



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE TRANSMISION Y RECEPCIÓN
DE TEXTO ENCRIPTADO EN FORMA INALÁMBRICA CON
MODULACIONES QPSK Y 64-QAM CON UNA SOLA PORTADORA

EXAMEN COMPLEXIVO, COMPONENTE PRÁCTICO INFORME DE PROYECTO

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Cristhian Xavier Cercado Suárez

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Boris Ramos por el seguimiento, preocupación del avance del proyecto y brindar las herramientas necesarias para continuar con el desarrollo del mismo, a la Ing. Maricela Freire por la atención a las consultas y orientación brindada en el laboratorio a lo largo del desarrollo del proyecto, y a los evaluadores M.Sc. Juan Romero y M.Sc. Washington Medina por la atención y consejos brindados para la presentación del proyecto

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia y a mi querida Reyna, quienes de una u otra manera hicieron posible que culmine con esta etapa en mi vida.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



M.Sc. Washington Medina

EVALUADOR



M.Sc. Manuel Romero

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 blue ink, reading "Cristhian Cercado Suárez", is written over a solid horizontal line.

Cristhian Xavier Cercado Suárez

C.I.: 1205606633

RESUMEN

En el desarrollo, análisis e implementación de un sistema de comunicación inalámbrica, con modulaciones QPSK y 64-QAM de una sola portadora, se ha utilizado la técnica de Radio Definida por Software (SDR) por medio de herramientas como: el Universal Software Radio Peripheral (USRP) y el software LabVIEW, mismos que han permitido observar y analizar el comportamiento de las dos modulaciones ante canales multipaso en escenarios de tipo Indoor-Comerciales y Outdoor-Areas Rurales, los cuales generan múltiples retardos y desvanecimientos de la señal, cuyos valores se encontraban definidas en tablas de datos.

La información era de tipo texto, el cual antes de ser transmitido se encriptaba a nivel de bits, rotándolos y realizando la operación XOR con una clave secreta. Además se le añadió información de cabecera que contenía la IP de destino y el tamaño. En el receptor se quitaba la cabecera y se desencriptaba el mensaje siguiendo un proceso similar.

Al final se comparó la relación señal/ruido (SNR) y la tasa de error de bits (BER), y la tasa de bits de cada modulación en los diferentes canales.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN	vi
CONTENIDO	vii
ABREVIATURAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	x
INTRODUCCIÓN	11
1. ENCRIPCIÓN	13
2. MODULACIONES	16
2.1 QPSK	16
2.2 64-QAM	17
3. CANALES DE COMUNICACIÓN	20
4. CSMA /ACK	21
5. IMPLEMENTACIÓN	22
6. ANÁLISIS Y RESULTADOS	28
7. CONCLUSIONES	38
8. REFERENCIAS	40
9. ANEXOS	41

ABREVIATURAS

USRP	Universal Software Radio Peripheral
SNR	Signal to Noise Ratio
SDR	Software Defined radio
BER	Bit Error Rate
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
ISI	Inter-Symbol Interference
XOR	Exclusive Or

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Bits ordenados en una matriz de 8x8	14
Fig. 2. Bits de columnas desplazados	14
Fig. 3 Bits luego de operación XOR con clave.....	15
Fig. 4. QPSK codificación Gray	16
Fig. 5. Constelación QPSK.....	17
Fig. 6. Modulación 64-QAM con codificación Gray	18
Fig. 7. Constelación 64-QAM	19
Fig. 8. Se rellenan con bits aleatorios.....	22
Fig. 9. Conversión de arreglo en matrices.	23
Fig. 10. Desplazamiento de columnas y operación XOR	23
Fig. 11. Texto a enviar.....	24
Fig. 12. Texto encriptado.....	24
Fig. 13. Conversión Texto a bits	25
Fig. 14. Modulador QPSK.....	26
Fig. 15. Modulador 64-QAM	27
Fig. 16. Indoor Comerciales Canal A	28
Fig. 17. Indoor Comerciales Canal B	28
Fig. 18. Outdoor-Areas Rurales Canal A	29
Fig. 19. Outdoor-Areas Rurales Canal B	29
Fig. 20. Curvas SNR vs BER en QPSK.....	30
Fig. 21. Curvas SNR vs BER en 64-QAM.....	30
Fig. 22. Curvas SNR vs BER real y simulado en QPSK de Tabla 3.....	31
Fig. 23. Curvas SNR vs BER real y simulado en QPSK de la Tabla 4.....	32
Fig. 24. Curvas SNR vs BER real y simulado en 64-QAM de la tabla 3.....	32
Fig. 25. Curvas SNR vs BER real y simulado en modulación 64-QAM de la Tabla 4.....	33
Fig. 26. Curva Rb vs SNR modulación QPSK Tabla 3 Canal A	34
Fig. 27. Curva Rb vs SNR modulación QPSK Tabla 3 Canal B	34
Fig. 28. Curva Rb vs SNR modulación QPSK Tabla 4 Canal B	35
Fig. 29. Curva Rb vs SNR modulación 64QAM Tabla 3 Canal A	35
Fig. 30. Curva Rb vs SNR modulación 64QAM Tabla 4 Canal A	36
Fig. 31. Curva Rb vs SNR modulación 64QAM Tabla 4 Canal B.....	36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Mapeo de bits a símbolos QPSK	17
Tabla 2. Mapeo de bits modulación 64-QAM.....	18
Tabla 3. Indoor Comerciales	20
Tabla 4. Outdoor-Áreas Rurales.....	20

INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones inalámbricas se enfrentan a un gran desafío, el enviar información a altas tasas de transmisión en grandes áreas con la menor interferencia y atenuación de la señal. Esto ha conllevado a crear diversos tipos de modulaciones cuyo uso va a depender de las características del canal, debido a que al transmitir una mayor tasa de datos el sistema es más sensible a interferencias de la señal.

Uno de los grandes peligros que existe al enviar la información por medios inalámbricos es que ésta pueda ser interceptada fácilmente por terceros que se encuentren dentro del rango. Este hecho impone el reto de enviar información de manera segura, utilizando algún método de encriptación que haga que ésta se vuelva ilegible a terceros que intercepten la información y sólo pueda ser interpretada por el receptor a quien estaba dirigido el mensaje.

Para la implementación del sistema inalámbrico se va a utilizar el Universal Radio Peripheral (USRP) modelo 2920, que posee un rango de frecuencias desde 50 MHz hasta 2.2GHz cubriendo radio FM, GPS, GSM y combinado con el Paquete para Comunicaciones de LabVIEW, permiten generar

prototipos de una amplia variedad de sistemas de comunicaciones inalámbricos MIMO y de un solo canal. [1]

1. ENCRIPCIÓN

La encriptación o cifrado, ha tomado mucha importancia al momento de enviar información, más aún si se trata de información confidencial, debido a que ésta puede ser interceptada por terceros, y hacer uso indebido con la misma y causar grandes perjuicios a personas o empresas.

El cifrar un mensaje hace que sea más difícil leer la información que se transmite en un medio, y esto viene dado por el nivel de cifrado que se utilice, el cual es proporcional a los recursos y técnicas utilizadas. Y por esta razón, tanto el transmisor como el receptor deben conocer el método de cifrado y la clave secreta que se ha utilizado.

En este proyecto, el mensaje se cifra a nivel de bits, los cuales primero se colocan en matrices de ocho filas por ocho columnas, luego se rotan bits que están en cada columna en diferentes valores de rotación, y luego se realiza operación XOR con los bits de la clave secreta, y finalmente se vuelven a colocar los datos en un arreglo de una sola dimensión.

El texto que se usó para realizar las pruebas de encriptación inicia con “Letra del Himno Nacional del Ecuador”, y la encriptación se realiza en bloques de 8 caracteres, por cuanto los primeros bits del mensaje se muestran en la figura 1.

Bits									
$\frac{A}{V}$ 0	0	1	0	0	1	1	0	0	L
$\frac{A}{V}$ 0	0	1	1	0	0	1	0	1	e
	0	1	1	1	0	1	0	0	t
	0	1	1	1	0	0	1	0	r
	0	1	1	0	0	0	0	1	a
	0	0	1	0	0	0	0	0	
	0	1	1	0	0	1	0	0	d
	0	1	1	0	0	1	0	1	e

Fig. 1. Bits ordenados en una matriz de 8x8

Luego de ser colocados en forma de matriz, cada columna de la misma se rota de manera vertical con valores diferentes de rotación, como se observa en la figura 2.

Matriz desplazada								
$\frac{A}{V}$ 0	0	1	1	0	0	0	0	1
$\frac{A}{V}$ 0	0	0	1	0	0	0	0	0
	0	1	0	1	0	0	0	1
	0	1	1	1	0	1	0	0
	0	1	1	0	0	1	0	0
	0	1	1	0	0	1	0	1
	0	1	1	0	0	1	1	0
	0	1	1	0	1	1	0	0

Fig. 2. Bits de columnas desplazados

Después de ser desplazados los bits de cada columna, se realiza la operación XOR con una clave secreta, quedando los bits cifrados como se representa en la figura 3.

Operacion XOR

0	0	1	0	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	1	1	0	0	1	0	0
	0	0	1	1	0	1	0	1
	0	0	1	1	0	1	1	0
	0	0	0	0	1	1	0	0

Fig. 3 Bits luego de operación XOR con clave

2. MODULACIONES

Las modulaciones que se utilizaron en el presente proyecto son QPSK y 64-QAM

2.1 QPSK

Modulación por desplazamiento de frecuencia en cuadratura, es una generalización compleja de BPSK, ya que la utiliza tanto para la parte real e imaginaria [2]. Los bits de datos se toman en grupos de dos bits, para formar un símbolo, el cual se ubica con codificación representada en la figura 4.

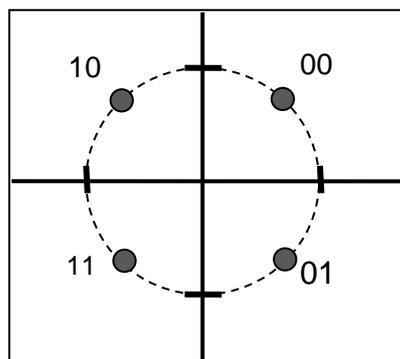


Fig. 4. QPSK codificación Gray

Y la constelación de la modulación QPSK se muestra en la figura 5. El mapeo de los símbolos está representado en la Tabla 1.

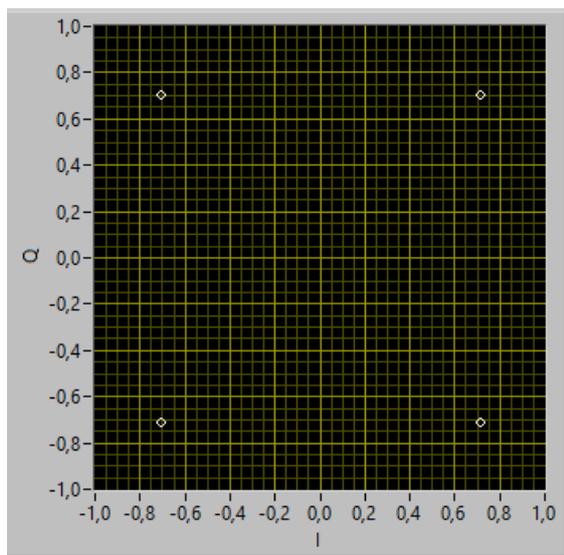


Fig. 5. Constelación QPSK

Bits	Símbolo
00	$1+i$
01	$1-i$
11	$-1-i$
10	$-1+i$

Tabla 1. Mapeo de bits a símbolos QPSK

2.2 64-QAM

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM) es una técnica de modulación que utiliza la modulación en fase y modulación de amplitud, que al igual que QPSK los símbolos en la constelación utiliza codificación Gray para minimizar la tasa de error de bits, en este caso se va a utilizar modulación 64-QAM, el cual consta de 64 símbolos que representan 6 bits por cada símbolo, cuyo mapeo de símbolos se detalla en la Tabla 2, los

cuales se ubican como se muestra en la figura 6 y la constelación se observa en la figura 7.

Bits	Símbolo	Bits	Símbolo	Bits	Símbolo	Bits	Símbolo
000000	$7+7i$	010000	$7-7i$	000101	$7+3i$	010101	$7-3i$
000010	$5+7i$	010010	$5-7i$	000111	$5+3i$	010111	$5-3i$
001010	$3+7i$	011010	$3-7i$	001111	$3+3i$	011111	$3-3i$
001000	$1+7i$	011000	$1-7i$	001101	$1+3i$	011101	$1-3i$
101000	$-1+7i$	111000	$-1-7i$	101101	$-1+3i$	111101	$-1-3i$
101010	$-3+7i$	111010	$-3-7i$	101111	$-3+3i$	111111	$-3-3i$
100010	$-5+7i$	110010	$-5-7i$	100111	$-5+3i$	110111	$-5-3i$
100000	$-7+7i$	110000	$-7-7i$	100101	$-7+3i$	110101	$-7-3i$
100001	$-7+5i$	110001	$-7-5i$	100100	$-7+i$	110100	$-7-i$
100011	$-5+5i$	110011	$-5-5i$	100110	$-5+i$	110110	$-5-i$
101011	$-3+5i$	111011	$-3-5i$	101110	$-3+i$	111110	$-3-i$
101001	$-1+5i$	111001	$-1-5i$	101100	$-1+i$	111100	$-1-i$
001001	$1+5i$	011001	$1-5i$	001100	$1+i$	011100	$1-i$
001011	$3+5i$	011011	$3-5i$	001110	$3+i$	011110	$3-i$
000011	$5+5i$	010011	$5-5i$	000110	$5+i$	010110	$5-i$
000001	$7+5i$	010001	$7-5i$	000100	$7+i$	010100	$7-i$

Tabla 2. Mapeo de bits modulación 64-QAM

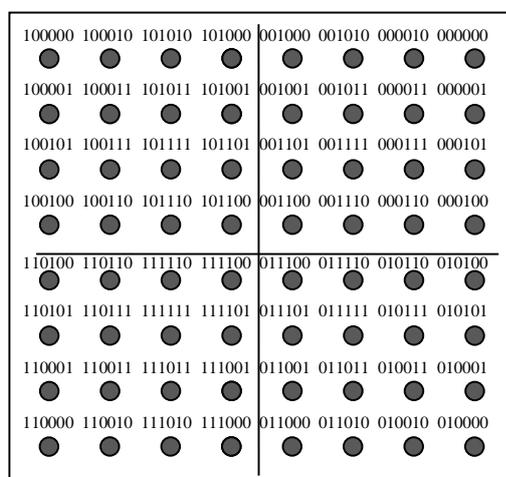


Fig. 6. Modulación 64-QAM con codificación Gray

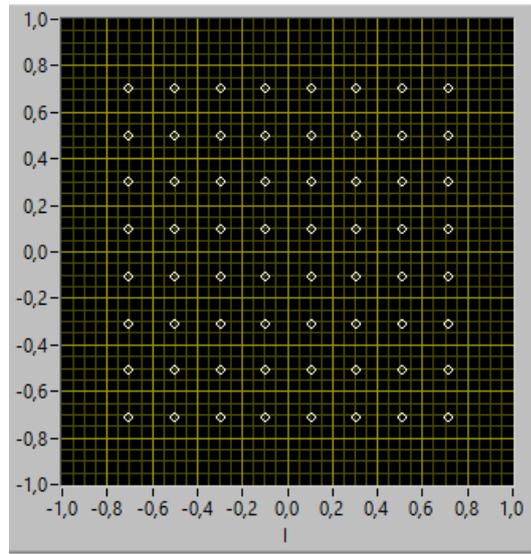


Fig. 7. Constelación 64-QAM

3. CANALES DE COMUNICACIÓN

Los canales de comunicación en los que se implementó el proyecto son multipaso, en el cual la señal sigue diversos caminos, lo que genera que la misma señal llegue con diversos retardos, desfasados y atenuados. Además, si se incrementa la potencia de la señal, también se aumentará la potencia del ISI [3]. Lo que se ha representado en escenarios Indoor y Outdoor como se pueden observar en las Tablas [3] y [4].

Nº	CANAL A		CANAL B	
	Retraso (ns)	Potencia (dB)	Retraso (ns)	Potencia (dB)
1	0	0	0	0
2	100	-5.9	100	-0.2
3	200	-14.6	200	-5.4
4			400	-6.9
5			500	-24.5
6			700	-29.7

Tabla 3. Indoor Comerciales

Nº	CANAL A		CANAL B	
	Retraso (ns)	Potencia (dB)	Retraso (ns)	Potencia (dB)
1	0	0	0	0
2	200	-2.0	100	-4.0
3	400	-10.0	200	-8.0
4	600	-20.0	300	-12.0
5			400	-16.0
6			500	-20.0

Tabla 4. Outdoor-Áreas Rurales

4. CSMA /ACK

CSMA (Carrier Sense Multiple Access), es un protocolo de comunicaciones, en el cual antes de realizar una transmisión de datos, el transmisor sensa el canal para verificar si una portadora está presente, si éste se encuentra libre, se inicia la transmisión de la información [4].

El ACK (acknowledgement) es una señal utilizada en comunicaciones digitales, por medio de la cual el receptor indica al transmisor que el mensaje ha sido recibido con éxito.

5. IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación del sistema de una portadora con modulación QSPK y 64QAM se utilizó las plantillas de las prácticas realizadas en el laboratorio, modificando los bloques de modulación, demodulación principalmente, para que se adapte a los esquemas de modulación a utilizar. Además que se utilizó un empaquetado de trama el cual contiene dirección del paquete, longitud del texto, los bits de datos encriptados con clave secreta.

Para la encriptación se utilizó la técnica de distribuir los datos en matrices de 8x8. Si no existen bits suficientes para completar las matrices, se rellenan con valores aleatorios de 1 y 0. Figura 8.

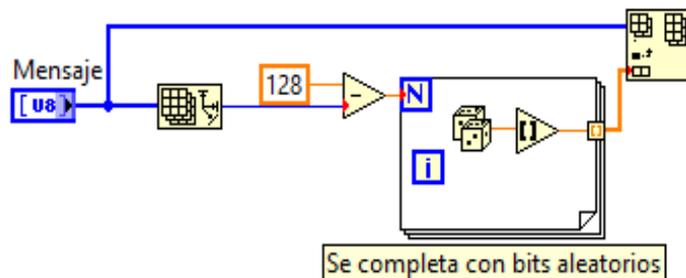


Fig. 8. Se rellenan con bits aleatorios

Luego de lo cual se convierte el arreglo de datos en dos matrices de 8x8, como se muestra en la figura 9.

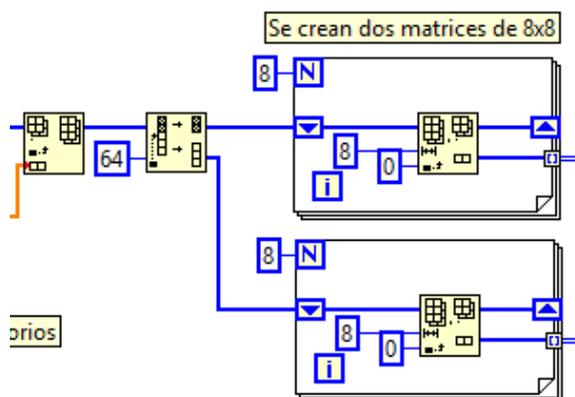


Fig. 9. Conversión de arreglo en matrices.

Se rotan las columnas y se realiza la operación XOR como está representada en la figura 10. Al utilizar esta operación tanto en el transmisor como en el receptor, se puede obtener fácilmente el mensaje original.

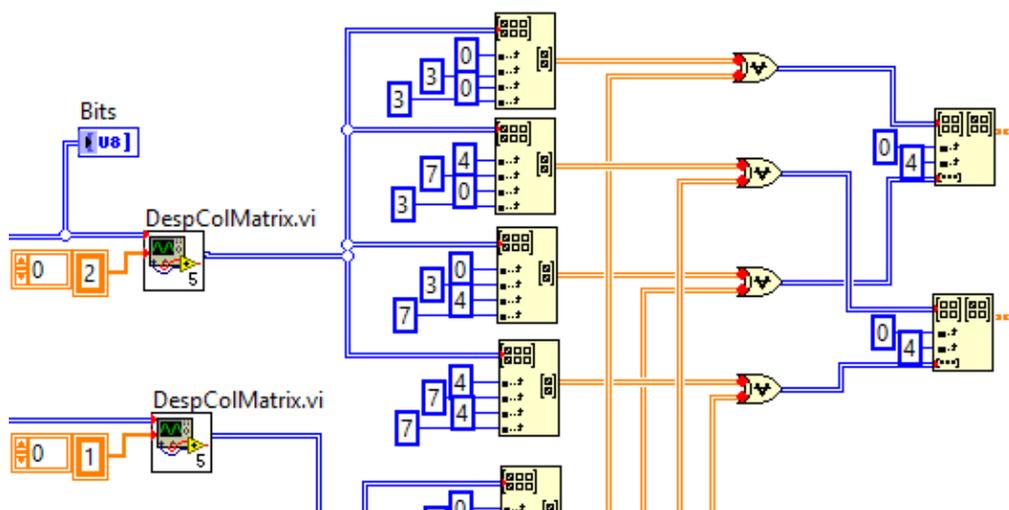


Fig. 10. Desplazamiento de columnas y operación XOR

El texto original y el mismo luego de la encriptación se observa en la figura 11 y figura 12 respectivamente.

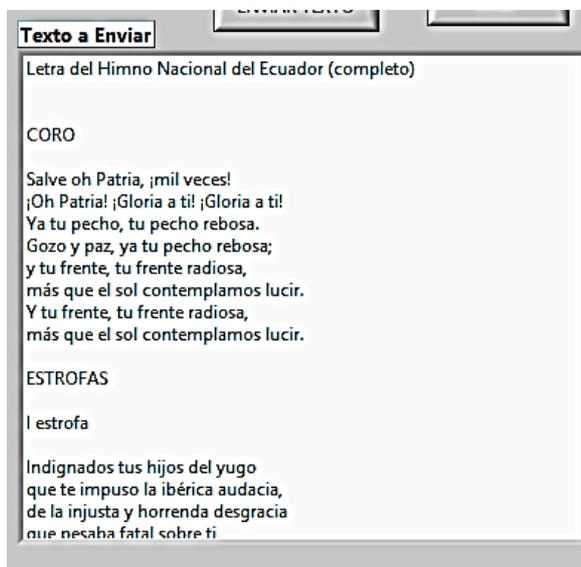


Fig. 11. Texto a enviar

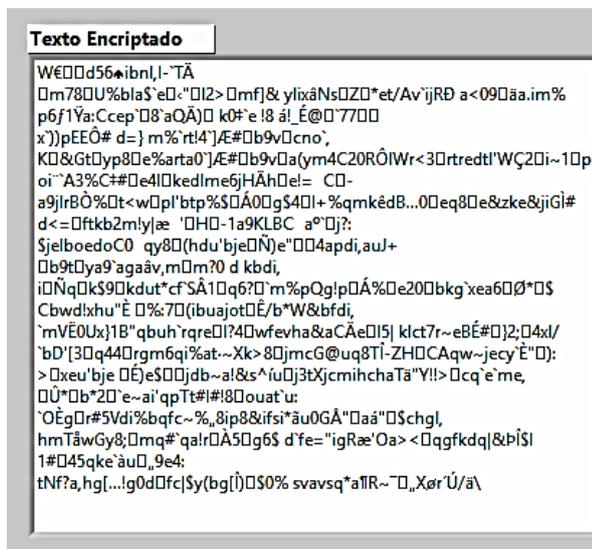


Fig. 12. Texto encriptado

En la recepción se realiza un proceso similar, pero de manera inversa, primero se los ordena en forma de matrices, se realiza la operación XOR con la clave secreta, se rotan de manera contraria las columnas, y se los ordena en forma de arreglo, obteniendo así el mensaje original.

Para convertir el texto a bit se utilizó el convertidor de texto a arreglo de bytes, tomando caracter por caracter, luego, cada uno se convierte a booleano y luego a unos y ceros, se invierte debido a que el número sale invertido. Figura 13.

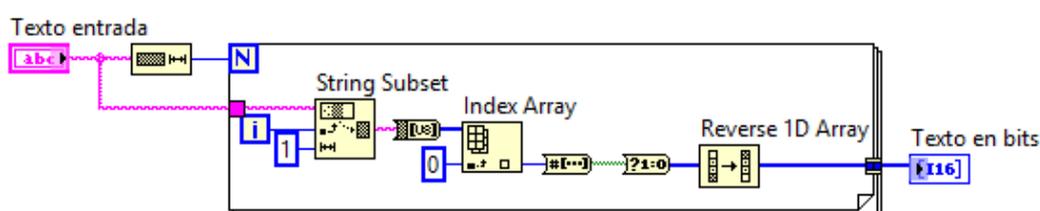


Fig. 13. Conversión Texto a bits

Para el modulador y demodulador QPSK, se utilizó el archivo de la práctica 4, en el cual para el mapeo de los símbolos se utilizó la estructura Case de forma anidada, y al final se modularizó para que su energía sea 1, como se muestra en la figura 14.

Para el modulador y demodulador 64-QAM, se tomaban 6 bits, se convertía en un número y se lo usaba como índice para tomar el símbolo dentro de un arreglo que contenía el mapeo de los bits y al final se divide para la raíz de 98 logrando que su energía sea 1, como se observa en la figura 15.

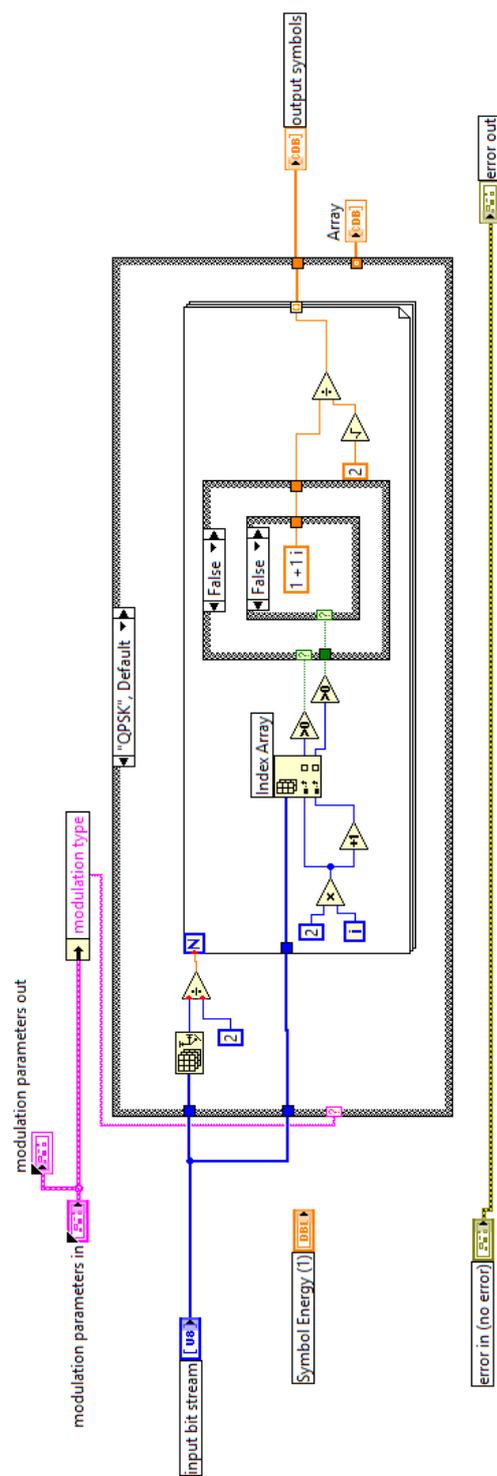


Fig. 14. Modulador QPSK

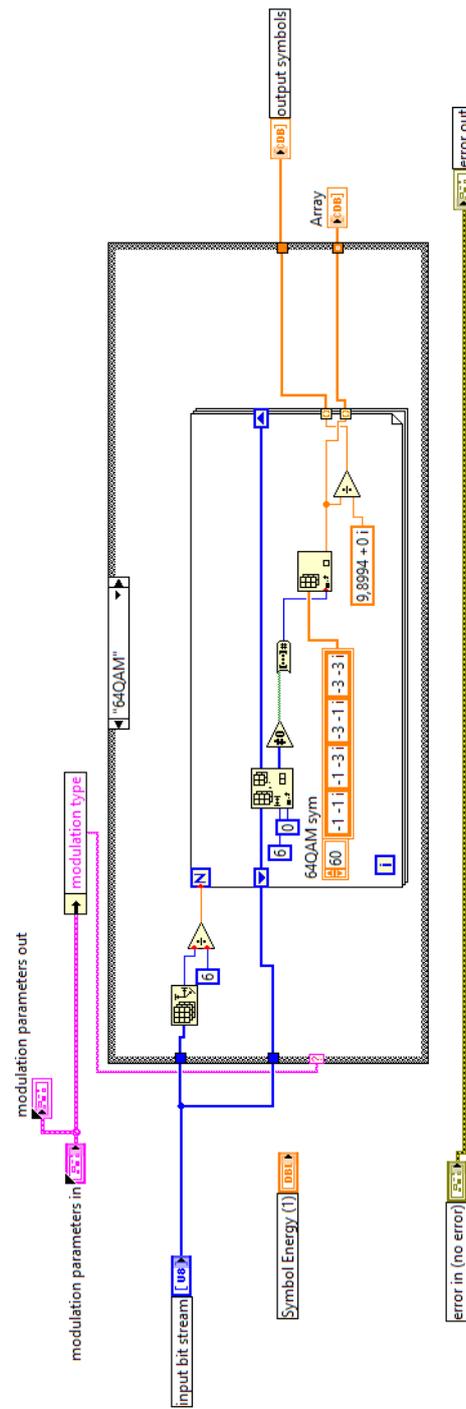


Fig. 15. Modulador 64-QAM

6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

La primera prueba que se realizó, fue observar la respuesta del canal en las diferentes configuraciones que se detallaron en las Tablas 3 y 4, obteniendo los Perfiles de Retardo de Potencia, figuras 16 a 19.

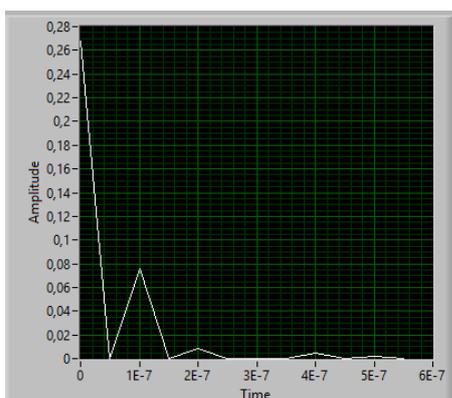


Fig. 16. Indoor Comerciales Canal A

Se observa en la figura 16 que el canal A de la Tabla 3, tiene dos componentes multipaso atenuadas y distanciadas 100ns.

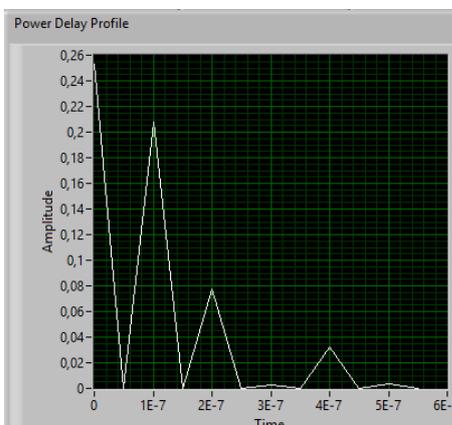


Fig. 17. Indoor Comerciales Canal B

En la figura 17 se puede observar que el canal B de la Tabla 3, tiene una componente multipaso muy fuerte, entre otras de menor amplitud, y puede causar interferencia, lo que generaría tasas de errores de bits elevados.

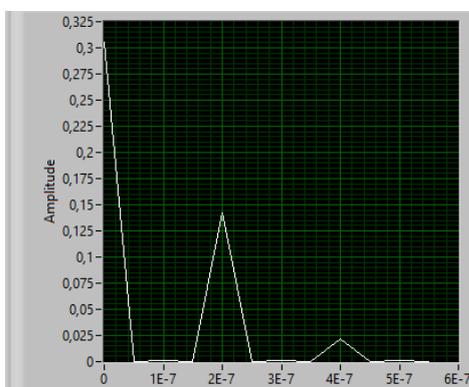


Fig. 18. Outdoor-Areas Rurales Canal A

El canal A de la tabla 4, tiene componentes multipaso distanciadas 200ns, pero atenuadas según la figura 18.

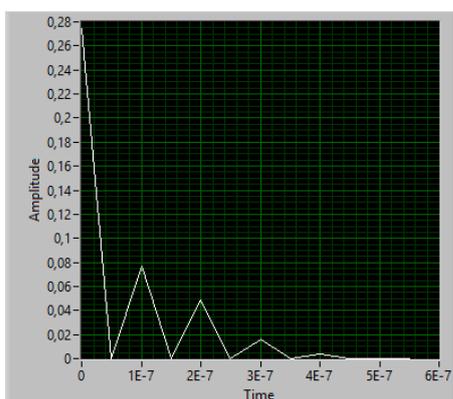


Fig. 19. Outdoor-Areas Rurales Canal B

El canal B de la Tabla 4, posee varias componentes multipaso, muy cercanas pero también muy atenuadas.

Luego de analizar los canales multipaso, se procedió a realizar pruebas de comparación entre la relación señal/ruido y la tasa de error de bits, para cada modulación.

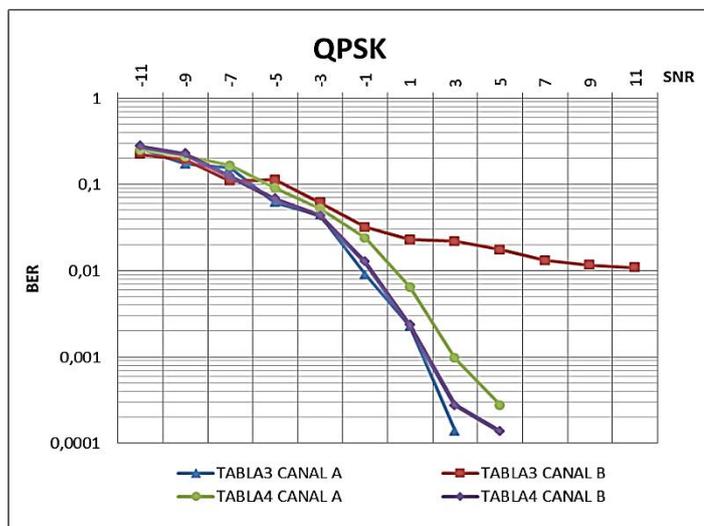


Fig. 20. Curvas SNR vs BER en QPSK

Como se puede observar en la figura 18, tres canales tienen respuestas similares en modulación QPSK, pero el canal B de la Tabla 3 mantuvo un nivel de tasa de errores de bits constante a pesar de aumentar el SNR.

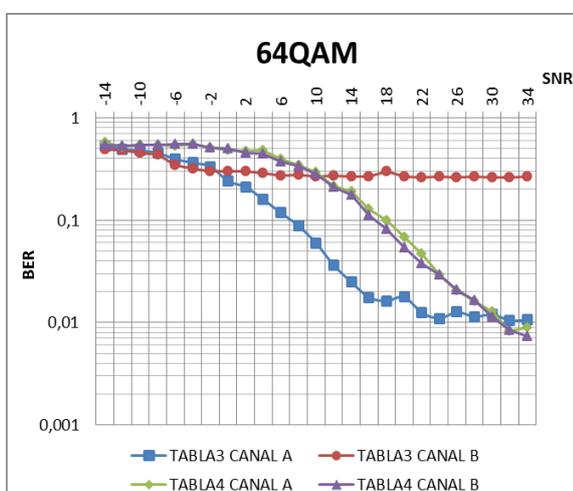


Fig. 21. Curvas SNR vs BER en 64-QAM

En la modulación 64-QAM se obtuvo una menor tasa de error de bits en el canal A de la Tabla 3, y una constante y alta tasa de error de bits en el canal B de la Tabla 3, según la figura 21.

Luego se procedió a comparar los valores obtenidos en el laboratorio con los valores simulados de cada canal en cada modulación.

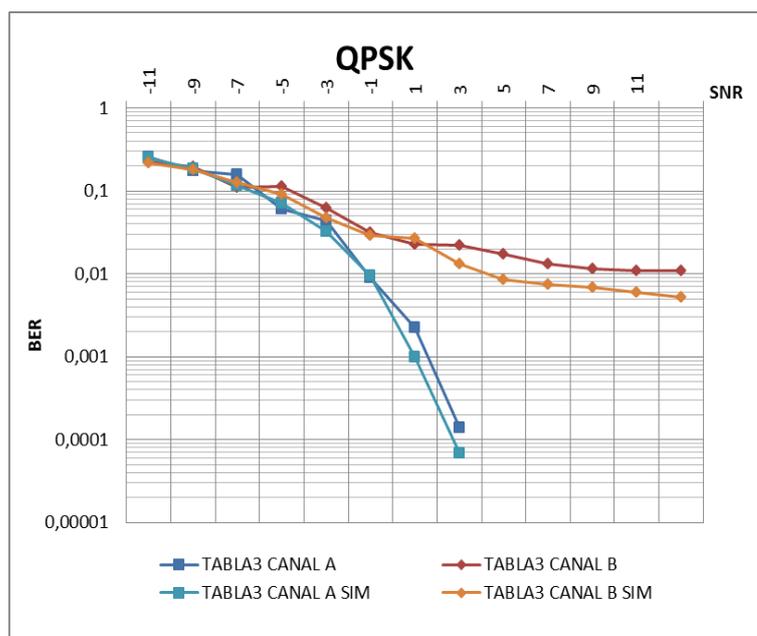


Fig. 22. Curvas SNR vs BER real y simulado en QPSK de Tabla 3

Se puede observar como los valores reales y simulados de los canales A y B de la Tabla 3 son muy cercanos, en la modulación QPSK.

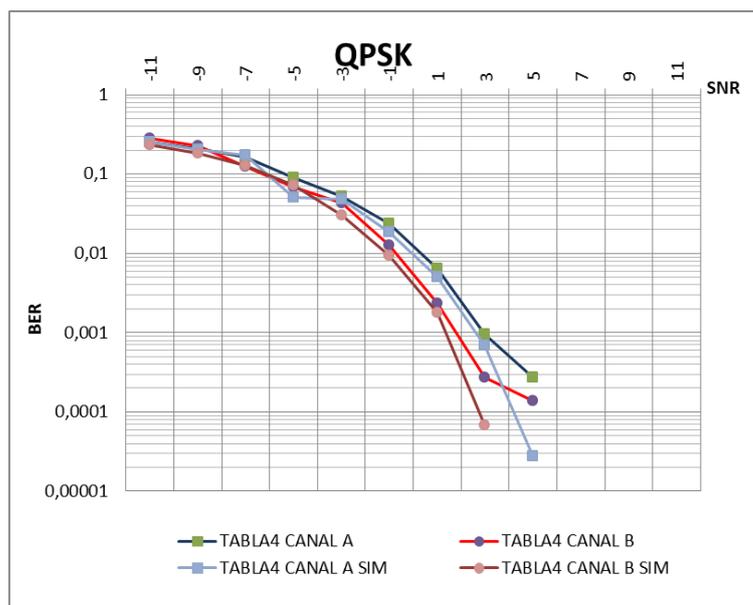


Fig. 23. Curvas SNR vs BER real y simulado en QPSK de la Tabla 4

Para los canales A y B de la Tabla 4, la modulación QPSK tiene un comportamiento similar entre los datos reales y los obtenidos en la simulación. Figura 23.

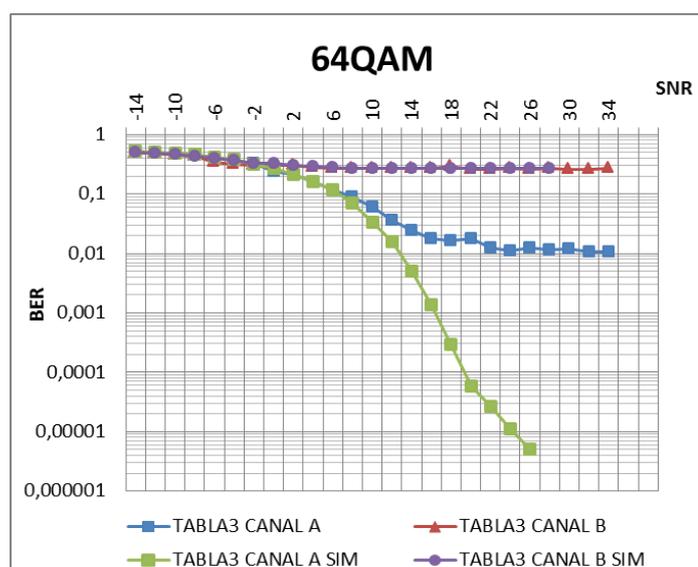


Fig. 24. Curvas SNR vs BER real y simulado en 64-QAM de la tabla 3

Se logra observar que en el canal B de la tabla 3, el comportamiento real es igual al simulado, indicando que tiene un valor de BER constante en los diferentes valores de SNR, pero en el canal A, el simulado obtuvo valores más bajos que el real en la modulación 64-QAM. Figura 24.

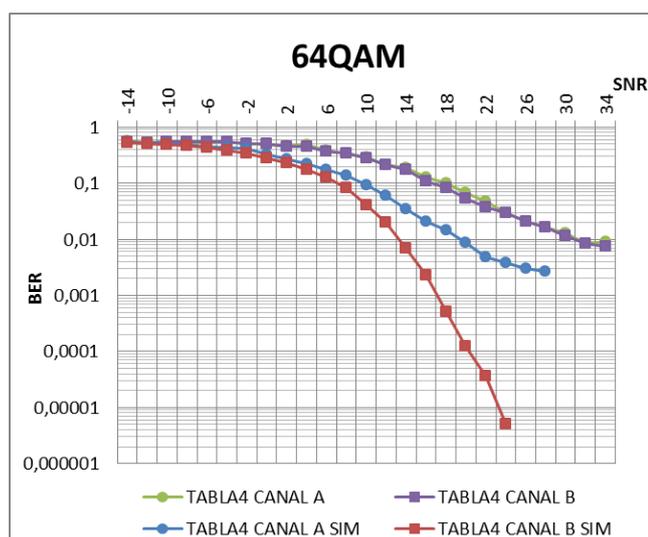


Fig. 25. Curvas SNR vs BER real y simulado en modulación 64-QAM de la Tabla 4

Se observa que los canales A y B reales, tienen una misma tasa de error de bits, y en el simulado el canal B presentó valores más bajos de error de bits. Figura 25.

Luego se analizó las curvas R_b vs SNR, donde se observará como afecta el ruido a la tasa de datos máxima que se puede transmitir logrando recuperar la información

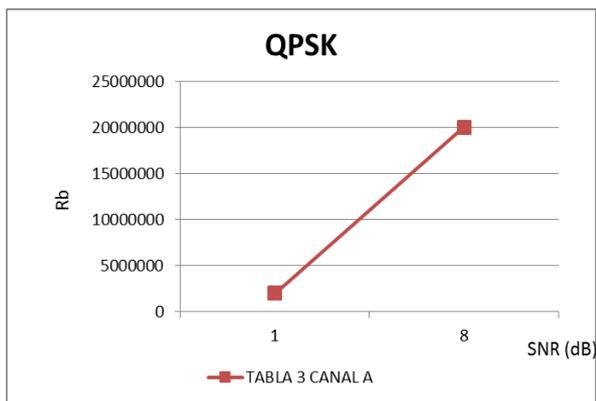


Fig. 26. Curva Rb vs SNR modulación QPSK Tabla 3 Canal A

En la figura 26 se aprecia que la tasa máxima a transmitir es 2Mbps con una relación señal a ruido de 8 dB.

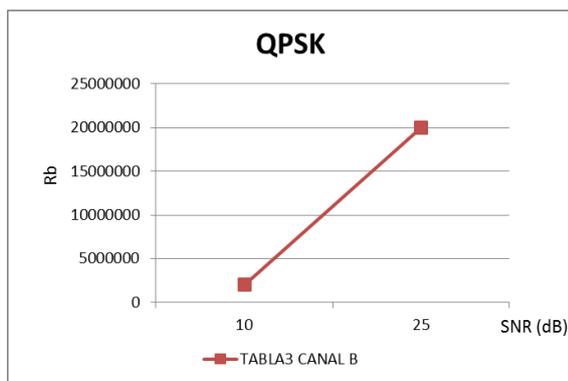


Fig. 27. Curva Rb vs SNR modulación QPSK Tabla 3 Canal B

En el canal B se aprecia que se puede enviar una tasa de bits de 2Mbps, pero a costa de aumentar la relación señal/ruido a 25 dB. Figura 26.

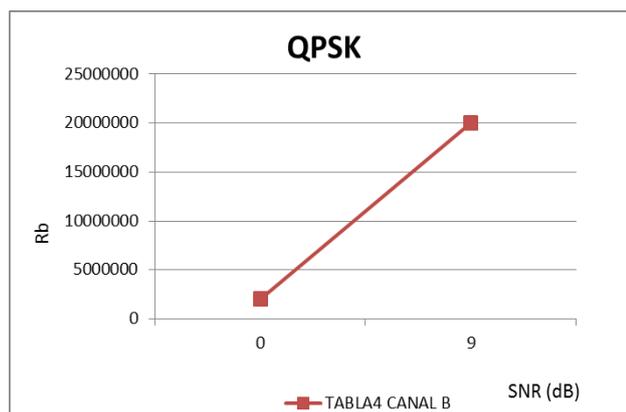


Fig. 28. Curva Rb vs SNR modulación QPSK Tabla 4 Canal B

El canal B de la tabla 4 tiene un comportamiento similar al de las tasas de bits de los canales A de las Tablas 3 y 4. Figura 28.

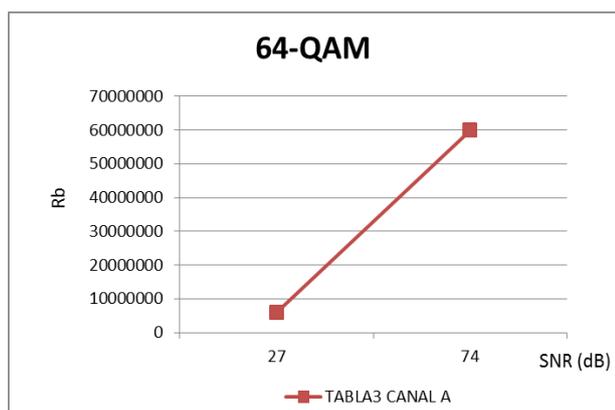


Fig. 29. Curva Rb vs SNR modulación 64QAM Tabla 3 Canal A

Se logra visualizar que la tasa de bits con la modulación 64QAM es muy alta, llegando a 6Mbps, pero a un coste de elevar la relación señal/ruido a 74 dB. Figura 29.

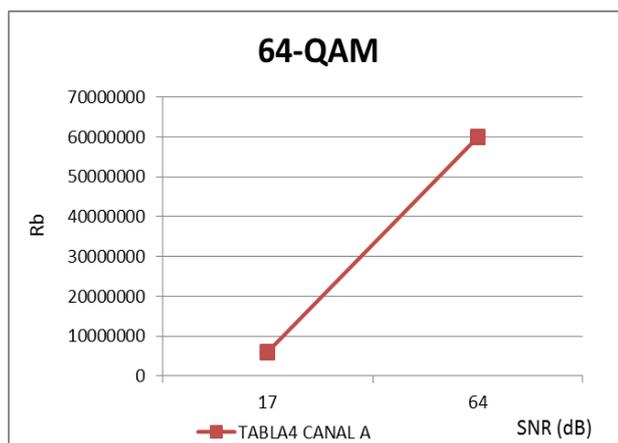


Fig. 30. Curva Rb vs SNR modulación 64QAM Tabla 4 Canal A

En el canal B de la Tabla 3, con la modulación 64QAM, no se pudo lograr transmitir correctamente los datos bajo ningún nivel de SNR.

La tasa de bits del canal A de la Tabla 4, llega a los 6Mbps, pero con una SNR de 64 dB, menor al del canal A de la tabla 3. Figura 30.

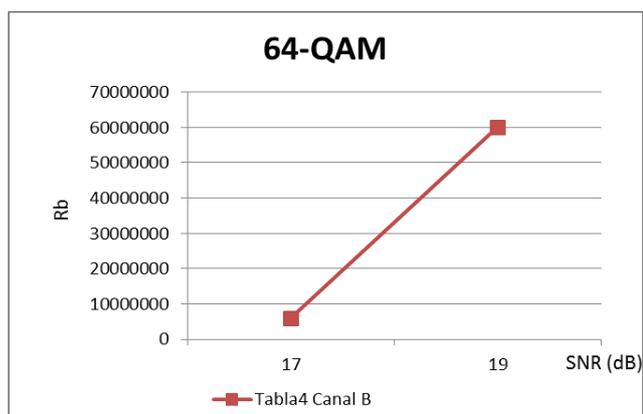


Fig. 31. Curva Rb vs SNR modulación 64QAM Tabla 4 Canal B

En el canal B de la Tabla 4, se pudo obtener nuevamente una tasa de bits de 6 Mbps, a un nivel de 19 dB de SNR. Figura 31. Siendo este valor menor que los canales anteriores.

7. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de las dos modulaciones en los canales de las tablas [3] y [4], se concluye que:

- En la modulación QPSK, la tasa de error de bits es muy similar entre los canales A y B de la Tabla 4, y el canal A de la Tabla 3, debido a que las componentes multipaso de estos canales, tenían atenuaciones altas, logrando así que la Interferencia entre símbolos sea muy baja.
- La segunda componente multipaso del canal B de la tabla 3, al no tener mucha atenuación, generó interferencia entre los símbolos, manteniendo elevada la tasa de error de bits en ambas modulaciones.
- La modulación QPSK es más robusta al ruido y a la interferencia entre símbolos, logrando transmitir la información con bajos niveles de SNR y bajos niveles a BER.
- La modulación 64QAM logró una tasa de bits tres veces mayor que la modulación QPSK, pero a un costo de elevar la relación señal/ruido, recomendable en ambientes no tan agresivos.
- La modulación QPSK es más robusta que 64QAM, debido a que la distancia entre símbolos es mayor, pero la modulación 64QAM envía

datos a una mayor tasa debido a que envía seis bits por símbolo, a diferencia de QPSK que sólo envía 2 por cada uno de ellos.

- Al mantenerse la energía máxima de los símbolos en 1, hace que la modulación QPSK sea más robusta que la modulación 64QAM ante el ruido, ya que la distancia entre los símbolos es mayor en QPSK debido a que solo hay 4 símbolos en el mismo espacio en el cual hay 64 en la modulación 64QAM.

8. REFERENCIAS

[1] National Instruments «USRP – National Instruments» 2016 [En línea].
Disponible en: <http://www.ni.com/sdr/usrp/esa/> [Ultimo acceso: 31/10/2016]

[2] Manual de prácticas del Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas
FIEC-ESPOL. Práctica No 4.

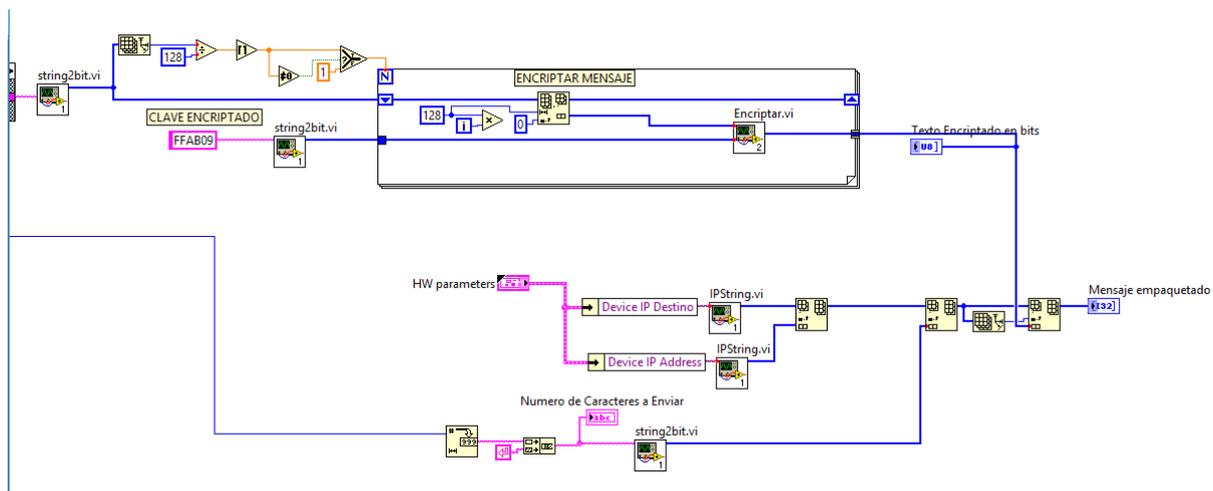
[3] B. A. Floreano Tumbaco, S. A. Jácome Rendón, Santiago A. Mitigacion
del ISI (Interferencia Intersimbolica) sobre un Sistema WiMAX Fijo. 2010.
Tesina de Seminario, previo a obtener el título de Ingeniero. [En línea].
Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/11207>

[4] A. Tanenbaum y D. Wetherall, Redes de Computadoras, 5ta Edición.
Pearson, 2012

9. ANEXOS

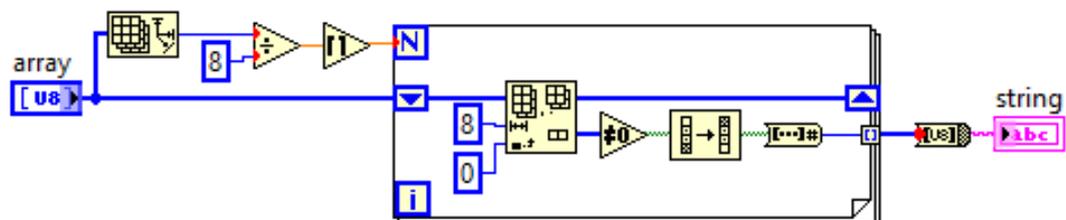
ANEXO 1

DIAGRAMA DE BLOQUES EMPAQUETADO DE IPS, TAMAÑO Y MENSAJE ENCRIPTADO



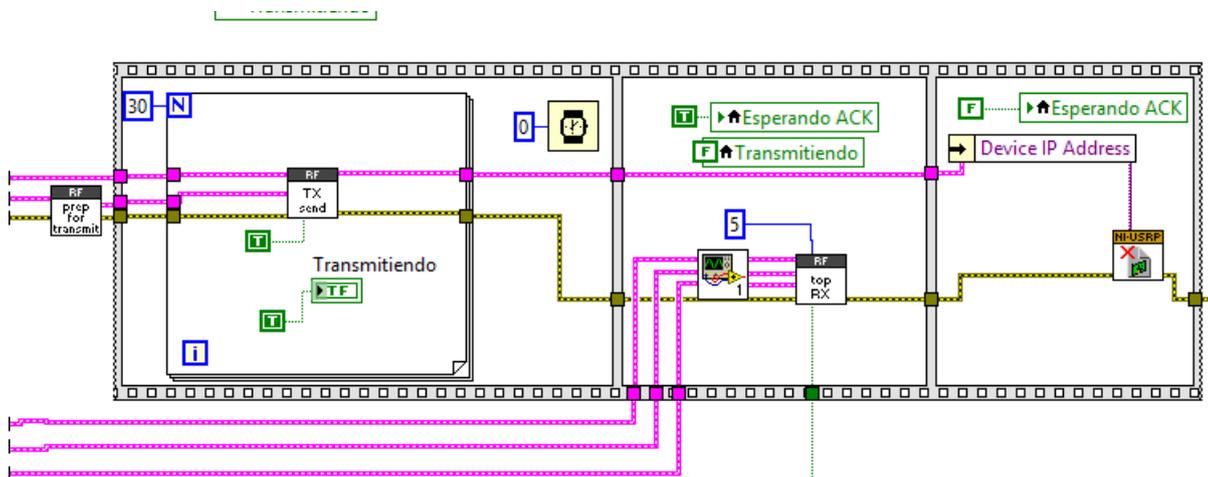
ANEXO 2

DIAGRAMA DE BLOQUES CONVERSIÓN BITS A TEXTO



ANEXO 3

DIAGRAMA DE BLOQUES TRANSMISIÓN Y ESPERA DEL ACK



ANEXO 4

DIAGRAMA DE BLOQUES DESENCRIPTADO DEL MENSAJE

