



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES MODULACIONES  
EN LA TRANSMISIÓN DE IMÁGENES A TRAVÉS DE CANALES  
INALÁMBRICOS EN UN SISTEMA DE UNA SOLA PORTADORA”**

**INFORME DE PROYECTO**

Previa a la obtención del Título de:

**MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

**Ing. Karen Julissa Cedeño Parra**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**AÑO 2016**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme obtener un logro más en mi vida, dándome la fortaleza necesaria y estando siempre junto a mí.

A toda la coordinación de la MET y de manera especial a la Ing. Maricela Freire por su valiosa colaboración durante el desarrollo y ejecución de este trabajo.

## DEDICATORIA

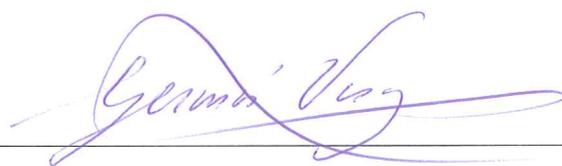
Dedico esta tesis a Dios por su amor infinito, a mi madre Carmen Parra que con su apoyo constante y amor incondicional ha sido el pilar fundamental para la culminación de este trabajo.

A mi padre, mis hermanos y toda mi familia por brindarme siempre su amor.

A mis compañeros y amigos quienes compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas en todo el periodo de la maestría, a todas aquellas personas que siempre estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Así mismo, este título se lo dedico de manera especial a la memoria del Ing. Christian David Robayo Zapata (+) mi novio eterno, quien también fue mi compañero durante largas horas de estudio y seguramente está muy feliz por mi logro obtenido.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Germán Vargas", written over a horizontal line.

Germán Vargas López, Ph.D.

**EVALUADOR**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "V. Sánchez Padilla", written over a horizontal line.

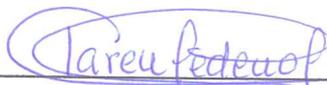
Vladimir Sánchez Padilla, M.Sc.

**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.



---

Karen Julissa Cedeño Parra

C.I.: 1311861007

## RESUMEN

El presente documento consiste en el diseño, simulación e implementación de un sistema digital de comunicación inalámbrica de una sola portadora para la transmisión de imágenes mediante diferentes modulaciones y bajo un modelo de encriptación específico. Posteriormente se realizará un análisis comparativo entre las diferentes modulaciones mediante un sistema implementado en LabVIEW e implementando en base a un USRP-2920, ambos propietarios de National Instruments.

La metodología empleada básicamente consiste en la transmisión y recepción de una imagen encriptada, en donde, los bits de información serán modulados y modulados mediante QPSK y 16 QAM, para poder comparar ambas transmisiones y analizar sus parámetros, tales como, tasa de error, niveles de interferencia, capacidad de canal, ruido, entre otros.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA .....	II
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	III
DECLARACIÓN EXPRESA .....	IV
RESUMEN .....	V
CONTENIDO.....	vi
ABREVIATURAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS .....	x
INTRODUCCIÓN .....	11
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
1.1. COMUNICACIONES INALÁMBRICAS .....	13
1.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.....	15
1.3. TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE IMÁGENES.....	16
1.4. MODULACIÓN DIGITAL PASABANDA.....	17
1.4.1. Modulación QPSK.....	17
1.4.2. Modulación 16 QAM .....	20
1.5. ENCRIPCIÓN .....	24
1.6. CANALES INALÁMBRICOS .....	25
<b>2. ANÁLISIS Y RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
2.1. Proceso de Modulación .....	27
2.1.1. Modulación QPSK.....	27
2.1.2. Modulación 16-QAM.....	29
2.2. Proceso de Encriptación .....	30
2.3. Proceso de Desencriptación .....	31
2.4. Transmisión y recepción de la imagen.....	31
2.5. Análisis de la respuesta en los canales multipaso.....	34

<b>CONCLUSIONES</b> .....	37
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	39

## ABREVIATURAS

<b>BER</b>	Bit Error Rate
<b>ISI</b>	Intersymbol interference
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase-Shift Keying
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation
<b>SNR</b>	Signal to Noise Ratio
<b>USRP</b>	Universal Software Radio Peripheral
<b>PPP</b>	Point-to-Point
<b>PMP</b>	Point-to-Multipoint
<b>ASK</b>	Amplitude Shift Keying

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema básico de un sistema de comunicación inalámbrica. . .	14
Figura 2. Diagrama de bloques del sistema. ....	15
Figura 3. Esquema de transmisión y recepción de imagen.....	16
Figura 4. Esquema de modulación QPSK. [5].....	18
Figura 5. Constelación de modulación QPSK. ....	20
Figura 6. Ejemplo de modulación QAM.....	21
Figura 7. Esquema del modulador 16-QAM. ....	21
Figura 8. Diagrama de constelación 16-QAM. ....	23
Figura 9. Esquema de encriptación simétrica. ....	25
Figura 10. VI del modulador QPSK. ....	28
Figura 11. VI del demodulador QPSK. ....	28
Figura 12. VI del modulador 16-QAM.....	29
Figura 13. VI del demodulador 16-QAM.....	30
Figura 14. VI del encriptador. ....	30
Figura 15. VI del desencriptador. ....	31
Figura 16. Esquema del panel frontal del transmisor. ....	32
Figura 17. Esquema del diagrama de bloques del transmisor. ....	33
Figura 18. Esquema del panel frontal del receptor.....	33
Figura 19. Esquema del diagrama de bloques del receptor.....	34
Figura 20. Gráfica del BER para QPSK. ....	35
Figura 21. Gráfica del BER para 16-QAM.....	36

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de la modulación 16 QAM. ....	22
--	----

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día los sistemas de comunicaciones inalámbricas presentan una gran posibilidad de interconexión entre un punto y otro punto (PPP) o un punto y varios puntos (PMP), en donde, a través de un medio de propagación la información viaja hasta su destino y es recibida en función de los parámetros del medio y que tan congestionado éste se encuentre. El medio de comunicación presenta niveles de interferencia, ruido y demás características que harán que el sistema inalámbrico, presente errores con respecto a la recepción, puesto que, aun cuando toda la trama sea enviada, lo que se reciba dependerá exclusivamente de las características del canal ya mencionadas, es por eso que se realizó pruebas con diferentes niveles de ruido para poder comprender de mejor manera la tasa de error que puede presentar el sistema de comunicación a implementar.

En la implementación de este proyecto se realizó la transmisión y recepción de una imagen aplicando una encriptación definida específica, en donde, los bits de información serán modulados y demodulados mediante QPSK y 16 QAM.

Una vez culminadas las etapas de diseño, implementación y simulación se procedieron al levantamiento de datos utilizando el software LabVIEW y el Hardware NI USRP-2920.

Se elaborarán las tablas y gráficas comparativas para los canales inalámbricos con separación de antenas de 1 metro y 2 metros en función del tipo de modulación utilizado, para poder observar la BER (Bit Error Rate) dependiendo del nivel de ruido que se le configure al sistema.

Dentro del análisis y simulación realizados, el sistema mostró que aun cuando los elementos de comunicación estaban relativamente cerca, al transmitir la información, al receptor llega el mensaje, pero también receptaba otras señales que se encontraban circundantes en el medio de comunicación. Para esto se realizaron pruebas de transmisión y recepción a diferentes niveles de ruido e interferencia tomando en cuenta las posibles señales adicionales que se pudiesen presentar en el medio en el que se elaboraron las pruebas. Es importante mencionar que todas estas características están siempre presentes en un medio de comunicación inalámbrico.

