



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y  
RECEPCIÓN INALÁMBRICA DE VIDEO BASADO EN OFDM  
CON MULTIPORTADORA UTILIZANDO USRP”**

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

Previa a la obtención del Título de:

**MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

**Ing. Michael David Samaniego Villarroel**

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

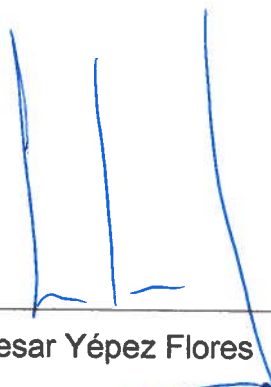
## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de manera especial y sincera a la ESPOL y a mi coordinador de la maestría al Ph.D. Boris Ramos, a sus ayudantes y a todo el equipo humano que conforma parte de la Maestría de Telecomunicaciones y por su apoyo, capacidad para ser soporte en cada uno de los pasos realizados para el desarrollo de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro en primero estancia a Dios, al soporte de mis padres María y Segundo, a mi Esposa por el apoyo durante todo el tiempo de realización del proyecto, a mis hermanos y toda mi familia, por siempre estar conmigo y ser los pilares fundamentales de mi vida.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

M.Sc. Cesar Yépez Flores

**EVALUADOR**



---

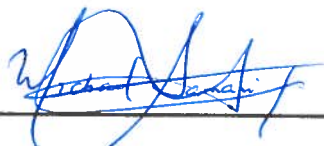
M.Sc. Edison del Rosario Camposano

**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.



---

Ing. Michael Samaniego Villarroel

C.I.: 0916800105

## RESUMEN

La transmisión de datos a través de canales inalámbricos en los sistemas de telecomunicaciones ha ido evolucionando de manera constante conforme avanza el tiempo. Hoy en día mediante equipos con la última tecnología pueden recibir la señal sobreponiéndose a los problemas presentados en diferentes ambientes.

Se ha realizado un análisis de la transmisión de video a través de un sistema de Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) que usa la simulación del canal inalámbrico mediante el software Labview y equipos USRP-2920 de National Instruments, con la finalidad de obtener datos de la relación señal/ruido (SNR), la tasa de error binario (BER) en las diferentes modulaciones digitales tales como QPSK y 64 QAM, que analiza y compara algunos que factores influyen en la transmisión y recepción de video, determinando el sistema más óptimo para la transmisión inalámbrica en el escenario propuesto.

## CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	I
<b>DEDICATORIA</b> .....	II
<b>TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN</b> .....	III
<b>DECLARACIÓN EXPRESA</b> .....	IV
<b>CONTENIDO</b> .....	vi
<b>ABREVIATURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>1. MARCO TEORICO</b> .....	12
1.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICAS .....	12
1.2. SISTEMA OFDM .....	12
1.3. MODULACIÓN QPSK .....	14
1.4. MODULACIÓN 64 QAM .....	17
1.5. ALGORITMO SCHMIDL AND COX.....	18
1.6. LABVIEW Y USRP .....	20
1.7. CSMA.....	21
1.8. ACK / NACK .....	22
1.9. TURBO CÓDIGO .....	23
<b>2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN LABVIEW</b> .....	25
2.1. Captura y transmisión de Video .....	26
2.2. Transmisor OFDM .....	27
2.3. Receptor OFDM .....	28
<b>3. ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	31
3.1. Transmisión de Video usando codificación de canal Turbo Código con las modulaciones QPSK y 64 QAM.....	31

3.2. Tolerancia al ruido del sistema.....	38
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>46</b>



## ABREVIATURAS

<b>BER</b>	Bit Error Rate
<b>SC</b>	Schmidl and Cox
<b>D</b>	Ecualizador Directo
<b>TC</b>	Turbo Código
<b>ACK</b>	Acuse Recibo
<b>NACK</b>	Acuse Recibo Negativo
<b>CSMA</b>	Acceso Múltiple con Escucha de Portadora
<b>AWGN</b>	Ruido Blanco Gaussiano Aditivo
<b>MMSE</b>	Error Cuadrático Promedio Mínimo
<b>MSE</b>	Error Cuadrático Promedio
<b>R1</b>	Real 1
<b>R2</b>	Real 2
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase-Shift Keying
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation
<b>S</b>	Simulado
<b>SNR</b>	Signal to Noise Ratio
<b>USRP</b>	Universal Software Radio Peripheral

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama de bloques Transmisor y Receptor OFDM .....	13
Fig. 2. Constelación QPSK.....	14
Fig. 3. Constelación QPSK implementado en Labview .....	15
Fig. 4. Canal AWGN implementado en Labview .....	16
Fig. 5. Relación BER vs SNR en QPSK .....	16
Fig. 6. Constelación 64 – QAM.....	17
Fig. 7. Constelación 64 QAM implementado en Labview .....	18
Fig. 8. Panel Frontal y diagrama de bloques LabView .....	21
Fig. 9. Diagrama de Bloque – CSMA.....	22
Fig. 10. ACK/NACK .....	23
Fig. 11. Bloque Turbo Código.....	24
Fig. 12. Implementación del Sistema de Transmisión y Recepción de Video OFDM Canal Real 1. ....	25
Fig. 13. Implementación del Sistema de Transmisión y Recepción de Video OFDM Canal Real 2. ....	26
Fig. 14. Bloque Adquisición de Video .....	27
Fig. 15. Diagrama de Bloque – Transmisor OFDM.....	28
Fig. 16. Diagrama de Bloque – Receptor OFDM.....	29
Fig. 17. Diagrama de Bloque – Convertidor de Texto a Imagen .....	30
Fig. 18. Constelación QPSK Canal Real 1 .....	31
Fig. 19. Constelación 64 QAM Canal Real 1 .....	32
Fig. 20. Relación BER vs SNR Canal Real 1 Modulación QPSK sin codificación.....	33
Fig. 21. Relación BER vs SNR Canal Real 1 64 QAM Sin Codificación....	33
Fig. 22. Relación BER vs SNR Canal Real 1 – Modulación QPSK sin codificación de canal y codificación con turbo código a tasa de 1/2 y 2/3.	34
Fig. 23. Relación BER vs SNR Canal Real 1 – Modulación 64 QAM sin codificación de canal y codificación con turbo código a tasa de 1/2 y 2/3.	35
Fig. 24. Relación BER vs SNR Canal Real 2 – Comparación Modulación QPSK vs 64 QAM (Sin codificación).....	36

Fig. 25. Relación BER vs SNR Canal Real 2 – Modulación QPSK con Codificación de Canal “Turbo Código” .....	37
Fig. 26. Relación BER vs SNR Canal Real 2 – Modulación 64 QAM con Codificación de Canal “Turbo Código” .....	37
Fig. 27. Relación RB vs SNR – Modulación QPSK – Canal Real 1 – 2....	38
Fig. 28. Relación RB vs SNR – Modulación 64 QAM – Canal Real 1 - 2	39

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicación digital, en contraste a los sistemas analógicos, proporcionan una mejor calidad, seguridad, resistencia al ruido, y una sencilla integración de diferentes tipos de fuentes (video, texto, audio, etc).

Los sistemas inalámbricos presentan distorsiones en la señal transmitida, como resultado de los efectos que en el canal de propagación existen, por tal motivo, es de suma importancia el estudio de: algoritmos como el de Schmidl and Cox, los Turbo Códigos para codificar los canales, con la finalidad de compensar los problemas en el canal de transmisión.

Ante lo mencionado, el proyecto simula la transmisión y recepción de video basado en un sistema OFDM con multiportadoras con modulaciones digitales (QPSK y 64 QAM), junto con la implementación del algoritmo de Schmidl and Cox y los turbo códigos. Finalmente se compara con las diferentes tasas de turbo código (tasas de  $1/2$  y  $2/3$  sobre el canal AWGN) implementadas para determinar el sistema más óptimo en la recepción de video.

# 1. MARCO TEORICO

Los sistemas de comunicación digital proporcionan una mejor calidad, seguridad, resistencia al ruido y una sencilla integración de diferentes tipos de fuentes que los sistemas analógicos.

## 1.1. *SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICAS*

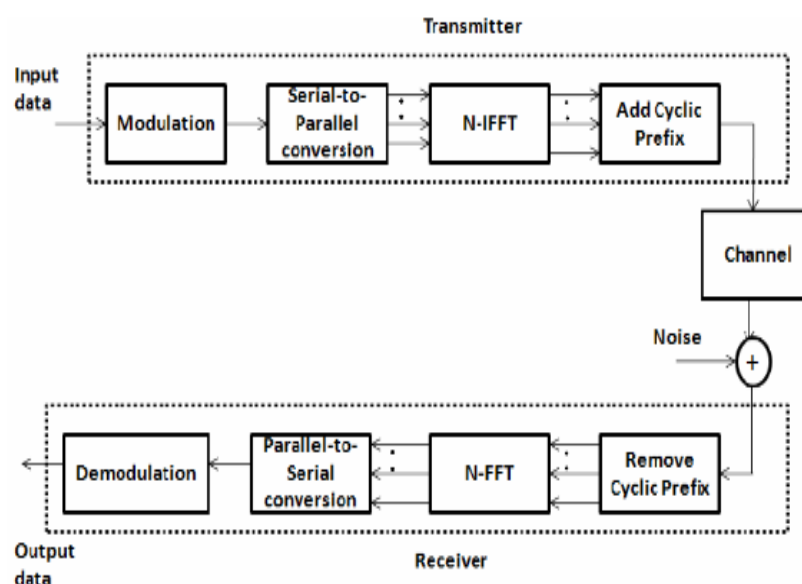
Un sistema de comunicación inalámbrico es aquel donde el receptor y transmisor no se comunican por un medio de propagación físico (tendido de cables), sino a través de ondas electromagnéticas moduladas a través del aire o ambiente. [5]

## 1.2. *SISTEMA OFDM*

En los sistemas OFDM el ancho de banda disponible divide para usar muchas subportadoras, donde cada una se modula usando diversos niveles de QAM, por ejemplo, QPSK, 16QAM, 64QAM, o el que sea más acorde a la calidad de la señal deseada[1].

En el simulador, para la transmisión con OFDM los datos recibidos serán divididos en datos en paralelo con  $N$ , el cual llamamos a partir de ahora convertidor de serial a paralelo, su función es tomar una señal serial a la entrada y la divide en  $M$  canales en paralelo y adaptarse a los siguientes bloques del sistema, a continuación tomamos el bloque IFFT que

implementa el desarrollo en serie de Fourier para hacer la conversión de la señal del dominio de frecuencia al dominio de tiempo , se prosigue a añadir el prefijo cíclico, cuando se hace este proceso en el transmisor nuestros datos se encuentran listos para ser enviados a través del canal y posteriormente se añade el ruido como se muestra en la Fig.1.



**Fig. 1. Diagrama de bloques Transmisor y Receptor OFDM [6].**

En el lado del receptor OFDM los datos son convertidos en paralelo y se añade el prefijo cíclico eliminado, entonces la FFT se toma para la conversión del dominio de tiempo al dominio de frecuencia anterior, que es el procedimiento inverso que el lado del transmisor.

Un símbolo de OFDM tiene un periodo útil y que precede a cada símbolo es un prefijo cíclico de longitud  $T_g$ , que es más largo que la respuesta de

impulso de canal de manera que no habrá interferencia entre símbolos (ISI). Las frecuencias complejas exponenciales de un símbolo OFDM son  $f_k = k/T$  y la parte útil para  $2N+1$  donde  $N$  es el # de subportadoras y está dado por; [7].

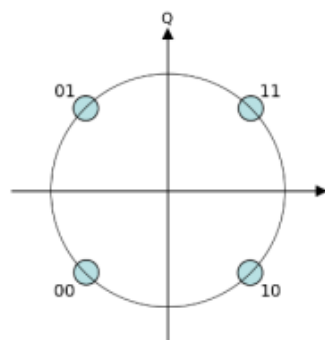
$$v(t) = \sum_{k=-N}^N C_k \exp(j2\pi f_k t), 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

### 1.3. MODULACIÓN QPSK

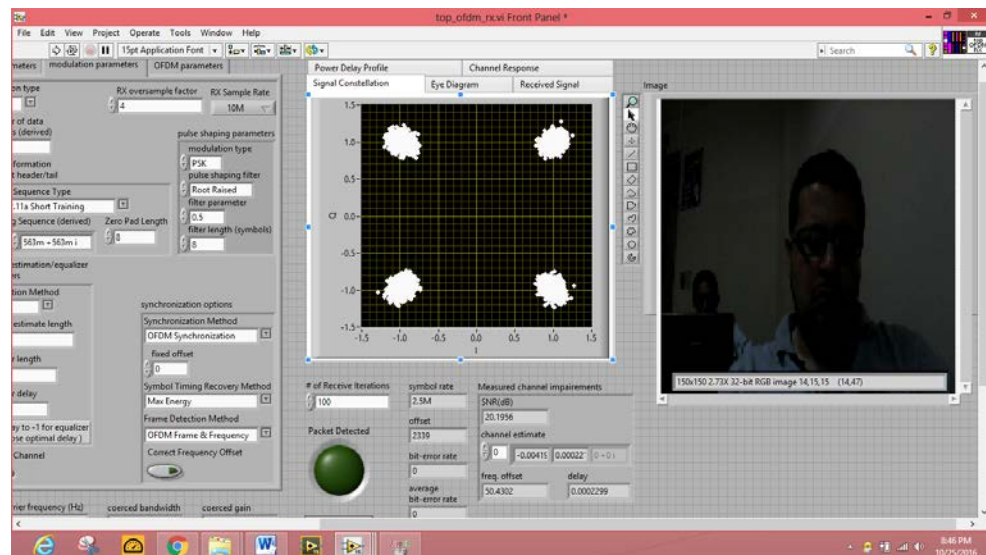
QPSK conocida como PSK en cuadratura, es la transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria, denominada también modulación angular de amplitud de constante o técnica de codificación M-ario, donde el valor de  $M=4$ .

