

+



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN INALÁMBRICA OFDM DE
TEXTO CON MODULACIONES QPSK Y 16QAM

**EXAMEN COMPLEXIVO, COMPONENTE PRÁCTICO
INFORME DE PROYECTO**

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

RAUL ISRAEL BEJARANO SARITAMA

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2017


AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ph.D. Boris Ramos coordinador de la Maestría y a los evaluadores M.Sc. Edison Del Rosario y M.Sc. César Yopez por la atención y consejos brindados para la presentación del proyecto.

DEDICATORIA

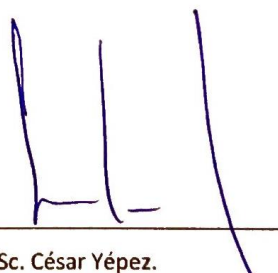
Dedico este logro a Dios a mi novia y a mi familia por el apoyo recibido durante todo este tiempo, siendo ellos la principal motivación para alcanzar este objetivo.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



M.Sc. Edison del Rosario.

EVALUADOR



M.Sc. César Yépez.

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.



Raúl Israel Bejarano Saritama

C.I.: 0922666664

RESUMEN

En el presente trabajo se implementó un sistema de transmisión y recepción inalámbrica para texto, basado en la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM), modulaciones QPSK y 16QAM, codificación de canal (Turbocódigo). Para el sistema propuesto se realizó: un análisis e implementación utilizando un equipo Universal Software Radio Peripheral (USRP) y el software Labview. El equipo permite mostrar y entender de manera práctica los conceptos teóricos de sistema de comunicación, permitiendo analizar el funcionamiento y comportamiento de manera simulada y real. Las pruebas fueron desarrolladas en el laboratorio, aplicando y observando el comportamiento ante diferentes escenarios de canales multipaso que generan múltiples retardos y desvanecimiento de señal, con el objetivo de analizar la relación señal/ruido y la tasa de error de bit entre los escenarios presentados.

CONTENIDO

CONTENIDO	6
ABREVIATURAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABLAS	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. CANAL MULTIPASO	11
3. MODULACIONES	12
3.1. QPSK	12
3.2. 16 QAM	13
4. CODIFICACIÓN DE CANAL	14
5. INFORMACIÓN A TRANSMITIR	15
5.1. CSMA /ACK	16
6. IMPLEMENTACIÓN	16
ANÁLISIS Y RESULTADOS	20
CANAL OUTDOOR AREAS RURALES	24
CONCLUSIONES	32
REFERENCIAS	33
ANEXOS	34

ABREVIATURAS

BER	Bit Error Rate
SNR	Signal to Noise Ratio
USRP	Universal Software Radio Peripheral
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desvanecimiento Plano	11
Figura 2. Desvanecimiento de frecuencia selectiva.	12
Figura 3 Representación Constelación QPSK.	12
Figura 4 Constelación 16 QAM.	13
Figura 5 Diagrama de bloques codificador convolucional.	15
Figura 6 Función String to Bits	17
Figura 7. Modulación QPSK	17
Figura 8. Diagrama Modulador QPSK.	18
Figura 9. Diagrama Modulador 16QAM.	19
Figura 10. Perfil potencia-retardo INDOOR RA.	21
Figura 11. Perfil potencia-retardo INDOOR RB..	22
Figura 12. Relación BER Vs SNR / QPSK INDOOR..	23
Figura 13. . Relación BER Vs SNR / 16 QAM INDOOR.	23
Figura 14. Perfil potencia-retardo OUTDOOR A.	24
Figura 15. Perfil potencia-retardo OUTDOOR B.	25
Figura 16. Relación BER Vs SNR / QPSK OUTDOOR.	26
Figura 17. Relación BER Vs SNR / 16 QAM OUTDOOR.	27
Figura 18. Relación BER Vs SNR / QPSK INDOOR Y OUTDOOR.	27
Figura 19. Relación BER Vs SNR / 16QAM INDOOR Y OUTDOOR.	28
Figura 20. Relación BER Vs SNR / QPSK-16QAM INDOOR.	28
Figura 21. Relación BER Vs SNR / QPSK-16QAM OUTDOOR.	29
Figura 22. Relación BER Vs SNR / QPSK Codificación Turbo código a tasa 1/2 y 2/3.	29
Figura 23. Relación BER Vs SNR / 16QAM Codificación Turbo código a tasa 1/2 y 2/3.	30
Figura 24. BER Vs RB / QPSK CODIFICADO.	30
Figura 25. Relación BER Vs RB / 16QAM CODIFICADO.	31

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. QPSK bits mapeados.....	13
Tabla 2 . 16QAM bits mapeados.	14
Tabla 3. Canales Indoor residenciales.....	20
Tabla 4. Canales Outdoor rurales.....	24

1. INTRODUCCIÓN

Dado que en la actualidad los usuarios demandan mejor calidad de servicio con altas tasas de transmisión, han incentivado el desarrollo de nuevas tecnologías en el área de las comunicaciones inalámbricas, implementadas inclusive en situaciones con baja cobertura y con alto nivel de interferencia. En consecuencia, existen distintos tipos de modulaciones de las cuales OFDM es una técnica de transmisión apropiada para los escenarios descritos [1].

OFDM es una técnica de transmisión que se basa en la mutiplexación de un conjunto de ondas denominadas sub-portadoras, las cuales tienen diferentes frecuencias. Debido a que la respuesta de frecuencia de las sub-portadoras es ortogonal, se permite el uso eficiente del espectro, teniendo como resultado la reducción de la interferencia interportadora ICI, mayor ganancia y desvanecimiento plano. [2].

Para analizar el comportamiento de este sistema, se utilizó el Universal Software Radio Peripheral (USRP) modelo 2920, que es un radio definido por Software (SDR) que ofrece versatilidad en uso y programación del mismo.

El software compatible y complementario con el USRP que permite procesar los datos transmitidos hacia y desde el USRP, es denominado Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabView), el programa es desarrollado por National Instruments, el cual se basa en un entorno gráfico [3].

Labview integra otros lenguajes en la misma interfaz gracias a librerías para el procesamiento digital y adquisición de información, lo que reduce el tiempo de desarrollo de aplicaciones.

En el presente proyecto se analiza el comportamiento y funcionamiento de un sistema de comunicación inalámbrico, para distintos escenarios de: canales multipaso, modulación y codificación de canal.

2. CANAL MULTIPASO

El canal multipaso es aquel en el que la señal se propaga por múltiples trayectorias lo que provoca desvanecimiento y distorsión de la misma [4].

Se conocen dos tipos de desvanecimientos de la señal:

1. Desvanecimiento Plano: donde se cumple la condición que:

Ancho de banda de la señal < Ancho de banda del canal.

Gráficamente se representa como en la Figura 1.

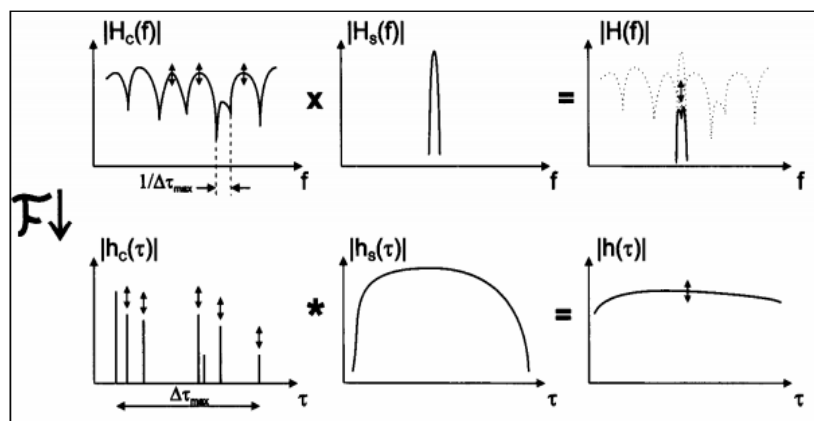


Figura 1. Desvanecimiento Plano

2. Desvanecimiento de frecuencia selectiva: es aquel en el que se cumplen las siguientes condiciones.

Ancho de banda de la señal > Ancho de banda del canal.

