



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y
RECEPCIÓN INALÁMBRICA OFDM DE IMAGEN EN AMBIENTE
REAL USANDO USRP Y LABVIEW**

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

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Henry Nelson Sares Quiroz

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.

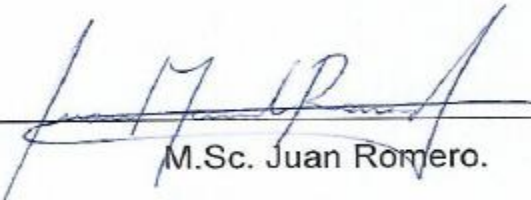
DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional, siendo ellos el motor fundamental para lograr mi objetivo.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



M.Sc. Washington Medina.
EVALUADOR



M.Sc. Juan 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.



Henry Nelson Sares Quiroz

C.I.: 0925869034

RESUMEN

El uso del Universal Software Radio Peripheral, (USRP) y el software Labview son de gran importancia para el desarrollo de proyectos, análisis y estudios de sistemas de comunicaciones inalámbricas, ya que se puede entender de mejor manera la teoría y poner en práctica la implementación de un sistema de comunicaciones con señales reales, por el cual en el presente proyecto se hacen uso de estas herramientas para analizar el funcionamiento y comportamiento de este sistema. En este trabajo se implementa un sistema de transmisión y recepción inalámbrica de imagen basado en La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM), el cual se usan módulos para el tratamiento de imágenes, modulaciones QPSK - 16 QAM, codificación de canal (Convolucional) y sincronización de trama usando el algoritmo de Schmidt y Cox. Las pruebas fueron desarrolladas bajo ambiente real dentro de laboratorio a distancias diferentes y se realizaron comparaciones en base a la relación señal/ruido (SNR) y la tasa de errores de bit (BER), comparaciones del sistema con/sin codificación de canal variando la tasa de codificación y finalmente se muestra la tasa de bits que soportan las modulaciones QPSK y 16 QAM.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	III
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
RESUMEN	V
CONTENIDO	vi
ABREVIATURAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
1. INTRODUCCIÓN	11
2. CANAL MULTIPASO	14
3. MODULACIONES	16
3.1 QPSK 16	
3.2 16 QAM 17	
4. CODIFICACIÓN DE CANAL	19
5. SINCRONIZACIÓN DE TRAMA USANDO EL ALGORITMO DE SCHMIDL AND COX	22
6. INFORMACIÓN A TRANSMITIR	24
7. CSMA/ACK	26
8. IMPLEMENTACIÓN	28
9. ANÁLISIS Y RESULTADOS	32
CONCLUSIONES	48
REFERENCIAS	50
ANEXOS	52

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. Diseño Tx/Rx.....	13
Figura 2. Respuesta del canal Plano.....	15
Figura 3. Respuesta del canal Selectivo en frecuencia.....	15
Figura 4. Constelación QPSK.....	16
Figura 5. Constelación 16 QAM.....	17
Figura 6. Diagrama de bloques codificador convolucional.	19
Figura 7. Función MT Convolutional Encode.vi	21
Figura 8. Función MT Convolutional Decode.vi	21
Figura 9. Funciones Vision and Motion.	25
Figura 10. Función para convertir la imagen a String.	25
Figura 11. Función para convertir String a imagen.....	25
Figura 12. Diseño CSMA/ACK.....	27
Figura 13. Diagrama VIs Transmisor.....	29
Figura 14. Diagrama VIs Receptor.	30
Figura 15. Respuesta del canal.....	32
Figura 16. Transmisión y Recepción canal real 1.....	33
Figura 17. Power Delay Profile del Canal Real 1.....	34
Figura 18. Transmisión de Imagen Modulación QPSK canal real 1.	35
Figura 19. Recepción de Imagen Modulación QPSK canal real 1.....	35
Figura 20. Transmisión de Imagen Modulación 16 QAM canal real 1.	36
Figura 21. Recepción de Imagen Modulación 16 QAM canal real 1.....	36
Figura 22. BER Vs SNR / QPSK-16QAM canal real 1.....	37
Figura 23. Variación Tasa de codificación QPSK canal real 1.	38
Figura 24. Variación Tasa de codificación 16 QAM canal	39
Figura 25. Variación Tasa de bits QPSK canal real 1.....	40
Figura 26. Variación Tasa de bits 16 QAM canal real 1	40
Figura 27. Transmisión y Recepción canal real 2.....	41
Figura 28. Power Delay Profile del canal real 2.....	41
Figura 29. Transmisión de Imagen Modulación QPSK canal real 2.	42
Figura 30. Recepción de Imagen Modulación QPSK canal real 2.	42
Figura 31. Transmisión de Imagen Modulación 16 QAM canal real 2.	43

Figura 32. Recepción de Imagen Modulación 16 QAM canal real 2.....	43
Figura 33. BER Vs SNR / QPSK-16QAM REAL 2.....	44
Figura 34. Variación Tasa de codificación QPSK canal real 2.	45
Figura 35. Variación Tasa de codificación 16 QAM canal real 2.	46
Figura 36. Variación Tasa de bits QPSK Canal real 2.....	47
Figura 37. Variación Tasa de bits 16 QAM Canal real 2.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Mapeo de bits a símbolos QPSK.....	16
Tabla 2. Mapeo de bits a símbolos QPSK.....	18

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las comunicaciones inalámbricas cumplen un rol fundamental para el desarrollo de nuevas tecnologías ya que gracias al avance de la computación y desarrollo de hardware se pueden obtener altas tasas de transferencia de datos siendo OFDM una tecnología de comunicación inalámbrica de gran importancia.

Fue desarrollada en la década del 60 por R.W. Chang en donde se expone la transmisión simultánea de mensajes en un canal sin interferencia entre símbolos (ISI) ni intercanal (ICI), años después en la década del 60 SB. Weinstein y P.M Ebert con el uso de la Transformada Discreta de Fourier (DFT) mejoran los canales eliminando la interferencia entre canales y entre símbolos, además las DFT ayuda a simplificar la circuitería del sistema. Finalmente otro gran aporte para esta tecnología fue el trabajo de Peled y Ruiz en la década del ochenta con el Prefijo cíclico para solucionar los problemas de ortogonalidad [1].

OFDM es una de las mejores técnicas en sistemas de comunicaciones multiportadoras ya que la respuesta de frecuencia de las subportadoras son ortogonales, lo que hace un uso eficiente del espectro y debido a la

ortogonalidad, la interferencia ICI es mínima, además es resistente frente a problemas de propagación como el multitrayecto, desvanecimiento que se presentan según las condiciones de la naturaleza e interferencias de radio frecuencia. Es usado por distintas tecnologías de transmisión de banda ancha sobre medios inalámbricos como la televisión digital, comunicaciones celulares, radio digital y redes de datos inalámbricas [2].

Para estudiar esta tecnología hacemos uso del Universal Software Radio Peripheral (USRP) modelo 2920, este es un hardware programable de gran importancia para el desarrollo académico e investigativo, involucrando áreas como: Radio definido por Software (SDR), Radio Cognitiva (CR), Procesamiento Digital de señales, sistemas de comunicaciones, diseño e implementación de sistemas FPGA, etc.

La plataforma o software a usar junto con el USRP se llama Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabView), la programación se basa en un entorno gráfico desarrollado por National Instruments, esta plataforma ayuda con el procesamiento en tiempo real de los datos transmitidos hacia y desde el USRP a través de una conexión Gigabit Ethernet conocida también como GigaE [3] [4]. A diferencia de otros lenguajes de programación ofrece ventajas como: la integración e implementación de otros tipos de lenguajes en la misma plataforma, cuenta con librerías para el procesamiento digital, adquisición de información, reduce el tiempo de

desarrollo de aplicaciones y prototipos ya que posee un entorno integrado con el USRP y es compacto. Todas estas herramientas serán usadas para la implementación del sistema de transmisión y recepción, en este proyecto se usará información real, es decir, transmisión de bits de una información específica, en este caso será una imagen.

En el presente proyecto se analizará el comportamiento y funcionamiento de un sistema de comunicaciones inalámbricas dentro del laboratorio y se harán pruebas de transmisión y recepción a distancias de 1 metro (canal real 1) y 2 metros (canal real 2) respectivamente y vamos a observar en detalle los problemas que se generan al tratar de recibir la información para así plantear una estrategia de transmisión y recepción tales como la implementación de modulaciones, algoritmo de detección de trama, codificación de canal, etc.

El diseño del transmisor y receptor es definido como se muestra en la figura 1.

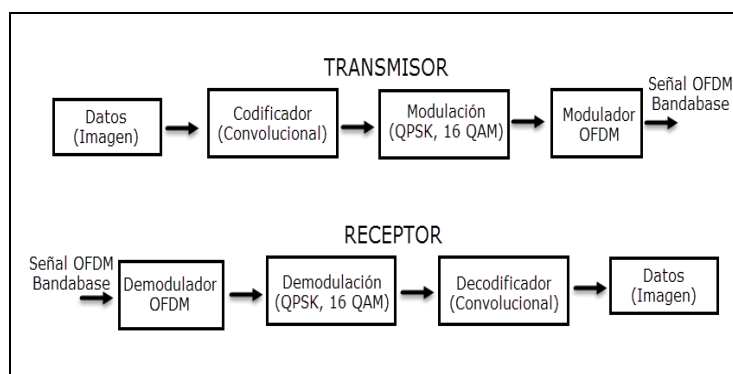


Figura 1. Diseño Tx/Rx.

2. CANAL MULTIPASO

El canal a usar es un canal multipaso, es decir la señal se propaga por múltiples caminos lo que provoca desvanecimiento y distorsión de la señal, este tipo de desvanecimiento en el canal se llama desvanecimiento a pequeña escala [5].

Los parámetros que caracterizan el desvanecimiento multicamino son los siguientes:

- ✓ Retardo Medio:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k \tau_k \varphi_h(0; \tau_k)}{\sum_k \varphi_h(0; \tau_k)} \quad (1)$$

Donde,

$\varphi_h(0; \tau_k)$ es la potencia recibida con retardo τ_k .

- ✓ Esparcimiento rms del retardo:

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\bar{\tau})^2} \quad (2)$$

Donde,

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k \tau_k^2 \varphi_h(0; \tau_k)}{\sum_k \varphi_h(0; \tau_k)} \quad (3)$$

✓ Ancho de banda coherente:

$$B_c \approx \frac{1}{5\sigma_\tau} \quad (4)$$

En el desvanecimiento en pequeña escala basado en el esparcimiento de retardo multicamino, se conocen dos tipos:

➤ Desvanecimiento Plano:

Esparcimiento de retardo < Tiempo de símbolo.

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

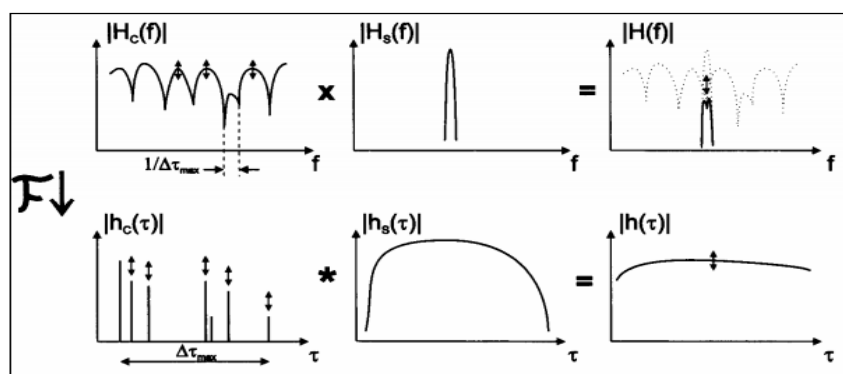


Figura 2. Respuesta del canal Plano.

➤ Desvanecimiento de frecuencia selectiva:

Esparcimiento de retardo < Tiempo de símbolo

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

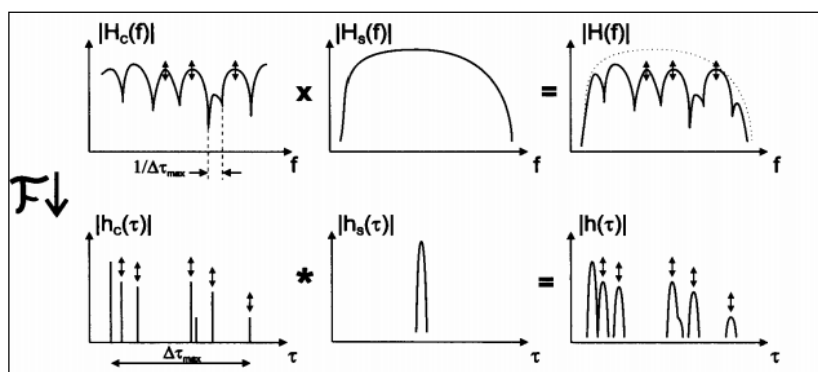


Figura 3. Respuesta del canal Selectivo en frecuencia.