En QPSK, la modulación permite usar símbolos, de 2 bits o dibits [2] [3] [8]. Con 2 bits, existen cuatro posibles condiciones: 00, 01, 10 y 11.

En la Fig.3. Se muestra la constelación de la modulación QPSK con sus respectivos bits. [9]



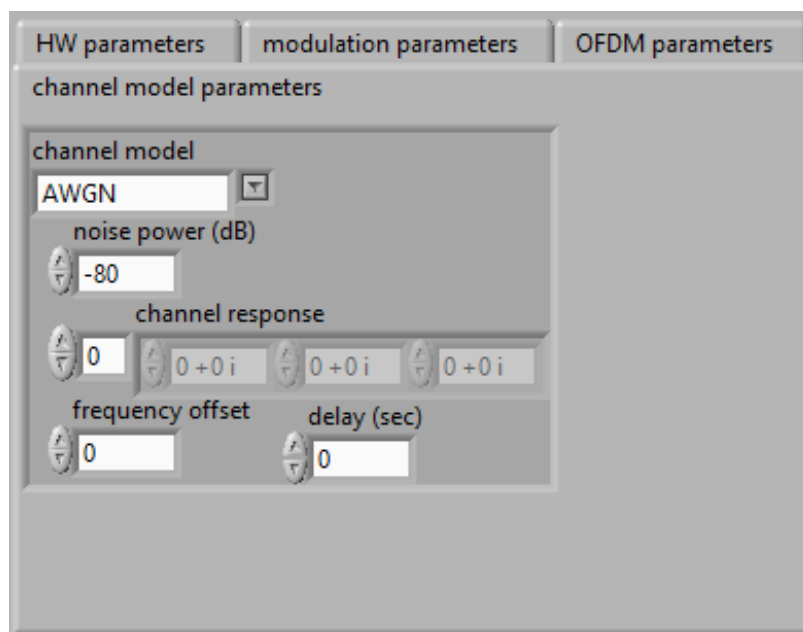
**Fig. 2. Constelación QPSK**



**Fig. 3. Constelación QPSK implementado en Labview**

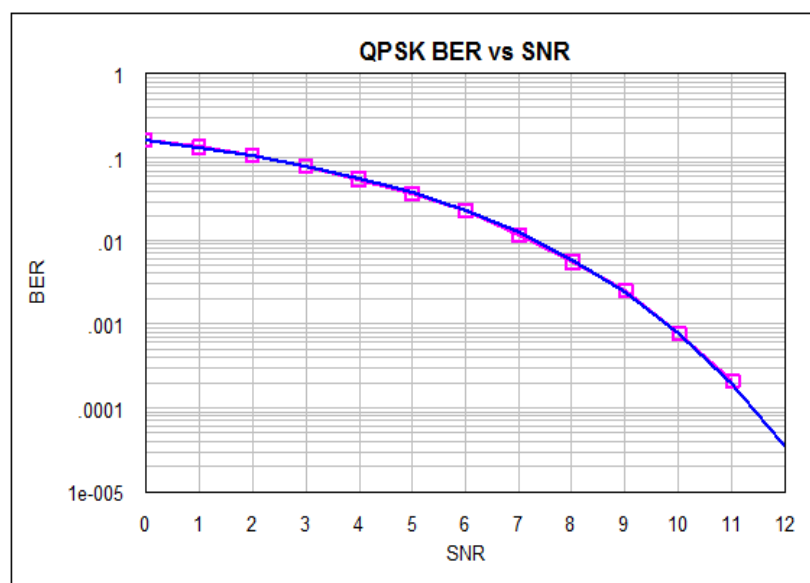
Para efectos de este estudio se ha implementado un canal AWGN (Additive White Gaussian Noise) Fig.4, el cual es un modelo de ruido ideal con densidad espectral de potencia constantes en todas las frecuencias de valor  $N_0/2$  y media de cero. El canal AWGN es utilizado para imitar el efecto de muchos procesos aleatorios que ocurren en la naturaleza[10].





**Fig. 4. Canal AWGN implementado en Labview**

Como referencia, en QPSK la relación BER vs SNR de manera teórica se representa en la Fig.5.



**Fig. 5. Relación BER vs SNR en QPSK**

### 1.4. MODULACIÓN 64 QAM

QAM conocida como modulación de Amplitud en Cuadratura, es de tipo digital debido que el mensaje está contenido en símbolos creados por modificar la amplitud y fase de la señal transmitida.

En los sistemas de modulación por desplazamiento de fase, la constelación indica la descripción del formato de modulación, por ejemplo, para efectos de nuestro estudio 64-QAM utiliza una constelación con 64 símbolos.

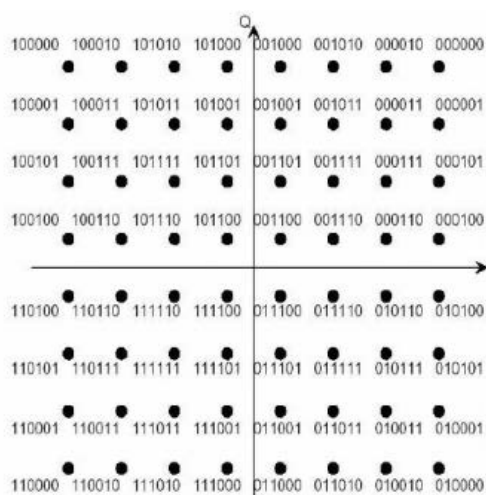
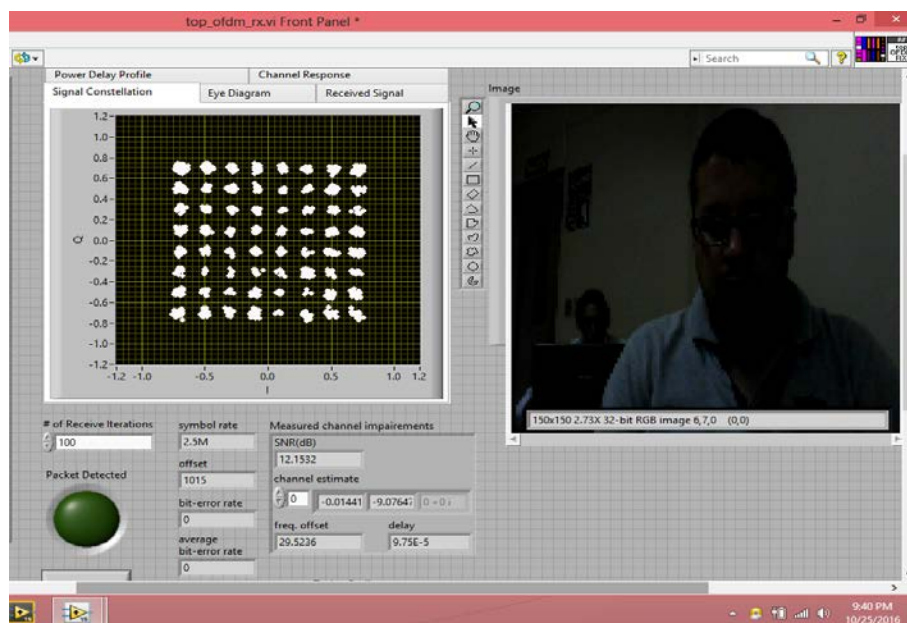


Fig. 6. Constelación 64 – QAM



**Fig. 7. Constelación 64 QAM implementado en Labview**

### **1.5. ALGORITMO SCHMIDL AND COX**

Para el sincronismo en frecuencia el método de Schmidl y Cox incluye la búsqueda del inicio de trama y la corrección del desplazamiento de frecuencia, que se puede ampliar para el ajuste de frecuencia de muestreo. Utiliza periodicidad creada en el símbolo OFDM para llevar a cabo la frecuencia de corrección de desplazamiento y de sincronización de trama[7].

Una principal diferencia con respecto al algoritmo de Moose, es que el Schmidl and Cox consta de dos etapas de corrección de desplazamiento de frecuencia. El primer paso corrige las compensaciones que son una

fracción de  $1/N$ , la separación de sub-portadora. El segundo paso corrige las compensaciones de enteros que son múltiplos de la separación de sub-portadora. El número entero de desplazamiento se realiza mediante un segundo símbolo formación especialmente construido [7].

Los pasos para la implementación del algoritmo para fines de la transmisión y recepción inalámbrica son los siguientes;

1. Calcular la matriz de correlación

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

Donde  $W$  es la mitad del tamaño de la secuencia periódica de entrenamiento y  $N$  es el número de sub-portadoras.

2. Calcular la potencia de señal media recibida.

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

3. Para  $P[d]$  y  $R[d]$  se calcula  $M[d]$ ;

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

4. Aproximar el parámetro de retraso (delay)  $D$ , resolviendo;

$$\hat{d} = \operatorname{argmax}_d M[d] \quad (4)$$

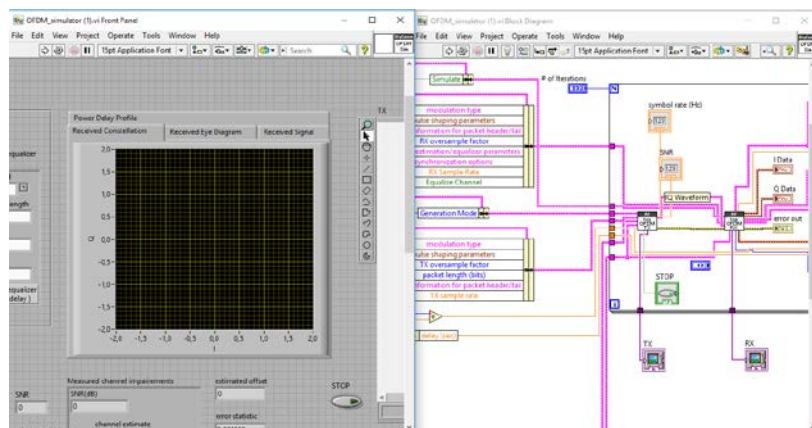
5. Se estima el desplazamiento de frecuencia con el siguiente parámetro;

$$\hat{\epsilon} = \operatorname{phase} \frac{P[D]}{R[D]} \quad (5)$$

6. Corregir el desplazamiento de trama y el desplazamiento de frecuencia como en el algoritmo de Moose. [6]

### **1.6. LABVIEW Y USRP**

Labview (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) fue creado por National Instruments (1976), es un entorno de desarrollo gráfico muy amplio que brinda a nivel científico y de ingeniería una integración con hardware. LabVIEW tiene como finalidad resolver problemas, incrementar la productividad y la seguridad para crear e innovar continuamente sistemas de medidas y control tanto para el sector industrial, productivo y educativo. Su interfaz gráfica permite desarrollar programas de forma intuitiva basados en diagramas de bloques de manera sencilla al programador pero con una alta gama de soluciones a las diferentes aplicaciones [8].



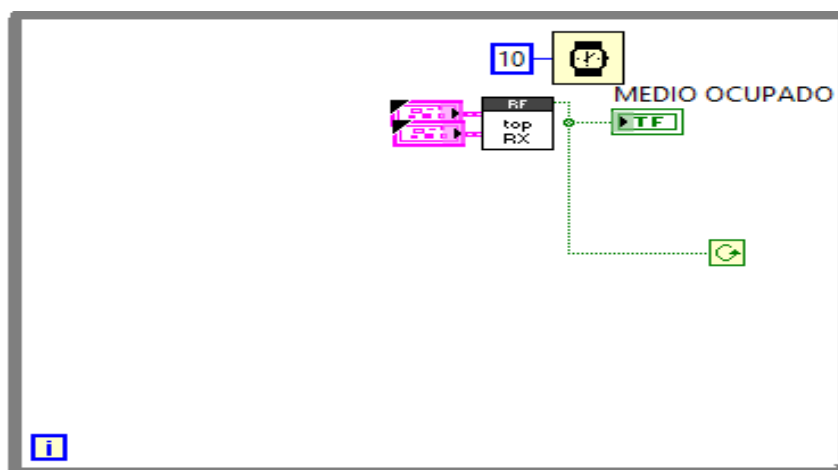
**Fig. 8. Panel Frontal y diagrama de bloques LabVIEW**

USRP, acrónimo Universal Software Radio Peripheral, es un dispositivo de radio flexible, el cual convierte una PC en una plataforma de generación de prototipos inalámbricos combinando algoritmos de procesamiento de señales que operan en señales de RF en vivo con la plataforma NI LabVIEW hacia el hardware de NI USRP[8].

### 1.7. CSMA

CSMA (Carrier Sense Multiple Access) dentro del área de telecomunicaciones es conocida por Acceso Múltiple con Escucha de Portadora. CSMA es un forma de detectar o conocer si existe presencia de alguna portadora al momento de utilizar el canal con el fin de evitar la presencia de ruidos o interferencia de otra señal en la misma portadora.

Existen diferentes tipos de CSMA, para la implementación de este estudio utilizaremos el CSMA- 1P (1-Persistente), tiene como característica escuchar el canal y tan pronto este se encuentre libre transmite, si está ocupado, prosigue a estar escuchando el medio hasta que lo encuentre libre. En la Fig. 9. Se observa la implementación en Labview del CSMA.

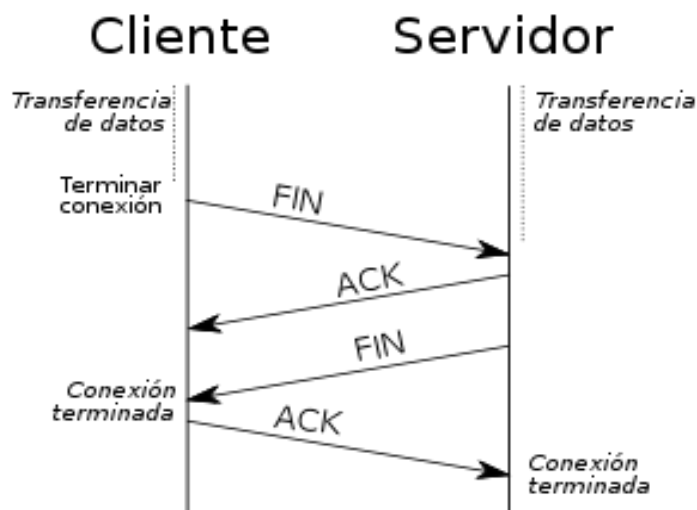


**Fig. 9. Diagrama de Bloque – CSMA**

### **1.8. ACK/NACK**

ACK proviene del inglés acknowledgement, traducido significa acuse de recibo, es un mensaje que se envía al destino de la transmisión para indicar que el mensaje fue recibido. Por su contraparte NACK proviene del inglés negative acknowledgement, significa acuse de recibo negativo, el cual tiene como característica informar que durante la transmisión del mensaje ha ocurrido un error y no se recibió la trama de datos completa.