Gráficamente ser representa como en la Figura 2.

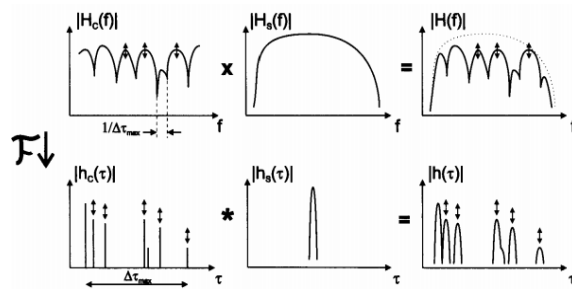


Figura 2. Desvanecimiento de frecuencia selectiva.

3. MODULACIONES

Las modulaciones que se implementaron son QPSK y 16 QAM.

3.1. QPSK

QPSK es la modulación en donde los datos son representados por dos bits. Cada par de bits forma un símbolo, cuyo mapeo se representa en la tabla 1, formando una constelación de 4 símbolos como se muestra en la Figura 3 [5].

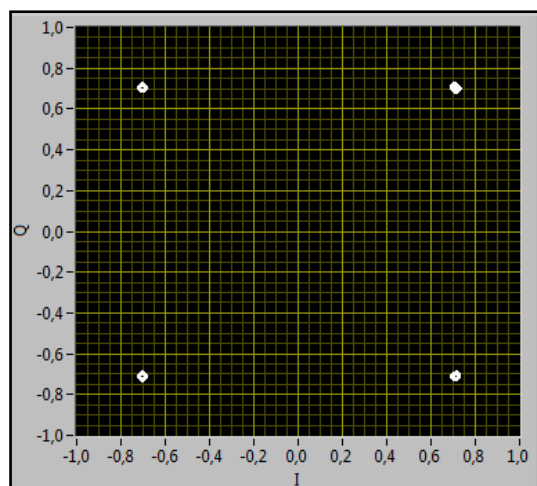


Figura 3 Representación Constelación QPSK.

Código de bits	Símbolos
0	$1+i$
10	$-1+i$
11	$-1-i$
1	$1-i$

Tabla 1. QPSK bits mapeados.

Una de las ventajas de la modulación QPSK es su robustez ante el ruido debido a la gran distancia entre símbolos, sin embargo, al tener pocos símbolos representa una menor capacidad en la transferencia de datos.

3.2. 16 QAM

QAM denominada modulación en amplitud por cuadratura, a diferencia de QPSK los datos son representados en grupos de 4 bits, cada grupo de bits forma un símbolo. En la tabla 2 se muestra el valor que toma cada símbolo, teniendo como resultado que la constelación representa 16 símbolos como se puede observar en la Figura 4.

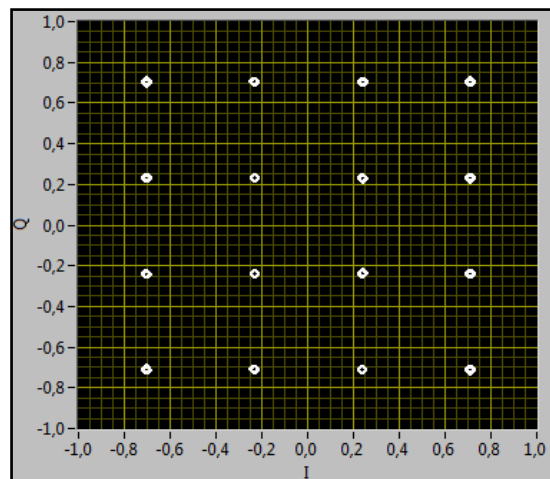


Figura 4 Constelación 16 QAM.

Bits	Símbolos
0	$-3+3i$
1	$-3+i$
11	$-3-i$
10	$-3-3i$
100	$-1+3i$
101	$-1+i$
111	$-1-i$
110	$-1-3i$
1100	$1+3i$
1101	$1+i$
1111	$1-i$
1110	$1-3i$
1000	$3+3i$
1001	$3+i$
1011	$3-i$
1010	$3-3i$

Tabla 2 . 16QAM bits mapeados.

Permite una tasa superior de transmisión de datos en comparación con QPSK, sin embargo es más susceptible al ruido debido a la cercanía de los símbolos.

4. CODIFICACIÓN DE CANAL

La codificación del canal es un mecanismo que permite obtener un sistema más robusto ante el ruido y ante las características del canal de transmisión.

Para el presente proyecto se usaron “turbo códigos” los cuales usan códigos convolucionales recursivos sistemáticos [6].

Los códigos convolucionales son lineales y añaden redundancia a la información para protegerla.

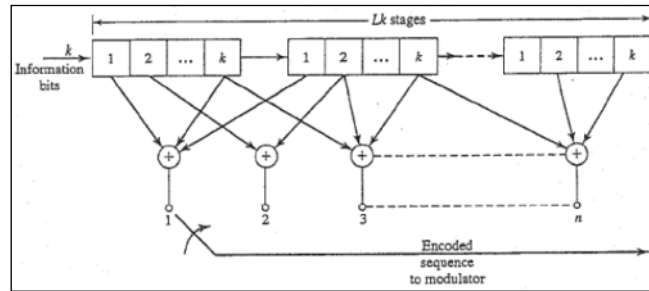


Figura 5 Diagrama de bloques codificador convolucional.

Como se puede observar en la Figura 5, el sistema consta de registros de desplazamientos $L \cdot K$, conectados a sumadores de módulo 2.

El diagrama de Trellis es el método más utilizado para representación gráfica de la codificación convolucional, el cual permite una fácil interpretación en el proceso de decodificación.

El algoritmo de Viterbi es utilizado en el proceso de decodificación, éste algoritmo utiliza los bits de salida, luego calcula la distancia entre la secuencia de transición actual y la secuencia recibida [6].

5. INFORMACIÓN A TRANSMITIR

Para la transmisión de texto, lo primero es convertir el texto ingresado en bits, para esto se convierte el texto a código ASCII, y luego el código ASCII a binario.

6. CSMA /ACK

CSMA (Carrier Sense Multiple Access), por sus siglas en inglés, es un protocolo que detecta si una señal externa está presente en el momento en que se quiere transmitir información entre los equipos; ésto evita que existan colisiones y por ende pérdida de información o recepción de información errónea.

Un ACK (acknowledgement) es un acuse de recibo que es enviado por el receptor con la finalidad de confirmar la recepción del mensaje.

7. IMPLEMENTACIÓN

La implementación del sistema se realizó en base a los VIs detallados a continuación.

Luego de la implementación se realizaron pruebas bajo diferentes escenarios en los que se varía el tipo de canal, tipo de modulación y codificación.

Debido a que el proyecto se basa en la transmisión de texto es necesario convertir el texto recibido en código ASCII, y posteriormente a binario, este procedimiento se muestra en la Figura 6 [7].

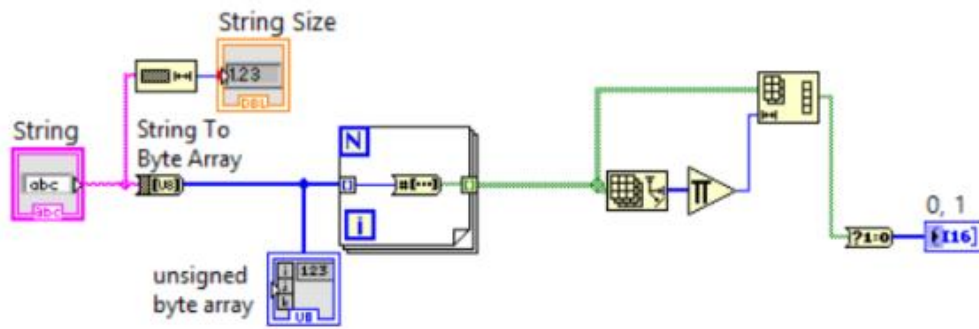


Figura 6 Función String to Bits

El modulador y demodulador QPSK agrupa los bits de dos en dos, y se le asigna un símbolo, como resultado se mapean cuatro símbolos, al final se normalizó con el objetivo de que la energía sea 1, como se muestra en la Figura 7 y Figura 8 [8].

