datos digitalizados a través de los canales de radiofrecuencia (RF) analógicos. (Pathan & Satmohankar, 2015)

En la comunicación inalámbrica, la señal modulada debe propagarse a través de un canal. En un canal real, la señal se modifica durante la transmisión. La señal recibida consiste en una combinación de réplicas atenuadas, reflejadas, refractadas y difractadas de la señal transmitida. (Bepery et al., 2013)

El canal es el tema más importante para cualquier tipo de sistema de comunicación. Hay varios tipos de canales: canal de ruido blanco aditivo Gaussiano (*Additive White Gaussian Noise, AWGN*), canal de desvanecimiento Rayleigh, canal de desvanecimiento Rician. El término canal de desvanecimiento de Rayleigh se refiere a una distorsión multiplicativa $h(t)$ de la señal transmitida $s(t)$, como en $y(t)=h(t)\cdot s(t) + n(t)$, donde $y(t)$ es la forma de onda recibida y $n(t)$ es el ruido. (Pathan & Satmohankar, 2015)

Los sistemas de comunicación inalámbrica se están moviendo hacia altas velocidades de transmisión y alta capacidad. Esto se puede lograr utilizando frecuencias de sistema más altas para permitir una banda de frecuencia amplia y utilizando tecnología de sistema avanzada para lograr una multiplexación de señal y alta calidad. Los requisitos de antena para estos sistemas avanzados son: (Varade & Kulat, 2012)

- 1) Tecnología de alta ganancia y eficiencia
- 2) Tecnología de múltiples antenas

1.2. Objetivo General.

Analizar comparativamente el canal de ruido AWGN y los de desvanecimiento Rayleigh/Rician utilizados en sistemas OFDM sobre el entorno de simulación MatLab/Simulink.

1.3. Objetivos Específicos.

- a. Describir los fundamentos teóricos de las comunicaciones inalámbricas y de los tipos de desvanecimientos.
- b. Diseñar los escenarios de simulación de los canales de desvanecimientos empleados en sistemas OFDM en comunicaciones inalámbricas.
- c. Evaluar comparativamente los escenarios de simulación para los canales de desvanecimiento en sistemas OFDM para comunicaciones inalámbricas.

Capítulo 2: Fundamentación teórica.

2.1. Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos.

El campo de las comunicaciones inalámbricas se ha desarrollado muy rápidamente en todas las dimensiones durante la última década con un número de suscriptores, tecnologías globales mejoradas y estándares inalámbricos. La demanda de nuevas tecnologías, mejor calidad, servicios de bajo costo, así como transmisiones de mayor velocidad de datos, son las principales motivaciones detrás de la evolución de las comunicaciones inalámbricas. Los sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas (*Multiple Input Multiple Output, MIMO*) desempeñan un papel clave en los sistemas de comunicación inalámbrica, debido a su mejora prometedora en términos de relación señal/ruido (*Signal to Noise Ratio, SNR*) y tasa de error de bits (Bits Error Rate, BER).

La combinación de sistemas MIMO con espectro ensanchado (Spread Spectrum) en la técnica de múltiple acceso mejora el rendimiento del sistema de comunicación inalámbrica. La comunicación inalámbrica a través de un canal inalámbrico tiene tres distinciones fundamentales de la comunicación por cable. Primero es el desvanecimiento a gran y pequeña escala, segundo es la interferencia entre los pares de transmisores y receptores, y tercero es la movilidad del usuario en el sistema de comunicación inalámbrica. La aparición de desvanecimiento, interferencia y movilidad hace que el diseño de un sistema de comunicación inalámbrica sea un desafío.

Un problema importante en las comunicaciones inalámbricas que prohíbe la transmisión de datos a alta velocidad es el efecto del desvanecimiento por trayectos múltiples. El desvanecimiento es causado por interferencia constructiva o destructiva que se produce cuando diferentes versiones de la señal transmitida llegan al receptor a través de diferentes trayectos con diferentes retardos, atenuaciones y fases.

El desvanecimiento selectivo de frecuencia es un tipo de canal en el que se crea la interferencia entre símbolos (*Inter Symbol Interference, ISI*) debido

a la dispersión en el tiempo de los símbolos transmitidos dentro del canal. ISI provoca una degradación significativa del rendimiento y, por esta razón, para lograr altas velocidades de datos, se deben utilizar tecnologías que funcionen bien en canales con desvanecimiento. La combinación de diversidad es un método muy eficaz para superar el problema del entorno inalámbrico de desvanecimiento profundo (*Wireless Deep Fading Environment, WDFE*) en el que las señales recibidas en cada antena se combinan para mejorar el rendimiento del sistema.

2.2. Limitaciones de los sistemas de comunicaciones inalámbricos.

Se requiere que las futuras generaciones de sistemas inalámbricos tengan servicios de datos de alta tasa de bits en comparación con el sistema inalámbrico actual. Además, el sistema debe ser confiable en diferentes tipos de WDFE. Cuando se transmite la señal, diferentes copias de la señal experimentan diferentes atenuaciones, distorsiones, retrasos, cambios de fase y el canal de comunicación inalámbrica sufre muchas alteraciones, como:

- a. Ruido térmico a menudo modelado como ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN).
- b. La pérdida de potencia del trayecto a medida que se propaga la señal de radio.
- c. El ensombrecimiento (shadowing) debido a la presencia de obstáculos fijos en el trayecto radioeléctrico.
- d. El desvanecimiento (fading) que combina el efecto de múltiples trayectos de propagación.

El principal problema de los sistemas de comunicaciones inalámbricas es que sufren graves degradaciones debido al desvanecimiento en un entorno inalámbrico. Debido a que el canal es una entidad que se comporta aleatoriamente, cambiará la señal transmitida aleatoriamente y si no detecta y demodula la señal de manera coherente, la reconstrucción es imposible.

El desvanecimiento debido a varios factores como la velocidad del transmisor, la velocidad del receptor, la velocidad de los objetos circundantes, los parámetros del canal, como el retardo y la propagación Doppler, aumenta

la BER. Este aumento de la BER generalmente significa que la señal transmitida es corrompida por los sistemas de comunicación inalámbrica.

2.3. Desvanecimiento en comunicaciones inalámbricas.

Las ondas de radio se propagan desde una antena transmisora y viajan a través del espacio libre sometidas a absorción, reflexión, refracción, difracción y dispersión. Se ven muy afectados por el suelo, la construcción, los árboles y otros objetos presentes en su camino. Todas las cosas son responsables de las características de la señal recibida.

Los dos factores principales que afectan la comunicación confiable de un mensaje a través del canal son el ruido y el desvanecimiento. El ruido en el sistema de comunicación generalmente se modela como AWGN, porque es conveniente lidiar con el ruido del evaluador aditivo que es de naturaleza multiplicativa. AWGN es un ruido que afecta a la señal transmitida cuando pasa por el canal. Contiene un espectro de frecuencia continuo uniforme sobre una banda de frecuencia particular.

El desvanecimiento se utiliza para describir las fluctuaciones rápidas de las amplitudes, fases o retrasos por trayectos múltiples de una señal de radio durante un período corto de tiempo o una distancia de viaje. El desvanecimiento es causado por la interferencia entre dos o más versiones de la señal transmitida que llega al receptor en momentos ligeramente diferentes. Este tipo de desvanecimiento se conoce como desvanecimiento por trayectos múltiples que se muestra en la figura 2.1.

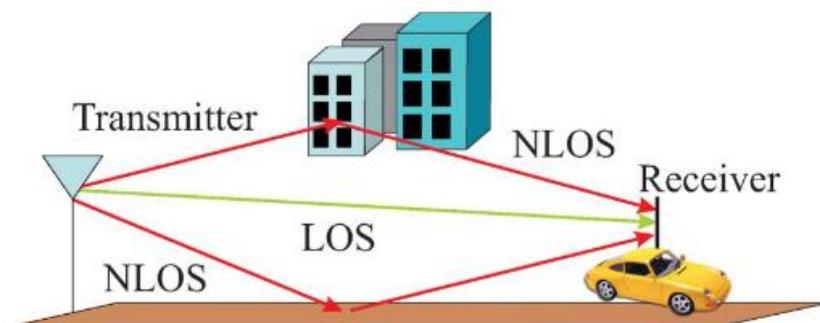


Figura 2. 1: Desvanecimiento con transmisiones con línea de vista (LOS) y sin línea de vista (NLOS).

Fuente: (Jiang & Wright, 2016)

En las áreas urbanas, el desvanecimiento se produce porque la altura de las antenas móviles está muy por debajo de la altura de las estructuras circundantes y, por lo tanto, no hay una única ruta de línea de visión (*Line Of Sight, LOS*) a la estación base. Incluso cuando existe LOS, el multitrayecto todavía se produce debido a los reflejos del suelo y las estructuras circundantes. Las ondas de radio entrantes llegan desde diferentes direcciones con diferentes retrasos de propagación.

La señal recibida por el móvil en cualquier punto del espacio puede consistir en un gran número de ondas planas que tienen amplitudes y fases distribuidas aleatoriamente. Incluso cuando un receptor móvil está parado, la señal puede desvanecerse debido al movimiento de los objetos circundantes en el canal de radio.

En condiciones de propagación sin línea de vista (*Non Line Of Sight, NLOS*), las señales llegan al receptor a través de diferentes caminos a medida que reflejan, difractan y dispersan los obstáculos entre el transmisor y el receptor. Las señales que llegan tendrán diferentes características de retardo, amplitud y fase. Cuando las señales que llegan se combinan fuera de fase en el receptor, el resultado es una señal de baja calidad que puede borrar todas las comunicaciones.

2.3.1. Desvanecimiento por trayectos múltiples

El desvanecimiento por trayectos múltiples es un fenómeno común en la transmisión de señales inalámbricas. Cuando una señal se transmite a través de un canal de radio, está sujeta a reflexión, difracción, dispersión y sombreado. Especialmente en las áreas urbanas y suburbanas donde los teléfonos celulares se utilizan con mayor frecuencia, el entorno de comunicación cambia rápidamente y, por lo tanto, introduce más complejidades e incertidumbres en la respuesta del canal.

El desvanecimiento por trayectos múltiples da como resultado la propagación de señales en los dominios de tiempo, frecuencia y espacio. Si las señales están en fase, aumentarían la intensidad de la señal resultante.

De lo contrario, la señal resultante se debilita debido a un desfase. Este fenómeno se denomina desvanecimiento de canal. En general, existen dos criterios para medir el desvanecimiento del canal, incluidos la propagación Doppler y la propagación del retardo. Este fenómeno se denomina desvanecimiento por trayectos múltiples, y que se muestra en la figura 2.2.

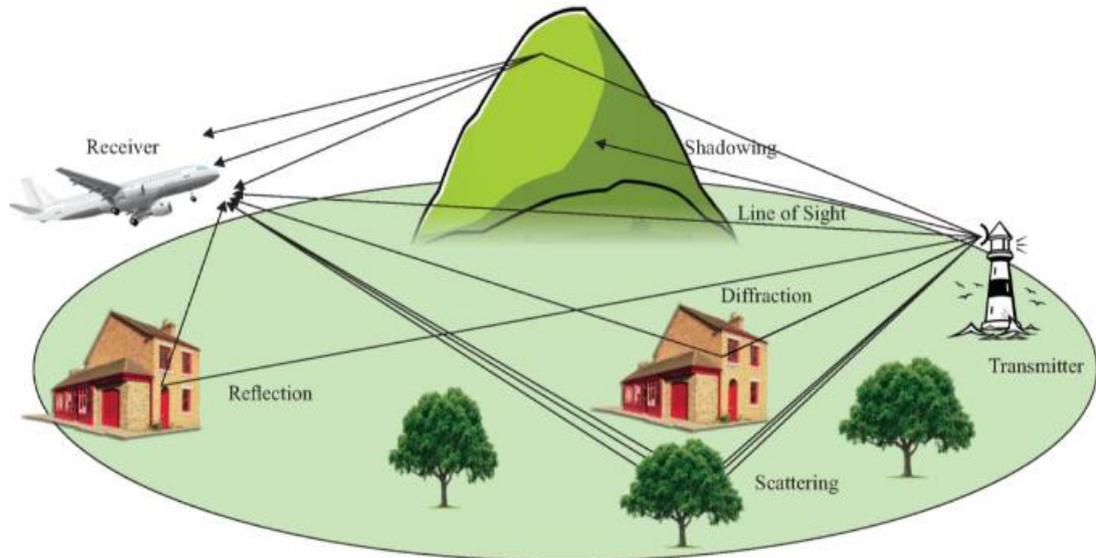


Figura 2. 2: Efecto de desvanecimiento por trayectos múltiples.
Fuente: (Jiang & Wright, 2016)

2.3.2. Tipos de desvanecimiento

Según el efecto del multitrayecto, existen dos tipos de desvanecimiento:

- a. **Desvanecimiento a gran escala:** Este tipo de desvanecimiento se debe a la pérdida de señal en el trayecto en función de la distancia y el ensombrecimiento de objetos grandes como edificios y colinas. Esto ocurre cuando el móvil se mueve a través de una distancia del orden del tamaño de la celda y normalmente es independiente de la frecuencia. El cambio de amplitud por sombreado a menudo se modela utilizando una distribución log-normal. Se llama desvanecimiento de sombras.
- b. **Desvanecimiento a pequeña escala:** este tipo de desvanecimiento se debe a la interferencia constructiva y destructiva de las múltiples rutas de señal entre el transmisor y el receptor. Esto ocurre en la escala espacial del orden de la longitud de onda de la portadora y depende de la frecuencia. Se observa a distancias más pequeñas en comparación con el desvanecimiento a gran escala.

Los canales con desvanecimiento pueden describirse como canales con desvanecimiento plano (no selectivo en frecuencia) o como canal con desvanecimiento selectivo en frecuencia y como desvanecimiento rápido o lento.

- a. **Canal de desvanecimiento plano:** si el ancho de banda del canal móvil es mayor que el ancho de banda del canal transmitido, se produce un desvanecimiento plano. El desvanecimiento plano es aquel en el que todos los componentes de frecuencia de una señal de radio recibida varían en la misma proporción simultáneamente.
- b. **Canal de desvanecimiento de frecuencia selectiva:** Un canal de frecuencia selectiva es aquel en el que el ancho de banda de coherencia es mucho menor que el ancho de banda de la señal. Si la dispersión del retardo es mayor que el período del símbolo de la señal, el canal es selectivo en frecuencia.
- c. **Desvanecimiento lento:** cuando el tiempo de coherencia del canal es grande en relación con la restricción de retardo del canal, se producirá un desvanecimiento lento. El cambio de amplitud y fase impuesto por el canal puede considerarse aproximadamente constante durante el período de uso. Este desvanecimiento causa eventos como sombras, donde una gran obstrucción como una colina o un gran edificio oscurecen la ruta de la señal principal entre el transmisor y el receptor.
- d. **Desvanecimiento rápido:** cuando el tiempo de coherencia del canal es pequeño en comparación con la restricción de retardo del canal, provoca el desvanecimiento rápido. El cambio de amplitud y fase impuesto por el canal varía considerablemente durante el período de uso.

2.4. Entorno de canales de desvanecimiento y ruido.

En las siguientes subsecciones se describen brevemente los tipos de canales de desvanecimiento utilizados en las comunicaciones inalámbricas.

2.4.1. Desvanecimiento de Rayleigh.

El desvanecimiento de Rayleigh es un modelo de relación cuando hay muchos objetos y contornos de terreno prominentes en el entorno que reflejan, difractan y dispersan que propagan trayectos múltiples de la señal transmitida

antes de recibirla en el receptor. comunicación directa entre el transmisor y el receptor, la envolvente de la señal recibida describe estadísticamente un PDF de Rayleigh, expresado como,

$$PDF = \frac{2\alpha}{\Omega} e^{-\frac{\alpha^2}{\Omega}}, \quad \alpha \geq 0$$

donde $\Omega = E(R^2)$, R es una variable aleatoria. El modelo de desvanecimiento de Rayleigh es útil en el centro de una ciudad densamente urbanizada. La distribución de Rayleigh modela con precisión el efecto de desvanecimiento para comunicaciones de corta distancia. Este modelo se utiliza con frecuencia para simular señales de alta frecuencia que se propagan en un canal de ionosfera.

El desvanecimiento de Rayleigh no llega a describir los efectos del desvanecimiento a larga distancia con suficiente precisión. El modelo de canal de desvanecimiento de Rayleigh es un modelo de canal adecuado para comunicaciones inalámbricas en áreas urbanas donde los edificios grandes y densos hechos por el hombre actúan como dispersores eficientes. (Deepak & Khaliluzzaman, 2015)

2.4.2. Desvanecimiento de Rician.

El desvanecimiento de Rician es diferente del desvanecimiento de Rayleigh; el de Rician asume una línea de visión (*Line On Sight, LOS*) directa entre el transmisor y el receptor mucho más fuerte que las señales de trayectos múltiples que llegan al receptor. La función de densidad de probabilidad (*Probability Density Function, PDF*) de Rician se puede escribir como,

$$P(R) = \frac{R}{\sigma^2} e^{-\frac{R^2+A^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{RA}{\sigma^2}\right), \quad R \geq 0, A \geq 0$$

donde, R es la envolvente de la señal compuesta, σ^2 es la varianza o potencia promedio de las componentes multitrayecto en fase (I) y cuadratura (Q). A es la amplitud de la señal de portadora con LOS e I_0 es la función de Bessel modificada de primer tipo y orden cero. En todas las situaciones, el

modelo de canal de desvanecimiento de Rician funciona bien porque contiene componentes LOS. (Deepak & Khaliluzzaman, 2015)

En el desvanecimiento de Rician, la ganancia de amplitud se caracteriza por una distribución de Rician. El modelo de Rayleigh carece inherentemente del efecto de un componente de línea de vista (LOS) dominante para la descripción de la propagación microcelular y el modelo de Rician parece ser más apropiado. Este desvanecimiento es menos conveniente para la evaluación analítica y numérica del rendimiento del sistema debido a la aparición de una función de Bessel en la función de densidad de probabilidad de Rician de la amplitud de la señal recibida.

El factor de Rician k se define como la relación entre la potencia de la señal en el componente dominante y la potencia dispersa (media local). La distribución de Rayleigh es un tipo de distribución de Rician para $k=0$. Para $k \gg 1$, la distribución de Rician se puede aproximar mediante una distribución de Gauss, dada por:

$$K = \frac{P_d}{P_s} = \frac{C^2/2}{\sigma^2}$$

donde, P_d es la potencia directa, P_s es la potencia dispersa, C es la amplitud del componente de línea de vista (LOS).

2.4.3. Desvanecimiento Nakami-m.

La distribución de Nakagami no asume condiciones de línea de visión, pero usa una función de densidad basada en distribución gamma paramétrica para describir los datos experimentales y obtener una distribución aproximada, por lo que es más universal, la PDF de la distribución de Nakagami es,

$$P(R) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} e^{-\frac{mR^2}{\Omega}}, \quad m \geq \frac{1}{2}, \quad r \geq 0$$

donde m es el parámetro Nakagami, que describe el grado de desvanecimiento del campo de propagación debido al proceso de dispersión

e interferencia por trayectos múltiples, y Ω es la potencia media del campo de dispersión por trayectos múltiples, $\Gamma(m)$ es la función gamma. La relación entre el factor de desvanecimiento de Rician k y el factor “ m ” de desvanecimiento de Nakagami- m , es:

$$K = \frac{\sqrt{m^2 - m}}{m - \sqrt{m^2 - m}}$$

$$m = \frac{K + 1}{2K + 1}$$

2.4.4. Canal AWGN.

AWGN es un ruido que afecta la señal transmitida cuando pasa por el canal. Contiene un espectro de frecuencia continuo uniforme sobre una banda de frecuencia particular (Awon et al., 2012). El canal AWGN no está asociado con el desvanecimiento ni con ningún otro parámetro del sistema. Es solo el ruido que se agrega a la señal cuando viaja a través del canal. El canal AWGN se representa en el bloque de la figura 2.3 y está definida por,

$$r(t) = s(t) + n(t)$$

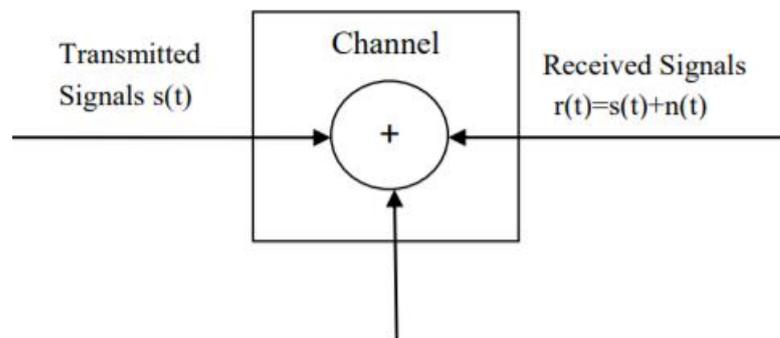


Figura 2. 3: Efecto de desvanecimiento por trayectos múltiples.

Fuente: (Awon et al., 2012; Babu & Rao, 2011)

donde, $s(t)$ es la señal transmitida, y $n(t)$ es el ruido blanco gaussiano. Los valores del ruido blanco gaussiano en cualquier par de momentos se distribuyen de forma idéntica y son estadísticamente independientes entre sí. En general, AWGN es un modelo de canal de comunicación básico y se utiliza como modelo de canal estándar, ya que agrega ruido gaussiano blanco a la señal que pasa a través de él. Debido a este proceso, la señal transmitida se distorsiona.

Los datos se someten a AWGN con los siguientes parámetros: El vector señal-ruido (E_s/N_o) se varía según los diferentes tipos de técnicas de modulación utilizadas. En señales complejas, el bloque de canal AWGN se relaciona como E_b/N_o , E_s/N_o y SNR de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\frac{E_s}{N_o} = SNR \left(\frac{T_{sym}}{T_{sysamp}} \right)$$

$$\frac{E_s}{N_o} = \frac{E_b}{N_o} + 10 \log_{10}(K)$$

donde, E_s es la energía de la señal en [Joules], E_b es el bit de energía en [Joules], N_o es la densidad de potencia espectral del ruido, T_{sym} es el periodo de símbolo del bloque E_b/N_o , K es el número de bits de información por símbolo de entrada, T_{sysamp} es el tiempo de muestra del bloque, en segundos.

2.5. Sistemas de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM).

OFDM es una técnica de modulación multiportadora muy común para transmitir una señal a través de canales inalámbricos en diversos entornos. En esta técnica, el flujo de datos de alta velocidad se divide en paralelo de baja velocidad de datos y, por lo tanto, prolonga la duración del símbolo al eliminar la interferencia entre símbolos (*Inter Symbol Interference, ISI*). Al superponer los subcanales entre sí hasta cierto punto, se reduce el uso de ancho de banda. La interferencia entre portadoras (*Inter Carrier Interference, ICI*) se puede reducir ya que estas portadoras son ortogonales entre sí.

Con la llegada de FFT/IFFT se hizo posible generar OFDM utilizando el dominio digital para la ortogonalidad de las subportadoras. La figura 2.4 muestra un diagrama de bloques de un sistema OFDM de tiempo discreto, donde un símbolo de datos de N valores complejos modula N portadoras ortogonales usando la formación IFFT. En los sistemas de portadora única, cada símbolo que ocupa un ancho de banda completo podría perderse debido al desvanecimiento selectivo de frecuencia, pero cuando se transmite en flujos

paralelos de datos bajos, el tiempo de símbolo aumenta y se convierte en el canal de desvanecimiento plano.

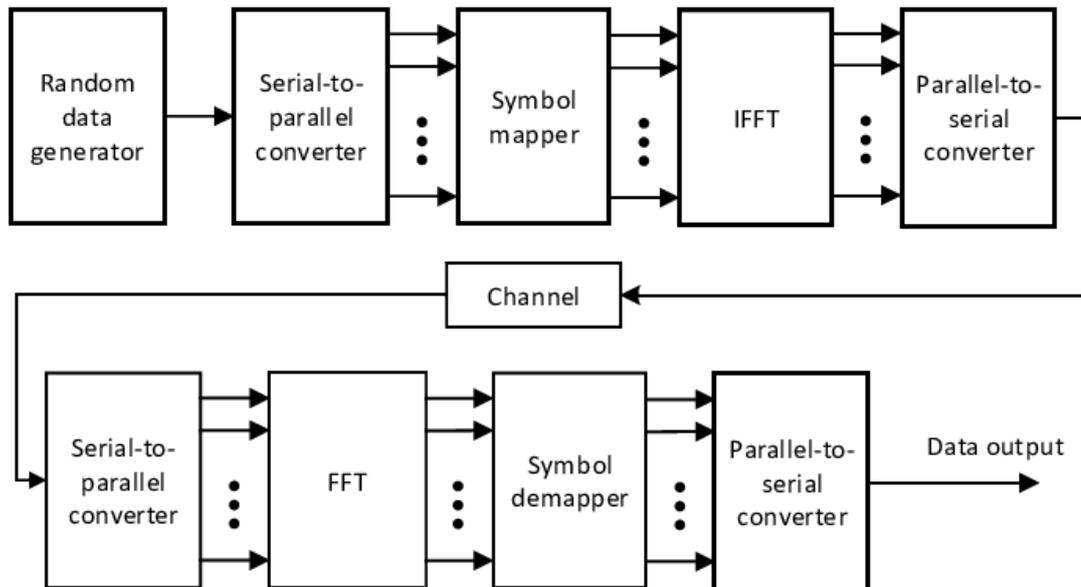


Figura 2. 4: Estructura de Tx y Rx en sistemas OFDM.

Fuente: (Jiang & Wright, 2016)

La estructura del sistema OFDM se basa básicamente en tres principios:

- La transformada inversa rápida de Fourier (IFFT) y la transformada rápida de Fourier (FFT) se utilizan para modular y demodular subportadoras OFDM individuales para transformar el espectro de la señal al dominio del tiempo para la transmisión por el canal y luego empleando FFT en el extremo receptor para recuperar símbolos de datos en orden en serie.
- El segundo principio clave es el prefijo cíclico (*Cyclic Prefix, CP*) como Intervalo Guardado (*Guard Interval, GI*). El CP mantiene la señal transmitida periódicamente. Una de las razones para aplicar el CP es evitar la ICI.
- El entrelazado es el tercer concepto más importante aplicado. El canal de radio puede afectar a los símbolos de datos transmitidos en una o varias subportadoras, lo que conduce a errores de bits. Para encontrar este problema usamos esquemas de codificación eficientes.

En OFDM, el GI se introduce debido a la propagación por trayectos múltiples, ya que afecta a los símbolos a retrasar y atenuar, lo que provoca la

ISI. En el GI, el CP se utiliza para contrarrestar la ICI dentro de una trama OFDM. El CP es simplemente una copia de los últimos símbolos de las muestras colocadas en primer lugar, haciendo que la señal aparezca como periódica en el receptor, tal como se muestra en la figura 2.5. Antes de demodular la señal OFDM, se elimina el CP, aprovechando la estructura impuesta mediante CP.

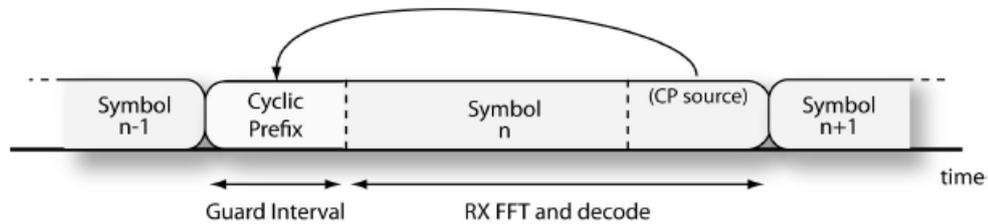


Figura 2. 5: Diagrama de bloques Guard Interval y Cyclic Prefix
Fuente: (Ismail et al., 2010)

Se puede lograr la sincronización de símbolos, debido a la ortogonalidad de la portadora, es posible utilizar la transformada de Fourier discreta (DFT) y la Transformada de Fourier discreta inversa (IDFT) para la modulación y demodulación de la señal. Para obtener una alta eficiencia espectral, se pueden aplicar diferentes esquemas de modulación, tales como, QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

En el siguiente capítulo se desarrollan la parte experimental del componente práctico mediante el entorno de simulación MatLab/Simulink para diferentes canales de desvanecimiento.

Capítulo 3: Diseño. Simulación y Resultados.

3.1. Descripción general del componente práctico.

Este capítulo evalúa el rendimiento de la tasa de error de bits (Bits Error Rate, BER) del sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM) en varios canales. El rendimiento de la BER del sistema OFDM codificado y no codificado se compara para los canales son AWGN, Rayleigh y Rician. La primera parte trata del análisis de la BER en el canal AWGN. A continuación, se examina la BER en busca de canales de Rayleigh y Rician. En el análisis de la BER en el canal de Rayleigh, el desplazamiento Doppler se toma como uno de los parámetros. Finalmente, el análisis para el canal de Rician se elabora utilizando diferentes valores del factor k .

3.2. Análisis de la tasa de error de bits (BER) en sistemas OFDM.

La BER del sistema OFDM se investiga en los diferentes canales utilizando la técnica de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura diferencial (DQPSK). En este trabajo se diseña el sistema OFDM utilizando el código de bloque lineal con Hamming extendido y modelado de la modulación por desplazamiento de fase en cuadratura diferencial. Se ve que la técnica de modulación mejora el rendimiento de la BER del sistema OFDM y, por lo tanto, en este trabajo LBC se utiliza con fines de mejora.

La razón para seleccionar el esquema de modulación de detección diferencial es que su estructura de receptor es simple, lo que significa que la necesidad de ecualización de canal puede evitarse mediante el uso de la modulación DQPSK. El modelo de enlace simultáneo OFDM se muestra en la figura 3.1, que adopta la modulación DQPSK. Aquí la entrada del bloque IFFT debe tener una potencia entera de dos.

El bloque solo acepta N señales dimensionales con $N > 2$. La entrada son señales de punto fijo, por lo que el modo de búsqueda de tablas y el modo basado en muestras son compatibles con el bloque IFFT. Durante el período de transición se adopta la matriz generadora G . El código de 512 bits hace

1024 valores posibles por matriz generadora. La matriz generadora para un código de bloque lineal (8, 4) considerada aquí es la siguiente:

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

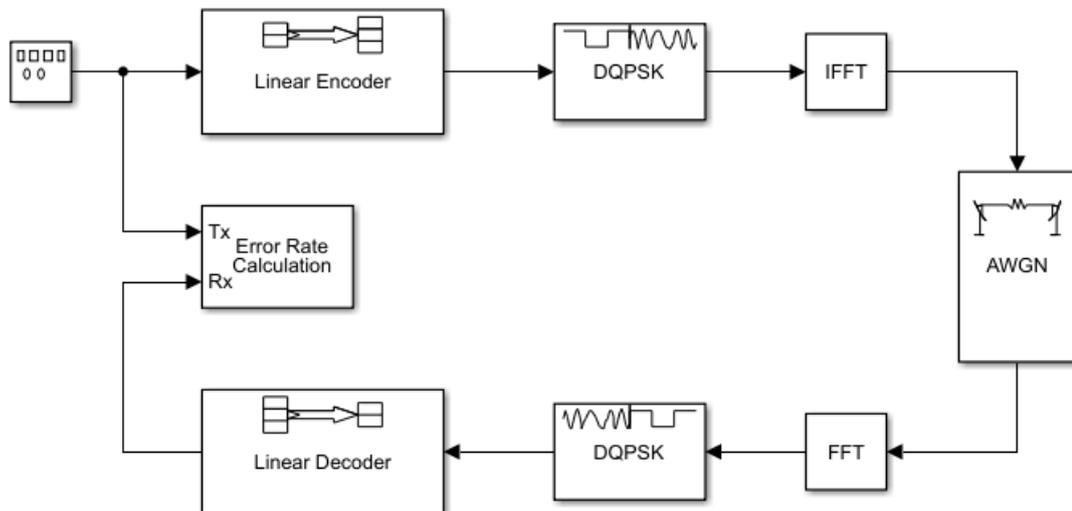


Figura 3. 1: Modelo de Simulink para el código de bloque lineal del sistema OFDM. Elaborado por: Autor.

3.3. Análisis de resultados de la simulación.

En esta sección se analiza el sistema OFDM mediante el código de bloque lineal (LBC) utilizando la técnica de modulación DQPSK. La BER del sistema OFDM se investiga para diferentes canales. El LBC reduce los efectos tanto del desvanecimiento como de la interferencia. A medida que se incrementa el número de subportadoras, se reduce el desvanecimiento selectivo de frecuencia. El ancho de banda de coherencia es mayor que el espaciado de subportadoras del canal, cada subportadora se ve afectada por un canal plano y el ecualizador de canal no es necesario para el sistema propuesto.

3.3.1. Análisis de simulación para el canal AWGN.

Los datos se someten al bloque de ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN) con un vector de relación de señal a ruido (E_b/N_0) que varía en el tiempo. En señales complejas, el bloque de canal AWGN relaciona la señal

Eb/No. El siguiente algoritmo (ver figura 3.2) es utilizado para evaluar la BER en diferentes condiciones de canal:

- a. N es el número de subportadora,
- b. Entrada: Tx y Rx,
- c. y es salida

```
1  function y = fcn(tx,rx)
2      error = 0;
3      for i = 1:N
4          if (tx(i) = rx(i))
5              error = error+1;
6          end
7      end
8      ratio=error/N;
9      y=[error, ratio];
10 end
```

Figura 3. 2: Algoritmo para calcular la tasa de error de bits.
Elaborado por: Autor.

La figura 3.3 es una gráfica correspondiente al sistema OFDM codificado y no codificado utilizando el canal AWGN. En comparación con la codificación LBC con Hamming extendido de OFDM, el sistema ofrece un buen rendimiento con la tasa de error de bits correspondiente. Los parámetros de simulación utilizados se mencionan en la tabla 3.1. Las observaciones de los resultados obtenidos se registran en la tabla 3.2 y 3.3.

Se utiliza un canal AWGN simple como modelo de canal. Se realizan simulaciones para un número diferente de subportadoras, lo que muestra que este esquema funciona con un número arbitrario de subportadoras. Es bien sabido que el símbolo OFDM se puede mapear utilizando diferentes constelaciones, pero en este trabajo de investigación se utiliza el mapeo DQPSK.

Se observa que a medida que aumenta el número de portadoras, la tasa de errores de bit del sistema OFDM disminuye en el canal AWGN que utiliza el código de bloque lineal con código Hamming extendido. En la figura 3.4 se observa que para $N = 64$, la BER alcanza un valor de 10^{-1} y que a medida que aumenta el número de portadoras, la BER disminuye a un valor de $10^{-2.5}$.

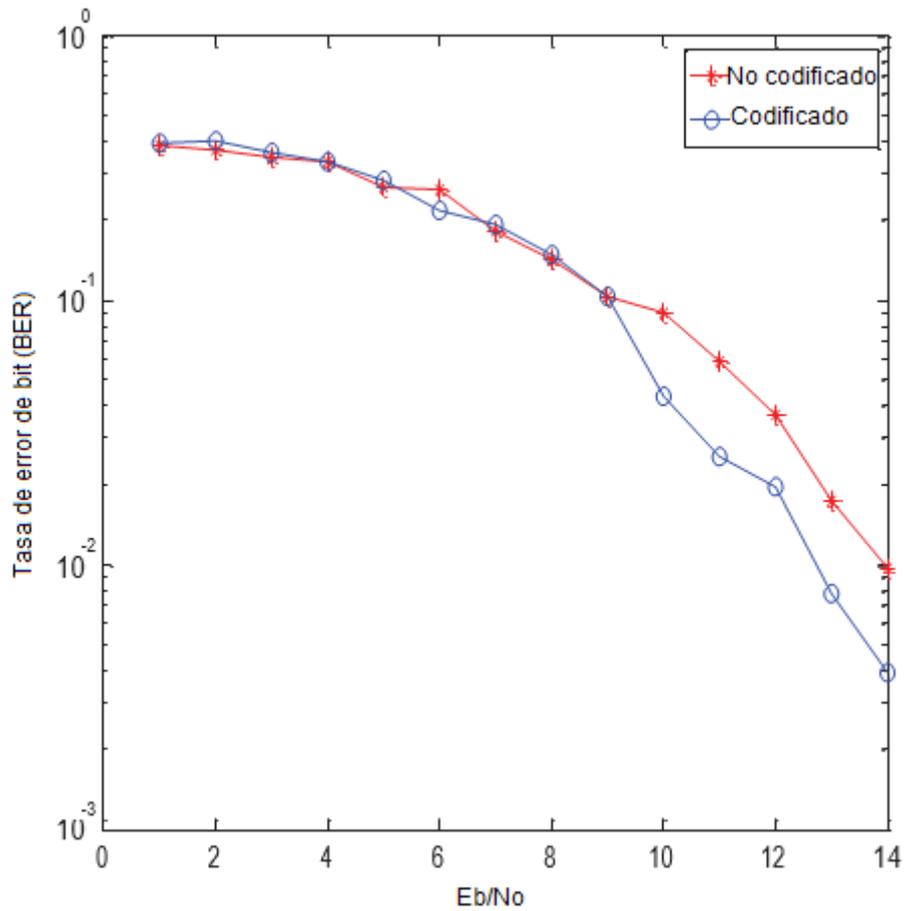


Figura 3. 3: Tasa de error de bits de OFDM en el canal AWGN.
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación del sistema OFDM con canales AWGN, Rayleigh y Rician.

Fuente de datos	512
Modulación	DQPSK
Tamaño FFT	512
Técnica de codificación	Código de bloque lineal (LBC)
Longitud del mensaje	4
Longitud de la palabra de código	8
Canal	AWGN, Rayleigh, Rician
Desplazamiento Doppler máximo	1 Hz, 2 Hz
Parámetro de Rician	$k = 1, 2, 3, 4$

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 2:BER de OFDM bajo el canal AWGN

Eb/No (dB)	BER del sistema OFDM bajo el canal AWGN	
	Sistema OFDM no codificado	Sistema OFDM codificado
1	0.3867	0.3906
2	0.3672	0.4023
3	0.3457	0.3633
4	0.3341	0.3359
5	0.2637	0.2813
6	0.2598	0.2168
7	0.1797	0.1914
8	0.1426	0.1484
9	0.1035	0.1035
10	0.0898	0.0430
11	0.0586	0.0254
12	0.0371	0.0195
13	0.0176	0.0078
14	0.0098	0.0039

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 3: BER del sistema OFDM para diferentes portadoras bajo el canal AWGN usando LBC

Eb/No (dB)	BER de diferente número de subportadoras (N)			
	512	256	128	64
1	0.3906	0.4023	0.4219	0.4688
2	0.4023	0.3633	0.3984	0.4313
3	0.3633	0.3281	0.3594	0.4219
4	0.3359	0.3184	0.3281	0.3281
5	0.2813	0.3125	0.2734	0.3125
6	0.2168	0.3047	0.2344	0.2188
7	0.1914	0.1523	0.1406	0.2031
8	0.1484	0.0977	0.1016	0.1250
9	0.1035	0.0933	0.0547	0.1050
10	0.0430	0.0898	0.0391	0.0000
11	0.0254	0.0508	0.0156	0.0000
12	0.0195	0.0195	0.0000	0.0000
13	0.0078	0.0078	0.0000	0.0000
14	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000

Elaborado por: Autor.

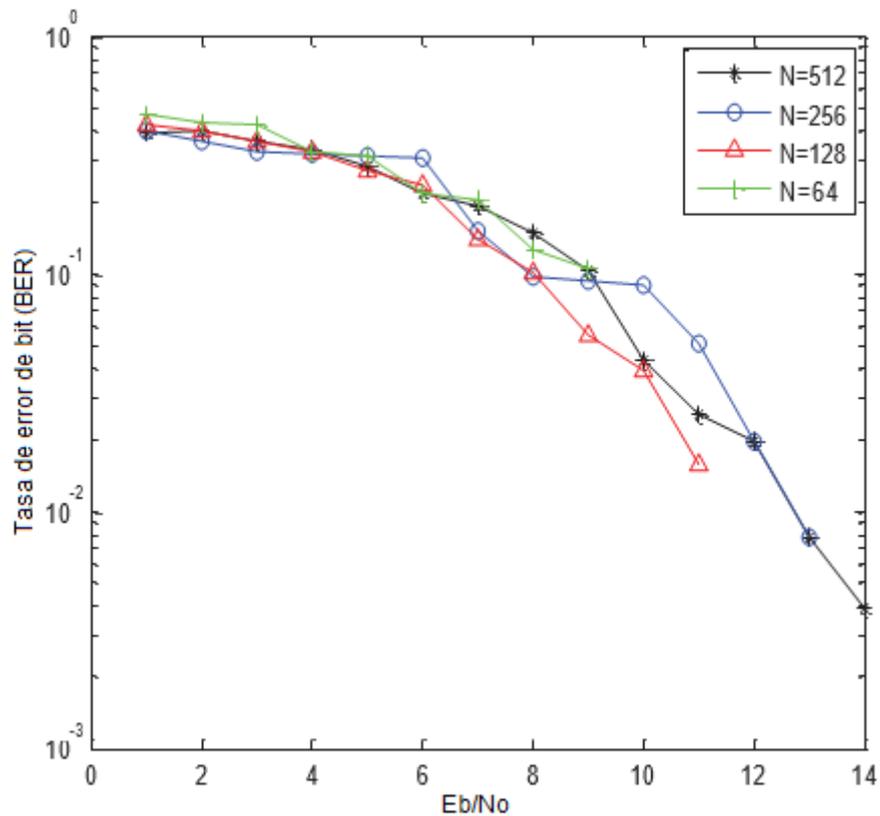


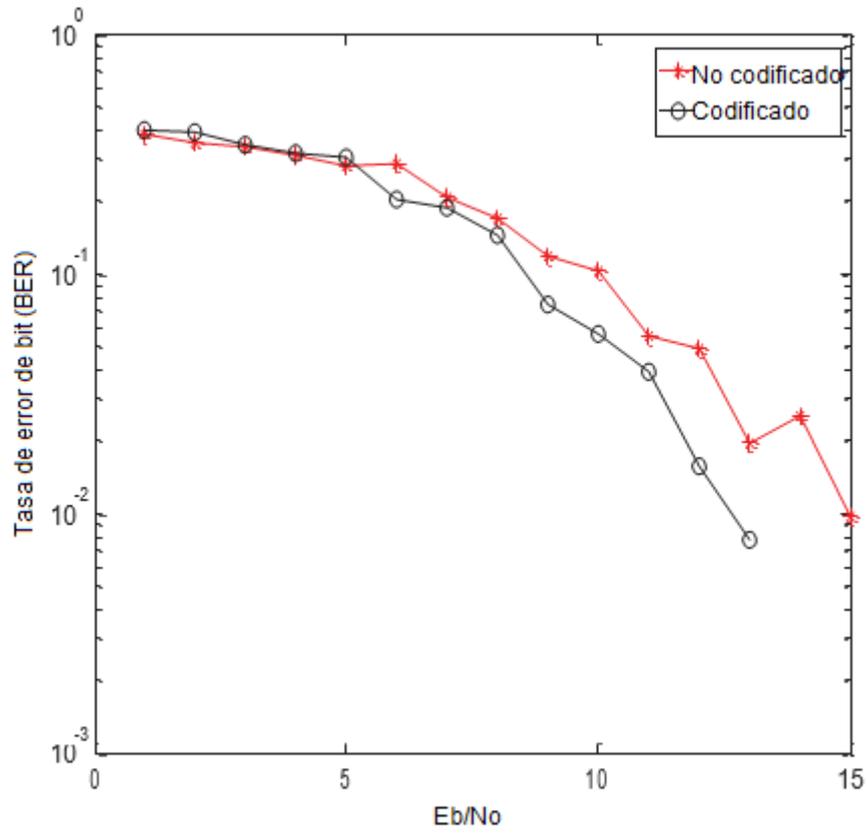
Figura 3. 4: Tasa de error de bit del sistema OFDM para diferentes portadoras bajo el canal AWGN usando LBC.

Elaborado por: Autor.

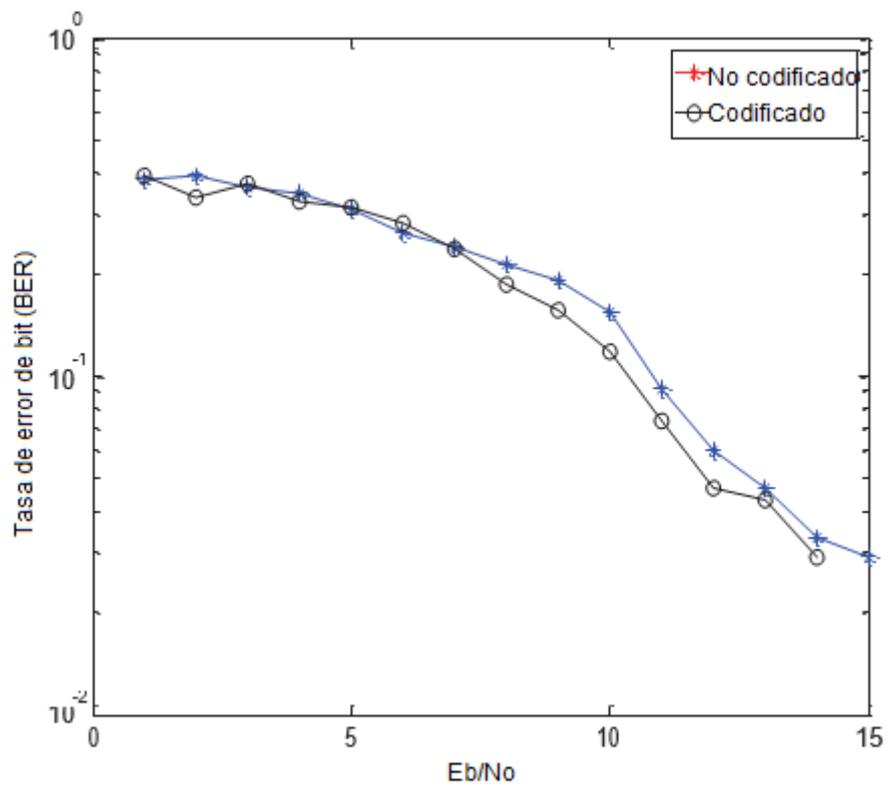
3.3.2. Análisis de simulación para el canal de Rayleigh.

Los resultados obtenidos bajo el canal de Rayleigh usando LBC para BER y E_b/N_0 para diferentes valores de desplazamiento Doppler máximo se muestran en la figura 3.5 (a) y (b). Por tanto, en la figura 3.6 se observa que la tasa de errores de bits es mejor para valores más bajos de desplazamiento Doppler. La figura 3.5 (a) muestra el rendimiento de la BER para un desplazamiento Doppler máximo de 1 Hz. El análisis se lleva a cabo para sistemas OFDM codificados y no codificados, cuyos datos se tabulan en la tabla 3.4). Se ve que el sistema OFDM codificado muestra un buen rendimiento de BER en comparación con el sistema OFDM no codificado.

La investigación del rendimiento de la BER para un desplazamiento Doppler máximo de 2 Hz se muestra en la figura 3.20 b. Para este desplazamiento Doppler máximo de nuevo, el sistema OFDM codificado proporciona un mejor rendimiento de BER.



(a)



(b)

Figura 3. 5: Tasa de error de bit del sistema OFDM bajo el canal Rayleigh usando LBC (a) Desplazamiento Doppler = 1 Hz (b) Desplazamiento Doppler = 2 Hz.

Elaborado por: Autor.

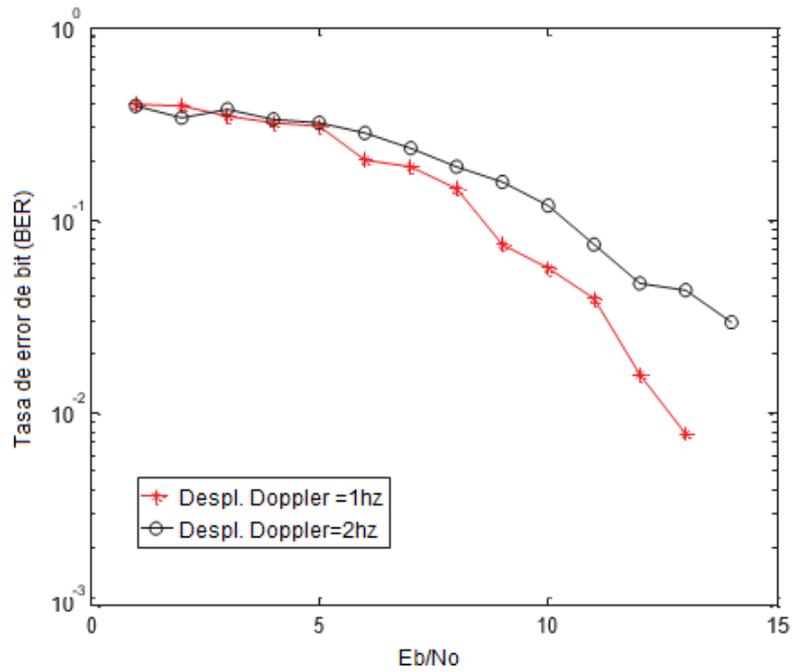


Figura 3. 6: Rendimiento de la tasa de error de bits del sistema OFDM bajo el canal Rayleigh usando LBC.
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 4: BER de OFDM bajo el cambio Doppler del canal Rayleigh 1 Hz y 2 Hz.

Eb/No en dB	BER bajo el cambio Doppler del canal Rayleigh 1Hz y 2Hz		
	Sistema OFDM no codificado	Sistema OFDM codificado 1Hz	Sistema OFDM codificado 2Hz
1	0.3823	0.3978	0.3934
2	0.3929	0.3874	0.3368
3	0.3595	0.3440	0.3729
4	0.3496	0.3173	0.3299
5	0.3110	0.3036	0.3153
6	0.2642	0.2020	0.2841
7	0.2405	0.1884	0.2372
8	0.3027	0.1434	0.1864
9	0.1935	0.0731	0.1552
10	0.1544	0.0555	0.1180
11	0.0907	0.0380	0.0731
12	0.0614	0.0145	0.0458
13	0.0458	0.0067	0.0429
14	0.0324	0.0000	0.0282
15	0.0286	0.0000	0.0000

Elaborado por: Autor.

3.3.3. Análisis de simulación para el canal de Rician.

El canal Rician considerado aquí como canal de desvanecimiento plano de frecuencia. T_s es el tiempo de muestra en [s], f_d es la máxima frecuencia de desplazamiento Doppler en [Hz], k es el factor de Rician en escala lineal. Un objeto Doppler contiene todas las propiedades utilizadas para caracterizar el espectro Doppler, con un desplazamiento Doppler máximo. El desplazamiento Doppler máximo corresponde a los componentes de dispersión local cuya dirección se opone a la trayectoria del móvil.

La causa básica del desplazamiento Doppler es el posible cambio de ubicación del transmisor y el receptor. La dispersión local generalmente proviene de ángulos alrededor del móvil. Este escenario provoca un rango de desplazamiento Doppler, conocido como espectro Doppler. El espectro de potencia de Doppler se aplica a un receptor móvil. Se deriva de los supuestos de que las ondas de radio se propagan en el medio horizontalmente. Estas ondas de radio llegan al receptor móvil con ángulos que se distribuyen uniformemente en el rango $(-\pi, \pi)$. A continuación, se especifica al factor k para el canal de desvanecimiento de Rician.

- El factor k de Rician especifica la relación entre la potencia especular a difusa para una trayectoria de línea de visión directa. La relación se expresa linealmente, y no en dB.
- Para el desvanecimiento de Rician, el factor k suele estar entre 1 y 10.
- Un factor $k=0$ corresponde al desvanecimiento de Rayleigh.

Las figuras 3.7 y 3.8 resaltan los resultados del canal de desvanecimiento de Rician. En la figura 3.7 se muestran los resultados de la BER para el sistema OFDM codificado y no codificado con el parámetro de Rician $k=1$, y los datos tabulados se muestran en la tabla 3.5. Se analiza que el rendimiento BER del sistema OFDM codificado es bueno. En la figura 3.8 se ve que para varios valores del parámetro de Rician " k " a medida que cambia el valor, la BER también se modifica (ver tabla 3.6). Los resultados confirmaron que para el aumento en el factor " k " de Rician, el rendimiento recibido de la BER es mejor. Los resultados se obtuvieron mediante el uso de

código de bloque lineal con el esquema de modulación DQPSK y Hamming extendido.

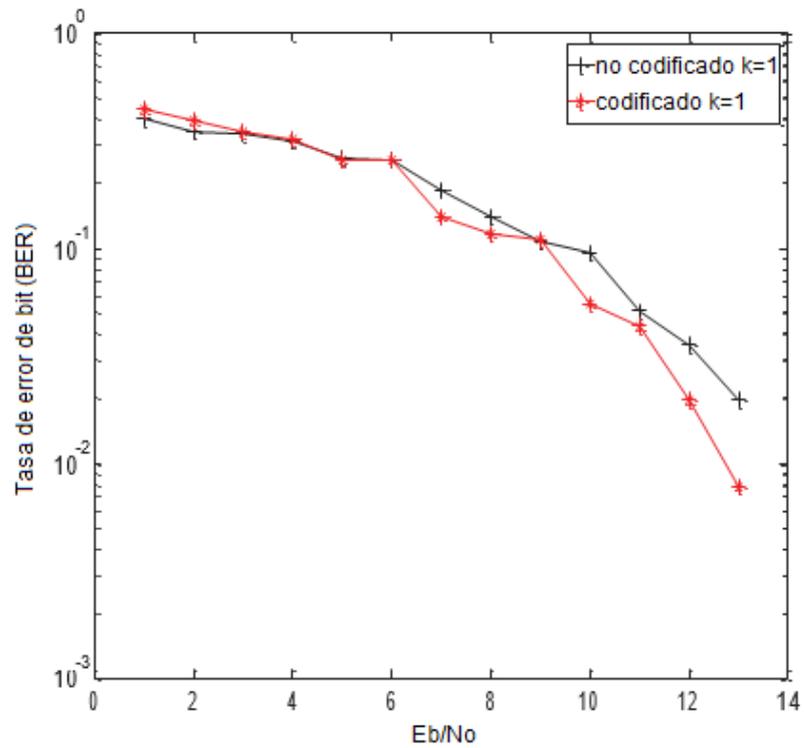


Figura 3. 7: Tasa de error de bit del sistema OFDM bajo el canal Rician para $k = 1$.
Elaborado por: Autor.

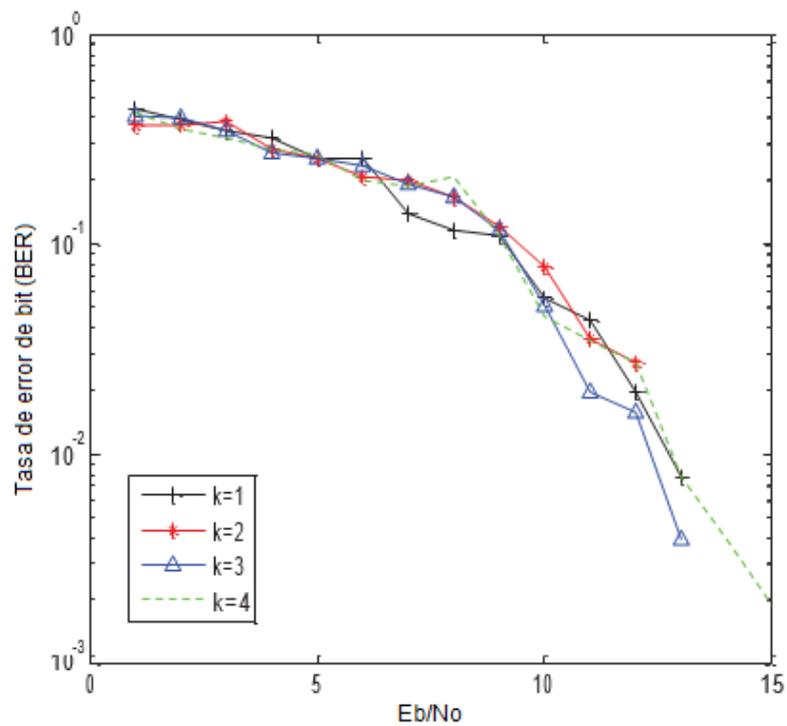


Figura 3. 8: Rendimiento de la tasa de error de bit del sistema OFDM bajo el canal Rician usando LBC para diferentes valores del factor k .
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 5: BER de OFDM bajo el canal de Rician $k = 1$

Eb/No (dB)	BER bajo el canal Rician	
	Sistema OFDM no codificado	Sistema OFDM codificado
1	0.4003	0.4349
2	0.3468	0.3934
3	0.3409	0.3427
4	0.3099	0.3200
5	0.2589	0.2569
6	0.2569	0.2529
7	0.1848	0.1401
8	0.1378	0.1169
9	0.1068	0.1089
10	0.0949	0.0539
11	0.0501	0.0429
12	0.0347	0.0189
13	0.0190	0.0089

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 6: BER del sistema OFDM codificado bajo el canal Rician

Eb/No (dB)	BER del sistema OFDM codificado bajo el canal Rician			
	K=1	K=2	K=3	K=4
1	0.4449	0.3667	0.4097	0.4208
2	0.3939	0.3707	0.4017	0.3549
3	0.3432	0.3819	0.3469	0.3159
4	0.3996	0.2848	0.2689	0.2848
5	0.2569	0.2529	0.2531	0.2649
6	0.2531	0.2063	0.2338	0.1987
7	0.1400	0.1988	0.1908	0.1866
8	0.1167	0.1676	0.1677	0.2061
9	0.1089	0.1207	0.1167	0.1087
10	0.0539	0.0778	0.0501	0.0447
11	0.0425	0.0348	0.0188	0.0340
12	0.0189	0.0267	0.0149	0.0268
13	0.0071	0.0000	0.0029	0.0072
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033
15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017

Elaborado por: Autor.

El rendimiento de BER del sistema OFDM se analiza para los canales AWGN, Rayleigh y Rician. El sistema OFDM codificado muestra un buen rendimiento de BER. Para los diversos valores de máximo desplazamiento Doppler BER, el rendimiento del sistema OFDM codificado demuestra ser mejor. El sistema OFDM codificado proporciona un buen rendimiento de BER para el factor de Rician $k=1$.

Se concluye que el sistema OFDM codificado está muy por delante en rendimiento en comparación con el sistema OFDM básico que da una BER más baja.

Conclusiones

La multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) es una técnica empleada en las comunicaciones inalámbricas que divide un canal de comunicaciones en varias bandas de frecuencia igualmente espaciadas. Se pudo comprobar que en cada banda se envía una subportadora que tiene una parte de la información del usuario. Cada subportadora es ortogonal (es decir, independientes entre sí) con otra subportadora; es decir, que se pudo distinguir a OFDM de la técnica de multiplexación por división de frecuencia (FDM) comúnmente utilizada en redes inalámbricas.

Se considera muy importante calcular el rendimiento de los sistemas inalámbricos teniendo en cuenta las características de transmisión, los parámetros del canal inalámbrico y la estructura del dispositivo. Por esto, la tasa de error de bits (BER) se considera una de las medidas de rendimiento más utilizadas para los sistemas de comunicación inalámbricas y, por lo tanto, se ha estudiado ampliamente. En este trabajo del componente práctico del examen complejo, se propuso un enfoque novedoso para calcular la probabilidad promedio de error mediante el uso de técnicas de modulación DQPSK en sistemas OFDM.

Recomendaciones.

1. Implementar herramientas de simulación robustas como MatLab/Simulink, LabVIEW entre otras para el aprendizaje de modelados de sistemas de comunicaciones que permita el desarrollo de diversas aplicaciones en redes inalámbricas.
2. De acuerdo con el trabajo realizado se puede desarrollar la implementación en el software LabVIEW utilizando el sistema de radio definida por software USRP de National Instrument.

Bibliografía.

- Awon, N. T., Rahman, M., Islam, A., & Islam, T. (2012). Effect of AWGN & Fading (Raleigh & Rician) channels on BER performance of a WiMAX communication System. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 10(8), 11–17.
- Babu, S., & Rao, S. (2011). Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels under Various Modulation Schemes. *International Journal of Computer Applications*, 26(9), 23–28.
- Bepery, C., Hasan, M., Farhana, T., Basir, M., & Paramanik, I. (2013). Estimate Better Channel from Additive White Gaussian Noise (AWGN) and Rician Channel for Minimum Shift Keying (MSK) Signal. *International Journal of Electronics & Informatics*, 2(1), 19–25.
- Deepak, K. C., & Khaliluzzaman. (2015). Evaluation of SNR for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels Under DPSK Modulation Scheme with Constant BER. *International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing*, 3(1), 7. <https://doi.org/10.11648/j.wcmc.20150301.12>
- Ismail, N. F. N., Musirin, I., Baharom, R., & Johari, D. (2010). Fuzzy logic controller on DC/DC boost converter. *2010 IEEE International Conference on Power and Energy*, 661–666. <https://doi.org/10.1109/PECON.2010.5697663>
- Jiang, W., & Wright, W. M. D. (2016). Indoor wireless communication using airborne ultrasound and OFDM methods. *2016 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ULTSYM.2016.7728795>
- Pathan, A. S., & Satmohankar, A. (2015). A Comparative Study between Multipath Fading Channels. *International Journal of Engineering Development and Research*, 3(2), 720–725.

Varade, S., & Kulat, K. (2012). BER Comparison of Rayleigh Fading, Rician Fading and AWGN Channel using Chaotic Communication based MIMO-OFDM System. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 1(6), 107–115.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ORDEÑANA GAROFALO, EDISON EMILIO** con C.C: # 094058432-9 autor del componente práctico del examen complejo: **Análisis comparativo de los canales AWGN/Rayleigh/Rician utilizados en sistemas OFDM** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 18 de septiembre del 2020

f. _____

Nombre: ORDEÑANA GAROFALO, EDISON EMILIO

C.C: 094058432-9

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis comparativo de los canales AWGN/Rayleigh/Rician utilizados en sistemas OFDM		
AUTOR(ES)	Ordeñana Garofalo, Edison Emilio		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	18 de Septiembre del 2020	No. DE PÁGINAS:	43
ÁREAS TEMÁTICAS:	Teoría de Comunicaciones, Comunicaciones Inalámbricas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	WLAN, MIMO, Multiplexación, Frecuencia, Canales, Ruido.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>En la red de área local inalámbrica (WLAN) moderna, tanto el rendimiento de transmisión de datos como la estabilidad de la conexión son muy importantes. Para la especificación del protocolo IEEE802.11n, está compuesto por un sistema de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) y un sistema de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM). De acuerdo con esta motivación este documento presenta el componente práctico del examen complejo, cuyo tema es "Análisis comparativo de los canales AWGN / Rayleigh / Rician utilizados en sistemas OFDM". En el capítulo 1, se presenta una descripción general de las comunicaciones inalámbricas y la importancia de los canales, tales como el canal de ruido blanco aditivo Gaussiano (AWGN), y los canales de desvanecimiento de Rayleigh y de Rician. También, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo práctico. En el capítulo 2, se presenta los fundamentos teóricos de las comunicaciones inalámbricas y de los canales de desvanecimientos y de ruido. Finalmente, en el capítulo 3 se presenta los escenarios de simulación para analizar comparativamente los modelos de canales en la comunicación inalámbrica utilizando OFDM.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-96289178	E-mail: edy_07@hotmail.es	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			