En protocolos de comunicaciones muchos más complejos se definen distintos ACK con diferentes peticiones de reenvío de la información.



**Fig. 10. ACK/NACK**

### 1.9. TURBO CÓDIGO

Los turbo códigos está conformado por dos procesos, el primero denominado Turbo Codificador (TC) y el segundo conocido como Turbo Decodificación (TD). Estos procesos usan Códigos Convolucionales Recursivos Sistemáticos (CRS). [11]

El proceso Turbo Decodificador está compuesto de tantos decodificadores constituyentes como códigos CRS tenga el TC y cada uno de ellos calcula una distribución de probabilidad a posteriori (DPAP) a partir de los símbolos demodulados. [11]



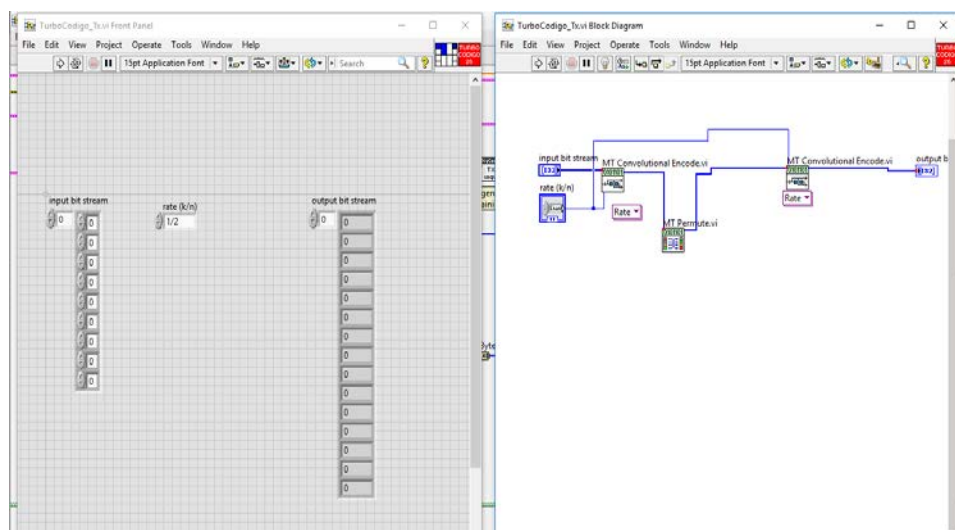
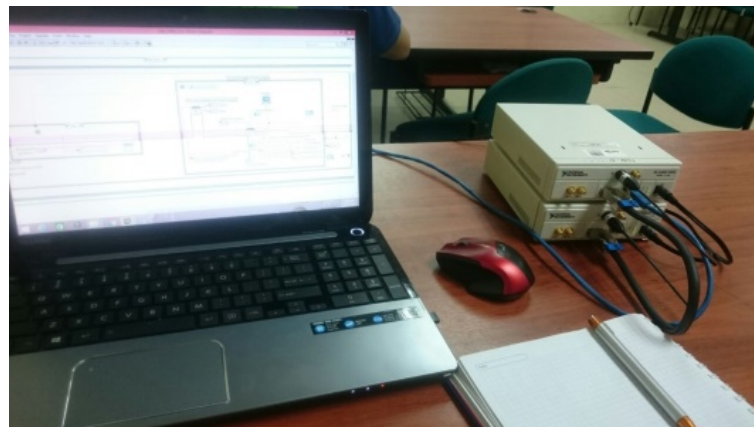


Fig. 11. Bloque Turbo Código

## 2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN LABVIEW

Para éste estudio, se han planteado utilizar dos escenarios, descritos de la siguiente manera;: Canal Real 1 cuya distancia entre las antenas es alrededor de unos 15cm tal como se muestra en la Fig. 12, como parte del ambiente experimental para la obtención de datos y estudiar el comportamiento de la señal de video enviada a través del sistema implementado.



**Fig. 12. Implementación del Sistema de Transmisión y Recepción de Video OFDM Canal Real 1.**

Canal Real 2, cuya distancia entre las antenas es alrededor de 1 metro con 50 cm como se muestra en la Fig.13

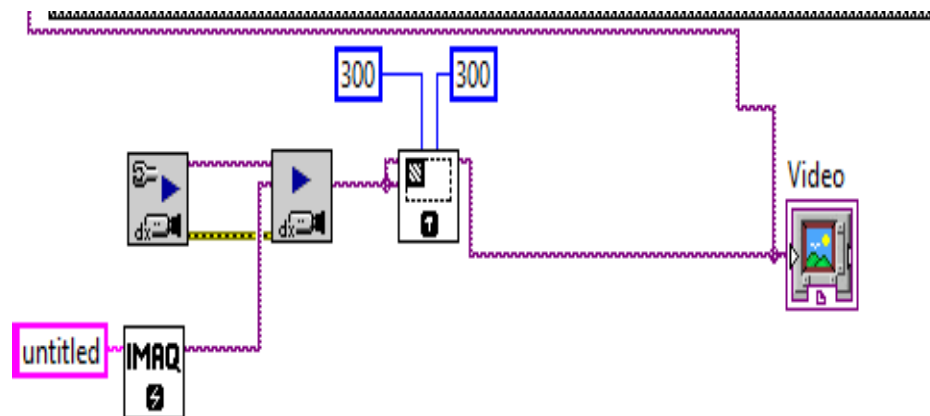


**Fig. 13. Implementación del Sistema de Transmisión y Recepción de Video OFDM Canal Real 2.**

### ***2.1. Captura y transmisión de Video***

Para la simulación el envío del video que se transmitirá a través del canal inalámbrico por el sistema OFDM se utiliza la librería NI Vision and Motion. de LabView.

El bloque de NI Vision Acquisition Software junto con el bloque de IMAQ Create, permiten la captura de la imagen a través de la webcam del computador, para su posterior paso por el bloque IMAQ Resample, que tiene como característica colocar el valor de la resolución de la imagen del video.



**Fig. 14. Bloque Adquisición de Video**

## **2.2. Transmisor OFDM**

El Bloque de transmisión OFDM recibe los paquetes de datos de la fuente ( Bloque de adquisición de video), que pasan a través del bloque IMAQ Flatten Image to String, en el cual procesa la imagen acorde al valor de resolución seleccionado. El siguiente paso es el ingreso al bloque de conversión de string a un arreglo de bytes, en este bloque la imagen es convertida en bits y enviada a través del bloque de codificación de canal (Turbo Código) para ser transmitida por el canal inalámbrico tanto en QPSK y 64 QAM.

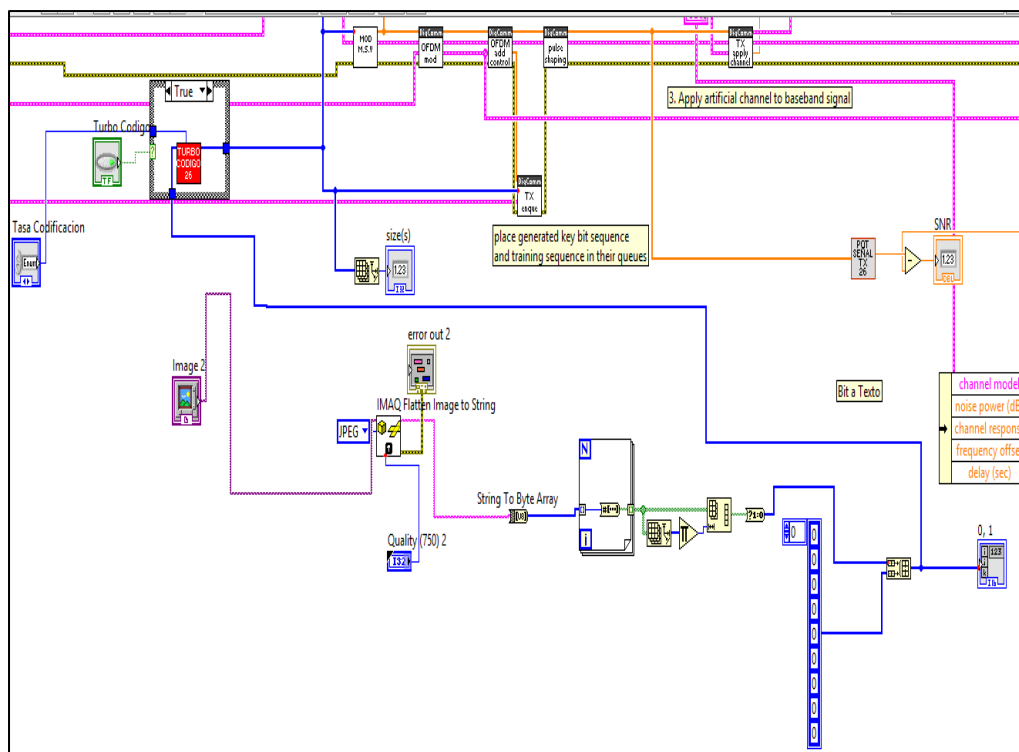
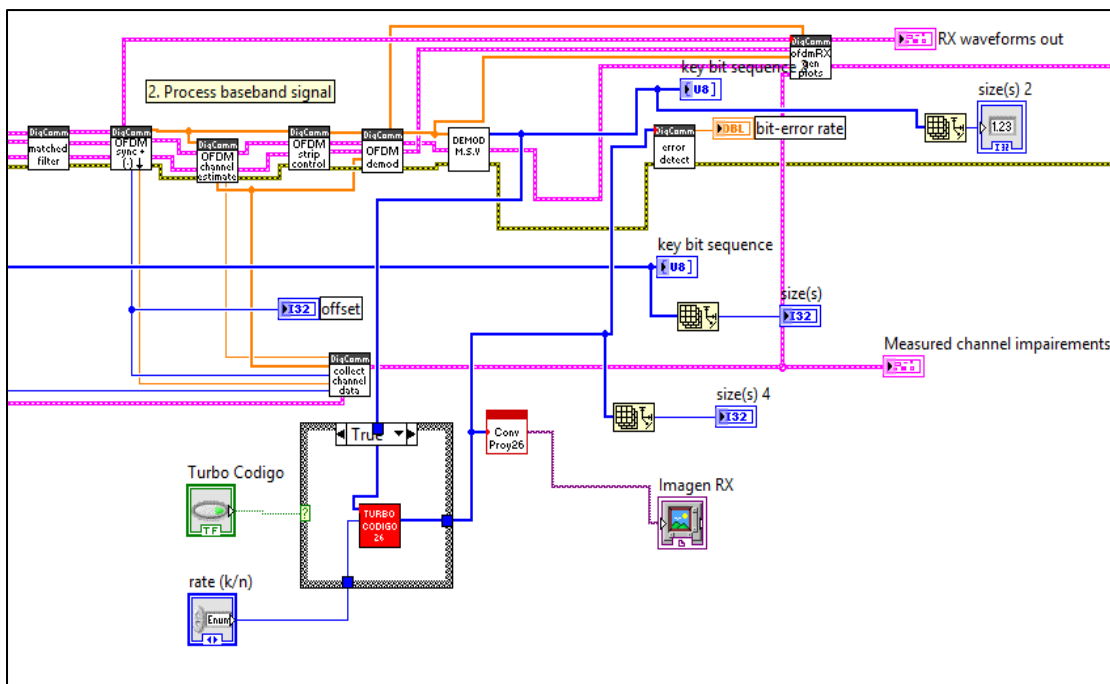


Fig. 15. Diagrama de Bloque – Transmisor OFDM

### 2.3. Receptor OFDM

En el receptor OFDM se reciben los datos modulados enviados a través del canal inalámbrico implementado con los equipos USRP-2920, la información recibida comienza su procesamiento a través de los bloques de sincronización, channel estimate, hasta llegar al demodulador implementado con las modulaciones QPSK y 64-QAM.



**Fig. 16. Diagrama de Bloque – Receptor OFDM**

Para el proceso de reconstrucción de los datos se realiza la técnica usada en el transmisor OFDM pero de manera inversa.

Se reciben los datos y una vez demodulados, continúan por el bloque de codificación de canal, donde se aplica el turbo código con tasa de 1/2 y 2/3 para continuar al bloque de conversor.

En este bloque de conversión contiene el bloque convertidor de bytes a imagen, mediante la función IMAQ Create, crea temporalmente en memoria la locación para la imagen como se muestra en la Fig. 17.

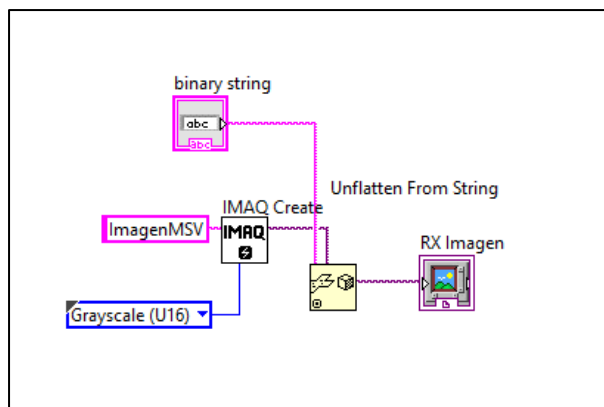


Fig. 17. Diagrama de Bloque – Convertidor de Texto a Imagen

### 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 3.1. Transmisión de Video usando codificación de canal Turbo Código con las modulaciones QPSK y 64 QAM

En esta sección se analizan los datos obtenidos desde los equipos USRP entre las modulaciones QPSK y 64 QAM, con la implementación de “Turbo Código” con tasas a 1/2 y 2/3, para comparar y observar cuál sistema digital es el idóneo para la transmisión de video a través del canal inalámbrico.

