



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA INALÁMBRICO
OPORTUNISTA EN UN CANAL DE TIPO RICE EN PRESENCIA DE
INTERFERENCIA DE CO-CANAL

AUTOR

Kevin Paul Bedoya Muñoz

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA INALÁMBRICO OPORTUNISTA
EN UN CANAL DE TIPO RICE EN PRESENCIA DE INTERFERENCIA DE CO-
CANAL

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

Profesor Guía

PhD. Nathaly Verónica Orozco Garzón

Autor

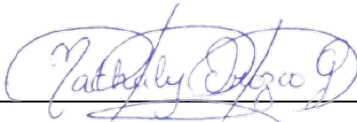
Kevin Paul Bedoya Muñoz

Año

2020

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Análisis del desempeño de un sistema inalámbrico oportunista en una canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal, a través de reuniones periódicas con el estudiante Kevin Paul Bedoya Muñoz, en el semestre 202020, 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. 172093858-6

DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA INALÁMBRICO OPORTUNISTA EN UN CANAL DE TIPO RICE EN PRESENCIA DE INTERFERENCIA DE CO-CANAL de Kevin Paul Bedoya Muñoz, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



Carvajal Mora Henry Ramiro
Doctor en Ingeniería Eléctrica en el
Área de Telecomunicaciones y
Telemática
CI. 172132786-2

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi 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.”



Kevin Paul Bedoya Muñoz

CI. 0703724484

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, agradezco a mis docentes y agradezco a mi madre por todo su apoyo incondicional que me ha brindado a lo largo de estos años de estudio.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre que supo guiarme siempre, a mi hermano quien me apoyo en todo momento. Dedico este logro a mi hija que ha sido la motivación para culminar mi carrera y a mi pareja por estar todos estos años de estudio apoyándome.

RESUMEN

En el presente documento se analiza el desempeño de un sistema inalámbrico oportunista en un canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal. El análisis del sistema es realizado en términos de la probabilidad de error de bit, considerando que el mismo opera en un canal con desvanecimiento de tipo Rice con lo cual se establecen diferentes valores de umbral y distintos valores de media para diferentes escenarios de transmisión. Esto permite minimizar los errores en la recepción de la información. Los resultados se obtienen mediante simulaciones de Monte Carlo, para lo cual se utilizó el software MATLAB, el cual permite evidenciar de manera gráfica la probabilidad de error de bit. Además, se establecen comparaciones entre el desempeño de un sistema oportunista y un sistema ordinario. En los resultados se determina la eficiencia de operación del sistema variando los valores de la relación señal interferencia. Así, se evidenció que una transmisión oportunista es más eficiente que una transmisión ordinaria, pues la transmisión oportunista mitiga los efectos indeseables del desvanecimiento y a su vez mitiga también la interferencia, pues existen periodos de no transmisión de los usuarios interferentes, lo cual hace que la potencia de la señal interferente sea reducida. Por lo tanto, la propuesta analizada en este trabajo permite mejorar el desempeño del sistema y con esto poder brindar una solución de manera eficaz y eficiente a la transmisión de datos dentro de un canal de tipo Rice.

ABSTRACT

This document analyzes the performance of an opportunistic wireless system on a Rice-type channel in the presence of co-channel interference. The analysis of the system is carried out in terms of the probability of bit error, considering that it operates on a channel with a Rice-type fading, thus establishing different threshold values and different mean values for different transmission scenarios. This allows to minimize errors in the reception of information. The results are obtained through Monte Carlo simulations, for which the MATLAB software was used, which allows to graphically show the probability of bit error. In addition, comparisons are made between the performance of an opportunistic system and an ordinary system. The results determine the operating efficiency of the system by varying the values of the interference signal ratio. Thus, it was evidenced that an opportunistic transmission is more efficient than an ordinary transmission, since opportunistic transmission mitigates the undesirable effects of fading and in turn also mitigates interference, since there are periods of non-transmission of interfering users, which makes the power of the interfering signal is reduced. Therefore, the proposal analyzed in this work allows to improve the performance of the system and with this to provide an effective and efficient solution to the transmission of data within a Rice-type channel.

INDICE

Introducción.....	1
Antecedentes	1
Alcance.....	3
Justificación.....	3
Objetivos	4
Objetivo General	4
Objetivo Específicos.....	4
1 CONCEPTOS BÁSICOS	5
1.1 Sistema de comunicación digital	5
1.2 Modulación digital.....	7
1.2.1 Modulación PAM (Modulación por amplitud de pulsos)	8
1.2.2 Modulación ASK (Modulación por desplazamiento de amplitud).....	8
1.2.3 Modulación PSK (Modulación por desplazamiento de fase)	9
1.2.4 Modulación BPSK (Modulación de fase binaria).....	10
1.2.5 Modulación QAM (Modulación por amplitud en cuadratura)..	11
1.3 Factores que afectan la transmisión de una Señal Inalámbrica	11
1.3.1 Ruido	12
1.3.2 Relación señal ruido (SNR).....	12
1.3.3 Atenuación	13
1.3.4 Desvanecimiento	13
1.3.5 Desvanecimiento Rice.....	15
1.3.6 Interferencia	16

1.3.7 Interferencia de Co-Canal	16
1.4 Probabilidad de Error de Bit	17
1.4.1 Probabilidad de Error de Bit Media	17
1.5 Transmisión oportunista	18
2 DISEÑO DEL SISTEMA OPORTUNISTA OPERANDO EN UN CANAL CON INTERFERENCIA DE CO-CANAL	19
2.1 Introducción.....	19
2.2 Descripción del Sistema	19
2.3 Mecanismo de Transmisión Oportunista.....	20
2.4 Cálculo del Umbral	22
2.5 Análisis del desempeño de un canal con interferencia de co-canal	24
2.6 Diseño del algoritmo para la simulación	24
3 PRUEBAS Y RESULTADOS	25
4 COMPARACIONES ENTRE UN SISTEMA OPORTUNISTA Y UN SISTEMA ORDINARIO	29
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
Conclusiones	35
Recomendaciones	36
REFERENCIAS	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de comunicación digital: (a) Transmisión digital; (b) Radio digital. Tomado de: (Tomasi et al., 2003).	6
Figura 2. Esquema de bloques de un sistema de comunicación digital.	7
Figura 3. Diagrama de bloques para un modulador BPSK.....	10
Figura 4. Propagación multitrayectoria sin línea de vista.	14
Figura 5. Desvanecimiento por debajo del umbral.	20
Figura 6. Desvanecimiento por encima del umbral.	21
Figura 7. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico oportunista en un canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal, considerando un valor de umbral $m = 0,9379$, un valor de factor $K = 0,5$ con una SIR de de 0 dB , 12 dB y $\infty\text{ dB}$	26
Figura 8. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico oportunista en un canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal, un valor de umbral $m = 1,4202$, un valor de factor $K = 0,5$ con una SIR de 0 dB , 12 dB y $\infty\text{ dB}$	27
Figura 9. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico oportunista en un canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal, un valor de umbral $m = 1,2437$, un valor de factor $K = 1$, con una SIR de de 0 dB , 12 dB y $\infty\text{ dB}$	28
Figura 10. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico oportunista en un canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal, con un valor de umbral $m = 1,5193$, un valor de factor $K = 1$, con una SIR de 0 dB , 12 dB y $\infty\text{ dB}$	29
Figura 11. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico ordinario con un valor del factor $K = 0$ y valores de SIR de 0 dB , 12 dB y $\infty\text{ dB}$	30
Figura 12. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico en un canal de tipo Rice ordinario con un valor de factor $K = 0,5$ y un valor de SIR de de 0 dB , 12 dB y $\infty\text{ dB}$	31

Figura 13. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico en un canal de tipo Rice ordinario con un valor de factor $K = 1$ y un valor de SIR de de 0 dB , 12 dB y $\infty\text{ dB}$	32
Figura 14. Comparación de un sistema ordinario y un sistema oportunista con valores de umbral $m = 1,5193$, un valor de factor $K = 1$ y un valor de SIR de de 0 dB , 12 dB y $\infty\text{ dB}$	33
Figura 15. Comparación de un sistema ordinario y un sistema oportunista con valores de umbral $m = 1,1773$, un valor de factor $K = 0,5$ y un valor de SIR de de $\infty\text{ dB}$	34

Introducción

Antecedentes

A lo largo de la historia, el ser humano ha creado diversos recursos de comunicación. La tecnología ha aportado en la eficacia de los sistemas de comunicación logrando con esto un mayor alcance con señales potentes y sistemas cada vez más avanzados. Como consecuencia de estos aportes tecnológicos, han surgido nuevos retos para ofrecer mejores servicios y aplicaciones de telecomunicaciones a los usuarios (María et al., 2015).

En estos últimos años, los sistemas de comunicación inalámbricos se han desarrollado para poder comunicar varios dispositivos o personas ubicadas a diferentes distancias e incluso si se encuentran en movimiento. En las comunicaciones inalámbricas, se utilizan distintos métodos de comunicación que incluyen ondas infrarrojas, microondas e incluso la luz visible. Las ondas electromagnéticas empleadas en comunicaciones inalámbricas son afectadas por una serie de fenómenos como la interferencia, el ruido, la pérdida de trayectoria y desvanecimientos por trayectos múltiples. Por lo tanto, se emplean diferentes mecanismos de transmisión-recepción para contrarrestar y mitigar los efectos indeseables de estos fenómenos (Orozco, 2018).

En las comunicaciones inalámbricas un fenómeno que afecta considerablemente el desempeño del sistema es el desvanecimiento, el cual es la variación en la atenuación que experimenta una señal. Este fenómeno es producido debido a los múltiples trayectos por los que viaja una señal desde el transmisor hasta llegar al receptor. Así, existen diversos factores que pueden causar el desvanecimiento, entre estos factores se encuentra la propagación por multitrayecto, la rapidez del usuario móvil y, a su vez, la rapidez de los objetos que se encuentran en el canal de radio (Molina, 2018). El desvanecimiento afecta a todo tipo de señales inalámbricas y, en algunos casos, el aumento de la potencia de transmisión no necesariamente aporta demasiado a la solución de los problemas que causa este tipo de fenómeno. Además, es importante recordar que el incremento de potencia de transmisión implica en un recurso costoso para la red.

La distribución Rice modela el desvanecimiento en un canal inalámbrico cuando existe una línea de vista directa entre el transmisor y el receptor. Se puede mencionar que el nivel de potencia de dicha señal se encuentra por encima de las señales multitrayecto que se reciben. Esta distribución considera un denominado factor K , el cual se encuentra definido matemáticamente como la razón entre la potencia de la componente directa o de línea de vista de la señal y la potencia total de las componentes de multitrayectoria. Otra distribución conocida para modelar el desvanecimiento es la distribución Rayleigh, en cuyo caso se asume que no existe línea de vista entre el transmisor y receptor de una señal (Mart & Bellaterra, 2008). No obstante, en redes de telecomunicaciones inalámbricas actuales, los usuarios están cada vez más cerca de las estaciones radio base por lo que es cada vez más probable que exista línea de vista entre el transmisor y receptor.

