

Diseño, simulación e implementación de un esquema de detección de trama y de corrección del desplazamiento de frecuencia en un sistema de comunicación inalámbrico de una sola portadora

Wellington Espinoza V., Maricela Freire B.,
Dr. Boris Ramos S.

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación.
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral. Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
weedepi@espol.edu.ec, marefrei@espol.edu.ec, bramos@espol.edu.ec

Resumen

Basado en el desarrollo de la práctica 5 del manual de laboratorio [1] de los equipos USRP, sobre sincronización de trama, buscamos la viabilidad de adaptar un método, aplicado para OFDM, al sistema propuesto por el manual. Lo que nos permitió conocer más acerca de los equipos, desarrollar diferentes esquemas de modulación, canales de propagación. Se analiza los cambios necesarios para adaptar el algoritmo Schmidl & Cox, diseñado para sistemas OFDM, a sistemas de portadora única. Por lo que se hace una revisión completa y sencilla de todos los bloques involucrados en el sistema de una sola portadora. Así como la descripción de los métodos de sincronización de trama implementados tanto en la práctica como el que se busca adaptar. Se utilizaron métodos de observación para visualizar la efectividad de los sincronizadores y realizar un efectivo análisis de los mismos, comparación y funcionalidad. Se verá cómo afecta la modulación a los dos sistemas de sincronización, así como el cambio de ambiente de propagación.

Palabras Claves: USRP, OFDM, Schmidl & Cox.

Abstract

Based on the development of practical laboratory manual 5 [1] of the USRP teams, frame synchronization, we seek the road of adapting a method applied to OFDM, proposed by the manual system. This allowed us to learn more about computers, develop different modulation schemes, propagation channels. It analyzes the changes needed to adapt the Schmidl & Cox algorithm designed for OFDM systems, single carrier systems. So a simple full review of all units involved in the single carrier system is made. Just as the description of the frame synchronization methods implemented both in practice as it seeks to adapt. Observation methods were used to display the effectiveness of the synchronizers and perform an effective analysis of the data, comparison and functionality. You will see how it affects the modulation of the two synchronization systems, as well as change propagation environment.

Key Words: USRP, OFDM, Schmidl & Cox.

1. Introducción

En busca de mejorar la enseñanza de las telecomunicaciones, se buscó la forma de implementar un nuevo laboratorio para el aprendizaje de las comunicaciones inalámbricas. Mediante la adquisición de

nuevos equipos y el desarrollo de prácticas provistas en el manual surge la necesidad de dar más opciones para mejorar o generar variantes al sistema.

Basándonos en la práctica 5¹ del manual de prácticas de los USRP, se buscó nuevos

¹ Práctica 5 del manual [1] de la página 82 a 98

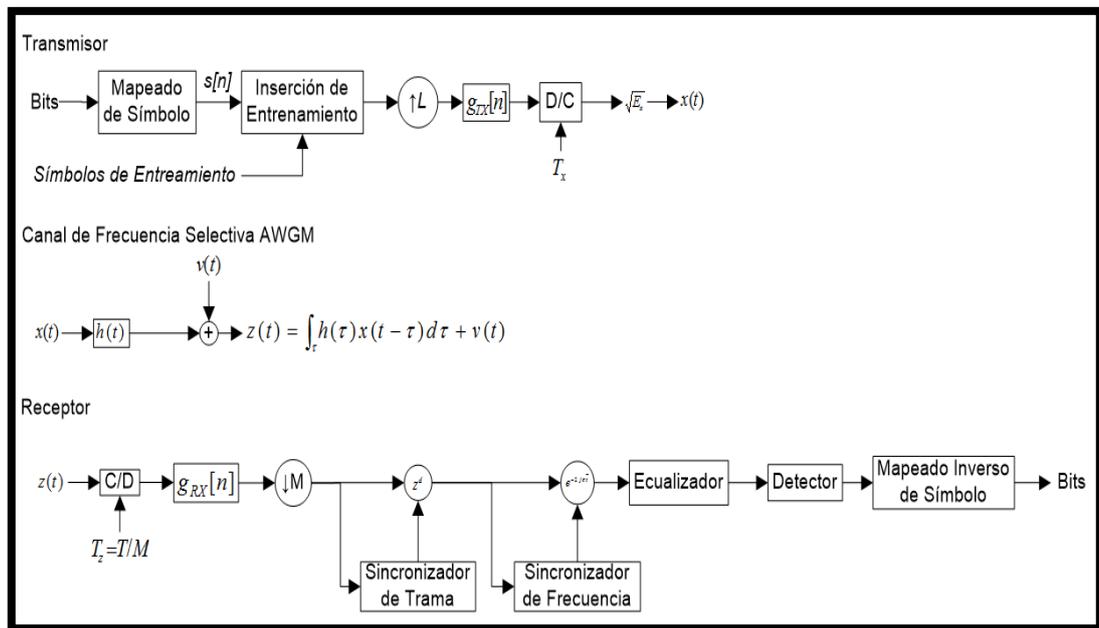


Figura 1: Diagrama del sistema [1]