# 1. MARCO TEÓRICO

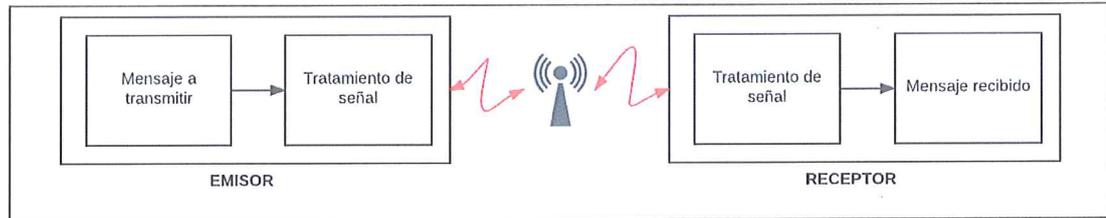
En esta sección se realizará una explicación concreta de todos los conceptos y teorías que fueron tomadas en cuenta para poder desarrollar tanto el diseño como la implementación del sistema de comunicación inalámbrico explicado en el presente documento. A continuación, se detallan los más relevantes.

## 1.1. COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

Al hablar de una comunicación inalámbrica, se hace referencia al término que define al conjunto de sistemas de comunicaciones y tecnologías asociadas que hacen uso del espectro radioeléctrico como medio de transporte para la información, es decir, el medio de comunicación. [1]

El desarrollo de las tecnologías y los servicios de transmisión de datos son el principal objetivo del área tecnológica, puesto que, dicha transmisión se la realiza a través de medios de comunicación inalámbricos. Además, este tipo de comunicación va más allá del uso del espectro, partiendo desde el procesamiento de la señal hasta la implementación de nuevos servicios inalámbricos. [2]

Para un sistema de comunicación inalámbrico básico, se sigue un esquema relativamente simple en donde se hace referencia a etapas específicas de transmisión, tal como se observa en la figura 1.

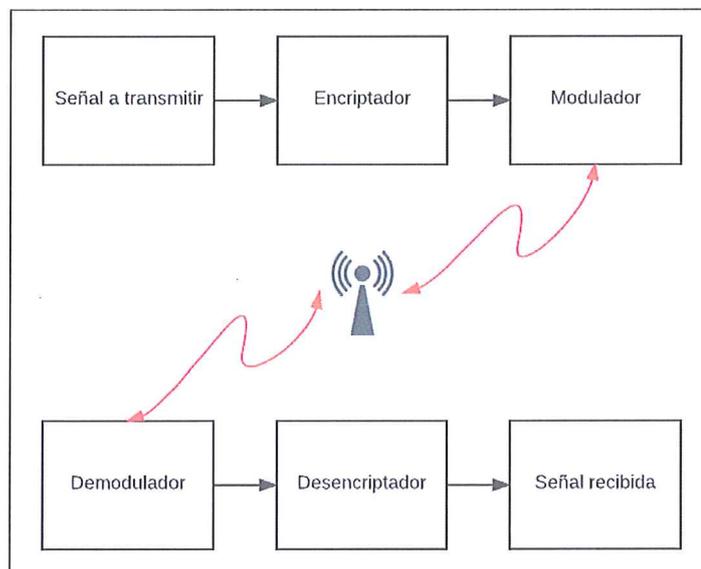


**Figura 1. Esquema básico de un sistema de comunicación inalámbrica.**

En la figura 1 se puede apreciar cómo funciona de forma general un esquema de transmisión inalámbrica. Del lado del receptor se cuenta con una fuente de emisión de información (Mensaje a transmitir), donde posteriormente se procederá a configurar dicho mensaje, principalmente, añadiendo parámetros de modulación (Tratamiento de señal), para poder ser encaminada por el medio inalámbrico. Del lado del receptor se tiene que demodular la señal recibida, extrayendo la información recibida (Tratamiento de señal), para finalmente tomar y verificar la información que llega a receptor.

## 1.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

A continuación, se describirá un diagrama de bloques general del sistema diseñado e implementado, con la finalidad de expresar de una manera más concreta cuales son las etapas y procesos que se siguieron para lograr la transmisión inalámbrica de imágenes en diferentes canales a una sola portadora, tal como se muestra en la figura 2.

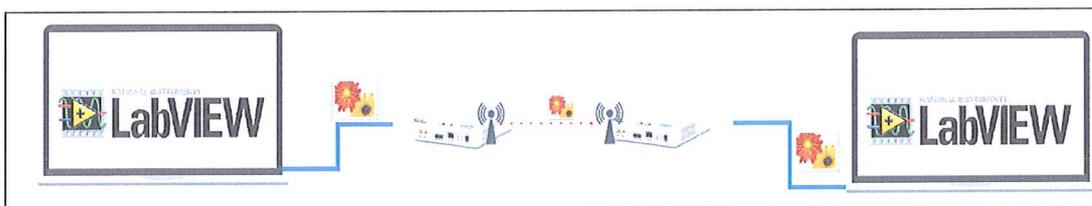


**Figura 2. Diagrama de bloques del sistema.**

En la figura 2 se expresa un esquema en el cual se muestra cada una de las etapas de funcionamiento del sistema. Una vez que la señal a transmitir está lista, se procede a encriptar esta información para posteriormente modularla de acuerdo al tipo de modulación a utilizar. Consecuentemente, se transmitirá inalámbricamente y será recibida para ser demodulada. Esta señal demodulada será desencriptada para finalmente ser leída por el receptor.

### 1.3. TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE IMÁGENES

Para la transmisión y recepción de imágenes, muy aparte de las configuraciones necesarias para el sistema diseñado, se hizo uso de un dispositivo capaz de permitir la comunicación inalámbrica de una manera sencilla y de interfazado compatible y amigable con la mayoría de usuarios (cualquiera que maneje el sistema implementado). A continuación, se mostrará un esquema de cómo se realizó la transmisión y recepción de la imagen enviada, modulada tanto en QPSK como en 16-QAM.



**Figura 3. Esquema de transmisión y recepción de imagen.**

En la figura 3 se muestra como en base a un programa de LabVIEW, se encripta y envía la imagen mediante el USRP 2920 (TX), el cual, de forma inalámbrica se comunica con el otro USRP 2920 (RX), para ser receptada en y poder ser visualizada en función de si existió o no error al recibirla.