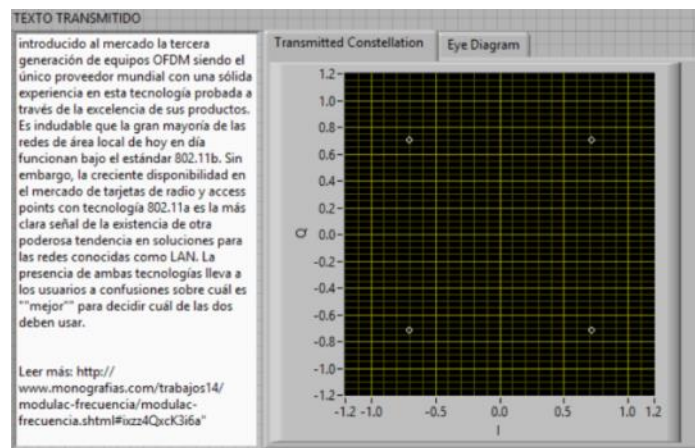


Figura 7. Modulación QPSK

Para el modulador y demodulador 16QAM la información se dividió en grupos de 4 bits que representa un símbolo, simbolo que es mapeado a través de la estructura *Case*, en donde se toman como referencia los valores descritos en la tabla 4. Al final se normaliza con el objetivo de que la energía sea 1, como se muestra en la Figura 9.

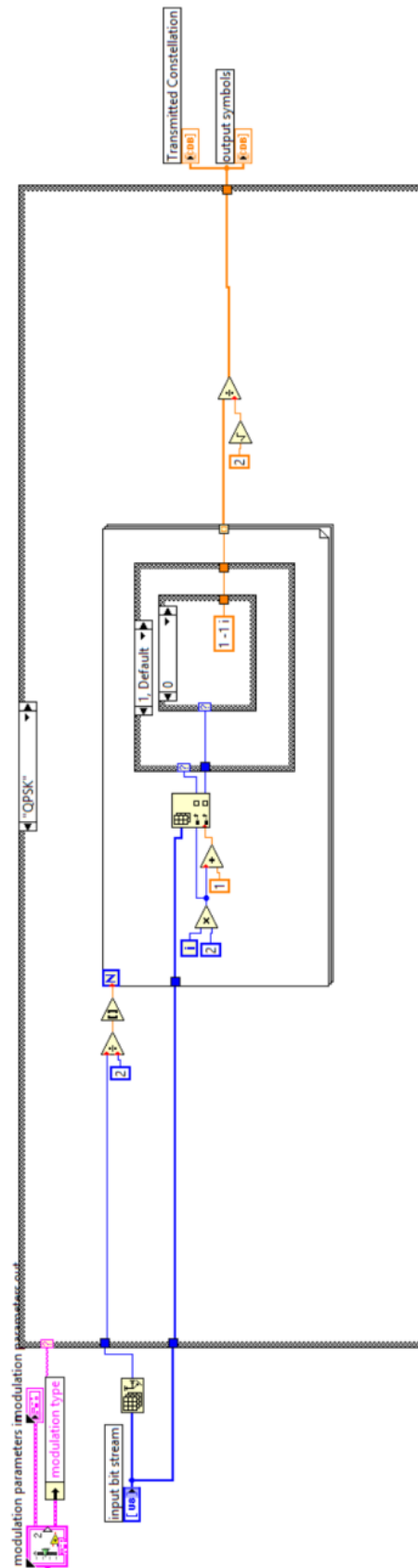


Figura 8. Diagrama Modulador QPSK.

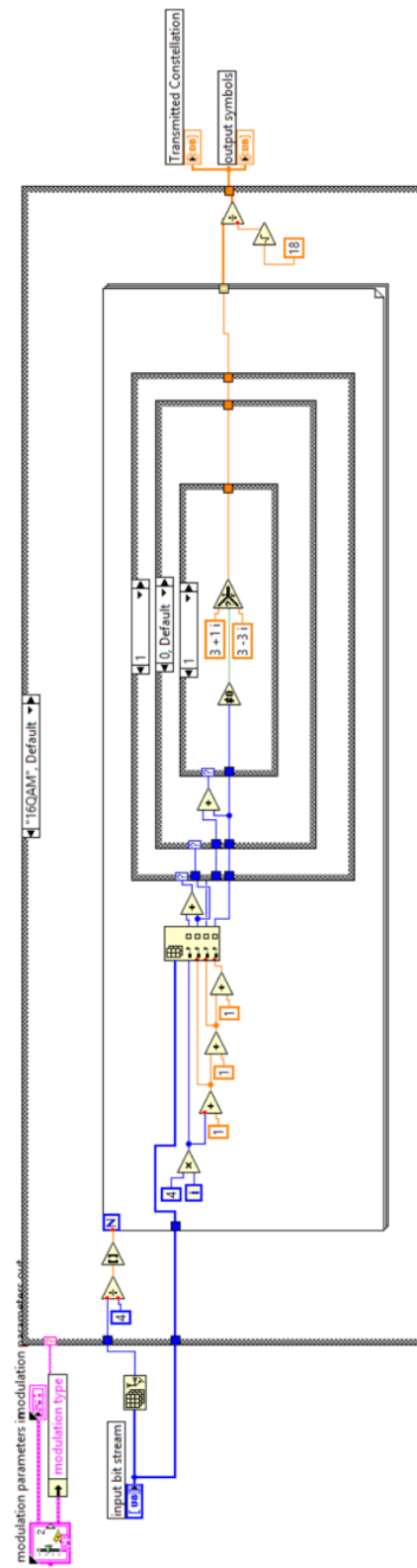


Figura 9. Diagrama Modulador 16QAM.

8. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En esta sección se analizan los datos obtenidos de los equipos USRP a través de la comparación de los resultados de las modulaciones QPSK y 16-QAM, Turbo códigos, esto con la finalidad de identificar el sistema idóneo para la transmisión de texto a través del medio inalámbrico.

En la transmisión de texto se analizaron los siguientes escenarios: *Canal Indoor Residencial* y *Canal Outdoor Areas Rurales*.

El siguiente análisis comparativo está basado en las características del canal.

CANAL INDOOR RESIDENCIAL

En este primer escenario se realiza la transmisión y recepción bajo dos condiciones las cuales se describen en la siguiente tabla:

Tap	INDOOR RA		INDOOR RB	
	Delay(nSec)	Avg Power(dB)	Delay(nSec)	Avg Power(dB)
1	0	0	0	0
2	100	-13.8	100	-6
3			200	-11.9
4			300	-17.9

Tabla 3. Canales Indoor residenciales.

En la primera condición, denominada *INDOOR RA*, se presentan 2 componentes multipaso separadas una distancia de 100ns, como se muestra en la Figura 10.

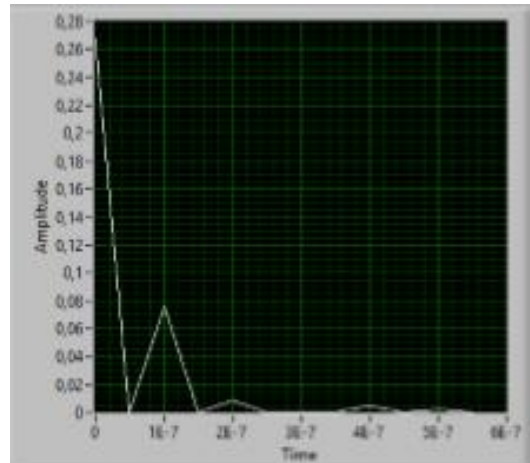


Figura 10. Perfil potencia-retardo INDOOR RA.

