



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA INALÁMBRICO
CON TRANSMISIÓN OPORTUNISTA EN CANALES CON
DESVANECIMIENTO DE TIPO RICE.

AUTORES

GABRIELA CRISTINA VACA CAMACHO

JOSÉ LUIS BANEGAS CARDOSO

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA INALÁMBRICO CON
TRANSMISIÓN OPORTUNISTA EN CANALES CON DESVANECIMIENTO DE
TIPO RICE.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Redes y
Telecomunicaciones

Profesor guía

Ph.D. Nathaly Verónica Orozco Garzón.

Autores

José Luis Banegas Cardoso

Gabriela Cristina Vaca Camacho

Año

2020

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo, Análisis del desempeño de un sistema inalámbrico con transmisión oportunista en canales con desvanecimiento de tipo Rice, a través de reuniones periódicas con los estudiantes Gabriela Cristina Vaca Camacho y José Luis Banegas Cardoso en el semestre 202010, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



Nathaly Verónica Orozco Garzón.

Doctora en Ingeniería Eléctrica en el área de Telecomunicaciones y Telemática

CI. 1720938586

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Análisis del desempeño de un sistema inalámbrico con transmisión oportunista en canales con desvanecimiento de tipo Rice, de los estudiantes Gabriela Cristina Vaca Camacho y José Luis Banegas Cardoso, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



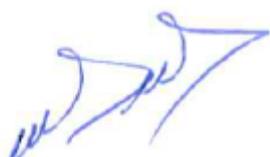
Henry Ramiro Carvajal Mora

Doctor en Ingeniería Eléctrica en el área de Telecomunicaciones y Telemática

CI. 1721327862

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”



Gabriela Cristina Vaca Camacho
C.I.: 1714917786



José Luis Banegas Cardoso
C.I.: 1722470695

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a cada una de las personas que nos apoyaron durante todo este tiempo en el que desarrollamos este proyecto sobre todo a nuestras familias, que son nuestra mayor motivación para alcanzar nuestros objetivos.

DEDICATORIA

Agradecimiento a mis padres Oswaldo Banegas y Daysi Cardoso, a mis hermanos Oswaldo y Wendy quienes con su cariño, comprensión y sobre todo el apoyo incondicional que supieron brindarme en los momentos difíciles en la carrera, a mis compañeros que siempre nos apoyamos unos a otros para juntos alcanzar el objetivo de todos, el culminar la carrera.

José Luis Banegas Cardoso

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mis padres: Miryam Camacho y Edgar Vaca, quienes me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de este trayecto, siendo una guía fundamental durante todos estos años de vida.

A mis hermanos: Álvaro y Esteban quienes han sido un ejemplo para seguir en el ámbito profesional y personal.

Gabriela Cristina Vaca Camacho

RESUMEN

Este trabajo analiza el desempeño de un sistema inalámbrico con transmisión oportunista en canales con desvanecimiento de tipo Rice con modulación BPSK. Cabe mencionar que el desvanecimiento de tipo Rice implica que existe línea de vista directa entre la transmisión y recepción del enlace, por lo cual el sistema tiene un mejor desempeño de su operación. Se compara un sistema ordinario con el sistema oportunista analizado. Este análisis y comparación se lo realiza mediante simulaciones en el software MATLAB a través de curvas de la probabilidad de error de bit en los dos sistemas. Para esto, se emplean diferentes valores de umbral de transmisión permitiéndonos así compararlos y poder saber qué sistema tiene un mejor desempeño.

Palabras clave: Desvanecimiento de tipo Rice, sistema oportunista, sistema ordinario, probabilidad de error de bit, eficiencia espectral.

ABSTRACT

This document is about the performance of the wireless system with opportunistic transmission on fades of Rice type with BPSK modulation, heading indicating the fade of Rice type has direct line of sight between the transmission and reception of the link, so it has a better system performance at the time of transmitting information, we will proceed to compare an ordinary system with the proposed opportunistic system, compare which is the system that has the best performance at the time of transmitting, this analysis will be carried out by means of a simulation, use the MATLAB software that It allows us to generate the curves of the bit error probability in the two systems, using different threshold values thus allowing us to compare them and to know which system has a better performance.

Keywords: Rice type fading, opportunistic system, ordinary system, bit error probability, spectral efficiency.

ÍNDICE

1.CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Alcance.....	2
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivo General	3
1.4.1.Objetivos Específicos	3
2.CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Comunicación inalámbrica.....	3
2.1.1.Características de la comunicación inalámbrica	3
2.1.2.Microondas terrestres.....	4
2.1.3.Microondas por satélite	4
2.1.4.Infrarrojos	5
2.2. Evolución de redes inalámbricas.....	6
2.3. Tipos de redes inalámbricas.....	6
2.3.1.WPAN	6
2.3.2.WLAN.....	8
2.3.3.WMAN.....	10
2.3.4.WWAN	11
2.4. Ventajas y desventajas de las redes inalámbricas	12
2.4.1.Ventajas	12
2.4.2.Desventajas	12
3.CAPÍTULO III. DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA OPORTUNISTA CON PRESENCIA DE DESVANECIMIENTO RICE	18
3.1. Introducción	18
3.2. Descripción del sistema (transmisor, receptor y canal)	19

3.3. Mecanismo de Transmisión Oportunista Propuesto	21
3.4. Cálculo del umbral de transmisión	22
3.5. Probabilidad error de bit del sistema oportunista.....	23
3.6. Simulación de un sistema oportunista con desvanecimiento Rice.....	24
4.CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL SISTEMA OPORTUNISTA CON CANAL DE DESVANECIMIENTO DE TIPO RICE	26
5.CAPÍTULO V. COMPARACIONES DE UN SISTEMA ORDINARIO CON UN SISTEMA OPORTUNISTA	30
5.1. Análisis de la eficiencia espectral.....	39
6.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
6.1. Conclusiones.....	43
6.2. Recomendaciones	44
REFERENCIAS	46
ANEXOS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Transmisión de microondas terrestres con línea de vista.	4
Figura 2 Transmisión de microondas vía satélite.	5
Figura 3 Comunicación por infrarrojo.	5
Figura 4 Arquitectura de WPAN.	7
Figura 5 Topología de red WLAN.....	9
Figura 6 Estructura red WMAN	11
Figura 7 Características de las redes inalámbricas.	11
Figura 8 Descripción de las redes inalámbricas.	12
Figura 9 Función Bessel.	16
Figura 10 Cálculo de la BER	17
Figura 11 Diagrama de bloques de un sistema oportunista.....	20
Figura 12 Amplitud del desvanecimiento por encima del umbral deseado.	21
Figura 13 Amplitud del desvanecimiento por debajo del umbral deseado.	21
Figura 14 Herramienta de análisis de tasa de error de bit	26
Figura 15 BER Teórica en términos del factor k generada por la herramienta Bit Error Rate Analysis Tool.....	27
Figura 16 BER Teórica en términos del factor k generada por nuestro código	27
Figura 17 BER en función E_b/N_0 considerando un canal con $v = 0$ y transmisión oportunista con $m =$ 0,8325, 1,0481, 1,1774 y 1,2686	28
Figura 18 BER en función E_b/N_0 considerando un canal con $v = 0,5$ y transmisión oportunista con $m =$ 0,9379, 1,1773, 1,3199 y 1,4202	29
Figura 19 BER en función E_b/N_0 considerando un canal con $v = 1$ y transmisión oportunista con $m =$ 1,2437, 1,5193, 1,6787 y 1,7890	30
Figura 20 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con	

desvanecimiento Rice con factor $k = 0$ utilizando un umbral $m = 0,8325$	31
Figura 21 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 0$ utilizando un umbral $m = 1,0481$	32
Figura 22 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 0$ utilizando un umbral $m = 1,2686$	33
Figura 23 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 0,25$ utilizando un umbral $m = 0,9379$	34
Figura 24 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 0,25$ utilizando un umbral $m = 1,3199$	35
Figura 25 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 0,25$ utilizando un umbral $m = 1,4202$	36
Figura 26 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 1$ utilizando un umbral $m = 1,2437$	37
Figura 27 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 1$ utilizando un umbral $m = 1,5193$	38
Figura 28 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema	

oportunista y un sistema ordinario en un canal con
desvanecimiento Rice con factor $k = 1$ utilizando un umbral m
 $= 1,7890$ 38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción general de las capas físicas del estándar 802.11.....	8
Tabla 2 Definición del estándar ETSI	9
Tabla 3 Parámetros de una transmisión oportunista con desvanecimiento de tipo Rice	23
Tabla 4 Eficiencia espectral en función de las probabilidades de transmisión.....	41

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Los sistemas de transmisión inalámbrica se han tornado en una área muy estudiada y desarrollada durante varios años, ya que presentan gran capacidad de innovación para nuevos servicios y aplicaciones. Por lo cual y debido a que permiten altas tasas de transmisión de datos es importante buscar nuevos métodos y propuestas técnicas para mejorar y garantizar la calidad de los servicios ofrecidos. Existen varios fenómenos que pueden afectar la calidad de transmisión de la señal en un canal de comunicación inalámbrico, dichos fenómenos son el ruido, desvanecimiento e interferencia. Estos factores ocasionan errores en el proceso de recepción de datos, por lo que es necesario emplear alternativas que combatan estos fenómenos.

El desvanecimiento es un factor que degrada considerablemente el desempeño de un sistema inalámbrico, lo que puede provocar alteraciones en la señal, es decir, que debido a este factor existen errores en el procesamiento de recepción de información, teniendo como resultado que la información recibida sea diferente a la transmitida. Por este motivo, existe la necesidad de buscar alternativas para tener una mejor transmisión y disminuir la probabilidad de error de bit.

Existen varios estudios acerca de las transmisiones inalámbricas, los cuales se conocen como sistemas distribuidos de planificación oportunista (*Distributed Opportunistic Scheduling, DOS*), estos ofrecen varias ventajas que sirven de mejora continua en redes inalámbricas. Se utilizan ciertas técnicas, las cuales permiten un mejor desempeño. La propuesta de este proyecto es aprovechar las características del desvanecimiento de tipo Rice. Como el desvanecimiento varía respecto al tiempo se puede aprovechar el modelado estadístico de dicho fenómeno y realizar una transmisión oportunista cuando dicho desvanecimiento no atenué la señal de forma considerable, teniendo como consecuencia mejorar el rendimiento de transmisión de información. Es decir, si el valor del desvanecimiento está por encima de cierto umbral, el receptor informa al transmisor que debe transmitir, pero si el valor del desvanecimiento es inferior al

umbral, el receptor informa al transmisor que no debe transmitir. Una vez expuestos estos aspectos, en este trabajo se analiza el desempeño del sistema a través de la probabilidad de error de bit para el esquema de modulación BPSK en canales con desvanecimiento de tipo Rice.

1.2. Alcance

En el siguiente proyecto se plantea analizar el desempeño de un sistema inalámbrico con transmisión oportunista en canales con desvanecimiento de tipo Rice considerando diferentes esquemas de modulación.

La evaluación se analizará en términos de la probabilidad de error de bit a través de simulaciones usando la herramienta Matlab, lo cual nos permitirá simular y realizar las comparaciones entre los sistemas de comunicación ordinarios que se usan actualmente y el sistema de transmisión oportunista propuesto.

Adicionalmente, se realizará un análisis de la eficiencia espectral del sistema propuesto y se llevará a cabo una comparación con un sistema ordinario.

1.3. Justificación

Debido a que los canales de transmisión inalámbrica se ven afectados por factores como el ruido, desvanecimiento e interferencia, por lo cual la información se ve comprometida por distintos factores o errores en el procesamiento de recepción, se busca mejorar la calidad de transmisión y recepción de la información, pese a que existen varios estudios relacionados con transmisiones oportunistas que buscan mejorar la eficiencia de redes inalámbricas, no existe ninguno que relacione estos sistemas con canales con desvanecimiento de tipo Rice para diferentes esquemas de modulación, siendo este el factor fundamental para el desarrollo de esta propuesta.

Esta tesis propone como principal aporte, analizar un sistema oportunista que busca mejorar el desempeño de la transmisión inalámbrica. El análisis de rendimiento del sistema se basa en la probabilidad de error de bit y la eficiencia espectral. Estas expresiones se verifican utilizando el método de simulación mediante la herramienta Matlab, en la cual simularemos un sistema ordinario y

un sistema oportunista. Adicional compararemos si conseguimos mejorar el desempeño y en qué condiciones. Finalmente, se presentará la eficiencia espectral en los canales con desvanecimiento de tipo Rice con diferentes esquemas de modulación

1.4. Objetivo General

Analizar el desempeño de un sistema inalámbrico que considera un mecanismo de transmisión oportunista para el esquema de modulación, en canales con desvanecimiento del tipo Rice a través de la probabilidad de error de bit y la eficiencia espectral.

1.4.1. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio del arte de transmisiones oportunistas en un sistema inalámbrico incluyendo modulaciones digitales con modelamiento del canal de tipo Rice y definir conceptos básicos que serán utilizados.
- Diseñar y simular un sistema de comunicación inalámbrica empleando una transmisión oportunista en canales con desvanecimiento de tipo Rice considerando un esquema de modulación, a través de simulaciones con la herramienta MATLAB.
- Analizar los resultados obtenidos del sistema inalámbrico con transmisión oportunista, mediante la PEB (Probabilidad de error de bit) y la eficiencia espectral, realizando comparaciones con un sistema inalámbrico ordinario.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Comunicación inalámbrica

Es la transmisión de datos a través de la modulación de ondas electromagnéticas, es decir, que la comunicación entre el emisor y el receptor se lleva a cabo a través del espacio (atmosfera) o en el vacío.