3. MODULACIONES

Las modulaciones implementadas para el desarrollo del proyecto son QPSK y 16 QAM.

3.1 QPSK

También es conocido como 4-QAM, es una generalización compleja de BPSK y utiliza BPSK tanto para la parte real e imaginaria [6], en donde cada flujo de datos es dividido en grupos de dos bits, dando origen a un símbolo y la constelación es representada por 4 símbolos figura 4. El mapeo de bits a símbolos es representado en la tabla 1.

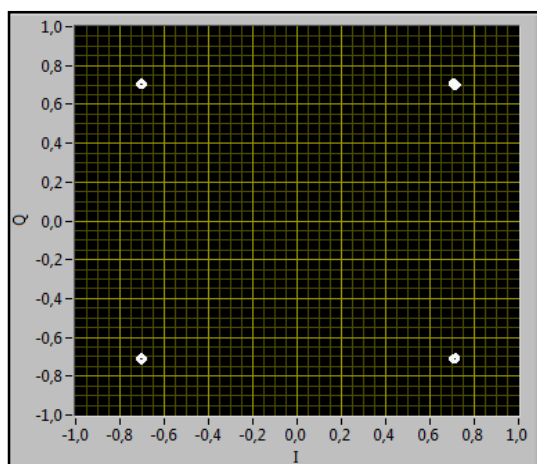


Figura 4. Constelación QPSK.

Código de bits	Símbolos
00	$1+i$
10	$-1+i$
11	$-1-i$
01	$1-i$

Tabla 1. Mapeo de bits a símbolos QPSK

QPSK es un tipo de modulación robusto ya que ante el ruido a diferencia de modulaciones superiores presenta un buen comportamiento, la desventaja es la menor capacidad de transferencia de datos.

3.2 16 QAM

Es un tipo de modulación en amplitud por cuadratura en donde cada flujo de datos es dividido en grupos de 4 bits, dando lugar a un símbolo y la constelación es representada por 16 símbolos de la siguiente manera figura 5. El mapeo de bits a símbolos es representado en la tabla 2.

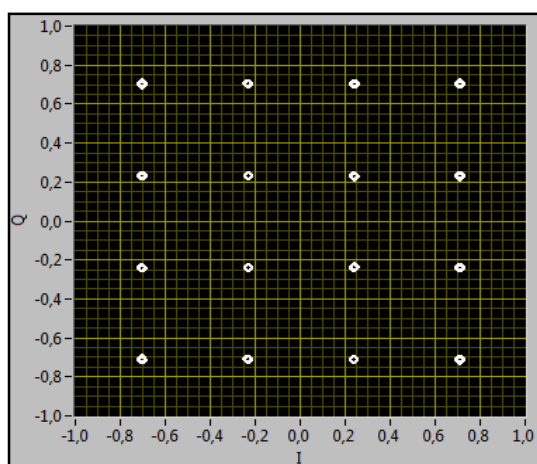


Figura 5. Constelación 16 QAM.

Código de bits	Símbolos
0000	$-3+3i$
0001	$-3+i$
0011	$-3-i$
0010	$-3-3i$
0100	$-1+3i$
0101	$-1+i$
0111	$-1-i$
0110	$-1-3i$
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. Mapeo de bits a símbolos QPSK

Este tipo de modulación es superior a la QPSK en cuanto a la tasa de transferencia de datos sin embargo es más susceptible al ruido en comparación con la modulación QPSK.

4. CODIFICACIÓN DE CANAL

Para tener un sistema más robusto en cuanto a pérdida de información ya sea por el efecto del ruido o por el tipo de canal de transmisión, es necesario implementar algún método de detección o corrección de error.

En el presente Proyecto se usó la codificación Convolutiva para obtener un mejor resultado en la recepción de la información transmitida. Este tipo de codificación es lineal y añade redundancia a la información para protegerla, cuidando que la palabra del código tenga distancias mínimas.

La codificación convolutiva trabaja con información anterior y actual por el cual es un sistema con memoria, en donde la información de entrada de k bits es mapeada en n bits a la salida [7].

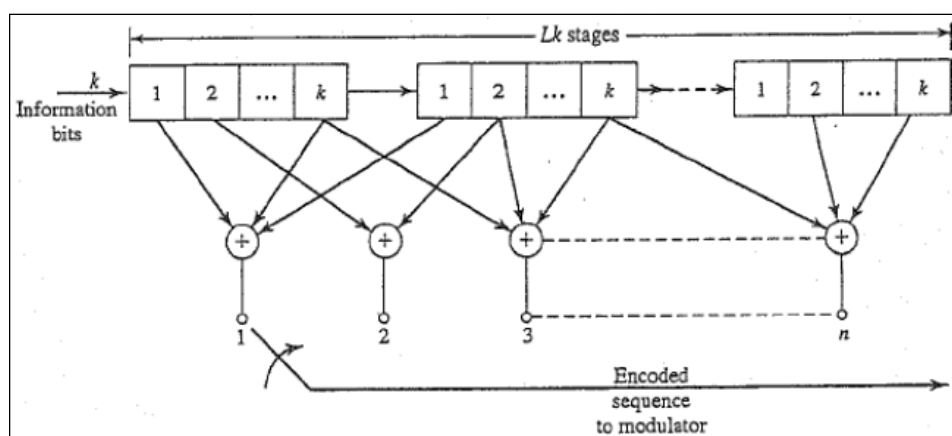


Figura 6. Diagrama de bloques codificador convolutivo.

Como vemos en la figura 6, un codificador convolucional está formado por registros de desplazamientos $L.K$, conectados a sumadores de módulo 2, la longitud del codificador es L .

Los parámetros que se configuran en este tipo de codificación son los siguientes:

L: longitud del código

k: número de bits que entran al codificador.

n: número de bits que salen del codificador.

R: tasa de codificación k/n

Se representa con la terna $[n,K,L]$

Existen algunos métodos para representar gráficamente la codificación convolucional, el más utilizado es el diagrama de Trellis, ya que es de fácil interpretación para realizar el proceso de decodificación. Para la decodificación se usa el algoritmo de Viterbi, éste algoritmo recibe los n bits de salida y calcula la menor distancia entre la secuencia recibida y la secuencia de transición actual [7].

Para implementar esta codificación de canal, se usaron Vis de LabView, estos son el MT Convolutional Encoder Rate [8] figura 7 y el MT Convolutional Decoder (Viterbi Hard Decision, Rate) [9] figura 8. Con tasa de codificación $\frac{1}{2}$ y longitud del código 4.

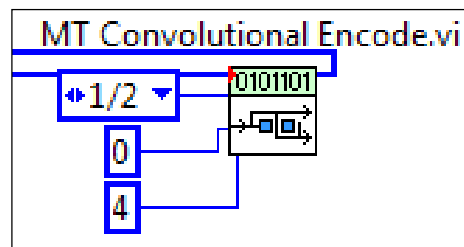


Figura 7. Función MT Convolutional Encode.vi

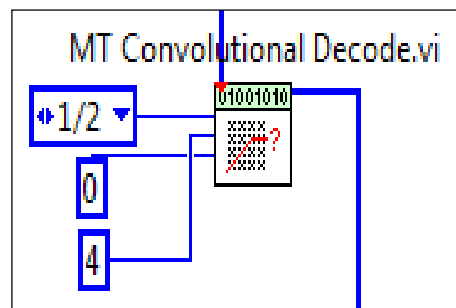


Figura 8. Función MT Convolutional Decode.vi

5. SINCRONIZACIÓN DE TRAMA USANDO EL ALGORITMO DE SCHMIDL AND COX

Este algoritmo fue realizado propiamente para sistemas OFDM, es un algoritmo robusto que realiza la búsqueda de inicio de trama usando secuencias de entrenamiento.

Se recomienda que para el correcto funcionamiento del algoritmo, la secuencia de entrenamiento a usar es la secuencia IEEE 802.11.a Short Training Sequence y longitud de prefijo cíclico 4. [10]

Los pasos a seguir para implementar el algoritmo son los siguientes:

1.- Calcular la correlación métrica

$$R[d] = \sum_{n=0}^{N-1} y^*[n+d]y[n+d+w] \quad (5)$$

2.- Calcular el promedio de la potencia de la señal recibida

$$P[d] = \sum_{n=0}^{N-1} |y[n+d+w]|^2 \quad (6)$$

3.- Obtenida $P[d]$ y $R[d]$, calcular $M[d]$

$$M[d] = \left| \frac{R[d]}{P[d]} \right|^2 \quad (7)$$

4.-Una vez calculado $M[d]$, aproximar el retraso D , resolviendo.

$$d = \operatorname{argmax} M[d] \quad (8)$$

5.- Estimar el parámetro de desplazamiento de frecuencia

$$\varepsilon = \operatorname{phase} \frac{P[d]}{R[d]} \quad (9)$$

6. INFORMACIÓN A TRANSMITIR

La información a transmitir en el presente proyecto es una imagen. Para poder leer y procesar la imagen se hace uso de una librería de LabView llamada NI Vision Acquisition Software (VAS) [11].

Para efectos prácticos la imagen a transmitir es leída desde el ordenador a través de la función IMAQ ReadFile y se debe crear una localización de memoria temporal a través de la función IMAQ Create, así como se muestran los bloques en la figura 9. Todas estas funciones las encontramos en *Functions > Vision and Motion > Vision Utilites > Image Management*.

La imagen capturada es transformada a string y luego debe ser transformada a bits usando la función IMAQ Flatten Image to String figura 10, para finalmente iniciar el proceso de transmisión de datos. En el receptor se realiza el proceso inverso, es decir, los bits que son recibidos son transformados a string para poder construir la imagen usando la función Unflatten from String figura 11.

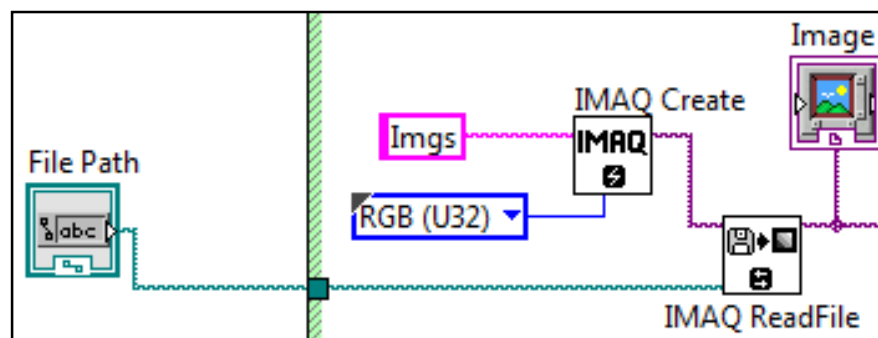


Figura 9. Funciones Vision and Motion.

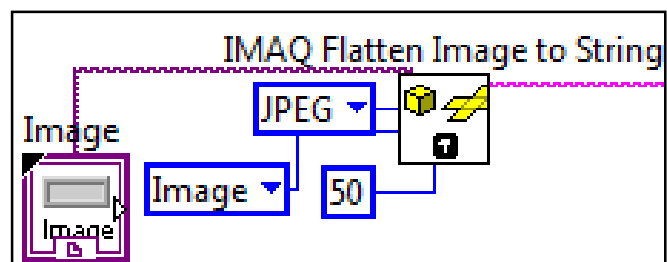


Figura 10. Función para convertir la imagen a String.

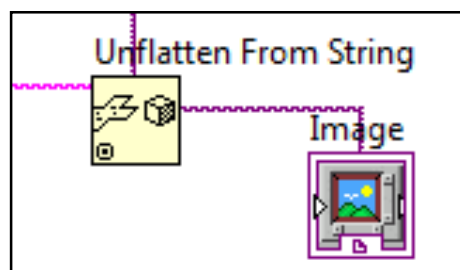


Figura 11. Función para convertir String a imagen.

7. CSMA/ACK

CSMA (Carrier Sense Multiple Access), es un protocolo de detección de portadora, cuyo fin es escuchar el medio y saber si una portadora está presente en el instante que se requiere ocupar el canal, para evitar que existan colisiones (Interacción de dos terminales al mismo tiempo)[12].

Este protocolo se clasifica en tres tipos:

- ✓ CSMA Persistente-1
- ✓ CSMA No Persistente
- ✓ CSMA Persistente-p

CSMA Persistente-1: Una vez que el transmisor está listo para enviar el mensaje, escucha el medio, si éste está ocupado espera (Detecta una portadora), cuando está desocupado el medio, se envía el mensaje. Se llama Persistente-1 porque el transmisor envía el mensaje con probabilidad de 1.

CSMA No Persistente: Es similar a persistente-1, la variación está en que a lo que escucha el medio y éste está ocupado, espera un tiempo y vuelve a transmitir aleatoriamente y no escucha de manera continua.

CSMA Persistente-p: Este protocolo se aplica en canales ranurados, conserva el mismo mecanismo que los otros mencionados anteriormente, es decir escucha el medio, la variación está en que en vez de transmitir el mensaje una vez que el medio esté libre, éste transmite con una probabilidad p .