Por lo antes indicado, se han propuesto varias técnicas para combatir los efectos indeseables del desvanecimiento. El método de transmisión oportunista es un método novedoso propuesto que aprovecha las características estadísticas del canal con desvanecimiento. Con este esquema, la transmisión solo se realiza cuando el desvanecimiento está por encima de un umbral. Se considera un enlace de retroalimentación, que proporciona una comunicación entre el receptor y el transmisor. Por lo tanto, el receptor detecta que el desvanecimiento está por encima de un umbral y lo informa al transmisor (Orozco, 2018).

El desempeño de sistemas inalámbricos es deteriorado a causa de la interferencia de co-canal (Minango & De Almeida, 2015). Se han realizado varios análisis del comportamiento de sistemas oportunistas en canales de tipo Rayleigh. Así, por ejemplo, se analizó el rendimiento de una propuesta de transmisión inalámbrica oportunista en canales con desvanecimiento de Rayleigh y en presencia de interferencia co-canal para diferentes esquemas de modulación en (Orozco, 2014). El análisis del desempeño de un sistema inalámbrico oportunista en canales de tipo rice con modulaciones S-QAM y NS-QAM fue desarrollada en (Bastidas, 2020). El análisis del desempeño de un sistema inalámbrico con transmisión oportunista en canales de desvanecimiento

de tipo rice en (Banegas, L & Vaca, 2020). No obstante, en ningún análisis previo se considera el análisis de sistemas oportunistas que operan en canales de tipo Rice considerando además la presencia de interferencia de co-canal, por lo tanto, en el presente proyecto se propone el análisis del escenario indicado.

Alcance

Se analizará un método de transmisión oportunista considerando que el desvanecimiento es modelado por una variable aleatoria de tipo Rice. Este método de transmisión oportunista se realiza en el momento en que la amplitud del desvanecimiento está encima de un valor de umbral. Adicionalmente, se considera el análisis del sistema incluyendo interferencia de co-canal, para este análisis se realizarán simulaciones de Monte-Carlo utilizando la herramienta de simulación MATLAB.

El análisis de rendimiento del sistema propuesto se basa en la probabilidad de error de bit posteriormente se considera una comparación de los resultados obtenidos con el sistema oportunista y las curvas de un sistema ordinario existente en la literatura

Justificación

Para mejorar la calidad de transmisión y recepción de la información se crean técnicas para mejorar su desempeño, pese a que existen varios estudios relacionados con transmisiones oportunistas, no existe ninguno que haga relación a los sistemas con canales de tipo Rice y que consideren una interferencia de co-canal, siendo este el factor fundamental para el desarrollo de esta propuesta.

Analizaremos la interferencia de co-canal ya que a una mayor distancia de reutilización de frecuencia da como resultado una disminución de la interferencia del co-canal, sin embargo, esto conduce a un mayor número de celdas por grupo lo que resulta una eficiencia espectral reducida debido a la disminución en el

número de canales por celda, en consecuencia, a esto se debe emplear otras técnicas para la disminución de los efectos de la interferencia de co-canal.

La interferencia, el ruido, la pérdida de trayectoria y desvanecimientos por trayectos múltiples ocasionan que la transmisión tenga pérdidas considerables para la señal, para este sistema se propone analizar un sistema inalámbrico oportunista con el cual se pretende mitigar los efectos indeseables del desvanecimiento y a su vez la interferencia para mejorar la calidad de transmisión, recepción de datos, y el desempeño de un sistema inalámbrico disminuyendo la probabilidad de error de bit y así dar solución de manera eficaz y eficiente a la transmisión de datos dentro de un canal de tipo Rice.

Objetivos

Objetivo General

Realizar el análisis del desempeño de un sistema inalámbrico oportunista por medio de un canal con desvanecimiento de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal.

Objetivo Específicos

- Definir los conceptos básicos que serán utilizados a lo largo del proyecto, para entender de mejor manera su desarrollo.
- Desarrollar y simular un sistema de comunicación inalámbrico oportunista en canales de tipo Rice considerando una interferencia de co-canal, dicha simulación será realizada con la herramienta MATLAB.
- Analizar los resultados obtenidos de la simulación con las curvas en términos de la probabilidad de error de bit obtenidas del sistema inalámbrico oportunista.
- Realizar una comparación del sistema oportunista con interferencia de co-canal con otros tipos de canales y se analizarán los resultados obtenidos.

1 CONCEPTOS BÁSICOS

En este capítulo, se expondrán conceptos básicos relacionados con los sistemas de comunicación inalámbricos que serán utilizados en el desarrollo del presente proyecto.

1.1 Sistema de comunicación digital

Un sistema de comunicación digital se encarga de generar, transmitir, procesar y almacenar señales digitales. Estos sistemas demandan una conexión entre el transmisor y receptor del canal de transmisión, dicha conexión se realiza ya sea con un par de hilos metálicos, un cable coaxial o un cable de fibra óptica. Sin embargo, cuando los sistemas digitales son sistemas de radio, se puede mencionar que el medio de transmisión es el la atmosfera terrestre o el espacio libre (Tomasi et al., 2003). En este último caso, el sistema emplea recursos de radio que pueden ser canales de frecuencia, time slots o códigos. Un sistema digital transmite la información como se puede apreciar en la figura 1 literal a, la señal ingresa por la fuente digital hacia la interfaz digital del terminal de transmisión la cual es enviada hacia la interfaz digital del terminal de recepción con el fin de llegar hacia su destino. Por otro lado, se tiene la entrada de una fuente analógica la cual pasa por un conversor de señal que consiste en la transcripción de la señal analógica en una señal digital para ingresar a la interfaz digital del terminal de transmisión la cual es enviada hacia la interfaz digital del terminal de recepción pasando por el conversor de la señal digital hacia la señal analógica para recuperar la señal y llegar hacia su destino final. En el literal b de la figura 1, se realiza el mismo proceso a diferencia de que el medio de transmisión de la señal es por el espacio libre.

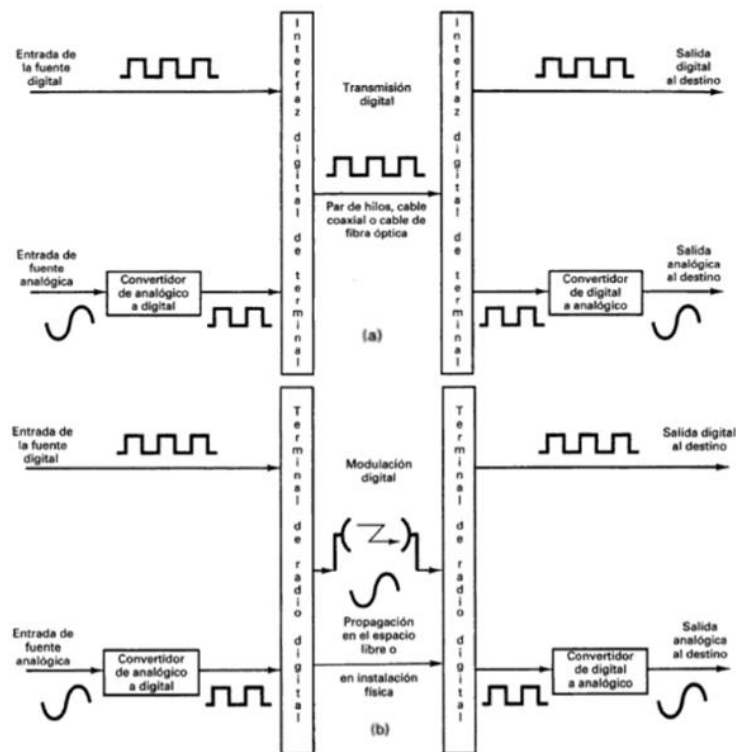


Figura 1. Sistema de comunicación digital: Tomado de: (Tomasi et al., 2003).

a) Transmisión digital.

b) Radio digital.

En la figura 2 se puede visualizar un esquema del diagrama de bloques de un sistema de comunicación digital. Todos los sistemas de comunicación involucran tres subsistemas principales los cuales son transmisor, canal de transmisión y receptor. La fuente de información realiza la conversión del mensaje a transmitir de una señal eléctrica a una señal digital. La señal ingresa al codificador de fuente donde se elimina la redundancia de los bits generados. Luego, la señal pasa al proceso de codificación de la señal la cual permite detectar y corregir errores en el receptor. La señal pasa al modulador el cual realiza el proceso de modulación de la señal transmitida a las propiedades del canal por medio de una onda electromagnética, con ello se logra modificar algunas características de la señal, así se incluye una frecuencia portadora. En esta señal, es posible modificar la frecuencia, la fase y la amplitud de la portadora, dando como resultado las diferentes modulaciones digitales. La señal es transmitida en el canal, el cual es el enlace entre el transmisor y el receptor por el cual se envía la

señal modulada. En el proceso de recepción de la señal, se realiza el proceso contrario en donde la señal ingresa al demodulador digital, el cual es el encargado de recuperar la señal a su forma original y recuperar a su vez la portadora, así pasando al decodificador del canal en el cual se elimina la redundancia de los datos, para pasar al decodificador de la fuente y así llegar finalmente al receptor.

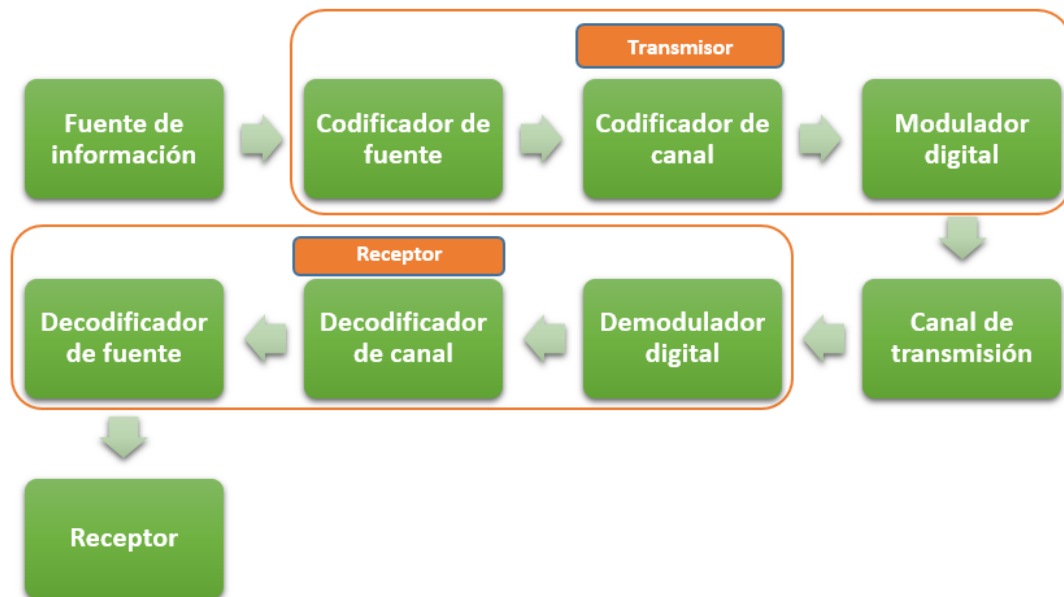


Figura 2. Esquema de bloques de un sistema de comunicación digital.