2.1.1. Características de la comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica tiene algunas características dependiendo del

rango de las frecuencias que se utilice en la transmisión, el medio para transmitir puede ser: microondas sean terrestres o satelitales, infrarrojos y ondas de radio.

2.1.2. Microondas terrestres

Las microondas terrestres utilizan antenas parabólicas cuyo diámetro varía de acuerdo la aplicación o la ubicación geográfica donde van a instalarse, área de cobertura, la potencia de transmisión o recepción etc. Este tipo de enlaces utilizan frecuencias entre 1 GHz, a 300 GHz cabe mencionar que el emisor y receptor deben estar alineados o tener línea de vista como se conoce técnicamente, es decir que no existan obstáculos entre los dos puntos (emisor y receptor), la interferencia puede ser por árboles, edificios o el estado del clima (Cazo, 2012). Como ejemplo la figura 1 muestra un enlace radioeléctrico considerando el modelo de propagación de dos rayos (Cazo, 2012).



Figura 1 Transmisión de microondas terrestres con línea de vista.

Tomado de: (Vela 2005).

2.1.3. Microondas por satélite

Microondas por satélites utilizan también enlaces radioeléctricos. Estos se hacen con un mínimo de un par de estaciones bases. Cuando el satélite recibe la señal se conoce como señal o enlace ascendente, caso contrario se conoce como enlace descendente. (Cazo, 2012)

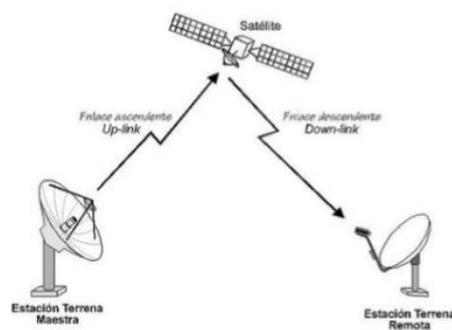


Figura 2 Transmisión de microondas vía satélite.

Tomado de: (Zamanillo, 2003).

2.1.4. Infrarrojos

En este tipo de enlace tanto el transmisor como el receptor modulan luz infrarroja, por lo cual como se puede observar en la Figura 3 deben ser ubicados en línea de vista pues la luz no puede atravesar obstáculos, por lo cual se los coloca a una distancia corta entre los 30 cm a 100 cm máximo. Los infrarrojos utilizan frecuencias desde 300 GHz hasta 384 THz (TeraHercios), y permiten que la comunicación sea en ambos sentidos conocida como bidireccional, con una velocidad de transmisión aproximada a los 9.6 kbps (kilobit por segundo) y los 4 Mbps (Megabit por segundo) (Andreu, 2012).



Figura 3 Comunicación por infrarrojo.

Tomado de: (Andreu, 2012).

2.2. Evolución de redes inalámbricas

Las redes inalámbricas han adquirido gran aceptación debido a que son consideradas como un sistema de comunicación eficaz que usa el espectro radioeléctrico como medio de transmisión. Las redes han ido evolucionando a lo largo del tiempo ya que en un inicio la comunicación estaba dada únicamente a través de equipos fijos y redes cableadas. En la actualidad, existen también las redes inalámbricas las cuales constan de un enlace que utiliza ondas electromagnéticas (radio e infrarrojo), lo cual permite a los usuarios mantenerse conectados mientras se desplazan dentro de una determinada área de cobertura es decir es un sistema de comunicación portátil y móvil.

A pesar de las ventajas de comunicación inalámbrica que esta tecnología proporcionó a los usuarios, persistió la exigencia por parte de este de un incremento en la velocidad de la transmisión de datos, así también mejoras en la calidad de servicio, cobertura, disponibilidad, etc. Siendo este el origen de las tecnologías móviles desde la 1G hasta la 5G.

Lo anterior implica el requerimiento de mayor ancho de banda. Así, se ha conseguido avances a pasos agigantados en la codificación, modulación y procesamiento de la señal para tener una eficiencia espectral maximizada, está limitada por el nombrado teorema de Shannon, también conocido como “Teorema fundamental de las comunicaciones” (González, 2019). El cual establece la capacidad que brinda el canal, para tener un canal con ancho de banda finito y una señal continua que contiene ruido gaussiano.

2.3. Tipos de redes inalámbricas

Según la cobertura y tecnología se puede clasificar en algunos tipos, los cuales se describen a seguir:

2.3.1. WPAN

(Red inalámbrica de área personal, del inglés, *Wireless personal area network*) permite la interconexión de equipos que se pueden encontrar ya sea a unos cuantos centímetros a un máximo de 10 metros de distancia entre tx y rx, cuya

velocidad máxima de transmisión es de 10Mbps (Cazo, 2012).

Uno de los estándares más conocidos es el bluetooth, el cual utiliza el estándar IEEE 802.15.1 que sirve para el paso de información de un dispositivo a otro o técnicamente hablando donde se utiliza el termino P2P. (Andreu, 2012). Adicionalmente hay presencia de otros tipos de estándares cuya función es similar, los cuales son Infrarrojos, UWB, RFID, ZigBee, Intrared, etc., que son parte del estándar IEEE 802.15, que corresponde a un conjunto de especificaciones, para las redes inalámbricas de área personal y que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos, del inglés, *Open Systems Interconnection*) que son la capa física y la capa de enlace de datos. (Gonzáles, 2019)

Se puede observar en la figura 4, la configuración de un sistema de radio de corto alcance independiente, en el cual podemos ver varios tipos de dispositivos que pueden participar en dicha configuración si se aplican con las interfaces apropiadas. Los enlaces inalámbricos antes mencionados se pueden implementar con varias tecnologías actuales. Sin embargo, el dominante es el estándar bluetooth. Hoy en día, la industria proporciona hardware como tarjetas de interfaz y otros componentes para esta tecnología.

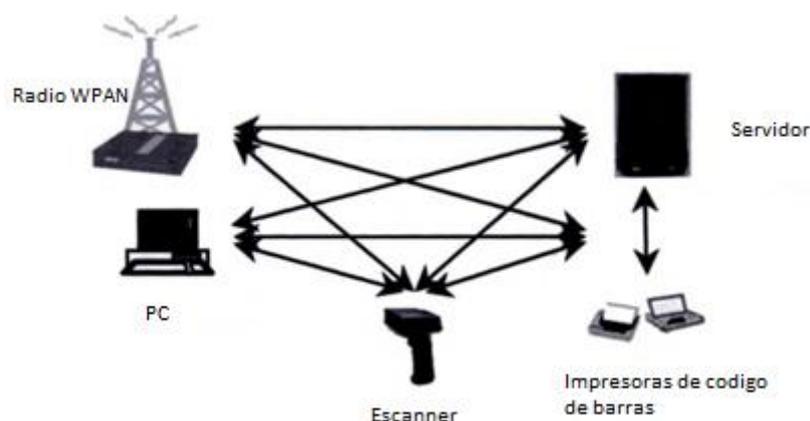


Figura 4 Arquitectura de WPAN.

Tomado de: (Prasad, 2004).

2.3.2. WLAN

(Red inalámbrica de área local, del inglés, Wireless local area network) es una Red inalámbrica de área local, que proviene del inglés, Wireless local area network, la cual puede situarse en un mismo sitio o área sea este edificio, casa, bodega o cualquier construcción con cobertura máxima de 20 metros en interiores y de 100 metros en exteriores (De la Cruz, 2013). La más conocida es Wi-Fi, la cual pertenece al estándar IEEE 802.11, en las versiones (802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n). Cabe mencionar que hay otras tecnologías que tienen una función similar pero con otros tipos de estándares, por ejemplo HIPERLAN2 que utiliza el estándar del grupo ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones, del inglés, *European Telecommunications Standards Institute*). (Andreu, 2012)

La Tabla 1 muestra un resumen del estándar 802.11 con sus diferentes versiones, indicando sus características más significativas como la fecha en la cual fueron creados, la banda de frecuencia en la que trabajan, la velocidad de transmisión y la compatibilidad entre versiones.

Tabla 1

Descripción general de las capas físicas del estándar 802.11.

	IEEE 802.11	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	IEEE 802.11 g
Año	1997	1999	2000	2003
Tipo de Banda	2,4 GHz	2,4 GHz	5,8 GHz	2,4 GHz
Velocidad de Transmisión	1,2 Mbps	1, 2, 5.5 y 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps	1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24,36, 48 y 54 Mbps
Compatibilidad	Es el principal	El estándar IEEE 802.11 es compatible	Ningún estándar es compatible	Los estándares IEEE 802.11 y 802.11b son compatibles

Tomado de: (Amaia Lesta, 2006).

A continuación, se presenta la infraestructura más utilizada en redes WLAN, la cual ayuda a la conexión entre estaciones que son inalámbricas o diferentes tipos de dispositivos de usuarios hacia un punto de acceso, el cual es el que administra las conexiones. Como se puede observar en la figura 5, tenemos una red LAN donde están conectados varios equipos a un punto de acceso todo esto se lo puede hacer de manera inalámbrica o cableada.

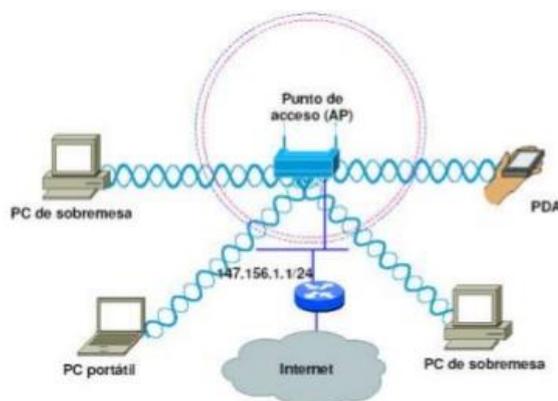


Figura 5 Topología de red WLAN

Tomado de: (Ciampa, M. 2013).

Como se puede observar en la Tabla 2, el estándar ETSI tiene una similitud con el conocido estándar IEEE 802.11a, sobre todo en lo que respecta a la capa física. *HIPERLAN2* accede libremente a la interconexión con varios tipos de tecnologías de una red fija y tiene compatibilidad con la calidad de servicio (QoS) (González, 2019).

Tabla 2

Definición del estándar ETSI.

Estándar de la ETSI	Título del estándar
TS 101 475	Capa física
TS 101 761-1	Capa " <i>Data Link Control</i> " (DLC) Funciones básicas de transporte de datos
TS 101 761-2	Capa (DLC) Subcapa de control del medio radio (RLC)
TS 101 493-1	Capa " <i>Packet Based Convergente</i> "

Estándar de la ETSI	Título del estándar
TS 101 493-2	Capa “ <i>Packet Based Convergente</i> ” Capa de convergencia del servicio Ethernet (SSCS)
TS 101 763-1	Capa de Convergencia de celda. Parte común
TS 101 763-2	Capa de Convergencia de celda. UNI parte específica de servicio
TS 101 762	Gestión de Red
TS 101 761-4	Perfil para entornos domésticos
TS 101 761-3	Perfil para entornos de empresa

Tomado de: (González, 2019).

2.3.3. WMAN

Red inalámbrica de área metropolitana, del inglés, *Wireless metropolitan area network* son redes que tiene un alcance de 1 a 5 km aproximadamente. Son conocidas por interconectar edificios, por lo cual se encuentran en barrios, urbanizaciones o municipios pequeños. El estándar más conocido en las redes WMAN es WiMAX (Interoperabilidad mundial para acceso por microondas, del inglés, *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) es un protocolo parecido al protocolo Wi-Fi, pero con mayor cobertura y ancho de banda.

Tiene una velocidad de transmisión de 75 Mbps y usa bandas de frecuencias entre los 2 GHz hasta los 6 GHz, es considerado una alternativa de bajo costo ya que reemplaza las conexiones de cable por comunicación inalámbrica (Cazo, 2012).

Como se puede observar en la figura 6, está representada la red WMAN, como una red que son utilizadas en barrios, urbanizaciones antes ya mencionado por la corta distancia de cobertura.

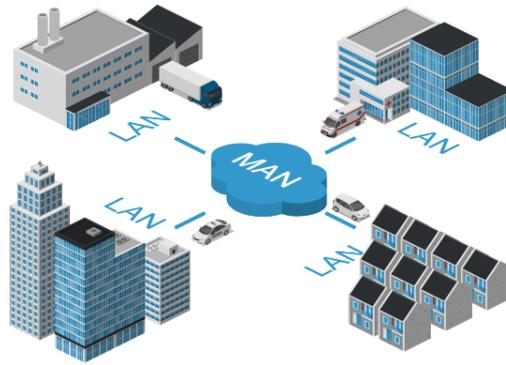


Figura 6 Estructura red WMAN

Tomado de: (Cazo, 2012).

2.3.4. WWAN

Red inalámbrica de área extensa, del inglés, *Wireless wide area network* es una red inalámbrica que tiene un alcance amplio en las redes inalámbricas, por lo cual esta red es utilizada por los teléfonos móviles. Las principales tecnologías son: GSM, GPRS, UMTS y LTE que es la que se utiliza en la actualidad con una mayor velocidad de acceso a internet, capacidad multimedia, además permite transmitir audio y video.

Como se puede observar en la Figura 7, se encuentra de manera resumida las características de cada uno de los tipos de redes inalámbricas antes mencionados, indicando la distancia, el tipo de red, los tipos de servicios que brinda, medios por los cuales operan y los estándares que ocupan cada una de ellas.

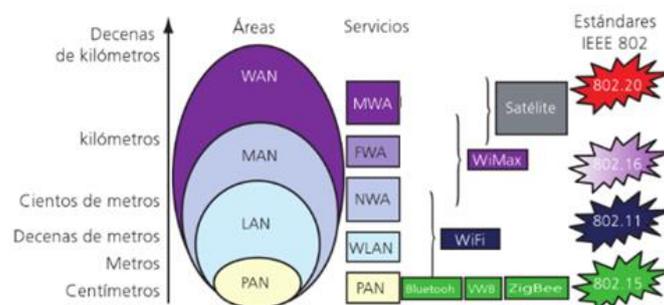


Figura 7 Características de las redes inalámbricas.