En las Fig.18 y Fig.19 observamos la constelación de la modulación QPSK y 64QAM receptada a través del canal inalámbrico en condiciones que simulen un ambiente real con los equipos separados a una distancia de 1 metro.

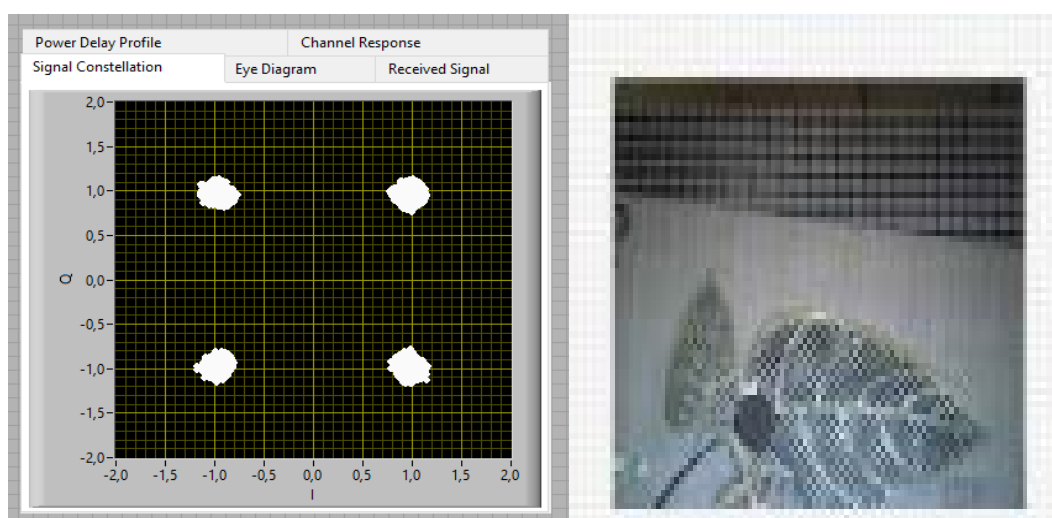
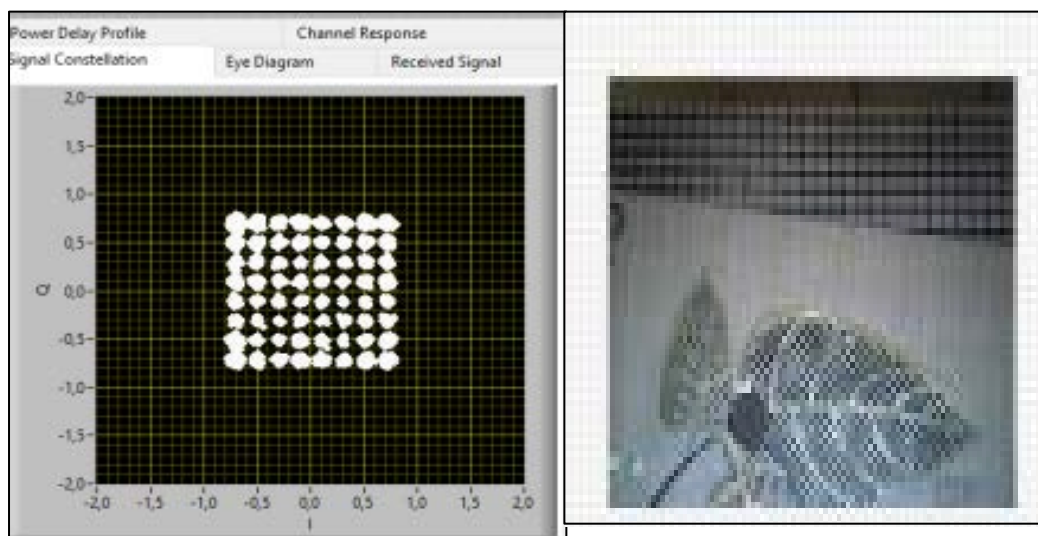


Fig. 18. Constelación QPSK Canal Real 1

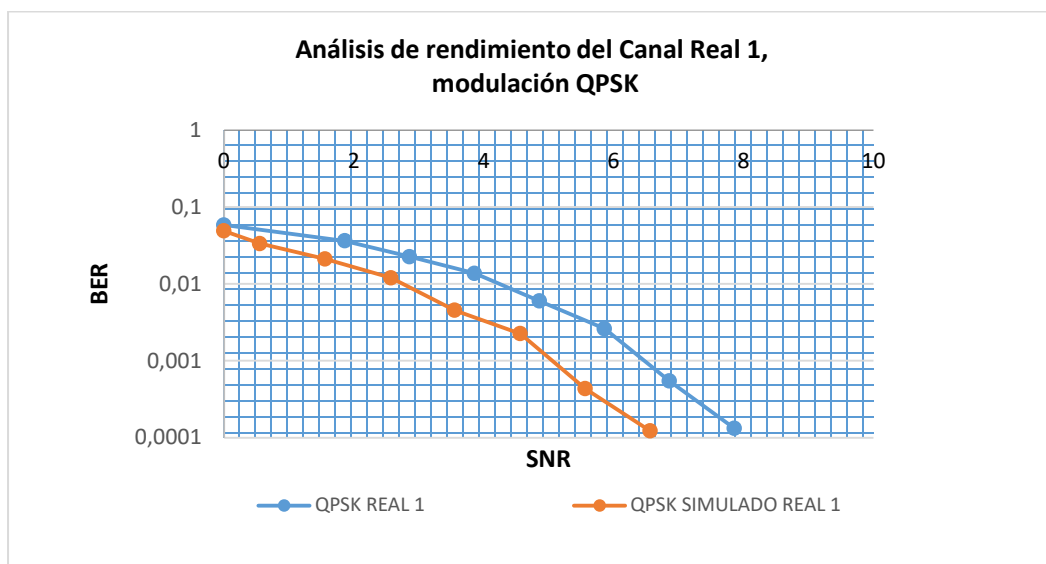




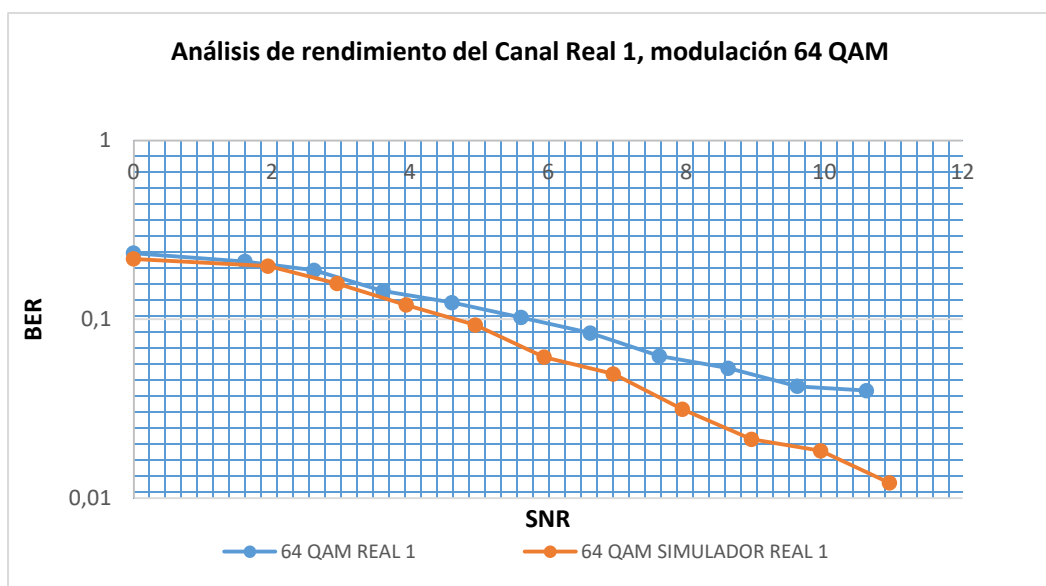
**Fig. 19. Constelación 64 QAM Canal Real 1**

En las Fig. 20 y Fig. 21 se ha considerado analizar el desempeño de las dos modulaciones tanto en el ambiente real como en el simulado (teórico) por el programa Labview, para lo cual se ha realizado la gráfica de la tasa de error vs la relación señal a ruido (BER vs SNR).

Los datos obtenidos muestran que la modulación QPSK tiene un mejor desempeño durante la transmisión del video en comparación a la modulación 64 QAM, debido que ante la presencia del ruido en el canal real, la modulación QPSK con valores de -8 dB en canal AWGN mantiene la señal de video en el sistema y en 64 QAM el sistema deja de transmitir a valores de -20 dB.



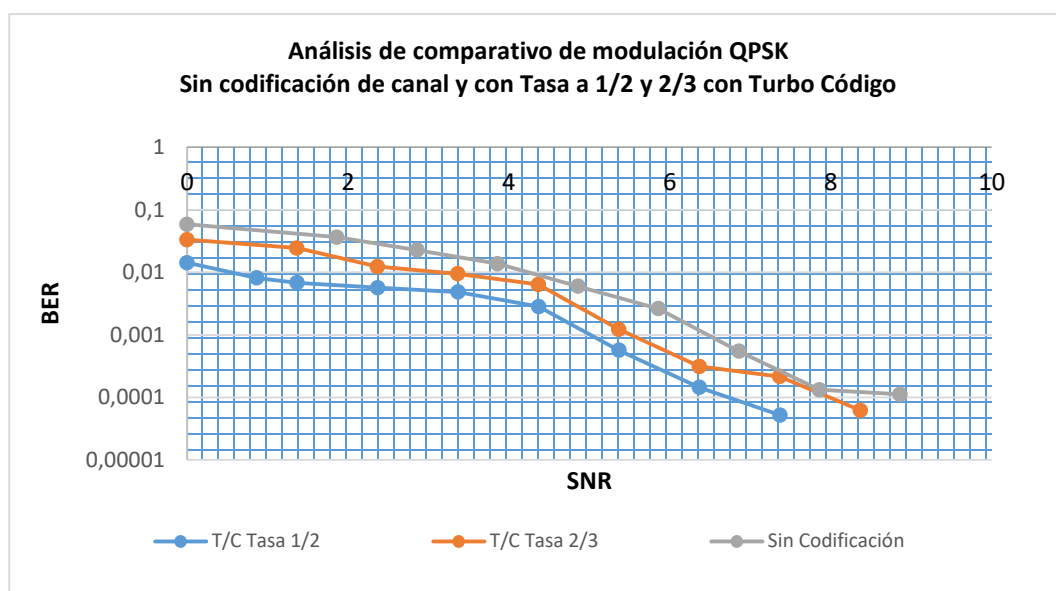
**Fig. 20. Relación BER vs SNR Canal Real 1 Modulación QPSK sin codificación**



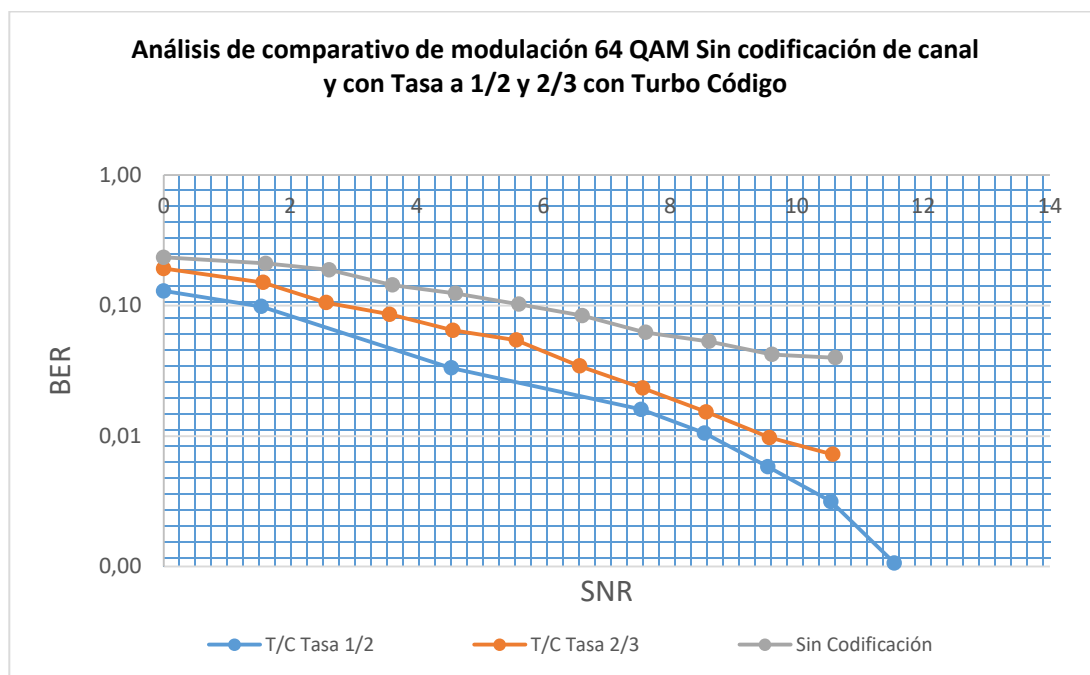
**Fig. 21. Relación BER vs SNR Canal Real 1 64 QAM Sin Codificación**

En las Fig. 22 y Fig. 23 se ha considerado el desempeño del turbo código con las modulaciones QPSK y 64 QAM.

Los datos obtenidos mediante la relación BER vs SNR con el canal Real 1 implementado con los equipos USRP, muestran que la tasa de codificación del turbo código con mejor desempeño es 1/2, tanto para QPSK y 64 QAM. En el caso de QPSK con la inclusión del turbo código la imagen del video tiende a distorsionarse a -4 dB (AWGN) y en 64 QAM en -15 dB (AWGN).



