



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE UN SISTEMA DE
TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN INALÁMBRICO DE VIDEO
CIFRADO DE ÚNICA PORTADORA”**

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

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Ing. Antonio Arquimides Ramirez Gonzalez

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial y sincera a mi coordinador de la maestría al Ph.D. Boris Ramos y a la Ing. Maricela Freire, por su apoyo y su capacidad para guiar mis ideas, ha sido un aporte invaluable en el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este logro alcanzado de forma especial a Dios, a mi madre Ulvia González, a mi abuela María Sarango y a mi esposa Natalia Valdivieso, por siempre estar conmigo y ser los pilares fundamentales de mi vida.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ph.D. Rebeca Estrada Pico

EVALUADOR



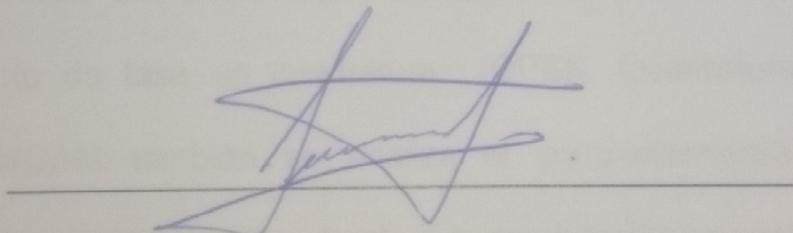
M.Sc. Miguel Molina Villacis

EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

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

Art. 12 del Reglamento de Graduación.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Antonio Arquimides Ramirez Gonzalez

C.I.:1104242696

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño, simulación e implementación de un sistema de transmisión inalámbrica de video cifrado sobre un canal real utilizando equipos de periférico universal de radio programable (USRPs, Universal Software Radio Peripheral) de National Instruments.

Por medio del software de programación de Labview compatibles con los USRPs se desarrolla una secuencia de códigos para transmisor y receptor representados por bloques secuenciales destinados para la modulación, demodulación, procesamiento de imágenes, cifrado y descifrado para el análisis del comportamiento y desempeño que mantiene el sistema frente a modulaciones con diferentes tasas de transmisión en la modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK, Quadrature Phase Shift Keying) y 64QAM también se analiza el comportamiento del sistema transmisión y recepción de video frente a la encriptación sometida variando la distancia de separación de las antenas entre uno y dos metros respectivamente con la ayuda de graficas tomadas en base a capturas de datos reales y simulados modificando los niveles de ruido sobre un canal Ruido Blanco Gaussiano Aditivo (AWGN, Additive White Gaussian Noise) haciendo referencia a la tasa de bits errados (BER, Bit Error Rate) respecto a relación señal a ruido (SNR, Signal Noise Ratio) del sistema de comunicación para comparar su comportamiento a fin de evaluar los resultados y verificar su impacto.

CONTENIDO

| | |
|---|--|
| AGRADECIMIENTOS | I |
| DEDICATORIA | II |
| TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN | ¡Error! Marcador no definido. |
| DECLARACIÓN EXPRESA | III |
| RESUMEN | III |
| CONTENIDO | vi |
| ABREVIATURAS | viii |
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| LISTA DE TABLAS | X |
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1. MARCO TEORICO | 13 |
| 1.1. MODULACION | 14 |
| 1.1.1. Modulacion QPSK..... | 15 |
| 1.1.2. Modulacion 64QAM..... | 17 |
| 1.2. MODELO DE CANAL INALAMBRICO AWGN | 17 |
| 1.3. CRIPTOGRAFIA | 208 |
| 1.3.1. Sustitucion y Permutacion | 19 |
| 1.3.2. Puerta Logica XOR..... | 19 |
| 1.3.2. Generacion de Numeros Pseudo-Aleatorios Congruencial Mixto | ¡Error! Marcador no definido.20 |
| 2. DESARROLLO DEL PROYECTO | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.1. Modulaciones | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.2. Procesamiento de Video | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.3. Cifrado..... | 26 |
| 3. RESULTADOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.1. Calidad de Video Transmitido vs Video Recibido | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.2. Comportamiento del Sistema de Video | ¡Error! Marcador no definido. |

| | |
|--|--------------------------------------|
| 3.3. Tasa de Bits respecto a la Relacion Señal a Ruido.... | ¡Error! Marcador no definido |
| 4. ANALISIS DE RESULTADOS..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| CONCLUSIONES..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| BIBLIOGRAFÍA..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| ANEXOS | 38 |

ABREVIATURAS

| | |
|--------------|-------------------------------------|
| BER | Bit Error Rate |
| QPSK | Quadrature Phase-Shift Keying |
| 64QAM | 64 Quadrature Amplitude Modulation |
| S | Simulado |
| SNR | Signal to Noise Ratio |
| USRP | Universal Software Radio Peripheral |
| PSK | Phase-Shift Keying |
| XOR | Puerta OR Exclusiva |
| JPEG | Join Photographic Experts Group |
| AWGN | Additive White Gaussian Noise |

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1. Diagrama de constelación QPSK ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 2. Diagrama de constelación 64QAM. ... ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 3. Modelo canal AWGN. ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 4. Modulo de Transmisión. ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 5. Modulo de Recepción. ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 6. Constelación real recibida QPSK. ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 7. Constelación real recibida 64QAM. ... ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 8. Generación de Imágenes en Transmisor ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 9. Generación de Imágenes en Receptor. ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 10. Parámetros de simulación canal AWGN. ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 11. Imagen Real Recibida Condiciones Favorables y constelaciones recibidas para QPSK Y 64QAM..... ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 12. BER vs SNR para modulación QPSK con separación de antenas de 1 y 2 metros con cifrado de datos..... ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 13. BER vs SNR para modulación QPSK con separación de antenas de 1 y 2 metros sin cifrado de datos..... ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 14. BER vs SNR para modulación 64QAM con separación de antenas de 1 y 2 metros con cifrado de datos..... ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 15. BER vs SNR para modulación 64QAM con separación de antenas de 1 y 2 metros sin cifrado de datos..... ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 16. Constelaciones recibidas al límite de Ruido QPSK. ¡Error! Marcador no definido.
- Fig. 17. Constelaciones recibidas al límite de Ruido 64QAM. ¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fases y Valores por Simbolo QPSK. **¡Error! Marcador no definido.**⁵

Tabla 2. Tabla de Verdad Puerta XOR..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 3. Rb en Relacion al SNR para una modulacion QPSK con separacion de 1 y 2 metros **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 4. b en Relacion al SNR para una modulacion 64QAM con separacion de 1 y 2 metros **¡Error! Marcador no definido.**

INTRODUCCIÓN

El uso cada vez más frecuente de soluciones tecnológicas inalámbricas a nivel global para la transmisión de datos ha facilitado a todos sus usuarios la comunicación, popularizando su uso debido a las ventajas que representa el manejo de un sistema inalámbrico[4]. No obstante este tipo de emisiones inalámbricas son susceptibles a problemas y limitaciones acentuando como las más importantes la limitación en ancho de banda para transmitir información, ruido presente en el medio por cual se propagan las señales inalámbricas, interferencia co-canal e interferencia inter-simbólica, complicaciones que dificultan la comunicación. [5]

Debido al modo inalámbrico por el cual se transmiten la información hace que esta sea vulnerable a interceptaciones indebidas por lo que el uso de encriptación en la información es una práctica común en este tipo de sistemas para garantizar la confidencialidad de los datos transmitidos para presente diseño se opta por el uso del método de encriptación simétrica Data Encryption Standard [2].

Cada uno de los bloques programables desarrollados realizan tareas definidas tales como un bloque destinado para la adquisición de las

imágenes que generan el video por medio de la captura de imágenes secuenciales con ayuda de una cámara web, imágenes que pasaran al dominio de la frecuencia a fin de obtener una secuencia de bits. También un bloque que realiza la encriptación de bits el cual usa permutaciones, generación de números aleatorios y compuertas lógicas a fin de transmitir datos imperceptibles destinatarios no deseados y finalmente un bloque que mantendrá la modulación deseada QPSK o 64-QAM colocados en los transmisor cabe señalar que para la recepción se hace el proceso inverso de los códigos señalados anteriormente. Una vez realizado la integración de los bloques se procede a la transmisión y recepción en tiempo real y simulado para su posterior captura de datos para su posterior análisis. Cabe señalar que los equipos de radio frecuencia USRP2910 tiene una tasa de transferencia de operación máxima de 30 Mbps por lo que no se puede operar a mayores tasas de transferencia de datos.

El presente análisis pretende obtener resultados examinados desde una perspectiva común de comunicación real considerando el impacto que representan la distancia de separación entre emisor y receptor evaluado a diferentes tasas de transmisión por medio de la comparación de resultados obtenidos de las capturas simuladas y reales. Los resultados obtenidos en el presente análisis pueden ser considerados como precedentes o referencias para posteriores estudios basados en el objetivo del presente proyecto.

1. MARCO TEORICO

En este capítulo se hace una breve introducción de lo que es un sistema de comunicación inalámbrica, los elementos que componen el sistema de video transmisión modulación, modelo de canal y cifrado para la transmisión de video.

1.1. MODULACION

La modulación implica el cambio de varios parámetros fundamentales de la señal portadora como la amplitud, frecuencia o fase para el envío de información a través de un medio físico. [8] De donde los datos binarios generados por sistemas digitales para ser transmitidos por un medio inalámbrico deben ser convertidos señales portadoras análogas continuas en el tiempo con variaciones en sus parámetros y en consecuencia la recepción implica la extracción de la información enviada por medio de la señal análoga recibida.

1.1.1 MODULACION QPSK

La modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (*QPSK*, *Quadrature Phase Shift Keying*), es un esquema de modulación lineal digital donde la información transportada por la señal transmitida está contenida en la fase. Es una particularización de la modulación digital por desplazamiento de fase o PSK (Phase-Shift Keying). [7] La fase de la portadora toma uno de cuatro valores igualmente espaciados cada uno corresponde a un único símbolo. QPSK equivale a una señal de 4 símbolos desplazados entre sí 90° donde se modifica su fase aportando cada símbolo con 2 bits. Normalmente se usan valores de salto de fase de $\frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4}$, valores mostrados en la tabla 1. [10]

La señal QPSK está definida por la expresión:

$$S(t)_{QPSK} = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos \left[2\pi f_c t + (i - 1) \frac{\pi}{2} \right] \quad (10)$$

De donde: $0 \leq t \leq T$; $i = 1,2,3,4$; E es la energía de símbolo, T es el tiempo del símbolo y es igual a dos veces el período de bit.

| Fase | Bits |
|-----------|------|
| $\pi/4$ | 11 |
| $3 \pi/4$ | 01 |
| $5 \pi/4$ | 00 |
| $7 \pi/4$ | 10 |

Tabla 1. Fases y Valores por Símbolo QPSK [5]

El diagrama de constelación muestra 4 símbolos equi- espaciados. La asignación de bits a cada símbolo suele hacerse mediante el código Gray, que consiste en que entre dos símbolos adyacentes los símbolos solo se diferencian en 1 bit. Esto se escoge así para minimizar la tasa de bits erróneos.