Adaptado de: (Andreu, 2012).

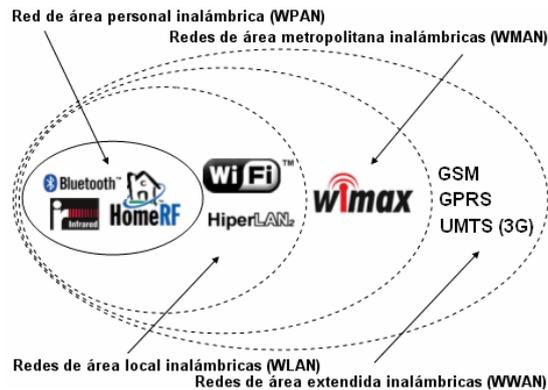


Figura 8 Descripción de las redes inalámbricas.

Tomado de: (Ciampa, 2013).

2.4. Ventajas y desventajas de las redes inalámbricas

A continuación, observamos las ventajas y desventajas de usar una red inalámbrica:

2.4.1. Ventajas

- Económica. Eliminan o reducen el costo de la instalación física.
- Crecimiento. Permite la conexión de gran cantidad de dispositivos móviles.
- Movilidad. No se tiene que estar atado a un punto de red, ya que puede conectarse de manera inalámbrica desde cualquier parte de la oficina, edificio, casa, etc., sin la necesidad de cables.
- Instalación. Resulta más fácil, ya que no existen cableado físico, a excepción de cableado utilizado en el core de la red.

2.4.2. Desventajas

- Seguridad. Las redes cableadas son más seguras, por lo que los organismos de defensa y seguridad gubernamentales utilizan redes cableadas en sus instalaciones.
- Ancho de banda. Presentan un menor ancho de banda que las redes cableadas, es decir que la velocidad alcanzada en las redes cableadas es

mayor que la velocidad de las redes inalámbricas.

- Funcionalidad. Las redes inalámbricas se pueden ver afectadas en su funcionamiento por ondas electromagnéticas o equipos electrónicos que se encuentren alrededor, lo que produce interferencia y por lo tanto, degrada el desempeño del sistema.

2.5. Modulación

Se llama modulación a aquella operación en la cual algunas características de la onda portadora son modificadas en función de una señal moduladora, la cual contiene información.

Además, la modulación es una técnica que modifica la señal para que pueda ser transmitida a través de un canal. Esto debido a que el canal de comunicaciones tiende a comportarse como un filtro.

El objetivo de la modulación es modificar la información digital para que pueda ser enviada a través de un medio radioeléctrico esto depende del sistema.

2.5.1. Modulación BPSK

Modulación por desplazamiento de fase binaria, del inglés, *Binary Phase Shift Keying*. Con la modulación BPSK, la fase de la señal es modificada. Así, BPSK, genera 2 fases de salidas desfasadas π radianes, la primera un 1 lógico y la otra un 0 lógico.

BPSK implica la multiplicación de una señal digital polar con una portadora sinusoidal.

La señal BPSK modulada se puede escribir como:

$$s(t) = A_p * \cos[2\pi ft + \theta]$$

(Ecuación 1)

donde,

A_p = es la amplitud constante

f = es la frecuencia constante

t = es el tiempo

θ = representa los posibles valores de la fase $[0, \pi]$

2.6. Desvanecimiento

El desvanecimiento (*fading* en inglés) es la atenuación que sufre una señal modulada debido a que el transmisor no tiene una línea de vista directa con el receptor lo que produce una propagación multi-trayecto, es de decir que la señal transmitida se ve afectada por los cuerpos que se encuentran en el medio lo cual afecta a la propagación de las ondas.

La atenuación de la señal puede variar con el tiempo, posición geográfica o frecuencia de radio, y es a menudo modelada como un proceso aleatorio.

2.6.1. Desvanecimiento de tipo Rice

El desvanecimiento de tipo Rice permite modelar canales en los cuales, además de los múltiples trayectos, también existe una componente con línea de vista entre el transmisor y receptor

La distribución de probabilidad de tipo Rice de la magnitud (norma) de una variable aleatoria normal compleja. En la cual las variables aleatorias Gaussianas tienen varianza σ^2 y una de ellas tiene media diferente de cero, específicamente esta media es igual a v .

La PDF de la Rice se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 + v^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{rv}{\sigma^2}\right), r \geq 0$$

(Ecuación 2)

donde s^2 es la potencia de la componente con línea de vista, $2\sigma^2$ es la potencia de los componentes no especulares (sin línea de vista) e I_0 es la función de Bessel de primer tipo y de orden cero (Yáñez, 2009)

Cabe recalcar que la ecuación de la PDF se la puede definir en términos del factor K , donde K se define de la siguiente manera:

$$K = \frac{v^2}{2\sigma^2}$$

(Ecuación 3)

Por lo tanto la relación de los componentes de línea de vista y los componentes no especulares se los puede definir en una ecuación, como se muestra continuación:

$$v^2 = \frac{K\Omega}{K+1}$$

(Ecuación 4)

$$2\sigma^2 = \frac{\Omega}{K+1}$$

(Ecuación 5)

donde Ω es la suma de las potencias, esto es, $\Omega = v^2 + 2\sigma^2$.

De esta manera la PDF se la define en términos de k y Ω :

$$P_R(r) = \frac{2r(K+1)}{\Omega} \exp\left(-K - \frac{r^2(K+1)}{\Omega}\right) I_0\left(2r \sqrt{\frac{K(K+1)}{\Omega}}\right)$$

(Ecuación 6)

2.6.2. Función Bessel

Las funciones de Bessel son populares en problemas que involucran simetría circular o cilíndrica, por lo que a veces se llaman funciones cilíndricas.

Uno de este tipo de funciones aparece en la PDF de Rice.

Por este motivo, usaremos un pequeño apartado para describirla.

2.6.2.1. Soluciones a la ecuación de Bessel

La ecuación de Bessel es una diferencial de segundo orden con dos soluciones linealmente independientes :

- Función de Bessel del primer tipo.
- Función de Bessel del segundo tipo.

En ese caso la PDF de Rice utiliza Función de Bessel del primer tipo.

2.6.2.2. Función de Bessel del primer tipo

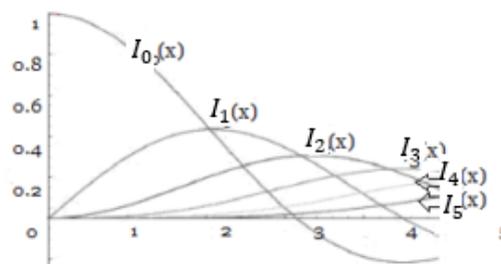


Figura 9 Función Bessel.

Adaptado de: (Prasad, R. 2004).

Como se puede observar en la figura 9, las funciones de Bessel son oscilatorias similares a las funciones seno y coseno que van decayendo a $\frac{1}{\sqrt{x}}$. Las funciones de Bessel del primer tipo (a veces llamadas funciones ordinarias de Bessel), se denotan mediante $I_n(x)$, donde n es un número entero y a la vez es el orden, donde I_0 es la función Bessel de primer tipo con orden cero la cual está definida por:

$$I_0(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k! \Gamma(k + \alpha + 1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2k+\alpha}$$

(Ecuación 7)

$\Gamma(z)$ es la función Gamma de Euler, denominada una generalización de la factorial para números reales y complejos cuya integral es:

$$\Gamma(Z) = \int_0^{\infty} t^{Z-1} e^{-t} dt$$

(Ecuación 8)

2.7. Probabilidad de error de bit media (BER)

La BER es el resultado de la razón entre el número de bits recibidos con error y el número de bits transmitidos:

$$BER = \frac{\text{Número de errores}}{\text{Números de bits transmitidos}}$$

(Ecuación 9)

El número de errores de bit en la transmisión digital es la cantidad de bits recibidos de un conjunto de datos, a través de un canal de comunicación en el que existe presencia de ruido interferencia o distorsión (desvanecimiento).

Generalmente, la BER es una función de la relación señal a ruido (SNR) del sistema. Una mayor SNR implica una BER menor.

El cálculo de la BER se da a través de la fracción del número de errores dividido a los números de bits transmitidos durante un intervalo de tiempo particular, para ello como se observa en la figura 10 ($P_1(V_{th})$) sería el área rayada que queda por debajo del umbral y $P_0(V_{th})$ sería el área rayada que queda por encima del umbral.

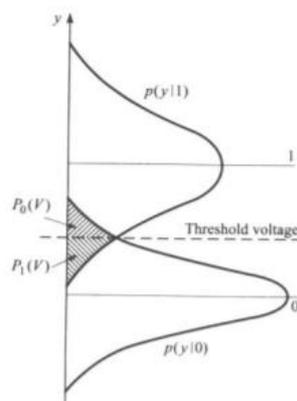


Figura 10 Cálculo de la BER

Tomado de: (Yáñez, P. 2009).

2.7.1. Relación señal a ruido

Señal a ruido (SNR del inglés, *Signal to noise ratio*) es la razón entre la potencia de la señal de interés y la potencia del ruido.

Como se mencionó anteriormente la BER está inversamente relacionada con la relación señal a ruido. Un valor alto de la BER implica una pérdida grande de bits. Por tanto, la SNR sirve como de la calidad del enlace y medida en decibelios se escribe como:

$$SNR = \left(10 \log_{10} \frac{\text{Potencia de señal}}{\text{Potencia de ruido}} \right) dB$$

(Ecuación 10)

2.8. Transmisión Oportunista

Una transmisión oportunista se basa principalmente en la calidad del enlace. Debido a que los sistemas oportunistas son diseñados e implementados con el objetivo de mejorar la eficiencia y el desempeño de las comunicaciones evitando transmisiones innecesarias e ineficientes cuando la calidad del enlace no es buena.

Para evitar trasmisiones innecesarias la transmisión oportunista tiene como característica el establecer un umbral de amplitud en el desvanecimiento. Así el esquema implementado pausa la comunicación entre los dispositivos móviles cuando dicha amplitud del desvanecimiento se encuentra por debajo del umbral.

3. CAPÍTULO III. DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA OPORTUNISTA CON PRESENCIA DE DESVANECIMIENTO RICE

3.1. Introducción

Hoy en día vivimos en un mundo en el cual la tecnología se ha convertido en un elemento fundamental de las actividades diarias de cada persona, razón por la cual los sistemas de comunicación inalámbrica están desempeñando un papel muy importante en la evolución tecnológica, pues, presentan ventajas sobre los sistemas de comunicación por cable, como es la portabilidad y también la

flexibilidad. Así mismo, también presentan ciertos desafíos de operación, pues operan en canal con presencia de desvanecimiento e interferencia, factores que deterioran a la señal transmitida por un canal inalámbrico.

Existen varios estudios relacionados con los sistemas de comunicación inalámbrica como sistemas con transmisión oportunista, como por ejemplo Comunicaciones D2D Oportunistas (Alejandro Moraleda-Soler, 2014), (Orozco, Análise de Desempenho de uma Proposta de Transmissão Oportunista sem fio em Canais com Desvanecimento Rayleigh e na Presença de Interferência de Co-Canal para Diferentes Esquemas de Modulação, 2014) y Análisis del desempeño de un sistema inalámbrico que emplea transmisión oportunista y modulaciones QAM no cuadradas (Toapanta, 2019). Sin embargo, no se han encontrado en la literatura el análisis del desempeño de un sistema inalámbrico con transmisión oportunista que utiliza modulación BPSK en canales con desvanecimiento de tipo Rice.

Un sistema que emplea transmisión oportunista opera de la siguiente manera. El receptor detecta que la amplitud del desvanecimiento está debajo de un umbral, en este caso, se notifica al transmisor y el mismo no transmite información. Por otra parte, cuando la amplitud del desvanecimiento está por encima de un umbral, entonces se transmite información. De esta manera se aprovechan las características estadísticas del canal de una forma oportuna.

3.2. Descripción del sistema (transmisor, receptor y canal)

Todo sistema de comunicación tiene como objetivo transmitir información a través de un canal, desde un punto de origen llamado transmisor hacia su destinatario llamado receptor. La distribución Rice se aplica al modelado del desvanecimiento rápido solamente cuando hay una componente intensa de una señal constante, se presenta en un entorno urbano con visión directa o conocido comúnmente como línea de vista.

En el transmisor, se generan bits 0 ó 1 con la misma probabilidad. Posteriormente, se asigna un símbolo (x_k), tal que $x_k = \pm 1$ para BPSK. El símbolo x_k en la salida del mapeador toma un formato de pulso que satisface el

criterio de Nyquist antes de ser transmitido. La señal transmitida puede ser expresada como:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Ax_{0,k}g(t - kT_s)$$

(Ecuación 11)

donde A es la amplitud de la señal transmitida, $g(t - kT_s)$ es el pulso de una energía unitaria y $\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} g^2(t - kT_s) dk = 1$, T_s es el periodo del símbolo.