Un ACK es un acuse de recibo en donde, el receptor o destino envía un mensaje al transmisor u origen para confirmar la recepción del mensaje. En el presente proyecto para fines prácticos y demostrativos se implementa CSMA persistente-1 y ACK, no se toma en cuenta las demás variaciones del protocolo como detección y prevención de colisiones.

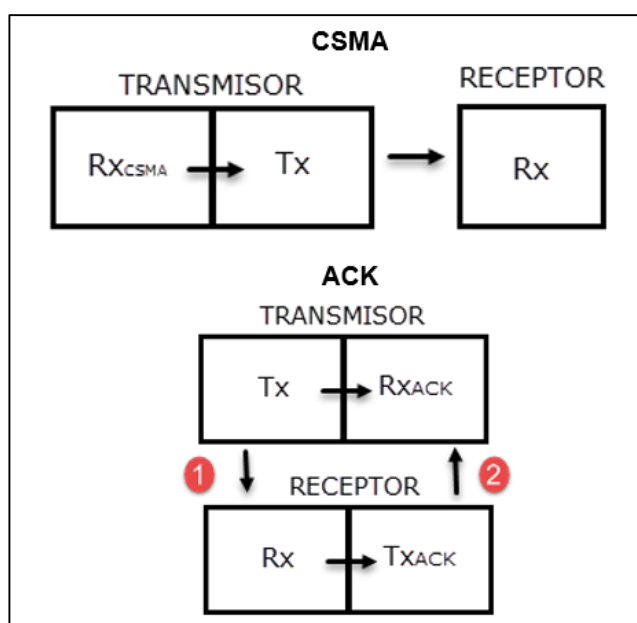


Figura 12. Diseño CSMA/ACK.

8. IMPLEMENTACIÓN

A continuación se detallan los Vis implementados para la expansión del sistema OFDM, los demás VIs vienen configurados de la práctica [5].

Luego de la implementación se realizaron pruebas en tiempo real en dos distancias diferentes, para después analizar el comportamiento del sistema.

Transmisor:

En el transmisor se detallan los siguientes VIs.

1. - Trx_Imagen
- 2.-Codificador_Convolucional_HS
- 3.-Student_Modulate_HS
- 4.-student_OFDM_modulator_Henry

Receptor:

En el transmisor se detallan los siguientes VIs.

1. - student_OFDM_demoludatror_HS
2. - student_demo_HS
3. - Decodificador_Convolucional_HS
- 4.-Rx_imagen

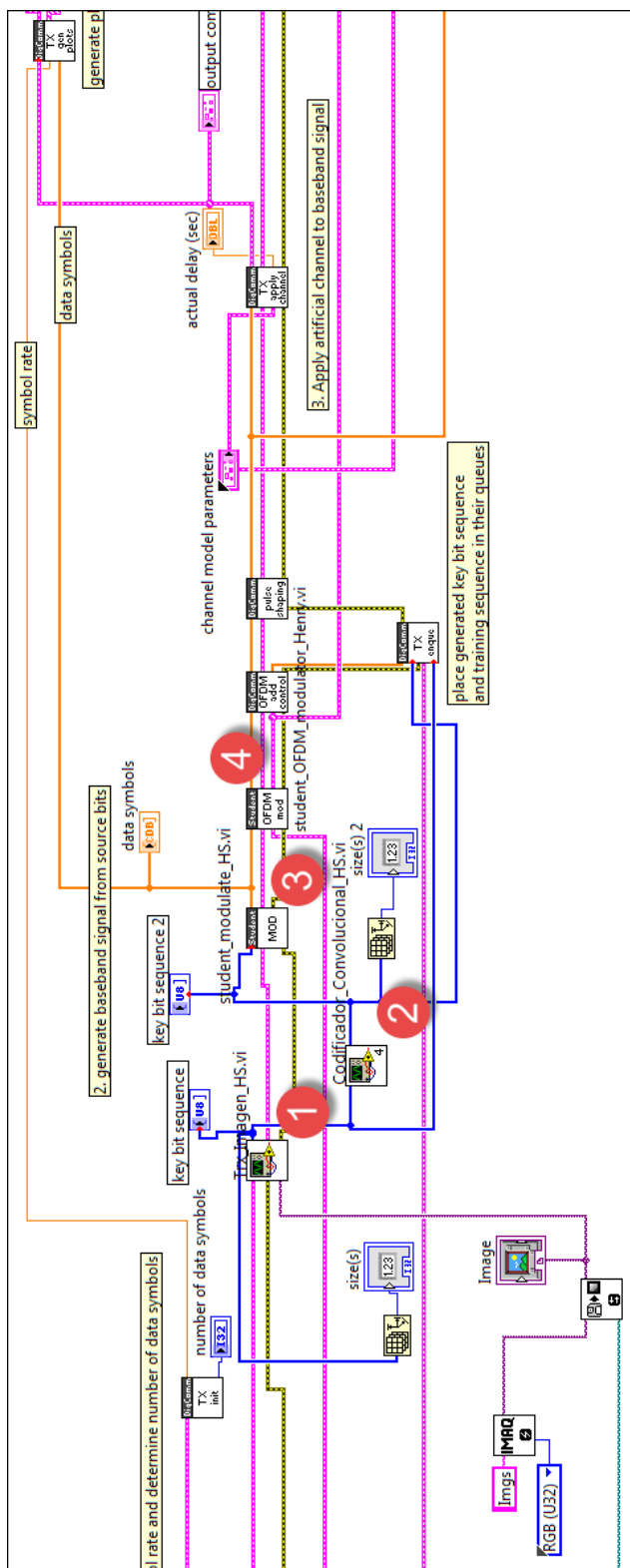


Figura 13. Diagrama VIs Transmisor.

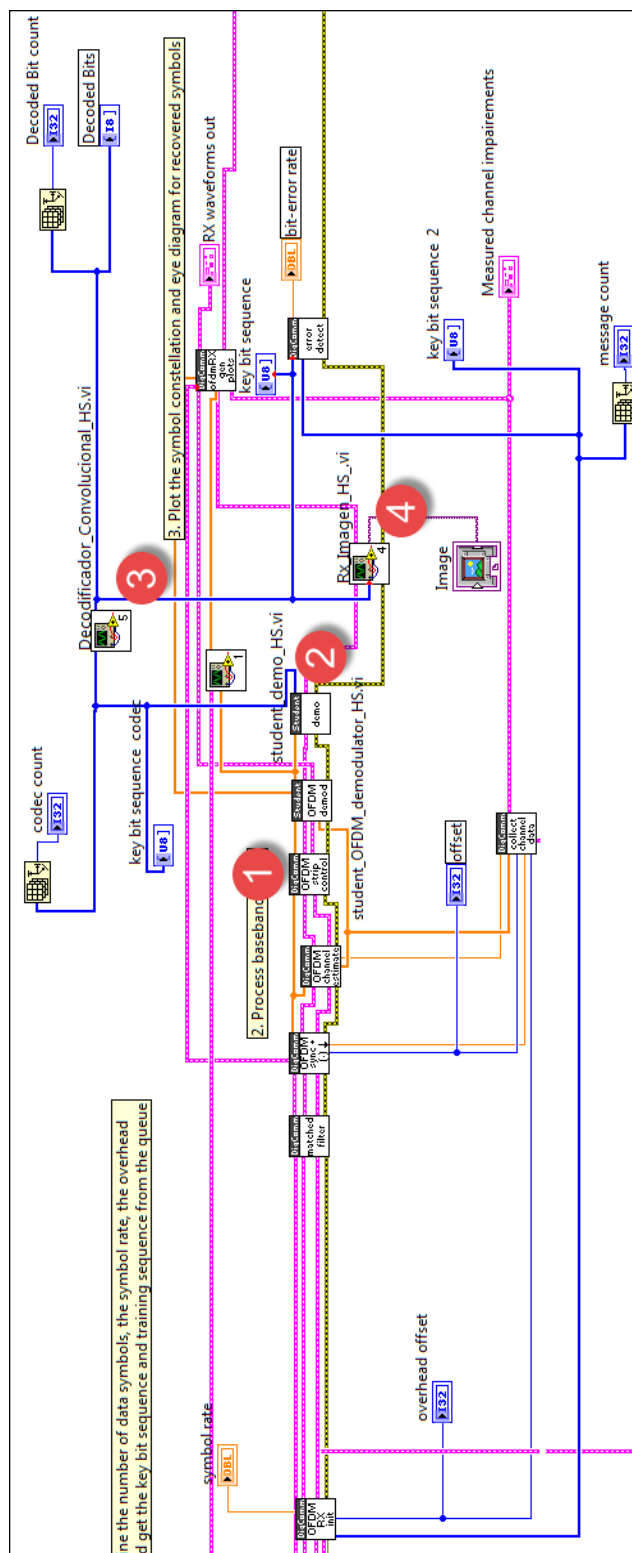


Figura 14. Diagrama VIs Receptor.

Descripción de los VIs en el transmisor.

- 1.- Trx_Imagen: Este Vi se encarga de procesar la imagen y transformar a bits, siendo éste nuestra fuente de origen de información para transmitir.
2. - Codificador_Convolucional_HS: Este VI se encarga de codificar los bits antes de ser modulados.
- 3.- Student_Modulate_HS: Este VI se encarga de mapear los bits codificados ya sea para la modulación QPSK o 16 QAM, la información de salida son símbolos.
- 4.-student_OFDM_modulator_Henry: Este VI se encarga de realizar la modulación Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, para luego ser transmitido.

Descripción de los VIs en el receptor

1. - student_OFDM_demoludatror_HS: Este VI se encarga de realizar la demodulación OFDM.
2. - student_demo_HS: Este bloque realiza la demodulación QPSK /16 QAM, y la información de salida son los bits codificados en la etapa de transmisión.
3. - Decodificador_Convolucional_HS: Decodifica los bits para obtener finalmente la información real.
- 4.-Rx_imagen: Los bits ingresados son tratados para reconstruir la imagen transmitida.

9. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A continuación se demuestra que el canal usado en el proyecto es de desvanecimiento plano.

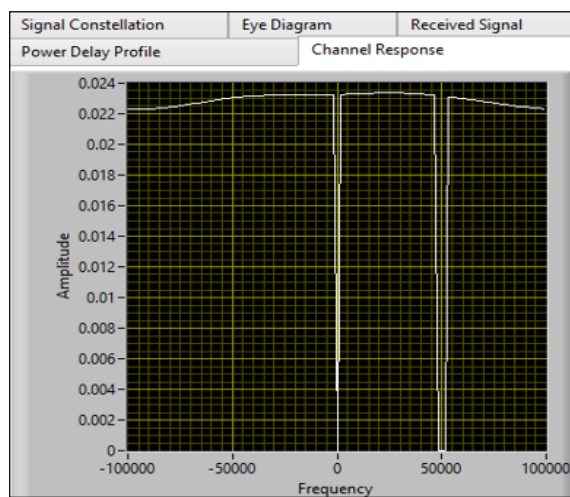


Figura 15. Respuesta del canal.

Según las ecuaciones 1, 2 y 3 tenemos:

$$\bar{\tau} = \frac{(6.5 \times 10^{-8})(5) + (1 \times 10^{-8})(10) + (6 \times 10^{-9})(15)}{(6.5 \times 10^{-8} + 1 \times 10^{-8} + 6 \times 10^{-9})} = 6.35 \mu_s$$

$$\overline{\tau^2} = \frac{(6.5 \times 10^{-8})(5^2) + (1 \times 10^{-8})(10^2) + (6 \times 10^{-9})(15^2)}{(6.5 \times 10^{-8} + 1 \times 10^{-8} + 6 \times 10^{-9})} = 49.07 \mu_s^2$$

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{49.07 - (6.35)^2} = 2.957 \mu_s$$

Según la figura 17, el tiempo de símbolo es de $5 \mu\text{s}$, entonces tenemos que el esparcimiento del retardo es menor al tiempo de símbolo $2.957 \mu\text{s} < 5 \mu\text{s}$, cumpliéndose la condición para que el canal sea de desvanecimiento plano.

En la transmisión de la imagen se analizaron dos escenarios dentro del laboratorio de simulación de comunicaciones, Canal Real 1 (distancia de 1 metro) y Canal Real 2 (distancia de 2 metros), usando las modulaciones QPSK y 16 QAM, codificación de canal Convolutional, y sincronización de trama usando el Algoritmo de Schmidt and Cox .

Canal Real 1

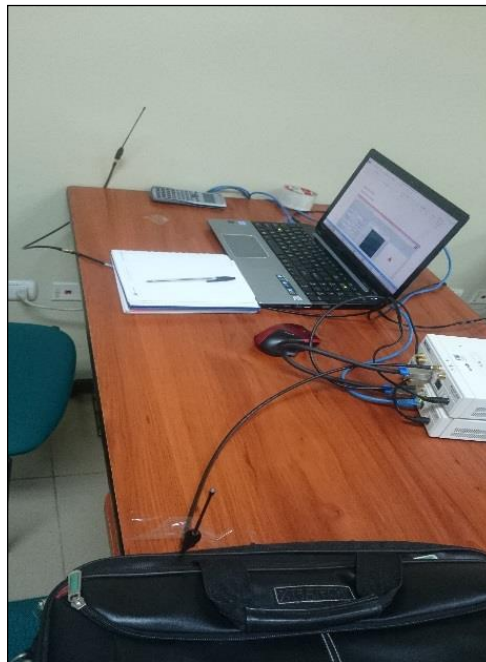


Figura 16. Transmisión y Recepción canal real 1.

En este primer escenario se realizó la transmisión y recepción a distancia de 1 metro Figura 16, para luego poder obtener el Power Delay Profile y estimar el canal de acuerdo a la Potencia y el tiempo de símbolo figura 17, para usarlo en la transmisión y continuar con las pruebas correspondientes a este escenario.

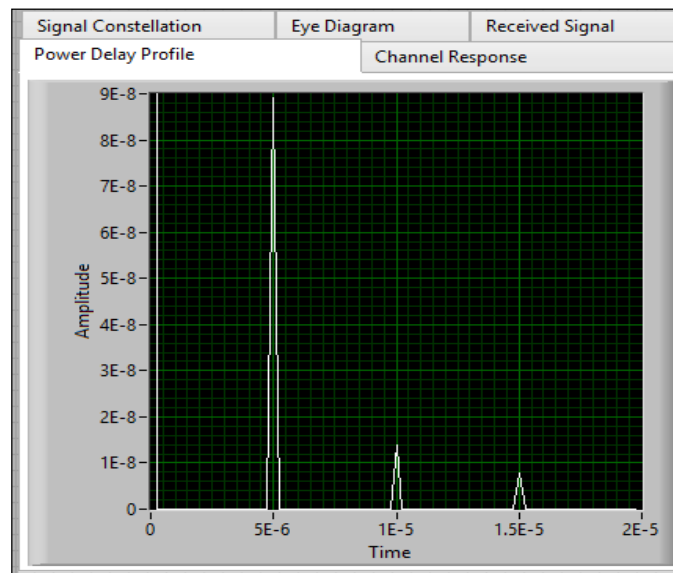


Figura 17. Power Delay Profile del Canal Real 1.

Para observar la variación del BER Vs SNR se varió la Potencia del ruido desde $-\infty$ hasta valores cercanos a 0 y demostrar que tan robusto es el sistema frente a las modulaciones y codificación de canal implementados.

Iniciamos las pruebas transmitiendo una imagen con modulación QPSK y tasa de codificación de canal de $\frac{1}{2}$ figura 18, hasta distorsionar la imagen con niveles altos de ruido figura 19.

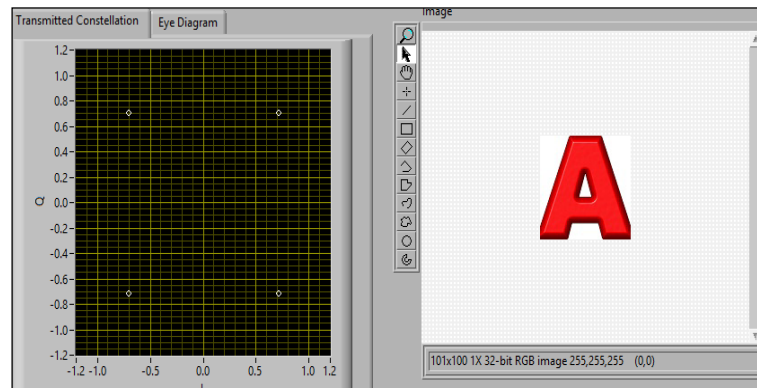


Figura 18. Transmisión de Imagen Modulación QPSK canal real 1.

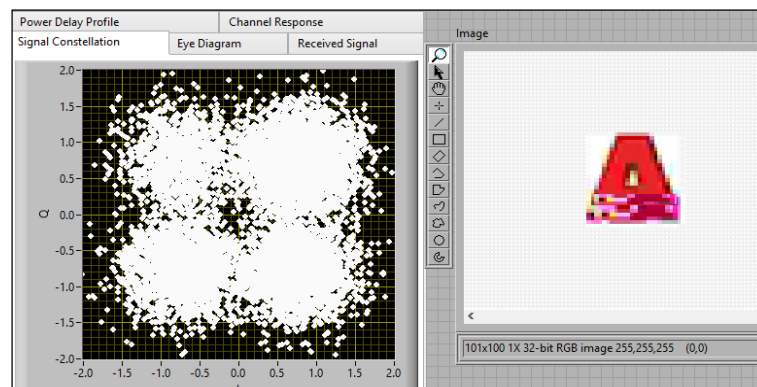


Figura 19. Recepción de Imagen Modulación QPSK canal real 1.

Luego se transmitió una imagen con modulación 16 QAM y tasa de codificación de canal de $\frac{1}{2}$ Figura 20, y así mismo con en el caso anterior se fijaron valores altos de ruido hasta distorsionar la imagen figura 21.

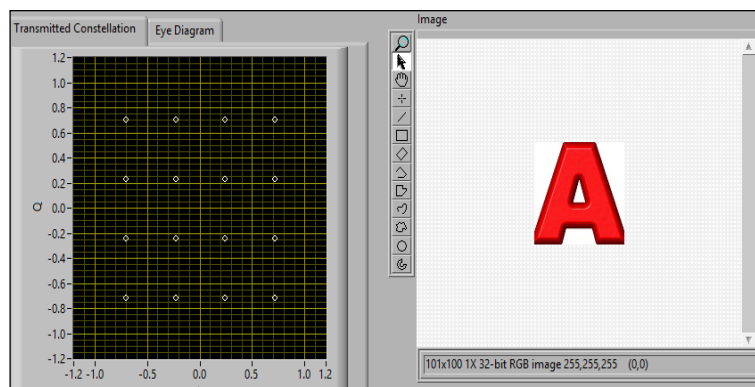


Figura 20. Transmisión de Imagen Modulación 16 QAM canal real 1.

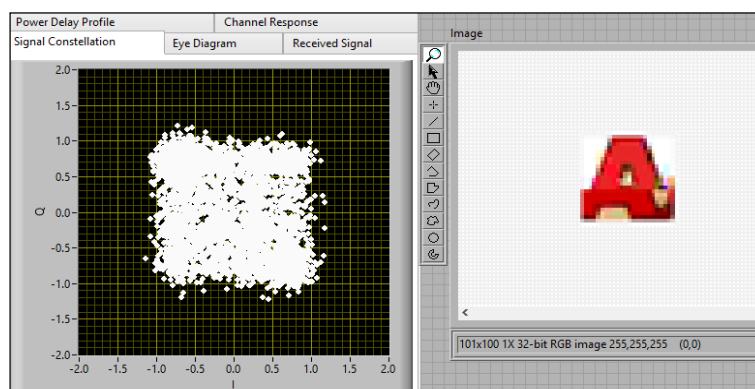


Figura 21. Recepción de Imagen Modulación 16 QAM canal real 1.

Al realizar las variaciones de la Potencia de Ruido se tomaron datos para presentar la curva BER Vs SNR y contrastar las diferencias que existen en el comportamiento de las modulaciones frente a condiciones diferentes de radio.

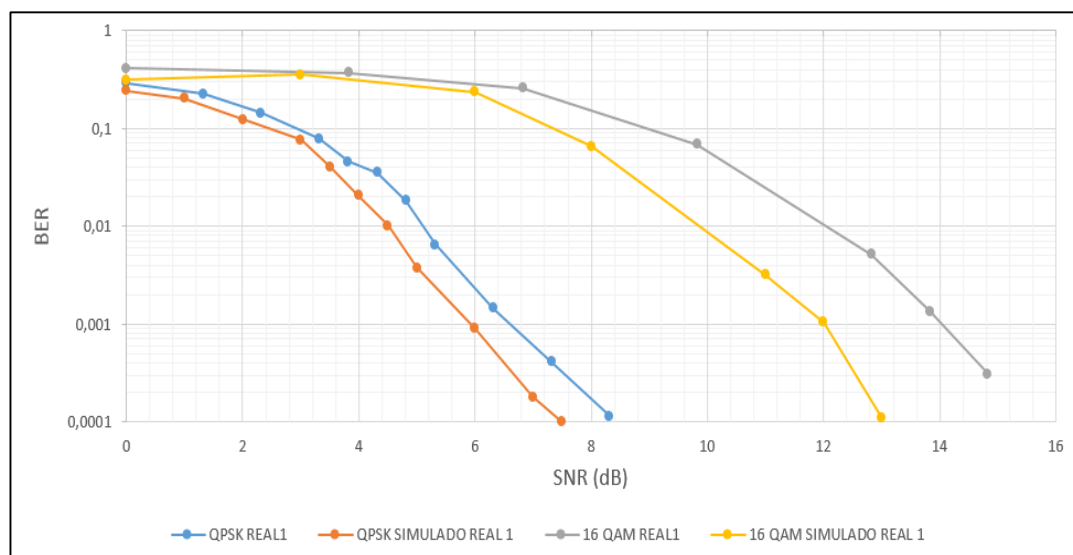


Figura 22. BER Vs SNR / QPSK-16QAM canal real 1.

Según lo observado en la figura 22 la curva celeste y naranja que corresponde a QPSK tiende a caer con valores bajos de SNR a medida que aumenta el ruido y la curva gris y amarilla que corresponde a 16 QAM el SNR tiende a caer en valores más altos, esto quiere decir que en QPSK se puede obtener buenas condiciones de transmisión en un medio ruidoso.

En este experimento se realizaron también pruebas sobre la codificación de canal por lo que se tomaron muestras del sistema sin codificación y con codificación variando la tasa de codificación de 1/2 a 2/3 tanto como en QPSK y 16 QAM.

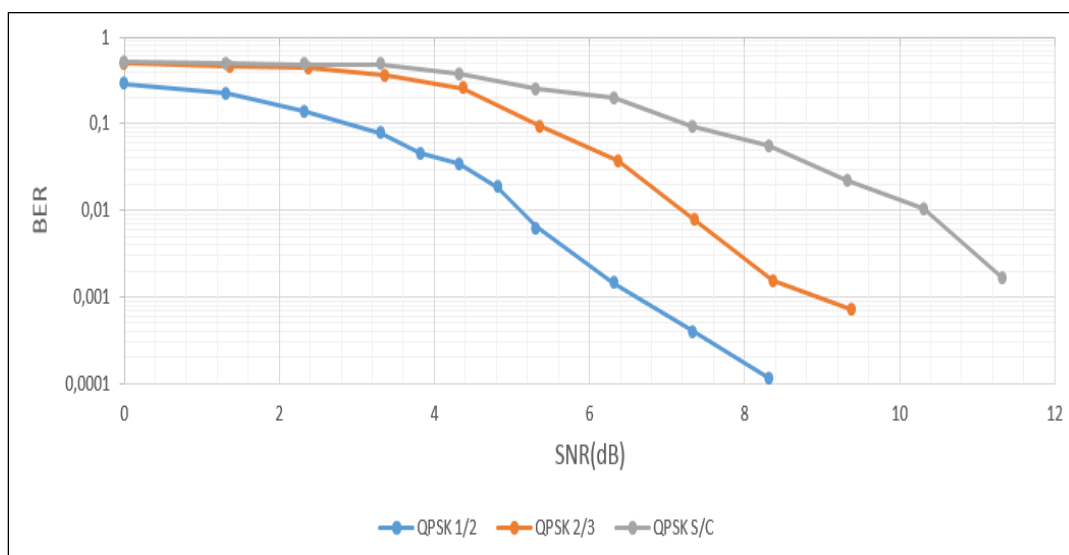


Figura 23. Variación Tasa de codificación QPSK canal real 1.

Como podemos observar en la Figura 23 un sistema sin codificación de canal (Curva gris), es más sensible al ruido ya que se presenta un SNR más alto y una tasa de error más alta con las mismas condiciones de radio.

Ahora aplicando una codificación de canal, en este caso la codificación convolucional se aprecia diferencias con respecto a un canal sin codificación siendo la más óptima la codificación con tasa 1/2 (Curva celeste) respecto a la codificación con tasa 2/3 (Curva naranja), en este caso la codificación con tasa 1/2 tiene un mejor desempeño frente a condiciones altas de ruido.