A continuación se obtiene la dispersión del retardo, la cual está relacionada directamente con la interferencia intersimbólica, interferencia que afecta el desempeño del escenario.

$$\tau = \frac{(0)(1)+(100)(0.0416869)}{(1+0.0416869)} = 4.00 \quad (1)$$

$$\tau^2 = \frac{(0)^2(1)+(100)^2(0.0416869)}{(1+0.0416869)} = 400.19 \quad (2)$$

Dispersión rms del retardo

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{400.19 - (4.00)^2} = 19.6[\text{ns}] \quad (3)$$

En la segunda condición denominada *INDOOR RB* se muestran cuatro componentes multipase, lo que se observa en la Figura 11, las cuales causan mayor interferencia que la condición anterior y a su vez una tasa de error más elevada.

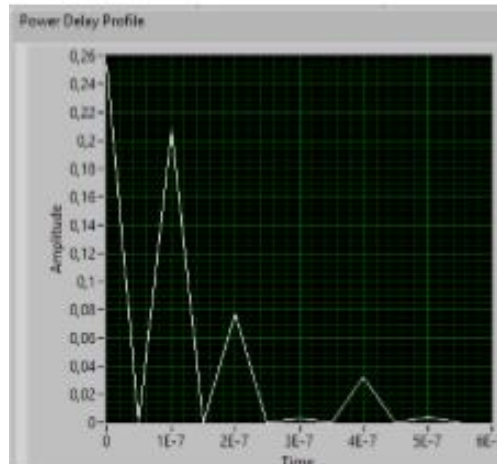


Figura 11. Perfil potencia-retardo INDOOR RB..

La dispersión del retardo del escenario es la siguiente:

$$\tau = 32.21 \quad (4)$$

$$\tau^2 = 4920.62 \quad (5)$$

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{4920.62 - (32.21)^2} = 62.31[\text{ns}] \quad (6)$$

Se varía la Potencia del ruido de -25 hasta 0 y se observa la relación BER vs SNR, con la finalidad de demostrar que tan robusto es el sistema ante el ruido.

Con modulación QPSK se observa que la condición indoor que presenta mejor desempeño es la INDOOR RA, la que cuenta con dos componente multipaso y una dispersión de retardo de 19.6[ns], por lo que presenta una mejor respuesta a medida que se incrementa el SNR, esto se puede observar en la Figura 12.

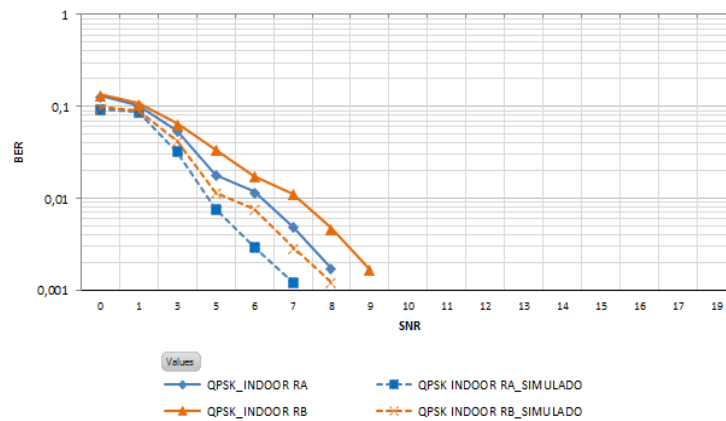


Figura 12. Relación BER Vs SNR / QPSK INDOOR..

Con modulación 16QAM se observa que el mejor escenario es el INDOOR RA , sin embargo a diferencia de la modulación QPSK se puede observar que es menos tolerante al ruido ya que necesita un valor alto de SNR para que el BER se reduzca, esto se puede observar en la Figura 13.

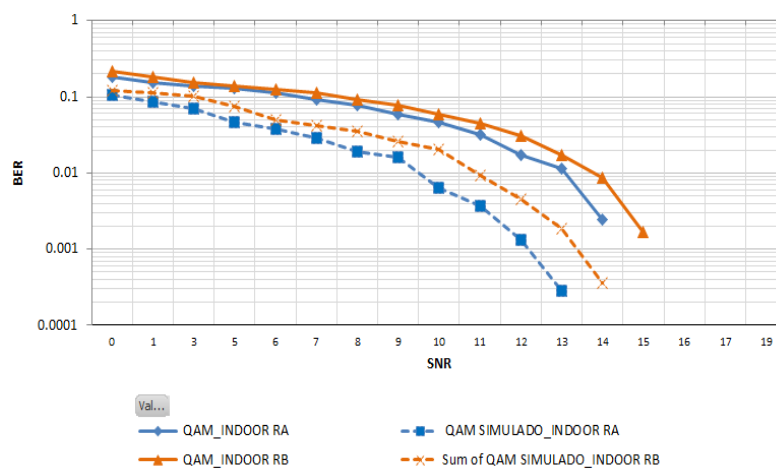


Figura 13. . Relación BER Vs SNR / 16 QAM INDOOR.

CANAL OUTDOOR AREAS RURALES

En este escenario se presentan dos condiciones: *OUTDOOR A* y *OUTDOOR B*

Tap	OUTDOOR A		OUTDOOR B	
	Delay(nSec)	Avg Power(dB)	Delay(nSec)	Avg Power(dB)
1	0	0	0	0
2	200	-2	100	-4
3	400	-10	200	-8
4	600	-20	300	-12
3			200	-16
4			300	-20

Tabla 4. Canales Outdoor rurales

En la primera condición se analiza el escenario rural con cuatro componentes multipaso, a esta condición la se denomina *OUTDOOR A*, el perfil potencia-retardo de este escenario se puede observar en la Figura 14.

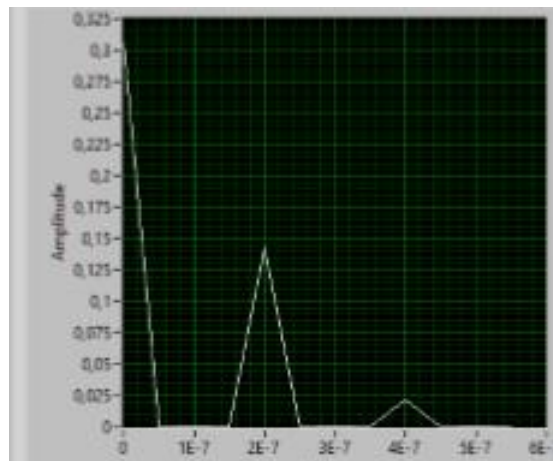


Figura 14. Perfil potencia-retardo OUTDOOR A.

A continuación se obtiene la dispersión del retardo, la cual está relacionada directamente con la interferencia intersimbólica, interferencia que afecta el desempeño del escenario.

$$\tau = 98.90 \quad (7)$$

$$\tau^2 = 25754.96 \quad (8)$$

Dispersión rms del retardo

$$\sigma = \sqrt{25754.96 - (98.90)^2} = 126.38 \text{ [ns]} \quad (9)$$

En la segunda condición denominada *OUTDOOR B* se muestran seis componentes multipaso, como se puede observar en la Figura 15.