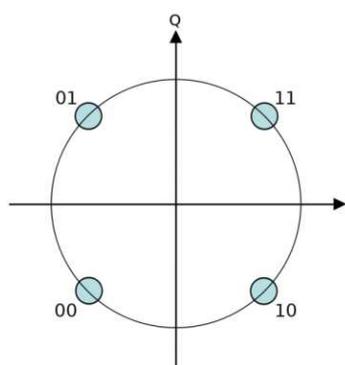


Fig 1. Diagrama de constelación QPSK [5]

1.1.2 Modulación 64-QAM

La Modulación de Amplitud en Cuadratura o QAM es una modulación digital en la que el mensaje está contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida. Se basa en la transmisión de dos mensajes independientes por un único camino. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada 90° entre uno y otro mensaje. Esto supone la formación de dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, con lo cual se mejora en eficiencia de ancho de banda que se consigue con esta modulación. [11]

La distribución de códigos a cada fase se realiza siguiendo una codificación cíclica; de tal forma, un error de fase introduce en las fases más cercanas solo un error de bit. [9]

La señal QAM está definida por la expresión:

$$S(t)_{QAM} = I(t) \cos(2\pi f_c t) + Q(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (11)$$

La modulación 64QAM es un tipo de modulación de M estados en la que para grupos de k bits podemos obtener, $M = 2^k$ salidas diferentes es decir para 64QAM existen 64 fases representados por 6 dígitos tal como muestra la constelación en la figura 2.

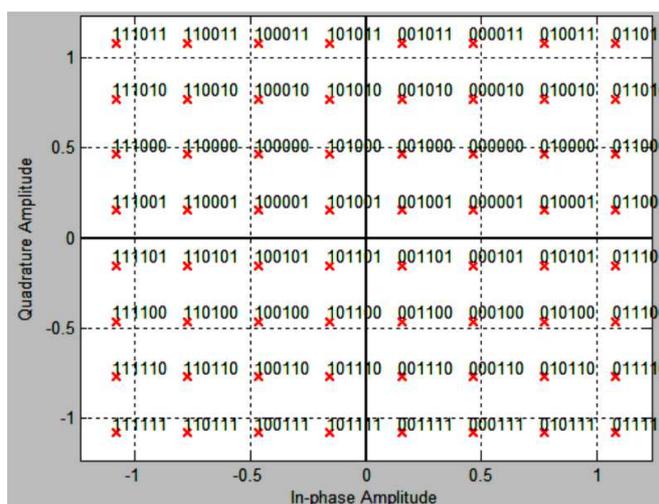


Fig 2. Diagrama de constelación 64QAM [2]

1.2.1 Modelo de Canal Inalámbrico AWGN

La naturaleza aleatoria del ruido en el dominio de tiempo causa que los símbolos transmitidos sean distorsionados por lo que se afecta la interpretación de estos símbolos en el receptor, bajo estas circunstancias el AWGN, introduce un porcentaje de errores de símbolo donde cada símbolo causa uno o más errores de bits a la salida del receptor el cual es uniforme en tiempo y espacio que no contempla selectividad temporal ni frecuencial. Se dice que es ruido blanco porque tiene una densidad espectral constante entre cero e infinito este modelo de canal es una adición lineal de banda ancha o ruido blanco con una densidad espectral constante y una distribución gaussiana de la amplitud, este modelo no toma en cuenta el desvanecimiento, la selectividad de frecuencia, interferencia, la no linealidad o dispersión. [4]

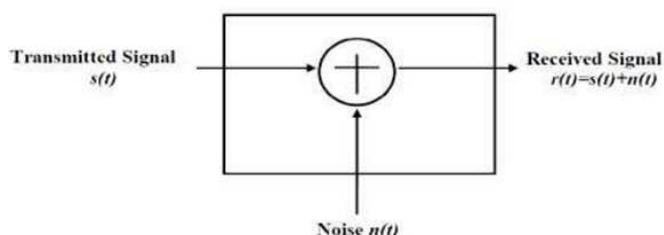


Fig 3. Modelo canal AWGN [5]

1.3.1 Criptografía

Criptografía es la práctica y el estudio de técnicas de cifrado y descifrado de información, es decir, de técnicas para codificar un mensaje haciéndolo ininteligible (cifrado) y recuperar el mensaje original a partir de esa versión ininteligible (descifrado), a través algoritmos de cifrado lo cual involucra un método matemático que se emplea para cifrar y descifrar un mensaje.

Generalmente funciona empleando una o más claves (números o cadenas de caracteres) como parámetros del algoritmo, de modo que sean necesarias para recuperar el mensaje a partir de la versión cifrada. [1]

1.3.1. Sustitución y Permutación

Una red de sustitución y permutación es un cifrador iterado de donde la idea general de estos cifradores consiste en dividir el mensaje en bloques de bits, generalmente del mismo tamaño fijo, y aplicar un número N_r (rondas o vueltas) de sustituciones y permutaciones a cada bloque. [2]

1.3.2. Puerta Lógica XOR

Una puerta o compuerta lógica, es la expresión física en la lógica de conmutación. Cada puerta lógica consiste en una red de dispositivos interruptores que operan de acuerdo a su función, en el caso de la compuerta XOR se define esta puerta como aquella que da por resultado uno, cuando los unos en las entradas son impares como se muestra tabla 2. [1]

| Entrada A | Entrada B | Salida |
|-----------|-----------|--------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Tabla 2. Tabla de Verdad Puerta XOR

1.3.3. Generación de Números Pseudo-Aleatorios Congruencial Mixto

El funcionamiento de un generador de números pseudo-aleatorios consiste en elegir una semilla inicial cualquiera, y se genera una sucesión de valores mediante una relación de recurrencia. Cada uno de estos valores proporciona un número pseudo-aleatorio definido a través de alguna relación. [1]

Los generadores congruenciales lineales generan una secuencia de números pseudoaleatorios en la cual el próximo número pseudoaleatorio es determinado a partir del último número generado, es decir, el número pseudoaleatorio X_{n+1} es derivado a partir del número pseudoaleatorio X_n . La relación de recurrencia para el generador congruencial mixto es:

$$X_{x+1} = (aX_n + c) \bmod M \quad (2)$$

De donde X_0 es la semilla, a es el multiplicador, c es una constante aditiva, m es el modulo ($m > X_0, a, c$) y $X_0, a, c > 0$.

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo del presente proyecto se usa la herramienta de programación Lab-View en donde se generan los códigos necesarios para la implementación de cada una de las etapas del sistema de transmisión.

La transmisión del video cifrado se lo realiza por medio de los equipos USRP2910 compatibles con la herramienta de programación Lab-View, de los cuales uno actúa de transmisor y el otro de receptor de señal. Para validar el comportamiento del sistema de transmisión se toman medidas a dos distancias diferentes de 1 metro y 2,2 metros respectivamente para la evaluación de su comportamiento. Cabe señalar que el sistema bajo estas condiciones puede verse afectado por ruido o interferencia presente en el medio el cual incide de varias formas en la propagación de la señal lo cual hace que el sistema se comporte de forma variable.

La figura 4 resume las funciones de cada bloque diseñado para la transmisión de video.

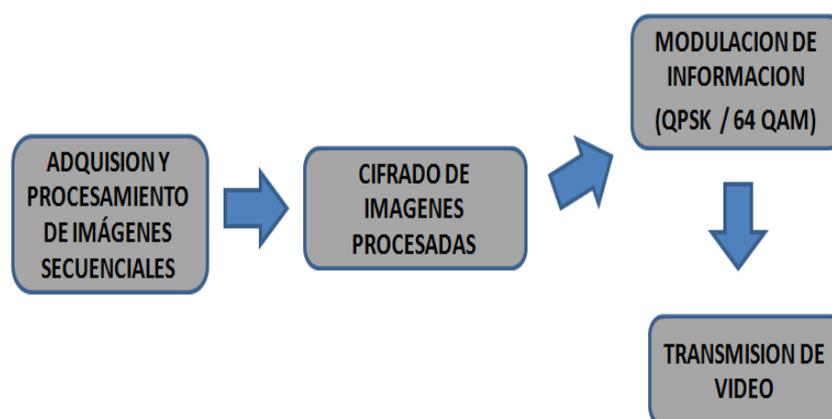


Fig 4. Modulo de Transmisión

La figura 5 resume las funciones de cada bloque diseñado para la transmisión de video.

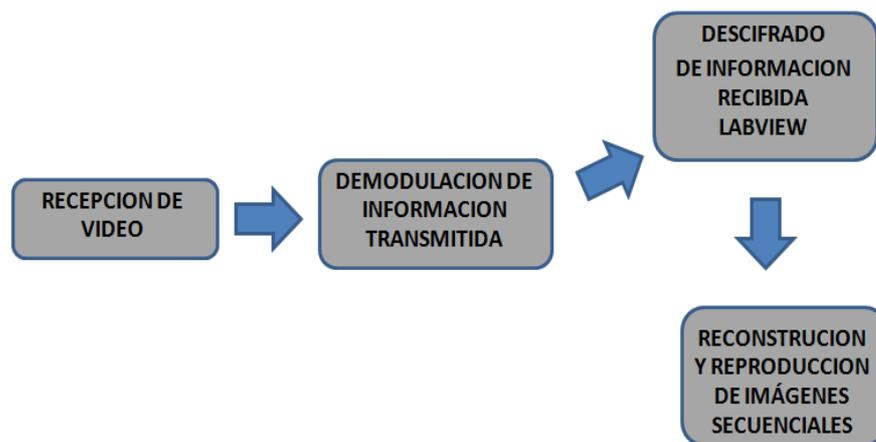


Fig 5. Modulo de Recepción

2.1. Modulaciones

Las modulaciones tanto QPSK como 64 QAM se diseñaron en un solo bloque de donde de acuerdo a la selección de parámetros de modulación cada una de las modulaciones presentan constelaciones diferentes, los códigos de los moduladores y demoduladores se detallan en el anexo 1 y 2 de QPSK Y 64QAM respectivamente.

En la figura 6 se muestra un ejemplo de la constelación real obtenida en el receptor después de utilizar la modulación QPSK en la transmisión sin atenuación.