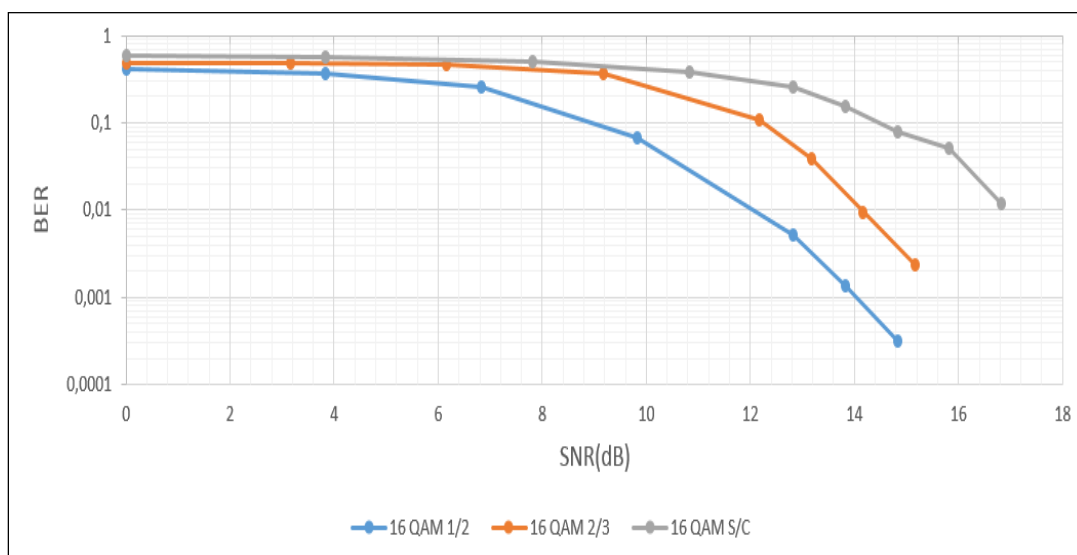


Figura 24. Variación Tasa de codificación 16 QAM canal real 1.

Esta prueba se replicó también en un sistema con modulación 16 QAM figura 24, obteniendo un comportamiento similar, pero la curva tiende a caer con valores de SNR más altos, esto debido a la característica propia de este tipo de modulación, ya demostrado anteriormente.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la variación de la tasa de bits R_b Vs SNR. Como podemos observar en la figura 25, el sistema con modulación QPSK soporta una transmisión de hasta 2 Mbps aproximadamente con un SNR de 10 db, esto es porque al tener un SNR alto, el BER y la Potencia de ruido son bajos dando como resultado un buen desempeño del sistema soportando buena tasa de transmisión respecto a la

tasa que se obtiene con valores de SNR bajos. Así mismo se realizó el experimento con la modulación 16 QAM figura 26, en este sistema se observa que soporta una transmisión de hasta 8 Mbps aproximadamente con un SNR de 17 db demostrando que esta modulación es superior en cuanto a la tasa de transmisión de datos pero sensible al ruido.

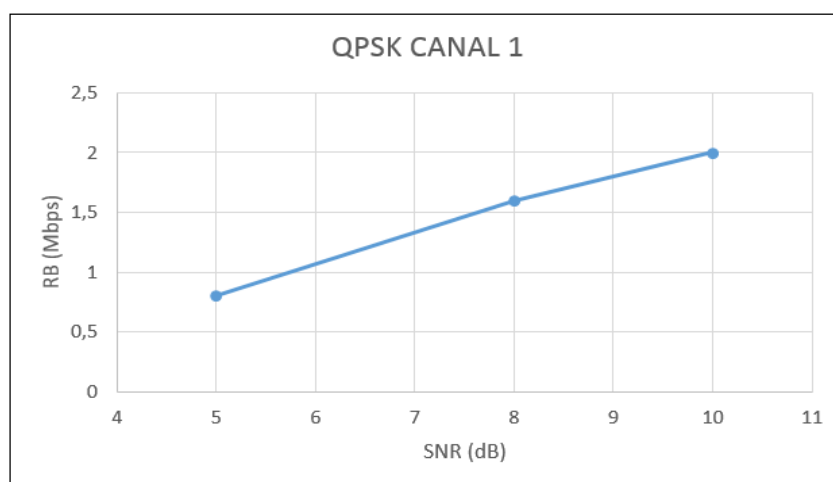


Figura 25. Variación Tasa de bits QPSK canal real 1.

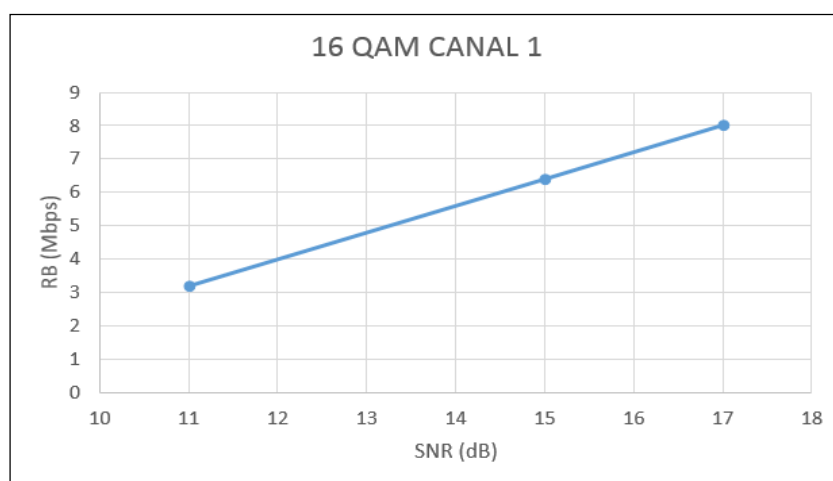


Figura 26. Variación Tasa de bits 16 QAM canal real 1

Canal Real 2

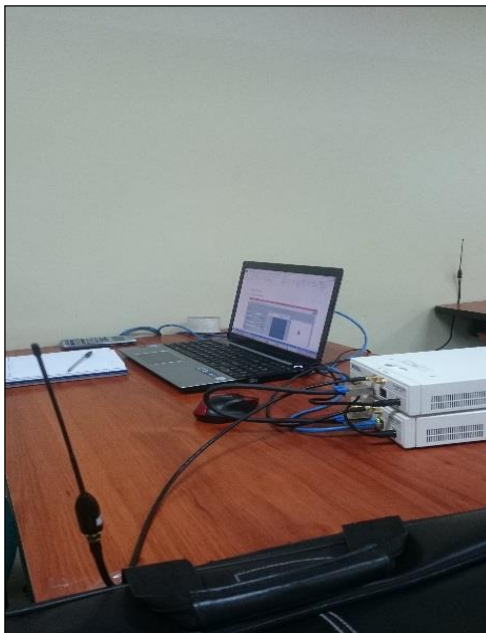


Figura 27. Transmisión y Recepción canal real 2.

En el segundo escenario se realizó la transmisión y recepción a distancia de 2 metros figura 27, luego se obtuvo el Power Delay Profile y se estimó el canal de acuerdo a la Potencia y el tiempo de símbolo figura 28.

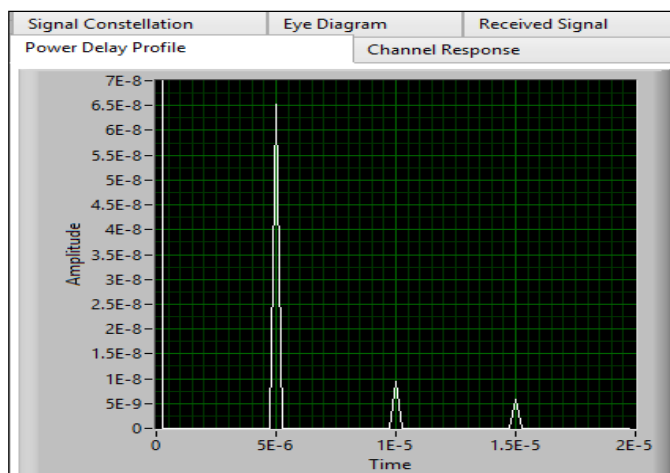


Figura 28. Power Delay Profile del canal real 2.

Para observar la variación del BER Vs SNR se varió la Potencia del ruido desde $-\infty$ hasta valores cercanos a 0, tal como se hizo en el experimento del canal real 1 para demostrar que tan robusto el sistema frente a las modulaciones y codificación de canal implementados.

Iniciamos las pruebas transmitiendo una imagen con modulación QPSK y tasa de codificación de canal de $\frac{1}{2}$ figura 29, hasta distorsionar la imagen con valores altos de ruido db figura 30.

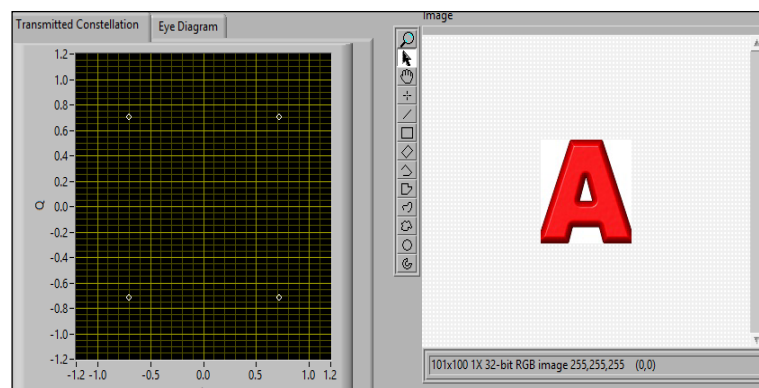


Figura 29. Transmisión de Imagen Modulación QPSK canal real 2.

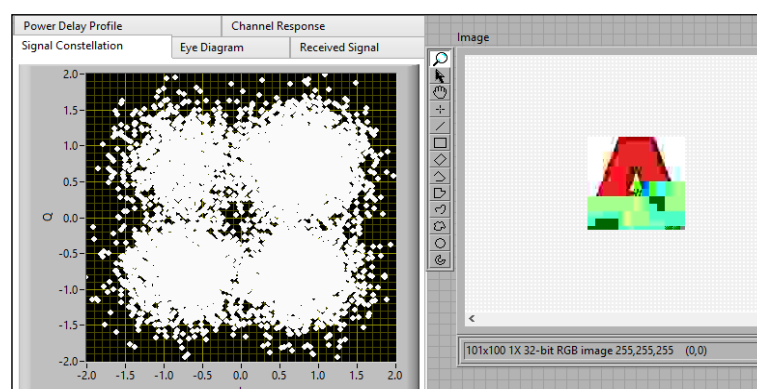


Figura 30. Recepción de Imagen Modulación QPSK canal real 2.

Luego se transmitió una imagen con modulación 16 QAM y tasa de codificación de canal de 1/2 figura 31, y así mismo se varió el ruido hasta distorsionar la imagen figura 32.

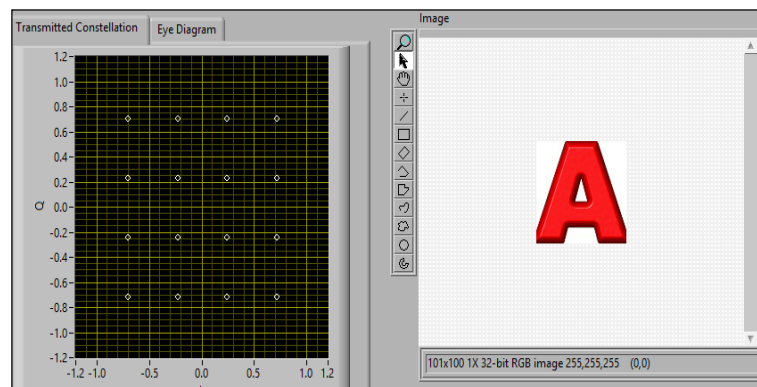


Figura 31. Transmisión de Imagen Modulación 16 QAM canal real 2.

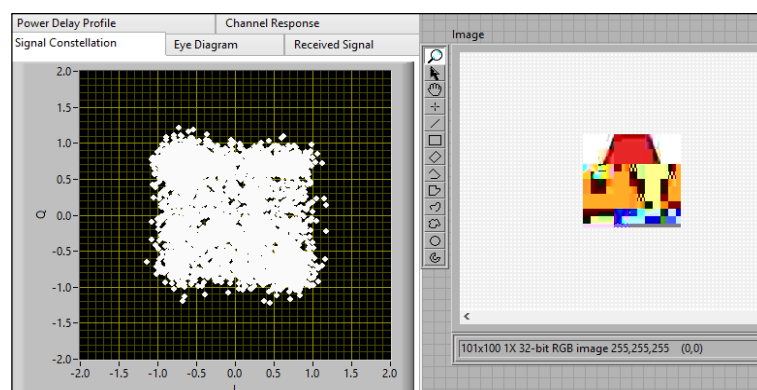


Figura 32. Recepción de Imagen Modulación 16 QAM canal real 2.

Se varió Potencia de Ruido y se tomaron datos para presentar la curva BER Vs SNR y contrastar las diferencias que existen en el comportamiento de las modulaciones frente a condiciones diferentes de ruido en este nuevo escenario.

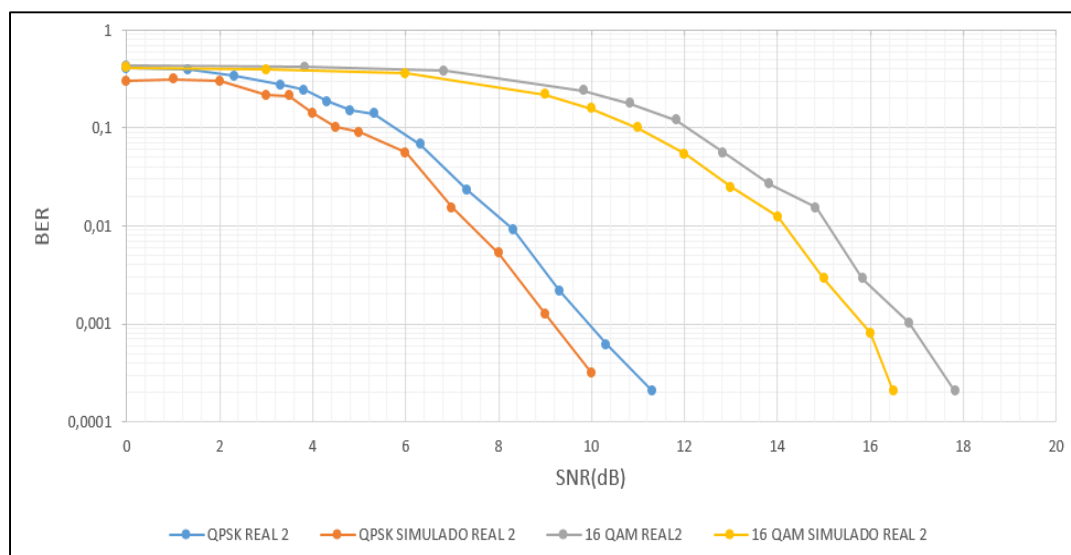


Figura 33. BER Vs SNR / QPSK-16QAM REAL 2.

Según lo observado en la Figura 33 la curva celeste y naranja que corresponde a QPSK tiende a caer con valores bajos de SNR a medida que se aumenta el ruido y la curva gris y amarilla que corresponde a 16 QAM el SNR tiende a caer en valores más altos, esto quiere decir que en QPSK se puede obtener buenas condiciones de transmisión en un medio ruidoso, mostrando el comportamiento característico de cada modulación como fue presentado en el experimento del canal real 1.

En este experimento se realizaron también pruebas sobre la codificación de canal por lo que se tomaron muestras del sistema sin codificación y con codificación variando esta vez la tasa de codificación de 1/3 a 1/2 tanto como en QPSK y 16 QAM.

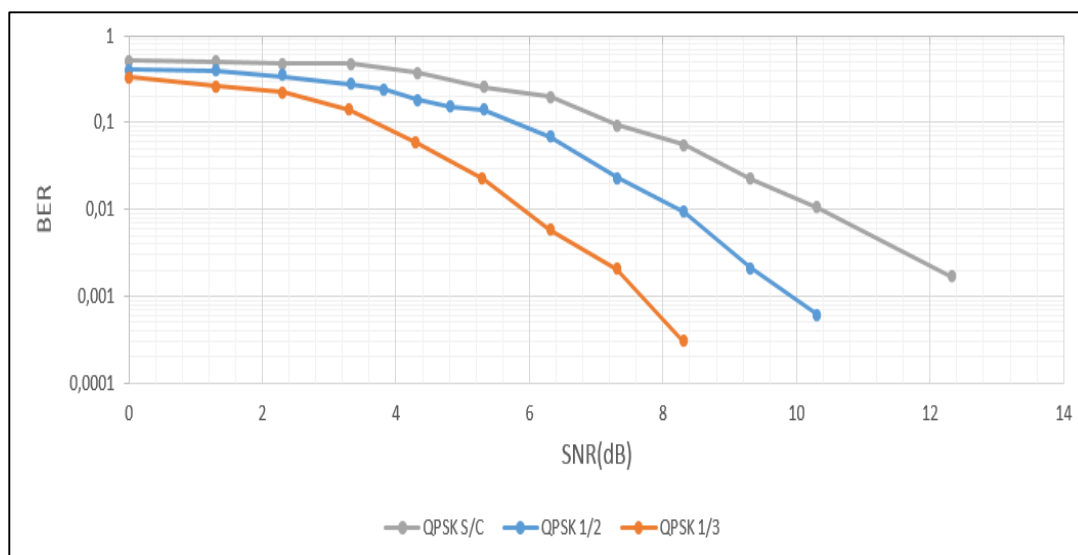


Figura 34. Variación Tasa de codificación QPSK canal real 2.

Según lo observado en la figura 34 un sistema con las mismas condiciones de radio sin codificación de canal (Curva gris), es más sensible al ruido ya que se presenta un SNR más alto y una tasa de error más alta.

Ahora aplicando una codificación de canal, en este caso la codificación convolucional se aprecia diferencias con respecto a un canal sin codificación siendo esta vez más óptima la codificación con tasa 1/3 (Curva naranja) respecto a la codificación con tasa 1/2, esta tiene un mejor desempeño frente a condiciones altas de ruido.

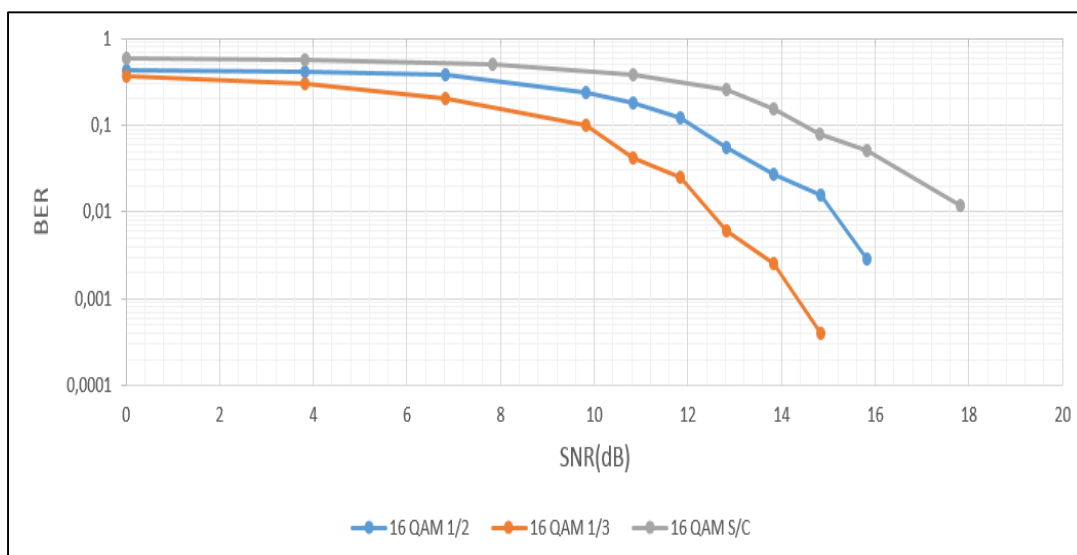


Figura 35. Variación Tasa de codificación 16 QAM canal real 2.

Esta prueba se replicó también en un sistema con modulación 16 QAM Figura 35 obteniendo un comportamiento similar, pero la curva tiende a caer con valores de SNR más altos tal como se demostró anteriormente.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la variación de la tasa de bits R_b Vs SNR. Como podemos observar en la Figura 36 el sistema con modulación QPSK soporta una transmisión de hasta 2 Mbps aproximadamente con un SNR de 10 db, esto es porque al tener un SNR alto el BER y la Potencia de ruido son bajos dando como resultado un buen desempeño del sistema soportando buena tasa de transmisión respecto a la tasa que se obtiene con valores de SNR bajos. Así mismo se realizó el experimento con la modulación 16 QAM Figura 37, en este sistema se

observa que soporta una transmisión de hasta 8 Mbps aproximadamente con un SNR de 18 db demostrando que esta modulación es superior en cuanto a la tasa de transmisión de datos pero sensible al ruido.

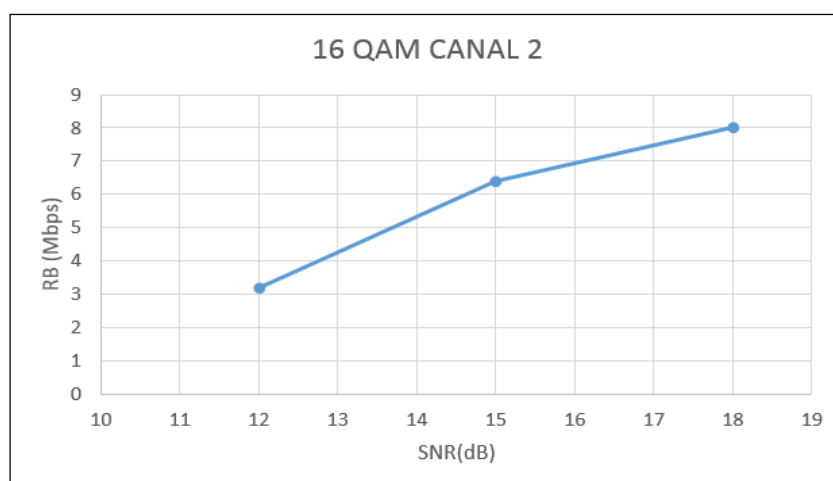


Figura 36. Variación Tasa de bits QPSK Canal real 2.

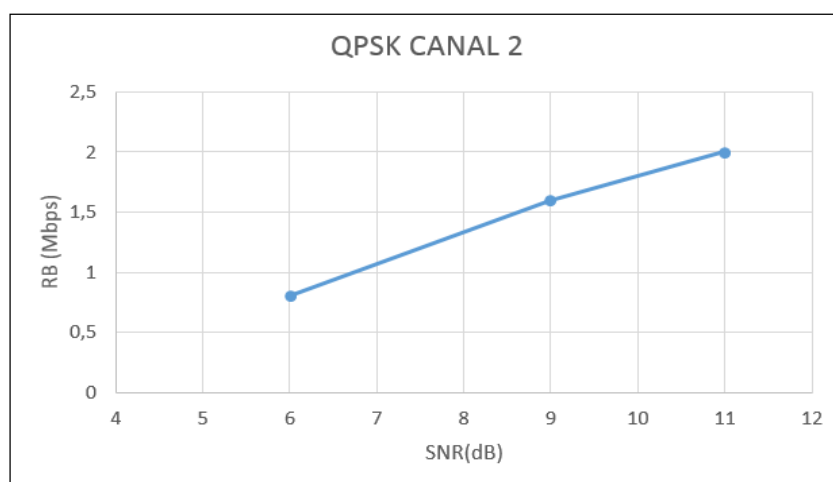


Figura 37. Variación Tasa de bits 16 QAM Canal real 2.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en las pruebas reales del sistema de comunicación inalámbrico OFDM Figura 15 y Figura 26, se pudo demostrar que de acuerdo al algoritmo implementado de Schmidt and Cox de sincronización de trama la información era recibida sin novedad y la imagen podía ser recuperada bajo condiciones reales, mostrando el efecto de los altos niveles de ruido sobre el canal (Imagen distorsionada), siendo éste caso un ejemplo práctico de lo que ocurre en el sistema de transmisión de televisión digital en la actualidad.

Se pudo demostrar las ventajas y desventajas que tienen las modulaciones implementadas, como podemos ver en la figura 21 y figura 32, tanto en el escenario real 1 y escenario real 2 la modulación QPSK tiende a tener valores alto de BER para valores bajos de SNR siendo ésta una ventaja ya que es menos susceptible a las altas potencias de ruido, la modulación 16 QAM tiende a tener valores altos de BER para valores un poco más altos de SNR en comparación con QPSK.

Según las distancias de separación en las pruebas realizadas se mostraron diferencias en el SNR tanto como para QPSK y 16 QAM, a menor distancia la

curva tiende a caer más rápido demostrando que el ruido y factores externos presentes en un sistema de comunicaciones son variables muy importantes a tratar para garantizar la robustez de un sistema.

Se pudo demostrar la importancia de la codificación de canal, ya que así se asegura la robustez de un sistema de comunicaciones inalámbricas frente a condiciones altas de potencia de ruido.

Finalmente se pudo demostrar que la modulación 16 QAM soporta más tasa de transferencia de bits siendo ésta una gran ventaja en condiciones buenas de radio frecuencia.

Cada modulación tiene sus ventajas/desventajas y de acuerdo a las características del tipo de información y del medio de propagación es usada para mejorar la comunicación según sea el caso, por ejemplo si se desea transmitir información con una baja tasa de transferencia en un medio ruidoso o con mucha interferencia presente se recomienda usar la modulación QPSK, por otro lado si se desea transmitir información pero con altas tasa de transferencia de datos y mejor calidad según la percepción de usuario se recomienda la modulación 16 QAM, teniendo cuidado del ruido o interferencia sobre el canal donde se transmite.

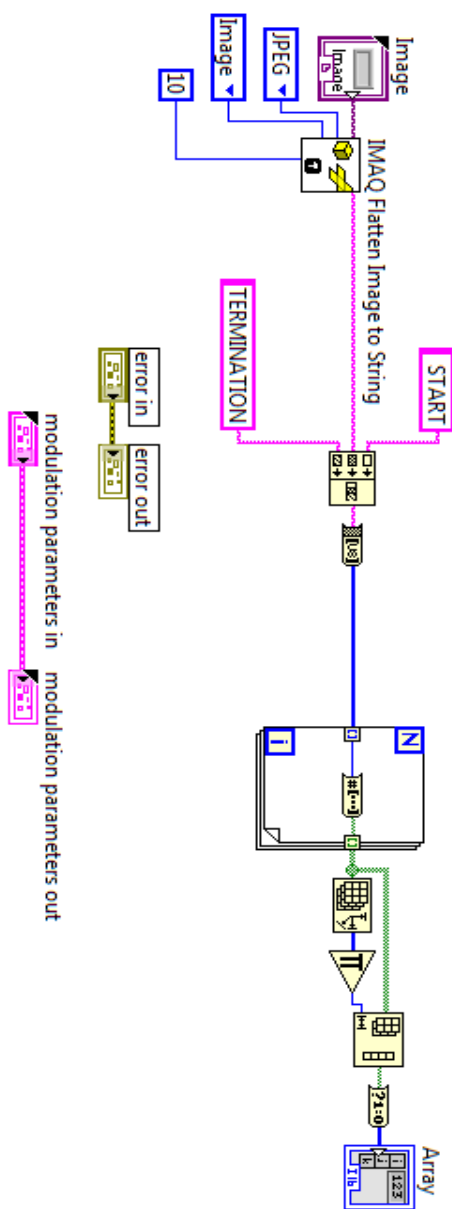
REFERENCIAS

- [1] E. L. Chancay y C. A. Chonillo, "Diseño, Simulación e Implementación de la Sincronización de la Portadora y de la Trama en Sistemas OFDM", Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2013.
- [2] J.M Vergara González, "Simulación de un esquema de Modulación/Demodulación OFDM Utilizando un Modelo de Canal Multitrayectoria, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2008."
- [3] T. B. Welch, S. Shearman, "Teaching software defined radio using the USRP and Labview", 2012.
- [4] M. El-Hajjar, Q. A. Nguyen, R.G. Maunder, and S. X.Ng, Demonstrating the Practical Challenges of Wireless Communications Using USRP. *IEEE Communications Magazine*, May 2014, pp 196-201.
- [5] B. A. Floreano y S. A. Jácome, "Mitigación del ISI (Interferencia Intersimbólica sobre un sistema WiMAX Fijo)", Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2010.
- [6] Manual de prácticas del Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas FIEC-ESPOL. Práctica No 4.
- [7] J.G. Proakis y M. Salehi, *Communication Systems Engineering* , 2da Edición, 2002.

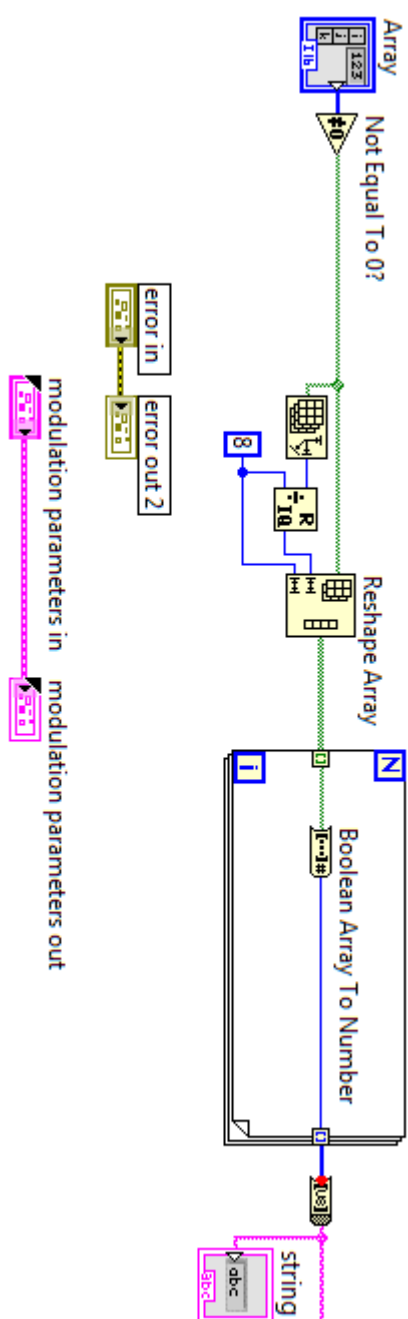
- [8] National Instruments, « MT Convolutional Encoder Rate - National Instruments,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/documentation/en/labview-comms/1.0/mt-node-ref/mt-convolutional-encoder-rate/>. [Último acceso: 11 09 2016].
- [9] National Instruments, « MT Convolutional Decoder (Viterbi Hard Decision, Rate) - National Instruments,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/documentation/en/labview-comms/1.0/mt-node-ref/mt-conv-decoder-viterbi-hard-rate/>. [Último acceso: 11 09 2016].
- [10] R. W. Heath, Digital Communications- Physical Layer Exploration Lab Using The NI USRP Plataform,, pp. 115-12.
- [11] National Instruments, «Software NI Vision Acquisition - National Instruments,» 2016. [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/12892>. [Último acceso: 11 09 2016].
- [12] A. Tanenbaum y D. Wetherall, Redes de Computadoras, 5ta Edición. Pearson, 2012

ANEXOS

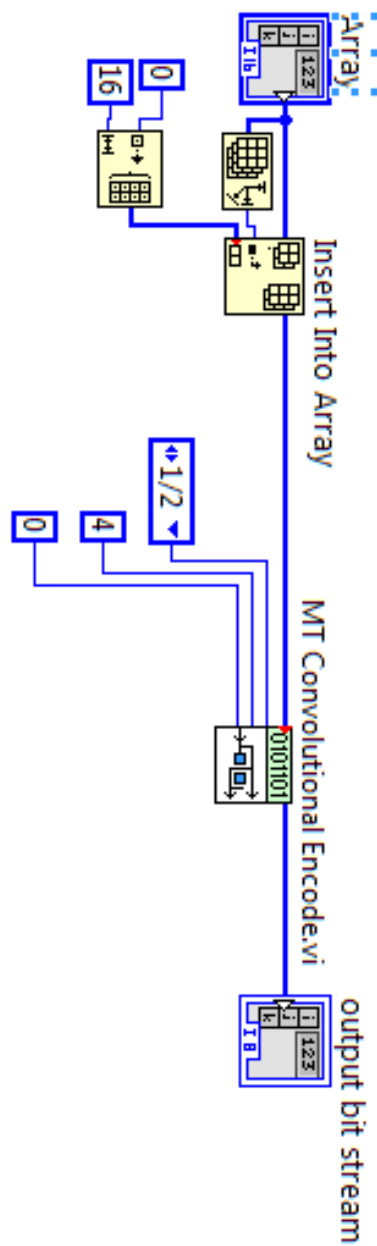
ANEXO 1 - DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEL TRATAMIENTO DE LA IMAGEN A TRANSMITIR



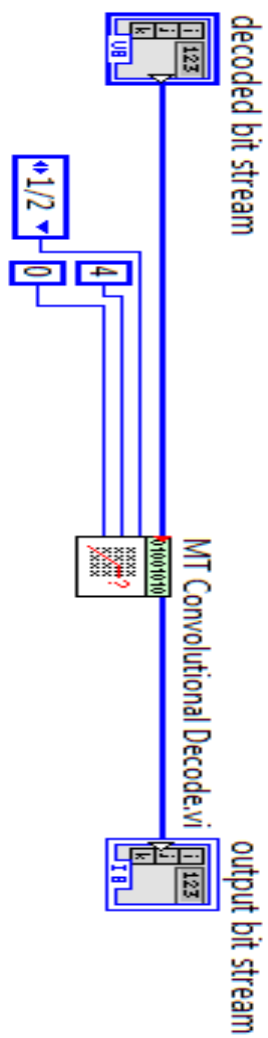
ANEXO 2 - DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEL TRATAMIENTO DE LA IMAGEN A RECIBIR



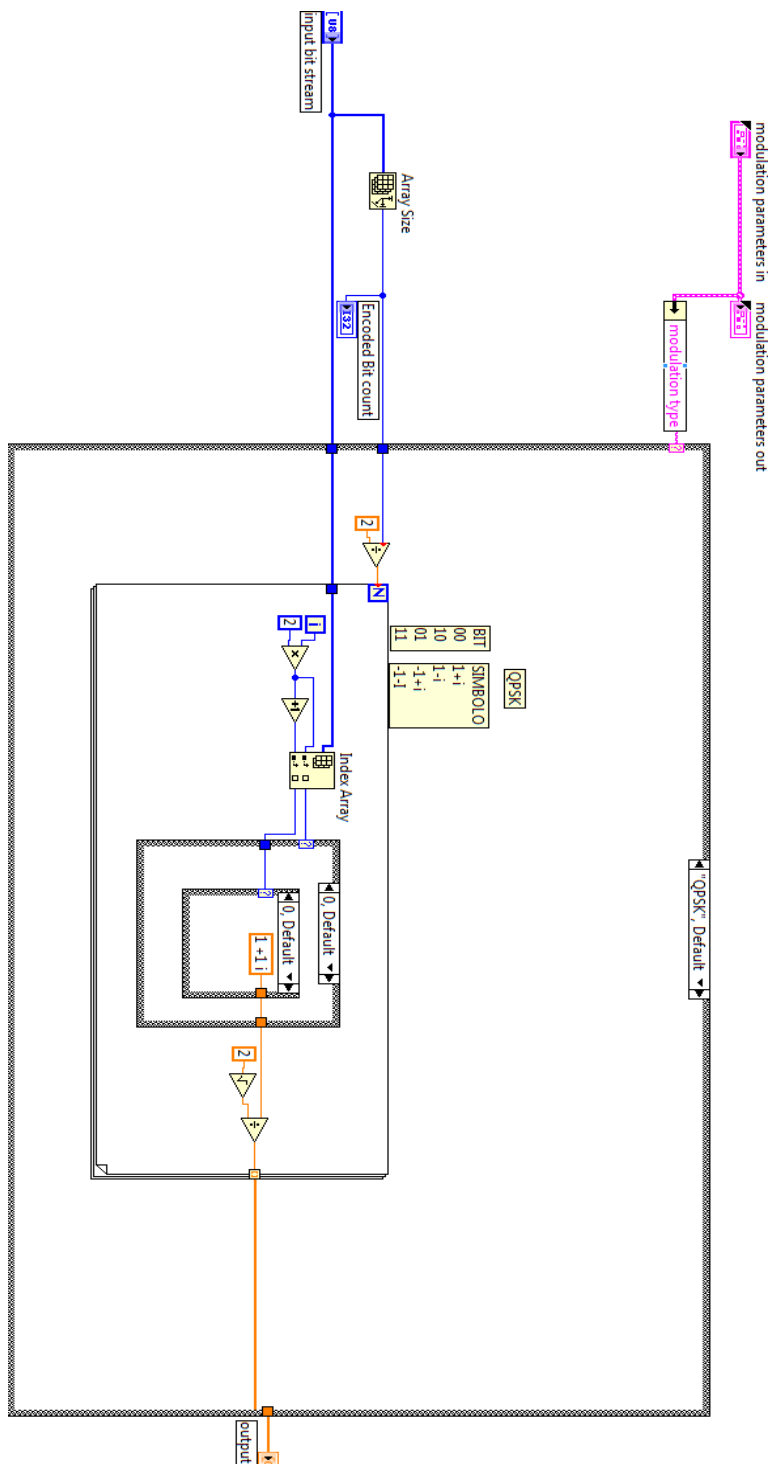
ANEXO 3 - DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEL CODIFICADOR DE CANAL