1.2 Modulación digital

El término de modulación digital se refiere al proceso en el que una señal digital en banda base es multiplicada por una portadora analógica de mayor frecuencia. Es decir, la modulación digital es el proceso en el cual la portadora es compatible con las características del canal o del medio de transmisión. De manera particular, el propósito de la modulación digital es transmitir símbolos de información a través de la amplitud, fase o frecuencia de una portadora. (Tri T, 2011). Esta es la principal función que cumple el modulador dentro del transmisor.

En el receptor, ocurre el proceso inverso conocido como demodulación, el cual consiste en recuperar la información original transmitida de la señal modulada con su portadora.

A continuación, se define los diferentes tipos de modulación digital que se emplean en los sistemas de transmisión inalámbrica.

1.2.1 Modulación PAM (Modulación por amplitud de pulsos)

Es una técnica utilizada en transmisión banda base, consiste en modificar la amplitud de la señal portadora en un tren de pulsos. La amplitud de estos pulsos depende de la información transmitida. PAM es comúnmente utilizada en transmisiones donde el espectro puede extenderse de una forma que la frecuencia pueda llegar a cero, es por este motivo que la señal toma el nombre de banda-base. La señal modulada con PAM se describe en la ecuación (1) (Orozco N., 2014)

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

(Ecuación 1)

dónde A es la amplitud, s_k es el valor del k -ésimo símbolo transmitido el cual corresponde a un símbolo formado por un conjunto de n bits., T_s es la duración de un símbolo y $g(t)$ es la forma de pulso que cumple el criterio de Nyquist.

1.2.2 Modulación ASK (Modulación por desplazamiento de amplitud)

ASK es un esquema de modulación que implica la variación de la amplitud de una onda portadora con frecuencia f_c y fase θ constantes, que se representa a partir de la ecuación (2) (Orozco N., 2014).

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A s_k g(t - kT_s) \cos[2\pi f_c(t - kt_s) + \theta],$$

(Ecuación 2)

En este tipo de modulación los valores binarios son representados con amplitudes distintas ya se con la presencia de la señal portadora o a su vez la ausencia de la señal portadora.

De esta forma se puede describir matemáticamente que la equivalente banda base de la ecuación (3) (Orozco N., 2014) es:

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

(Ecuación 3)

cuando $A s_k = 0, A, \dots, (M - 1) A$, es conocida como modulación M-ASK unipolar, mientras que sí $A s_k = \pm A, \pm 3A, \dots, \pm (M - 1) A$, tiene una modulación M-ASK polar. La modulación polar se caracteriza porque tiene mejor desempeño y dos niveles de amplitud (Orozco, 2014).

1.2.3 Modulación PSK (Modulación por desplazamiento de fase)

Este tipo de modulación, a diferencia de los esquemas antes mencionados, consiste en modular una señal sinusoidal de amplitud y frecuencia constantes. En este caso, los bits se encapsulan en la fase de la señal (Tomasi et al., 2003). Existen 2 tipos de modulaciones PSK. Las modulaciones por desplazamiento de fase diferenciales, en las cuales el valor de salto de fase es quien contiene la información a transmitir y las modulaciones por desplazamiento de fase convencionales, en la cual la información de la señal es codificada en el valor del salto de fase. Este tipo de modulación es utilizada en muchas aplicaciones prácticas en comunicaciones por satélite, comunicaciones celulares y redes de área local inalámbricas. (Tri T, 2011).

1.2.4 Modulación BPSK (Modulación de fase binaria)

La modulación de fase binaria, como su nombre lo dice, tiene una posibilidad de dos fases de salida, asociadas a un 1 lógico y a un 0 lógico, respectivamente. Estas fases están separadas un intervalo de π radianes.

En este tipo de modulación, la fase es el parámetro en la portadora que varía en función de la información de entrada proporcionada de manera binaria al modulador, esta señal se puede escribir de la siguiente manera.

$$s(t) = A \sum_{k=0}^{\infty} b_k h_e(t - kT_s) \cos(2\pi f_c t)$$

(Ecuación 4)

dónde el parámetro b_k representa los valores de los símbolos binarios establecidos en la entrada, en el caso de esta modulación estos símbolos se encuentran dados como ± 1 , lo que genera una fase de 0° grados o 180° , respectivamente, y $h_e(t)$ es la respuesta de impulso del filtro transmisor, f_c es la frecuencia portadora y T_s es la duración de un símbolo que coincide con el tiempo de bit T_b por ser una modulación binaria (Oriol S, 2003)

En la figura 3 se observa un diagrama de bloques para un modulador BPSK en el cual la señal ingresa al modulador, en el cual la portadora conmuta en dos fases distintas. Después, la señal pasa por un filtro banda-base que sigue el criterio de Nyquist. Finalmente, la portadora es agregada para que la señal pueda ser transmitida en el medio.

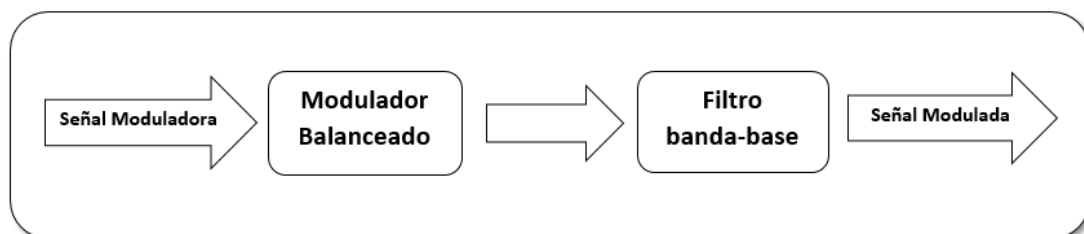


Figura 3. Diagrama de bloques para un modulador BPSK.

1.2.5 Modulación QAM (Modulación por amplitud en cuadratura)

Es una técnica de modulación digital en donde la información se encuentra contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora que se transmite. Así, la información es modulada tanto en la amplitud como en la fase de la señal. QAM se puede representar como una componente de fase y cuadratura, pero los puntos de constelación se distribuyen sobre toda el área del diagrama de constelación. (Krouk & Semenov, 2010). Como ejemplo describimos dos esquemas QAM a continuación.

- **Modulación 8QAM**

En este tipo de modulación QAM los datos se fraccionan en grupos de tres bits en los cuales un grupo varía la amplitud de la portadora y el bit restante varía su fase. Como resultado la señal modulada puede llegar a tener ocho estados, que denominaremos símbolos.

- **Modulación 16QAM**

Es un tipo de modulación QAM en la que cada símbolo lleva un grupo de 4 bits. Como resultado, la constelación está conformada por 16 posibles combinaciones (símbolos) que difieren en amplitud y fase. (Luque Joaquin, 1995)

1.3 Factores que afectan la transmisión de una Señal Inalámbrica

En la transmisión de una señal existen diversos factores que afectan a la calidad de la recepción. Entre estos factores tenemos la interferencia, el ruido, el desvanecimiento, pérdida de potencia, distorsiones de la señal, obstrucción producidas por edificios, árboles, montañas. Todos estos fenómenos afectan de manera considerable y, por lo tanto, la recepción de la señal puede ser degradada.

1.3.1 Ruido

Es una señal indeseable la cual distorsiona y contamina la señal transmitida por cualquier sistema de comunicación, el ruido se encuentra formado por diversas señales aleatorias que son impredecibles. Puede existir ruido en la representación de una señal, en la codificación, en el método de análisis e incluso en el modelado de la señal. (Márquez, 2014). El ruido es modelado como una variable aleatoria Gaussiana de media cero. Estas señales pueden producirse en un sistema de forma interna o externa. Las externas se deben a la radiación producida por elementos naturales o señales provenientes de canales vecinos y las internas al ruido que reside en los elementos de conexión ya sea a la antena o al receptor. En este caso, el ruido es conocido como interferencia. El ruido interno se debe al movimiento térmico de los electrones dentro de los circuitos del sistema, o la emisión aleatoria y la difusión o recombinación de portadores de carga dentro de los distintos dispositivos electrónicos. A diferencia del ruido exterior, este ruido nunca se puede eliminar totalmente y, por lo tanto, es uno de los factores fundamentales que limita la capacidad de la comunicación. El ruido se conoce como ruido blanco, pues tiene la misma potencia en todas las componentes de frecuencia. (M.H. Rábanos et al., 2015)

En la transmisión de un canal digital los bits pueden llegar a con error, o, en otras palabras, no son detectados de forma correcta en el receptor, lo que puede producir un crecimiento en la tasa de error de bit o también denominada probabilidad de error de bit (BER)

1.3.2 Relación señal ruido (SNR)

La relación señal ruido (SNR) es un factor muy importante en los sistemas de comunicación ya que con esta relación se puede lograr medir el impacto del ruido sobre una transmisión. Esta relación se encuentra definida como:

$$SNR = \frac{P_r}{N}$$

(Ecuación 5)

dónde P_r es la potencia recibida de la señal de interés y N es la potencia del ruido. La BER depende del valor que tiene la relación SNR. Así, mientras mayor la SNR menor será la BER. Una mayor relación señal ruido implica una mayor velocidad de transmisión. Definimos la relación de potencia señal a ruido (SNR) como la relación entre la potencia de la señal recibida y la potencia del ruido dentro del ancho de banda de la señal transmitida. La potencia recibida P_r está determinada por la potencia transmitida y la pérdida de trayecto. La potencia de ruido está determinada por el ancho de banda de la señal transmitida. (Goldsmith, 2014).

1.3.3 Atenuación

La atenuación es un fenómeno natural el cual es producido en la transmisión de señales. Este fenómeno a su vez afecta a los enlaces vía microondas y a las ondas de radio ya que estas absorben y se esparcen a través de la atmosfera. Si la señal llega a recorrer grandes distancias es posible que los bits transmitidos no puedan ser distinguidos en el receptor. Por esta razón, la potencia de la señal debe mantener una potencia mayor que la del ruido para poder ser detectada sin errores. La atenuación puede presentarse en el espacio libre como en la atmosfera terrestre. (Yáñez, 2009). En el espacio libre, la atenuación crece en base de la distancia. En cualquier otro escenario, hay obstáculos, paredes o el suelo, en los que las ondas pueden atravesar complejas transformaciones las cuales pueden ser la, refracción, dispersión y difracción. (Tonoyan, 2017).