## 1.4. MODULACIÓN DIGITAL PASABANDA

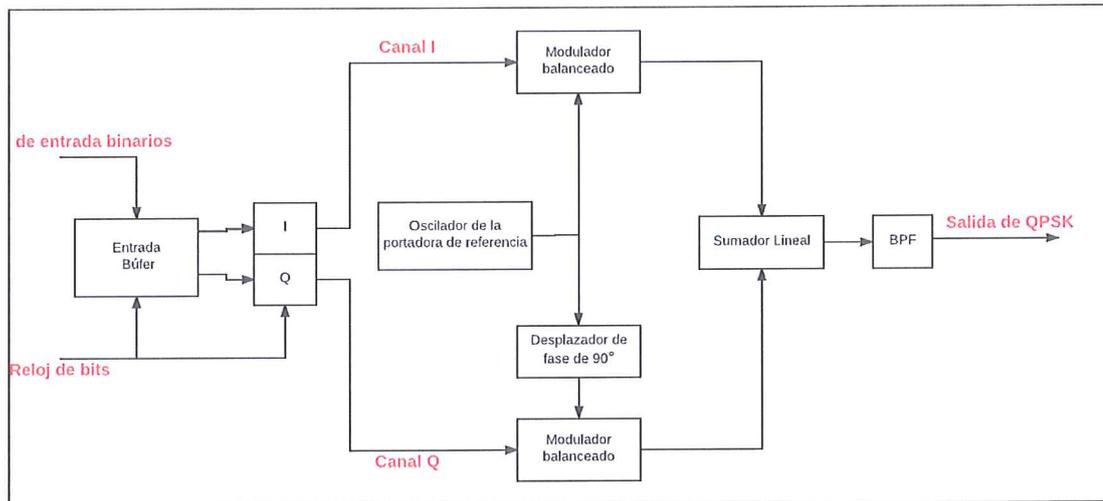
De forma general, la modulación engloba el conjunto de técnicas para poder transportar información sobre una onda portadora. Mediante el uso de estas técnicas se tiene un mejor aprovechamiento de canal de comunicación que se esté empleando, lo que, a su vez, posibilita el hecho de que se puede transmitir información de manera simultánea, protegiéndola de interferencia o ruido. La modulación consiste básicamente en hacer que algún parámetro de la portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, la cual es, la información que se desea transmitir. [3]

### 1.4.1. Modulación QPSK

La modulación por desplazamiento de fase (PSK) es una forma de modulación angular de amplitud constante. La señal de entrada es una señal digital binaria y son posibles un número limitado de fases de salida. [4]

En base a esto, la modulación QPSK o modulación por desplazamiento de fase cuaternaria o en cuadratura, en donde, son posibles cuatro fases de salida, para una única frecuencia de portadora. Entonces, dado que existen 4 fases de salida diferentes, tienen que existir 4 condiciones de entrada diferentes. Debido a que la entrada digital a un modulador de QPSK es una señal

binaria, para poder producir las 4 condiciones diferentes de entrada, se necesitan dos bits, esto debido a la relación  $M = 2^k$ . [5]



**Figura 4. Esquema de modulación QPSK. [5]**

En la figura 4 se muestra el funcionamiento básico de un modulador QPSK, en donde se evidencia claramente las componentes para ambos canales, lo que hace que se desfasen y como resultado final se obtenga la señal QPSK en el dominio del tiempo.

La señal modulada en QPSK, se representa mediante el siguiente conjunto de ecuaciones. [6]

$$S_m(t) = [g(t)\text{Cos}(\theta_m)]\text{Cos}(\omega_c t) - [g(t)\text{Sen}(\theta_m)]\text{Sen}(\omega_c t) \quad (1)$$

Entonces conociendo que:

$$E_{S_m} = \frac{1}{2} E_g \quad (2)$$

Entonces a sustituir (2) en (1), se tiene la siguiente representación vectorial de la señal QPSK:

$$\vec{S}_m(t) = \left[ \sqrt{\frac{E_g}{2}} \cdot \cos(\theta_m) ; \sqrt{\frac{E_g}{2}} \cdot \text{sen}(\theta_m) \right] \quad (3)$$

Finalmente, para determinar cada una de las fases de la modulación a realizar, se tiene en cuenta la siguiente expresión:

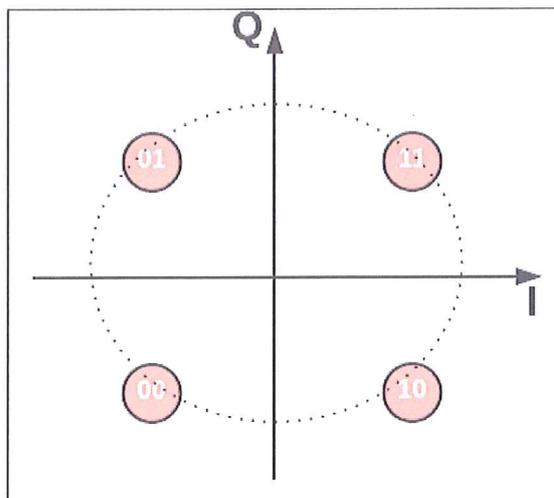
$$\theta_m = \frac{2\pi(m-1)}{M} \quad (4)$$

En donde:

M= Orden de a modulación (número de símbolos)

m=1, 2, ..., M

Una vez definidos estos parámetros, se puede construir la constelación respectiva, en donde, entre otras cosas se observará los símbolos generados en QPSK, así como el código que recibe cada símbolo al ser modulados digitalmente por desplazamiento de fase. [6]



**Figura 5. Constelación de modulación QPSK.**

En la figura 5 se muestra la constelación de QPSK construida en base a la ecuación 4, en donde se evidencia la posición equiprobable de los símbolos de la modulación con una separación de  $45^\circ$  entre ellos.

#### 1.4.2. Modulación 16 QAM

De manera general, la modulación QAM (Modulación de amplitud en cuadratura) consiste en modular en ASK de forma independiente, dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que se encuentran entre sí, desfasadas  $90^\circ$ . En base a esto, la señal QAM es el resultado de sumar las dos señales ASK. Por otra parte, estas pueden operar en el mismo canal sin ser afectadas por la interferencia mutua debido a que sus

portadoras se encuentran desfasadas, obteniendo así, el nombre de cuadratura. [7]

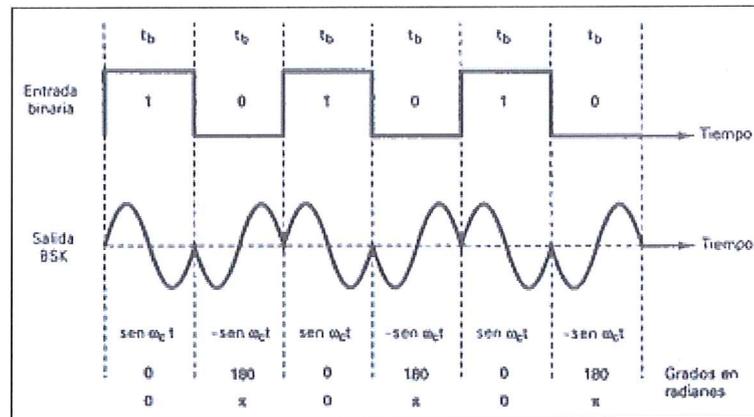


Figura 6. Ejemplo de modulación QAM.