algoritmos de sincronización de trama con el objetivo de estudiarlos y analizar su funcionamiento dentro un sistema de portadora única.

Encontrando así el algoritmo de Schmidl and Cox², una metodología que se aplica a sistemas que trabajan con OFDM (con múltiples portadoras), viéndonos en el reto de buscar la viabilidad de adaptar dicho algoritmo al sistema presentado en la práctica 5 del manual. Así como la generación de perturbaciones para ver el correcto funcionamiento del algoritmo y compararlo con el de la práctica presente en cuestión.

2. Problema

Después de desarrollar la práctica número 5 del manual de laboratorio que viene junto a los USRP nos emprendimos en la búsqueda de otro algoritmo para poder implementar en el sistema, figura 1, y mostrándolo como una variante aplicable respecto al provisto por el manual.

² Adicional al paper [9] se toma en consideración la descripción dada en el manual [1] en la práctica 8 en las páginas 120 a la 121.

Esto nos llevó al algoritmo de Schmidl & Cox, que es aplicado para sistemas de múltiples portadores (OFDM), en el cual nos toca comparar y adaptar ciertos parámetros para que se ajuste a nuestro sistema de única portadora.

Pero al mismo tiempo nos vimos en la tarea de ver cómo generar perturbaciones a la señal, ya que los equipos no están lo suficientemente separados como para crear maquetas que simulen un ambiente de propagación, generamos algoritmos que emulen un ambiente multi-trayectoria con una distribución conocida. Diseñando así el canal Rayleigh.

De esta manera se tendrá dos canales emulados, AWGN, Y RAYLEIGH, donde el primero es el pre-establecido en el sistema en que trabajamos y el último una implementación que nosotros desarrollamos.

Adicionalmente se crea otra variante: el cambio de la secuencia de entrenamiento, ya que los algoritmos trabajan con las propiedades de auto correlación de la secuencia de entrenamiento, observando cómo influye una secuencia diferente, con similares

propiedades, en el funcionamiento de los algoritmos.

3. Teoría

3.1 Sistema de Comunicación

Como se muestra en la figura 1 este es el esquema del sistema en que se desarrolla nuestro proyecto. Un sistema de comunicación se compone de un transmisor y un receptor. El transmisor genera los datos los modula, luego se inserta las cabeceras de control como la secuencia de entrenamiento, Luego se la sobre muestrea (upsampling), se incrementa el tiempo de la señal- reducción de la frecuencia, se filtra para suavizar los pulsos, se convierte a señal analógica y se trasmite.

La señal recorre el canal hasta el receptor.

Y el receptor realiza el proceso inverso que realizó el transmisor: convierte la señal a digital, filtra, luego aplica el downsampling (reducción del tiempo de la señal incremento en la frecuencia, sincroniza la trama y corrige la frecuencia, ecualiza, de modula y recupera la señal).

3.2 Sincronizador

En los sistemas de comunicación, una señal transmitida que pasa a través de un canal de comunicación siempre se ve influenciada por retardos, ruidos e interferencias que provocan alteraciones que se ven reflejadas en la frecuencia y fase de la señal.

El funcionamiento del receptor es recuperar la señal transmitida, realizando un número de labores auxiliares que le permiten indagar dentro de la señal con el fin de obtener la información necesaria para realizar una interpretación correcta de la misma.

Una de esas labores se conoce como sincronización, el objetivo es generar en el

receptor una señal con la misma frecuencia y fase que la señal transmitida por el emisor. Por lo cual se estima, mediante algoritmos matemáticos, la frecuencia y fase que están ocultos en la señal recibida.

3.3 Sincronizador de trama

Como sabemos, toda señal transmitida posee una estructura pre establecida, ya sea por diseño de proveedor o basándose en algún estándar de transmisión, que debe ser conocida por el receptor.

El objetivo de la sincronización de trama es resolver los múltiples retardos en los periodos de símbolos, determinando la estructura de la trama, ubicado al inicio de la misma.