1.3.4 Desvanecimiento

En las comunicaciones inalámbricas, al desvanecimiento se lo considera como la desviación o atenuación inducida por un medio de propagación. El desvanecimiento puede variar con el tiempo, la posición geográfica y las frecuencias de radio. (Ben Ltaief, 2015). Una señal llega al receptor a través de múltiples trayectos. La suma de estas réplicas de la señal hace que la señal resultante se pueda atenuar o amplificar. Este fenómeno se conoce como desvanecimiento. El desvanecimiento tiene carácter probabilístico (Yáñez,

2009). Las causas del desvanecimiento puede llegar a ser numerosas, pero en todos los casos el efecto que causa es el deterioro de la calidad en el enlace de la transmisión.

Existen dos tipos de desvanecimiento diferentes: desvanecimiento a gran escala y desvanecimiento a pequeña escala. Por un lado el desvanecimiento a gran escala es el resultado de la fluctuación aleatoria de la atenuación de la señal después de que se propaga a una cierta distancia, en donde la señal debe estar expuesta a grandes obstáculos entre el transmisor y el receptor, en este punto aparecen dos fenómenos: la pérdida de trayectoria y el sombreado de la señal. Las fluctuaciones rápidas en el nivel de señal se conocen como desvanecimiento a pequeña escala, que están relacionadas con múltiples trayectos (Orozco, 2014). El desvanecimiento a pequeña escala explica la conducta de la potencia en distancias que son comparables a la longitud de onda de una señal y son dadas por las reflexiones, dispersiones y difracciones de la señal.

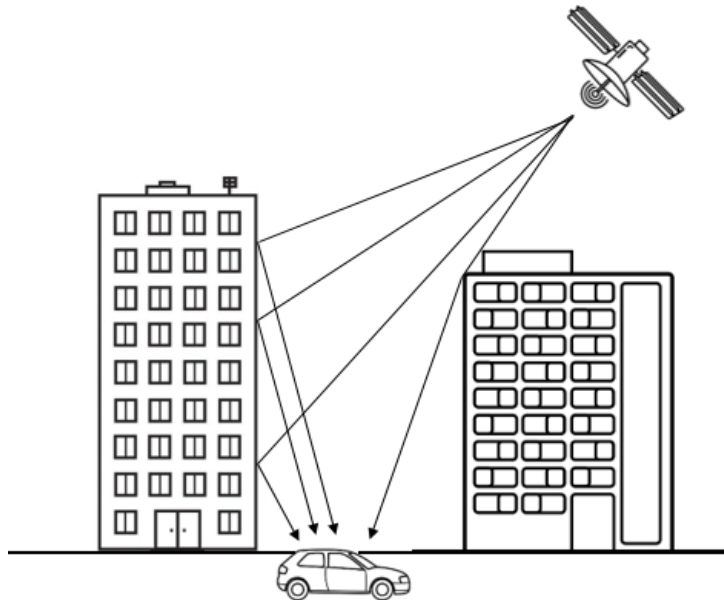


Figura 4. Propagación multitrayectoria sin línea de vista.

El desvanecimiento de Rayleigh se debe a la recepción de trayectos múltiples, es un modelo estadístico del efecto de una atmósfera de propagación en una

señal. (Raju, M & Shoka, 2016) La función densidad de probabilidad (PDF) de la distribución Rayleigh se representa de la siguiente forma (Abrahams & Papoulis, 2002)

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right),$$

(Ecuación 6)

dónde r es la envolvente de la señal y $2\sigma^2$ es la potencia media de la variable aleatoria.

1.3.5 Desvanecimiento Rice

En este tipo de desvanecimiento, a diferencia del Rayleigh, existe una línea de vista entre el transmisor y receptor. La PDF de la distribución Rice se representa de la siguiente forma (Abrahams & Papoulis, 2002):

$$P_R(r) \frac{1}{2\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 + s^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left\{\frac{rs}{\sigma^2}\right\}$$

(Ecuación 7)

dónde s^2 es la potencia de la componente de la señal de línea de vista, $2\sigma^2$ es la potencia de las componentes dispersas, e I_0 es la función Bessel modificada de primer tipo y de orden cero. Esta PDF se puede escribir en términos del factor de Rice, K , el cual es definido por la relación de la potencia especular s^2 y la potencia dispersa, $2\sigma^2$, y se representa matemáticamente de la siguiente forma: (Wongtrairat & Supnithi, 2011)

$$K = \frac{s^2}{2\sigma^2},$$

(Ecuación 8)

La relación de los componentes de línea de vista y los componentes sin línea de vista matemáticamente se puede representar como:

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

(Ecuación 9)

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

(Ecuación 10)

dónde Ω es la suma total de las potencias como: $\Omega = s^2 + 2\sigma^2$, de esa forma la PDF se describe en términos de K como:

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

(Ecuación 11)

Se puede mencionar sobre el desvanecimiento de Rice que conforme aumenta el valor del factor K la cantidad de desvanecimiento disminuye así como la función de densidad se vuelve más simétrica. (Shankar, 2017)

1.3.6 Interferencia

Es un fenómeno que afecta comúnmente las transmisiones inalámbricas. La interferencia puede incluso cancelar una señal, puede afectar a transmisiones de otras señales realizadas en frecuencias cercanas o a su vez pueden ser frecuencias contiguas, de manera que se logra introducir ruido por el canal de comunicación por la cercanía de las señales dando como resultado una mala calidad de voz en las llamadas o a su vez también intentos fallidos al acceso a la red. (Jung et al., 2012)

1.3.7 Interferencia de Co-Canal

Este tipo de interferencia es causada por la presencia de señales de interés y señales interferentes que estén operando en el mismo ancho de banda del canal de transmisión. Este tipo de interferencia puede deteriorar de una forma grave al desempeño del sistema y con esto llegar hasta interrumpir el servicio de los

usuarios. Las comunicaciones por radio móviles e inalámbricas sufren este tipo de deterioro, ya que generalmente no se puede evitar por completo. (Tralli & Verdone, 1999).

Así mismo afecta a estaciones base que se encuentren operando en el mismo rango de frecuencia en una celda vecina. Una manera de poder contrarrestar la interferencia de co-canal es mejorando la relación señal a interferencia. Debido a esto en el capítulo 2 se analizó un sistema oportunista en presencia de interferencia de co-canal y se determinó como afecta el desempeño en el sistema. Para este análisis se utilizará la probabilidad de error de bit para un esquema de modulación de fase binaria BPSK y se considera la ecuación (1), donde el usuario de interés y el usuario interferente utilizan el mecanismo de transmisión descrito en la ecuación (13).

1.4 Probabilidad de Error de Bit

La probabilidad de error de bit es la relación entre los bits que llegan con error al receptor y el número total de bits transmitidos en un intervalo de tiempo.

En un canal con desvanecimiento, la probabilidad de error de bit instantánea varía porque la relación señal a ruido también varía con el tiempo. Específicamente la SNR instantánea es (Orozco N, 2014):

$$\gamma = \alpha^2 \frac{E_b}{N_0},$$

(Ecuación 12)

dónde α es una variable aleatoria de tipo Rice la cual representa la amplitud instantánea del desvanecimiento.

1.4.1 Probabilidad de Error de Bit Media

Como se indicó anteriormente, la probabilidad de error de bit es una función de la relación señal a ruido que es la razón entre el número de bits que son recibidos

con error y el número de bits que son transmitidos como se puede evidenciar en la ecuación (13).

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

(Ecuación 13)

dónde el número de errores de bit es la cantidad de bits que son recibidos de un conjunto de datos transmitidos a través de un canal en el cual existen diversos factores que alteran los datos de la señal transmitida, una mayor relación señal a ruido implica tener un valor de BER menor ya que la BER se encuentra inversamente relacionada con la relación señal a ruido de un sistema digital. Existen varios estudios sobre el desempeño de los sistemas de transmisión en términos de BER en presencia de interferencia co-canal para muchos esquemas de modulación. Para mitigar la interferencia co-canal y reducir la BER, existen varios estudios en la literatura, como variación de reutilización de frecuencia, cancelación de interferencia, coordinación de la interferencia entre células, etc. La codificación de canal es un método eficaz para reducir la BER en sistemas de transmisión digital. Sin embargo, los estudios en la literatura que evalúan el desempeño de la corrección de errores en canales con interferencia son muy escasos. (Altamirano & De Almeida, 2011).

1.5 Transmisión oportunista

Es un método de transmisión que permite mejorar el desempeño de la transmisión. Con este método, la transmisión se realiza únicamente cuando el desvanecimiento de la señal se encuentra por encima de un umbral. En este evento, el receptor automáticamente notifica al transmisor que la transmisión debe ser realizada (Orozco, 2018). En un sistema de transmisión oportunista, se realiza el cálculo de la BER en canales con presencia de desvanecimiento en términos de un valor de umbral, los valores del umbral de la transmisión oportunista se encuentran determinados a partir de la probabilidad de transmisión deseada, q .

2 DISEÑO DEL SISTEMA OPORTUNISTA OPERANDO EN UN CANAL CON INTERFERENCIA DE CO-CANAL

2.1 Introducción

A lo largo de la historia es notable el aumento de la cantidad de usuarios en las redes de comunicaciones y a su vez la demanda de altas tasas de transmisión. Las comunicaciones inalámbricas han impulsado a las investigaciones en este ámbito ya que son necesarias con el fin de garantizar la calidad de transmisión dentro de un sistema de comunicación. El desempeño de las comunicaciones inalámbricas es afectado por la interferencia de co-canal, que es una de las principales limitaciones de un sistema de comunicación inalámbrico. Es por tal motivo que el análisis del desempeño de sistemas inalámbricos afectados por la interferencia de co-canal es necesario. Esta interferencia se da comúnmente por la reutilización de los canales. El análisis de este sistema oportunista con interferencia de co-canal ayudará a combatir la interferencia del sistema. En este diseño se considera un canal de tipo Rice. Se realizarán simulaciones utilizando el método de Monte Carlo. Así mismo, se valida el desempeño del sistema oportunista comparando los resultados obtenidos con los de un sistema de comunicación ordinario.

2.2 Descripción del Sistema

Todo sistema de comunicación tiene como meta transmitir datos, información entre un transmisor y un receptor por medio de un canal. Se considere un sistema de comunicación digital en el cual, el transmisor genera bits de 0 ó 1 con igual probabilidad. Luego, estos bits son modulados empleando modulación BPSK. Así, cada bit es mapeado en un símbolo (x_k), con posibles amplitudes $x_k = \pm 1$. Por lo tanto, la señal banda-base transmitida se puede expresar como lo describe la ecuación (3). La señal de salida en el canal es multiplicada por el desvanecimiento $\alpha(t)$, posterior a esto en el receptor se agrega ruido $n(t)$ a la señal como se puede observar en la ecuación (9).

$$r(t) = s(t) * \alpha(t) + n(t)$$

(Ecuación 13)

Se considera que los usuarios interferentes transmiten bajo las mismas condiciones que el usuario de interés. El equivalente pasa bajo de la señal transmitida por un usuario interferente (usuario 1) es:

$$s_1(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \rho A s_k g(t - kT_s),$$

(Ecuación 14)

dónde ρ es el componente de amplitud del usuario interferente, el cual es utilizado para variar la SIR. (Orozco, Carvajal & Celso, 2018).