Una vez definidas estas características, se procede a explicar la modulación 16-QAM, la cual implica que, cada flujo de datos se divide en grupos de 4 bits, y estos a su vez en subgrupos de 2 bits, por ende, se codificará cada bit en 4 estados o niveles de amplitud de las portadoras correspondientes. [8]

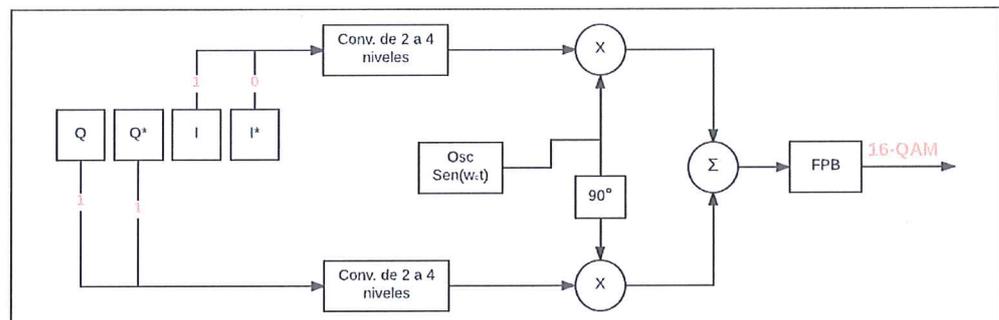


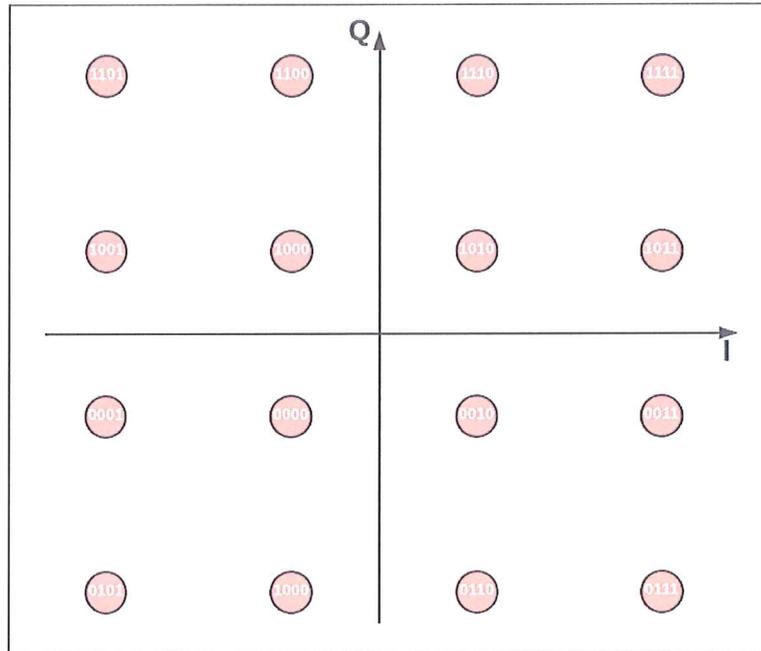
Figura 7. Esquema del modulador 16-QAM.

En la figura 7 se observa como los datos binarios de entrada se dividen en 4 canales: I, I\*, Q y Q\*. Se sincronizan 4 bits de entrada en serie en el divisor de bits, entonces, salen en forma simultánea por los canales ya mencionados, ya que, los bits de los canales I y Q determinan las siguientes características representadas en la tabla 1.

Polaridad	Magnitud a partir de I* y Q*	Señales generadas
"1" → +V	0,821 V → "1"	0,821 V ó -0,821 V
"0" → -V	0,22 V → "0"	0,22 V ó -0,22 V

**Tabla 1. Características de la modulación 16 QAM.**

Estos valores pasan al modulador de producto, entonces, cada modulador genera 4 posibles salidas en función del seno o coseno según se del caso. Posteriormente, el sumador lineal combina las salidas de los moduladores de producto de los canales, tanto del canal I como de canal Q, produciendo así, las 16 combinaciones para la modulación 16-QAM. [9]



**Figura 8. Diagrama de constelación 16-QAM.**

La representación de dicha constelación parte de un conjunto de ecuaciones descritas a continuación.

$$\vec{S}_m = \left[ \sqrt{\frac{E_g}{2}} \cdot A_{mc} ; \sqrt{\frac{E_g}{2}} \cdot A_{ms} \right] \quad (1)$$

$$\vec{S}_m = \left[ \sqrt{\frac{E_g}{2}} \cdot V_m \cos(\theta_m) ; \sqrt{\frac{E_g}{2}} \cdot V_m \text{Sen}(\theta_m) \right] \quad (2)$$

Sabiendo que:

$$V_m = \sqrt{A_{mc}^2 + A_{ms}^2} \quad (3)$$

La ecuación 1 representa de manera rectangular la señal QAM del receptor, mientras que en la ecuación 2 se tiene una

representación polar del sistema. Finalmente, se considera el ancho de banda mínimo requerido para que una señal 16-QAM no tenga inconvenientes, esta se obtiene a través de la ecuación 4. [9]

$$f_{N,16-QAM} = B = \frac{f_b}{4} \quad (4)$$

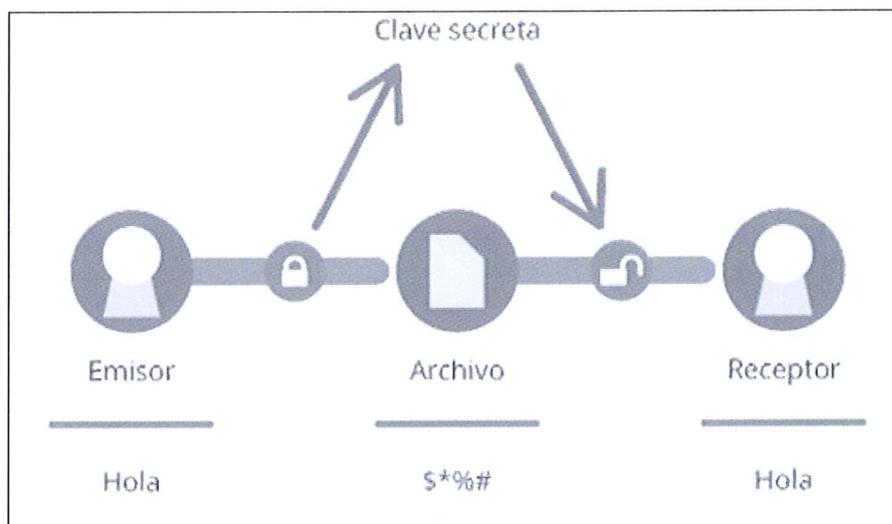
### 1.5. ENCRIPCIÓN

El proceso de encriptación abarca todos los procesos mediante los cuales se transforma un determinado mensaje en un código de forma tal que a partir de este, solo algunas personas o sistemas sean capaces de recuperar lo que fue oculto, es decir, el mensaje original. [10]

Dentro de los usos más comunes para este proceso se encuentran el almacenamiento y transmisión de información sensible, es decir, contraseñas, números de identificación legal, números de tarjetas de crédito, reportes contables y conversaciones privadas, entre otros. Todo esto nace por la necesidad que tienen los sistemas de comunicación de asegurarla para que viaje de manera segura, manteniendo la integridad, autenticidad y confidencialidad de la misma. [11]

Por especificaciones del proyecto se realizó una forma de encriptación libre, en función de esto se seleccionó la encriptación simétrica. Este tipo de codificación consiste en ingresar una clave en el transmisor y receptor, en donde se hace una conversión de caracteres a binario para poder insertarlos

al inicio de la trama. Posteriormente estos serán comparados con el mensaje que se receipta, entonces, si la clave es incorrecta será imposible que el receptor descrypte el mensaje. [11]



**Figura 9. Esquema de encriptación simétrica.**

En la figura 9 se muestra como el emisor y el receptor deben conocer la clave secreta con la cual se encripta el mensaje, puesto que, si no es así, no se podrá conocer que fue enviado.

## 1.6. CANALES INALÁMBRICOS

Los canales inalámbricos en los sistemas de comunicación, son aquellos espacios de frecuencia por donde se distribuye a información de acuerdo al servicio que dicha frecuencia represente. Normalmente, cada canal tiene un ancho de banda específico que ayuda a que entre canales continuos o adyacentes no exista interferencia tanto cocanal como de canal adyacente respectivamente. [12]

Una vez mencionado esto, se hará referencia a los canales multipaso en modulaciones digitales, los cuales, presentan un fenómeno de transmisión por varios caminos, lo que implica entre otras cosas, problemas de interferencia para la señal a enviar. Existen muchos modelos que han sido propuestos para poder explicar el comportamiento de los canales multipaso y los efectos que estos provocan, siendo el más utilizado, el modelo de desvanecimiento de Rayleigh. Los parámetros que se utilizan para poder comparar las diferencias entre los canales multipaso se basan en dos características, la dispersión del tiempo y la dispersión de la frecuencia. [13]

## 2. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En esta sección se analizarán los resultados obtenidos en base a la transmisión y recepción de una imagen por los canales real 1 y real 2 (canales multipaso). Por otra parte, se detallarán cuáles fueron los bloques de LabVIEW que se utilizaron, tanto los existentes como los que tuvieron que ser programados o customizados, con la finalidad de poder realizar las transmisiones encriptadas y posteriormente moduladas en QPSK y 16-QAM.

En orden para tener una descripción organizada del procedimiento seguido, se han clasificado los resultados en tres etapas, mostradas a continuación.

### 2.1. Proceso de Modulación

Como ya se mencionó anteriormente, se realizaron pruebas con dos métodos de modulación, los mismos que fueron realizados en un diagrama de bloques en LabVIEW para que la fuente de información (imagen) sea enviada mediante QPSK o 16-QAM según sea el caso.

#### 2.1.1. Modulación QPSK

Para la modulación QPSK se realizó un diagrama de bloques en donde, a partir de la fuente de información, se la separa en sus respectivas componentes (I y Q) para poder tener la representación requerida y pasarla luego, por el proceso de encriptación.

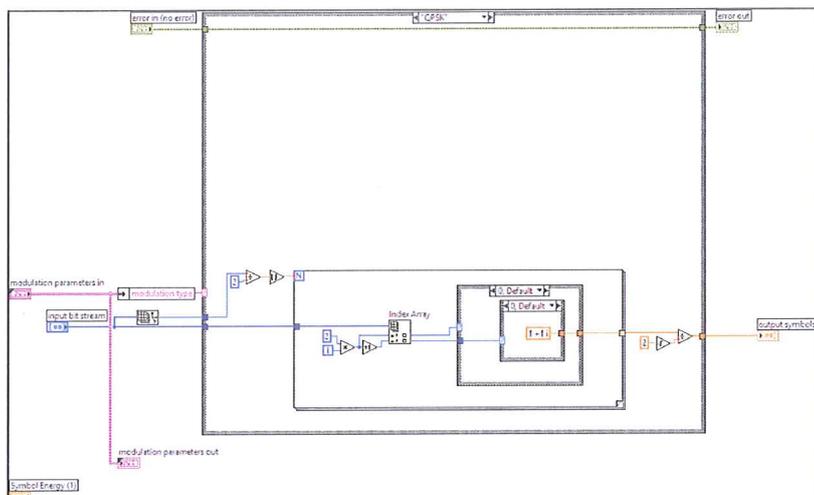


Figura 10. VI del modulador QPSK.

Del lado del receptor, para PQSK, se necesitó un VI capaz de demodular la señal recibida, por ende, se construyó un demodulador QPSK.

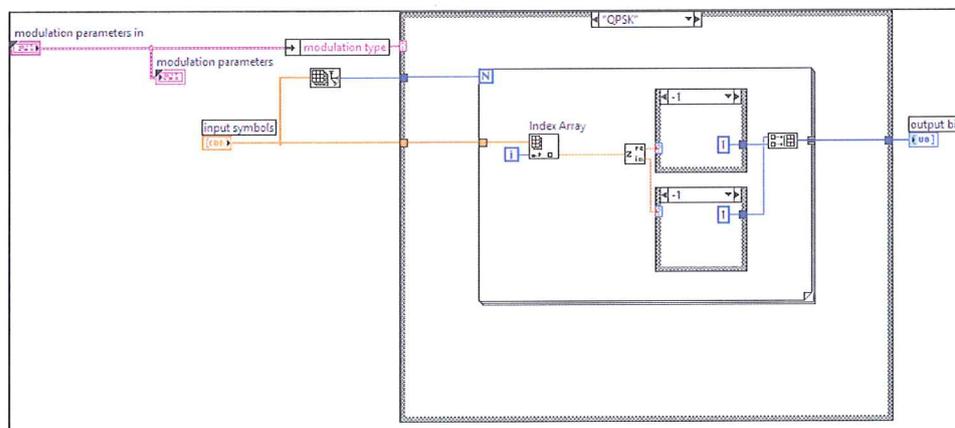


Figura 11. VI del demodulador QPSK.

### 2.1.2. Modulación 16-QAM

Como ya se mencionó en una modulación 16-QAM se necesitarán producir los 16 niveles que representan los 16 símbolos para transmitir, proceso que se lo realizó mediante un manejo de 4 bits de entrada que producían a su vez las 16 combinaciones necesarias.

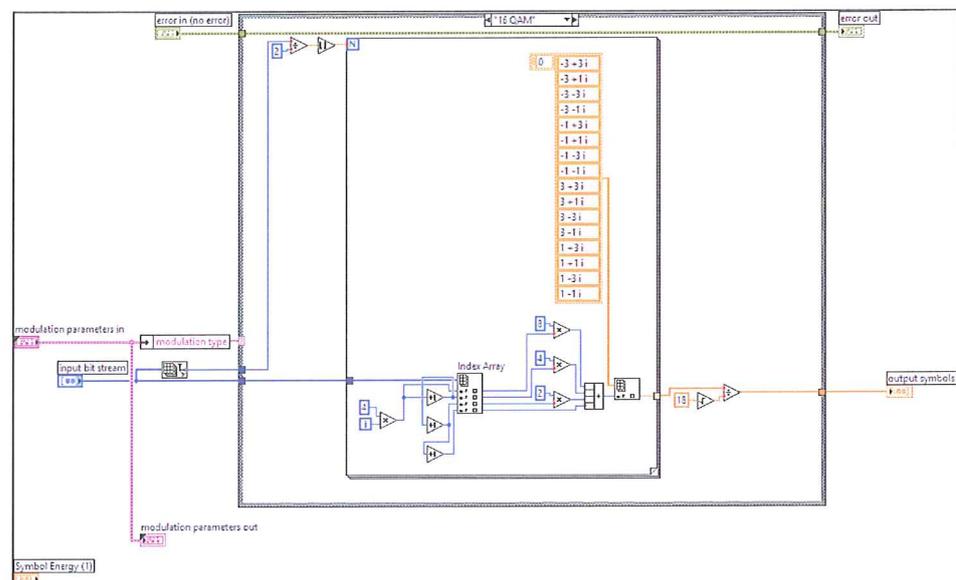


Figura 12. VI del modulador 16-QAM.

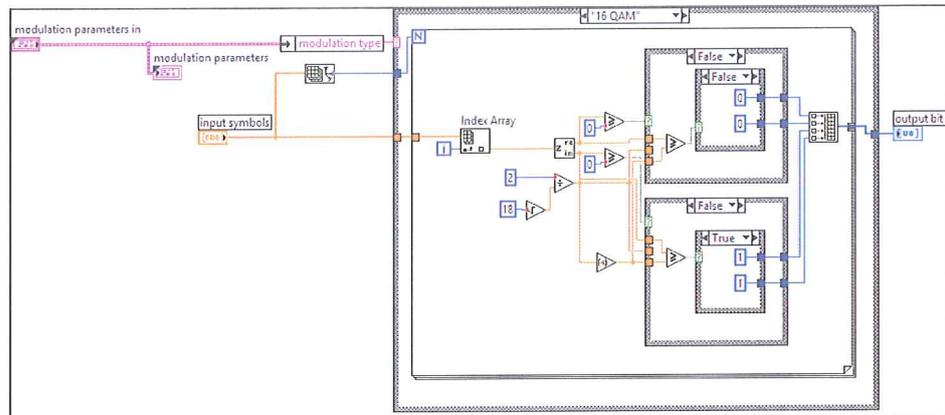


Figura 13. VI del demodulador 16-QAM.

## 2.2. Proceso de Encriptación

Para el proceso de encriptación se realizó un desplazamiento circular (cíclico) de los bits para poder cifrar la información (trama) a enviar. Entonces partiendo de la palabra clave a transmitir (imagen), se crea un arreglo de los bits para en base al desplazamiento crear un nuevo arreglo en donde ya se encuentran cifrados (Bits encriptados). En la figura 14 se observa este procedimiento.

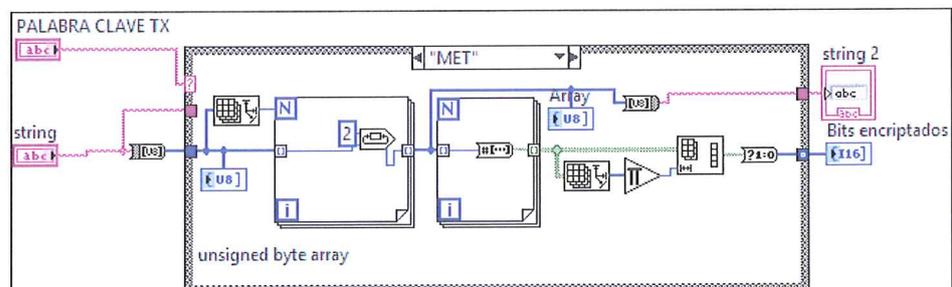


Figura 14. VI del encriptador.

### 2.3. Proceso de Descriptación

Para el proceso de descriptación se utiliza la misma mecánica que en la encriptación solo que de manera inversa, es decir, el sentido del desplazamiento es contrario al que se siguió para encriptar y de esta forma se obtiene la palabra clave (imagen) que se envió. En la figura 15 se puede observar este procedimiento.

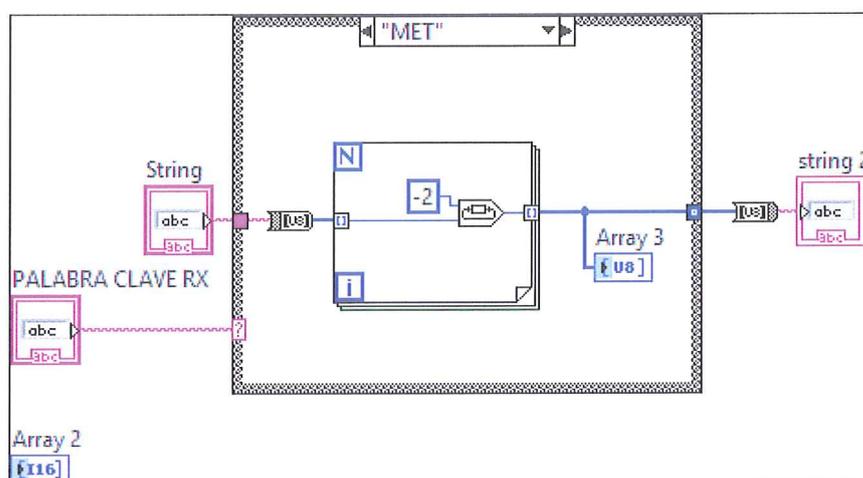


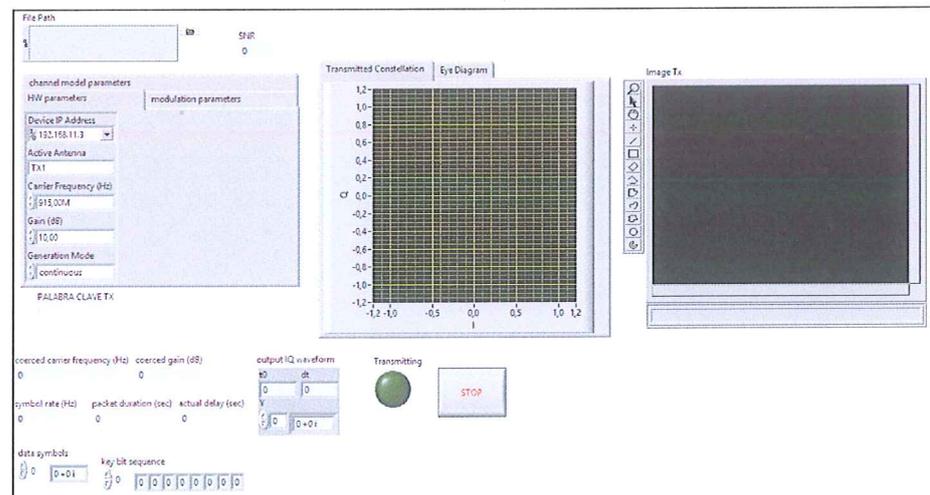
Figura 15. VI del descriptador.

### 2.4. Transmisión y recepción de la imagen

En esta etapa se analizará cómo se realizó la recepción de la información para las modulaciones trabajadas y como efectos como el multipaso, interferencia, ruido, afectaron este proceso.

Cuando se preparaba la imagen para enviar se configuraba el nivel de ruido a trabajar, así como también, el factor de sobremuestreo,

la secuencia de entrenamiento, la longitud y método del ecualizador, entre otros.



**Figura 16. Esquema del panel frontal del transmisor.**

En la figura 16, se observa el panel frontal del transmisor, donde se configuran los parámetros más importantes para la transmisión y en donde también se podrá observar el perfil de retraso de potencia y la tasa de símbolos.

En la figura 16, se muestra el diagrama de bloques construido para poder realizar la transmisión de acuerdo a lo que se configure previamente.

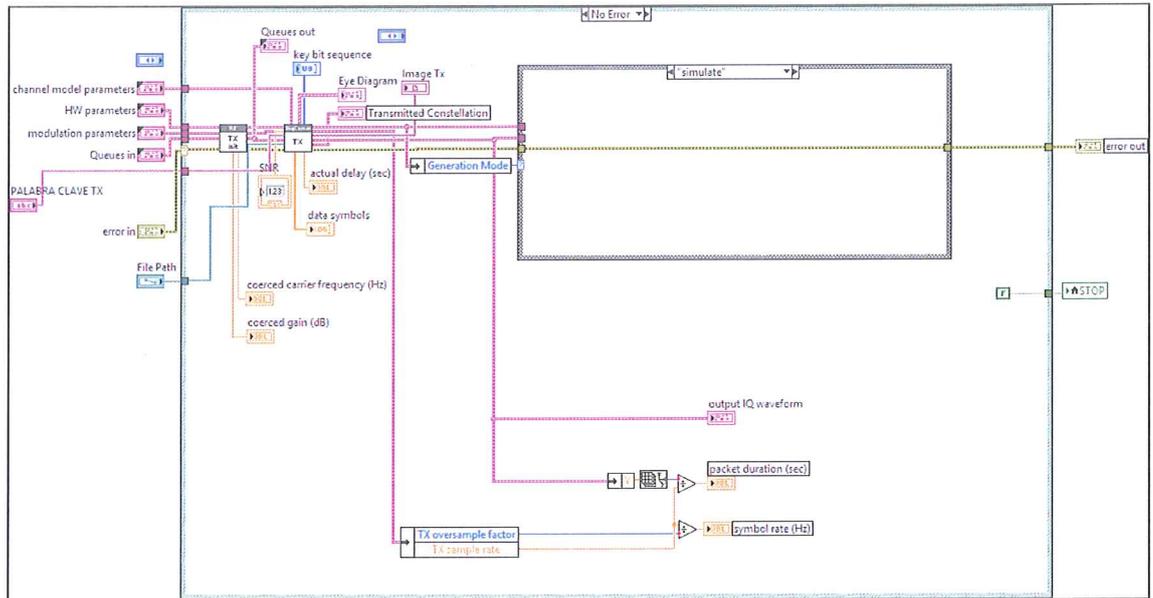


Figura 17. Esquema del diagrama de bloques del transmisor.

Posteriormente se muestran en las figuras 17 y 18 las configuraciones en el VI del receptor para poder capturar la trama entrante, demodularla, descriptarla y poder tener la imagen que fue enviada al inicio.

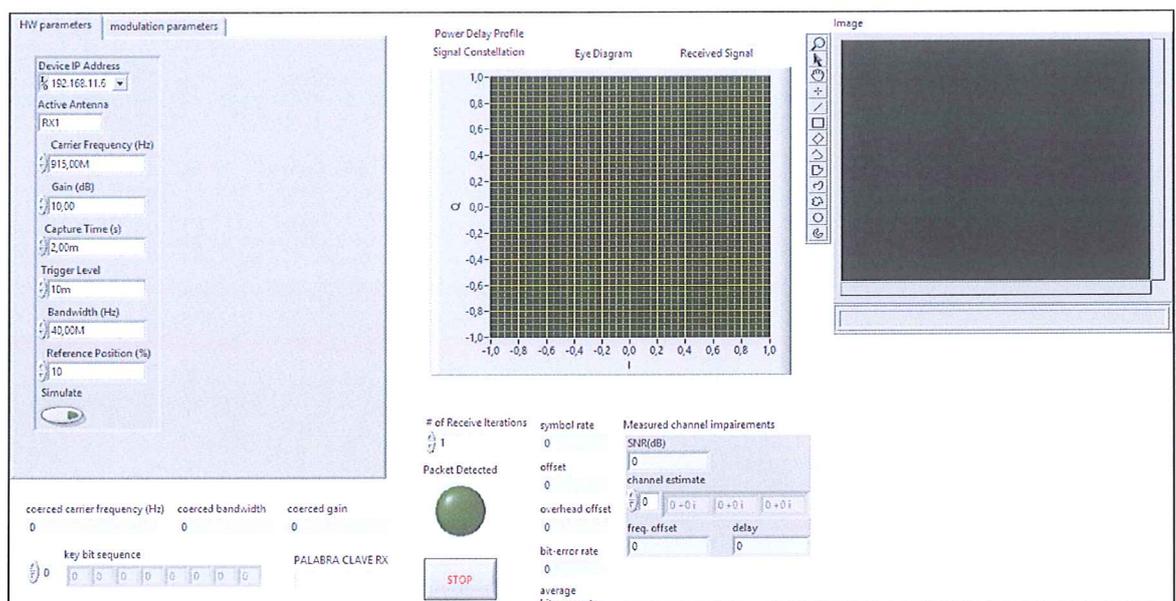
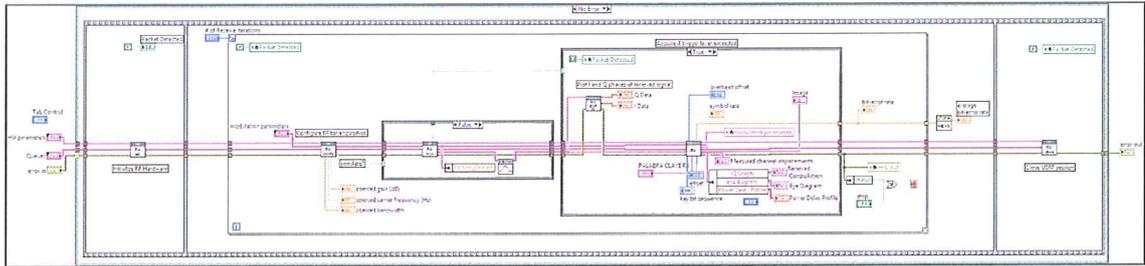


Figura 18. Esquema del panel frontal del receptor.



**Figura 19. Esquema del diagrama de bloques del receptor.**

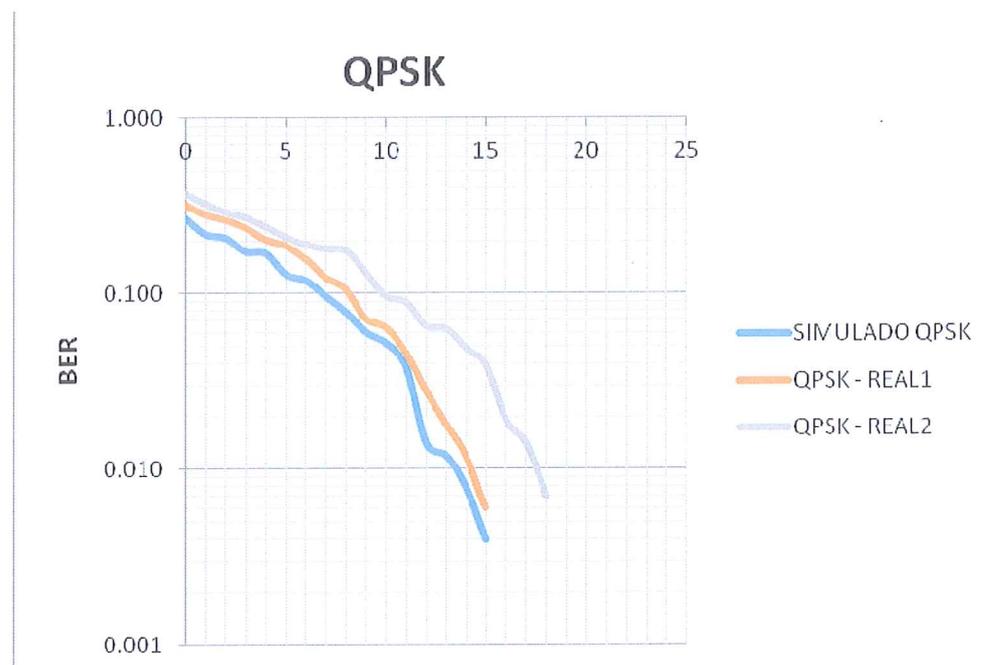
En las figuras 18 y 19 se aprecia cuáles fueron las funciones empleadas y los sub VI's utilizados para poder crear el diagrama de bloques del receptor y por consecuencia su respectivo panel frontal.

## 2.5. Análisis de la respuesta en los canales multipaso

Haciendo uso de los diferentes niveles de potencia de ruido se estudió el comportamiento de a tasa de error de bit (BER) para los canales REAL1 y REAL2, tanto para QPSK como 16-QAM. Dichas curvas serán representadas en el mismo grafico para poder contrastar el efecto que se obtiene al utilizar diferentes modulaciones.

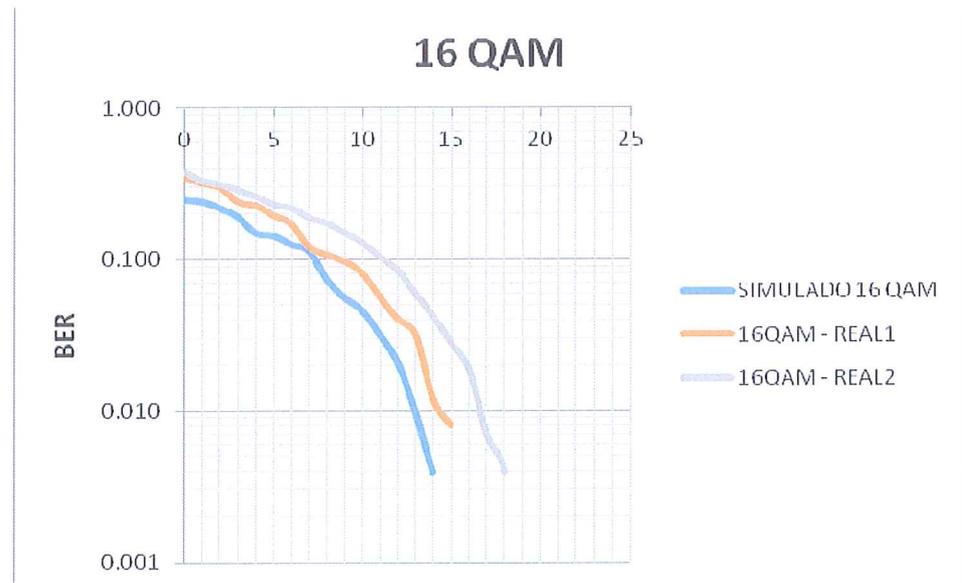
En la figura 19 se muestra la tasa de error de bit para ambos canales y como estos difieren con respecto al BER de la simulación. Se debe recordar que la transmisión y recepción, es decir, el enlace creado en los canales inalámbricos se realizó con separación de antenas de 1 metro y 2 metros.

El sistema implementado de forma ideal debería tener el desempeño del simulado, pero en los experimentos se pudo apreciar que el canal REAL1 tiene un mejor desempeño que el canal REAL2 porque produce una menor tasa de error.



**Figura 20. Gráfica del BER para QPSK.**

Analizando la figura 20, se tiene que aun cuando el desempeño esperado es el del simulado, de manera análoga al sistema QPSK, el desempeño del canal REAL1 mostró ser el mejor frente al presentado en el canal REAL2, debido principalmente a que la tasa de error de bit es menor en el canal REAL1.



**Figura 21. Gráfica del BER para 16-QAM.**

En la figura 21, de igual forma, se muestra la BER de la transmisión haciendo uso de la modulación 16-QAM, en donde se observa una clara diferencia con respecto a QPSK y esto debido a que al tener la capacidad de transmitir más símbolos.

## CONCLUSIONES

- Se logró transmitir imágenes de una manera adecuada utilizando la librería VISION and MOTION de LabVIEW, lo cual permitió manejar parámetros como la resolución, compresión y tamaño de la imagen con la finalidad de disminuir el tiempo de procesamiento o duración del paquete a ser transmitido.
- En los canales inalámbricos a medida que se aumenta la distancia entre la antena del transmisor y receptor se obtiene un mayor BER, ya que al tener una mayor separación se incrementa el número de trayectorias que sigue la señal original hasta llegar al receptor, además dicha señal sufre mayor atenuación y retrasos debido a las reflexiones ocasionadas por los obstáculos que encuentra en su recorrido.
- Se obtuvo un mejor desempeño del sistema utilizando modulación QPSK, ya que este tipo de modulación es más robusta en un canal multitrayectoria por el hecho de tener una mayor distancia euclidiana entre los símbolos, sin embargo, es importante recalcar que la modulación 16 QAM nos permitió transmitir a una mayor velocidad pero es más susceptible a las interferencias producidas por el canal.
- Utilizar procesos de encriptación previo al envío de información a través de un canal de comunicación significó una gran ayuda en lo que

respecta a la protección de la información durante el enlace, ya que de esta manera la trama a transmitir se codifica y si es interceptada, ésta no será descubierta o violentada tan fácilmente

- Es importante seleccionar los parámetros adecuados o utilizar técnicas robustas de sincronización, ecualización y codificación que nos permita corregir los efectos del canal y lograr transmitir la imagen a una mayor velocidad y sin distorsión.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Sheikh, *Wireless Communications*, 1st ed. Boston, MA: Springer US, 2004.
- [2] F. Cavalcanti and S. Andersson, *Optimizing wireless communication systems*, 1st ed. Dordrecht: Springer, 2009.
- [3] D. Guimarães, *Digital transmission*, 1st ed. Heidelberg: Springer, 2009, pp. 265-359.
- [4] B. Sklar, *Digital communications*, 1st ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1988.
- [5] B. Lathi and Z. Ding, *Modern digital and analog communication systems*, 2nd Ed. New York: Oxford University Press, 1998.
- [6] J. Proakis, *Digital communications*, 1st ed. Boston: McGraw-Hill, 2001, pp. 269-273.
- [7] J. Proakis and D. Manolakis, *Digital signal processing*, 1st ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, 2007.
- [8] M. Fitz and J. Seymour, "On the bit error probability of QAM modulation", *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. 1, no. 2, pp. 131-139, 1994.
- [9] E. Guevara, "Modulación Digital MULTI-bit: Transmisión Digital", UNEXPO, 2012.
- [10] M. Borda, *Fundamentals in information theory and coding*, 1st ed. Berlin: Springer-Verlag, 2011, pp. 121-208.

- [11] E. Fujisaki and T. Okamoto, "Secure Integration of Asymmetric and Symmetric Encryption Schemes", *Journal of Cryptology*, vol. 26, no. 1, pp. 80-101, 2011.
- [12] B. Sklar, "Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems. I. Characterization", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 9, pp. 136-146, 1997.
- [13] A. Mitra, *Lecture Notes of Mobile Communication*, 1st ed. Guwahati: Abhijit Mitra, 2009, pp. 75-89.