



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE SINCRONIZADORES DE TRAMA EN UN SISTEMA DE UNA SOLA PORTADORA PARA LA TRANSMISIÓN DE TEXTO A TRAVÉS DE CANALES MULTITRAYECTORIAS”

INFORME DE PROYECTO

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Ing. Wilson Eduardo Cueva Jarrín

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos vida, fuerza e iluminarnos en cada uno de los pasos emprendidos para culminar nuestra carrera universitaria.

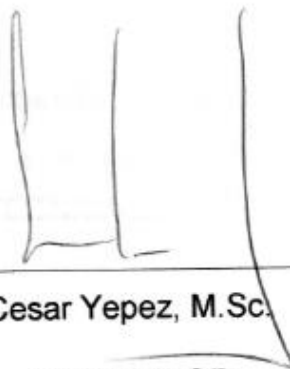
A mis padres y familiares por su apoyo incondicional en todas las metas que me he propuesto y por sus sabios consejos para superar cualquier adversidad que se nos ha presentado en este trayecto.

A todos nuestros profesores que en el transcurso de la maestría supieron brindarnos sus conocimientos para finalmente ponerlos en práctica en nuestra vida profesional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que me han apoyado directa e indirectamente y en especial a nuestros padres, que con su ejemplo de amor y constancia, han influido en nuestras personalidades para poner el entusiasmo, dedicación y esfuerzo, para llegar a la culminación este logro profesional.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in black ink, consisting of three vertical strokes of varying heights and a horizontal base, positioned above a horizontal line.

Cesar Yopez, M.Sc.

EVALUADOR

A handwritten signature in black ink, written in a cursive style, positioned above a horizontal line.


Edison Del Rosario, M.Sc.

EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Proyecto, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Art. 12 del Reglamento de Graduación.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Wilson Cueva', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Wilson Eduardo Cueva Jarrín

C.I.: 0921893509

RESUMEN

Basado en el desarrollo de la práctica 8 de los equipos USRP aplicado en OFDM para detección de trama y corrección del desplazamiento de frecuencia, sobre la sincronización de trama, se implementó un diseño de transmisión de texto adaptando el algoritmo de Schmidl & Cox sobre un canal Multitrayecto.

Se simula un escenario usando LabVIEW y módulos adicionales USRP, que permiten simular la transmisión de texto a través de un medio inalámbrico. En la realización de este proyecto se utilizaron 3 modulaciones (8PSK, 16 QAM y 64QAM), y 3 secuencias de entrenamiento (Barker, Frank, Willard).

Bajo estas condiciones se calculó la relación señal ruido (SNR) y el Bit Error Rate (BER) a través de la energía de la constelación no simétrica asignada, con la cual, se realizó una gráfica de rendimiento y se observó el comportamiento que tiene con las distintas modulaciones.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	III
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
CONTENIDO	vi
ABREVIATURAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	x
INTRODUCCIÓN	11
1. MARCO TEORICO	12
1.2. CANAL AWGN (ADDITIVE WHITE GAUSSIAN NOISE)	13
1.3. CANAL MULTITRAYECTO	14
1.4. SECUENCIA DE ENTRENAMIENTO.....	15
1.4.1. Código Barker.....	16
1.4.2. Código Willard.....	17
1.4.3. Código Frank.....	18
1.5. SINCRONIZADÓR DE TRAMA	19
1.5.1. Sincronización de trama Schmidl & Cox.	19
1.5.2. Sincronización de trama Sliding Correlator.	20
1.5.3 Sincronización de trama Moose Referenciado	21
1.6. RELACION SEÑAL RUIDO (SNR)	21
1.7. BIT ERROR RATE (BER).....	22
2. ANÁLISIS DE RESULTADOS	23
2.1. MODULACIONES	24
2.1.1. Modulación 8 PSK.....	24
2.1.2 Modulación 16 QAM.....	25
2.1.3 Modulación 64 QAM.....	26

2.2. CANALES A REALIZAR PRUEBAS.....	27
2.3. RESPUESTAS IMPULSO EN DISTINTOS CANALES.....	28
2.4. ANALISIS DE BER VS SNR EN DISTINTAS MODULACIONES, SECUENCIAS, ALGORITMOS Y AMBIENTES DE CANAL.....	30
CONCLUSIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	40
ANEXO 1: Esquema del simulador.	40
ANEXO 2: Diagrama de bloques del Tx y Rx.	40
ANEXO 3: Diagrama de bloques del Tx y Rx de Texto.	42
ANEXO 4: Diagrama de bloques de secuencias de entrenamiento.....	43
ANEXO 5: Diagrama de bloques de las modulaciones.	45
ANEXO 6: Diagrama de bloques de los canales multitrayectoria.	46
ANEXO 7: Diagrama de bloques de Tx y Rx de texto.	48

ABREVIATURAS

BER	Bit Error Rate
IA	Indoor A
IB	Indoor B
AWG	Canal Multitrayectoria
ISI	Interferencia Intersimbólica
OA	Outdoor A
OB	Outdoor B
PSK	Quadrature Phase-Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
BER	Bit Error Rate
SNR	Signal to Noise Ratio
USRP	Universal Software Radio Peripheral
SB	Secuencia de entrenamiento Barker
SF	Secuencia de entrenamiento Frank
SW	Secuencia de entrenamiento Willard

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama del Transmisor de un sistemas de comunicación.	12
Fig. 2. Diagrama de bloque Transmisor de un sistema de comunicación. .	13
Fig. 3. Esquema de un canal multitrayecto.	14
Fig. 4. Ejemplo de una secuencia de entrenamiento. [5]	15
Fig. 5. Ejemplo de secuencia Barker.	16
Fig. 6. Equipos del sistema implementado para el ambiente de pruebas. .	23
Fig. 7. Constelación transmitida y recibida de 8PSK.	25
Fig. 8. Constelación transmitida y recibida de 16QAM	25
Fig. 9. Constelación transmitida y recibida de 64QAM	26
Fig. 10. Perfil de potencia de retardos (Indoor Comerciales A).....	28
Fig. 11. Perfil de potencia de retardos (Indoor Comerciales B).....	29
Fig. 12. Perfil de potencia de retardos (Outdoor Área Rural A).....	29
Fig. 13. Perfil de potencia de retardos (Outdoor Área Rural B).....	30
Fig. 14. Grafica BER vs SNR para canales con modulación 8PSK-Real- Slidding Correlator.....	31
Fig. 15. Grafica BER vs SNR para canales con modulación 8PSK-Real- Moose Referencial	32
Fig. 16. Grafica BER vs SNR para canales con distintas modulaciones Real-Willard.....	33
Fig. 17. Grafica BER vs SNR con modulación 8PSK Real – Slidding – Willard.....	34
Fig. 18. Grafica BER vs SNR con modulación 8 PSK Simulado – Slidding Correlator.	35
Fig. 19. Grafica BER vs SNR con modulación 16 QAM Real – Algoritmos de sincronización.....	36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Secuencias Barker.	17
Tabla 2. Secuencia Willard.	18
Tabla 3. Modulaciones de bits por símbolo.	24
Tabla 4. Parámetros Indoor en áreas Comerciales.	27
Tabla 5. Parámetros Outdoor en áreas Rurales.	27

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la implementación de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) en distintas áreas de la vida cotidiana las han convertido en una gran herramienta para el desarrollo de los países. Para dar acceso a servicios de comunicaciones de calidad tanto en zonas rurales y urbanas, es preciso manejar todas las variables que hagan del sistema en base a las condiciones del escenario, el más óptimo.

Debido a que las comunicaciones inalámbricas son susceptibles a interferencias y ruido, es necesario tener en cuenta ciertos algoritmos que mejoran la transmisión de la señal, así como también, las limitaciones del espectro radioeléctrico debido a su característica de recurso limitado. Es por esto que se desarrolla un sistema basado en la implementación de sincronización de trama, el cual, reduce el efecto multitrayectoria y Doppler, a través del algoritmo de sincronización de Schmidl & Cox. En base a este análisis, se estudiará el efecto de usar otros algoritmos de sincronización de trama, haciendo uso de diferentes modulaciones y secuencias de entrenamiento, en escenarios Indoor y Outdoor rurales.

Se utilizarán los módulos USRP-2920 disponibles en el laboratorio de simulación de Telecomunicaciones, para realizar la respectiva prueba de transmisión de texto previamente programado en el software LabVIEW.

1. MARCO TEORICO

En este capítulo se hace una breve introducción a los métodos para resolver múltiples retardos en la transmisión de un sistema de comunicación inalámbrica y los distintos canales que se van a simular para realizar el análisis de multitrayectoria, secuencias de entrenamiento, sistemas de modulación y algoritmos de sincronización.

1.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN.

Un sistema de comunicación se compone de un transmisor y un receptor. El transmisor recibe los datos que va a enviar, estos serán modulados en base a una modulación digital paso banda para luego, insertar las cabeceras de control (secuencia de entrenamiento) y ser enviadas a través del medio de comunicación. Del lado del receptor se realizará el proceso contrario, partiendo desde la extracción de la cabecera de control, demodulando la señal recibida y obteniendo al final el mensaje (texto) enviado. [1]

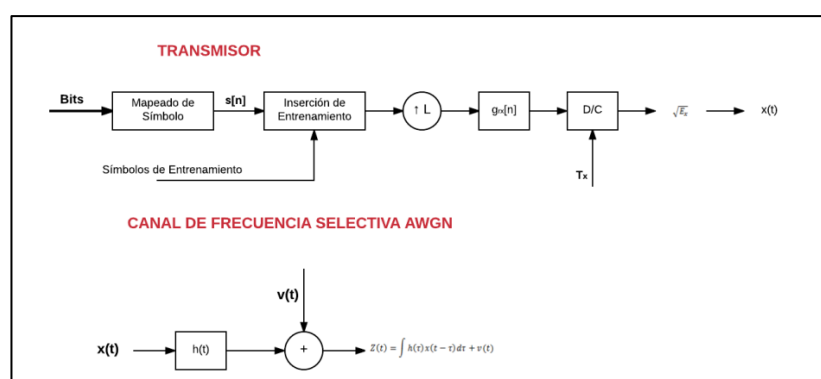


Fig. 1. Diagrama del Transmisor de un sistemas de comunicación.

En la figura 1 se observa como los bits son mapeados en símbolos para poder insertar una secuencia de entrenamiento en ellos y de esta forma poder realizar el procedimiento ya descrito para la transmisión en donde además, se tiene el canal AWGN de frecuencia selectiva, el cual, a través de una respuesta impulso permite obtener la señal a la frecuencia requerida.

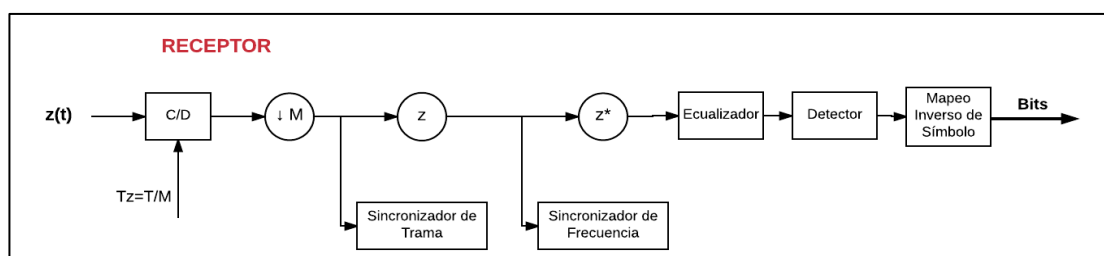


Fig. 2. Diagrama de bloque Transmisor de un sistema de comunicación.