2.3 Mecanismo de Transmisión Oportunista.

Los sistemas de transmisión oportunista trabajan de dos formas:

- Dentro del mecanismo de transmisión de un sistema oportunista cuando receptor de la señal transmitida detecta que la amplitud del desvanecimiento de la señal se encuentra por debajo del valor del umbral m , informa al transmisor para que la información no pueda ser transmitida. Como se puede visualizar en la figura 5.



Figura 5. Desvanecimiento por debajo del umbral.

- Por otra parte, cuando el receptor de la señal detecta que el valor de la amplitud del desvanecimiento se encuentra por encima de valor del umbral m , la información es transmitida satisfactoriamente. Como se puede visualizar en la Figura 6.

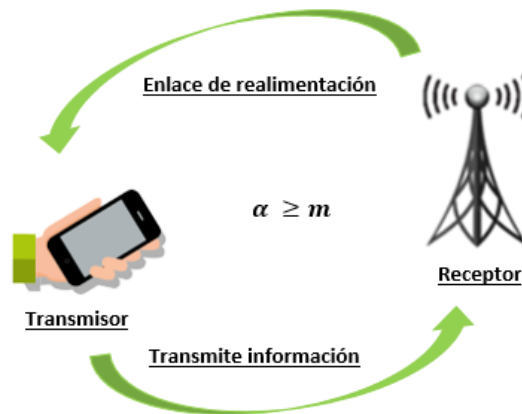


Figura 6. Desvanecimiento por encima del umbral.

Ante lo indicado, existen distintos escenarios de operación (Orozco Garzon et al., 2018):

- En un primer escenario se puede describir que la interferencia es irrelevante ya que la amplitud del desvanecimiento se encuentra por debajo del umbral con lo cual el usuario de interés no transmite
- En el segundo escenario, no existe interferencia ya que el desvanecimiento del usuario de interés sobrepasa el valor del umbral m y a su vez la amplitud del usuario interferente se encuentra por debajo del umbral m .
- Por último, se tiene un tercer escenario en el cual la interferencia de co-canal existe, debido a que el desvanecimiento del usuario interferente y el desvanecimiento del usuario de interés se encuentran por encima del umbral m . Con lo cual ambos usuarios transmiten.

Cuando se tiene un sistema celular existen varios usuarios y a su vez varios interferentes, esta interferencia generada se puede modelar matemáticamente como una variable aleatoria Gaussiana. Este modelamiento de interferencia se expone en la ecuación (10).

$$r(t) = \alpha_0(t)s_0(t)\beta + \sum_{i=1}^{n_i} \rho\alpha_i(t)s_i(t)\beta + n(t)$$

(Ecuación 15)

dónde n_i es la representación del número de interferentes de co-canal, $\alpha_0(t)$ y $s_i(t)$ son las amplitudes de los desvanecimientos del usuario de interés y de los usuarios interferentes respectivamente y $n(t)$ es el ruido.

2.4 Cálculo del Umbral

Un aspecto importante a establecer es la probabilidad de transmisión del sistema oportunista. Para esto, en primer lugar, se necesita determinar el valor del umbral para la transmisión. Este parámetro se calcula empleando la PDF de la variable aleatoria RICE que se indicó en la ecuación (7).

A continuación, definiremos a la probabilidad de no transmisión como p y la probabilidad de transmisión como q . A partir de estos valores, se conseguirán distintos valores de umbrales. La probabilidad de no transmisión p , se puede expresar matemáticamente integrado la densidad de probabilidad PDF indicada en la ecuación (6) con valores desde 0 a m dando como resultado: (Orozco Garzon et al., 2018)

$$p = \int_0^m \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2+s^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{rs}{\sigma^2}\right) dr,$$

(Ecuación 16)

Por lo antes indicado, se pueden escribir además que: (Orozco Garzon et al., 2018)

$$p + q = 1,$$

(Ecuación 17)

A partir de la ecuación (16), se puede llegar a obtener el valor del umbral m en función de la probabilidad de transmisión q como: (Orozco Garzon et al., 2018)

$$m = \sqrt{2\sigma^2 \ln\left(\frac{1}{q}\right)},$$

(Ecuación 18)

En la tabla 1, se pueden observar los valores de la probabilidad de transmisión y no transmisión para un sistema oportunista considerando un canal de tipo Rice con diferentes valores de umbral m para distintos valores de media s .

Tabla 1

Umbrales considerados en el análisis del proyecto.

Valor de umbral [m]	Valores del factor [k]			Probabilidad de transmisión [q]	Probabilidad de no transmisión [p]
	0	0,5	1		
m_1	0,8325	0,9379	1,2437	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
m_2	1,0481	1,1773	1,5193	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$
m_3	1,1774	1,3199	1,6787	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$
m_4	1,2686	1,4202	1,7890	$\frac{1}{5}$	$\frac{4}{5}$

Como ejemplo de los valores presentados en la tabla 1, considere el umbral $m_1 = 1,6787$, en el cual dicho valor tiene una probabilidad de transmisión de $q = \frac{1}{4}$ y una probabilidad de no transmisión de $p = \frac{3}{4}$. Considerando un factor $k = 1$ en la distribución de Rice. En este caso, si la transmisión se realiza únicamente cuando la amplitud del desvanecimiento se encuentra por encima del valor del umbral $m_1 = 1.6787$, entonces, la probabilidad de transmisión es $q = \frac{1}{4}$.

2.5 Análisis del desempeño de un canal con interferencia de co-canal

La relación señal a ruido más la interferencia (SNIR) es la relación entre la potencia de la señal del usuario de interés dividida para la suma de las potencias de las señales interferentes más el ruido.

A partir de la ecuación (15), se puede escribir el k-ésimo símbolo recibido como:

$$Z_k = S_o + I_o + R_o$$

(Ecuación 19)

dónde S_o es la muestra recibida del usuario de interés, la señal, I_o es la muestra de la interferencia de co-canal. (Orozco, Carvajal & Celso, 2018).

2.6 Diseño del algoritmo para la simulación

En este apartado se establecen todos los lineamientos necesarios para simular un sistema oportunista en un canal Rice en presencia de interferencia de co-canal.

El desvanecimiento de tipo Rice, se genera a partir de la norma de una variable aleatoria Gaussiana compleja, cuyas componentes tienen varianza σ^2 . Además, una de las componentes reales tiene media cero y la otra tiene media s

Por lo antes indicado, el desvanecimiento de tipo Rice se obtiene de la siguiente manera:

$$s = \sqrt{g_1^2 + g_2^2},$$

(Ecuación 20)

En Matlab, la función `randn()` genera números aleatorios gaussianos con media 0 y desviación estándar 1. Por lo tanto, para generar el componente g_1 y desviación estándar σ , la salida de `randn()` se debe multiplicar por σ y sumar s . Para el componente g_1 con media 0 y desviación estándar σ , la salida de `randn()` se debe multiplicar por σ (Bastidas, 2020).

En presencia de interferencia de co-canal, la señal total recibida puede escribirse de la siguiente manera:

$$r = A\alpha s + \omega A\alpha_i s_i + n$$

(Ecuación 21)

En la ecuación anterior A es la amplitud de las señales transmitidas, α y α_i son el desvanecimiento del usuario de interés y del usuario interferente, respectivamente. Por otra parte, s y s_i son los símbolos transmitidos por el usuario de interés y el usuario interferentes, respectivamente, n es el ruido aditivo Gaussiano blanco. Finalmente, ω es un factor que permite modificar la potencia recibida del interferente de co-canal y, por lo tanto, permite modificar la relación señal a interferencia (SIR). Así, podemos escribir que:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{SIR}}$$

(Ecuación 22)

3 PRUEBAS Y RESULTADOS

En el siguiente capítulo se realizan las pruebas y se analizan los resultados obtenidos del desempeño del sistema. El proceso de simulación de las gráficas fue realizado mediante el método de Monte Carlo utilizando la herramienta MATLAB. Se considera que el sistema opera en un canal con desvanecimiento de tipo Rice. En el análisis, se considera distintos valores de umbral m de transmisión y valores de factor $K = 0$, $K = 0,5$ y $K = 1$, estos valores se encuentran expuestos en la tabla 1. Se debe considerar que cuando el valor de la media es cero el canal con desvanecimiento de tipo Rice se comporta como un canal de tipo Rayleigh. El presente análisis se realiza graficando diferentes curvas de la BER en función de la relación señal a ruido normalizada, E_b/N_0 considerando cada valor de umbral m y la media del canal Rice.

Las figuras 7, 8, 9 y 10 presentan las curvas de la probabilidad de error de bit una función de la relación señal a ruido $\frac{E_b}{N_0}$ considerando un esquema de

modulación BPSK para distintos valores de umbral en m , considerando una relación señal interferencia de $SIR = 0$, $SIR = 12$ y $SIR = \infty$ dB. La probabilidad de error de bit media para el sistema oportunista tiene una mejora considerable en comparación con aquella de un sistema ordinario, a medida que el valor del umbral va aumentando el rendimiento del sistema va mejorando llegando a que el rendimiento del sistema oportunista ayuda significativamente a reducir la interferencia sobre el usuario de interés, logrando así mejorar la calidad, el rendimiento del sistema.

La figura 7 muestra los resultados obtenidos de la probabilidad de error de bit y $\frac{E_b}{N_o}$ (db) de un sistema de transmisión oportunista, en la cual se utiliza un valor de umbral $m = 0,9379$ y un valor de factor $K = 0,5$, en un esquema de modulación BPSK, con valores de $SIR = 0$ dB, $SIR = 12$ dB y $SIR = \infty$ dB . En la figura, se muestra que a medida de que la relación señal a ruido aumenta y la BER disminuye el desempeño del sistema mejora.

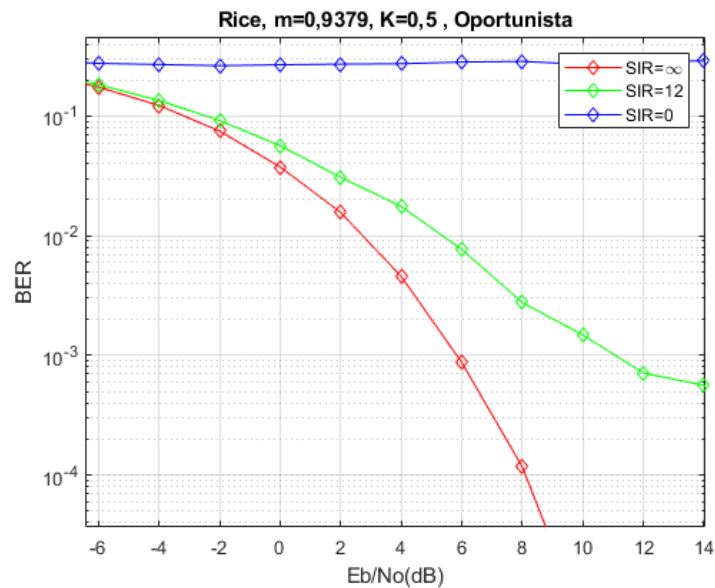


Figura 7. BER en función de E_b/N_o para un sistema inalámbrico oportunista en un canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal, considerando un valor de umbral $m = 0,9379$, un valor de factor $K = 0,5$ con una SIR de de 0 dB, 12 dB y ∞ dB.

En la figura 8 se puede observar los resultados obtenidos de la probabilidad de error de bit media de un sistema de transmisión oportunista con un valor de umbral $m = 1,4202$ y un valor de factor $K = 0,5$, una modulación BPSK, con valores de $SIR = 0 \text{ dB}$, $SIR = 12 \text{ dB}$ y $SIR = \infty \text{ dB}$. Comparando la figura 8 con la figura 7, se determina que conforme el valor del umbral aumenta, el desempeño del sistema mejora, a su vez se puede evidenciar que el $\frac{Eb}{No} \text{ (db)}$ disminuye.

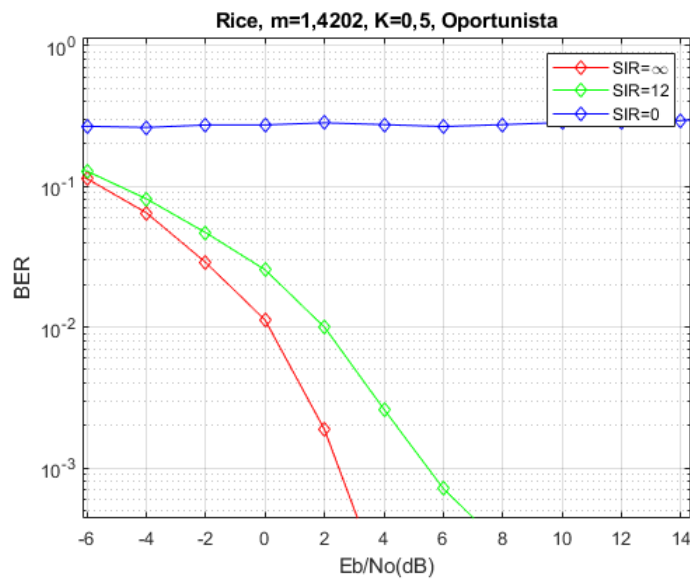


Figura 8. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico oportunista en un canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal, un valor de umbral $m = 1,4202$, un valor de factor $K = 0,5$ con una SIR de 0 dB , 12 dB y $\infty \text{ dB}$.

En la figura 9 se puede analizar los resultados obtenidos de la probabilidad de error de bit en función de $\frac{Eb}{No} \text{ (db)}$, de un sistema de transmisión oportunista con un valor de umbral $m = 1,2437$ y un valor de factor $K = 1$, una modulación BPSK, con valores de $SIR = 0 \text{ dB}$, $SIR = 12 \text{ dB}$ y $SIR = \infty \text{ dB}$. Conforme el valor del factor k aumenta los valores de BER del sistema aumenta al igual que el $\frac{Eb}{No} \text{ (db)}$, el desempeño del sistema mejora ya que un mayor valor de factor K implica una mayor potencia del canal.

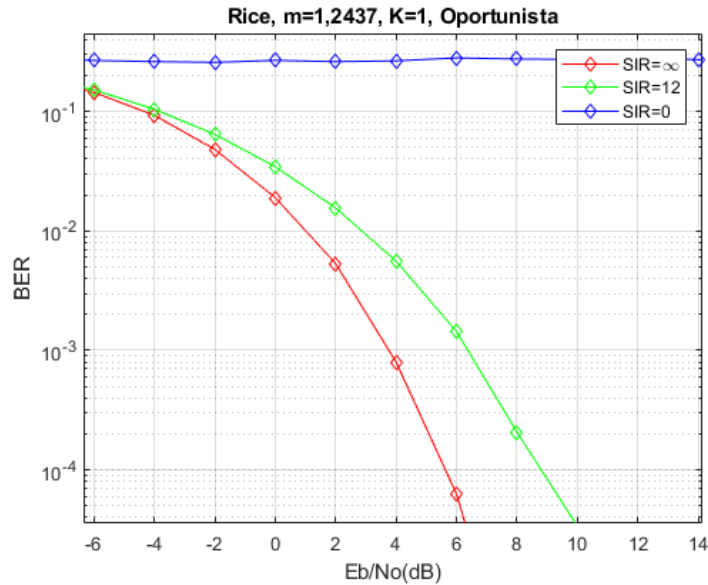


Figura 9. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico oportunista en un canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal, un valor de umbral $m = 1,2437$, un valor de factor $K = 1$, con una SIR de de 0 dB, 12 dB y ∞ dB.

En la figura 10 se puede observar los resultados obtenidos por parte de la probabilidad de error de bit media de un sistema de transmisión oportunista con un valor de umbral $m = 1,5193$ y un valor de factor $K = 1$, una modulación BPSK, con valores de $SIR = 0$ dB, $SIR = 12$ dB y $SIR = \infty$ dB. Es posible observar que mediante el aumento en el umbral m a comparación de la figura 9 los valores de BER aumentan mientras que los valores de $\frac{E_b}{N_0}$ (db) disminuye.

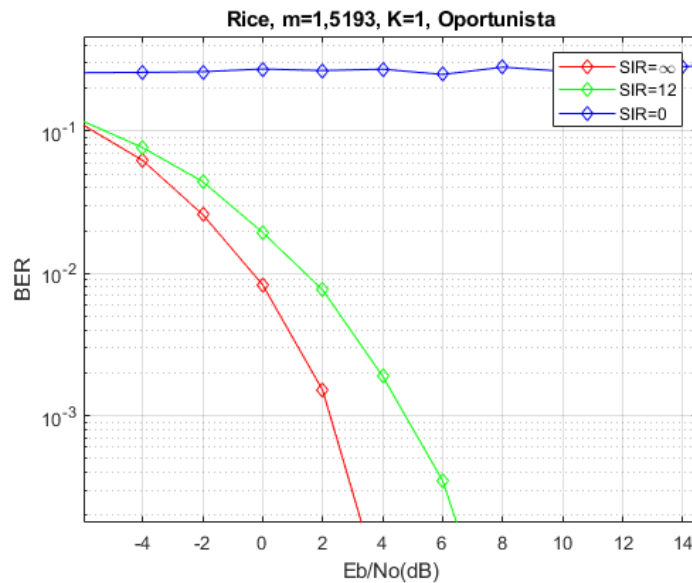


Figura 10. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico oportunista en un canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal, con un valor de umbral $m = 1,5193$, un valor de factor $K = 1$, con una SIR de 0 dB, 12 dB y ∞ dB.

4 COMPARACIONES ENTRE UN SISTEMA OPORTUNISTA Y UN SISTEMA ORDINARIO

En el presente capítulo se realizan dos comparaciones la primera es la comparación del desempeño de un sistema ordinario con un sistema oportunista en un canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal en un tipo de modulación BPSK.

Las comparaciones se realizan considerando diferentes valores de umbral m y distintos valores de factor K con diferentes valores de relación señal interferencia, también se realiza las comparaciones del desempeño del sistema considerando un canal Rice oportunista, con un sistema Rice ordinario, las simulaciones se realizarán utilizando el método de Monte Carlo variando los valores de la relación señal interferencia SIR .

En la figura 11 se puede observar la curva de la probabilidad de error de bit en función de la relación señal a ruido considerando el esquema de modulación

BPSK en un canal ordinario, con valores de $SIR = 0 \text{ dB}$, $SIR = 12 \text{ dB}$ y $SIR = \infty \text{ dB}$.

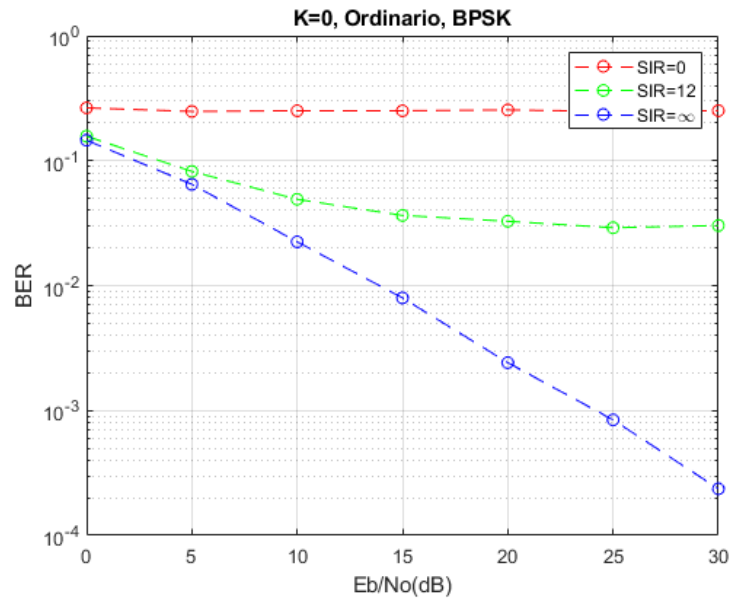


Figura 11. BER en función de E_b/N_o para un sistema inalámbrico ordinario con un valor del factor $K = 0$ y valores de SIR de 0 dB , 12 dB y $\infty \text{ dB}$.

Por otro lado podemos observar que en la figura 12 la curva de la probabilidad de error de bit en función de la relación señal a ruido considerando un esquema de modulación BPSK en un canal Rice ordinario con un valor de factor $K = 0,5$ y valores de $SIR = 0 \text{ dB}$, $SIR = 12 \text{ dB}$ y $SIR = \infty \text{ dB}$, en el cual el valor del factor K mejora el desempeño del sistema, a su vez los valores de $\frac{E_b}{N_o}$ (db) disminuyen al igual que los valores de BER.

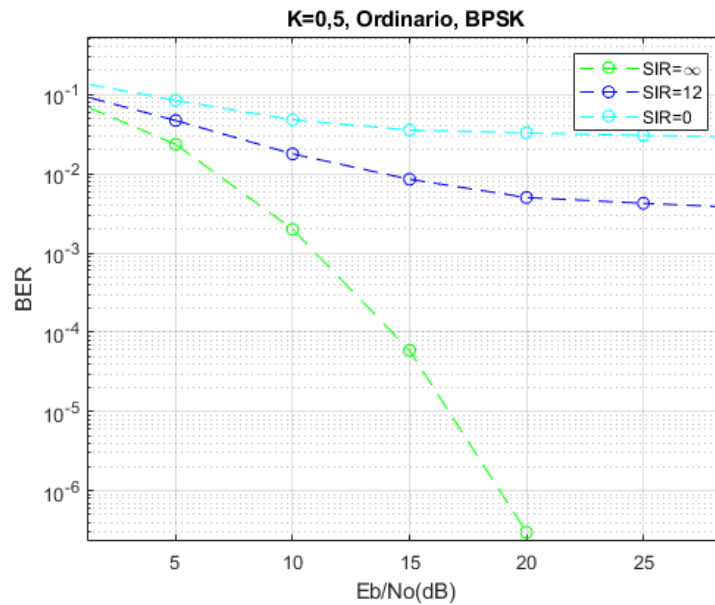


Figura 12. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico en un canal de tipo Rice ordinario con un valor de factor $K = 0,5$ y un valor de SIR de de 0 dB , 12 dB y $\infty \text{ dB}$.