Para realizar la búsqueda del inicio de la trama se utiliza una palabra codificada o como la llamaremos una secuencia de entrenamiento. Como se vio en la revisión del sistema digital la inserción de dicha secuencia se la realiza en el transmisor delante de la trama de datos.

Una vez transmitida la señal, el receptor recibe la señal y después del proceso de RF, el filtro de acoplamiento y el downsampling, se ejecutan el proceso de sincronización de trama.

3.4 Sincronizador de trama Schmidl & Cox.

Este Timothy M. Schmidl and Donald C. Cox presentaron un método robusto de sincronización ([9] y [1]) aplicado a sistemas OFDM, en donde aprovechaban una secuencia de entrenamiento muy larga para realizar la búsqueda del inicio de la trama.

El transmisor OFDM inserta dos secuencias de entrenamiento, de igual longitud, que son insertadas al inicio de la trama en el transmisor. Otorgándonos una gran

similitud con la trama del sistema de portadora única facilitado la adaptación del método.

El método Schimidt and Cox (SAC) es descrito por:

$$R[d] = \sum_{n=0}^{N-1} y^*_{n+d} y_{n+d+L}$$

La ecuación representa el producto de dos muestras diferentes de la señal de entrada. Donde d es el índice en el tiempo donde empieza la secuencia de entrenamiento. L es la longitud de la primera mitad de la secuencia de entrenamiento y N es la longitud de la subportadoras en OFDM.

Luego determinamos la Energía de la segunda muestra:

$$P[d] = \sum_{n=0}^{N-1} |y_{n+d+L}|^2$$

Y calculamos la métrica de tiempo:

$$M[d] = \frac{R[d]^2}{P[d]}$$

La cual nos permite estimar el desplazamiento de trama producido por el canal, por medio de:

$$d = \underset{d}{\operatorname{argmax}} M[d]$$

Donde d es el inicio de nuestra trama.

3.4 Corrección de frecuencia

Generalmente en sistemas de comunicaciones inalámbricas se envía información modulada con una frecuencia de portadora f_c . Debido a las variaciones de temperatura y al hecho que la frecuencia de portadora es generada por un oscilador local diferente en el transmisor y receptor, en la

práctica f_c en el transmisor no es igual a f'_c en el receptor como se ilustra en la figura 2.

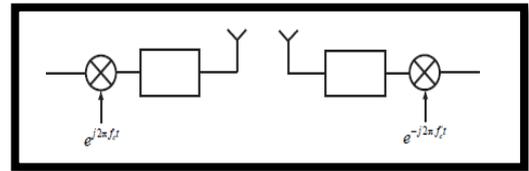


Figura 2: Diagrama de bloques con f_c diferentes en el trasmisor y receptor [8]

La diferencia entre el transmisor y receptor es $f_e = f'_c - f_c$ es la frecuencia de portadora de desplazamiento (o frecuencia offset) y es generalmente medida en Hertz. Algunas intuiciones sobre el efecto de desplazamiento de frecuencia pueden ser obtenidas considerando el caso especial de un canal de desvanecimiento plano. En un canal de frecuencia plana

$$y_n = e^{j2\pi\epsilon n} h s_n + v[n]$$

Note que el símbolo transmitido está siendo rotado por $\exp(j2\pi\epsilon n)$. Mientras n aumenta, el desplazamiento aumenta, y la constelación de símbolo rota aún más. El impacto de esto es un aumento en el número de errores de símbolos, como los símbolos rotan fuera de sus respectivas regiones como se ilustra en la figura 3.

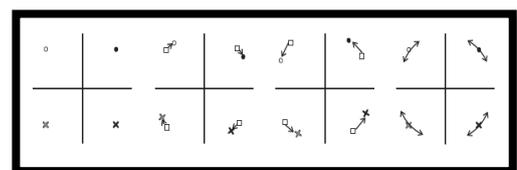


Figura 3: Efectos de la frecuencia de desplazamiento

El proceso de corrección de ϵ se conoce como sincronización de frecuencia de desplazamiento. El típico método para sincronización de frecuencia de desplazamiento consiste en estimar primero el

desplazamiento ϵ luego de corregir esto por la formación de la nueva secuencia $\exp -j2\pi\epsilon n$ y[n] con la fase eliminada. Hay varios métodos para la corrección, muchos emplean un estimador de desplazamiento de frecuencia seguido por una corrección de fase. Estimadores utilizan las propiedades más específicas de la secuencia de entrenamiento.