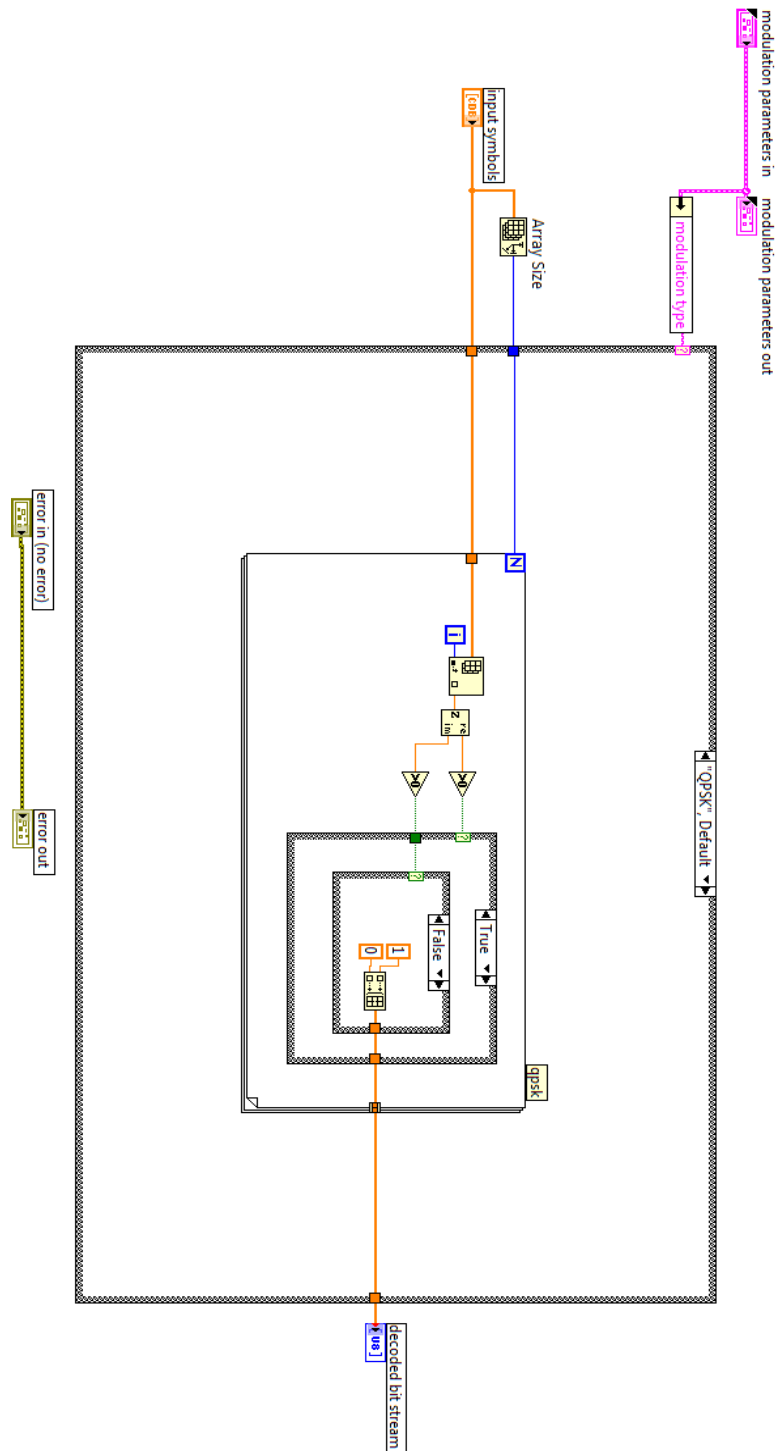
ANEXO 4 - DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEL DECODIFICADOR DE CANAL



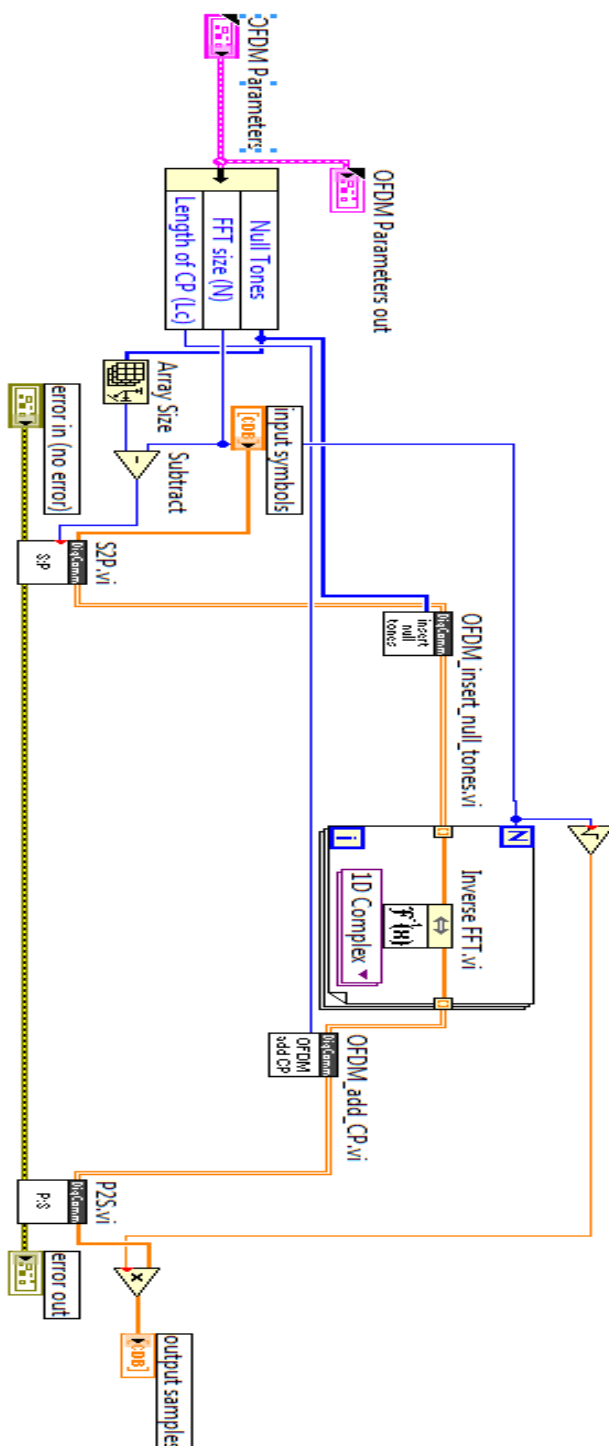
ANEXO 5 - DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DE LA MODULACIÓN QPSK



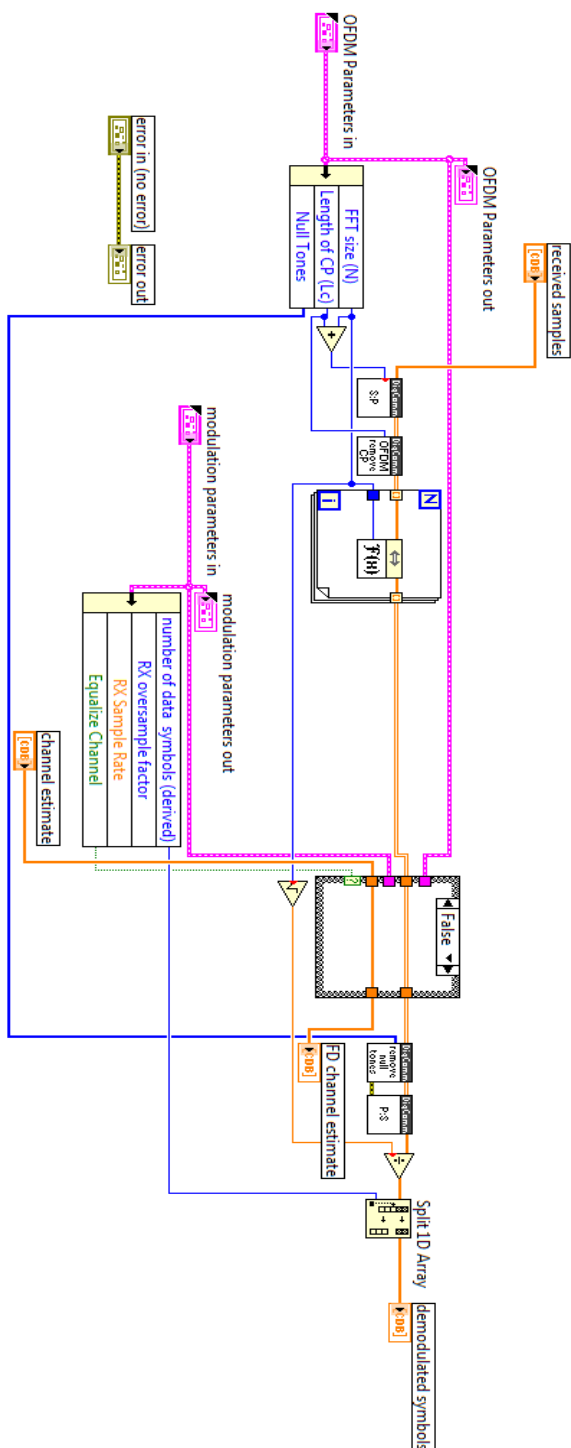
ANEXO 6 - DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DE LA DEMODULACIÓN QPSK



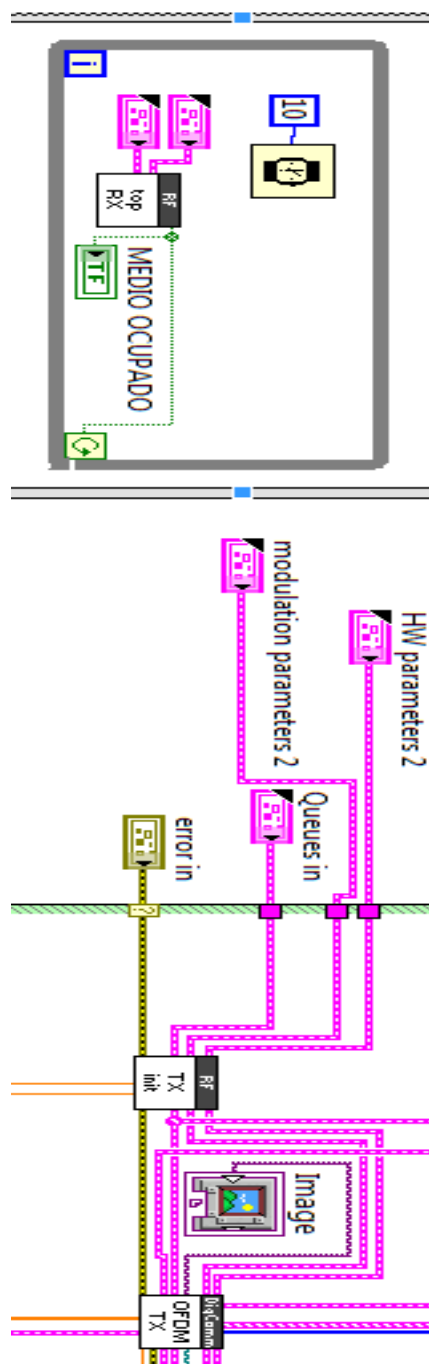
ANEXO 7 - DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEL MODULADOR OFDM



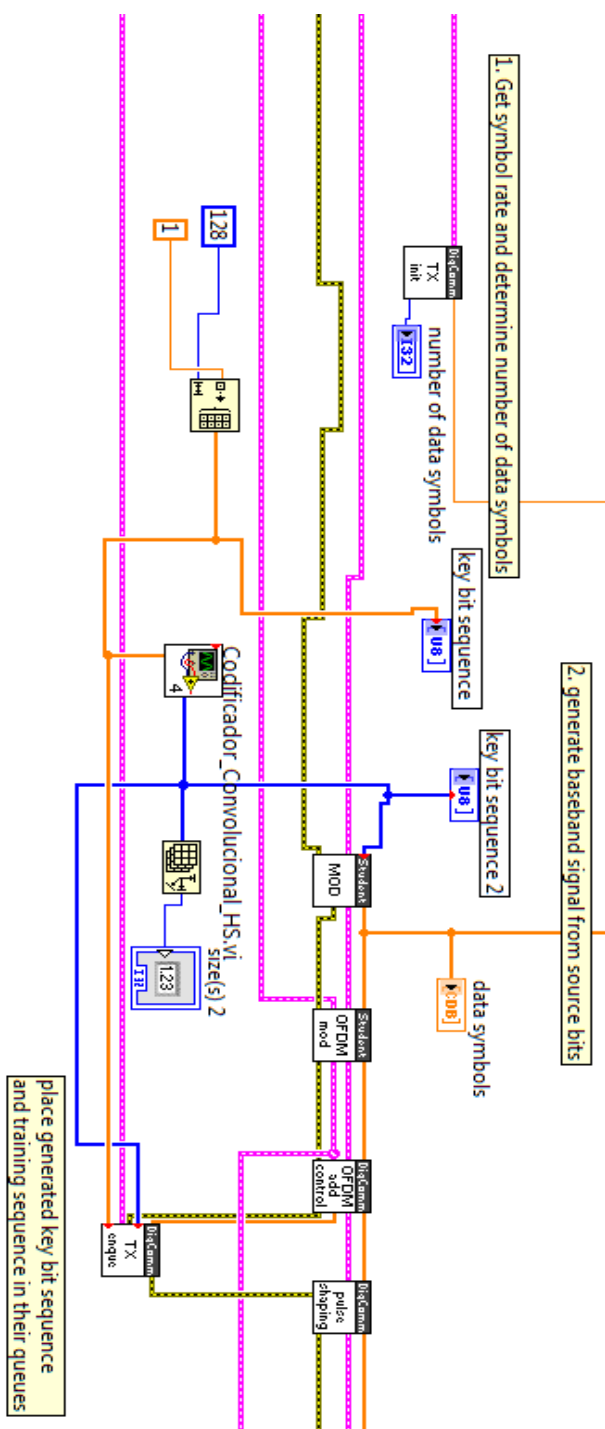
ANEXO 8 - DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEL DEMODULADOR OFDM



ANEXO 9 - DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DE LA DETECCIÓN DE PORTADORA CSMA



ANEXO 10 - DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DE LA TRANSMISIÓN ACK



ANEXO 11 - DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DE LA RECEPCIÓN

ACK