En la figura 13 se observa la curva de la probabilidad de error de bit en función de la relación señal a ruido considerando el esquema de modulación BPSK en un canal Rice ordinario con un valor de factor $K = 1$ y valores de $SIR = 0 \text{ dB}$, $SIR = 12 \text{ dB}$ y $SIR = \infty \text{ dB}$. Con el aumento del factor K los valores de $\frac{E_b}{N_0} \text{ (dB)}$ disminuyen al igual que los valores de BER. Se puede observar que para un valor de $\frac{E_b}{N_0} = 10 \text{ dB}$, el sistema oportunista tiene una BER aproximada de 1×10^{-4} , mientras que en la figura 12 se tiene un valor aproximado de 1×10^{-3} en términos de BER.

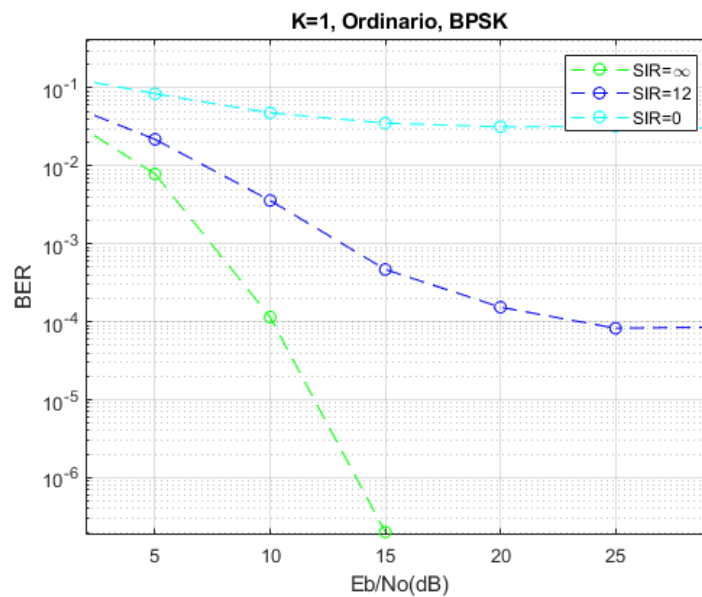


Figura 13. BER en función de E_b/N_0 para un sistema inalámbrico en un canal de tipo Rice ordinario con un valor de factor $K = 1$ y un valor de SIR de de 0 dB, 12 dB y ∞ dB.

En la figura 14 se observa la curva de la probabilidad de error de bit en función de la SNR considerando el esquema de modulación BPSK en un canal Rice ordinario con un valor de umbral $m = 1,5193$, un valor de factor $K = 1$ y valores de $SIR = 0$ dB, $SIR = 12$ dB y $SIR = \infty$ dB, y la curva de la BER en función de la relación señal a ruido considerando el esquema de modulación BPSK en un canal Rice oportunista con un valor de umbral $m = 1,5193$, en el cual se puede evidenciar la mejora en el desempeño del sistema de comunicación, mientras el valor de BER disminuye la relación señal interferencia disminuye del sistema oportunista en comparación al sistema ordinario.

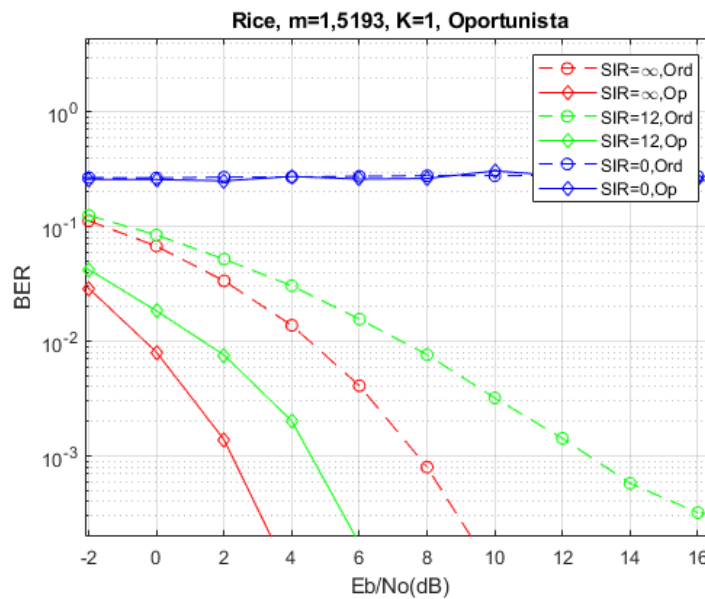


Figura 14. Comparación de un sistema ordinario y un sistema oportunista con valores de umbral $m = 1,5193$, un valor de factor $K = 1$ y un valor de SIR de de 0 dB , 12 dB y $\infty \text{ dB}$.

En la figura 15 se puede analizar y comparar las gráficas de un sistema ordinario y un sistema oportunista en el cual las dos curvas de la probabilidad de error de bit están siendo comparadas en función de la SNR, para este análisis se utilizó un esquema de modulación BPSK en un canal Rice ordinario con un canal Rice oportunista en los que se utilizó valores de umbral $m = 1,1773$ para la transmisión oportunista, un valor de factor $K = 0.5$ y un valor de $SIR = \infty \text{ dB}$, en el cual se puede evidenciar la mejora en el desempeño del sistema de comunicación por parte del desempeño de la curva oportunista. Se puede observar que para un valor de $\frac{E_b}{N_o} = 6 \text{ dB}$, el sistema oportunista tiene una BER aproximada de 1×10^{-4} , mientras que en el sistema ordinario se tiene un valor aproximado de 1×10^{-2} en términos de BER.

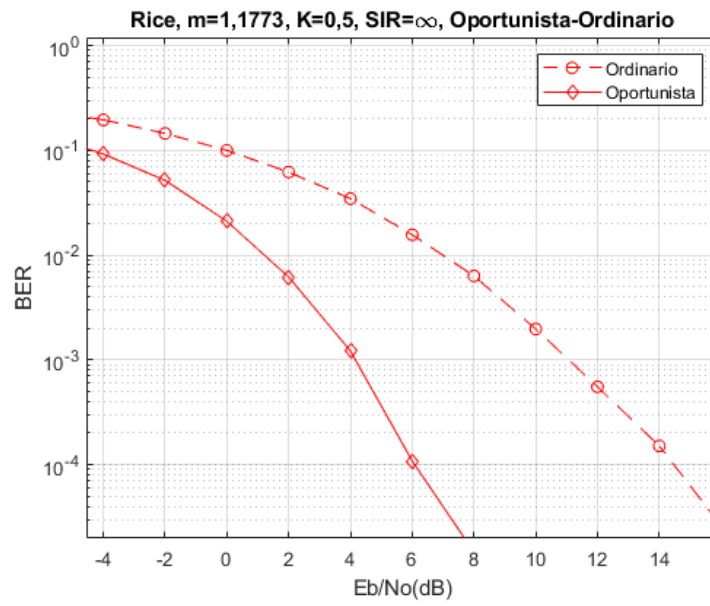


Figura 15. Comparación de un sistema ordinario y un sistema oportunista con valores de umbral $m = 1,1773$, un valor de factor $K = 0,5$ y un valor de SIR de de ∞ dB.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En el este trabajo se realizó el análisis del desempeño de un sistema inalámbrico oportunista en un canal de tipo Rice en presencia de interferencia de co-canal, utilizando el tipo de modulación BPSK. El estudio del desempeño del sistema se realizó mediante la probabilidad de error de bit.

En las comparaciones del sistema ordinario con el sistema oportunista de utilizo distintos valores de umbral m , relación señal interferencia y diferentes valores del factor K . Dando como resultado una mejora en el canal de transmisión oportunista ya que la probabilidad de error de bit es menor a la del sistema ordinario, abriendo así campo a futuras investigaciones. En los resultados obtenidos, cuando los valores de la relación señal interferencia aumentan, la BER mejora.

El sistema de transmisión oportunista fue evaluado en distintos escenarios por medio del desvanecimiento de tipo Rice. En el análisis del factor K se considera que el desvanecimiento se comporta como un sistema Rayleigh cuando K es igual a cero y cuando el valor del factor K es mayor a cero se considera de tipo Rice y existe el componente de la línea de vista entre el transmisor y receptor. Mientras el valor del factor K aumenta el desempeño del sistema mejora considerablemente por el motivo de que mayor valor de factor K implica una mayor potencia del canal.

En los resultados obtenidos se demuestra que mientras el valor de la relación señal interferencia aumenta el eficiencia del canal de transmisión mejora, se puede mencionar que el trabajar con valores de umbral m nos señala el margen en el cual se puede realizar las diferentes transmisiones. Conforme aumentan el factor K los valores en términos de BER disminuyen.

Recomendaciones

Se recomienda realizar más estudios relacionados al tema propuesto. Así como análisis que puedan ser llevados a cabo a otros tipos de desvanecimientos o modulaciones llegando con esto a realizar comparaciones con proyectos ya efectuados pudiendo mejorar aún más la eficiencia del sistema y poder comparar el comportamiento de las transmisiones oportunistas y a su vez el comportamiento de las curvas generadas y determinar con que valores se logra tener un mejor resultado de transmisión. Se recomienda complementar el análisis propuesto utilizando distintas tecnologías como MIMO (Múltiple Entrada Múltiple Salida), CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) entre otras.

Finalmente se recomienda investigar las transmisiones oportunistas en diferentes escenarios de transmisión con desvanecimiento de tipo Rice como puede ser un escenario donde se tenga presencia de arreglos de antenas para lograr mejorar aún más la eficiencia del sistema de transmisión.