Por otra parte, en la figura 2, se observa como en base a la señal recibida desde el transmisor son decodificados y sincronizados de tal forma que luego de una forma de detector sean mapeados inversamente para así obtener los bits que fueron enviados al inicio.

1.2. CANAL AWGN (ADDITIVE WHITE GAUSSIAN NOISE)

Por lo general en la comunicación se asume que la señal transmitida es distorsionada por algún tipo de ruido. El ruido más común con el que se trabaja es el ruido aditivo blanco gaussiano (AWGN). [2]

Tomando en consideración que el componente de ruido como tal es una característica mucho más compleja que lo que se representa con AWGN, este modelo es muy eficiente para simular ruido de fondo o ruido amplificado.

Este canal es representado como un canal ideal, en el cual, no existe propagación por multitrayectoria. Se considera que el ruido tiene una densidad espectral de potencia constante sobre el ancho de banda del canal. [2]

1.3. CANAL MULTITRAYECTO

Para modelar el sistema, se hará uso del canal ISI que representa en gran medida lo que ocurre en la trayectoria de la señal hacia su receptor (efecto multitrayectoria) en escenarios con una fuerte densidad de obstáculos. [3]

La Figura 3 y ecuación (1) representan el comportamiento visual y matemático de un canal multitrayectoria.

$$h(t) = \sum_{p=1}^N a_p e^{j\varphi_p} \delta(t - t_p) \quad (1)$$

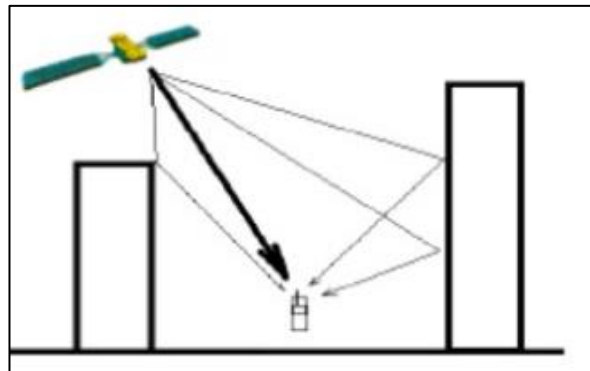


Fig. 3. Esquema de un canal multitrayecto.

1.4. SECUENCIA DE ENTRENAMIENTO

Las secuencias de entrenamiento son tramas de bits que poseen grandes propiedades de auto correlación y correlación cruzada. Estas son utilizadas para la sincronización y la estimación de canal. [4]

Las secuencias de entrenamiento sirven como señales de referencia, las cuales pueden ser utilizadas para muchos propósitos en el receptor. Se inserta al inicio de la trama de los datos modulados antes de ser enviados al canal. [5]

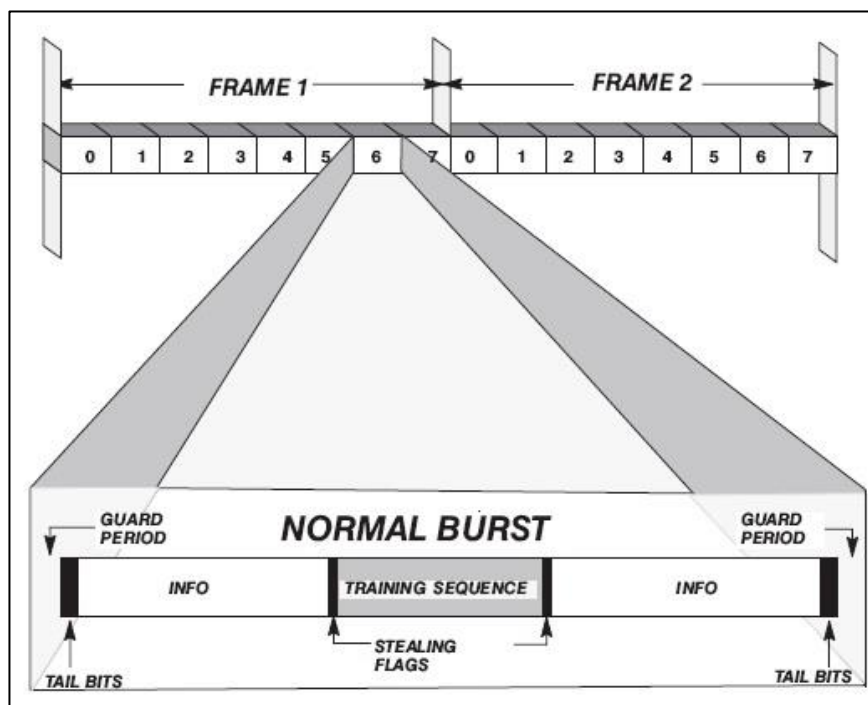


Fig. 4. Ejemplo de una secuencia de entrenamiento. [5]

En la figura 4 se aprecia cómo se trabaja con una secuencia de entrenamiento en una transmisión cualquiera y como es insertada en la trama a enviar.

1.4.1. Código Barker

El código Barker también conocido como código de dispersión o pseudo-ruido. Es una secuencia diseñada para que tanto los 1's y 0's aparezcan en igual cantidad. [6]

El código Barker utiliza longitudes cortas y de fuertes propiedades de auto correlación periódica, permitiendo utilizar en espectro ensanchado de secuencia directa y sistemas de compresión de pulsos de radar. [6]

En la figura 5 se observa la secuencia Barker a partir de la señal original que se desea transmitir.

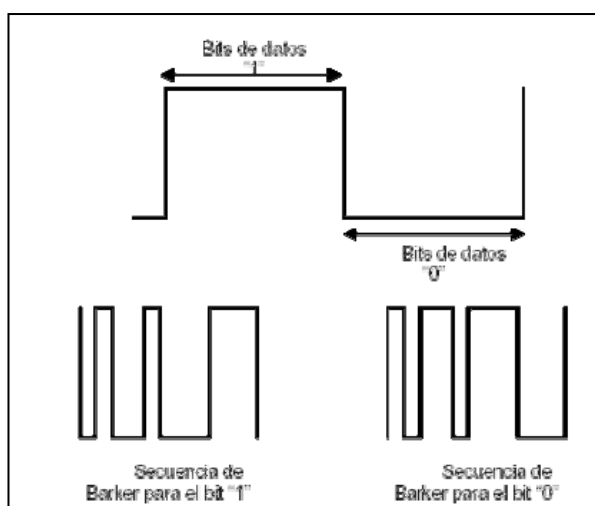


Fig. 5. Ejemplo de secuencia Barker.

En la tabla 1 se observa cómo, en base a la longitud del código con el que se trabaja, se construye una secuencia Barker, ya que, cuando es insertada en una secuencia de símbolos aleatorios, se obtiene una correlación nula (con valor de 0) excepto en las posiciones coincidentes.

Longitud de Código	Secuencia Barker
3	[- - +]
4	[- + - -, - + + +]
5	[- - - + -]
7	[- - - + + - +]
11	[- - - + + + - + + - +]
13	[- - - - - + + - - + + - -]

Tabla 1. Secuencias Barker.

1.4.2. Código Willard

Los códigos Willard encontrados por optimización y simulación de computadora, ofrecen bajo ciertas condiciones, un mejor rendimiento que los códigos Barker. Los códigos Willard tienen la misma variación de longitud que los códigos Barker y se diferencian por la combinación de 1's y 0's. [7]

Longitud de Código	Secuencia Willard
3	[- - +]
4	[- - + +]
5	[- - + - +]
7	[- - - + - + +]
11	[- - - + - - + - + + +]
13	[- - - - - + + - + - + + +]

Tabla 2. Secuencia Willard.

En la tabla 2 se observa como los bits invertidos o versiones reversas de los códigos, pueden ser usados, dado que, aún mantienen sus propiedades de auto correlación. [8]

1.4.3. Código Frank

La secuencia de Frank es una secuencia no binaria, conocida también como secuencia complementaria, la cual se la utiliza para recuperar información digital contenida en una señal, que haya sido afectada por el ruido, interferencia o atenuación. [9]

La secuencia de Frank es también conocida por ser un formato de modulación de código polifásico, usado para compresión de pulsos, ya que, emplea las fases relacionadas armónicamente, que se basan en ciertos incrementos de fase fundamentales. [9]

Esta secuencia se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Z_n = \sum_{i=0}^{m-1} a_i Y_{n,i} \quad (2)$$

1.5. SINCRONIZADOR DE TRAMA

Como es de suponer, toda señal transmitida posee una estructura pre establecida, ya sea por diseño de proveedor o basándose en algún estándar de transmisión, el cual, debe ser conocido 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 también se la conoce: 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, para posteriormente sincronizar la trama. [10]

1.5.1. Sincronización de trama Schmidl & Cox.

Esta variante del Algoritmo de Schmidl y Cox fue propuesta por Ch. Nanda Kishore y V. Umapathi Reddy. Partiendo del supuesto que un símbolo OFDM es precedido por un CP, las dos mitades de este símbolo son idénticas (en el dominio del tiempo) por la carga de portadores impares con una secuencia (PN) de pseudo ruido. Si la longitud de CP es al menos tan grande como la de la respuesta de impulso de canal, a continuación, las dos mitades del símbolo

siguen siendo idénticas a la salida del canal, a excepción de una diferencia de fase entre ellos debido a la frecuencia portadora desplazada. Teniendo en cuenta este símbolo como un preámbulo, y se obtiene desde el modo de preámbulo WMAN-OFDM, donde se especifica la secuencia PN cargado a priori, se proponen las siguientes mediciones de temporización para la sincronización de trama. [11]

$$M(d) = \frac{|P(d)|^2}{R^2(d)} \quad (3)$$

Donde P (d) y R (d) están dadas por:

$$P(d) = \sum_{i=0}^{M-1} [r(d+i)a_i] * [r(d+i+M)a(i)] \quad (4)$$

$$R(d) = \sum_{i=1}^{M-1} |r(d+i+M)|^2 \quad (5)$$

La cual permite estimar el desplazamiento de trama producido por el canal, por medio de la ecuación 6.

$$d = \arg \max_d M[d] \quad (6)$$

Donde d es el inicio de la trama.

1.5.2. Sincronización de trama Sliding Correlator.

Este algoritmo aprovecha las buenas propiedades de correlación de la secuencia de entrenamiento, correlacionando la misma con la señal recibida en base a la ecuación 7. [12]

$$R[n] = \left| \sum_{k=0}^{N_t} t^*[k]y[n+k] \right| \quad (7)$$

1.5.3 Sincronización de trama Moose Referenciado

Tanto el algoritmo Sliding Correlator, como el de Schmidl & Cox asumen que no existe desplazamiento de frecuencia de portadora. Este desplazamiento de frecuencia afecta la precisión de dichos algoritmos.