3.5 Secuencias de entrenamiento

Las secuencias de entrenamiento son tramas de bits (palabras) que poseen grandes propiedades de auto correlación y correlación cruzada. Estas son utilizadas para la sincronización y la estimación de canal.

La secuencia es conocida tanto en el trasmisor como en el receptor. Se inserta al inicio de la trama de los datos modulados antes de ser enviados al canal.

Longitud del código	Secuencia Barker
11	[-----+-----]
Longitud del código	Secuencia Willard
11	[+++++-----]

Tabla 1 Código Barker y Willard Longitud 11 [1] y [18]

Se utilizara 4 secuencias de Barker y 4 secuencias de Willard, ambas de longitud 11, tabla 1. Las cuales se modularan con igual método que la modulación de los bits de datos.

Cabe considerar que el símbolo modulado de la secuencia de entrenamiento debe conservar las mismas propiedades de la secuencia.

4. Adaptación

Nuestro sistema no trabaja con múltiples portadoras por lo que el valor de L deberá ser

referenciado a otro parámetro de nuestra trama original.

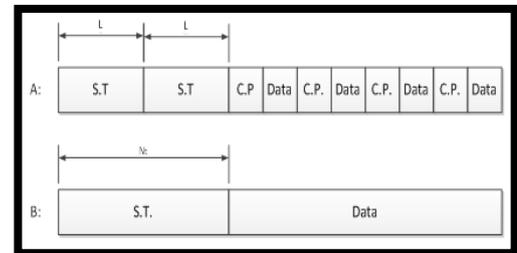


Figura 4: a) Trama OFDM compuesta por dos secuencias de entrenamiento (S.T), el prefijo cíclico (C.P) y los datos b) Trama de un sistema de una sola portadora

Como se muestra en la figura 4, la estructura de la trama de cada sistema tiene una similitud, por lo que podemos plantear:

$N_t = 2L$, se iguala las dimensiones de la secuencias de entrenamiento.

N_t , es la cantidad de la ventana de operación (número de muestras) el cual tendrá una dimensión de $N_t/2$, la mitad de la dimensión de la secuencia insertada.

Para el sincronismo en frecuencia el método de Schmild y Cox propone el siguiente algoritmo:

1. Se parte del primer paso del algoritmo para la sincronización trama, donde se calculó la correlación entre las dos mitades del símbolo $R[d]$ de forma que se han cancelado los efectos del canal.

2. Se calcula el desplazamiento en frecuencia de la siguiente forma:

$$\phi = \angle(R d)$$

$$\Delta f = \frac{\phi}{\pi T}$$

ϕ : es la fase que forma la correlación $P[d]$.

Δf : es la desviación en frecuencia que ha sufrido la señal y que habrá que corregir.

ϵ : es Δf pero normalizada.

De esta forma cuando la métrica temporal supere el umbral de detección se habrá estimado que la trama acaba de empezar y, cuando supere el de estimación, se tomará en ese instante el valor correspondiente de ϵ y éste será el offset de frecuencia a corregir en el resto de la trama.

5. Resultados

Mostramos como los algoritmos funcionan ante la presencia de los canales tanto en simulación y transmisión real. Se toma como base al algoritmo Sliding Correlator de la práctica y se lo compara con el algoritmo implementado y adaptado de Schmidl and Cox. También veremos cómo estos algoritmos son influenciados al cambiar la secuencia de entrenamiento.

Se toma como referencia el comportamiento del algoritmo SC para todos los casos ya que este es el algoritmo implementado por la práctica.

5.1 Canal AWGN

Aquí vemos las gráficas comparativas de los dos algoritmos, el Sliding Correlator (algoritmo de referencia) y Schmidl and Cox (algoritmo implementado).

Las gráficas son de SNR vs. BER, cada una por cada modulación³.

³ Se modificó el bloque dado en la práctica 2 parte 1 de las modulaciones del manual [1], desarrollando las modulaciones de 16 y 64 QAM. Páginas: desde la 22 a la 34

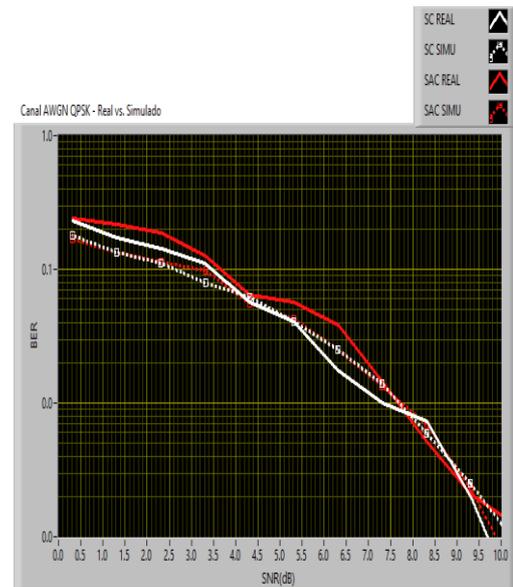


Figura 5: SNR vs. BER QPSK canal AWGN Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Barker