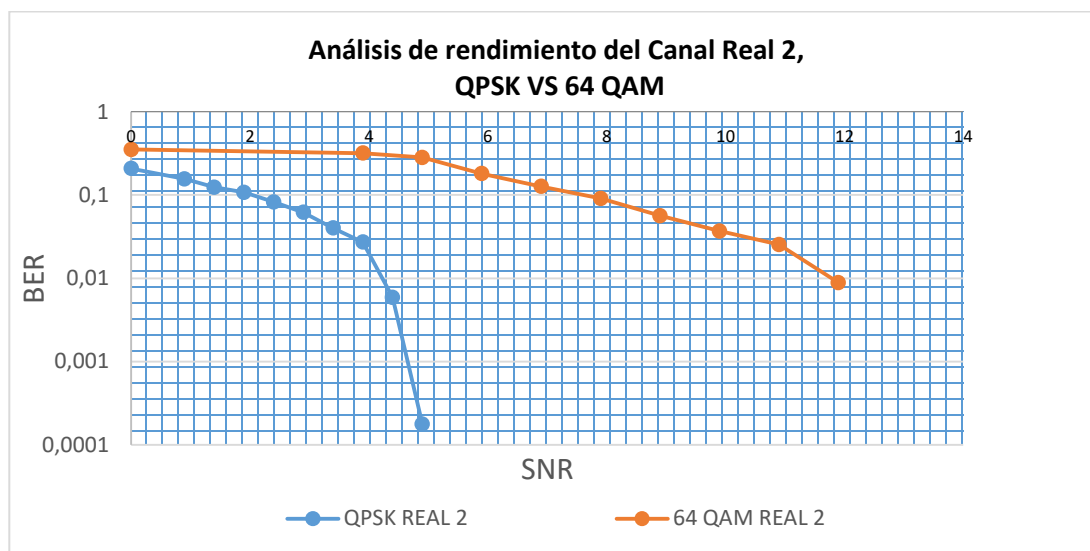
**Fig. 22. Relación BER vs SNR Canal Real 1 – Modulación QPSK sin codificación de canal y codificación con turbo código a tasa de 1/2 y 2/3.**



**Fig. 23. Relación BER vs SNR Canal Real 1 – Modulación 64 QAM sin codificación de canal y codificación con turbo código a tasa de 1/2 y 2/3.**

En la Fig. 24 se ha considerado analizar el desempeño de las modulaciones QPSK y 64 QAM en condiciones que simulen un ambiente real (R2), con los equipos separados a una distancia de 1 metro con 50 cm aproximadamente.

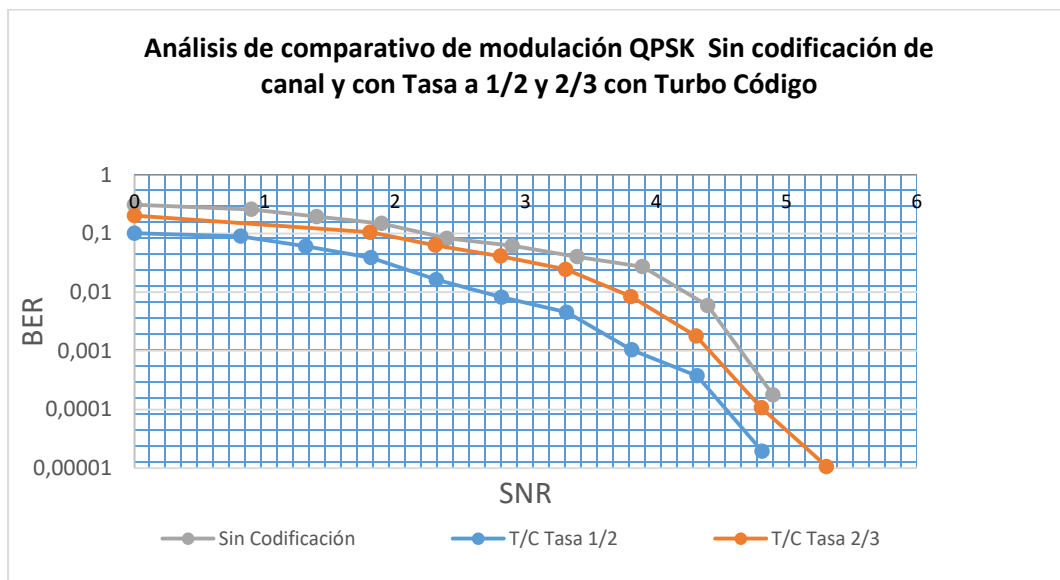
Los datos obtenidos mediante la relación BER vs SNR con el canal real 2(R2) para QPSK y 64 QAM comprueban que la modulación QPSK es el más robusto a medida que aumente la tasa de la señal de ruido en la transmisión y recepción de video.



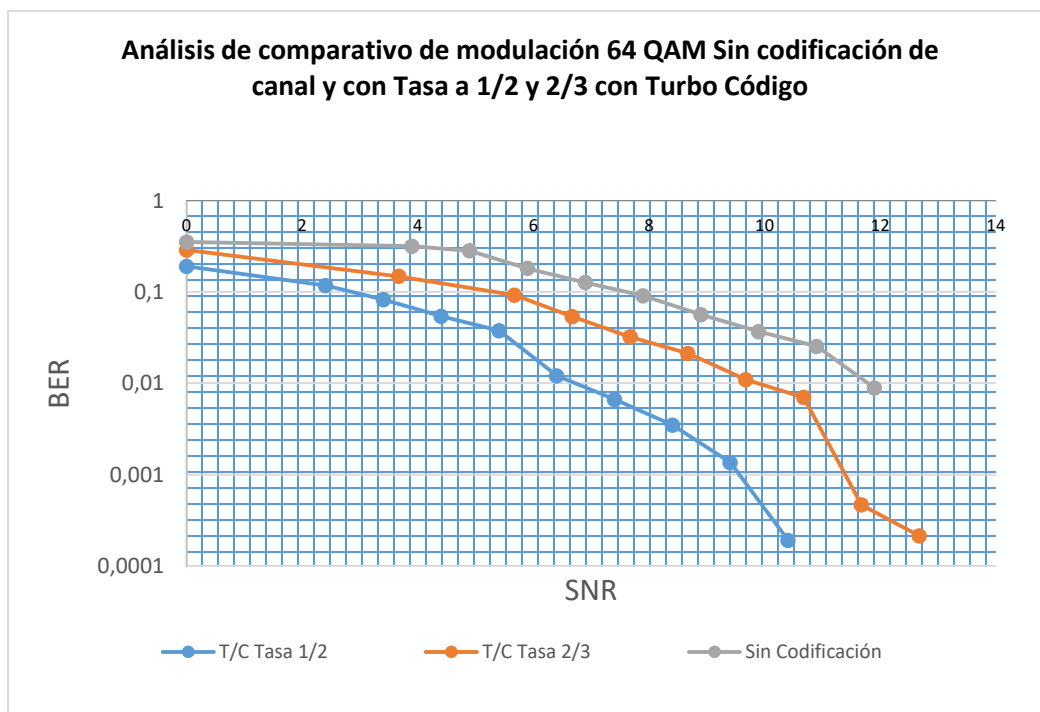
**Fig. 24. Relación BER vs SNR Canal Real 2 – Comparación Modulación QPSK vs 64 QAM (Sin codificación)**

En las Fig. 25 y Fig. 26 se ha considerado analizar el desempeño del turbo código con las modulaciones QPSK y 64 QAM través del canal inalámbrico en condiciones que simulen un ambiente real (R2), con los equipos separados a una distancia de 2 metros.

Los datos obtenidos mediante la relación BER vs SNR con el canal real 2(R2) implementado con los equipos USRP, muestran que la tasa de codificación del turbo código con mejor desempeño tanto para QPSK y 64 QAM es a 1/2. En el caso de QPSK con la inclusión del turbo código la imagen del video tiende a distorsionarse a -3 dB (AWGN) y en 64 QAM en -16 dB (AWGN).



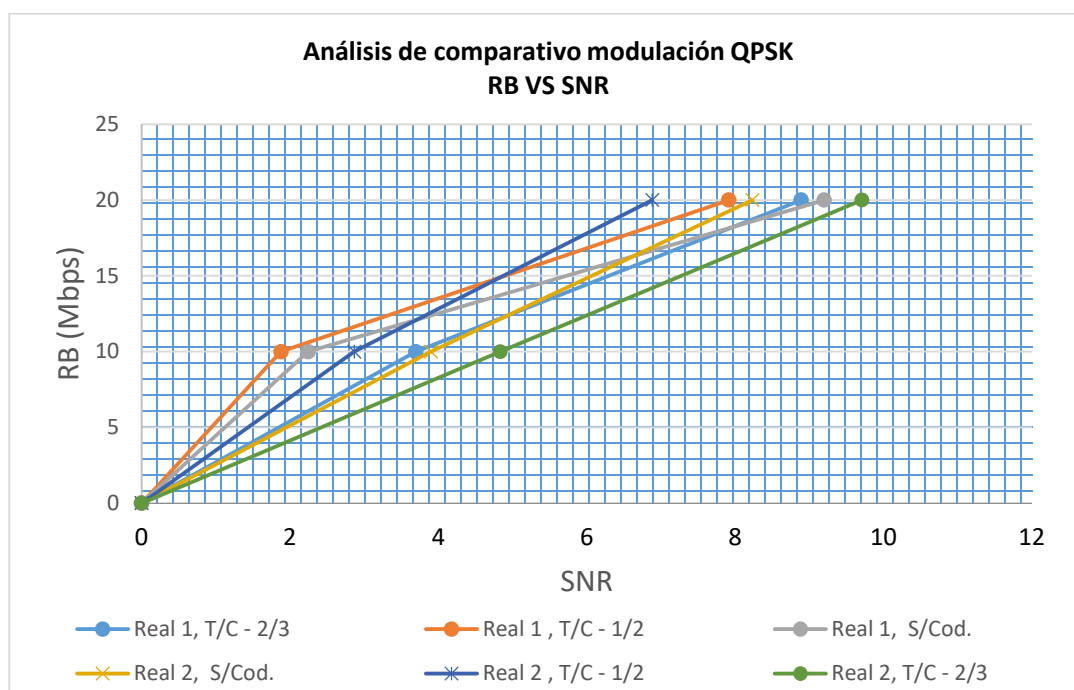
**Fig. 25. Relación BER vs SNR Canal Real 2 – Modulación QPSK con Codificación de Canal “Turbo Código”**



**Fig. 26. Relación BER vs SNR Canal Real 2 – Modulación 64 QAM con Codificación de Canal “Turbo Código”**

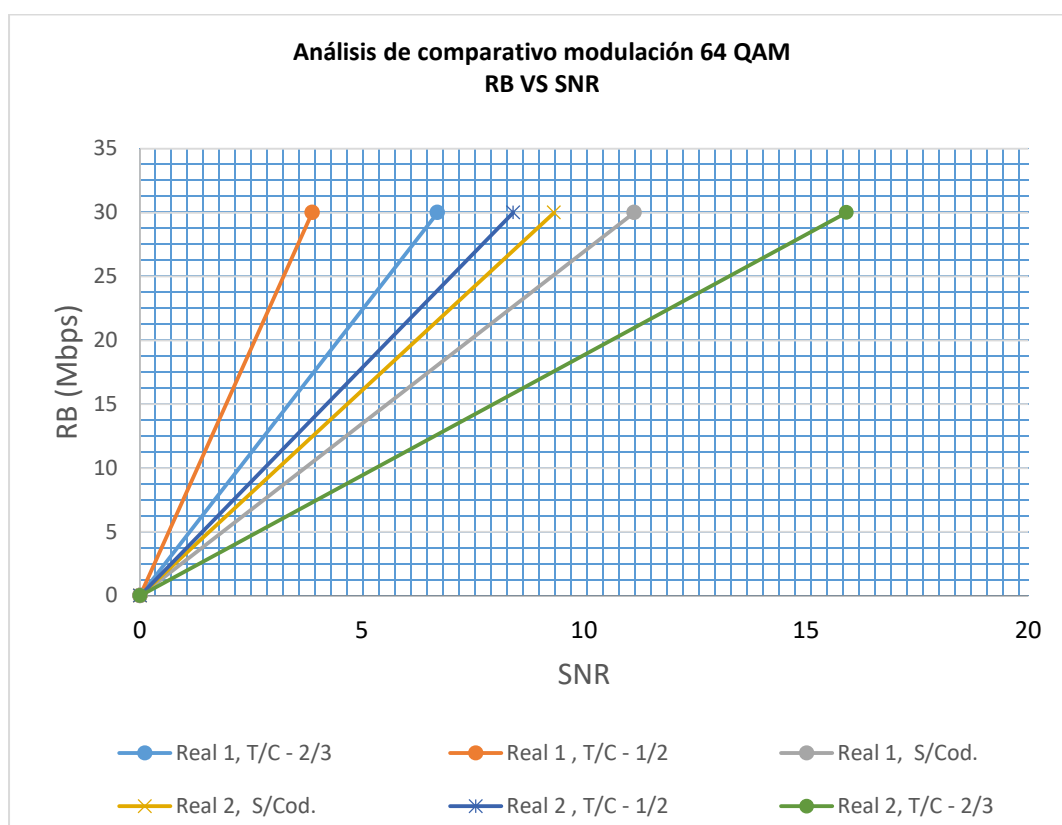
### 3.2. Tolerancia al ruido del sistema.

La prueba de tolerancia al ruido del sistema es importante, pues se busca un punto de frontera el cual nuestro sistema es tolerable al ruido, teniendo en cuenta que la tasa de muestreo depende del canal y que el inverso de la tasa de símbolo corresponde al tiempo de símbolo, por lo tanto mantenemos un tiempo de símbolo relativamente igual a la separación de cada retraso y le agregamos un nivel de ruido al transmisor hasta encontrar el umbral donde el video transmitido en el receptor empieza a llegar distorsionado.



**Fig. 27. Relación RB vs SNR – Modulación QPSK – Canal Real 1 – 2**

En la Fig 27 las curvas representan los dos canales a una modulación QPSK con las diferentes tasas de turbo código, de lo que se desprende que el mejor Canal es el Real 2 con tasa de codificación de 1/2 a una tasa de bit (Rb) de 20 Mbps, esto implica que se puede transmitir a dicha tasa con presencia del ruido y poder tener una recepción del video aún comprensible.