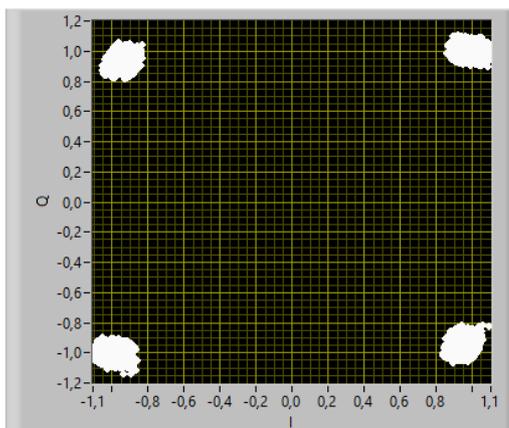


Figura 6. Constelación real recibida QPSK.

En la figura 7 se muestra un ejemplo de la constelación real obtenida en el receptor después de utilizar la modulación 64QAM en la transmisión sin atenuación.

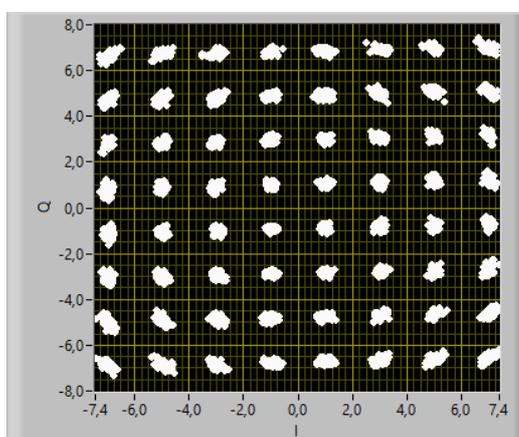


Figura 7. Constelación real recibida 64QAM

2.2. Procesamiento de Video

Video se denomina a una serie secuencial de imágenes que la vista humana percibe como movimiento cada imagen es procesada para su posterior transmisión [3].

La captura del video se la realiza mediante módulos agregados en el software de programación LabView tales como VisionAcquisition Software y VisiónDevelopment los cuales ayudan a la interacción entre la cámara web y la generación de matrices pertenecientes a cada imagen capturada con la finalidad de poder manipular los datos generados [3]. Cabe señalar que para el desarrollo de este proyecto el tamaño de la imagen que se fijo es de 160 x 100 pixeles puesto que una imagen de mayor tamaño aumenta considerablemente el procesamiento de las imagenes.

Con la ayuda del modulo VisiónDevelopment se simplifica la digitalización de las imágenes pero la información matricial generada es demasiado extensa para ser transmitida directamente lo que complica el procesamiento de la información generada [3]. Para solucionar este inconveniente se obtuvo la información matricial de la imagen luego de un proceso de compresión especificando el formato unión de grupo de expertos fotográfico (JPEG, Join Photographic Experts Group) posteriormente pasar la imagen al dominio de frecuencia para facilitar su proceso. La figura 4 detalla el proceso que se realiza para la captura de cada imagen.

Como se muestra en la Figura 8, para el envío de la información generada en el transmisor una vez obtenida la información de la imagen procesada esta

es transformada a bits para ser posteriormente enviados hacia el modulo de cifrado para posteriormente ser enviados hacia el modulador.

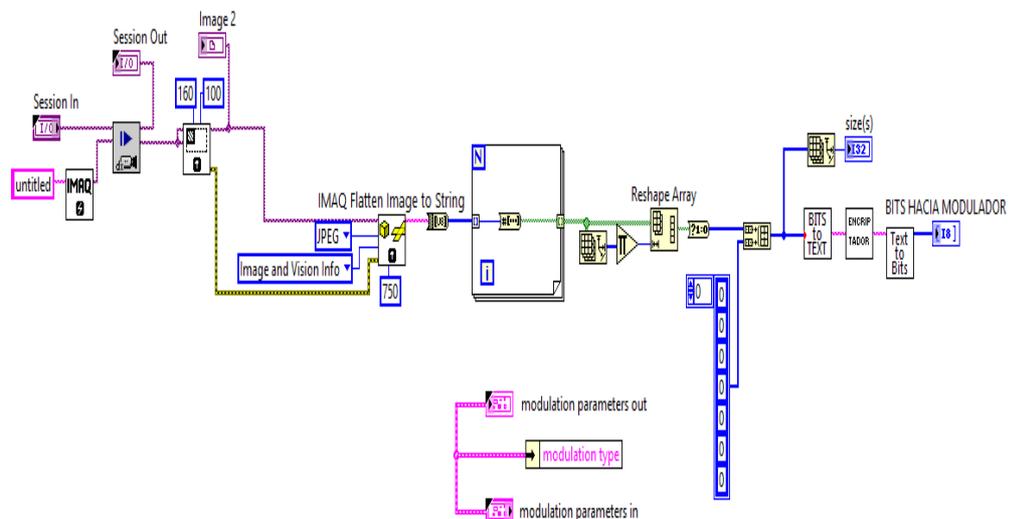


Figura 8. Generación de Imágenes en Transmisor

De igual forma en el receptor, el procesamiento de las imágenes se realizó en bloques como se muestra la Figura 5, la cual consiste en revertir el proceso realizado en el transmisor es decir de una secuencia de bits de entra enviada por el transmisor se va a recuperar la información enviada a fin de generar la matriz de la imagen enviada previa aplicación de la transformada inversa de Fourier.

El código de recuperación de imagen el receptor se lo realiza previa demodulación de bits y posterior descifrado de información para finalmente obtener la imagen transmitida el código de recuperación de imagen en el receptor se muestra en la figura 9.

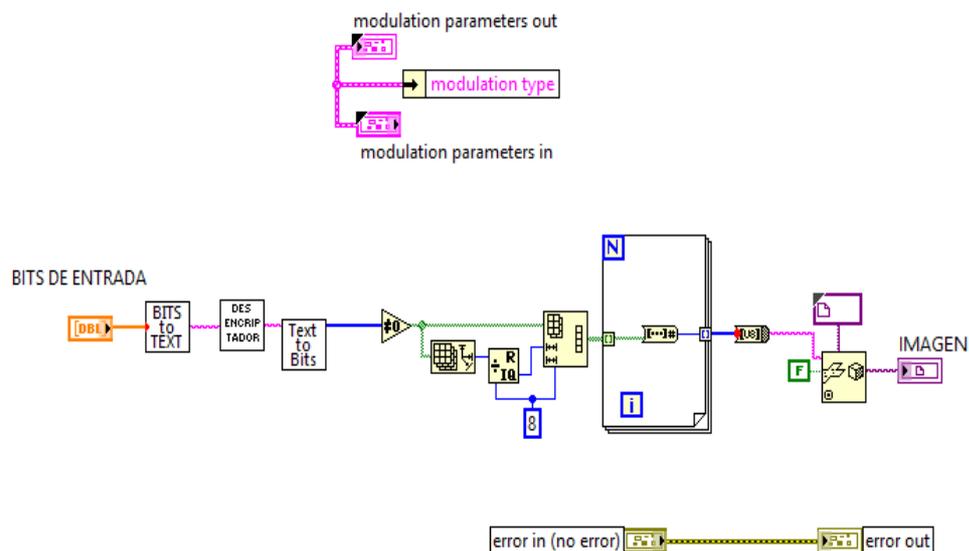


Figura 9. Generación de Imágenes en Receptor

2.3. Cifrado

Para el desarrollo del bloque de cifrado se diseñó un código propio el cual es la combinación de permutaciones, generación de números aleatorios y operadores lógicos los cuales tienen como objetivo complicar el sistema de cifrado a fin asegurar los datos transmitidos.

Para realizar la permutación de datos se basó en una tabla predefinida la cual es la base para efectuar esta operación, el tratamiento de los datos se lo realiza en bloques de ocho bits los cuales con la ayuda de la puerta lógica XOR se combina. Una vez realizada la permutación se combina con la clave la cual debe conocer el destino para poder descifrar el mensaje, clave que previamente ha sido combinada con la generación de números aleatorios los cuales se encuentran entre 0 y 255 con la finalidad de evitar repeticiones en

las combinaciones realizadas. Los códigos de cifrado y descifrado se encuentran en los anexos 3 y 4 respectivamente.

El proceso de descifrado consiste en el proceso inverso del cifrado de donde se recibe como entrada de datos la información en texto incomprensible se realizan las mismas operaciones hechas en el transmisor se coloca la misma clave y finalmente se obtiene la información en texto plano tal como se muestra en la Figura 5.

3. RESULTADOS

Para el análisis de los resultados obtenidos para la presente investigación se tomo como referencia la calidad de las imágenes recibidas comparadas con las imágenes que emite el transmisor para la visualización del video con el fin de validar el comportamiento del sistema de video cifrado y sin cifrar frente a las diferentes modulaciones y separación de antenas de 1 y 2 metros para lo cual se añade gradualmente ruido a la señal emitida.

Se usan mediciones de parámetros como la tasa de bits errados (BER, Bit Error Rate) y la relación señal a ruido (SNR, Relation Signal Noise) los cuales mediante graficas entre ambas variables se realizan graficas entre estas dos variables para analizar el sistema de transmisión entre un entorno real vs un entorno simulado. Y por último se podrá verificar la máxima posibilidad para recuperar el video transmitido a una tasa de bits apropiada mediante las graficas del la tasa de bits vs la relación señal a ruido.

3.1. Calidad de Video Transmitido vs Video Recibido

En la recepción de video se tomo en consideración un canal AWGN, de donde en condiciones favorables las imágenes transmitidas para la visualización del video en el receptor se perciben con una nitidez aceptable cabe señalar que si se aumenta la calidad o la resolución de las imágenes transmitidas aumenta el procesamiento y la datos transmitidos en la figura 10 se muestra los parámetros colocados para un entorno simulado.

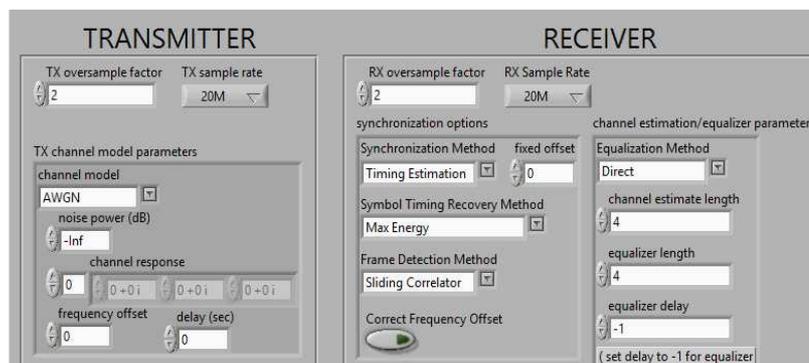


Fig 10. Parámetros de simulación canal AWGN

En las figura 11 se muestran las imágenes tanto transmitida como recibida con sus respectivas constelaciones en ambas modulaciones recibidas QPSK y 64 QAM respectivamente en condiciones favorables de transmisión en un entorno real es decir sin ruido agregado.