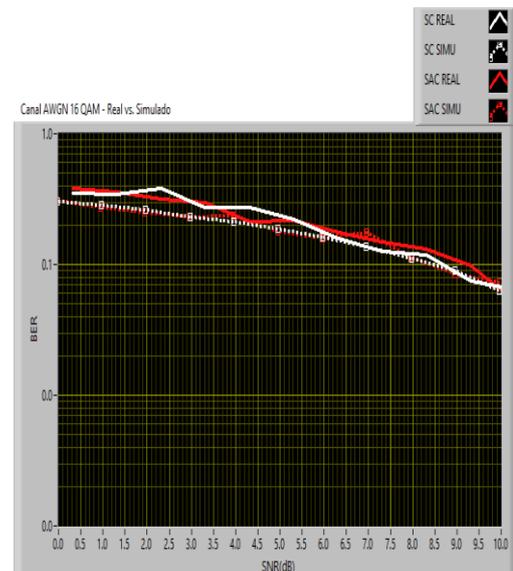


Figura 6: SNR vs. BER 16-QAM canal AWGN Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Barker

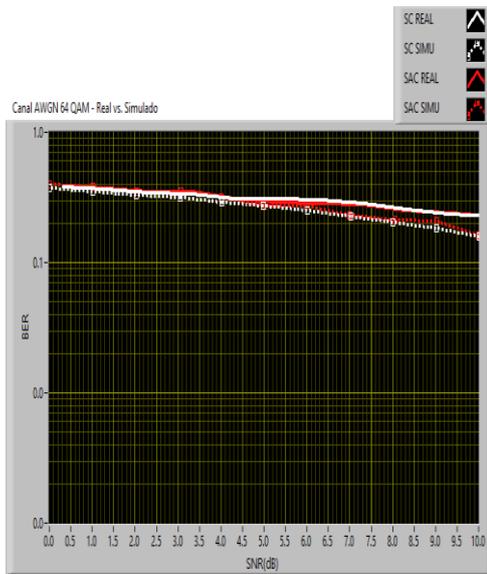


Figura 7: SNR vs. BER 64 - QAM canal AWGN Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Barker

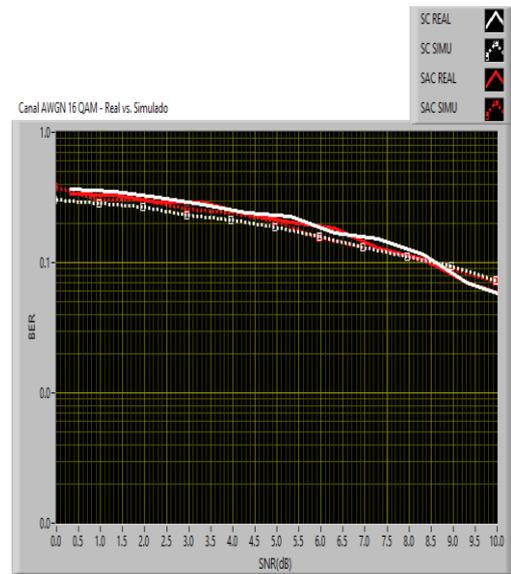


Figura 9: SNR vs. BER 16 -QAM canal AWGN Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Willard

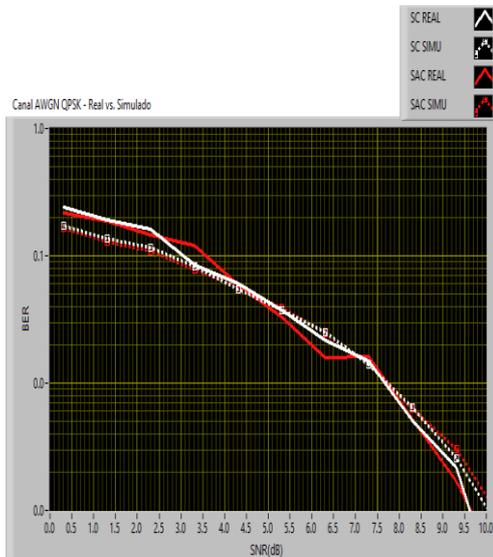


Figura 8: SNR vs. BER QPSK canal AWGN Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Willard

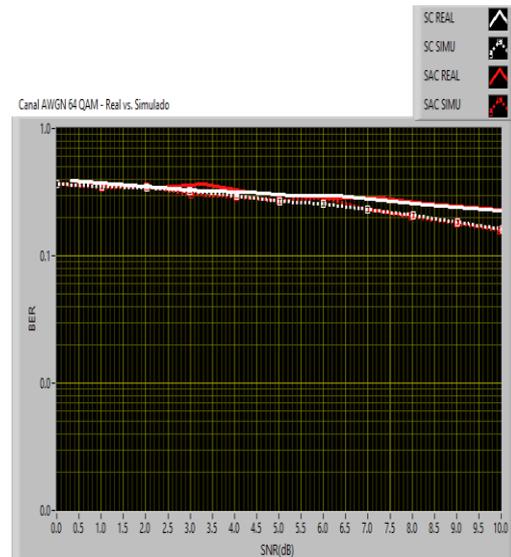


Figura 10: SNR vs. BER 64 -QAM canal AWGN Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Willard

5.1 Canal Rayleigh

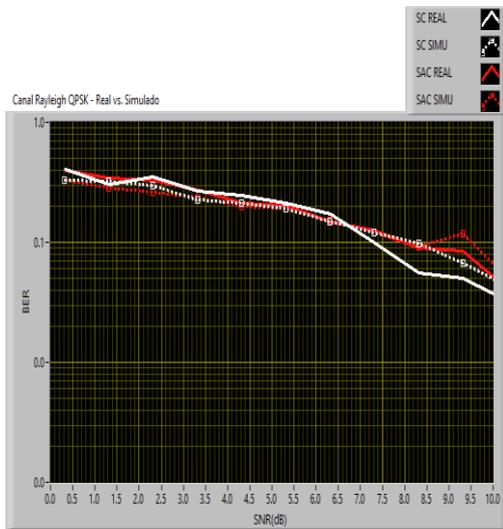


Figura 11: SNR vs. BER QPSK canal RAYLEIGH Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Barker

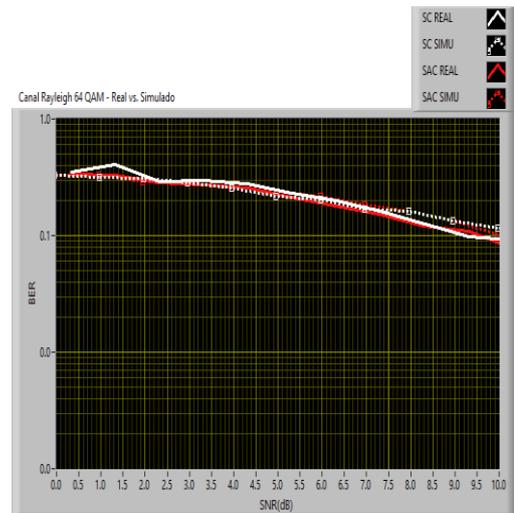


Figura 13: SNR vs. BER 64 - QAM canal RAYLEIGH Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Barker

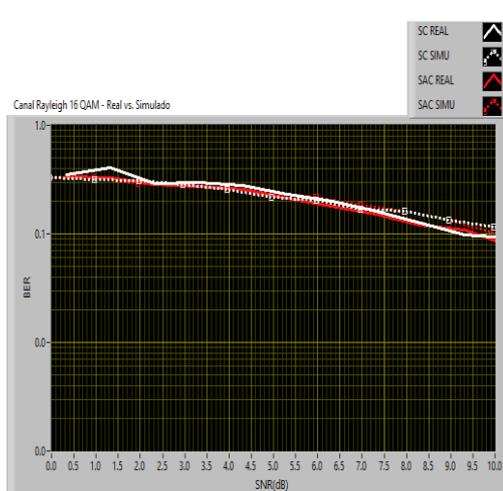


Figura 12: SNR vs. BER 16 -QAM canal RAYLEIGH Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Barker

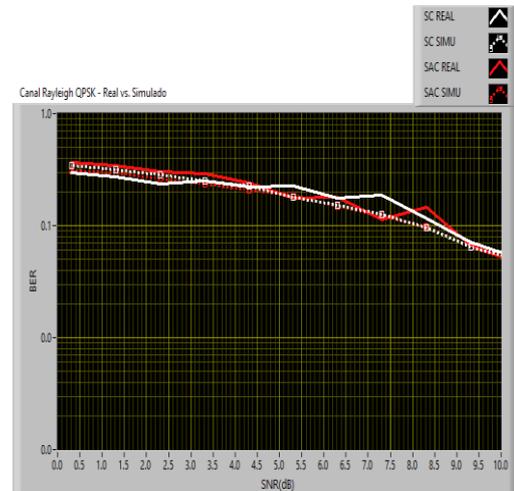


Figura 14: SNR vs. BER QPSK canal RAYLEIGH Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Willard

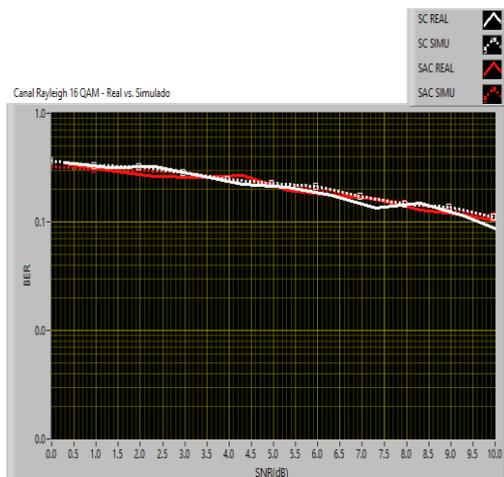


Figura 15: SNR vs. BER 16 –QAM canal RAYLEIGH Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Willard

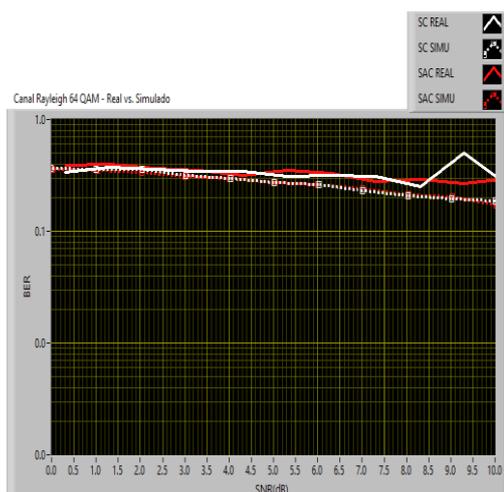


Figura 16: SNR vs. BER 64 - QAM canal RAYLEIGH Simulación- Transmisión Real SC y SAC Secuencia Willard

6. Conclusiones

La elaboración de este proyecto permitió llevar a cabo la creación de una herramienta de estudio, que ofrece las bases necesarias para que los estudiantes que dispongan de ella, puedan conocer un poco más acerca de las experiencias y situaciones prácticas que

envuelven el estudio teórico de determinadas materias relacionadas con el ámbito de las Telecomunicaciones.

La sincronización de trama en un sistema de comunicación tiene como propósito resolver retardos que no pueden ser corregidos por el sincronizador de símbolo, ya que este no es capaz de corregir retardos, que son múltiplos del periodo de símbolo, por tal motivo se utilizan los sincronizadores de trama: el sincronizador basado en Correladores necesita en el receptor conocer una secuencia patrón lo que lo hace ineficiente frente al sincronizador Schmid & Cox que solo trabaja con la señal que llega al receptor.

Al realizar las pruebas tenemos que ante diferentes modulaciones el BER aumenta debido a que las regiones de los símbolos se encuentran más cercanas,

La frecuencia de portadora por lo general, en la práctica, se debe a un oscilador local que no siempre es el mismo en el transmisor y receptor, lo que provoca una diferencia mostrándose como una rotación en la constelación. Debido a las pruebas realizadas se tiene una mayor eficiencia utilizando el algoritmo Schmid & Cox con secuencia de entrenamiento Willard o Barker con las cuales se logra hacer un corrección hasta 22727 Hz, lo cual se logra superar a la frecuencia máxima corregida por Sliding Correlator, este valor máximo de corrección de frecuencia depende de varios parámetros tales como: tipo de canal, Oversample factor, sample rate y pulse shaping.

El cambio de frecuencia genera mejoras en los algoritmos según la situación que se analiza. Mostrando que, sin realizar cambios en la matemática del algoritmo, el solo hecho de cambiar una mejor palabra (con mejores propiedades de auto-correlación) incrementa la robustez del algoritmo, siendo unos KHz (en el caso de SC) hasta más de 100KHz (en el caso De SAC). Dejando como indicio de futuro temas de investigación la búsqueda de una palabra que incremente la robustez y mejore los algoritmos dentro de un sistema.

El SAC es un algoritmo que es provisto de su propio método de corrección, mostrando estar correctamente adaptado, presentado un buen funcionamiento ante altos valores de desplazamientos y las dificultades de los canales aplicados, tanto para simulación como en transmisión real. Su robustez se mostró más en la resolución del inicio de la trama, ante grandes desplazamientos de frecuencias y retardos, pero cabe recalcar que el algoritmo es más propenso a fallos que el SC en valores bajos de SNR (alta potencia de ruido y desvanecimientos de canal). Por lo que se deja a consideración para futuras investigaciones.

La presencia de varios picos continuos de correlación en el algoritmo SAC ante valores bajos de SNR (alta potencia de ruido y efectos producidos por el canal), genera mayor probabilidad de errar en su funcionamiento generando altas tasas de BER.

7. Referencia

- [1] Robert w. Heat Jr. Ph.D., PE. "Digital Communications: Physical Layer Lab using the NI USRP Platform", National Technology and Science Press
- [2] B.P.Lathi, "Modern Digital and Analog Communication System", Third Edition, Oxford University Press, 1998.
- [3] LeonCouch W., II, "Sistema de Comunicación Digitales y Analógicos" Séptima, Edición en Español, Prentice Hall, 2008
- [4] Simon Haykin, MichealMoher, "Introduction to Analog and Digital Communications", Second Edition, Jhon Wiley and Sons, Inc, 2007
- [5] Simon Haykin, "Communication System", Fourth Edition, Jhon Wiley and Sons, Inc, 2001
- [6] "Libro de Comunicaciones digitales", Capítulo 11: Sincronización, pág. 686 - 759 en: www.tsc.uc3m.es/~antonio/libro_comunicaciones
- [7] Scott L. Miller, Donald G. Childers "Probability and Random Processes with applications to signal processing and communications", Elsevier Academic Press 2004
- [8] Bernard Sklar, "Digital Communications: Fundamentals and Applications", Second Edition, Prentice Hall.
- [9] Timothy M. Schmidl and Donald C. Cox, "Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM", IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol. 45, No. 12, December 1997
- [10] Simon R. Saundres, Alejandro Aragon Zavala, "Antennas and Propagation for Wireless Communication System", Second Edition, Jhon Wiley and Sons, Inc, 2007.
- [11] Byron Floreano, Santiago Jácome, "Mitigación del ISI (Interferencia Intersimbólica) sobre un Sistema WiMAX Fijo", Tesina de Seminario para obtener título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, FIEC- ESPOL 2010.
- [12] Eneraldo Castellanos, José Talero "Análisis de propagación electromagnética en espacios cerrados: Herramienta Software en Matlab para predicción y simulación", Proyecto de grado para el título de Ingeniero Electrónico, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, 2005.
- [13] Paulina Yáñez Arias, "Estudio sobre los canales de desvanecimientos sobre redes fijas y móviles en sistemas de radio comunicación" proyecto para la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional 2009.
- [14] Jhon S. Saybold. PhD. "Introduction to RF Propagation", Jhon Wiley and Sons, Inc, 2005
- [15] Gary Breed, "Analyzing signal using the eye diagram", High Frequency Electronic, November 2005.
- [16] Kayeh Pahlavan, Allen H. Leveque, "Wireless Information Networks", Second Edition, Jhon Wiley and Sons, Inc, 2005
- [17] Cory L. Clark, "LABVIEW Digital Signal Processing with Digital Communication" McGraw-Hill Companies, Inc

- [18] Jalal Jamal Hamad-Ameen, "Proposed sets of Polyphase Spreading Sequences for DS-CDMA System", Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Telecommunications and Informatics, Istanbul, Turkey, May 27-29, 2006
- [19] José Luis Camargo Olivares, "Modelo de cobertura para redes inalámbricas de interiores", proyecto de fin de Carrera Universidad de Sevilla, Capítulo 6 paginas 147 – 150.
- [20] Kaveh Pahlavan, Allen H. Levesque, "Wireless Information Networks", Segunda edición, JhonWiley and Son's 2005, capítulo 3, pag 57 – 64.
- [21] RECOMMENDATION ITU-R M.1225
- [22] Camilo Torres Zambrano, Carlos Iván Páez Rueda, "Análisis de un sistema de comunicaciones afectado por los desvanecimientos plano y lento tipo Rayleigh". Trabajo de grado para optar al título de Maestría en Ingeniería Electrónica, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2008.