**Fig. 28. Relación RB vs SNR – Modulación 64 QAM – Canal Real 1 - 2**



En la Fig. 28 las curvas representan los dos canales Real 1 y Real 2 a una modulación 64 QAM con las diferentes tasas de turbo código, de lo que se desprende que el mejor Canal es el Real 1 con tasa de codificación de 1/2 a una tasa de bit ( $R_b$ ) de 30 Mbps, esto implica que se puede transmitir a dicha tasa con presencia del ruido y poder tener una recepción del video aún comprensible.

## 4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos para el esquema de modulación QPSK y 64 QAM en el sistema OFDM de transmisión y recepción inalámbrica de video se concluye:

- El estudio realizado con los canales Reales planteados en esta experimentación muestran que la implementación de turbo código a tasas de  $1/2$  y  $2/3$  mejoraron y fortalecieron la recepción del video ante la presencia de de gran cantidad de ruido (valores entre  $-4$  a  $-10$ dB) en un canal tipo AWGN usado en este estudio
- El algoritmo SAC, mostro estar correctamente adaptado, presentado un buen funcionamiento ante altos valores de desplazamientos de los canales aplicados, tanto para simulación como en transmisión real. Su robustez se mostró más en la resolución del inicio de la trama, ante grandes desplazamientos de frecuencias y retardos, pero cabe recalcar que el algoritmo es más propenso a fallos.
- Al analizar los resultados de las gráficas de BER vs SNR que generaron los dos canales inalámbricos reales, en cuanto al comportamiento de las modulaciones QPSK y 64 QAM se concluye que QPSK presenta un mejor desempeño frente al ruido debido que los símbolos (4) se muestran separados entre sí en la constelación

permitiendo que el umbral para visualizar el video transmitido sea 4 veces menor que la obtenida en 64 QAM

- Los sistemas OFDM debido a su ortogonalidad poseen una fuerte resistencia con respecto al ruido, como se muestran en las gráficas de tolerancia al ruido, la implementación de los turbo códigos en este estudio mejoró notablemente la transmisión y recepción del video a medida que se agregó el ruido en cada canal Real, estableciendo diferentes significativas entre usar un sistema sin codificación de canal versus un sistema con la implementación de turbo códigos a diferentes tasas.
- Una de las desventajas de la implementación de codificación de canal en un sistema de comunicaciones de banda ancha es la pérdida de eficiencia espectral, debido que gran parte de la señal enviada es utilizada para verificación, justificación y corrección de errores de los bits de los datos enviados a través del canal de comunicación.

Antes de elegir un sistema para la transmisión de video es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Al momento de realizar una transmisión de datos de un punto a otro (de Tx a Rx), se presentan varios fenómenos que disminuyen o distorsionan la señal transmitida, en ambientes de entorno reales ocurren fenómenos como reflexión, refracción, etc. Estos fenómenos

pueden provocar la interferencia inter simbólica o también la interferencia inter portadora.

- El presente estudio tiene la finalidad de realizar pruebas con dos diferentes tipos de modulaciones, QPSK y 64 QAM a través de un canal de tipo AWGN y ver el efecto que se crea del canal sobre la señal transmitida por el transmisor OFDM al variar la potencia del ruido y analizar el comportamiento del Bit Error rate (BER) en el receptor del sistema OFDM. Pudimos apreciar que al aumentar el tamaño de símbolos de la constelación (dada por las modulaciones digitales), la señal se vuelve susceptible a los efectos del ruido AWGN.

## BIBLIOGRAFÍA

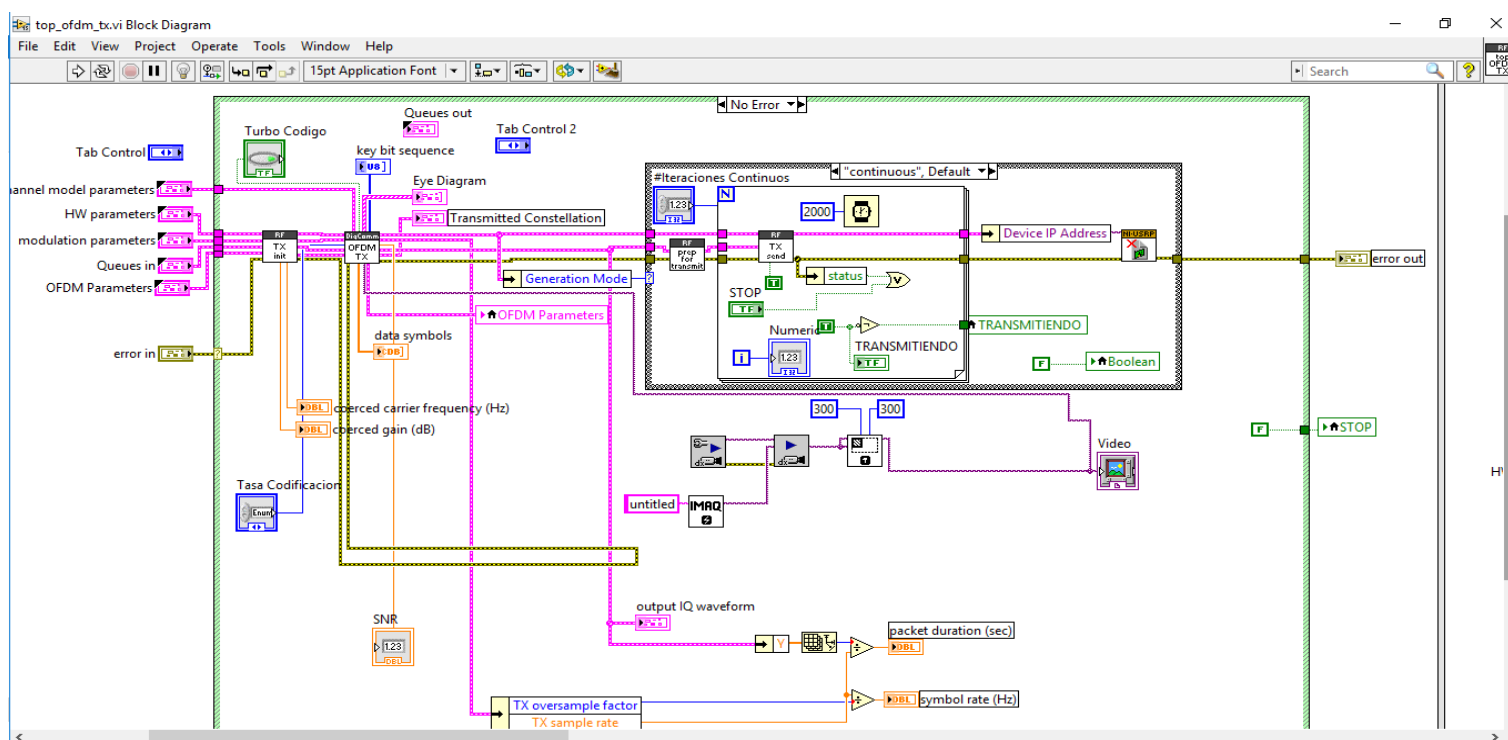
- [1] Sahasha Namdeo, Reena Rani, "Designing and Performance Evaluation of 64 QAM OFDM System", IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)
- [2] Bahai, Ahmad RS, Burton R. Saltzberg, and Mustafa Ergen. Multicarrier digital communications: theory and applications of OFDM. Springer Science & Business Media, 2004.
- [3] Horlin, François, and André Bourdoux. Digital compensation for analog front-ends: a new approach to wireless transceiver design. John Wiley & Sons, 2008.
- [4] T. Pollet, M. Van Bladel, and M. Moeneclaey, "BER sensitivity of OFDM systems to carrier frequency offset and Weiner phase noise," IEEE Trans. Commun., vol. 43, pt. 1, pp. 191–193, Feb.–Apr. 1995.
- [5] Carlos Vélez, Mathew Kortum, "Diseño, simulación de esquemas de estimación del canal y ecualización de un sistema de comunicación de una sola portadora" Tesina de seminario previa para la obtención de título de ingeniero en Electrónica y telecomunicaciones, Escuela Superior Politécnica del litoral. (2013).
- [6] Rashmi.R - Sarala.S.M, "OFDM: Modulation Technique for Wireless", International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE) Volume 1 Issue 1 (March 2014)
- [7] Timothy M. Schmidl and Donald C. Cox, "Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM", IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol. 45, No. 12, Pag. 1613-1621, December 1997

- [8] N. Instrument, "National Instrument", 2013. [En línea]. Available: [www.ni.com/labview/](http://www.ni.com/labview/).
- [9] Ronald Fabricio García Jara, Julio César Mejía Menéndez, "Diseño, simulación e implementación del esquema de modulación OFDM y de la ecualización en el dominio de la frecuencia" proyecto para la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería eléctrica y computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) 2013.
- [10] Sanjeev Sanyal, "Bit Error Rate Performance of QPSK Modulation and OFDM-QPSK with AWGN and Rayleigh Multipath Channel", International Journal of Science and Research (IJSR)
- [11] Nibaldo Rodríguez, Wenceslao Palma y Ricardo Soto, "Evaluación de Rendimiento de turbo código con diferentes intercaladores de bits para comunicaciones satelitales", Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