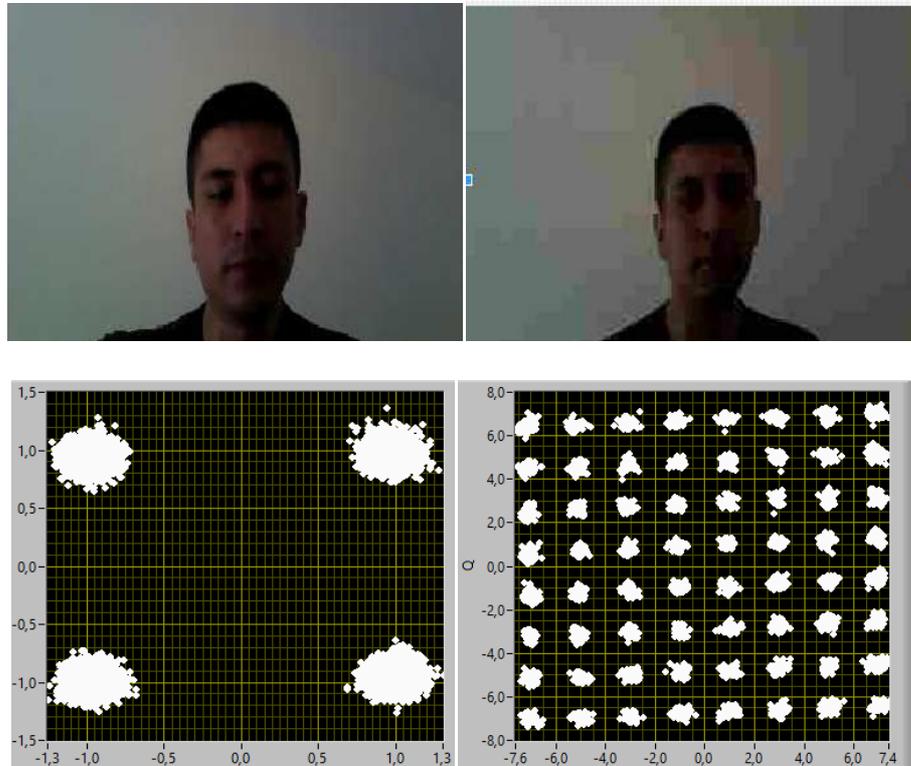


Fig 11. Imagen Real Recibida Condiciones Favorables y constelaciones recibidas para QPSK Y 64QAM

3.2. Comportamiento del Sistema de Video

En este proceso se toma en consideración la toma de datos con antenas separadas a la misma altura con línea de vista distancias de 1 y 2 metros comparadas con un entorno simulado en un canal AWGN. Para ello se comparan las diferencias entre el video cifrado y sin cifrar entre las

modulaciones a distintas distancias por medio de las graficas del BER vs SNR. Los datos obtenidos de estas mediciones se adjuntan en el Anexo 6.

Las figuras 12, 13, 14 y 15 muestran el comportamiento del sistema frente a las diversas modulaciones y la afectación del cifrado al que se somete.

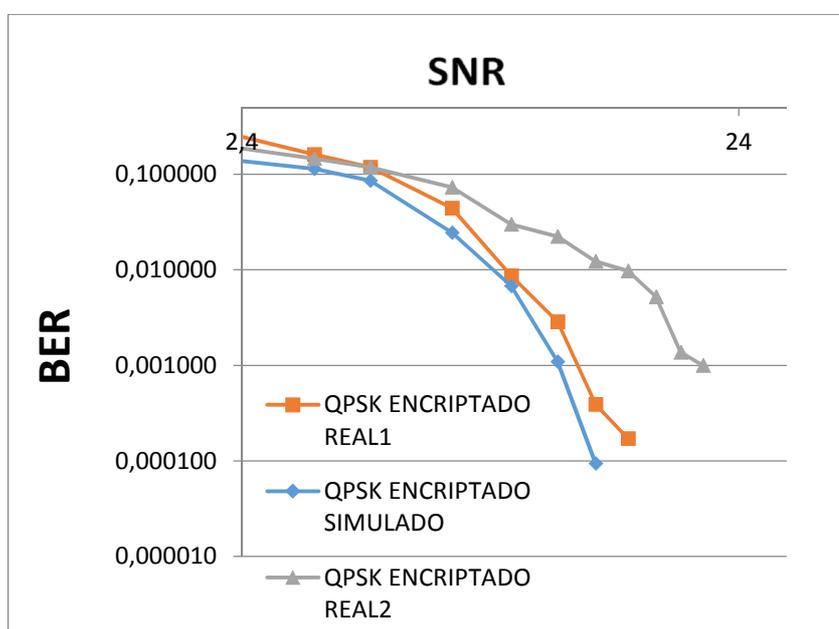


Fig 12. BER vs SNR para modulación QPSK con separación de antenas de 1 y 2 metros con cifrado de datos

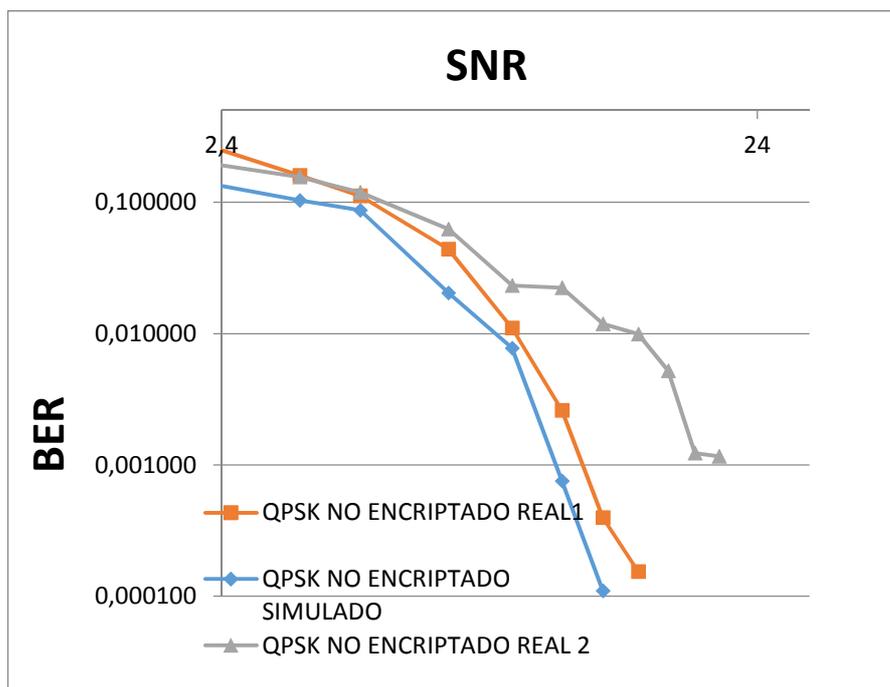


Fig 13. BER vs SNR para modulación QPSK con separación de antenas de 1 y 2 metros sin cifrado de datos

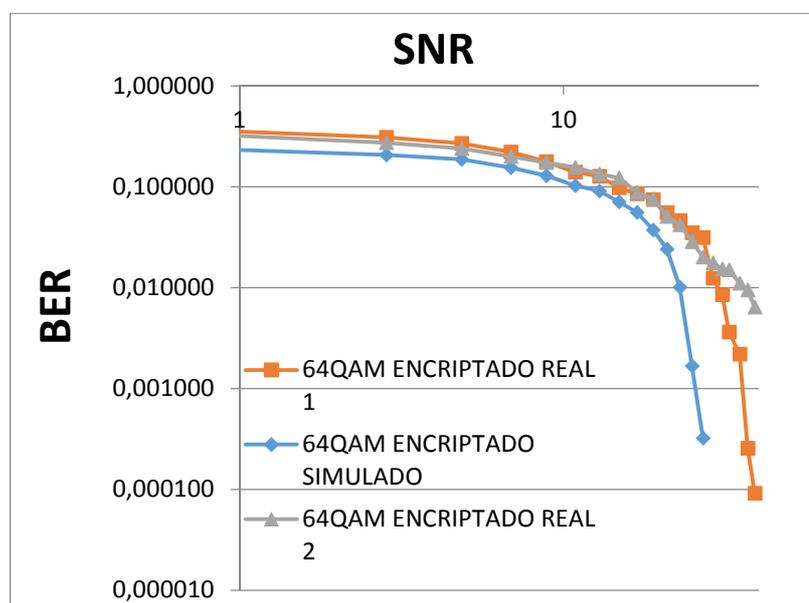


Fig 14. BER vs SNR para modulación 64QAM con separación de antenas de 1 y 2 metros con cifrado de datos

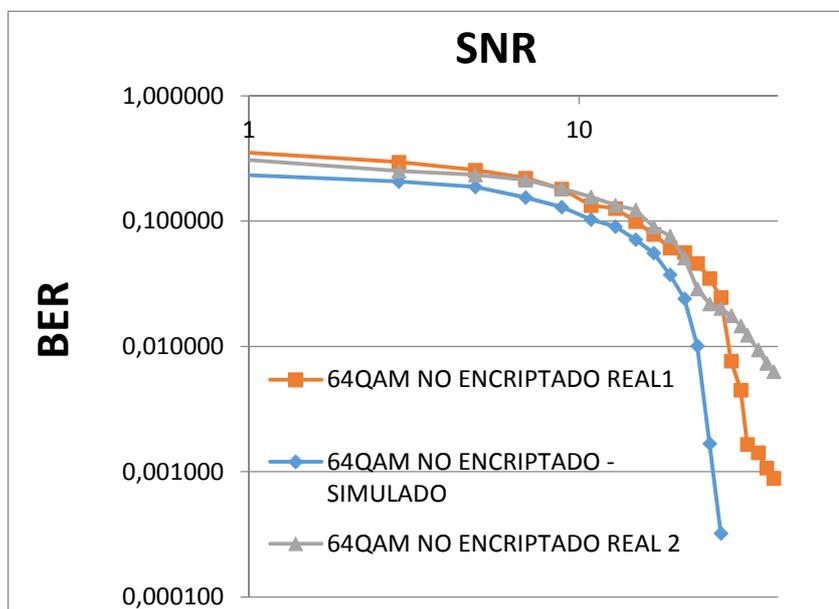


Fig 15. BER vs SNR para modulación 64QAM con separación de antenas de 1 y 2 metros sin cifrado de datos

3.3. Tasa de Bits respecto a la Relación Señal a Ruido

La relación entre la tasa de bits y la relación señal a ruido del sistema nos ayuda a interpretar la tolerancia del sistema al cual se puede reproducir el video transmitido sin que este se vea afectado, es decir la tasa de bits optima del sistema a la cual se puede transmitir el video. Cabe señalar que los equipos de radio frecuencia USRP tiene una limitación de 30 Mbps por lo que no se puede operar a mayores tasas de transmisión.