El algoritmo de Moose Auto referenciado es más robusto contra la interferencia intersimbólica, ya que considera el desplazamiento de frecuencia de portadora que pudiere existir. La métrica de sincronización se debe calcular en base a la ecuación 8. [13]

$$M[d] = \frac{\sum_{n=L}^{N_t-1} y[n+d+N_t]y^*[n+d]}{\sqrt{\sum_{n=L}^{N_t-1} |y[n+d]|^2} \sqrt{\sum_{n=L}^{N_t-1} |y[n+d+N_t]|^2}} \quad (8)$$

1.6. RELACION SEÑAL RUIDO (SNR)

Se define como la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe. Es una medida utilizada que compara el nivel de una señal deseada al nivel de fondo de ruido y está dada en (dB). [14]

1.7. BIT ERROR RATE (BER)

Es la tasa de error de bit, la cual se define como el número de bits recibidos de forma incorrecta respecto al total de bits enviados durante un intervalo especificado de tiempo. Y su utilización es muy importante para modelar un canal de comunicación. [15]

1.8. MODULACIÓN DIGITAL

Las modulaciones digitales existentes se distinguen en dos tipos como lo son, las modulaciones digitales en paso banda y las modulaciones digitales en banda base. Dentro de las modulaciones a utilizar en este proyecto se tienen 8 PSK, 16 QAM y 64 QAM. Dichas modulaciones serán detalladas en las subsecciones posteriores. [16]

2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la realización de este proyecto se implementó un sistema de comunicación inalámbrica mediante 2 USRP 2920, y el software de LabVIEW 2015 a través de VI's tal como se observa en la siguiente figura, donde se procedió a realizar varias pruebas de transmisión de texto mediante 3 modulaciones, 3 secuencias de entrenamiento, 3 secuencias de trama y 5 canales para diferentes escenarios.



Fig. 6. Equipos del sistema implementado para el ambiente de pruebas.

2.1. MODULACIONES

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron tres tipos de modulaciones basadas en desplazamiento de fase. Las cuales son:

- 8 PSK
- 16 QAM
- 64 QAM

En la siguiente tabla se muestran algunas modulaciones, en la cuales, QAM tiene un mejor desempeño debido a que posee una forma de orden superior de modulación y como resultado es capaz de transportar más bits de información por símbolo.

Modulación	Bits por símbolo	Symbol Rate
BPSK	1	1 x bit rate
QPSK	2	1/2 bit rate
8PSK	3	1/3 bit rate
16QAM	4	1/4 bit rate
64QAM	6	1/6 bit rate

Tabla 3. Modulaciones de bits por símbolo.

2.1.1. Modulación 8 PSK

En este caso los símbolos pueden tomar ocho valores que están dados por la diferencia de fase. Al ser una modulación PSK, todos los símbolos poseen la misma energía, produciendo un aumento la tasa de error. La siguiente figura muestra la constelación obtenida.

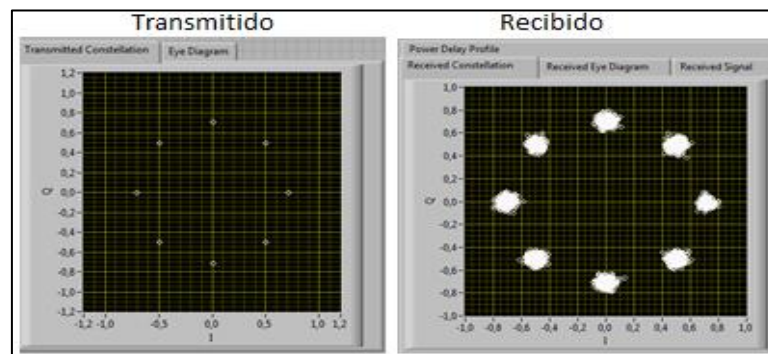


Fig. 7. Constelación transmitida y recibida de 8PSK.

2.1.2 Modulación 16 QAM

La modulación de amplitud en cuadratura o QAM es una técnica que transporta dos señales independientes, mediante la modulación de una señal portadora, tanto en amplitud como en fase. En este caso los símbolos pueden tomar 16 valores que están dados por la diferencia de fase. La siguiente figura muestra la constelación obtenida.

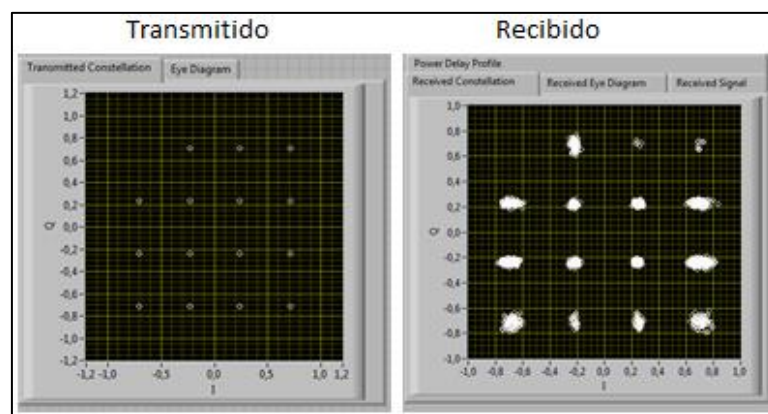


Fig. 8. Constelación transmitida y recibida de 16QAM

2.1.3 Modulación 64 QAM

Al igual que la modulación 16 QAM, transporta las 2 señales pero en este caso, los símbolos pueden tomar 64 valores que están dados por la diferencia de fase. La siguiente figura muestra la constelación obtenida.

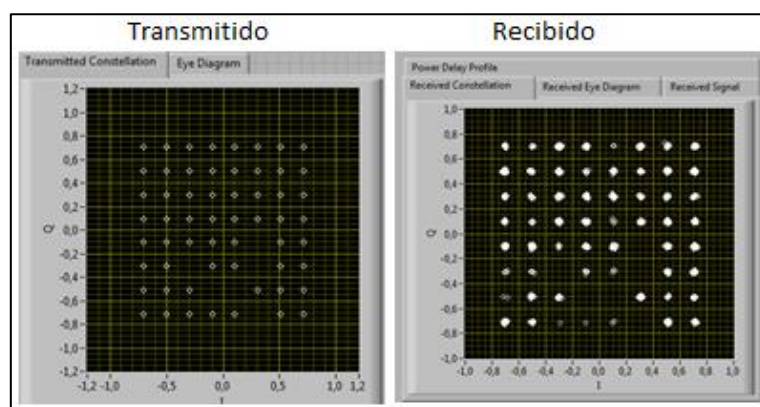


Fig. 9. Constelación transmitida y recibida de 64QAM

2.2. CANALES A REALIZAR PRUEBAS

Para la simulación de los diferentes canales multipaso, Indoor y Outdoor se obtuvieron los siguientes resultados basados en un canal ISI.

Indoor Comerciales				
N	Tabla Canal 1A		Tabla Canal 1B	
	Delay (nSec)	Avg. Power (dB)	Delay (nSec)	Avg. Power (dB)
1	0	0	0	0
2	100	-5,9	100	-0,2
3	200	-14,6	200	-5,4
4			300	-6,9
5			500	-24,5
6			700	-29,7

Tabla 4. Parámetros Indoor en áreas Comerciales.

Perfiles Outdoor Áreas Rurales				
N	Tabla Canal 4A		Tabla Canal 4B	
	Delay (nSec)	Avg. Power (dB)	Delay (nSec)	Avg. Power (dB)
1	0	0	0	0
2	0,2	-2	0,1	-4
3	0,4	-10	0,2	-8
4	0,6	-20	0,3	-12
5			0,4	-16
6			0,5	-20

Tabla 5. Parámetros Outdoor en áreas Rurales.

En las tablas 4 y 5 se observa como en base a los canales Indoor y Outdoor respectivamente, se construyen relaciones entre los retardos y la potencia promedio sensada, dispuesta en dB.

2.3. RESPUESTAS IMPULSO EN DISTINTOS CANALES

El canal multitrayectoria puede ser representado por su respuesta impulso, la cual, varía dependiendo de los objetos dispersantes. En efecto, el receptor deber estar apto para afrontar la distorsión y degradación de la señal debido a la reflexión que existe por los objetos que se encuentran en el camino.

A tales características del canal multitrayectoria se les denomina perfiles de potencia.

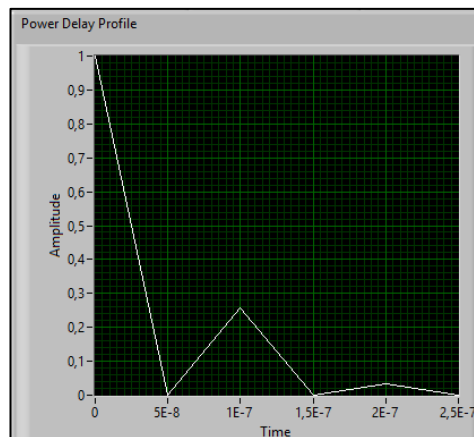


Fig. 10. Perfil de potencia de retardos (Indoor Comerciales A)

En la figura 10 se observa el perfil de potencia para el canal Indoor A comercial. En él se observan 3 saltos.

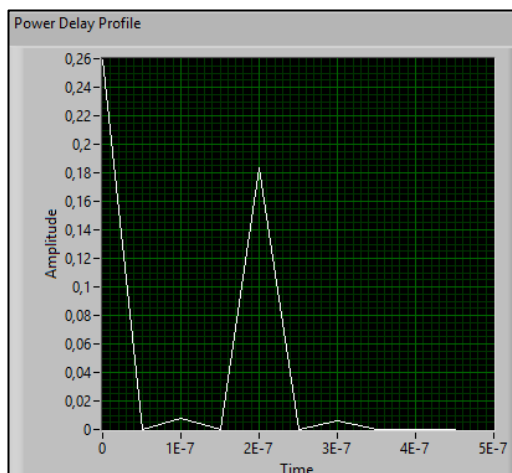


Fig. 11. Perfil de potencia de retardos (Indoor Comerciales B)

En la figura 11 se observa el perfil de potencia para el canal Indoor B comercial. En él se observan 4 saltos.

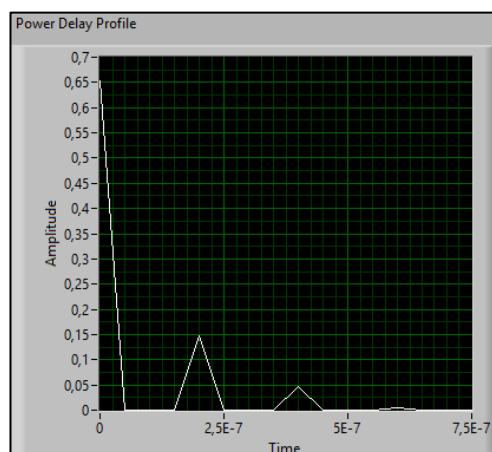


Fig. 12. Perfil de potencia de retardos (Outdoor Área Rural A)

En la figura 12 se observa el perfil de potencia para el canal Outdoor A rural. En él se observan 6 saltos.

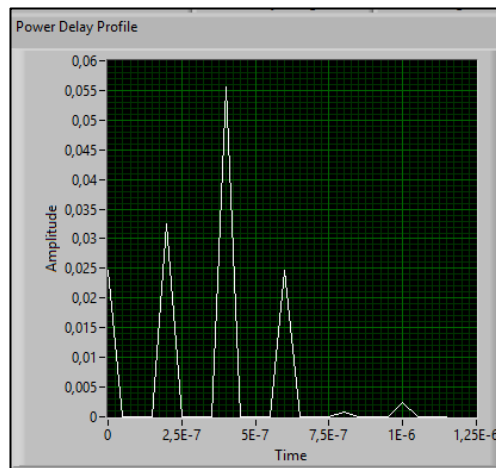


Fig. 13. Perfil de potencia de retardos (Outdoor Área Rural B)

En la figura 13 se observa el perfil de potencia para el canal Outdoor B rural.

En él se observan 12 saltos.

2.4. ANALISIS DE BER VS SNR EN DISTINTAS MODULACIONES, SECUENCIAS, ALGORITMOS Y AMBIENTES DE CANAL.

En un sistema inalámbrico es importante sincronizar la trama y estimar el canal, lo cual se hace a través de las secuencia de entrenamiento.

En las siguientes graficas se podrá observar el comportamiento de los canales Indoor y Outdoor Rurales para las secuencias de tramas con distintas secuencias de entrenamiento y en varias modulaciones.

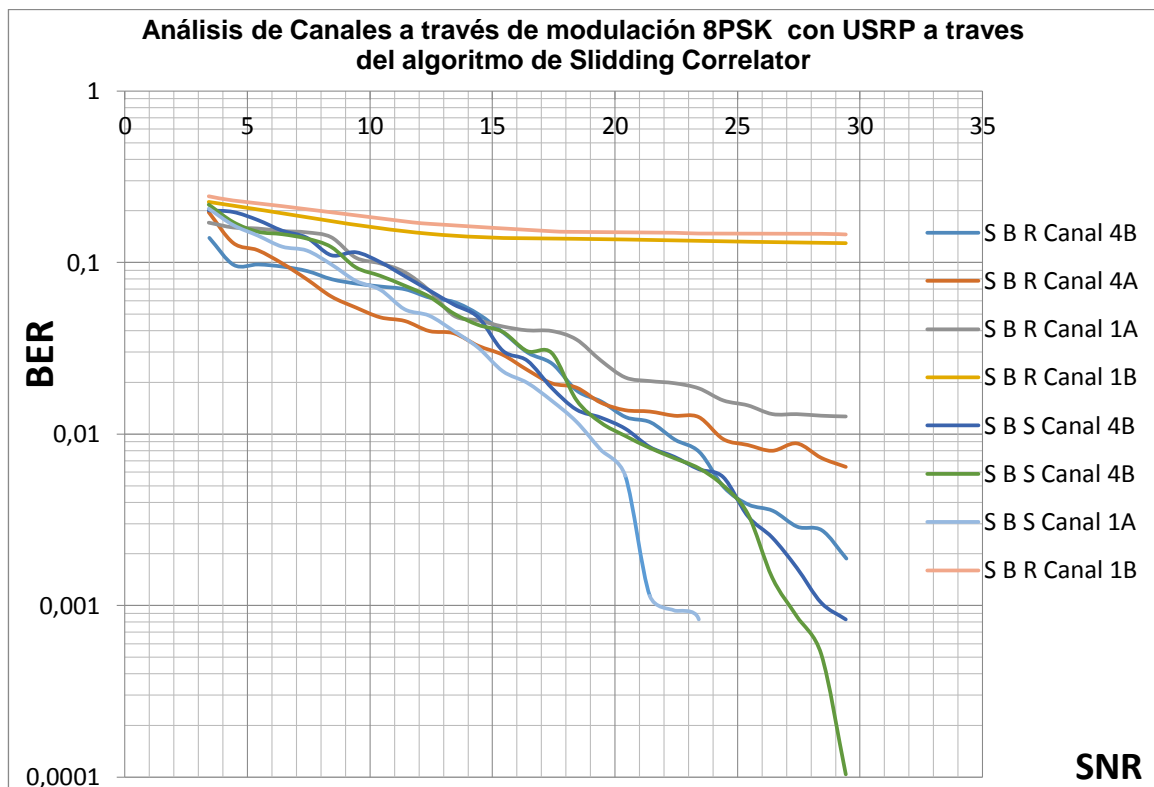


Fig. 14. Grafica BER vs SNR para canales con modulación 8PSK-Real-Slidding Correlator

En la figura 14 se observa el análisis comparativo de los diferentes canales Indoor y Outdoor (A y B) en términos de una modulación 8 PSK con Slidding Correlator. Como resultado se tiene que en el canal Indoor A tiene el mejor rendimiento del sistema.

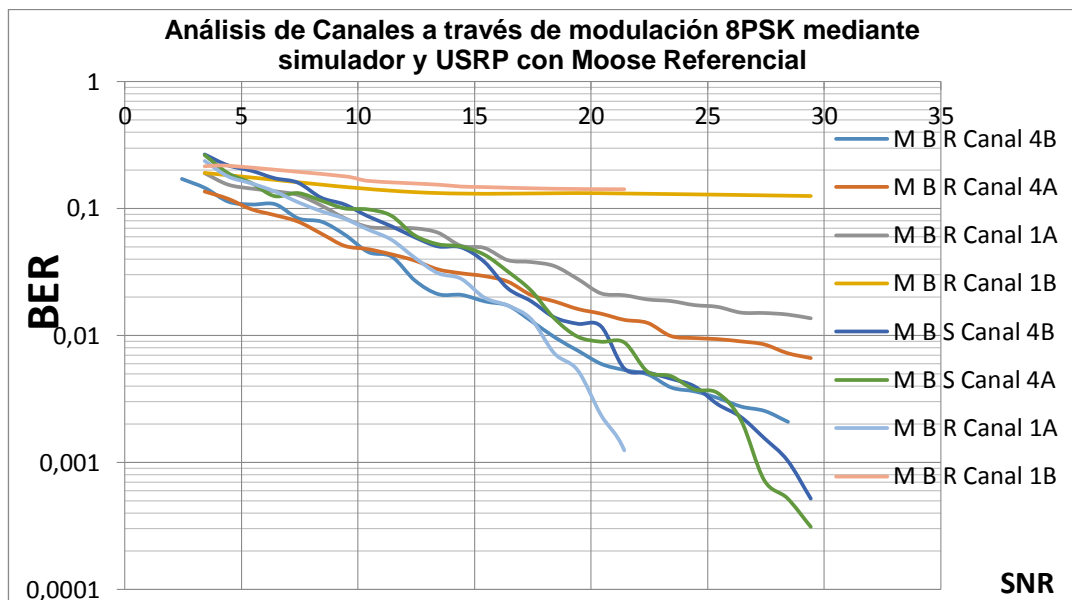


Fig. 15. Grafica BER vs SNR para canales con modulación 8PSK-Real-Moose Referencial

En la figura 15 se observa el análisis comparativo de los diferentes canales Indoor y Outdoor (A y B) en términos de una modulación 8 PSK con Moose Referencial. Como resultado se tiene que en el canal Indoor A tiene el mejor rendimiento del sistema.

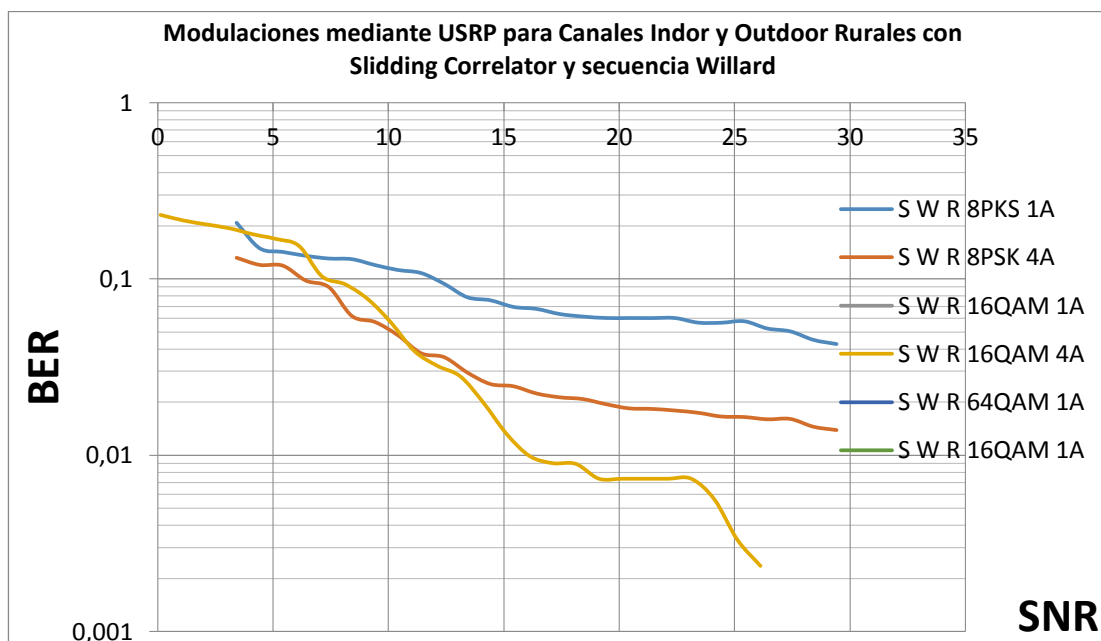


Fig. 16. Grafica BER vs SNR para canales con distintas modulaciones Real-Willard.

En la figura 16 se observa el análisis comparativo de los diferentes canales Indoor y Outdoor (A y B) en términos de una modulación 8 PSK y 16 QAM con Willard. Como resultado se tiene que en el canal Outdoor A con modulación 16 QAM, tiene el mejor rendimiento del sistema.

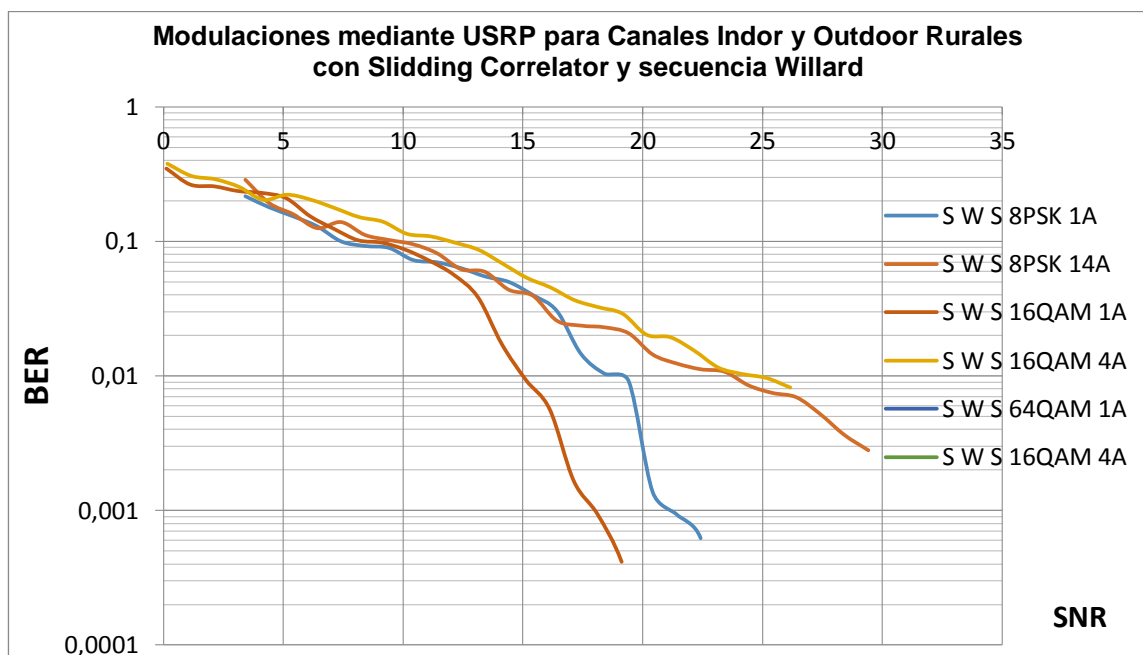


Fig. 17. Grafica BER vs SNR con modulación 8PSK Real – Slidding – Willard.

En la figura 17 se observa el análisis comparativo de los diferentes canales Indoor y Outdoor (A y B) en términos de una modulación 8 PSK y 16 QAM con Slidding-Willard. Como resultado se tiene que en el canal Indoor A, con modulación 8 PSK, produce el mejor rendimiento del sistema.

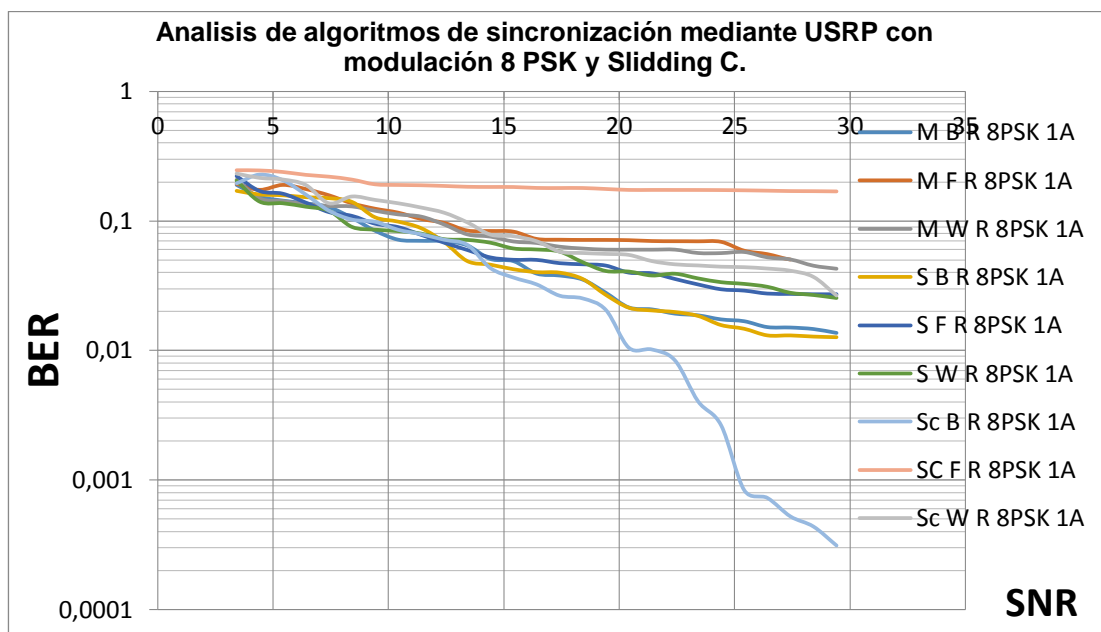


Fig. 18. Grafica BER vs SNR con modulación 8 PSK Simulado – Slidding Correlator.

En la figura 18 se observa el análisis comparativo para los algoritmos de sincronización, de los diferentes canales Indoor y Outdoor (A y B) en términos de una modulación 8 PSK con Slidding Correlator. Como resultado se tiene que en el canal Indoor A, con modulación 8 PSK y con algoritmo de Barker, produce el mejor rendimiento del sistema.

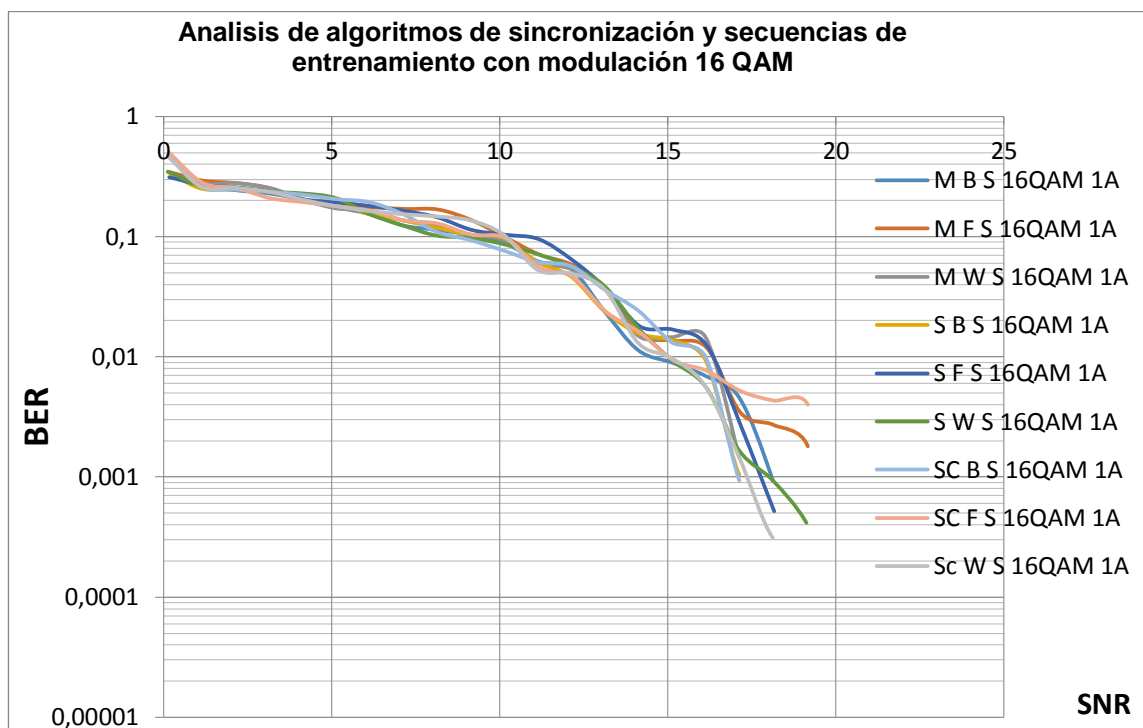


Fig. 19. Grafica BER vs SNR con modulación 16 QAM Real – Algoritmos de sincronización.

En la figura 19 se observa el análisis comparativo para los algoritmos de sincronización y secuencias de entrenamiento, de los diferentes canales Indoor y Outdoor (A y B) en términos de una modulación 16 QAM. Como resultado se tiene que en el canal Indoor A1, con modulación 16 QAM y con algoritmo de Willard, produce el mejor rendimiento del sistema.

CONCLUSIONES

Se comprobó la robustez del algoritmo de Schmidl & Cox. Aunque se obtienen valores de BER parecidos en los distintos casos, se pudo notar de con el algoritmo de Slidding Correlator presenta menos fallas.

Durante la realización de pruebas ante distintas modulaciones, se pudo notar un cambio en el BER, el cual, aumenta cuando se encuentran símbolos más cercanos como fue el caso de 64QAM, por lo que necesitó de un menor nivel de ruido para que su transmisión de texto sea la deseada.

En lo que respecta a las secuencias de entrenamiento Barker mostro un mayor desempeño con respecto a Willard y Frank frente a la tasa de error, siendo de esta forma el algoritmo más confiable encontrado durante este estudio.

La sincronización de la trama resuelve retardos que no son corregidos por sincronizador de símbolos, ya que, a nivel del algoritmo de Slidding Correlator, presenta una ventaja sobre Schmidl & Cox debido a que no necesita conocer su secuencia de patrón, sino que solamente trabaja con la señal entrante en el receptor.

Los resultados de las gráficas BER vs. SNR que generaron las secuencias de trama permitieron concluir que los canales Indoor presentan menos interferencia intersimbólica (ISI), ya que, tienen un mayor tiempo de retardo.

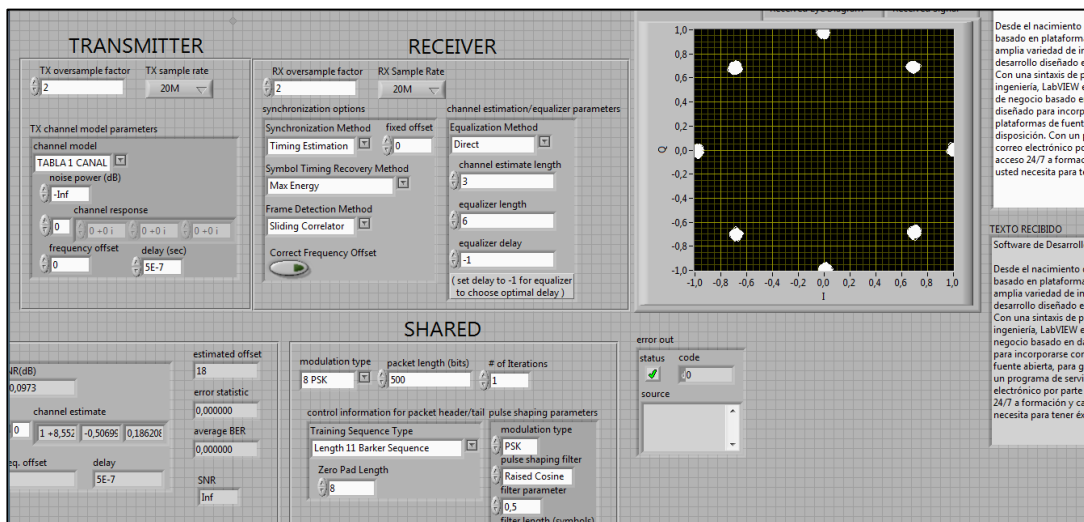
BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. FitzGerald and T. Eason, *Fundamentos de comunicación de datos*, 1st ed. Mexico: Limusa, 1984.
- [2] R. Caballero, "Uso de códigos convolucionales en redes colaborativas", Ingeniería, Concordia University, 2009.
- [3] René Játiva Espinoza, Modelos de Radio- Propagación Multitrayecto y Desvanecimientos de Pequeña Escala, USFQ, Quito, Ecuador, pp. 3, 17, 22, 26, 32.
- [4] K. Tak, "Training sequence in a GSM frame?", *Electronics.stackexchange.com*, 2014. [Online]. Available: <http://electronics.stackexchange.com/questions/122257/training-sequence-in-a-gsm-frame>.
- [5] Wellington Espinoza, Maricela Freire, Tanny Chávez, Jorge Gómez y Boris Ramos "Adaptación del algoritmo Schmidl & Cox a sistemas de portadora única en un canal inalámbrico" Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Politécnica del Litoral, 2015.
- [6] I. Chávez, "Spread Spectrum", *Bibdigital*, 2003. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/83/1/CD-0055.pdf>.
- [7] B. Ribov, "METHOD FOR NOISE INTERFERENCE REDUCTION IN WIRELESS RADIO DATA COMMUNICATIONS USING THE MULTI-CARRIER PRINCIPLE", Sozopol, 2005.
- [8] Salahaddin University, "Polyphase Barker and Willard spreading sequence codes", Erbil, 2006.
- [9] C. Wolff, "Radar Basics - Frank Code", *Radartutorial.eu*, 2015. [Online]. Available: <http://www.radartutorial.eu/08.transmitters/Frank%20Code.en.html>.

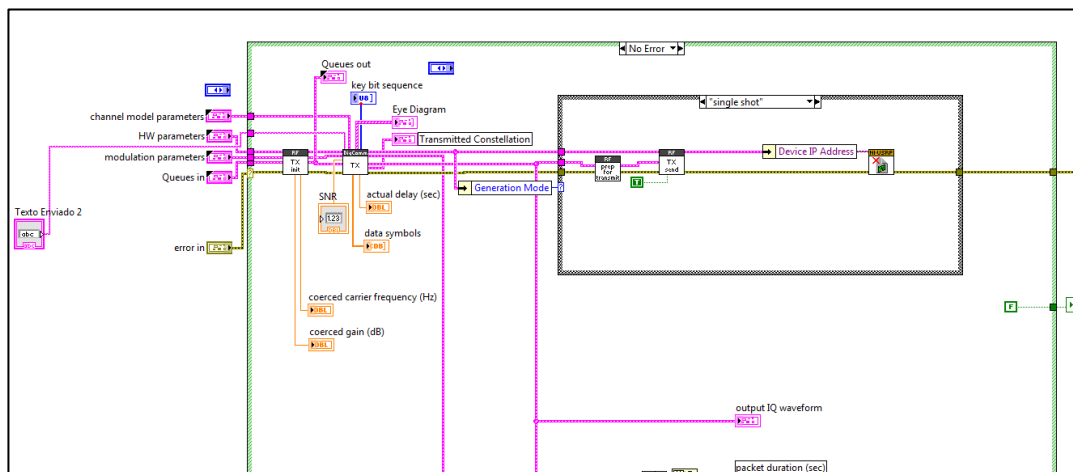
- [10] "El entramado", *Neo.lcc.uma.es*, 2012. [Online]. Available: <http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/enlace/Entramado.html>.
- [11] V. Gil Jiménez, "Algoritmos en Transmisión y Recepción para OFDM en entornos Multi-usuario", Doctorado, Universidad Carlos III de Madrid, 2005.
- [12] S. Mamoru and A. Fumiyuki, "Sliding correlator used in CDMA systems to establish initial synchronization", US 5768306 A, 1998.
- [13] L. Hanzo and T. Keller, *OFDM and MC-CDMA for broadband multi-user communications, WLANs, and broadcasting*, 1st ed. New York: J. Wiley, 2003, pp. 117-120.
- [14] M. Rouse, "What is signal-to-noise ratio (S/N or SNR)? - Definition from WhatIs.com", *SearchNetworking*, 2016. [Online]. Available: <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/signal-to-noise-ratio>.
- [15] M. Rouse, "What is bit error rate (BER)? - Definition from WhatIs.com", *WhatIs.com*, 2005. [Online]. Available: <http://whatis.techtarget.com/definition/bit-error-rate-BER>.
- [16] Y. Cárdenas, "TRANSMISIÓN DIGITAL PASABANDA. - Unefa Curso de Comunicaciones", *Sites.google.com*, 2012. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/unefacursodecomunicaciones/transmisin--digital-pasabanda>.

ANEXOS

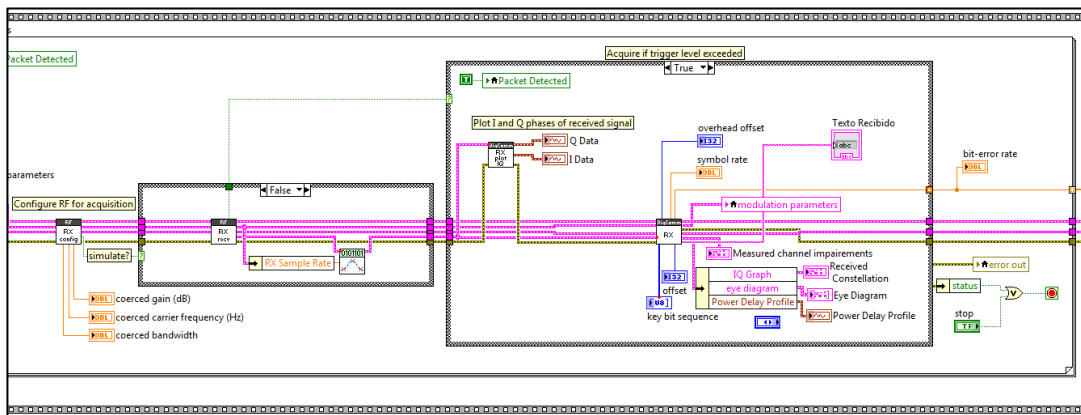
ANEXO 1: Esquema del simulador.



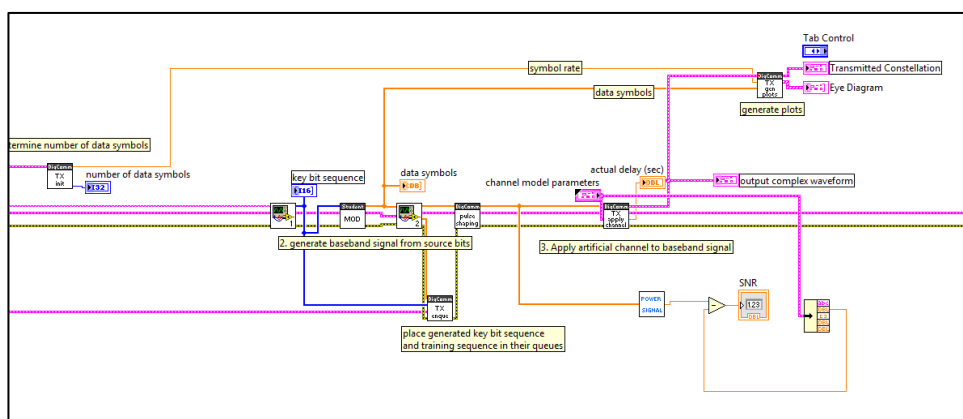
ANEXO 2: Diagrama de bloques del Tx y Rx.



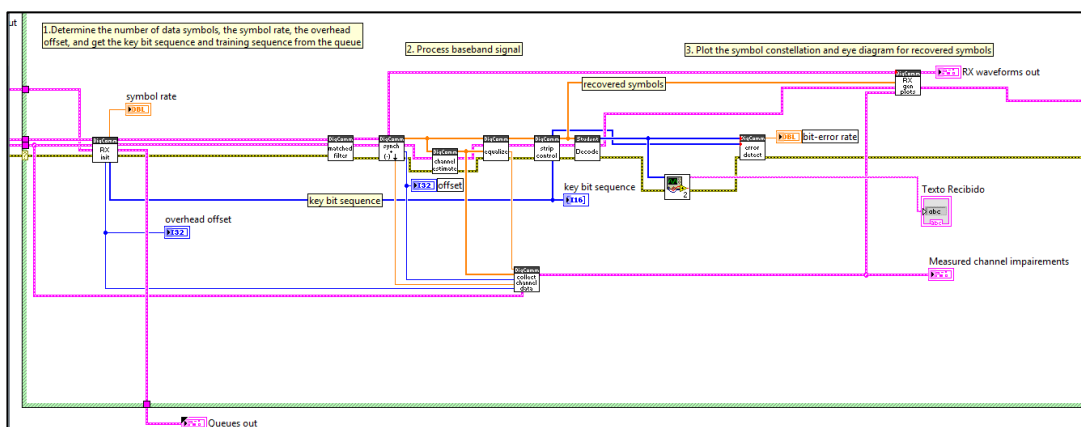
Top Tx



Top Rx

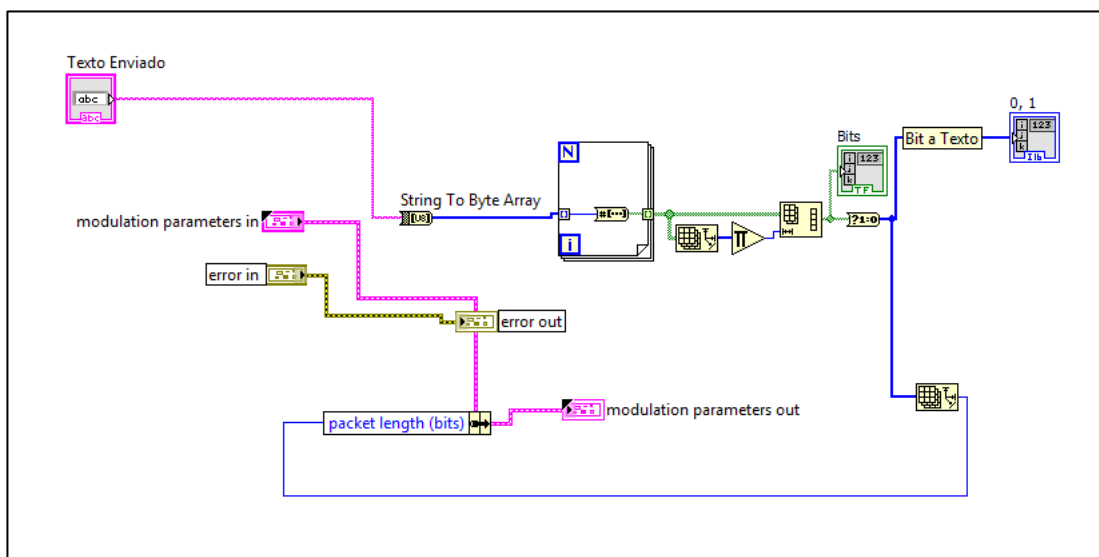


Transmisor

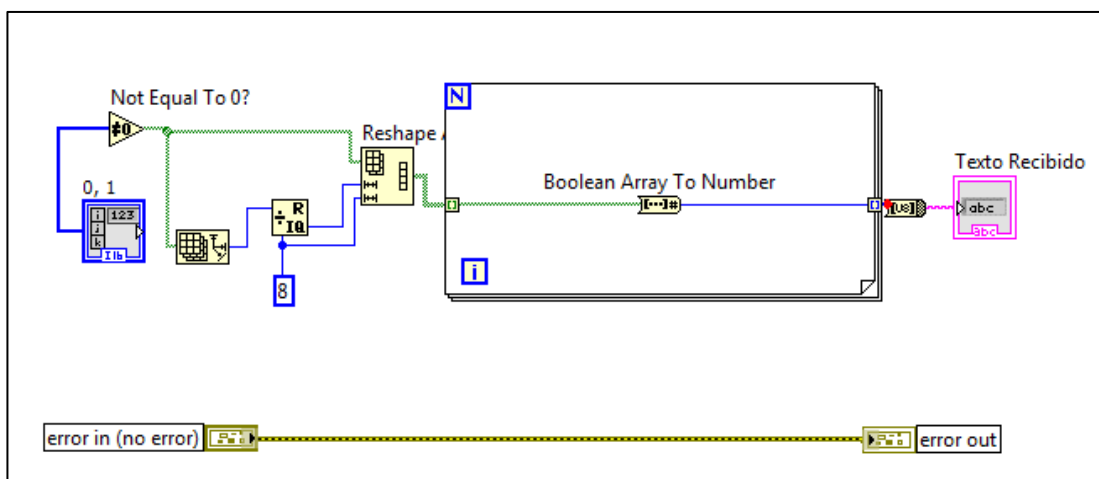


Receptor

ANEXO 3: Diagrama de bloques del Tx y Rx de Texto.

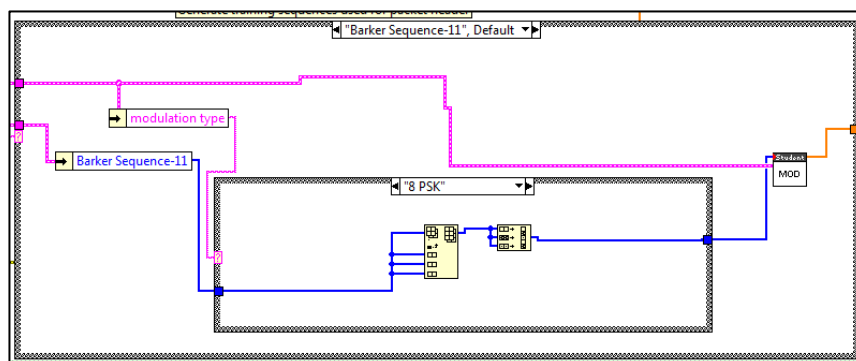


Transmisión de Texto

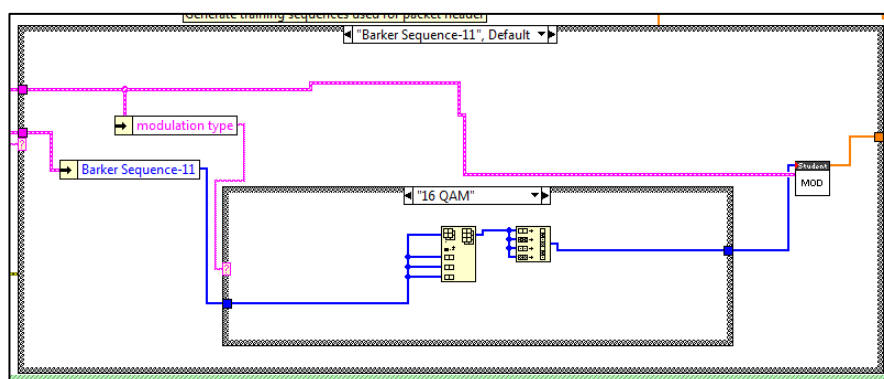


Recepción de Texto

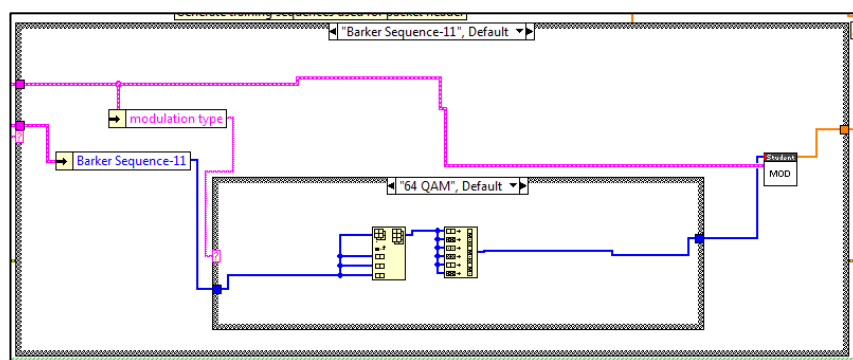
ANEXO 4: Diagrama de bloques de secuencias de entrenamiento.



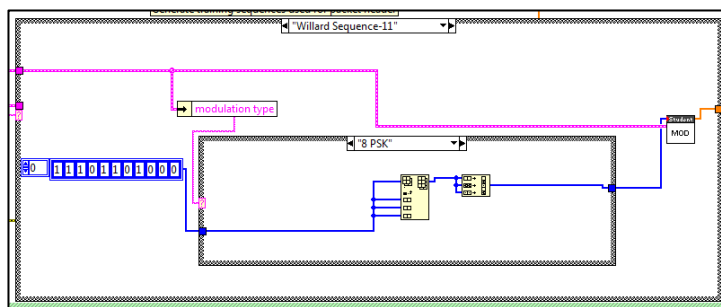
Barker 8 PSK



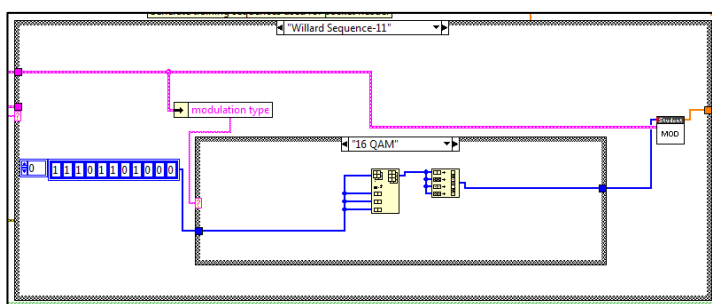
Barker 16 QAM



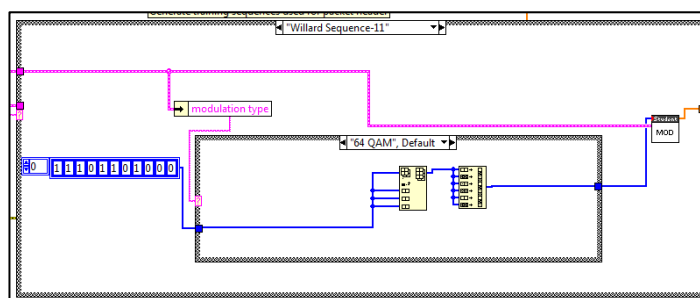
Barker 64 QAM



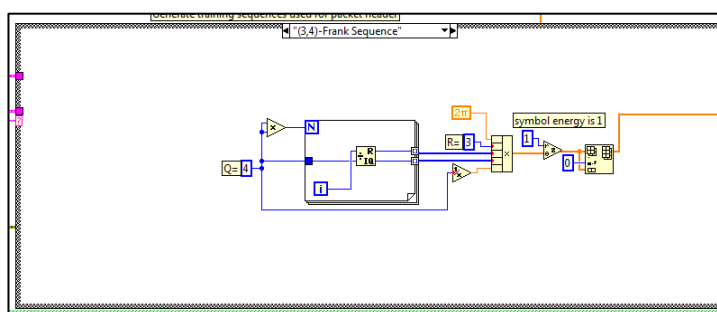
Willard 8 PSK



Willard 16 QAM

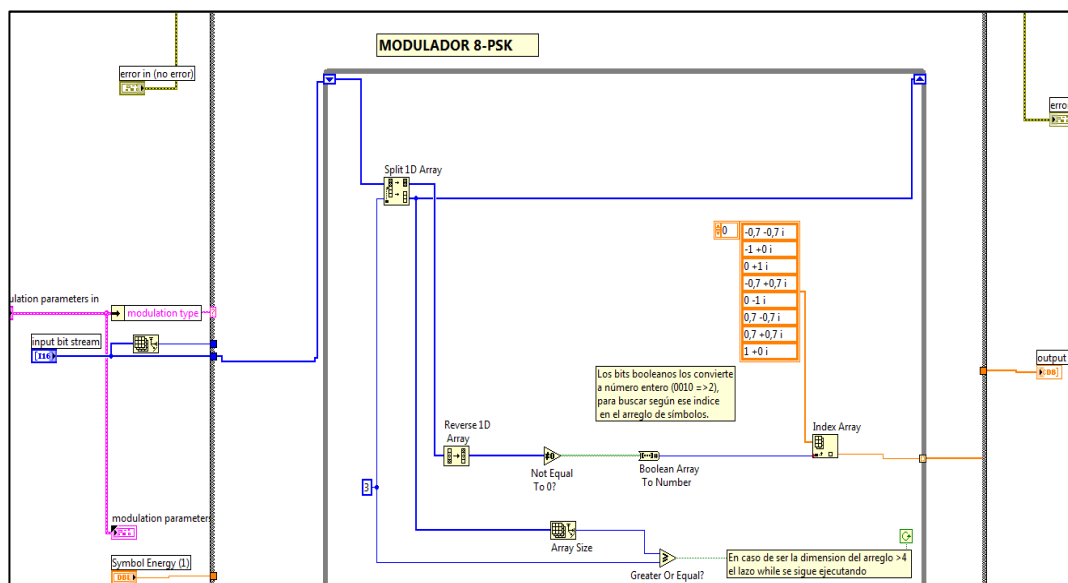


Willard 64 QAM

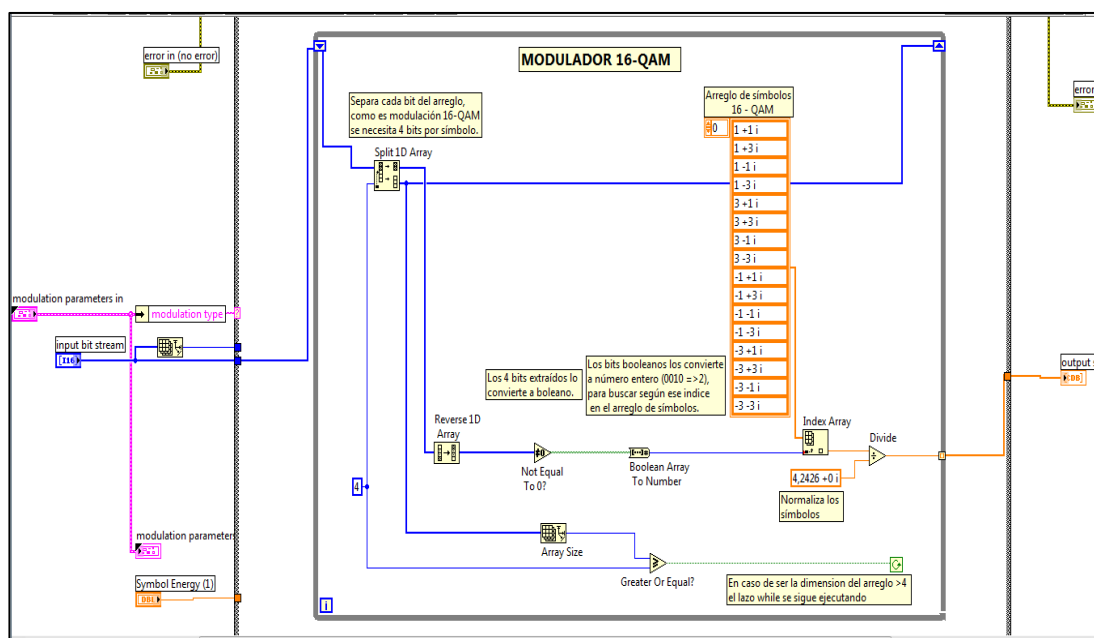


Frank (Indiferente de su Modulación)

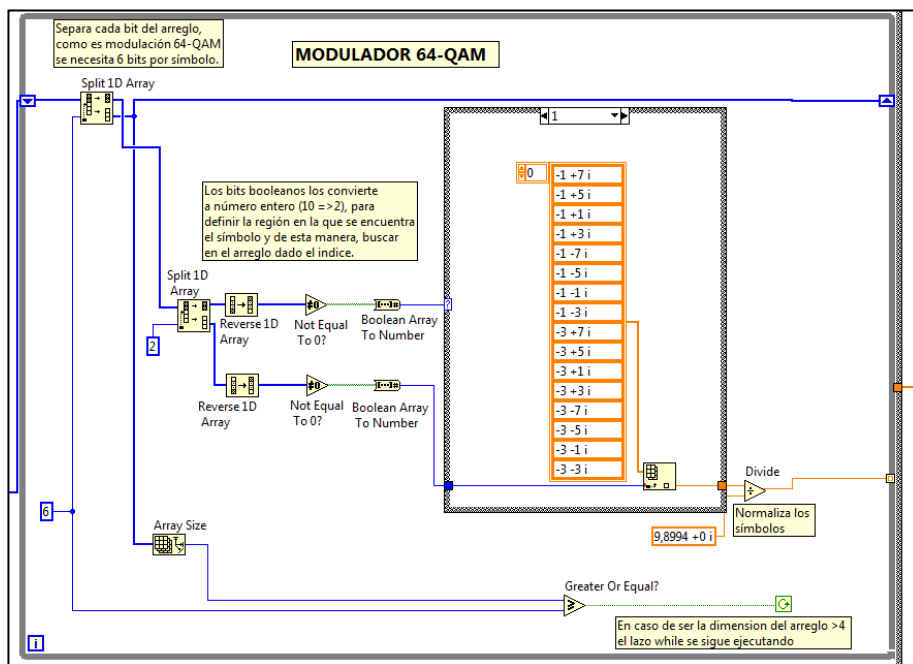
ANEXO 5: Diagrama de bloques de las modulaciones.



Modulación 8 PSK



Modulación 16 QAM



Modulación 64 QAM

ANEXO 6: Diagrama de bloques de los canales multitrayectoria.

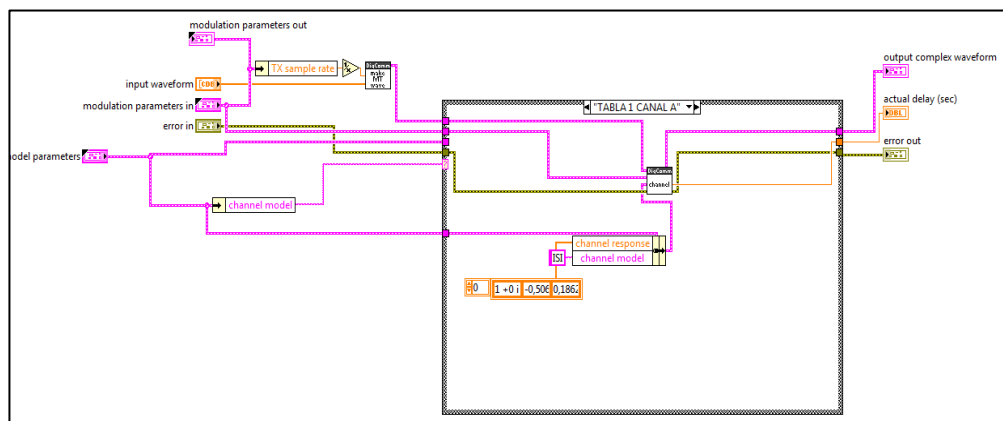


Tabla 1 canal A

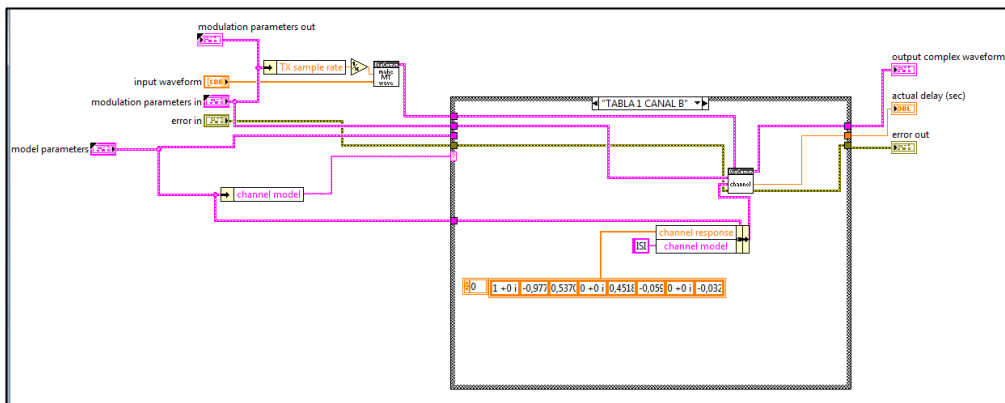


Tabla 1 canal B

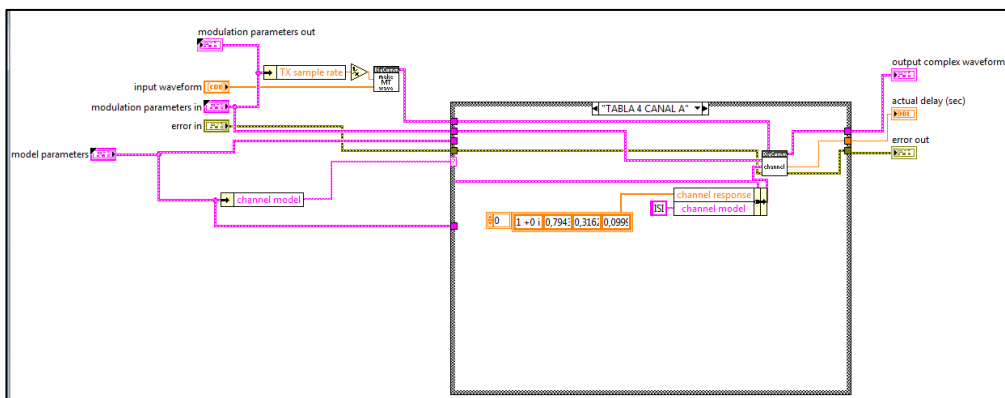


Tabla 4 canal A

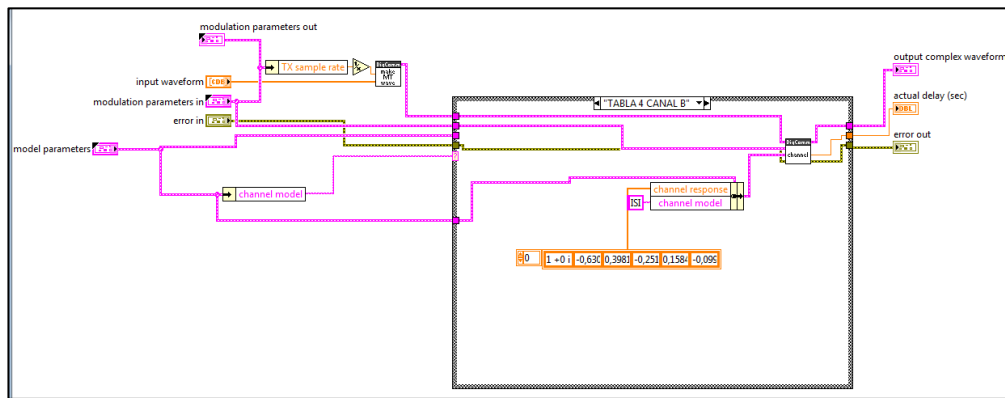
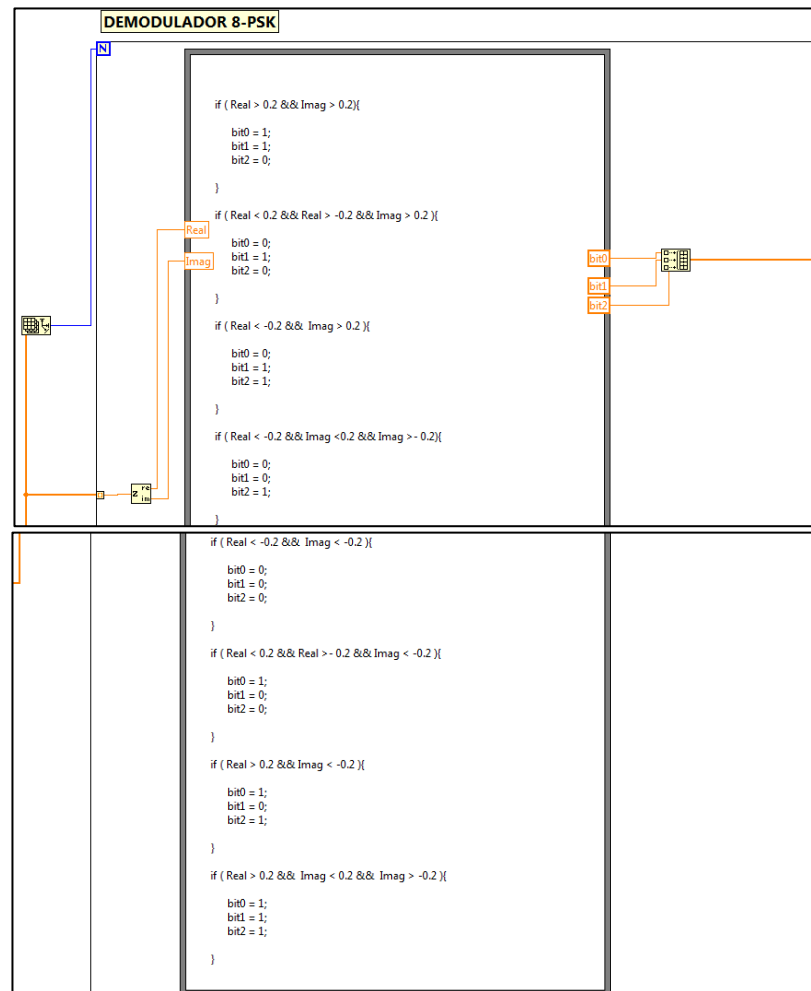
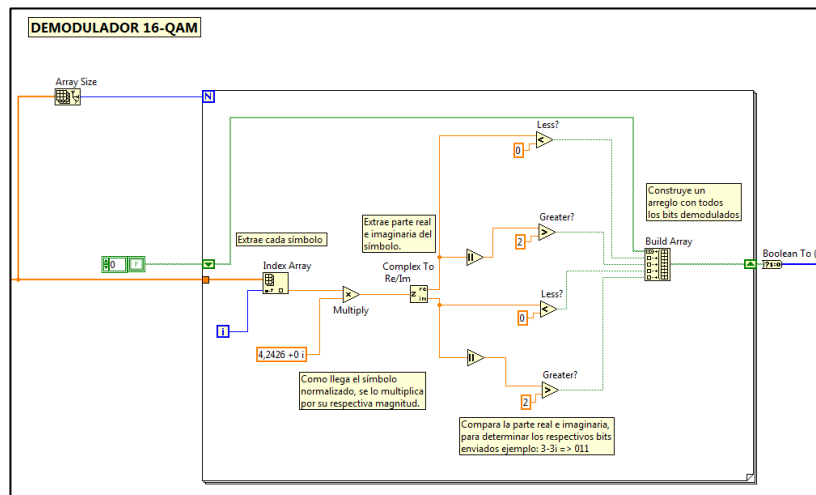


Tabla 4 canal B

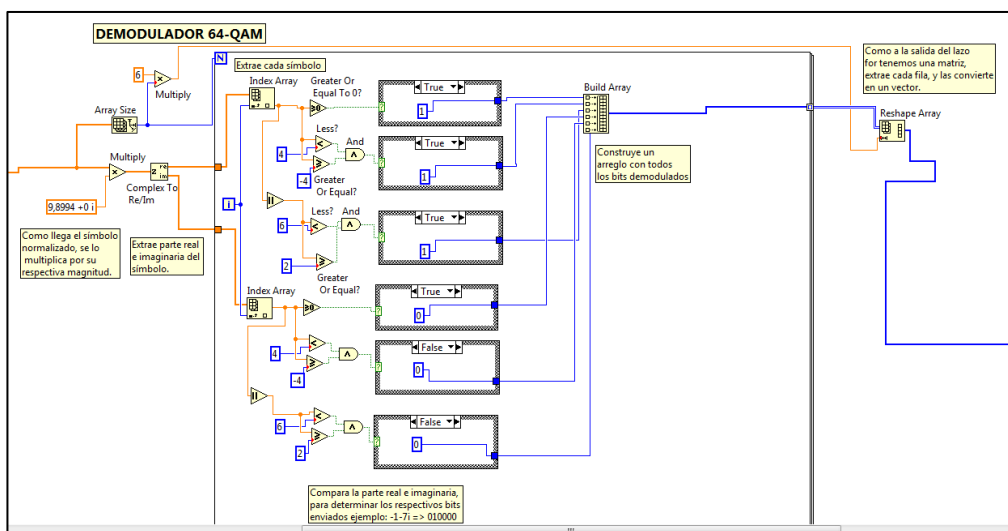
ANEXO 7: Diagrama de bloques de Tx y Rx de texto.



Demodulador 8 PSK



Demodulador 16 QAM



Demodulador 64 QAM