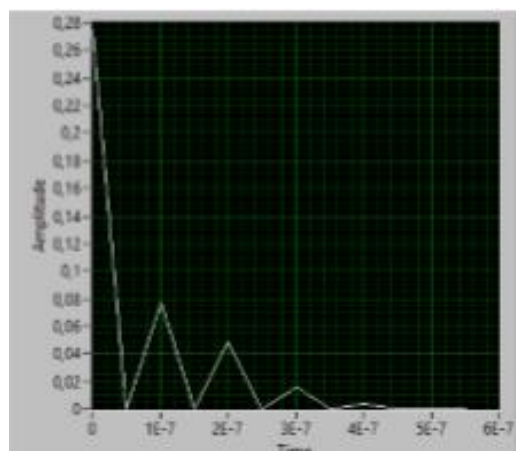


Figura 15. Perfil potencia-retardo OUTDOOR B..

La dispersión del retardo del escenario OUTDOOR B es la siguiente:

$$\tau = 59.5 \quad (10)$$

$$\tau^2 = 10819.37 \quad (11)$$

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{10819.37 - (59.5)^2} = 85.32 \text{ [ns]} \quad (12)$$

Con modulación QPSK se puede observar que el escenario outdoor que presenta mejor desempeño es el OUTDOOR B, el cual cuenta con seis componente multipaso, presenta un mejor desempeño debido a que la dispersión del retardo es $85.32[\text{ns}]$ mientras que la dispersión del retardo del OUTDOOR A es de $126.38[\text{ns}]$, por lo que presenta una mejor respuesta a medida que se incrementa el SNR. Esto se observa en la Figura 16.

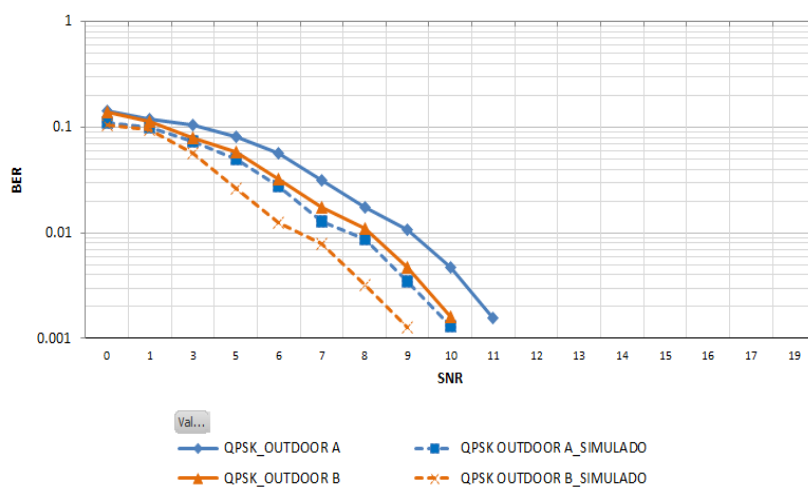


Figura 16. Relación BER Vs SNR / QPSK OUTDOOR.

Con modulación 16QAM a diferencia de QPSK, se puede observar que es menos tolerante al ruido ya que necesita un mayor SNR para que el BER se reduzca, esto se puede observar en la Figura 17.

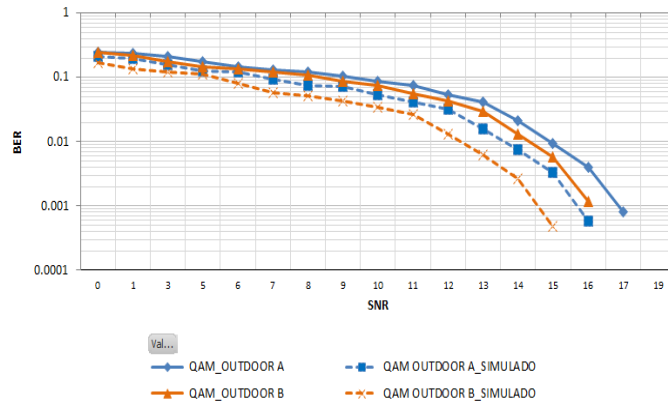


Figura 17. Relación BER Vs SNR / 16 QAM OUTDOOR.

A continuación utilizando modulación QPSK, se mapean los resultados de los escenarios indoor y outdoor, como resultado se tiene que el mejor escenario es INDOOR RA el cual tiene dos componentes multipaso y un retardo máximo de 100[ns], mientras que el peor escenario es el OUTDOOR A, el cual tiene 4 componentes multipaso y un retardo máximo de 600[ns], esto se puede observar en la Figura 18.

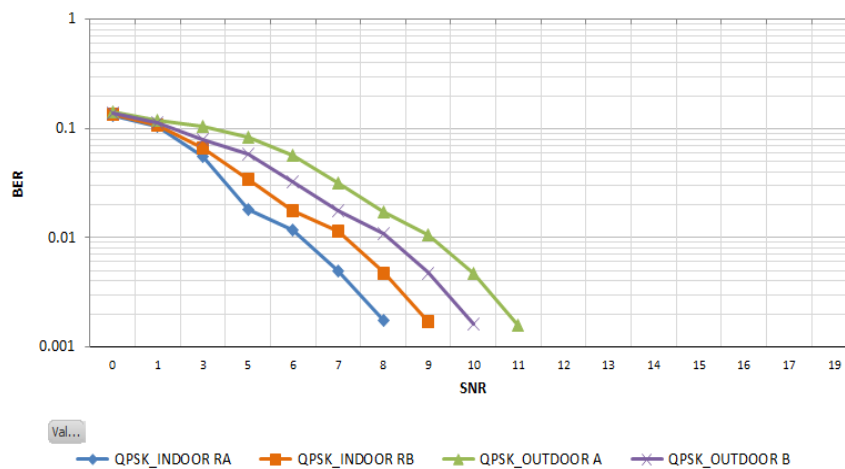


Figura 18. Relación BER Vs SNR / QPSK INDOOR Y OUTDOOR.

Con modulación 16QAM el mejor escenario es INDOOR RA y el peor escenario es el OUTDOOR A, como se puede observar en la Figura 19.

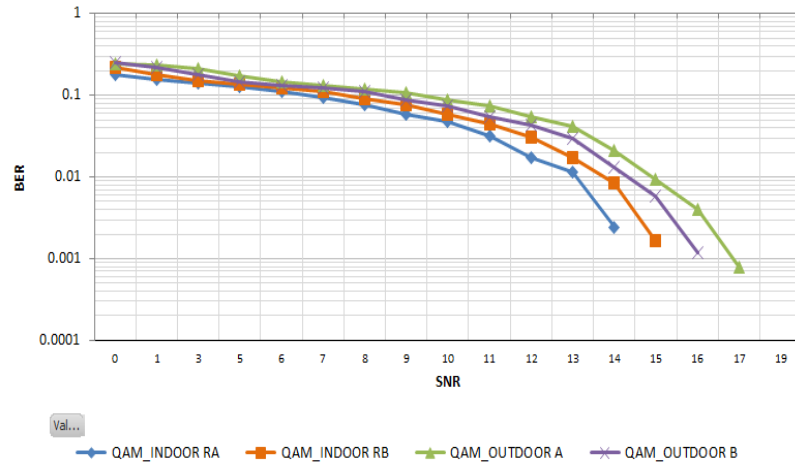


Figura 19. Relación BER Vs SNR / 16QAM INDOOR Y OUTDOOR.

A continuación se realiza la comparación de acuerdo al tipo de modulación, en donde se puede observar que la modulación QPSK presenta un mejor desempeño ante el ruido que la modulación 16QAM como se observa en la Figura 20 y Figura 21, esto debido a que la distancia entre símbolos es mayor, sin embargo esto limita la cantidad de datos a transmitir, lo que se refleja en una tasa de transmisión menor.

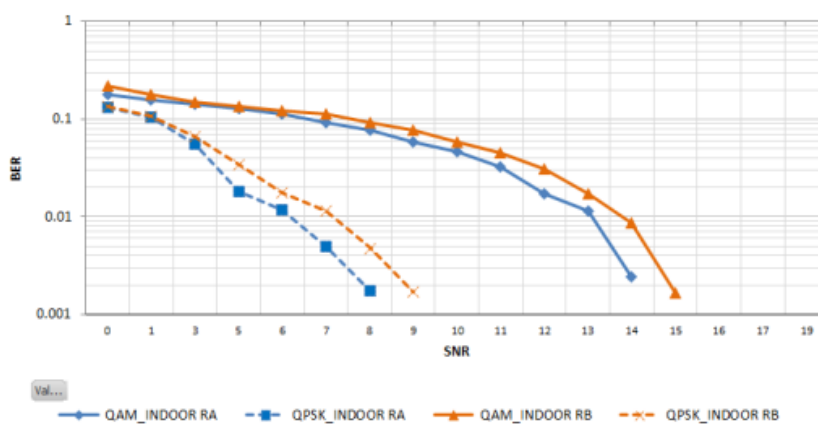


Figura 20. Relación BER Vs SNR / QPSK-16QAM INDOOR.

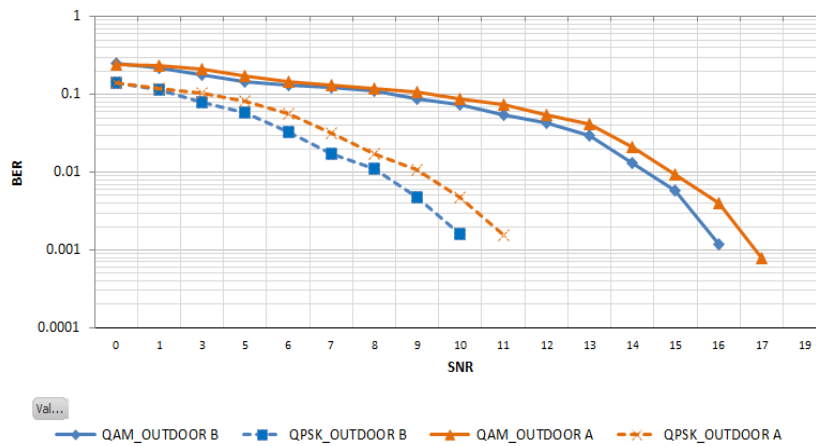


Figura 21. Relación BER Vs SNR / QPSK-16QAM OUTDOOR.

A continuación se muestra el efecto de la codificación de canal con tasa de codificación de $2/3$ a $1/2$, lo que se muestra en la Figura 22 y Figura 23.

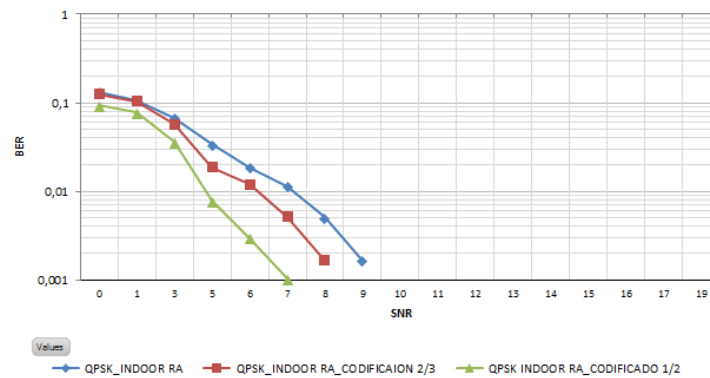


Figura 22. Relación BER Vs SNR / QPSK Codificación Turbo código a tasa $1/2$ y $2/3$.

El canal sin codificación necesita de mayor SNR para tener valores de BER más bajos, lo que indica que es más sensible al ruido.

Al aplicar la codificación de canal, en este caso turbo código, se observa una mejor respuesta con respecto al ruido, siendo la codificación con tasa $1/2$ la que presenta mejor desempeño.

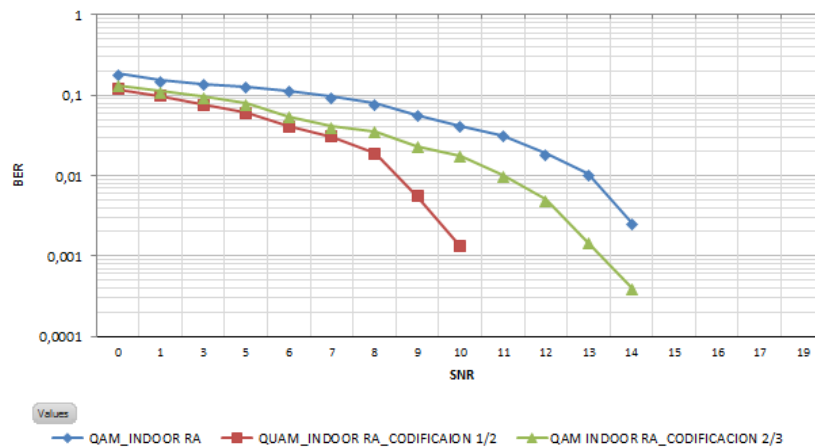


Figura 23. Relación BER Vs SNR / 16QAM Codificación Turbo código a tasa 1/2 y 2/3.

En el siguiente análisis se muestra la relación entre la tasa de bits RB y SNR. En la Figura 24, con modulación QPSK la tasa de transmisión es 15 Mbps con un SNR de 10 db y con codificación turbocódigo de 1/2.

Con modulación 16QAM Figura 25, la tasa de transmisión es 28 Mbps con un SNR de 15 db, la tasa de transmisión de con modulación 16QAM es mayor sin embargo es sensible al ruido.

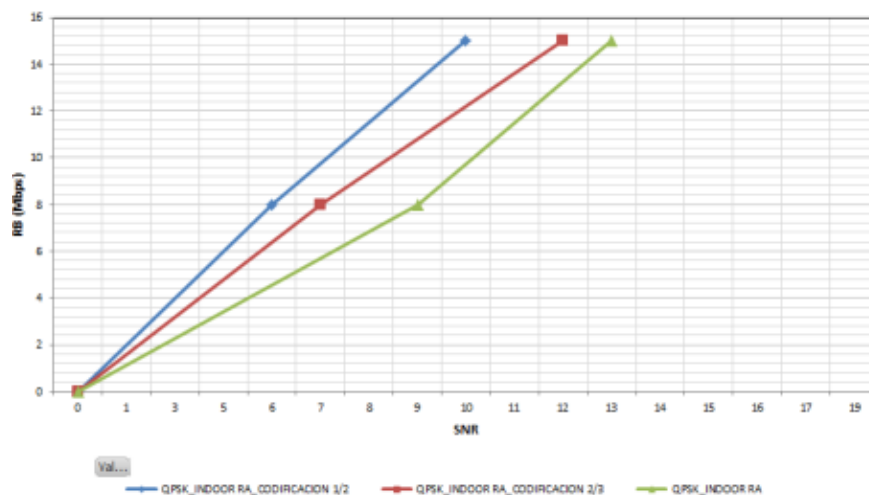


Figura 24. BER Vs RB / QPSK CODIFICADO.

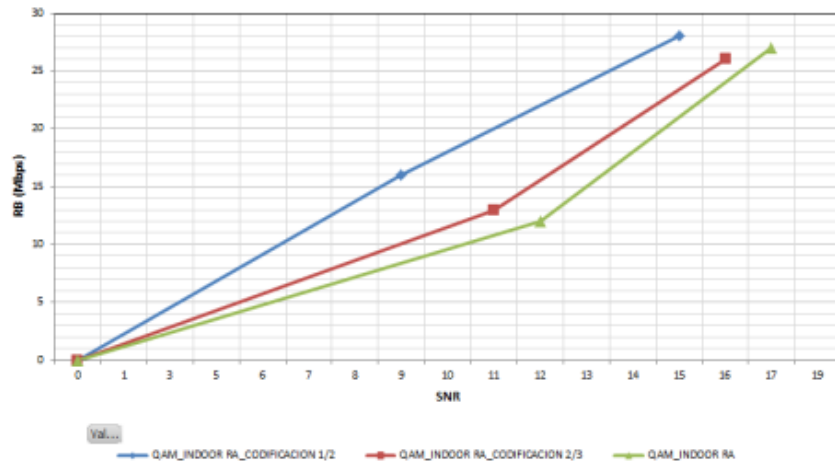


Figura 25. Relación BER Vs RB / 16QAM CODIFICADO.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en los escenarios del sistema de comunicación inalámbrico OFDM con modulación QPSK y 16QAM se concluye lo siguiente:

1. Se pudo demostrar que tanto en el escenario indoor y outdoor la modulación QPSK presenta un mejor desempeño ante la presencia de ruido, ya que presenta menor BER(Bit error rate) ante valores de SNR(Signal noise rate) bajos, esto se debe a que la distancia entre símbolos de la modulación QPSK es mayor, lo que permite que el sistema sea más robusto ante el ruido.
2. La modulación 16QAM permite una tasa de transmisión más elevada debido a que transmite 4 bits a la vez, sin embargo esto genera que la distancia entre símbolos sea menor, lo que vuelve esta codificación susceptible al incremento de probabilidad de error por la presencia de ruido.
3. En los escenarios indoor y outdoor se observa que la condición que presenta mejor desempeño es la INDOOR RA, debido a que cuenta con menor retardo de dispersión, lo que representa menos interferencia intersimbólica, mientras que la condición que presenta peor desempeño es el OUTDOOR A debido a que presenta mayor retardo de dispersión, lo que representa mayor interferencia intersimbólica y mayor probabilidad de error.
4. La implementación de codificación turbocódigo mejoró el desempeño de la transmisión de información gracias a la corrección de errores, lo que permite tener un sistema más robusto frente al ruido, esto se observa gráficamente al tener una menor tasa de bits errados frente a una mayor presencia de ruido.

REFERENCIAS

A. Kenneth, C. H. (1998). *Interleaver Design Methods for Turbo Codes*.

C. Berrou, & A. (1996). *Near Optimum Error Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes*. Francia.

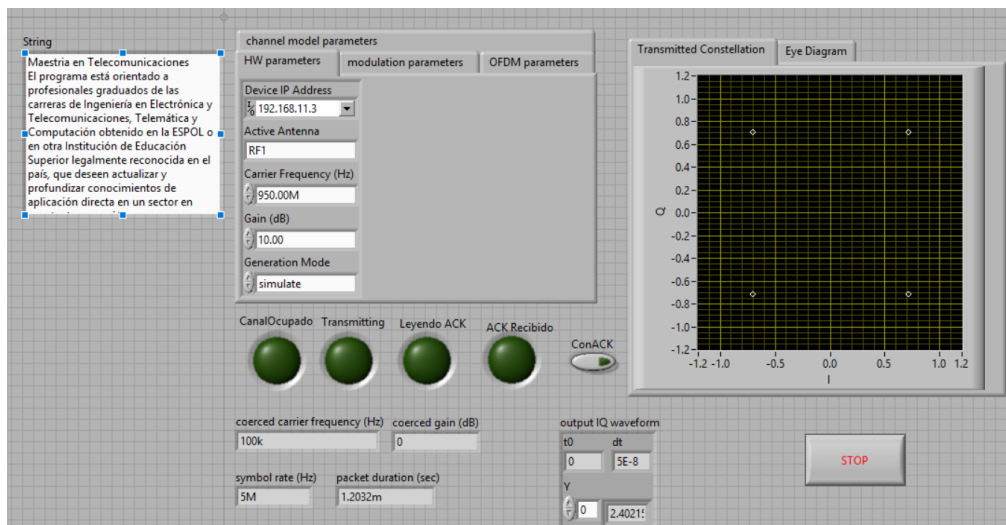
Goldsmith, A. (2005.). *Wireless Communications*. Londres: Cambridge University Press.

J. Lee, L. M. (1998). *CDMA System Engineering Handbook*. Artech House.

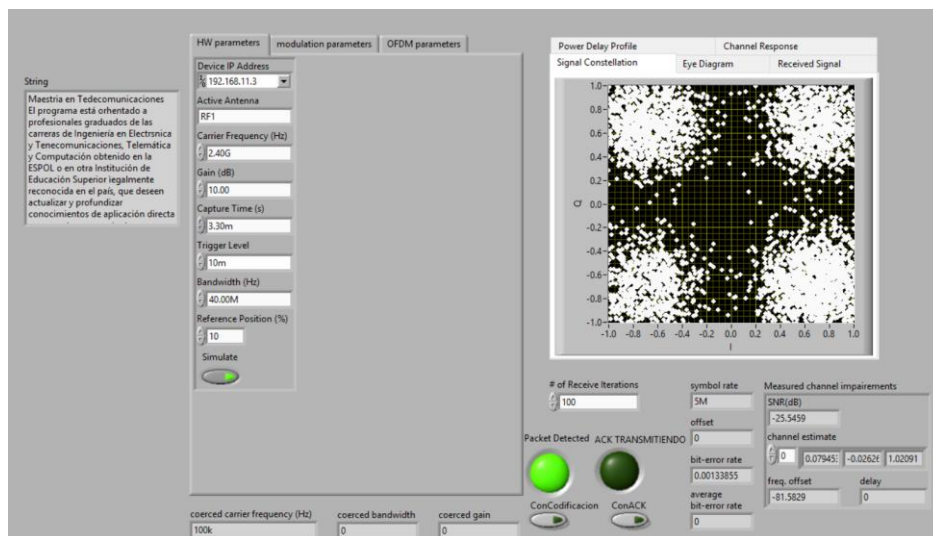
Kehtarnavaz, N. (2014). *Digital Signal Processing System Design: LabVIEW-Based Hybrid Programming*. Academic Press.

Proakis., J. (1995). *"Digital Communications"*. Mc-Graw-Hill: 3rd edición.

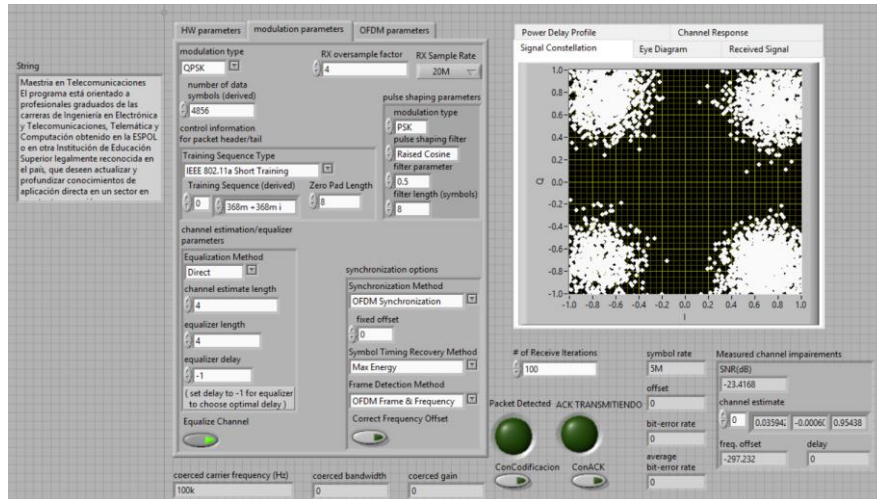
ANEXOS



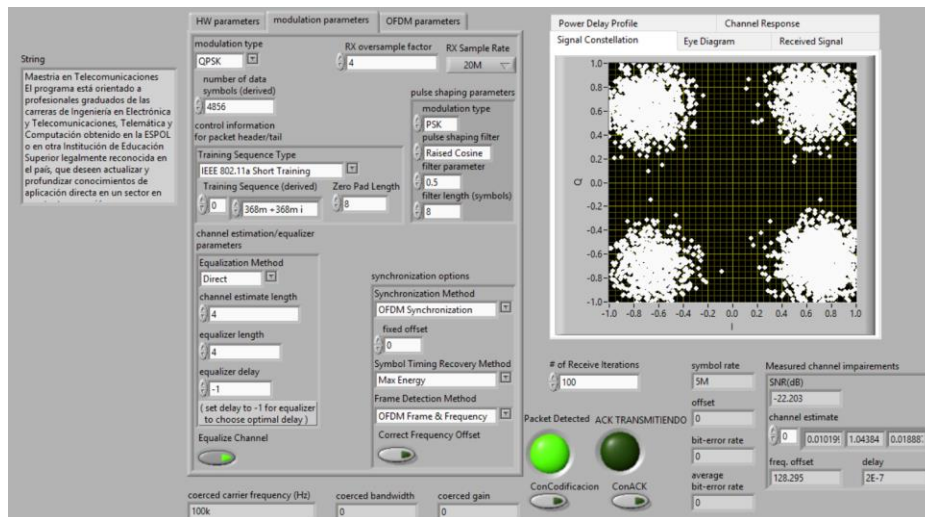
Anexo 1. Transmisión de texto.



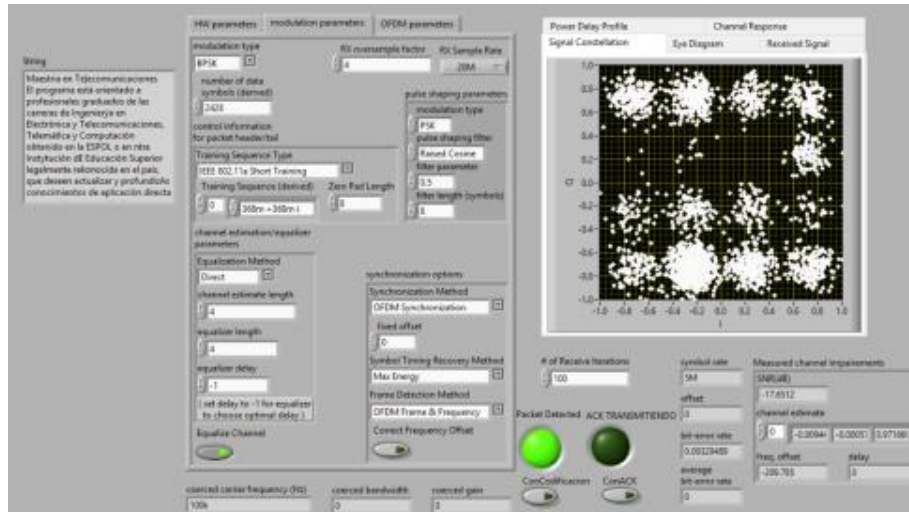
Anexo 2. Recepción de texto.



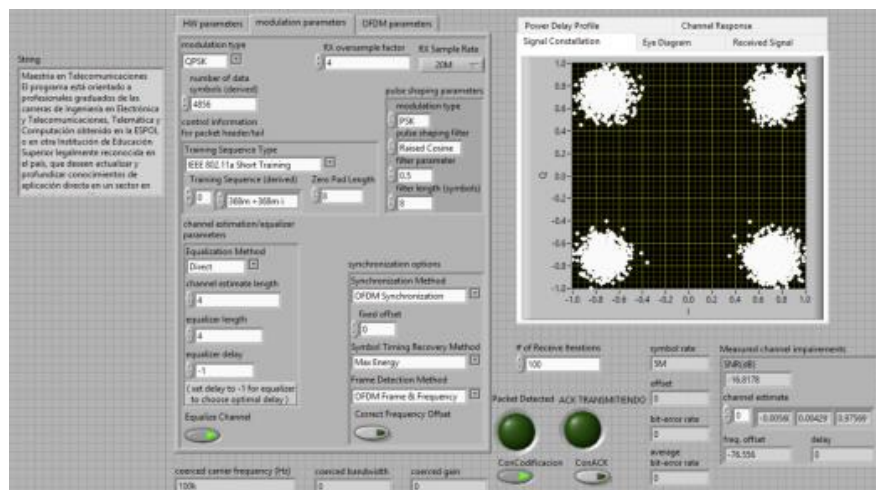
Anexo 3. Recepción de texto / QPSK-INDOOR RA (Mejor escenario)



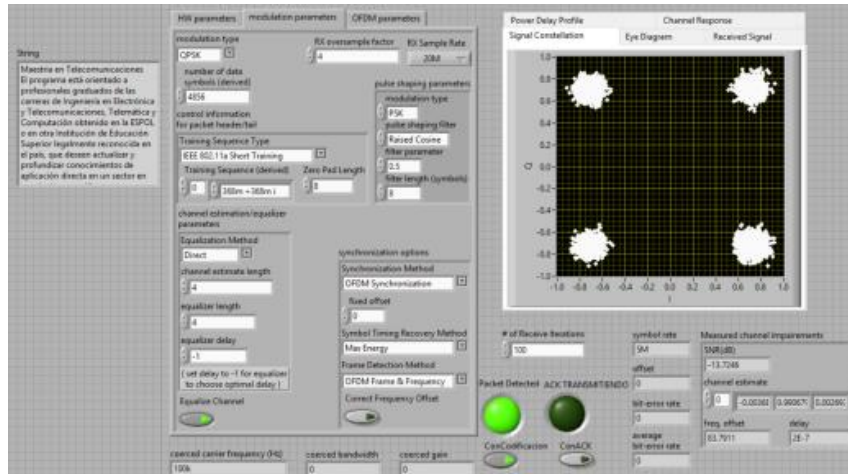
Anexo 4. Recepción de texto / QPSK-OUTDOOR A (Peor escenario)



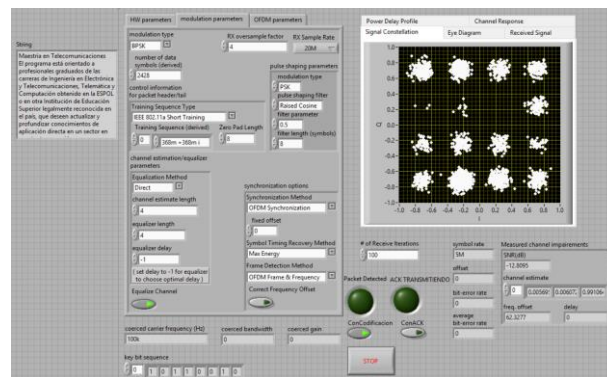
Anexo 5. Recepción de texto / 16QAM-INDOOR RA (Mejor escenario)



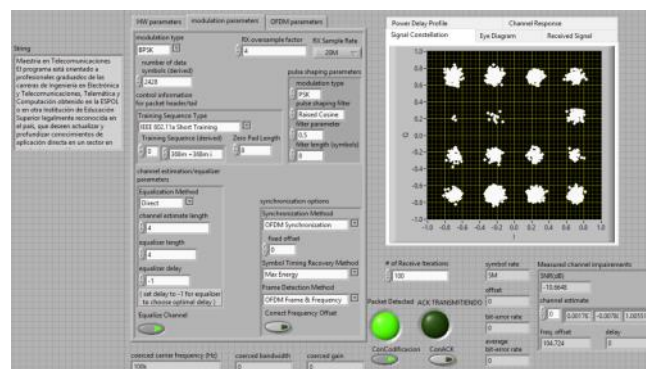
Anexo 6. Recepción de texto / QPSK-INDOOR RA - CODIFICADO 2/3



Anexo 7. Recepción de texto / QPSK-INDOOR RA - CODIFICADO 1/2



Anexo 8. Recepción de texto / 16QAM-INDOOR RA - CODIFICADO 2/3



Anexo 9. Recepción de texto / 16QAM-INDOOR RA - CODIFICADO 1/2