Considerando un tiempo de símbolo de 0,2 us obtenemos un tasa de símbolo (Rs) de 5 M y dependiendo de la modulación a la que se trabaja se obtiene el

número de bits por símbolo representados por cada constelación para el caso de QPSK el número de bits es igual a 2 y para 64QAM es de 6 bits. Lo cual nos da una tasa de bits (R_b) para QPSK de $R_b = 2\text{bits} (5\text{M}) = 10\text{ Mbps}$ y para 64 QAM su R_b es $R_b = 6\text{bits} (5\text{ M}) = 30\text{Mbps}$. Así mismo para aumentar la tasa de transferencia por modulación aumentamos el tiempo de símbolo a 0.1 us dando como resultado para la modulación QPSK un R_b de 20 Mbps y para 64 QAM un R_b de 60 Mbps [6]

La tabla 3 muestra la tasa de bits máxima (R_b) para un SNR máximo en una modulación QPSK tomado en consideración las distancias de 1 y 2 metros previa distorsión de video.

| Tasa de Bits (Mbps) | Relación Señal/Ruido (dB) | Atenuación máxima (dB) | Distancia (metros) |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|
| 10 | 7.35 | -5 | 1 |
| 20 | 10,36 | -8 | 1 |
| 10 | 7.36 | -9 | 2 |
| 20 | 16,36 | -14 | 2 |

Tabla 3. R_b en relación al SNR para una modulación QPSK con separación 1 y 2 metros

La tabla 4. Muestra la tasa de bits (R_b) para un SNR máximo en una modulación 64 QAM tomado en consideración las distancias de 1 y 2 metros previa distorsión de video.

| Tasa de Bits (Mbps) | Relación Señal/Ruido (dB) | Atenuación máxima (dB) | Distancia (metros) |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|
| 30 | 18,84 | -20 | 1 |
| 30 | 22,84 | -26 | 2 |
| 20 | 16,82 | -18 | 1 |
| 20 | 20,82 | -22 | 2 |

Tabla 4. R_b en relación al SNR para una modulación 64QAM con separación 1 y 2 metros

En las figura 16 se muestran las imágenes tanto transmitida como recibida con sus respectivas constelaciones para una modulación QPSK en condiciones limitantes de ruido en un entorno real es decir el insertando el ruido máximo tolerable antes de distorsionar la recepción.

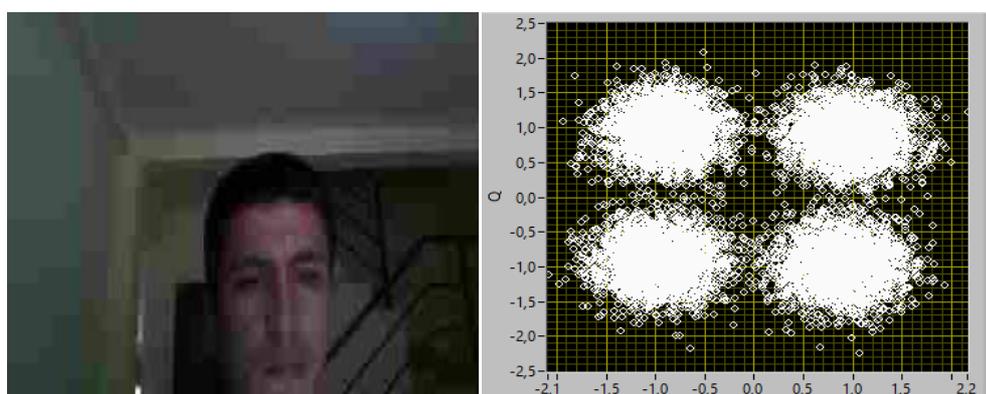


Fig 16. Constelaciones recibidas al límite de Ruido QPSK

En las figura 17 se muestran las imágenes tanto transmitida como recibida con sus respectivas constelaciones para una modulación 64QAM en condiciones limitantes de ruido en un entorno real es decir insertando el ruido máximo tolerable antes de distorsionar la recepción.

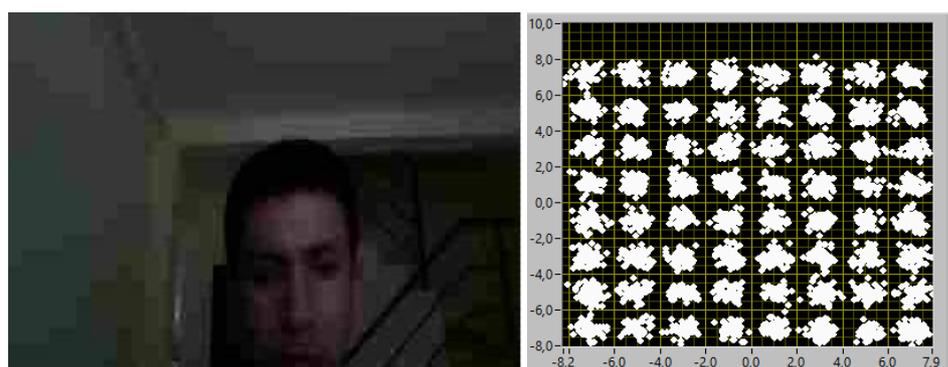


Fig 17. Constelaciones recibidas al límite de Ruido 64QAM

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El sistema de transmisión de video presenta un mejor rendimiento cuando se utiliza la modulación QPSK puesto que al aumentar el ruido dentro del canal su comportamiento es más estable a diferencia de la modulación 64QAM puesto que la relación BER vs SNR es más robusta es decir soporta mayores niveles de ruido.

La modulación 64QAM presenta niveles de error altos frente a la relación señal a ruido a la cual se somete QPSK es decir 64QAM presenta niveles de susceptibilidad mayor que QPSK.

Puesto que la encriptación a la cual se somete el sistema no aumenta información no se visualizan variaciones considerables en sus modulación

su comportamiento se mantienen mas no el procesamiento puesto que debido al cálculo matemático que realiza el cifrador este aumenta los ciclos de procesamiento de las imágenes.

La tasa de bits con respecto a la relación Señal a Ruido del sistema de transmisión de video se ve afectado por la distancia de separación de las antenas ya que conforme aumenta la distancia se requiere aumentar la potencia para conseguir las mismas tasas de bits en ambas modulaciones QPSK y 64QAM.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en el presente análisis se puede concluir lo siguiente:

La modulación QPSK presenta mayor solidez en cuanto a mediciones de BER vs SNR esto como es de esperar se debe a que esta modulación es más robusta frente al ruido que se presenta a diferencia de 64QAM que a los mismos niveles de ruido se ve mayormente afectado.

La separación de las antenas de que a 2 metros de distancia usando las dos modulaciones se ven afectadas puesto que a 2 metros se requiere una mayor relación señal a ruido para alcanzar la misma tasa de bits presentada a 1 metro de distancia.

Debido al método de cifrado usado la información en texto plano que ingresa al transmisor no se ve afectada en su tamaño puesto que no se aumenta información en el proceso lo cual no afecta la relación BER vs SNR.

La calidad de visión del video depende de la resolución de las imágenes que se procesan por lo que si se trabaja con imágenes de una resolución alta el

procesamiento de información va hacer mayor lo cual puede retrasar la recepción de video.

Al incorporar encriptación en la transmisión de video con fines prácticos se lo realiza con resoluciones de imagen pequeñas ya que esto incrementa el nivel de procesamiento y afecta la recepción del video.

Bibliografía

- [1] Alfred Lauper, «Cryptography», 2015. Available: <http://www.wingover.ch/Kryptographie/> [Último acceso: 09 09 2016].
- [2] J. Gutierrez, "Las Redes Sustitucion Permutacion y el AES(Advanced Encryption Standard)", Santander: Universidad de Cantabria, 2009.
- [3] National Instruments, «Módulo Vision Development - National Instruments,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/labview/vision/esa/>. [Último acceso: 09 09 2016].
- [4] R. G. Garcia y J. C. Mejia, "Diseño, simulacion e implementacion del esquema de modulacion OFDM y de la ecualizacion en el dominio de la frecuencia", Guayaquil: Escuela Superior Politecnica del Litoral, 2013.
- [5] S. A. Jimenez y D. E. Panchi, "Diseño e implementacion de un modulador y demodulador N-QAM empleando XLINX ISE, SYSTEM GENERATOR Y SIMULINK Sobre una tarjeta de entrenamiento basada en un FPGA de XILINX", Quito: Universidad Politecnica del Litoral, 2011.
- [6] 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: 09