REFERENCIAS

- Abrahams, J., & Papoulis, A. (2002). *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*. In Journal of the American Statistical Association (Vol. 79, Issue 388). <https://doi.org/10.2307/2288754>
- Altamirano, D., & De Almeida, C. (2011). *Evaluation of the co-channel interference effects on the performance of coded networks*. IEEE Latin-American Conference on Communications, LATINCOM 2011 - Conference Proceedings, 2–5. <https://doi.org/10.1109/LatinCOM.2011.6107423>
- Banegas, L & Vaca, G. (2020). *ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA INALÁMBRICO CON TRANSMISIÓN OPORTUNISTA EN CANALES CON DESVANECIMIENTO DE TIPO RICE*. 1–49.
- Bastidas, E. (2020). *Análisis del desempeño de un sistema inalámbrico oportunista en canales de tipo rice con modulaciones S-AQM y NS-QAM*. Quito: Universidad de las Américas. Recuperado el 20 de febrero de 2020. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12109>
- Ben Ltaief, M. B. & C. B. (2015). *Evaluation of BER of Digital Modulation Schemes for AWGN And Wireless Fading Channels*.
- Goldsmith, A. (2014). *Wireless communications*. Stanford University, 1–412. <https://doi.org/10.1007/BF03001336>
- Jung, B. C., Park, D., & Shin, W. Y. (2012). *Opportunistic interference mitigation achieves optimal degrees-of-freedom in wireless multi-cell uplink networks*. IEEE Transactions on Communications, 1935–1944. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2012.051012.110205>
- Krouk, E., & Semenov, S. (2010). *Modulation and Coding Techniques in Wireless Communications*. <https://doi.org/10.1002/9780470976777>
- Kumar, S., Gupta, P. K., Singh, G., & Chauhan, D. S. (2013). *Performance Analysis of Rayleigh and Rician Fading Channel Models using Matlab Simulation*. International Journal of Intelligent Systems and Applications, 5(9), 94–102. <https://doi.org/10.5815/ijisa.2013.09.11>

- Luque Joaquin, C. S. (1995). *Modulación digital* (pp. 1–109). Universidad de Sevilla. <https://doi.org/10.1023/B:JMSC.0000007726.58758.e4>
- María, A., Gómez, M., Roque, L., Blanca, R., Garcés, R., Yuniét, G., Mesa, R., & Elinor, M. (2015). *El proceso de comunicación mediado por las tecnologías de la información. Ventajas y desventajas en diferentes esferas de la vida social. Medisur*, 13(4), 481–493.
- Márquez, J. (2014). *Ruido*. CCADET-UNAM, 1–59. <http://www.academicos.ccadet.unam.mx/jorge.marquez/cursos/Instrumentacion/Ruido.pdf>
- Mart, R., & Bellaterra, V. (2008). *Diseño cooperativo de un sistema de comunicaciones por satélite basado en diversidad espacial*.
- Minango, J., & De Almeida, C. (2015). *Análisis y estudio de los efectos de la interferencia de co-canal sobre la tasa de error de bit media para sistemas con multiplexación espacial*. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 7(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v7i2.263>
- Molina, C. E. (2018). *Atenuación*. <https://doi.org/10.1145/2901790.2901792>
- Oriol S, V. J. & C. R. (2003). *Principios de comunicaciones móviles* (Primera ed). Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
- Orozco Garzon, N., Carvajal Mora, H., & De Almeida, C. (2018). *An Opportunistic System to Counteract Fading and Gaussian Interference Effects under Different Modulation Schemes*. *IEEE Latin America Transactions*, 16(11), 2716–2721. <https://doi.org/10.1109/TLA.2018.8795112>
- Orozco, N. (2014). *Análise de Desempenho de uma Proposta de Transmissão Oportunista sem fi o em Canais com Desvanecimento Rayleigh e na Presença de Interferência de Co-Canal para Diferentes Esquemas de Modulação*. Campinas.
- Raju, M & Shoka, A. (2016). *Evaluation of BER for AWGN , Rayleigh Fading Channels under M-QAM Modulation Scheme*.

- Shankar, P. M. (2017). *Fading and Shadowing in Wireless Systems: Second Edition*. In *Fading and Shadowing in Wireless Systems: Second Edition*.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-53198-4>
- Tomasi, W., Gloria, I., Hernández, M., Virgilio, I., & Pozo, G. (2003). *Sistemas de comunicaciones opticas*. Recuperado el 10 de marzo de 2020 de:
<http://fernandoarciniega.com/books/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicion.pdf>
- Tonoyan, M. M. H. and T. (2017). Wireless link capacity under shadowing and fading. *Proceedings of the International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)*.
<https://doi.org/10.1145/3084041.3084068>
- Tralli, V., & Verdone, R. (1999). *Performance Characterization of Digital Transmission Systems with Cochannel Interference*. 48(3).
- Tri T, H. (2011). *THEORY AND DESIGN OF DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS*. New York, United States: Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>
- Wongtrairat, W., & Supnithi, P. (2011). *New simple form for PDF and MGF of Rician fading distribution*. *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems: "The Decade of Intelligent and Green Signal Processing and Communications"*, ISPACS 2011, 2, 11–14.
<https://doi.org/10.1109/ISPACS.2011.6146087>

ANEXOS

ANEXOS 1

```
%Este programa principal permite simular las gráficas de la BER
%en función del Eb/No, función principal.
function [ BER, outSignal ] = Rice_uno( varargin )

    %%% Valores por defecto %%%
    M = 2;
    opp = true;
    EbNoDBVec = -10:2:10;
    nIter = 1e2;
    dataSize = 1e3;
    error = Inf;
    showBar = true;
    fadding = true;
    %%% Parámetros de ingreso %%%
    [M, opp, EbNoDBVec, nIter, dataSize, error, showBar, fadding] = validarEntradas(...

    M, opp, EbNoDBVec, nIter, dataSize, error, showBar, fadding, varargin{:});
    %%% Generación de la matriz de datos %%%
    nEbNo = length( EbNoDBVec(:) );
    if length(error) ~= nEbNo
        error = repmat( error(1), nEbNo, 1 );
    end

    BER = zeros( nEbNo, length(opp) );

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

    %m = 0.8325;
    %m = 1.0481;
    %m = 1.1774;

    %m = 1.2686;
    %m = 0.9379;
    %m = 1.1773;
    m = 1.3199;
    %m = 1.4202;
    %m = 1.2437;
    %m = 1.5193;
    %m = 1.6787;
    %m = 1.7890;
    K=1; % Factor K Rice
    s = sqrt(K/(K+1));
    Sigma= 1/sqrt(2*(K+1));
    SIR_dB = 1/0;
    SIR= 10 ^ ( SIR_dB / 10 );
    omega = 1 / sqrt(SIR);
```

```

outSignal = zeros( dataSize*nIter, nEbNo); %% Calculo de BER

for j = 1:nEbNo

    auxSignal = nan( dataSize, nIter );

    %% Parámetros calculados
    EbNo = 10 ^ ( EbNoDBVec(j) / 10 );
    EsNo = log2(M) * EbNo;
    desv_pad_ruido = sqrt( 1 / 2 / EsNo );
    e_media=1;

    errCont = 0; nSym = 0;
    for i = 1:nIter

        %% Canal Rice %%
        if fading
            fading = Sigma*norm(randn(1,1))+s + li*Sigma*norm(randn(1,1));
            fading_interferencia = Sigma*norm(randn(1,1))+s + li*Sigma*norm(randn(1,1));
        else
            fading = 1;
        end
        %% Verificacion del umbral %%
        if fading >= m || ~opp
            if fading_interferencia >= m || ~opp
                % Transmisor %
                dataIn = randi( [0 M-1], dataSize, 1 );
                dataIn_interferencia = randi( [0 M-1], dataSize, 1 );
                txSignal = pskmod( dataIn, M ) / e_media;
                txSignal_interferencia = pskmod( dataIn_interferencia, M ) / e_media;

                % Canal
                noise = desv_pad_ruido * randn(dataSize,2) * [ 1; li ];
                noiseSignal = (fading*txSignal) + (omega*(fading_interferencia*txSignal_interferencia)) + noise;
                % Receptor
                rxSignal = e_media * noiseSignal ./ fading_interferencia;
                auxSignal(:,i) = rxSignal;
                dataOut = pskdemod( rxSignal, M );
                % Conteo de errores
                errCont = errCont + biterr( dataIn, dataOut );
                nSym = nSym + 1;
                if showBar % barra de progreso
                    bar = updateBar( bar, (j-1)/nEbNo + i/nIter/nEbNo );|
                end
            end
            if errCont >= error(j)*dataSize
                break;
            end
        end
    end
end

```

```

        end
        end
    end
end

outSignal( :, j ) = reshape( auxSignal, [], 1 );
BER(j) = errCont / nSym / log2(M) / dataSize;
end

if narginout == 0 && length(EbNoDBVec) > 1
    semilogy( EbNoDBVec, BER, '-s' )
    grid on
    xlabel('EbNo')
    ylabel('BER')
    title(sprintf('%dBPSK',M))
end

```

ANEXO 2

```

%% Mediante este programa se invoca al programa principal,
%% y se muestran las curvas de la BER en función del Eb/NoEbNoDBVec = -10:2:20;
clear; clc; cla;
%Número de errores
nIter = 1e4;
nShow = 1e3;

%% Se invoca al programa principal
[ BER2F, OUT2F ] = Rice( 2, false, EbNoDBVec, 'fadding', true, 'nIter', nIter );
semilogy( EbNoDBVec, BER2F, '--ro' )
hold on % Mantiene la gráfica
[ BER2O, OUT2O ] = Rice( 2, true, EbNoDBVec, 'fadding', true, 'nIter', nIter );
semilogy( EbNoDBVec, BER2O, '-rd' )
hold on
%[ BER2F, OUT2F ] = Rice_uno( 2, false, EbNoDBVec, 'fadding', true, 'nIter', nIter );
%semilogy( EbNoDBVec, BER2F, '--go' )

%hold on
%[ BER2O, OUT2O ] = Rice_uno( 2, true, EbNoDBVec, 'fadding', true, 'nIter', nIter );
%semilogy( EbNoDBVec, BER2O, '-gd' )
%hold on
%[ BER2F, OUT2F ] = Rice_dos( 2, false, EbNoDBVec, 'fadding', true, 'nIter', nIter );
%semilogy( EbNoDBVec, BER2F, '--bo' )
%hold on
%[ BER2O, OUT2O ] = Rice_dos( 2, true, EbNoDBVec, 'fadding', true, 'nIter', nIter );
%semilogy( EbNoDBVec, BER2O, '-bd' )
%hold on
%[ BER2F, OUT2F ] = Rice_tres( 2, false, EbNoDBVec, 'fadding', true, 'nIter', nIter );
%semilogy( EbNoDBVec, BER2F, '--co' )
%hold on
%[ BER2O, OUT2O ] = Rice_tres( 2, true, EbNoDBVec, 'fadding', true, 'nIter', nIter );
%semilogy( EbNoDBVec, BER2O, '-cd' )

```



```
%hold on
grid on
%legend( 'm=0.832', 'm=1.048', 'm=1.177', 'm=1.268')
%legend( 'SIR=\infty,m=0.9379', 'SIR=\infty,m=1.4202', 'SIR=\infty,m=1.1773', 'SIR=\infty,m=1.3199')
%legend( 'SIR=\infty', 'SIR=0', 'SIR=12')
%legend( 'Ordinario', 'Oportunista')
xlabel('Eb/No (dB)')
ylabel('BER')
%title('Rice')
title('Rice, m=1,1773, K=0,5, SIR=\infty, Oportunista-Ordinario')
```