# ANEXOS

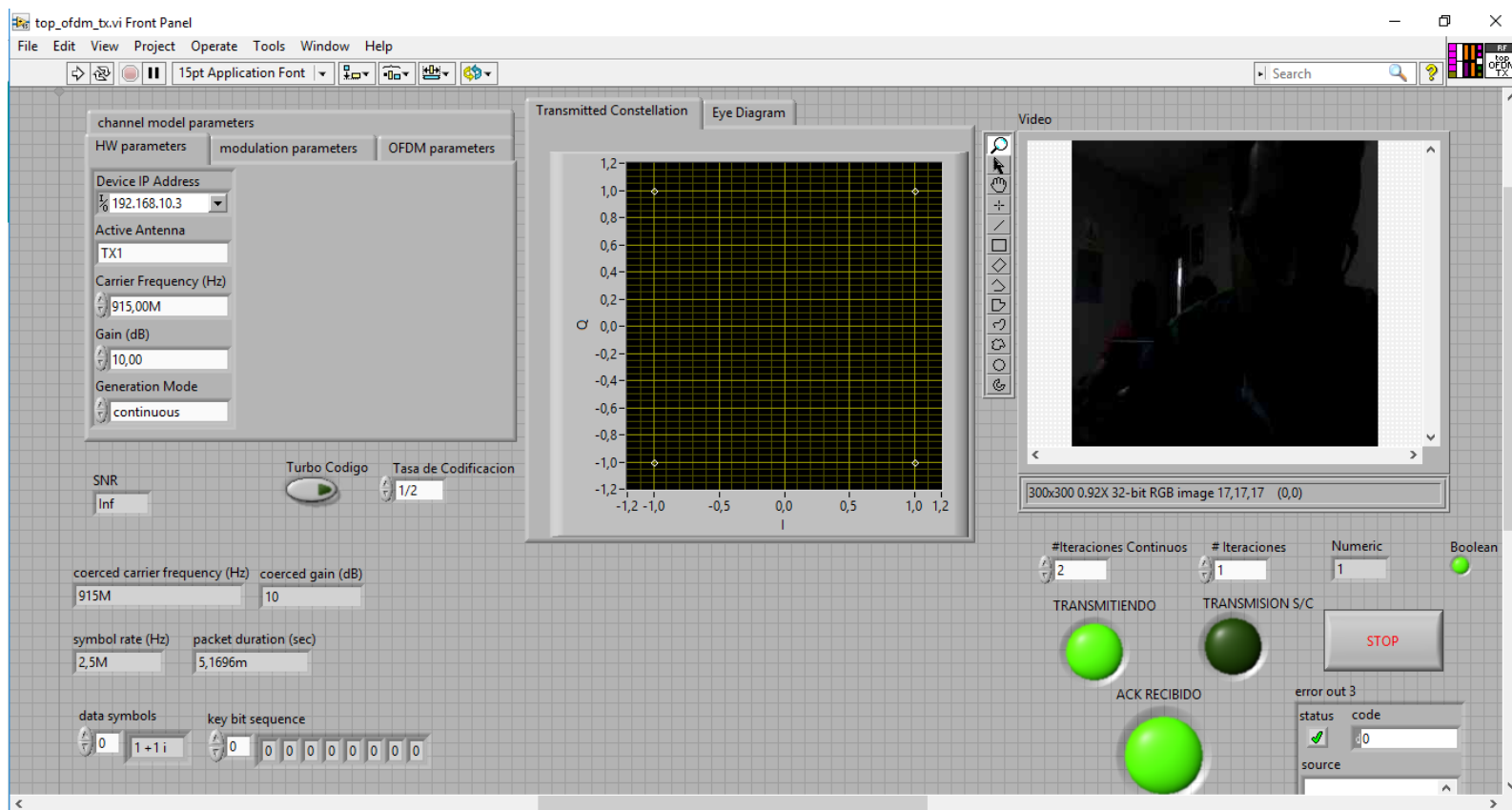
## ANEXO 1

### DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DE FUENTE DE VIDEO



## ANEXO 2

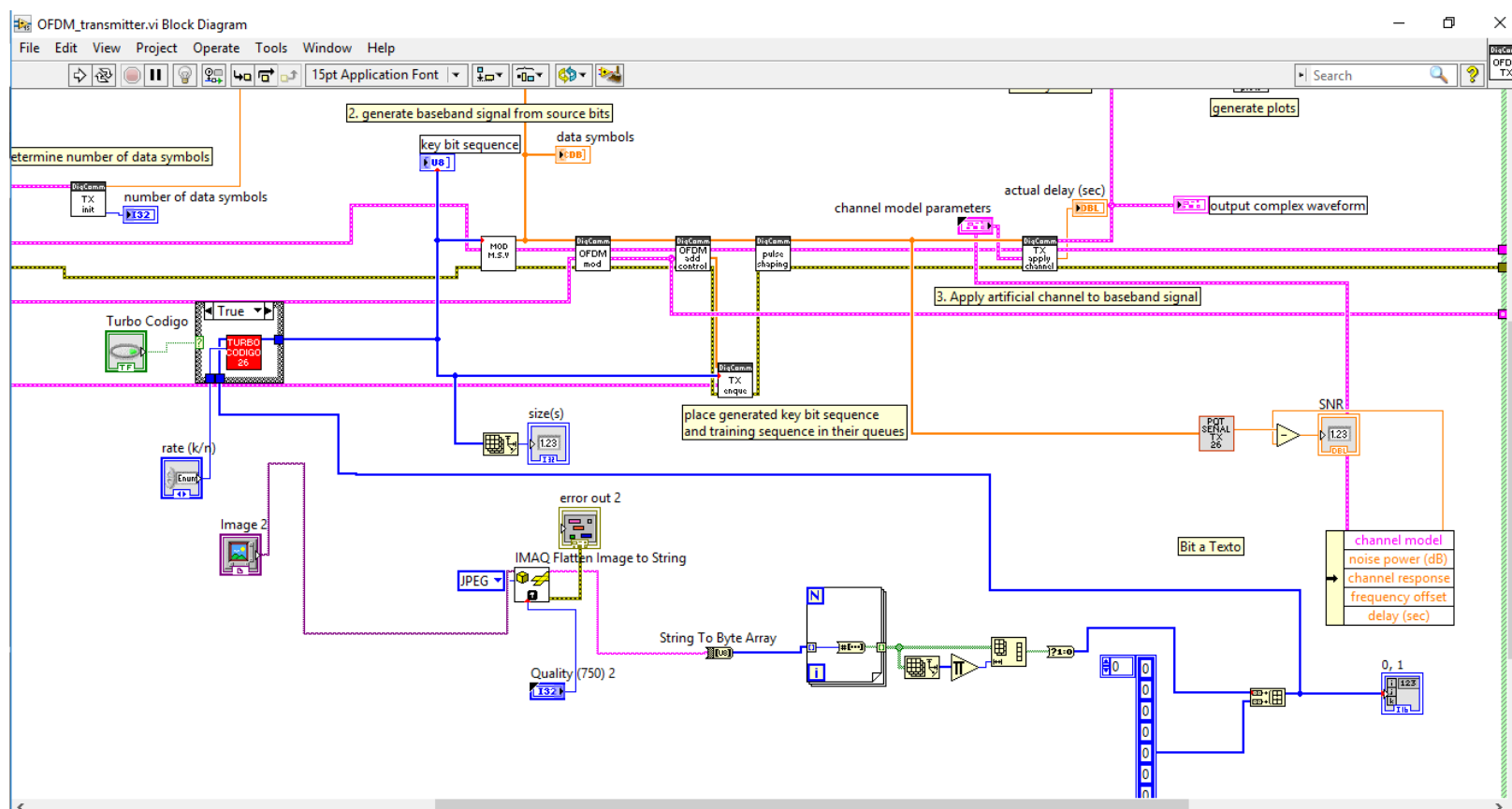
### PANEL FRONTAL – TRANSMISOR





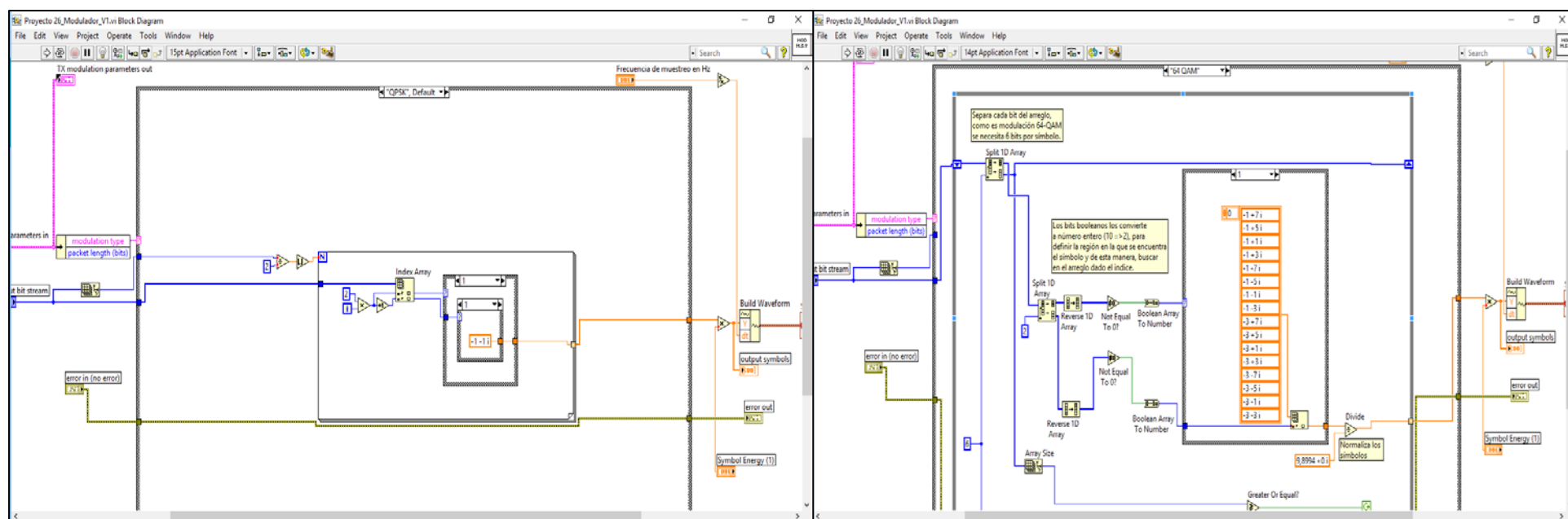
## ANEXO 3

## DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW TRANSMISOR OFDM



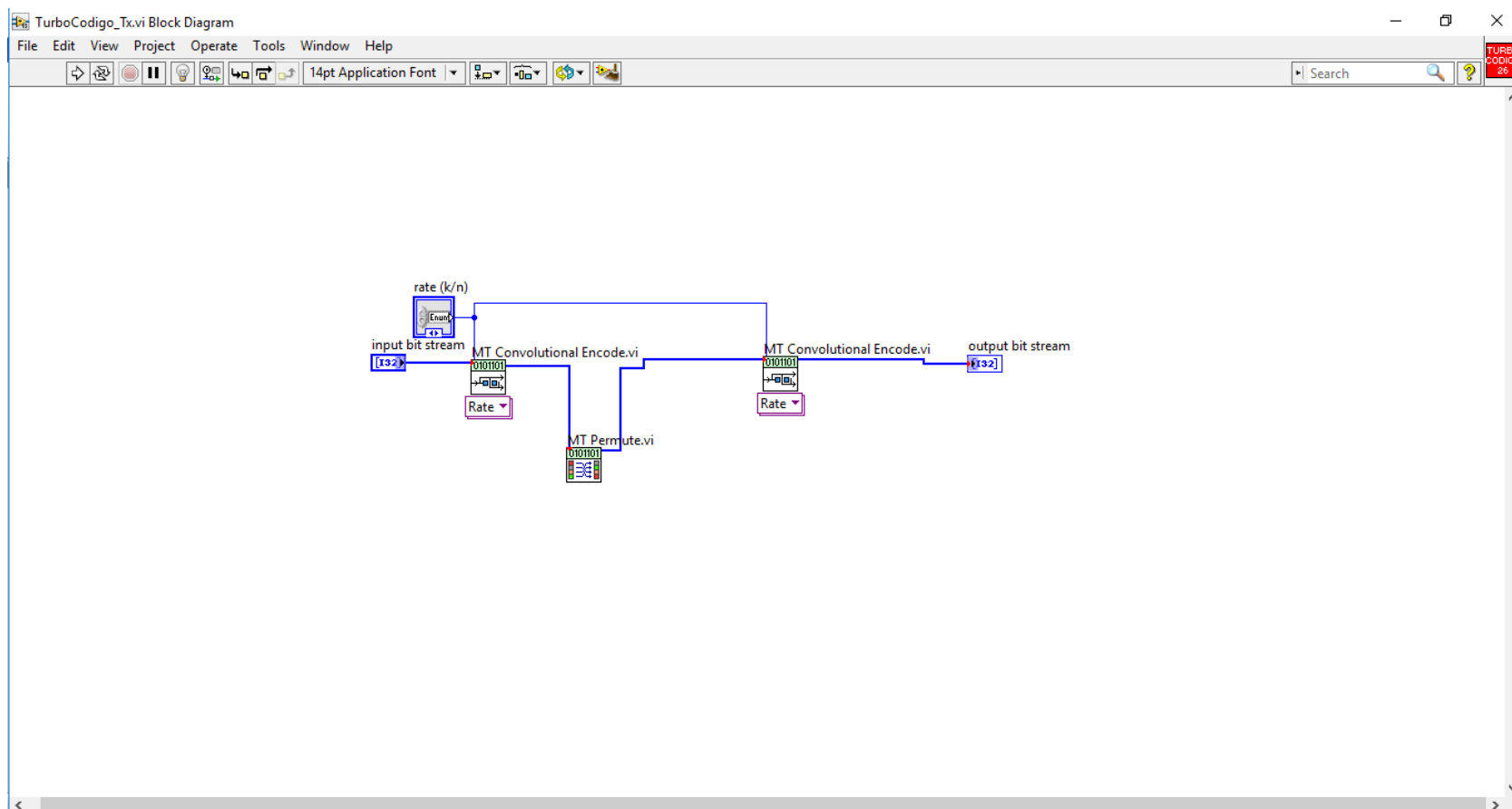
## ANEXO 4

## DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW MODULADOR OFDM



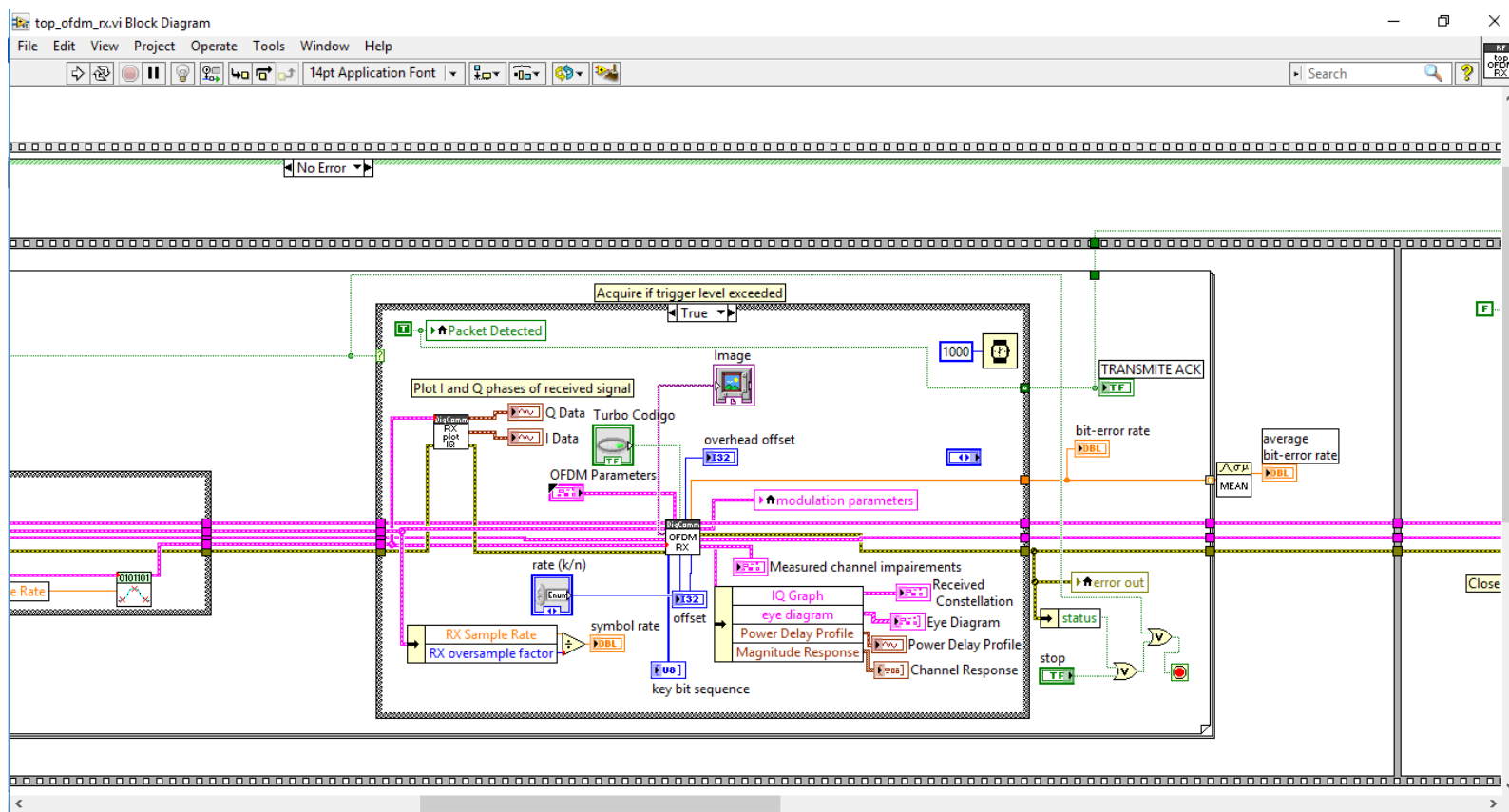
## ANEXO 5

## DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEL TURBO CÓDIGO TRANSMISOR



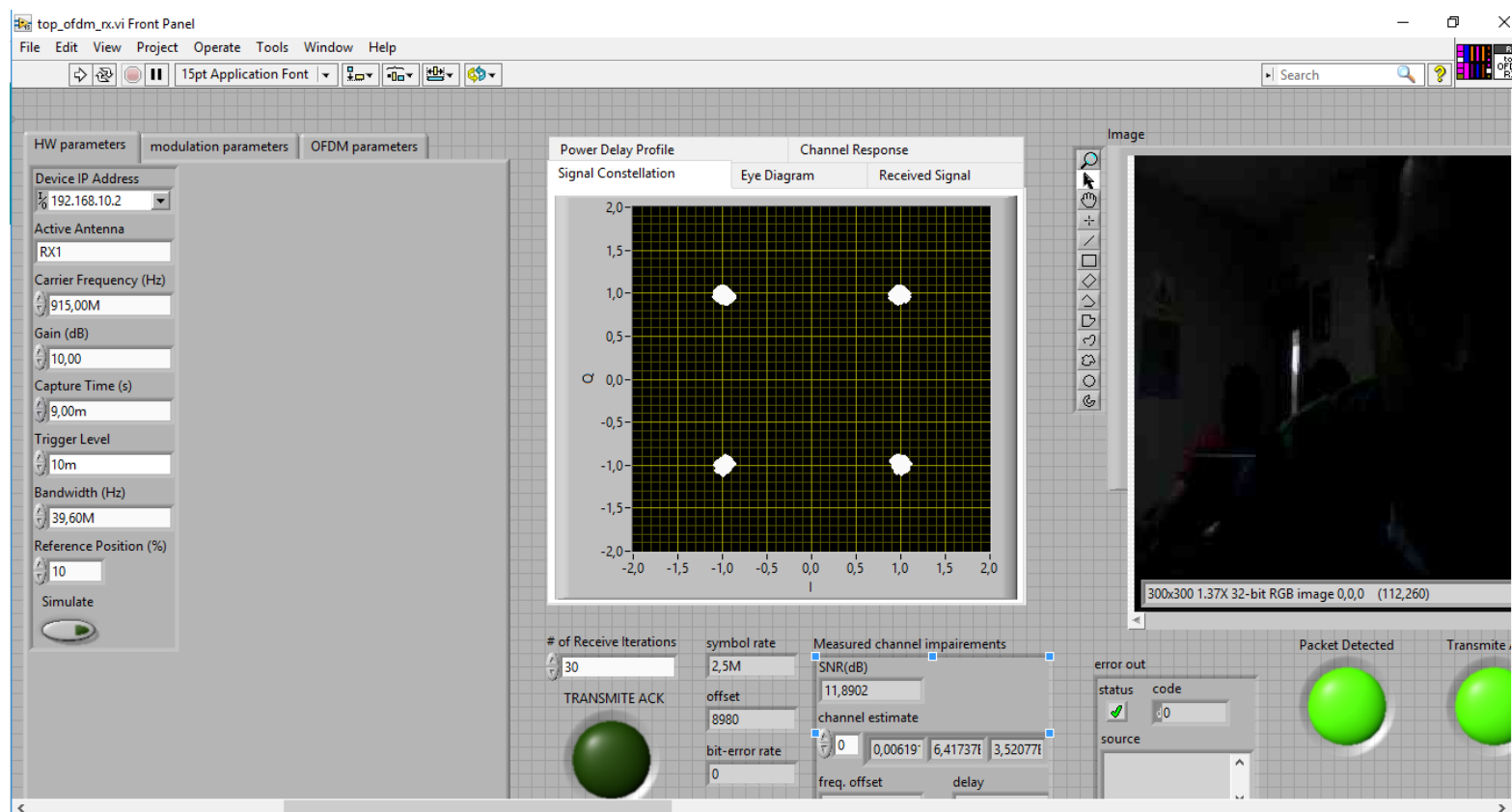
## ANEXO 6

## DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEL RECEPTOR OFDM



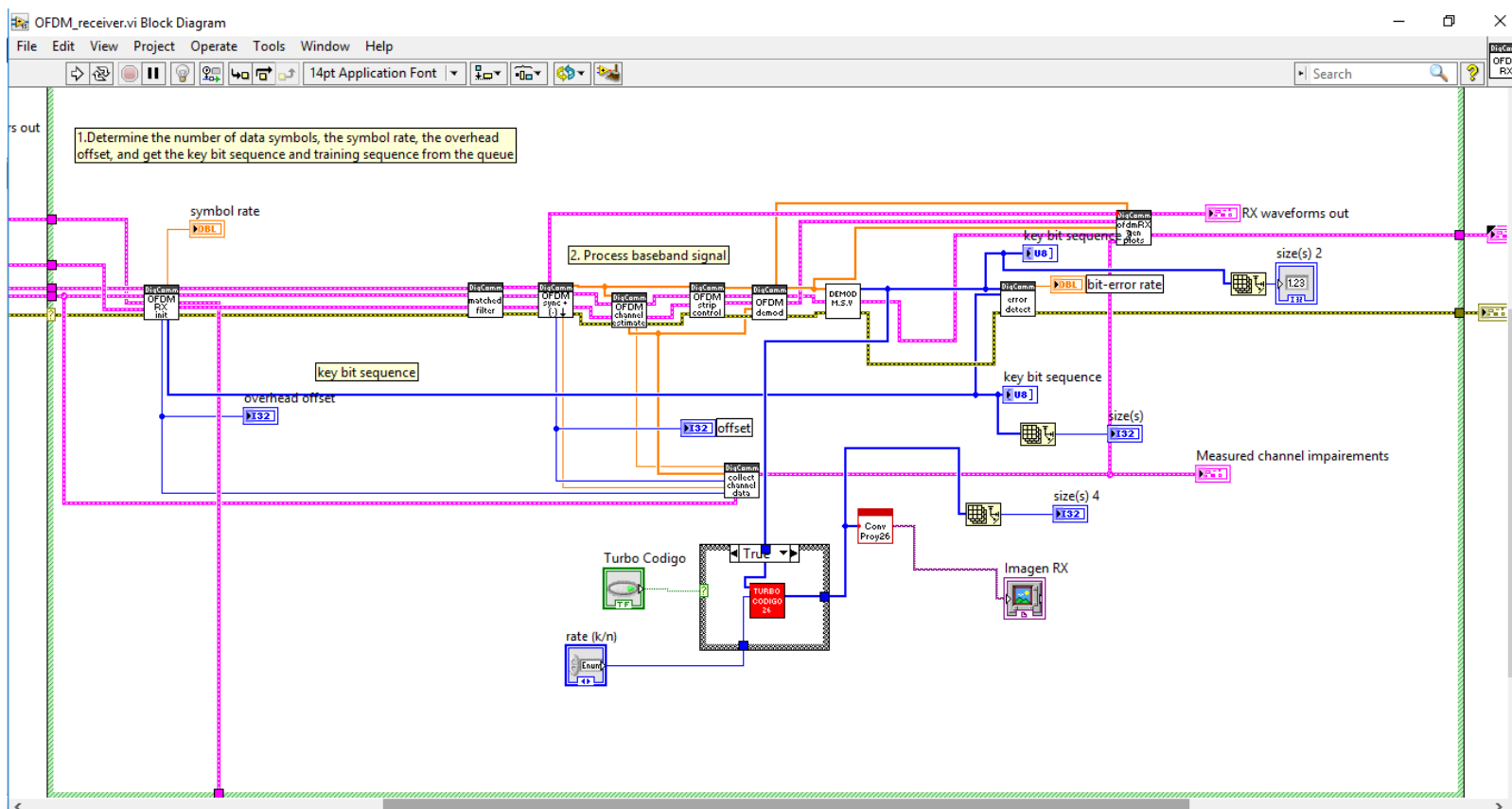
## ANEXO 7

### PANEL FRONTAL RECEPTOR



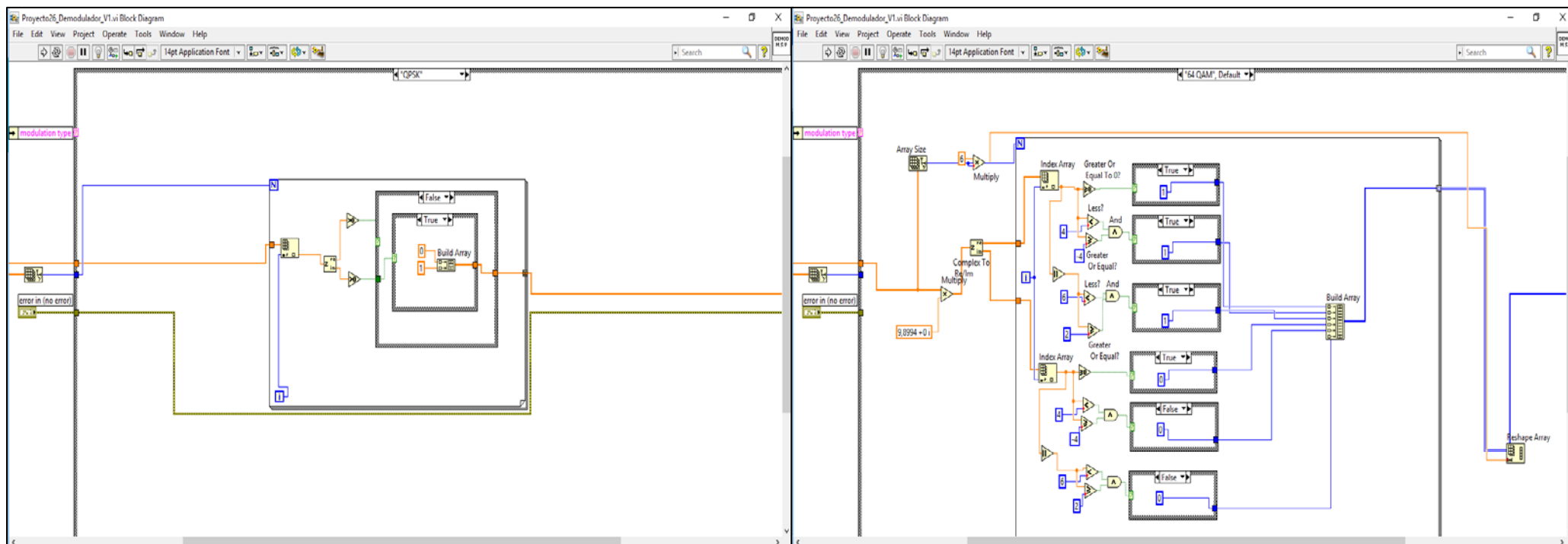
## ANEXO 8

## DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW - RECEPTOR OFDM



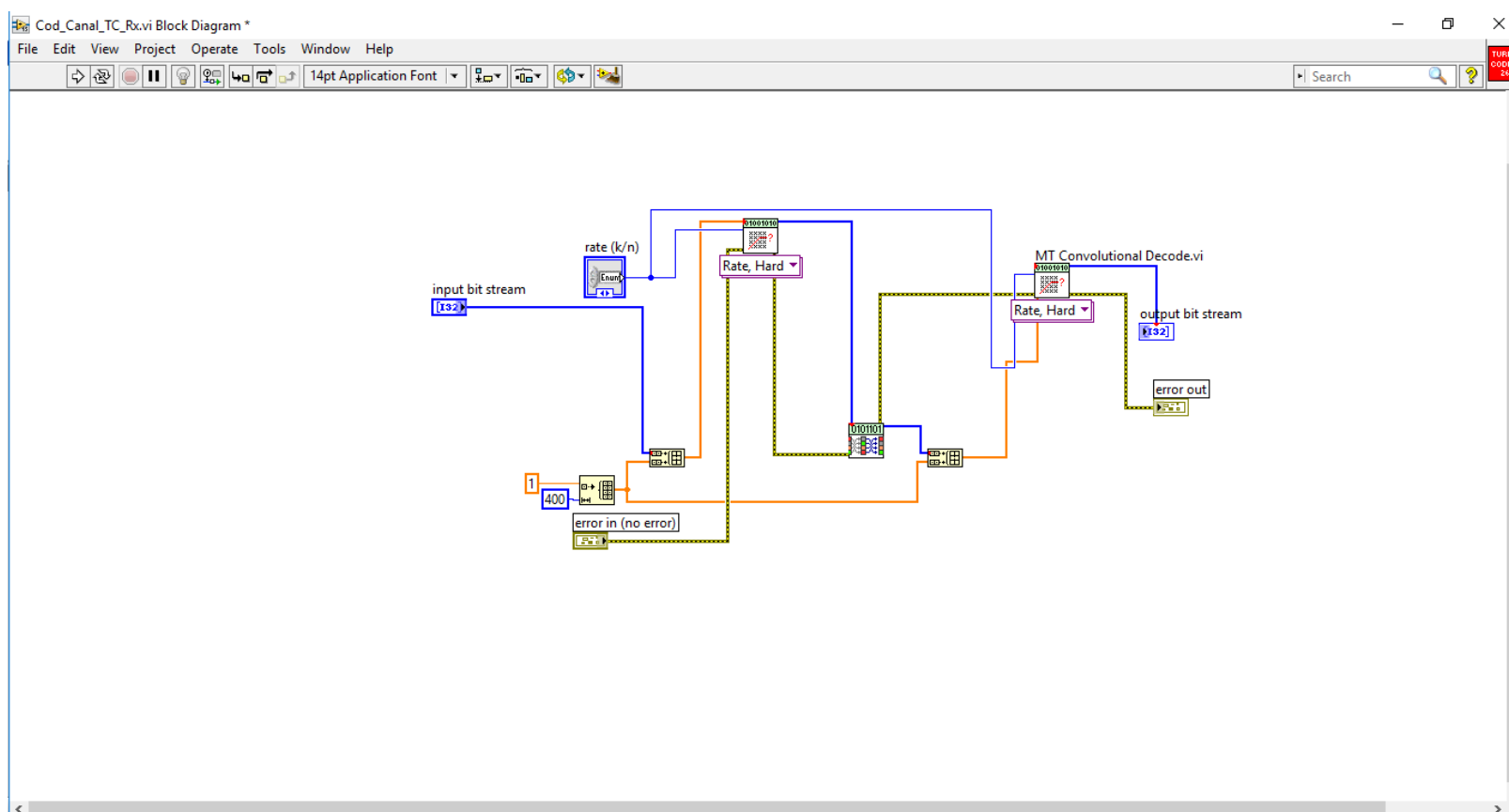
## ANEXO 9

## DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEMODULADOR OFDM



## ANEXO 10

## DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEL TURBO CÓDIGO RECEPTOR





## ANEXO 11

## DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEL CONVERTOR DE BITS – IMAGEN