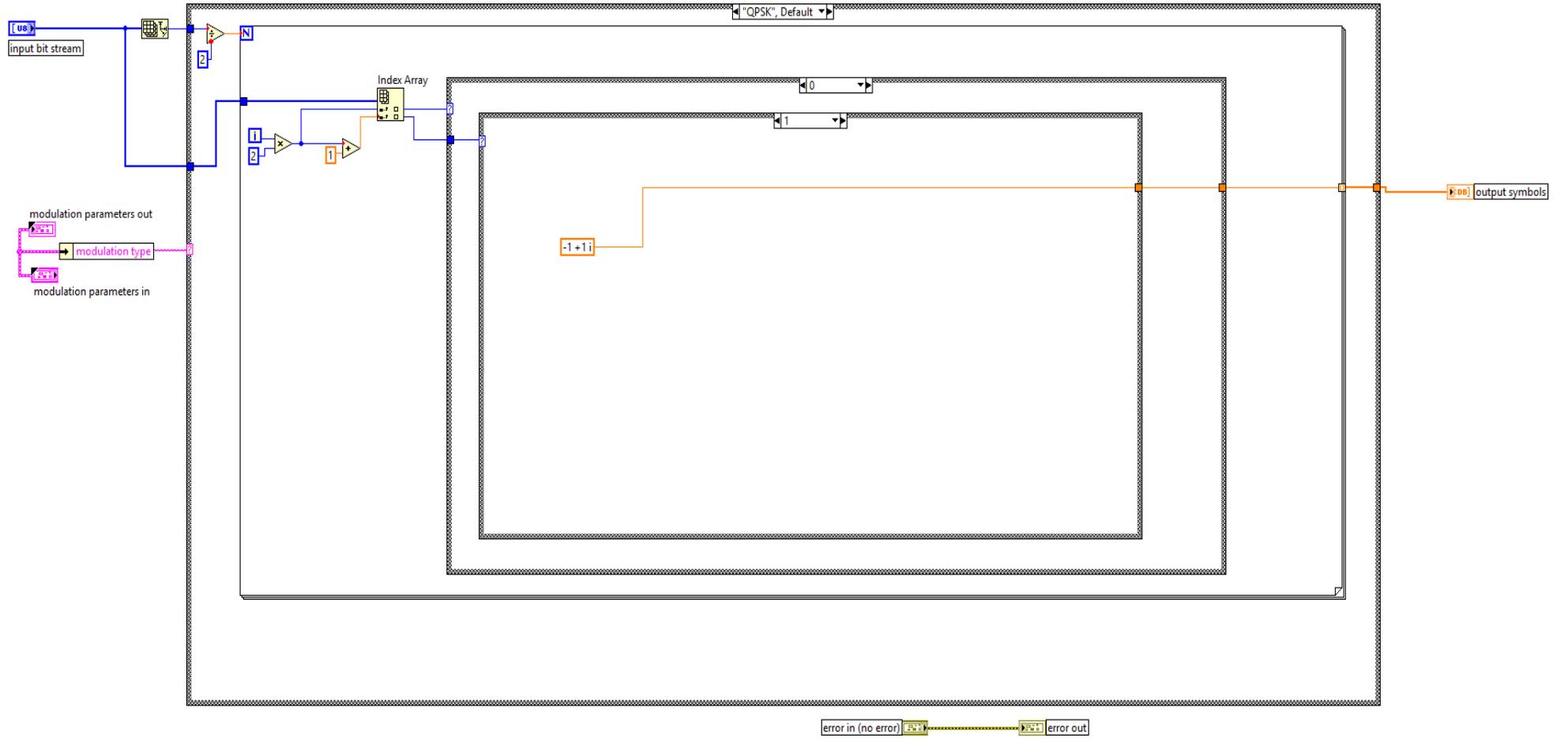
09 2016].

- [7] S. Jain y S. Yadav, "Image Transmission Using 64-qam Modulation Technique in Digital Communication System", International Journal of Advanced Research in Computer Engineering and Technology, vol. 4, 2015.
- [8] R. Pandey, K. Pandey, "An Introduction of Analog and Digital Modulation Techniques in Communication System," Journal of Innovative Trends in Science Pharmacy & Technology, vol. 1, 2014.
- [9] "Metodos de Modulacion Digital", pag 1502.1-1502.12, <http://www.analfatecnicos.net/archivos/15.MetodosModulacionDigital.pdf>
- [10] Y. Rodriguez, J. Rodriguez, C Beltran, "Desarrollo de Prácticas de Laboratorio sobre la Capa Fisica WIMAX 802.16D de la IEEE", Santa Clara: Universidad Central Marta Abreu, 2013
- [11] J. Luque, S. Clavijo, "Modulacion de Señales Digitales", Sevilla: "Universidad de Sevilla" , 1995