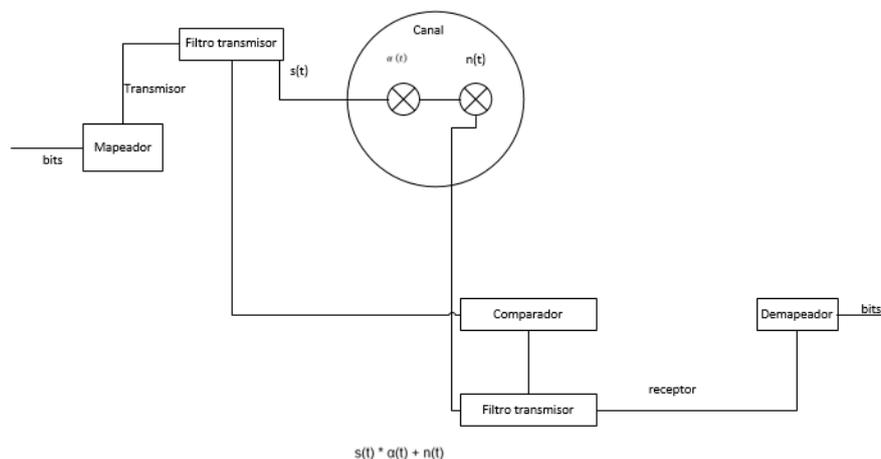


Figura 11 Diagrama de bloques de un sistema oportunista

Como se puede observar en la figura 11 la señal transmitida es afectada por varios fenómenos como atenuación, distorsión, ruido, absorción atmosférica, pérdida en espacio libre y el desvanecimiento $\alpha(t)$ el cual es multiplicativo con la señal transmitida en este caso consideraremos desvanecimiento de tipo Rice y se adiciona ruido $n(t)$. Por tanto, la señal a la entrada del receptor se presenta como $s(t) * \alpha(t) + n(t)$

En el receptor hay un comparador el cual se encarga de comparar si la amplitud del desvanecimiento se encuentra por encima del umbral (m) el receptor indica al transmisor que envíe los datos a través de un enlace, estos son recibidos por un filtro el cual elimina el exceso de ruido que hay en el canal. Mediante la

frecuencia de muestreo se determina la señal que se envía al demapeador para procesar y reconstruir la señal original.

3.3. Mecanismo de Transmisión Oportunista Propuesto



Figura 12 Amplitud del desvanecimiento por encima del umbral deseado.



Figura 13 Amplitud del desvanecimiento por debajo del umbral deseado.

En la Figura 12 se puede observar el mecanismo de transmisión oportunista que va a ser utilizado en el cual el usuario de interés transmite sólo cuando el valor de la amplitud del desvanecimiento está encima de un umbral, es decir, si $\alpha \geq m$, donde m es el umbral de transmisión.

Por otro lado, se puede verificar en la figura 13 que el usuario de interés no transmite si el valor de la amplitud del desvanecimiento está por debajo del umbral, es decir, si $\alpha < m$.

Los valores del umbral de la transmisión oportunista están determinados a partir de la probabilidad de transmisión deseada q , si $q = 1$, el sistema transmite siempre, es decir, es equivalente a un sistema ordinario. En el presente análisis

se va a considerar tres valores de media (ν) que son; 0, 0.5 y 1 cada uno con cuatro valores de umbral de transmisión los cuales serán calculados en la sección 2.4 para evaluar su desempeño.

3.4. Cálculo del umbral de transmisión

Los valores del umbral de transmisión se los calcula a través de la CDF (función de distribución acumulada) de Rice, con dicha función es posible obtener el valor del umbral mediante la probabilidad de no transmisión. La CDF de Rice está dada por la siguiente ecuación (Hernando José & Riera Manuel, 2015):

$$f_{(x)}(m) = 1 - Q_1\left(\frac{\nu}{\sigma}, \frac{m}{\sigma}\right)$$

(Ecuación 12)

donde, ν = es una de las medias de las gaussianas complejas que forman la distribución Rice.

σ^2 = es la varianza de las gaussianas complejas que forman la distribución Rice.

m = es el umbral de transmisión.

Q_1 = Representa a la función Marcum-Q

La función Marcum-Q se calcula de la siguiente manera (Segura, 2014):

$$Q_M(a, b) = \int_b^{\infty} x \left(\frac{x}{a}\right)^{M-1} \exp\left(-\frac{x^2 + a^2}{2}\right) I_{M-1}(ax) dx$$

(Ecuación 13)

A través de la CDF se puede establecer valores de transmisión (q) y de no transmisión (p), los cuales nos permiten despejar y obtener los distintos valores de los umbrales, donde cada umbral esta evaluado para diferentes valores de (ν), cabe recalcar que cuando $\nu = 0$ el sistema oportunista propuesto con desvanecimiento de tipo Rice actuara como uno de tipo Rayleigh.

Tabla 3

Parámetros de una transmisión oportunista con desvanecimiento de tipo Rice.

	Valor de la media (ν)			Probabilidad de transmisión (p)	Probabilidad de no transmisión (q)
	0	0,5	1		
Valor del umbral (m)	0.8325	0.9379	1.2437	1/2	1/2
	1.0481	1.1773	1.5193	2/3	1/3
	1.1774	1.3199	1.6787	3/4	1/4
	1.2686	1.4202	1.7890	4/5	1/5

Por ejemplo, en la Tabla 3 se considera una probabilidad de no transmisión $p = 2/3$. Por lo tanto, la probabilidad de transmisión es $q = 1/3$. Es decir, cuando $s = 0.5$ y la amplitud del desvanecimiento está por encima del umbral $m = 1.1773$ el transmisor va a transmitir, pero ahora transmite tres bits en un período de tiempo, ya que al presentarse el caso contrario es decir en el caso de que amplitud del desvanecimiento este por debajo del umbral $m = 1.1773$ el transmisor no transmite información.

3.5. Probabilidad error de bit del sistema oportunista

Para el cálculo de la BER del sistema propuesto, usamos la relación de señal-ruido por bit instantánea, dada por:

$$\gamma_b(t) = \alpha^2(t)Eb/N_0$$

(Ecuación 14)

donde:

$\alpha^2(t)$ = Amplitud del desvanecimiento que varía en el tiempo.

$\gamma_b(t)$ = Relación señal-ruido.

La probabilidad de error de bit con canales de desvanecimiento de tipo Rice para sistemas oportunistas se lo calcula en los términos del umbral, de esta manera

se puede calcular la probabilidad de error de símbolo media de la siguiente manera

$$\bar{P}_s = \int_m^{\infty} P_{(s|\alpha)}(\alpha) f_{\alpha}(\alpha|\alpha > m) d\alpha$$

(Ecuación 15)

donde $P_{(s|\alpha)}(\alpha)$, es la probabilidad de error de símbolo condicionada en un canal con ruido, y $f_{\alpha}(\alpha|\alpha > m)$ es la PDF de Rice condicionada al escenario donde $\alpha > m$.

La probabilidad de error de símbolo del sistema propuesto es (The Mathworks, 2008):

$$\bar{P}_s = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \exp\left(\frac{kE_b}{N_0} \frac{\sin^2[\pi/2]}{\sin^2 \theta}\right) d\theta$$

(Ecuación 16)

3.6. Simulación de un sistema oportunista con desvanecimiento Rice.

A continuación, se presentan algunos aspectos clave para la simulación de un sistema inalámbrico con transmisión oportunista en canales con desvanecimiento tipo Rice. Esta simulación se desarrolla usando el software MATLAB, que es un software para resolución de problemas matemáticos, que tiene su propio lenguaje de programación. Las simulaciones del sistema inalámbrico se realizaron a través de las simulaciones de Monte-Carlo. La simulación de Montecarlo es un método estadístico utilizado para resolver problemas matemáticos complejos a través de la generación de variables aleatorias, dicha simulación consiste en repetir o duplicar las características y comportamientos de un sistema real.

Para simular el canal de Rice se deberá generar dos variables aleatorias gaussianas independientes definidas como a y b , dónde la variable aleatoria a representa el componente especular y la variable b es la que modela los componentes aleatorios sin línea de vista. La variable a tiene una media diferente

de cero mientras que la variable b tiene media cero y las dos tienen una desviación estándar, entonces el canal Rice se genera con la suma de las dos gaussianas antes mencionadas, una con media nula y otra con media diferente de cero o no nula.

Dado que la variable a y la variable b tienen diferentes medias queda la función de la siguiente manera:

$$n = \sqrt{\alpha^2 + v^2}$$

(Ecuación 17)

Para poder realizar una comparación con el canal de desvanecimiento Rice simulado sea con su funcionamiento respectivo, por lo cual utilizó la herramienta de Matlab como "*Bit Error Rate Analysis Tool*", esta herramienta permite graficar la curva BER teórica ingresando los parámetros necesarios que solicita dicha herramienta, como se puede observar permite escoger el tipo de canal que utiliza el sistema de transmisión sea este canal AWGN, con desvanecimiento tipo Rayleigh o desvanecimiento tipo Rice, en nuestro caso utilizaremos tipo Rice en el cual solicita ingresar el factor k , que se define como la razón de potencias de la componente directa y los componentes del multitrayecto y queda definida como se puede observar en la ecuación 19, luego la herramienta permite escoger los diferentes esquemas de modulación que son: PAM, MSK, DPSK, PSK, QPSK, QAM, CPFSK y FSK tal como se muestra en la figura 14.

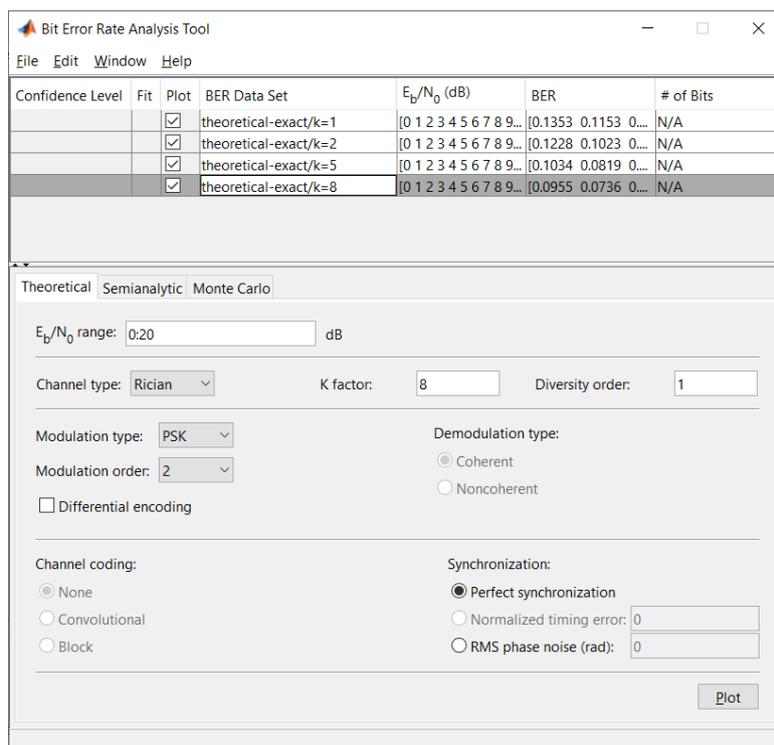


Figura 14 Herramienta de análisis de tasa de error de bit

4. CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL SISTEMA OPORTUNISTA CON CANAL DE DESVANECIMIENTO DE TIPO RICE

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos del desempeño del sistema oportunista en términos de la BER y eficiencia espectral. Estos resultados fueron obtenidos a partir de la simulación en la herramienta MATLAB.

Cuando la media es cero el canal con desvanecimiento de tipo Rice se comporta como uno de tipo Rayleigh. A continuación, se mostrarán las figuras de la probabilidad de error de bit obtenidas en la simulación del programa desarrolladas en la herramienta MATLAB, los resultados consideran un canal con desvanecimiento del tipo Rice, los distintos valores de media y los umbrales de transmisión obtenidos en la Tabla 3.

En la figura 15 se muestra la la BER en función de la relación, considerando valores de $k = 1, 2, 5$ y 8 y modulación BPSK. Para lo cual, utilizamos la herramienta de MATLAB *Bit Error Rate Analysis Tool*, en la cual podemos observar que conforme aumenta el valor de k el desempeño del sistema mejora.

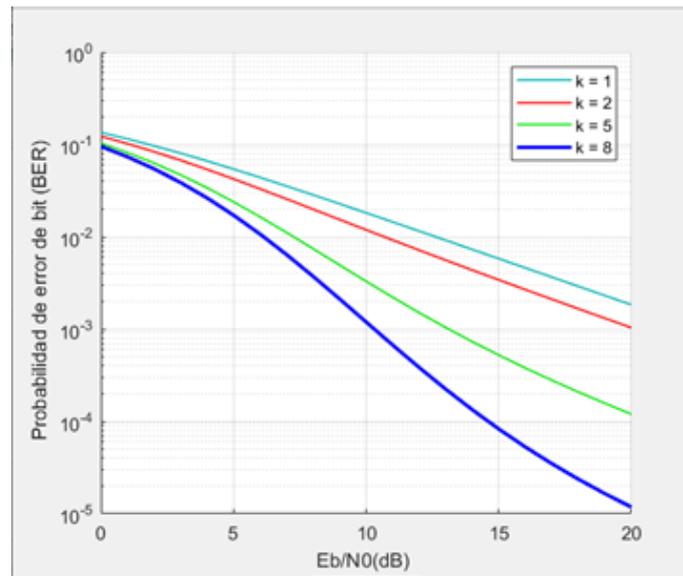


Figura 15 BER Teórica en términos del factor k generada por la herramienta Bit Error Rate Analysis Tool

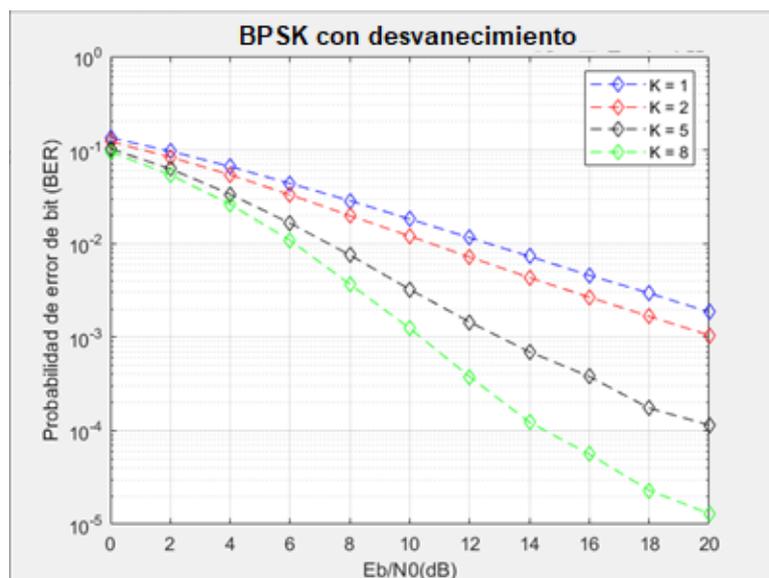


Figura 16 BER Teórica en términos del factor k generada por nuestro código

Procedemos a comparar la figura 15 que es el resultado de la herramienta de MATLAB junto con el resultado de nuestro código figura 16, se puede notar que las dos gráficas nos muestran el mismo resultado en los diferentes valores del factor k , cabe recalcar que el valor del factor k es el valor de la media al cuadrado como se observa en la ecuación 5, en esta herramienta no se ingresan los valores de los diferentes umbrales, como se observa en la figura 14, se realiza

las comparaciones y esto nos indica que el código generado está funcionando correctamente.

La figura 17 muestran los resultados obtenidos de las curvas de la BER, en función de la relación señal a ruido para la modulación BPSK de un sistema oportunista con umbrales $m = 0,8325, 1,0481, 1,1774$ y $1,2686$ respectivamente y considerando que la media es $\nu = 0$ y factor $k = 0$, es decir en un canal Rayleigh.

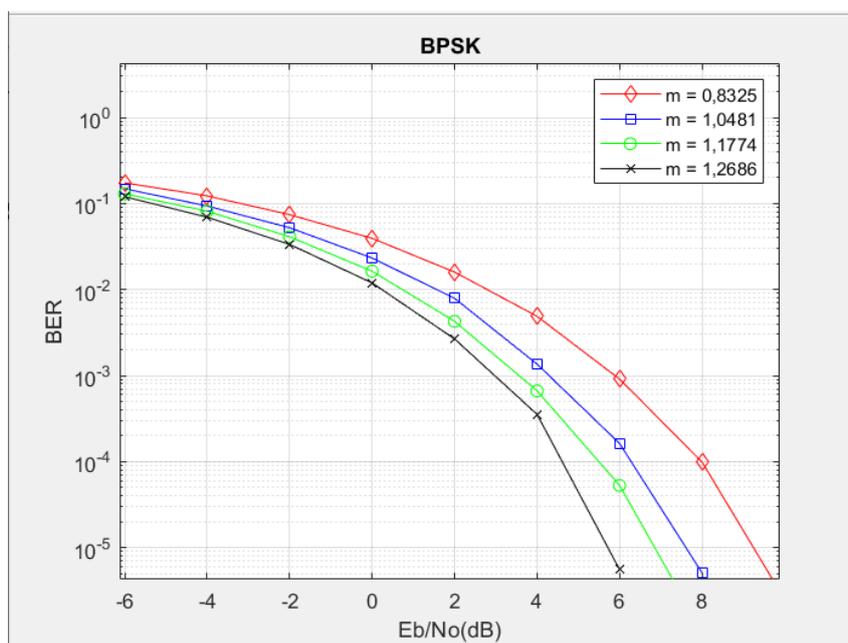


Figura 17 BER en función Eb/No considerando un canal con $\nu = 0$ y transmisión oportunista con $m = 0,8325, 1,0481, 1,1774$ y $1,2686$

En la figura es posible observar que conforme el umbral de transmisión aumenta, el desempeño del sistema mejora. Además, si la relación señal a ruido disminuye, la BER también lo hace. Si cambiamos el valor de la media para $\nu = 0,5$ entonces se obtiene $k = 0,25$ por la relación entre el factor k y la media ν mencionado en la ecuación 5 respectivamente.

Como se puede observar en la figura 18 se obtiene el desempeño del sistema en términos de la BER en función de la relación señal a ruido, para un sistema BPSK, considerando los diferentes umbrales $m = 0,9379, 1,1773, 1,3199$ y $1,4202$ respectivamente. Se puede observar que el desempeño del sistema mejora conforme aumenta el umbral de transmisión y es

posible observar que cuando el canal es de tipo Rice el sistema tiene mejor desempeño debido a que existe línea de vista directa entre el transmisor y el receptor.

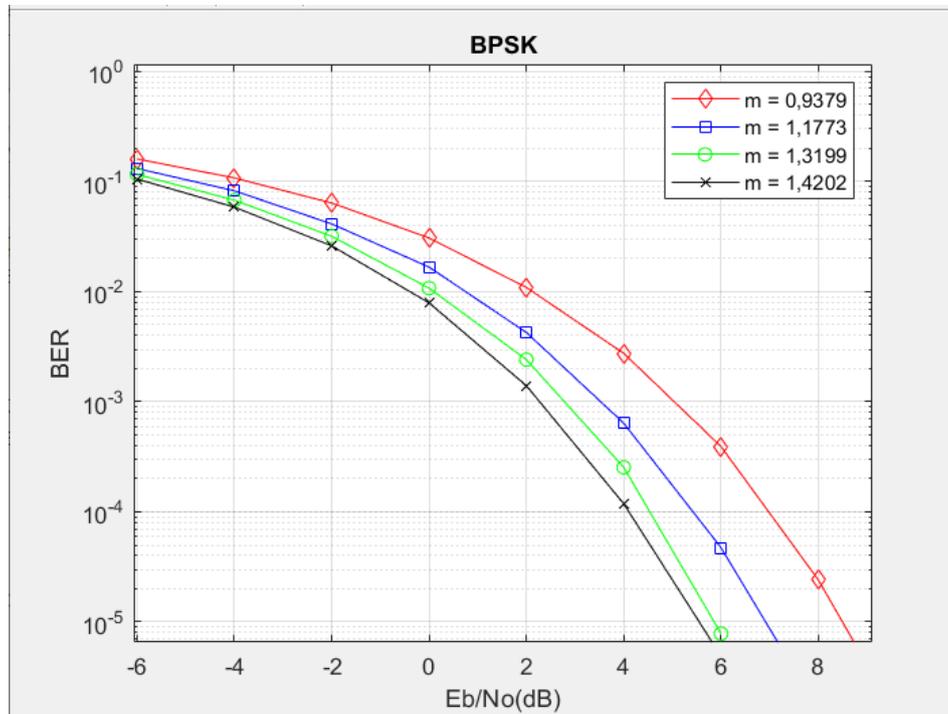


Figura 18 BER en función E_b/N_0 considerando un canal con $\nu = 0,5$ y transmisión oportunista con $m = 0,9379, 1,1773, 1,3199$ y $1,4202$

La figura 19 muestra la BER en función de la relación señal a ruido para un sistema oportunista considerando modulación BPSK y considerando un canal Rice con un valor de la media $\nu = 1$ o equivalentemente un factor de $k = 1$, con umbrales de $m = 1,2437, 1,5193, 1,6787$ y $1,7890$. En la figura podemos observar que mientras mayor sea el umbral de transmisión, el sistema tiene un mejor desempeño. Así, un mayor umbral implica una menor relación señal a ruido para garantizar una misma BER.

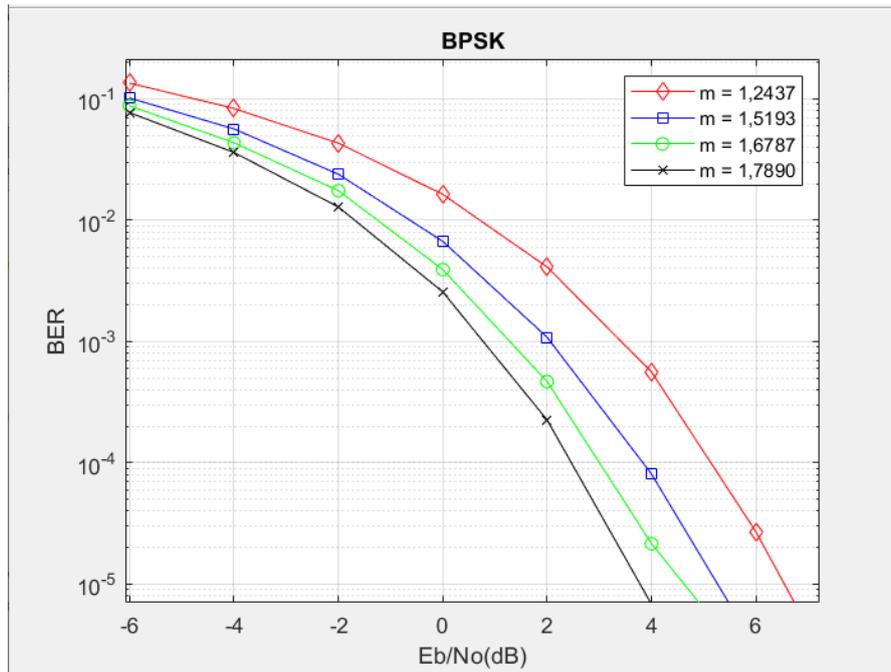


Figura 19 BER en función E_b/N_0 considerando un canal con $\nu = 1$ y transmisión oportunista con $m = 1,2437, 1,5193, 1,6787$ y $1,7890$

5. CAPÍTULO V. COMPARACIONES DE UN SISTEMA ORDINARIO CON UN SISTEMA OPORTUNISTA

En este capítulo se realiza una comparación del desempeño del sistema oportunista con un sistema ordinario. Las comparaciones se realizan considerando diferentes umbrales de transmisión y diferentes valores del factor k en el canal Rice.

En la figura 20 es posible observar la BER en función de la relación señal a ruido para un sistema ordinario sistema oportunista considerando modulación BPSK y en un canal Rice con $k = 0$ y con $m = 0,8325$. Es posible observar que para $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB el sistema oportunista tiene una BER aproximada a $1,5 \times 10^{-4}$ mientras que el sistema ordinario tiene una BER aproximada de 3×10^{-2} .

Por otra parte se puede observar que para $\frac{E_b}{N_0} = 10$ dB el sistema oportunista tiene una probabilidad de BER aproximada de 7×10^{-5} mientras que el sistema ordinario tiene una BER aproximada a $2,5 \times 10^{-2}$

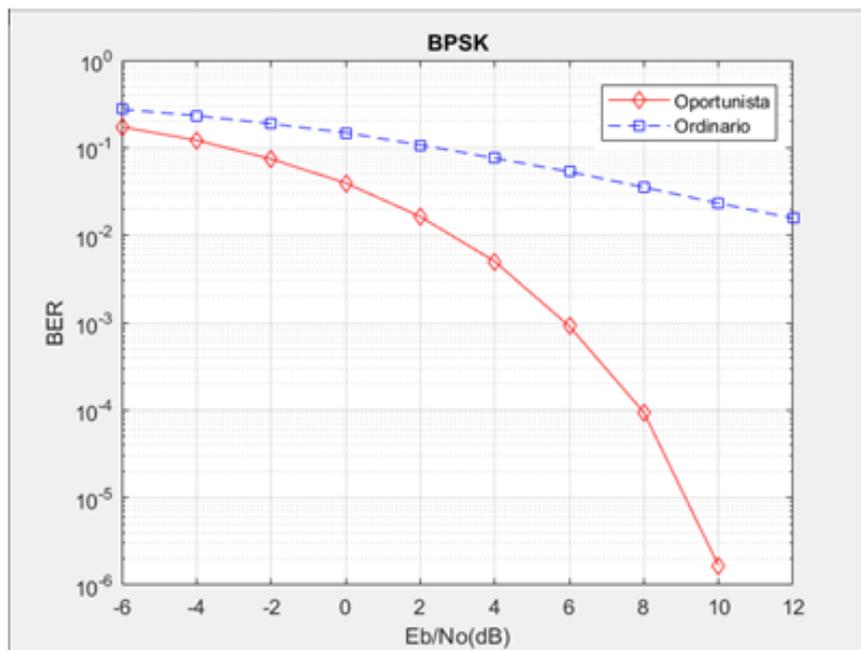


Figura 20 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 0$ utilizando un umbral $m = 0,8325$

En la figura 21 la BER en función de la relación señal a ruido para un sistema ordinario y un sistema oportunista considerando modulación BPSK y en un canal Rice con $k = 0$ y con $m = 1,0481$. Es posible observar que para $\frac{E_b}{N_0} = 4$ dB el sistema oportunista tiene la BER aproximada a 2×10^{-3} mientras que el sistema ordinario tiene aproximadamente 7×10^{-2} en la BER, se puede analizar que para $\frac{E_b}{N_0} = 6$ dB el sistema oportunista tiene una BER aproximada de 3×10^{-4} mientras que el sistema ordinario tiene un valor cercano a $5,5 \times 10^{-2}$ de esta manera, se puede evidenciar que el sistema oportunista presenta mejor desempeño en relación con el sistema ordinario y se puede observar que el desempeño del sistema mejora conforme aumenta el umbral de transmisión.

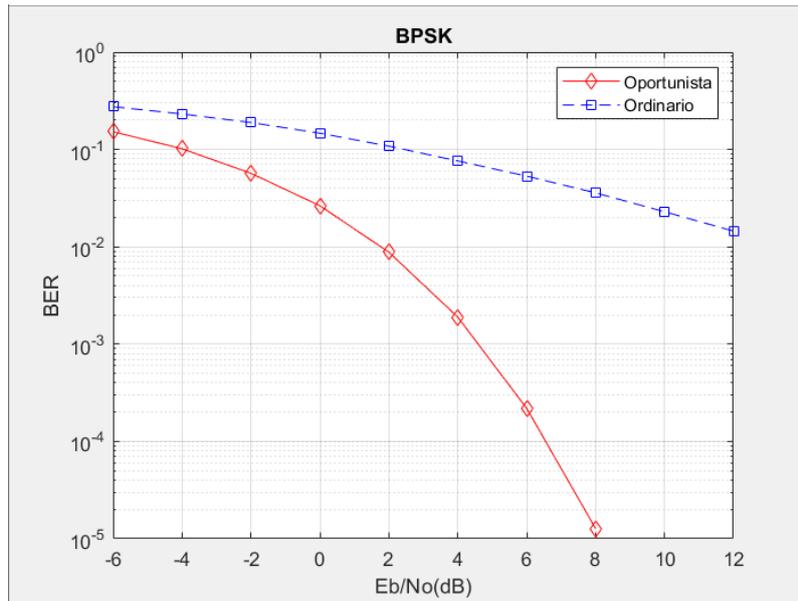


Figura 21 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 0$ utilizando un umbral $m = 1,0481$

En la figura 22 la BER en función de la relación señal a ruido para un sistema ordinario y un sistema oportunista considerando modulación BPSK y en un canal Rice con $k = 0$ y con $m = 1,2686$. Es posible observar que para $\frac{E_b}{N_0} = 4$ dB el sistema oportunista tiene la BER aproximada a 5×10^{-4} mientras que el sistema ordinario tiene aproximadamente $6,5 \times 10^{-2}$ en la BER, se puede analizar que para $\frac{E_b}{N_0} = 6$ dB el sistema oportunista tiene una BER aproximada de 2×10^{-5} mientras que el sistema ordinario tiene un valor cercano a 5×10^{-2} de esta manera, se puede evidenciar que el sistema oportunista presenta mejor desempeño en relación con el sistema ordinario y se puede observar que el desempeño del sistema mejora conforme aumenta el umbral de transmisión.

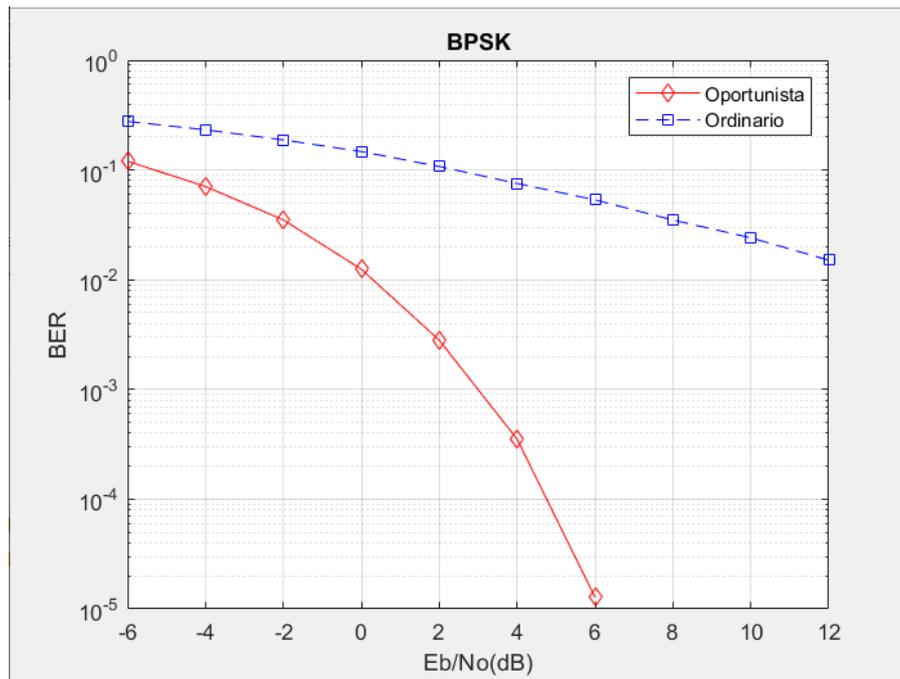


Figura 22 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 0$ utilizando un umbral $m = 1,2686$

Finalmente, al comparar las figuras 20, 21 y 22 que tienen la misma media de $\nu = 0$ y factor con $k = 0$, pero con diferentes umbrales $m = 0,8325; 1,0481$ y $1,2686$. Se observa que mientras mayor sea el umbral, la BER también es menor, por lo cual, cuando el umbral de transmisión aumenta el sistema tiene un mejor desempeño.

Se puede analizar en la figura 23 la BER en función de la relación señal a ruido en un canal Rice con $k = 0,25$ y con $m = 0,9379$. Para $\frac{E_b}{N_0} = 4$ dB el sistema oportunista tiene una probabilidad de error de bit aproximada a 3×10^{-3} .

Mientras que el sistema ordinario tiene una probabilidad de error de bit aproximada a 2×10^{-2} , se puede analizar que para $\frac{E_b}{N_0} = 10$ dB el sistema oportunista tiene una probabilidad de error de bit aproximada a 3×10^{-7} . Por otra parte el sistema ordinario tiene una probabilidad de error de bit aproximada a 6×10^{-4} de esta manera, se puede evidenciar que el sistema oportunista presenta mejor desempeño en relación con el sistema ordinario.

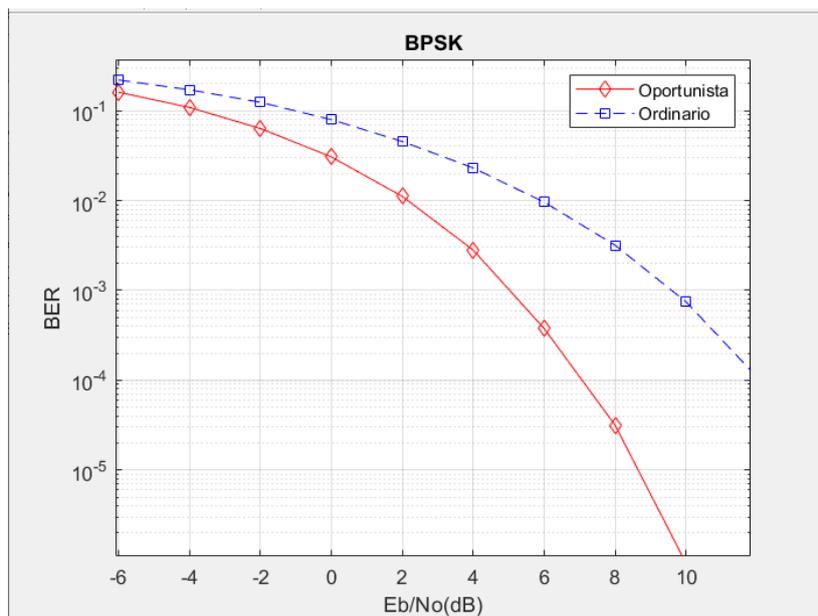


Figura 23 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 0,25$ utilizando un umbral $m = 0,9379$

En la Figura 24 se puede observar las dos graficas tanto del de un sistema ordinario y de un sistema oportunista con desvanecimiento rice con valores de $k = 0,25$ y umbral con $m = 1,3199$ Es posible observar que para $\frac{E_b}{N_0} = 2$ dB el sistema oportunista tiene la BER aproximada a $2,5 \times 10^{-3}$ mientras que el sistema ordinario se acerca a 5×10^{-2} .

Se puede analizar que para $\frac{E_b}{N_0} = 6$ dB el sistema oportunista tiene una probabilidad de error de bit aproximada a 1×10^{-5} mientras que el sistema ordinario se aproxima a 7×10^{-3} de esta manera, se puede observar que el desempeño del sistema mejora conforme aumenta el umbral de transmisión.

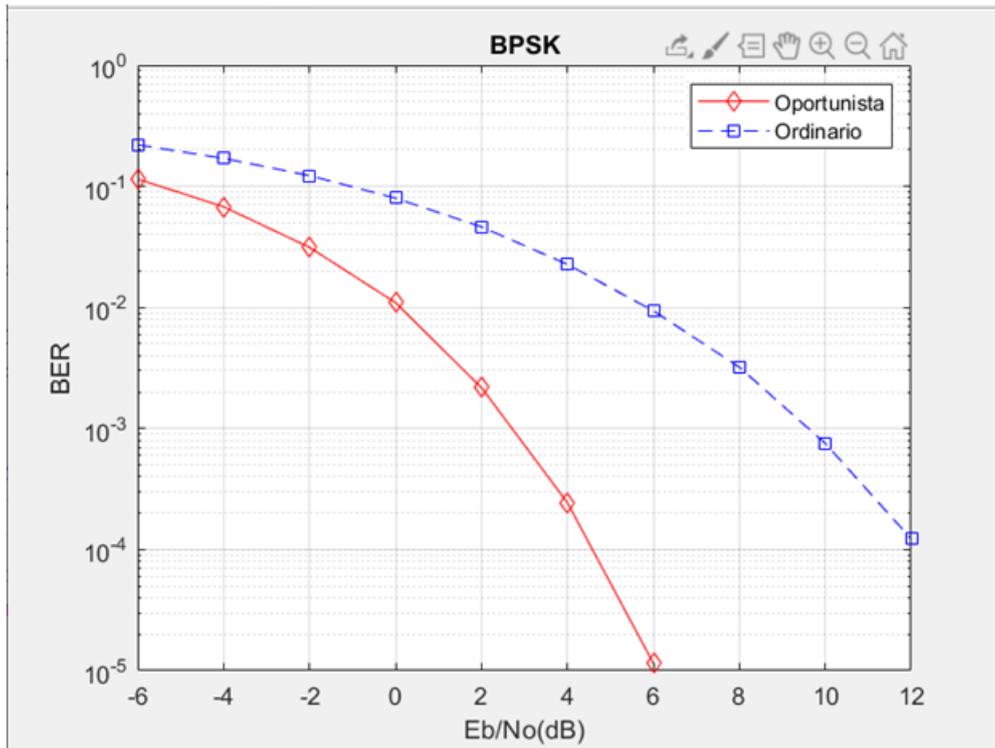


Figura 24 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 0,25$ utilizando un umbral $m = 1,3199$

En la Figura 25 se pueden observar las gráficas de la BER tanto de un sistema ordinario y de un sistema oportunista con desvanecimiento Rice con media de $\nu = 0,5$ ó equivalentemente con un factor $k = 0,25$. El sistema oportunista opera con un umbral $m = 1,4202$. En los resultados es posible observar que para $\frac{E_b}{N_0} = 0$ dB el sistema oportunista tiene una probabilidad de error de bit aproximada de 1×10^{-2} mientras que el sistema ordinario tiene una probabilidad de error de bit aproximada de 7×10^{-2} , Por otra parte, para $\frac{E_b}{N_0} = 6$ dB el sistema oportunista tiene una probabilidad de error de bit aproximada a 1×10^{-5} mientras que el sistema ordinario tiene una probabilidad de error de bit aproximada a 7×10^{-3} . De esta manera, se puede evidenciar que el sistema oportunista presenta mejor desempeño en relación con el sistema ordinario.

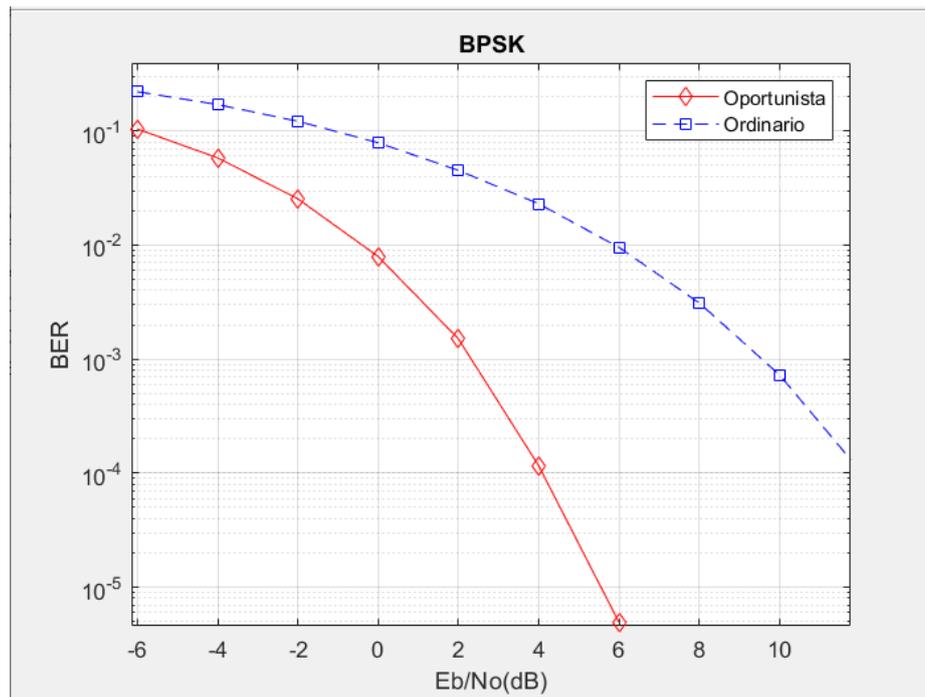


Figura 25 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 0,25$ utilizando un umbral $m = 1,4202$

Al analizar y comparar las figuras 23, 24 y 25 con una media de $\nu = 0,5$ y factor $k = 0,25$ pero con diferentes umbrales $m = 0,9379, 1,3199$ y $1,4202$ podemos evidenciar que el desempeño de la transmisión de datos mejora conforme aumenta el umbral de transmisión. En todos los casos, el sistema oportunista presenta menor tasa de error de bit que el sistema ordinario, teniendo como resultado una transmisión más eficiente.

En la figura 26 que considera un canal Rice con factor $k = 1$ en el cual el sistema oportunista opera con un umbral $m = 1,2437$. Es posible observar que para $\frac{E_b}{N_0} = 2$ dB el sistema oportunista tiene una probabilidad de error de bit aproximada a 5×10^{-3} mientras que el sistema ordinario tiene una probabilidad de error de bit aproximada a 3×10^{-2} . Por otra parte para $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB el sistema oportunista tiene una probabilidad de error de bit aproximada a 5×10^{-7} mientras que el sistema ordinario tiene una probabilidad de error de bit aproximada a 4×10^{-4} . Esto

evidencia que el sistema oportunista presenta mejor desempeño en relación con el sistema ordinario.

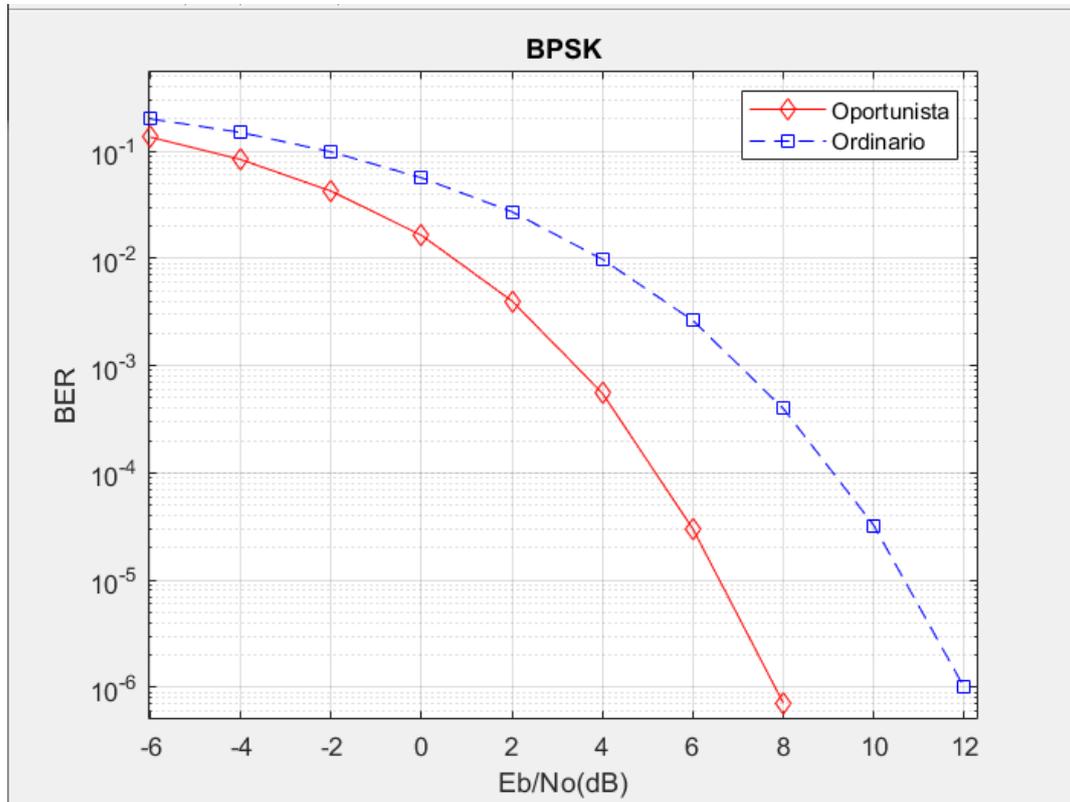


Figura 26 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 1$ utilizando un umbral $m = 1,2437$

En la Figura 27 muestra la BER en función de la relación E_b/N_0 considerando un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 1$. La transmisión oportunista utiliza un umbral $m = 1,5193$. Note que para $\frac{E_b}{N_0} = 4$ dB el sistema oportunista tiene una BER aproximada a 6×10^{-5} mientras que el sistema ordinario se aproxima a $2,2 \times 10^{-3}$.

Como se puede observar el sistema oportunista tiene un mejor desempeño que el sistema ordinario, esto es porque el canal con desvanecimiento Rice tiene línea de vista.

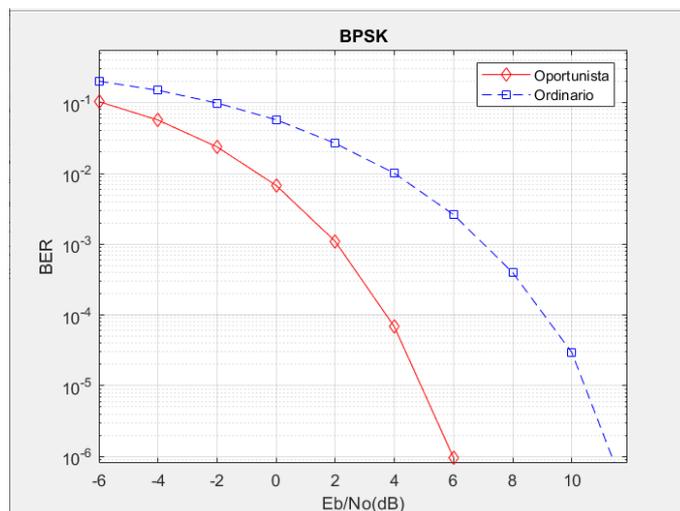


Figura 27 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 1$ utilizando un umbral $m = 1,5193$

Finalmente la Figura 28 muestra un escenario semejante al mostrado en las anteriores figuras, sin embargo, en este caso el sistema oportunista considera un umbral $m = 1.7890$. Al comparar los resultados de esta figura con aquellos de las figuras anteriores se evidencia que el desempeño del sistema oportunista mejora conforme aumenta el umbral de transmisión.

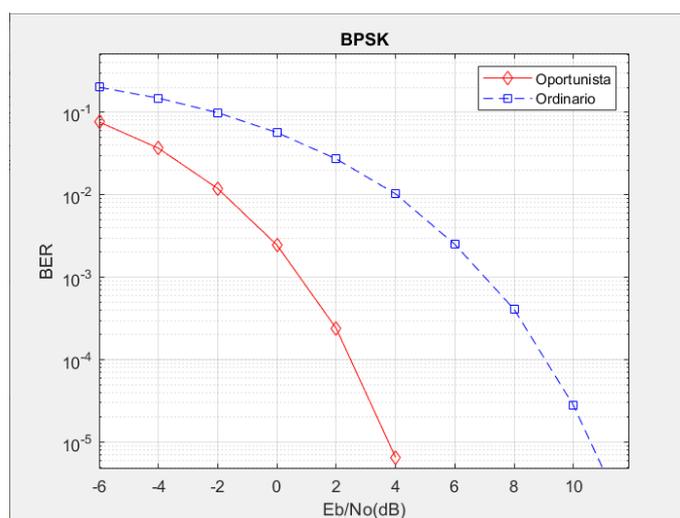


Figura 28 BER en función de la relación E_b/N_0 para un sistema oportunista y un sistema ordinario en un canal con desvanecimiento Rice con factor $k = 1$ utilizando un umbral $m = 1,7890$

5.1. Análisis de la eficiencia espectral

La eficiencia espectral se define como la relación entre la velocidad de bits R_b (en inglés, *Rate bit*) y el ancho de banda total del sistema B por lo que para definiremos la eficiencia espectral para el sistema oportunista y el sistema ordinario.

Por lo cual, empezaremos definiendo para el sistema ordinario la velocidad de bits donde el tiempo de transmisión de un símbolo está definido como T_s , el orden de la modulación es M y la velocidad de bits R_b esta dada por:

$$R_b = \frac{\log_2 M}{T_s}$$

(Ecuación 18)

Además, el ancho de banda tiene por unidades Hz, por lo cual, para el sistema ordinario se define como:

$$B = \frac{1}{T_s}$$

(Ecuación 19)

Por lo tanto, la eficiencia espectral del sistema ordinario en bits / s / Hz viene dada por:

$$\epsilon = \frac{R_b}{B}$$

$$\epsilon = \frac{\frac{\log_2 M}{T_s}}{\frac{1}{T_s}}$$

$$\epsilon = \log_2 M$$

(Ecuación 20)

Entonces, si realizamos el cálculo de la eficiencia espectral para un sistema ordinario con modulación BPSK, tendremos que $M= 2$ y la eficiencia espectral:

$$\epsilon = \log_2 M$$

$$\epsilon = \log_2 2$$

$$\epsilon = 1$$

(Ecuación 21)

Ahora, se definen los parámetros fundamentales para el cálculo de la eficiencia espectral de un sistema oportunista, para este sistema intervendrá la probabilidad de transmisión q definida en la Tabla 4. La velocidad de bits para un sistema oportunista donde al igual que en el sistema ordinario tenemos que M es el orden de modulación y T'_s el tiempo de símbolo el cual es equivalente a $T'_s = qT_s$ obteniendo así que en ambos sistemas la velocidad de bits está definido por:

$$R_{b,op} = \frac{q \log_2 M}{T'_s}$$

$$R_{b,op} = \frac{q \log_2 M}{qT_s}$$

$$R_{b,op} = \frac{\log_2 M}{T_s}$$

(Ecuación 22)

Además, el ancho de banda para el sistema oportunista está definido como:

$$B = \frac{1}{T_s}$$

$$B = \frac{1}{qT_s}$$

(Ecuación 23)

Por lo tanto, la eficiencia espectral del sistema Tenga en cuenta que la eficiencia espectral de un sistema oportunista es q veces la eficiencia espectral del sistema

ordinario, es decir, la eficiencia espectral del sistema oportunista es menor.

$$\epsilon_{op} = \frac{R_b}{B}$$

$$\epsilon_{op} = \frac{\frac{\log_2 M}{T_s}}{\frac{1}{q T_s}}$$

$$\epsilon_{op} = q \log_2 M$$

(Ecuación 24)

De este análisis podemos definir la Tabla 4, la cual representa el cálculo de la eficiencia espectral correspondiente a cada umbral de transmisión analizado.

Tabla 4

Eficiencia espectral en función de las probabilidades de transmisión.

Umbral	Probabilidad de transmisión q	Eficiencia espectral ϵ_{op}
m_1	1/2	$1/2 \log_2 M$
m_2	1/3	$1/3 \log_2 M$
m_3	1/4	$1/4 \log_2 M$
m_4	1/5	$1/5 \log_2 M$

Ahora, si realizamos el cálculo de la eficiencia espectral para un sistema oportunista con modulación BPSK, es decir, $M=2$ y con umbral m_1 . Tendremos que:

$$\epsilon_{op} = q \log_2 M$$

$$\epsilon_{op} = 1/2 \log_2 2$$

$$\epsilon_{op} = 1/2$$

(Ecuación 25)

Si realizamos el cálculo de la eficiencia espectral para un sistema oportunista

con modulación BPSK, es decir, $M=2$ y con umbral m_2 . Tendremos que:

$$\epsilon_{op} = q \log_2 M$$

$$\epsilon_{op} = 1/3 \log_2 2$$

$$\epsilon_{op} = 1/3$$

(Ecuación 26)

Si realizamos el cálculo de la eficiencia espectral para un sistema oportunista con modulación BPSK, es decir, $M=2$ y con umbral m_3 . Tendremos que:

$$\epsilon_{op} = q \log_2 M$$

$$\epsilon_{op} = 1/4 \log_2 2$$

$$\epsilon_{op} = 1/4$$

(Ecuación 27)

Finalmente, si realizamos el cálculo de la eficiencia espectral para un sistema oportunista con modulación BPSK, es decir, $M=2$ y con umbral m_4 . Tendremos que:

$$\epsilon_{op} = q \log_2 M$$

$$\epsilon_{op} = 1/5 \log_2 2$$

$$\epsilon_{op} = 1/5$$

(Ecuación 28)

Una vez finalizados los cálculos se puede evidenciar que para un sistema ordinario la eficiencia espectral será igual a 1 sin importar el umbral en el que se transmita, mientras que para un sistema oportunista, la eficiencia espectral varía respecto a la probabilidad de transmisión de cada umbral.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En el presente documento se realizó el análisis de un sistema inalámbrico con transmisión oportunista que emplea modulación BPSK y que opera en canales con desvanecimiento de tipo Rice. En este sistema, el receptor conoce la amplitud instantánea del desvanecimiento cuando dicha amplitud está sobre un umbral, esto se notifica al transmisor para que transmita los símbolos modulados.

El desvanecimiento de tipo Rice considerado en este proyecto permitió evaluar diversos escenarios de operación para el sistema de transmisión oportunista. Específicamente, cuando el factor K es cero, el desvanecimiento es de tipo Rayleigh pero cuando K es mayor a cero, el canal considera que aparte de los múltiples trayectos existe una componente de línea de vista entre el transmisor y el receptor.

La eficiencia espectral tuvo un papel importante en este proyecto debido a que nos permitió medir la calidad de la modulación empleada en la transmisión oportunista propuesta, teniendo como resultado valores favorables con los que se pudo determinar que existe una mejora significativa en cuanto al rendimiento del sistema.

Los umbrales son valores que nos permiten delimitar un margen en el cual se realiza la transmisión de datos, dichos umbrales fueron calculados a través de la función Marcum-Q. A partir de este análisis, fue posible además determinar expresiones para calcular la probabilidad de transmisión y no transmisión del sistema

Los resultados obtenidos evidencian que el incremento del factor K en el canal Rice influye directamente en el cálculo del valor del umbral. Específicamente, mientras más alto es el valor de la media se obtiene un umbral mayor para una misma probabilidad de transmisión.

Al comparar el sistema ordinario y el sistema oportunista en diferentes

escenarios de operación se evidenció que la probabilidad de error de bit es mucho menor en sistema oportunista. Por lo tanto, este tipo de sistemas son una interesante propuesta para sistemas de comunicaciones inalámbricas.

Finalmente, es importante indicar que una probabilidad de transmisión menor implica un umbral mayor, lo que a su vez implica una BER menor. Sin embargo, esto puede reducir la eficiencia espectral, pero un orden de modulación mayor compensaría esta pérdida.

6.2. Recomendaciones

Se sugiere realizar un análisis más extenso del sistema propuesto, debido a que el tema es bastante amplio fácilmente se podría realizar un estudio con otro tipo de modulaciones, es así como también, otro tipo de desvanecimiento como Nakagami. Esto permitirá comparar resultados y poder determinar el comportamiento de la transmisión oportunista en diferentes escenarios de operación.

Se recomienda investigar sobre el uso y manejo de la herramienta *Bit Error Rate Analysis Tool* la cual fue de gran ayuda al momento de realizar este proyecto de tesis, ya que esta herramienta permite realizar analizar el rendimiento de la tasa de error de bit los sistemas de comunicaciones con distintas modulaciones o tipos de desvanecimiento.

Las simulaciones de este proyecto de tesis fueron generadas con el uso de una aplicación propia de Matlab como es "Bit Error Rate Analysis Tool" herramienta con la cual se obtiene el cálculo de la BER en relación a la señal a ruido, permitiéndonos realizar las simulaciones del sistema oportunista planteado, obviando así toda la parte del cálculo matemático, motivo por el cual, solo por temas de comparación sería factible que también se realice el cálculo matemático de forma manual o con la ayuda de alguna herramienta matemática como por ejemplo *Wolfram*, esto con el fin de ver si existe en las gráficas algún tipo de diferencia en las simulaciones. También, es recomendable que en estudios futuros se realicen los cálculos de los umbrales con medias mayores a

las utilizadas en el presente proyecto, al igual que distintos valores del factor K con el objetivo de realizar una comparación de gráficas y determinar con que valores se obtienen mejores resultados de transmisión.

Además, se recomienda complementar el estudio de este proyecto de tesis utilizando tecnologías como CDMA (Acceso Múltiple por División de Código), MIMO (Múltiple entrada múltiple salida) y OFDM (Multiplexión por División en Frecuencias Ortogonales). Las cuales son objeto de estudio para diferentes aplicaciones.

REFERENCIAS

- A. Sorrentino, S. C. (2017). *The rice K-factor distribution within a mode-stirred reverberating chamber*. Francia: IEEE.
- Alejandro Moraleda-Soler, J. G.-P. (2014). Comunicaciones D2D Oportunistas: Evaluación Experimental del rendimiento en términos de Energía, Capacidad y QoS. *ReserchGate*, 5.
- Amaia Lesta, I. P. (2006). *Redes WLAN*. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- Andreu, J. (2012). *Servicios en red*. Madrid: Editex S. A.
- Carballar Falcón, J. A. (2014). *Wi-Fi. Instalación, Seguridad y Aplicaciones*. Madrid: RA-MA.
- Castaño, I. A. (2008). *ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS*. Buenos Aires: UNNE.
- Cazo, J. (2012). *Redes Inalámbricas*. Recuperado el 29 de noviembre de 2019 de <http://redesinalambricas28.blogspot.com>
- Ciampa, M. (2013). *CWNA Guide to Wireless LANs*. Boston: *Cengage Learning*.
- de la Cruz, H. B. (2013). *HACKING & CRACKING*. Lima: Macro.
- España Boquera, M. C. (2003). *Servicios avanzados de telecomunicación*. Madrid: Díaz de Santos.
- Faúndez Zanuy, M. (2001). *Sistemas de Comunicaciones*. Mataró: Marcombo.
- Fraile, F. J. (2007). *Imagen Radiológica*. Barcelona : *MASSON ELSEVIER*.
- González, P. C. (2019). *Simulación de técnicas de diversidad y filtrado kalman en redes inalámbricas*. España: Universidad Miguel Hernández.
- Gudbjartsson, H. &. (1995). *The Rician distribution of noisy MRI data. Magnetic resonance in medicine. Amsterdam : Wiley-Liss, Inc.*
- Hernando Rábanos, J. M., Mendo Tomás, L., & Riera Salís, J. M. (2015). *Comunicaciones móviles*. Madrid: Universitaria Ramon.

- Muneer, W. (2009). *Rician-K Factor Study for Temporal and Spatial Variations*. Saarbrücken, Alemania: VDM Verlag Dr. Müller.
- Muñoz Rodriguez, D. (2002). *Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal*. Marcombo.
- Orozco, N. (2014). *Análise de Desempenho de uma Proposta de Transmissão Oportunista sem fio em Canais com Desvanecimento Rayleigh e na Presença de Interferência de Co-Canal para Diferentes Esquemas de Modulação*. Campinas.
- Orozco, N., Carvajal, H., & Almeida, C. (2017). *BER Analysis of Overloaded MC-CDMA Cellular System employing Sphere Decoder in Non-Ideal Sectorization Scenario*. *Wireless and Mobile Computing*.
- Orozco, N., Carvajal, H., & Celso, A. (2019). *Performance Evaluation of Encoded Opportunistic Transmission Schemes*. *IEEE Access*.
- P. S. Kumar, R. D. (1995). *Power control leased on bit error rate (BER) measurements*. San Diego USA: IEEE.
- Prasad, R. (2004). *OFDM for wireless communication system*. New York: *Universal Personal Communications*.
- Sanchis, E. (2004). *Fundamentos y electrónica de las comunicaciones*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de computadoras*. Mexico: Pearson Educación.
- The Mathworks, I. (2008). *Bit Error Rate (BER). Theoretical Results*. Recuperado el 05 de enero de 2020 de <https://la.mathworks.com/help/comm/ug/bit-error-rate-ber.html#bq421lx>
- Toapanta, F. (2019). *Análisis del desempeño de un sistema inalámbrico que emplea transmisión oportunista y modulaciones QAM no cuadradas*. Quito: Universidad de las Américas. Recuperado el 20 de diciembre de 2019 de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11778>

- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson Educación.
- Valenzuela Gonzales, J. L., Augusti Comes, R., & Sallent Roig, O. (2003). *Principios de comunicaciones móviles*. Catalunya: *Edicions UPC*.
- X. Chen, P. K. (2011). *Estimation of Average Rician K-Factor and Average Mode Bandwidth in Loaded Reverberation Chamber*. EE.UU: *IEEE Explore*.
- Yáñez, P. (2009). *Estudio de los canales con desvanecimiento sobre redes fijas y móviles en sistema de radio comunicación*. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 15 de enero de 2020 de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1455/1/CD-2729.pdf>
- Zamanillo Sainz de laMaza, J. M., & Pérez Vega, C. (2003). *Fundamentos de televisión analógica y digital*. Universidad de Cantabria.

ANEXOS

ANEXO 1

Código de la simulación

A continuación, se presenta el código de la simulación que se realizó de un sistema inalámbrico con transmisión oportunista que emplea modulación BPSK y que opera en canales con desvanecimiento de tipo Rice. En el cual esta detallado que hace cada línea del código, en el primer código se ingresan los valores del factor k y el umbral el cual se va a generar la curva, se procede al cálculo de la BER, se genera el transmisor, receptor y el canal en el cual se transmiten los datos.

```
function [ BER, outSignal ] = BPSK( varargin )
    %%%%%%%%%Parametros de ingreso%%%%%%%%%
    M = 2; %%orden de modulación
    opp = true; %%
    EbNoDBVec = -6:2:12; %EB energía de bit / NO ruido
    nlter = 1e4; %%errores
    dataSize = 1e3; %% Llenar datos la matriz
    error = Inf; %%
    showBar = true; %%
    fadding = true; %% datos bool (true or false)
    [M,opp,EbNoDBVec,nlter,dataSize,error,showBar,fadding] =
validarEntradas(...
    M,opp,EbNoDBVec,nlter,dataSize,error,showBar,fadding,varargin{:});
    nEbNo = length( EbNoDBVec( : ) );

    if length(error) ~= nEbNo %%llenar la matriz de ceros
        error = repmat( error(1), nEbNo, 1 );
    end
    BER = zeros( nEbNo, length(opp) );

    if nEbNo == 1, showBar = false; end
    if showBar, bar = updateBar( [], 0 ); end

    umbral = 1.2437; %% valor del umbral

    % Parâmetros establecidos
    K = 1; %%factor K desvanecimiento tipo Rice se cambia los valores de K en
funcion a la media
```

```

v = sqrt(K/(K+1));% Aquí se ingresa el valor de la media
Sigma= 1/sqrt(2*(K+1));% potencia de los componentes especulares
outSignal = zeros( dataSize*nIter, nEbNo );% Se procede al cálculo de la
BER
for j = 1:nEbNo
    auxSignal = nan( dataSize, nIter );
    %Parametros calculados
    EbNo = 10 ^ ( EbNoDBVec(j) / 10 );%Energía de bit
    EsNo = log2(M) * EbNo; % Energía de símbolo
    Sigma_n = sqrt( 1 / (2*EsNo) );
    e_media = sqrt( 2*(M-1)/3 );% La potencia es normalizada
    errCont = 0; nSym = 0;
    for i = 1:nIter
        if fading
            fading = Sigma*norm(randn(1,1))+v +
1i*Sigma*norm(randn(1,1));%Se procede a generar desvanecimiento
        else
            fading = 1;
        end
        if fading >= umbral || ~opp%% Verificación del umbral
            dataIn = randi( [0 M-1], dataSize, 1 );%% Generación de datos

            %%TRANSMISOR
            txSignal = pskmod( dataIn, M );%%Transmisor
            noise = Sigma_n * randn(dataSize,2) * [ 1; 1i ];% Generación de ruido

            %%CANAL
            noiseSignal = fading*txSignal + noise;% Canal

            %%RECEPTOR
            rxSignal = e_media * noiseSignal / fading;%Receptor
            auxSignal(:,i) = rxSignal;
            dataOut = pskdemod( rxSignal, M );%Genera los datos de salida

            errCont = errCont + biterr( dataIn, dataOut );%Generar errores
            nSym = nSym + 1;
            %if showBar
                % bar = updateBar( bar, (j-1)/nEbNo + i/nIter/nEbNo );
            %end
            if errCont >= error(j)*dataSize
                break;
            end
        end
    end
    outSignal( :, j ) = reshape( auxSignal, [], 1 );
    BER(j) = errCont / nSym / log2(M) / dataSize;
end
if nargin == 0 && length(EbNoDBVec) > 1

```

```

        semilogy( EbNoDBVec, BER, '-s' )
        grid on
        xlabel('EbNo')
        ylabel('BER')
        title(sprintf('%u-PSK',M))
    end
    %try
    % close(bar)
    %catch
    %end
end
function [M,opp,EbNoDBVec,nlter,dataSize,error,showBar,fadding] =
validarEntradas(...
    M,opp,EbNoDBVec,nlter,dataSize,error,showBar,fadding,varargin)
    p = inputParser;
    addOptional( p, 'M', M, @(x) 2^round(log2(x)) == x );
    addOptional( p, 'opp', opp, @(x) islogical(x) );
    addOptional( p, 'EbNoDBVec', EbNoDBVec, @(x) ~isempty(x) );
    addParameter( p, 'nlter', nlter, @(x) x > 0 && round(x) == x );
    addParameter( p, 'dataSize', dataSize, @(x) x > 0 && round(x) == x );
    addParameter( p, 'error', error, @(x) x > 0 );
    addParameter( p, 'showBar', showBar, @(x) islogical(x) );
    addParameter( p, 'fadding', fadding, @(x) islogical(x) );
    parse( p, varargin{:} );
    M = p.Results.M;
    opp = p.Results.opp;
    EbNoDBVec = p.Results.EbNoDBVec;
    nlter = p.Results.nlter;
    dataSize = p.Results.dataSize;
    error = p.Results.error;
    showBar = p.Results.showBar;
    fadding = p.Results.fadding;
    if fadding == false
        opp = false;
    end
end
function bar = updateBar( bar, p )
    txt = sprintf( "%.2f[%%]", 100*p );
    try
        waitbar( p, bar, txt );
    catch
        bar = waitbar( p, txt );
    end
end
end

```

ANEXO 2

A continuación, este código es el que utiliza la información del código anterior y procede a generar las gráficas, en el cual se ingresan los parámetros como el número de errores que deseamos tener para generar las curvas, las cuales se llama a las dos funciones y procede a graficar tanto el sistema ordinario y oportunista.

```
clear; clc; cla;
EbNoDBVec = -6:2:12;
nIter = 1e4;%%Número de errores
nShow = 1e3;
[ BER2O, OUT2O ] = BPSK( 2, true, EbNoDBVec, 'fading', true, 'nIter', nIter );
semilogy( EbNoDBVec, BER2O, '-rd' )
hold on
grid on
[ BER2F, OUT2F ] = BPSK( 2, false, EbNoDBVec, 'fading', true, 'nIter', nIter );
semilogy( EbNoDBVec, BER2F, '--bs' )
hold on
grid on
xlabel('Eb/No(dB)')
ylabel('BER')
title('BPSK')
legend('Oportunista','Ordinario')
```

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. This includes not only sales and purchases but also any other financial activities that may occur during the course of the business. It is essential to ensure that all records are kept up-to-date and are easily accessible for review.

In addition to maintaining accurate records, it is also important to regularly review the financial statements. This will help to identify any potential issues or trends that may arise over time. By staying on top of the financial situation, you can make informed decisions about the future of the business.

Finally, it is important to seek professional advice when needed. A qualified accountant or financial advisor can provide valuable insights and guidance on how to best manage the business's finances. This can help to ensure that the business is operating in a financially sound and sustainable manner.

In conclusion, maintaining accurate records and regularly reviewing financial statements are key to the success of any business. By staying on top of the financial situation and seeking professional advice when needed, you can ensure that your business is operating in a financially sound and sustainable manner.