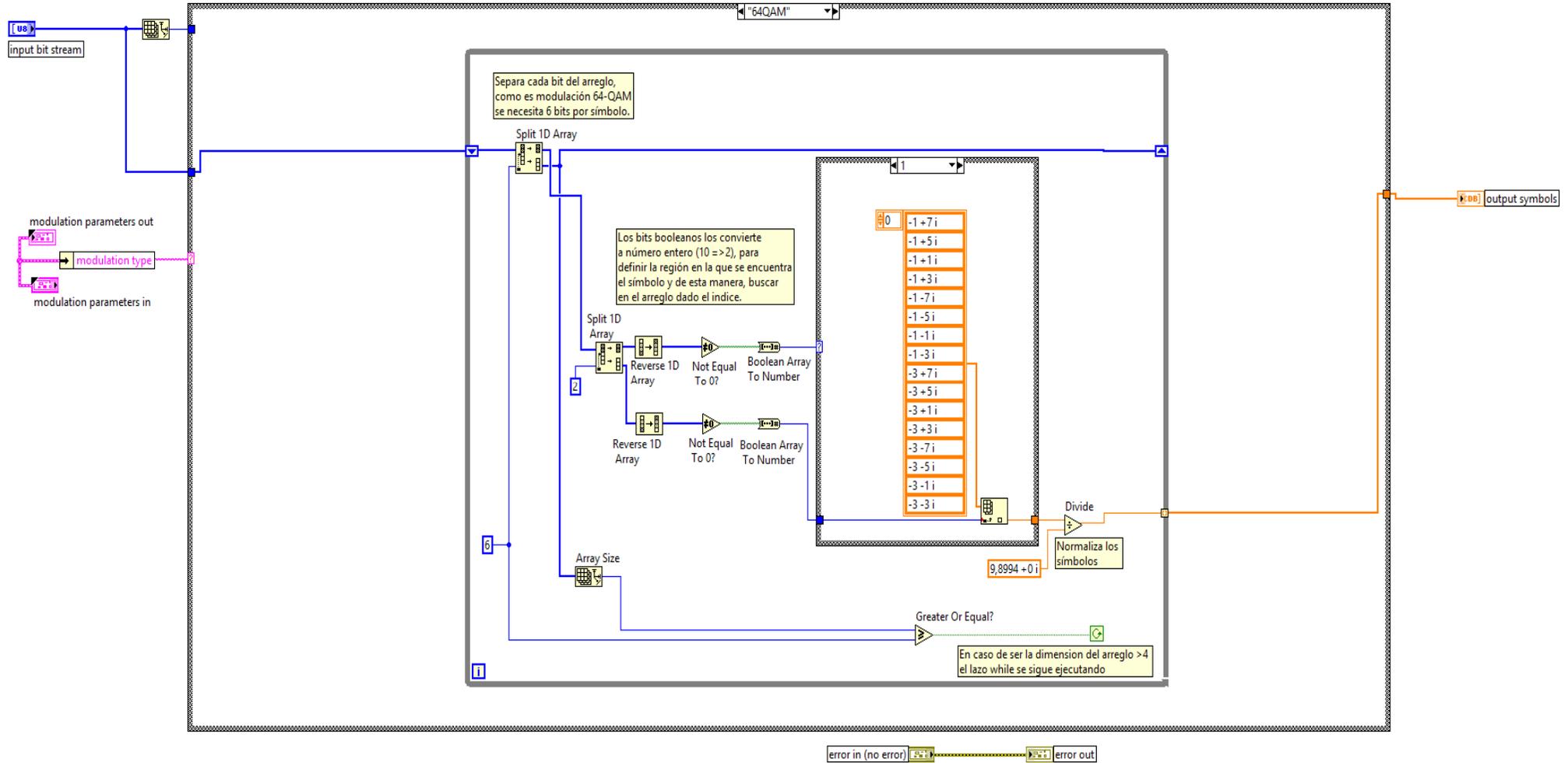
ANEXOS

ANEXO 1

QPSK MODULADOR

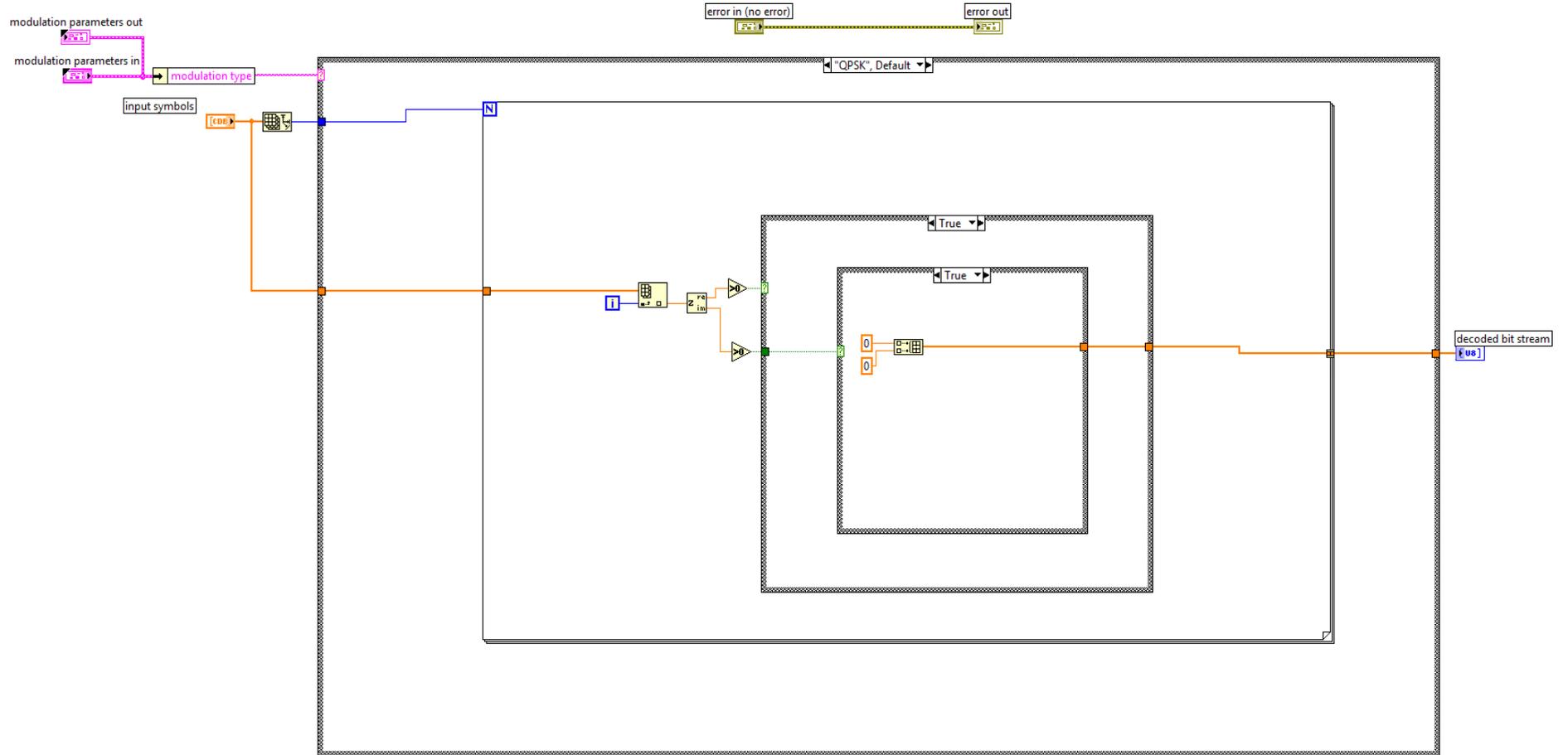


64QAM MODULADOR

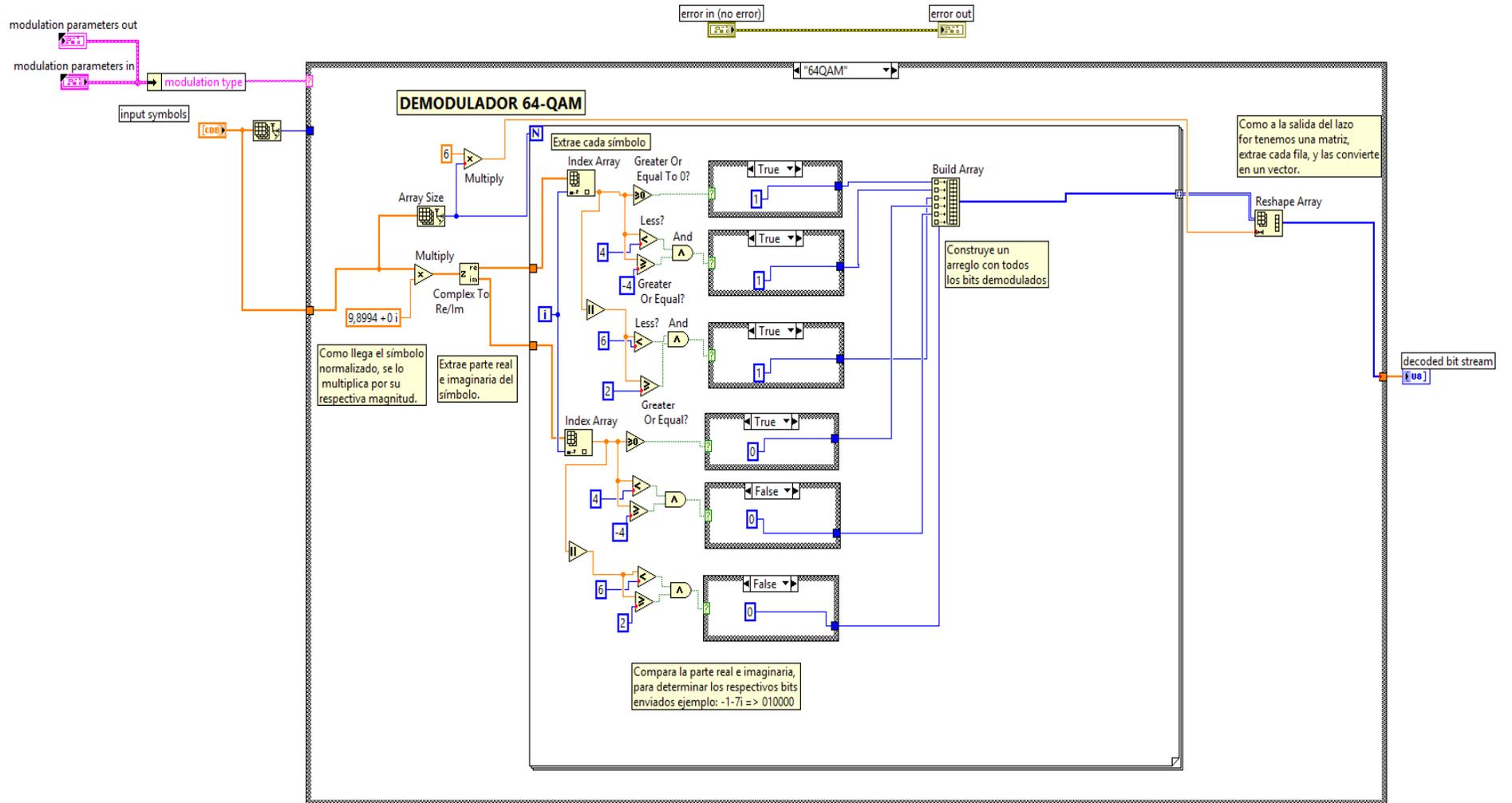


ANEXO 2

QPSK DEMODULADOR

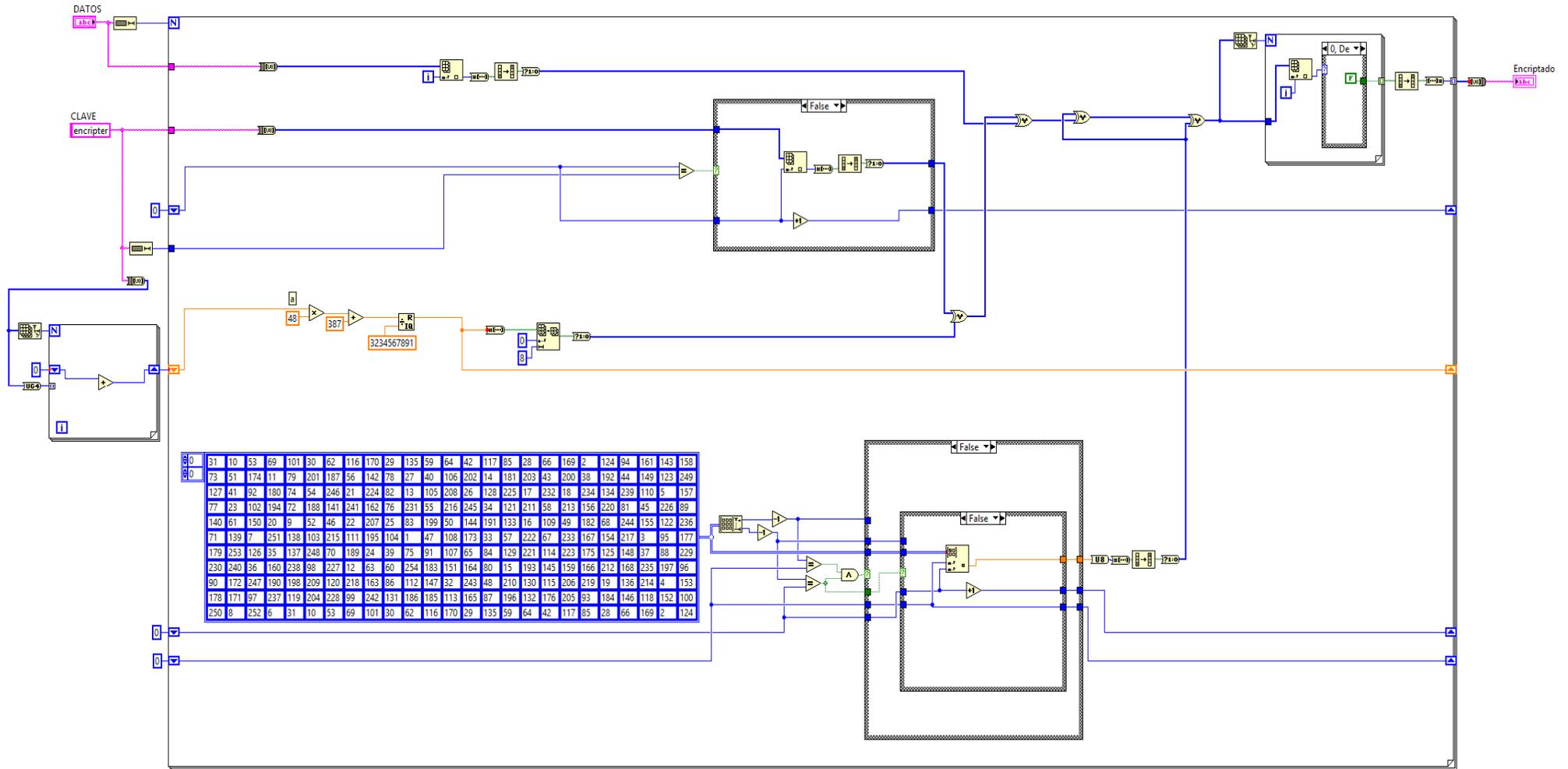


64QAM DEMODULADOR

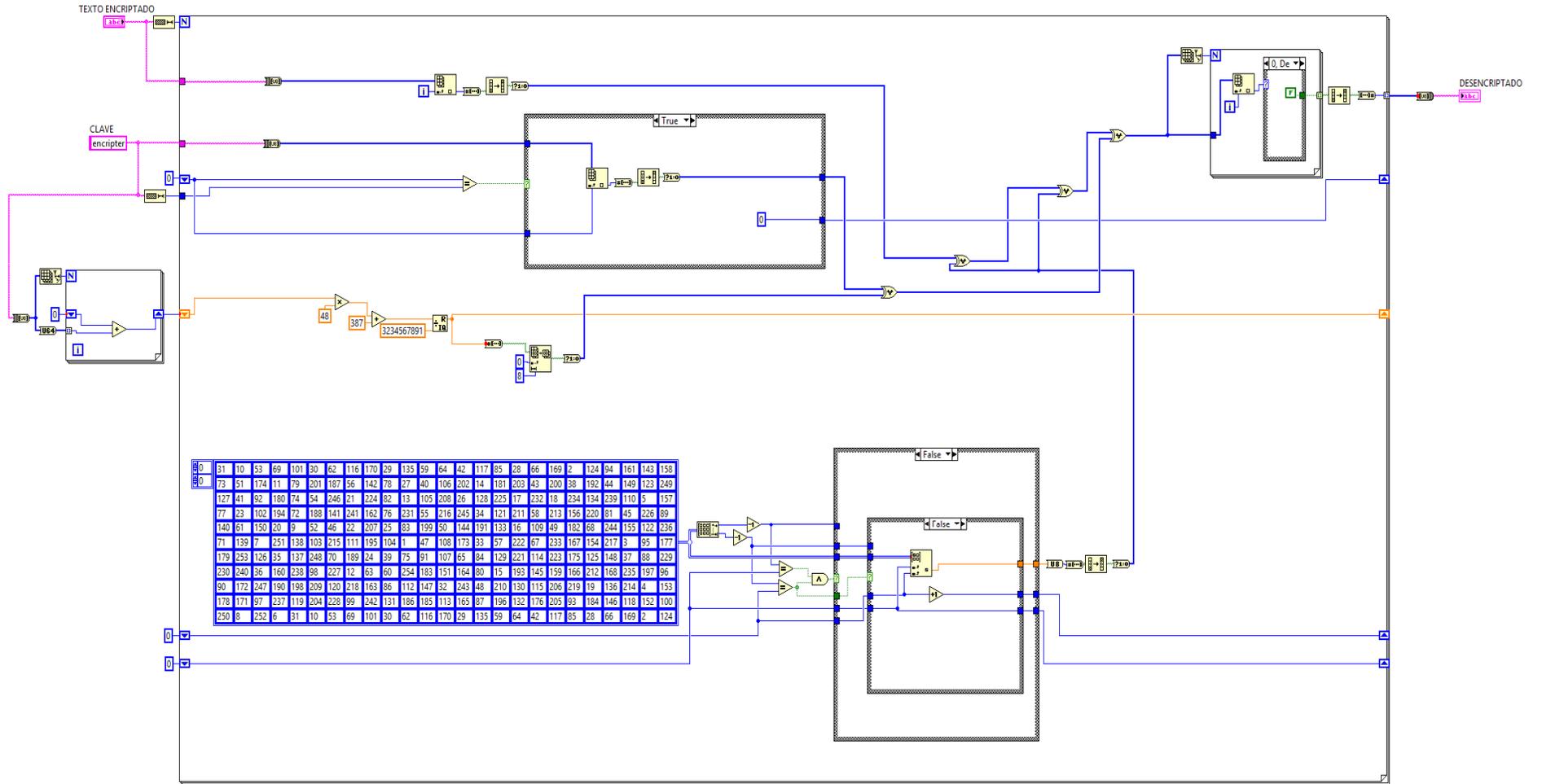


ANEXO 3

CIFRADOR

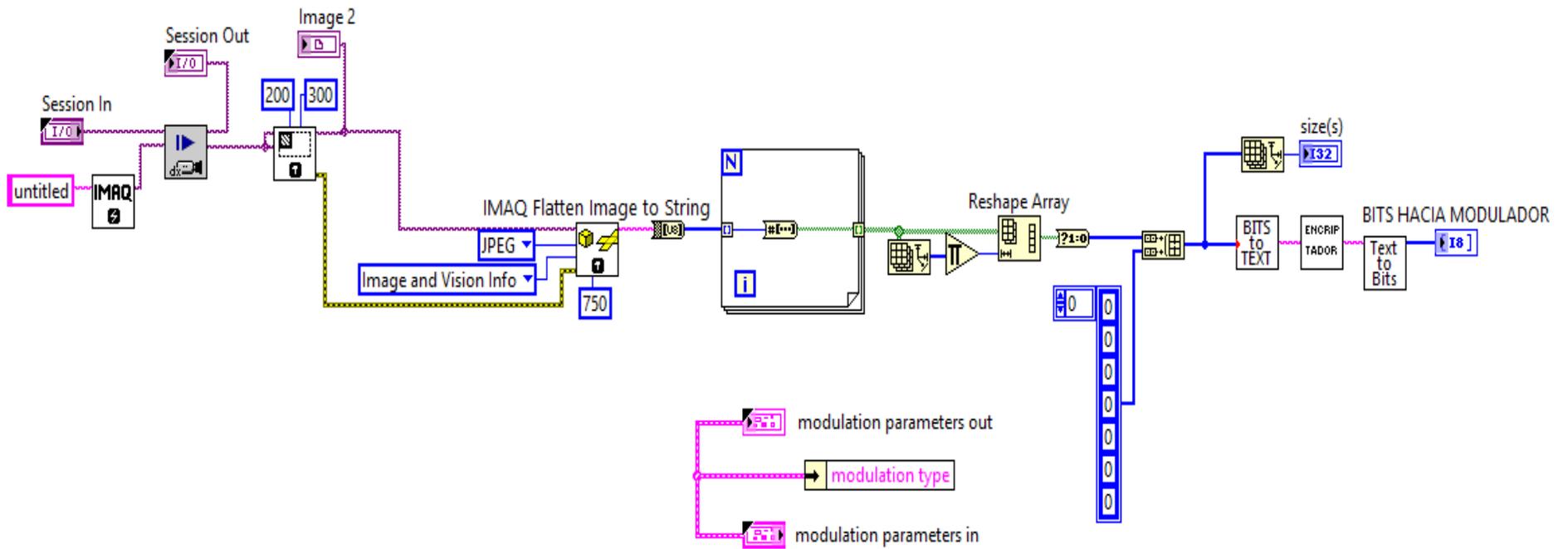


DESCIFRADOR

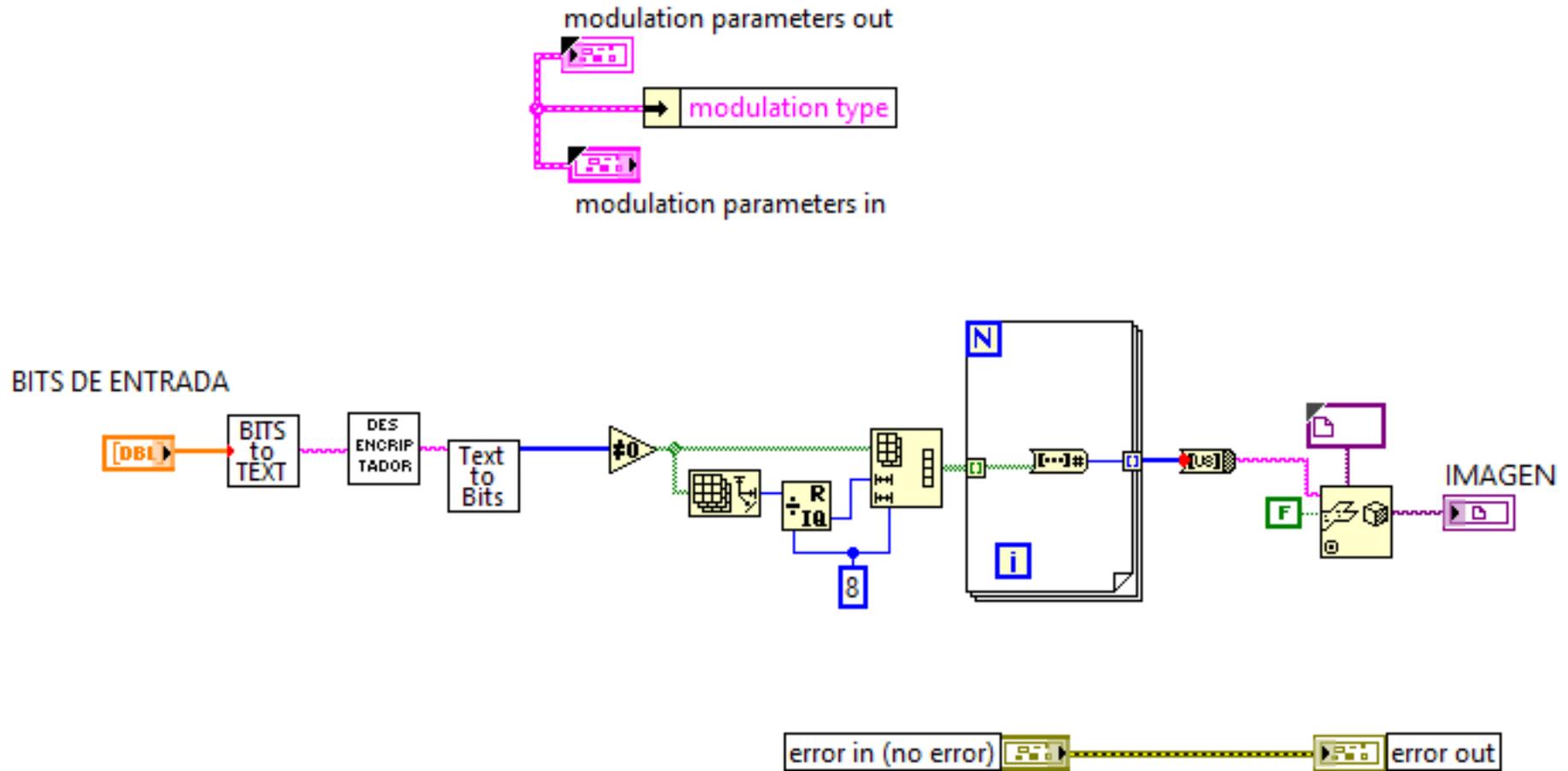


ANEXO 4

TRANSMISOR

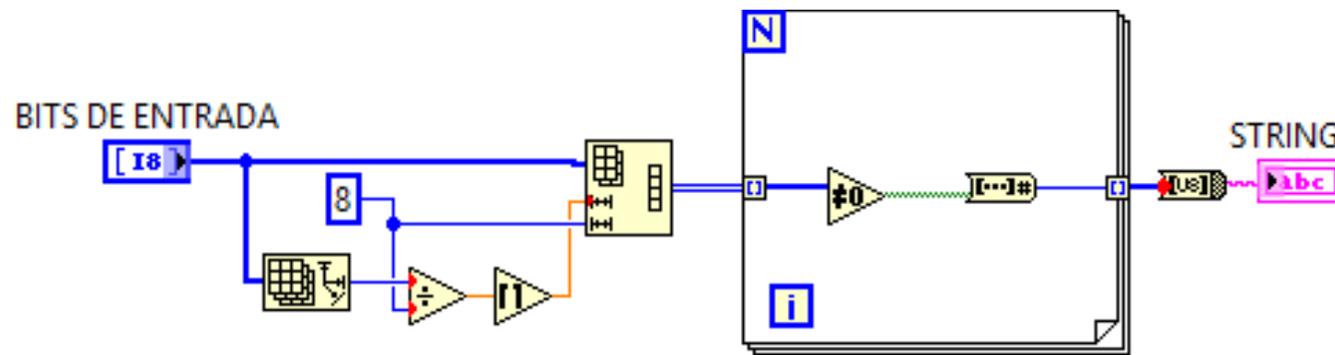


RECEPTOR

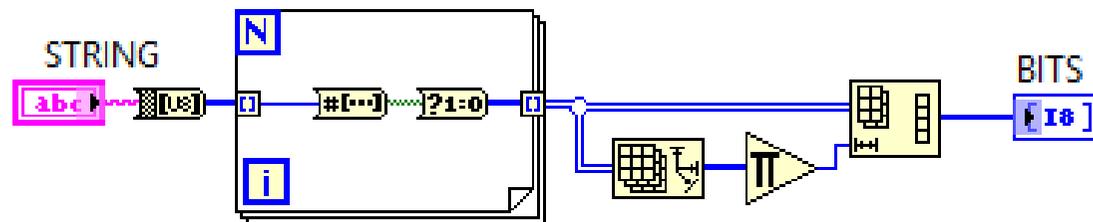


ANEXO 5

CONVERSION DE BITS A TEXTO



CONVERSION DE TEXTO A BITS



ANEXO 6

DATOS TOMADOS EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS