



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO PARA LA  
TRANSMISIÓN DE AUDIO CON MODULACIÓN QPSK y  $\pi/4$   
QPSK USANDO CIFRADO SIMÉTRICO”**

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

Previa a la obtención del Título de:

**MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

**Pablo Roberto Silva Jaramillo**

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

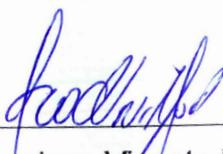
## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de manera especial y sincera a todos mis maestros por brindarnos su tiempo y conocimientos, al Dr. Boris Ramos por su trabajo a lo largo del programa y a la Ing. Maricela Freire por su guía y apoyo en este proceso.

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro en primer lugar a Dios por haberme permitido terminar este proyecto, a mis padres, mi hermanita, mi sobrino que siempre estuvieron para alentarme cuando los necesitaba y a la Universidad por apoyarnos hasta el final para lograr este objetivo.

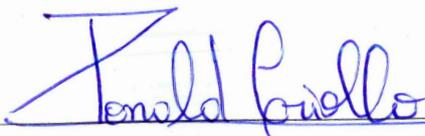
**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**



---

Francisco Vicente Novillo Parales

**EVALUADOR**



---

Ronald Raúl Criollo Bonilla

**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.



---

Pablo Roberto Silva Jaramillo

C.I.: 1803570520

## RESUMEN

Este artículo consiste en la implementación y diseño de un sistema de comunicación inalámbrico de una sola portadora para la transmisión y recepción de audio utilizando compresión y cifrado simétrica, la información será modulada en QPSK y  $\pi/4$  QPSK, además se transmitirá a través de canales inalámbricos con separación de antena de 1 y 2 metros.

El objetivo de este proyecto es evaluar bajo que parámetros se comporta mejor el sistema para la transmisión y recepción de audio sin distorsión.

El análisis se basa en métricas obtenidas del comportamiento de las gráficas BER vs. SNR y  $R_b$  vs. SNR variando los parámetros de modulación y canal, finalmente los datos obtenidos utilizando el hardware NI USRP serán comparados con los datos teóricos.

# 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> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE ECUACIONES Y TABLAS</b> .....	ix
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>1. MARCO TEORICO</b> .....	11
1.1. Modelado del Sistema .....	11
1.1.1. La Fuente.....	12
1.1.2. La Codificación .....	12
1.1.3. El Cifrado .....	15
1.1.4. La Modulación.....	16
<b>2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA</b> .....	17
2.1. Especificaciones del Diseño del Sistema .....	17
2.2. Modelado del Escenario .....	18
2.3. Detalles de Implementación .....	18
2.3.1. Procesamiento de Audio.....	18
2.3.2. Proceso de Cifrado y Descifrado .....	20
<b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	21
<b>CONCLUSIONES</b> .....	26
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	27
<b>ANEXOS</b> .....	29

## ABREVIATURAS

<b>BER</b>	Bit Error Rate
<b>DCT</b>	Transformada del Coseno Discreto
<b>dB</b>	Decibelios
<b>E</b>	Energía de Símbolo
<b>ISI</b>	Interferencia Intersimbólica
<b>IDCT</b>	Transformada Inversa de Coseno Discreto
<b>NI</b>	National Instruments
<b>Pi/4 QPSK</b>	Quadrature Phase-Shift Keying (Offset by 45 degrees)
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase-Shift Keying
<b>R</b>	Real
<b>R<sub>b</sub></b>	Velocidad de transmisión de bit
<b>R<sub>f</sub></b>	Radiofrecuencia
<b>SNR</b>	Signal to Noise Ratio
<b>T</b>	Tiempo del Símbolo
<b>TDMA</b>	Time División Múltiple Access
<b>USRP</b>	Universal Software Radio Peripheral

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1: Elementos de un sistema de comunicaciones digital. ....	11
Fig. 2. Diagrama de Cifrado [9].....	15
Fig. 3. Diagrama de Cifrado Simétrico.....	15
Fig. 4: Equipos del sistema implementado para el ambiente de pruebas..	17
Fig. 5: Transmisión de Audio .....	19
Fig. 6: Recepción de Audio .....	19
Fig. 7: Valores de Cuantización y aplicando Huffman .....	19
Fig. 8: Relación de Compresión Huffman antes y después del cifrado .....	20
Fig. 9: Cifrado Simétrica .....	20
Fig. 10: Descifrado Simétrico.....	20
Fig. 11: Señal de audio transmitida y recibida, Ruido –Inf.....	21
Fig. 12: Señal de audio transmitida y recibida, Ruido -8dB.....	21
Fig. 13: Respuesta impulso – Separación de Antenas 1 mt. ....	22
Fig. 14: Respuesta impulso – Separación de Antenas 2 mt. ....	22
Fig. 15: BER vs. SNR – QPSK, CANAL INALÁMBRICO.....	23
Fig. 16: BER vs. SNR – $\pi/4$ QPSK, CANAL INALÁMBRICO .....	24
Fig. 17: BER vs. SNR – QPSK Y $\pi/4$ QPSK, CANAL INALÁMBRICO .....	24
Fig. 18: BER vs. SNR – CON Y SIN CIFRADO.....	25
Fig. 19: $R_b$ vs. SNR – CON Y SIN CIFRADO.....	25

## LISTA DE ECUACIONES Y TABLAS

Ecuación 1. Transformada Discreta de Cosenos.....	14
Ecuación 2. Señal QPSK .....	17
Tabla 1. Parámetros en el Sistema de Transmisión y Recepción .....	19

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la sociedad ha evolucionado gracias a la forma en la que nos comunicamos, pasando del envío de señales analógicas al intercambio de grandes cantidades de información en forma digital y en tiempo real.

Esto ha impulsado el crecimiento tecnológico, permitiendo que los sistemas de comunicación inalámbrica en todo el mundo puedan ser cada vez más potentes y de mejor calidad. [11]. Existen diferentes modulaciones utilizadas para el envío de información. En el presente proyecto nos planteamos conocer que modulación (QPSK o  $\pi/4$  QPSK) resulta mejor en la recepción de audio con cifrado. Por tanto se realiza la implementación de un sistema de comunicación inalámbrica utilizando la herramienta LabVIEW y los equipos NI USRP [12], con el objetivo de obtener los datos que nos permitan descubrir la mejor opción.

En el capítulo I se detallan los componentes que conforman un sistema de comunicación inalámbrico, así como el método de compresión y codificador de fuente empleado en la transmisión de audio.

En el capítulo II se explica la implementación del sistema; transmisión y recepción de audio, modulaciones y cifrado desarrollados en LabVIEW.

En la sección III se muestran los resultados del sistema implementado, efectos del canal en la señal de audio recibida, respuesta del canal inalámbrico y su respectivo análisis de las curvas BER vs. SNR y  $R_b$  vs. SNR para las diferentes modulaciones y canales.

Finalmente se expondrán las conclusiones del desempeño del sistema inalámbrico de una portadora en la transmisión de audio.

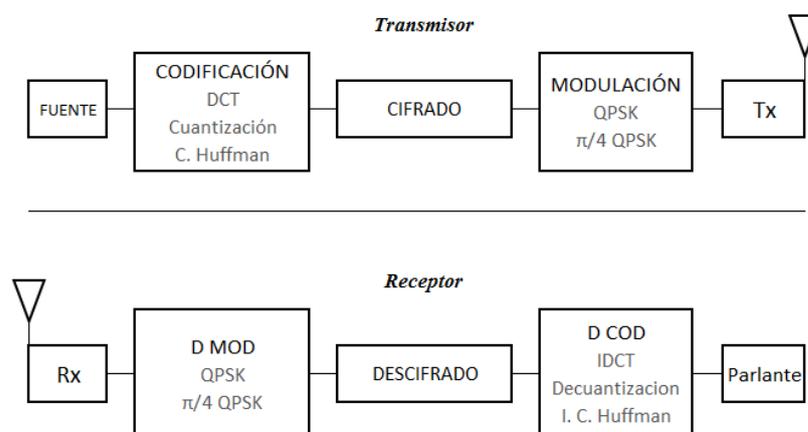
# 1. MARCO TEORICO

## 1.1. Modelado del Sistema

El sistema de comunicación que se usa está representado en la Fig. 1, este consta de un transmisor y un receptor. El transmisor está formado por 4 cajas: La Fuente, La Codificación, el Cifrado y la Modulación.

En términos generales, el transmisor genera los datos, los modula, los sobre muestrea (upsampling), se incrementa el tiempo de la señal,- lo que implica reducción de la frecuencia, se filtra para suavizar los pulsos, se convierte a señal analógica y se trasmite.

La señal recorre el canal hasta el receptor y el receptor realiza el proceso inverso que realizó el transmisor: convierte la señal a digital, se filtra, luego aplica el (dowsampling) que implica la reducción del tiempo de la señal,- lo que implica incremento en la frecuencia, sincroniza la trama, corrige la frecuencia, ecualiza, de modula y recupera la señal.



**Fig. 1:** Elementos de un sistema de comunicaciones digital.

### 1.1.1. La Fuente

En nuestro caso la fuente es un archivo de audio, donde la señal debe ser muestreada para obtener su representación digital.

### 1.1.2. La Codificación

La funcionalidad del segundo bloque es representar la información de la fuente con la cantidad de bits más baja posible, lo cual requiere de algoritmos de compresión de datos como el algoritmo de Huffman y la transformada discreta de cosenos (DCT), la cual, ignora los valores insignificantes.

### La Transformada Discreta de Cosenos (DCT)

Normalmente, una señal de audio se encuentra principalmente en la parte inferior del rango de frecuencia, por lo tanto, con el fin de comprimir la señal, la práctica común es ignorar los componentes de alta frecuencia (redondear con 0). Aquí hacemos uso de la transformación discreta del Coseno (DCT) y su ecuación estándar es la siguiente. [1]

$$X_k = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n & \text{if } k = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=0}^{N-1} \left( x_n \cos \left( \frac{\pi \left( n + \frac{1}{2} \right) k}{N} \right) \right) & \end{cases} \quad (1)$$

**Ecuación. 1:** Transformada Discreta de Cosenos [10]

En la IDCT se reconstruye el conjunto de muestras a partir de un conjunto de estimaciones de los coeficientes DCT. En este punto algunos coeficientes fueron rechazados y todos estos se sustituyen por un valor 0. [2]

### Cuantización y Decuantización

La cuantificación nos permite reducir la precisión con la que los coeficientes de la DCT se presentan cuando se convierten a una representación entera.

Aquí la cuantización utilizada es uniforme o lineal en donde la distancia entre niveles de reconstrucción siempre es la misma.

El proceso describe que necesitamos cuantizar una matriz de reales a una matriz de números binarios (donde la muestra Longitud = bits de "resolución"), lo que equivale a una matriz bidimensional de bits (donde cada fila representa una muestra). Para ello, utilizamos una notación denominada offset binario. El algoritmo es como sigue:

Primero encontrar la "escala completa" de la matriz, donde "escala completa" se define tal que todos los elementos de la matriz se encuentran entre  $-\frac{full\ scale}{2}$  y  $\frac{full\ scale}{2}$ . Si la "Resolución" se establece en L bits, el intervalo  $-\frac{full\ scale}{2}$ ,  $\frac{full\ scale}{2}$  necesita dividirse en intervalos de 2L. Así, el tamaño del intervalo se puede calcular como:  $\frac{full\ scale}{2^L}$ .

Finalmente, la representación binaria offset de un número real 'X' se define como  $Binary \left\{ \frac{X + \frac{full\ scale}{2}}{interval\ size} \right\}$  Donde binario {x} es la representación de x en el formato binario.

La función binaria  $\{x\}$  se proporciona para usted como `decimal_to_binary`: vi. Primero se debe crear la representación offset y luego pasarla a través de la función proporcionada.

Al medir el umbral de audición de una función base se busca la resolución a partir del cual el sonido es detectable al oído, en nuestro caso el valor del umbral es 6.

Si estamos dispuestos a tolerar ciertos "defectos" audibles en el sonido reconstruido, podríamos dividir por un valor más grande que el correspondiente al valor ideal o umbral.

Este proceso de ponderación y truncamiento de los coeficientes de la DCT a valores enteros se denomina cuantificación y el restablecimiento aproximado de la magnitud de los coeficientes originales de la DCT recibe el nombre de decuantificación.

### **Algoritmo de Huffman**

La codificación Huffman es utilizada para comprimir datos, donde la longitud de cada código depende de la frecuencia de aparición de cada símbolo. A mayor frecuencia menor será su código asociado. Es una codificación sin prefijos que evita ambigüedad en el mensaje. [3]

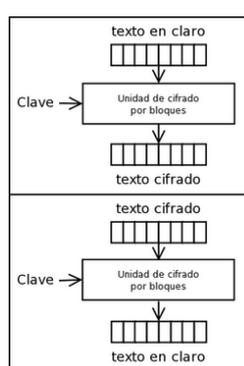
El algoritmo crea un árbol binario que tiene a cada símbolo por hoja, al seguirlo desde la raíz a cada hoja tendremos el código Huffman vinculado. [5]

En la transmisión de audio, después de la DCT y la cuantización, obtenemos una matriz de muestras, cada una es un número binario; con el objetivo de aprovechar la redundancia de las muestras que más se repiten y poder comprimir aún más los datos utilizamos Huffman. [2]

### 1.1.3. El Cifrado

La criptografía o cifrado es un procedimiento que utiliza un algoritmo de cifrado con cierta clave que transforma un mensaje de tal forma que sea al menos difícil de comprender a toda persona que no tenga dicha clave. [8].

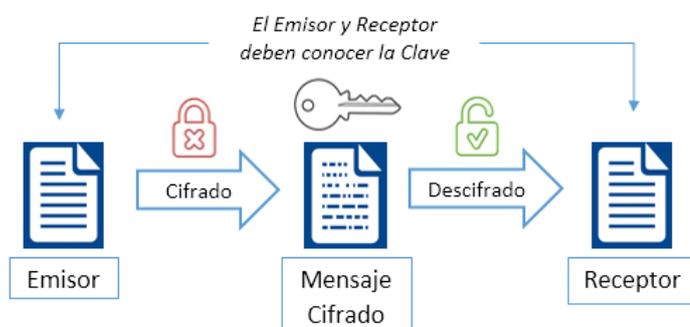
El cifrado puede ser tan simple como la sustitución de letras por números o muy complejo como aleatorización de bits por medio de un algoritmo. [7]



**Fig. 2.** Diagrama de Cifrado [9]

Existen 3 tipos de cifrado: Simétrico, Asimétrico e Híbrido.

En nuestro caso particular se utiliza el cifrado simétrico el cual con la misma clave que el emisor cifra un mensaje, el receptor podrá descifrarlo, dicha clave la deben conocer el emisor y el receptor previamente. [7]



**Fig. 3.** Diagrama de Cifrado Simétrico

### 1.1.4. La Modulación

La modulación digital es el proceso mediante el cual una señal portadora modifica alguna de sus características en este caso la fase, para el envío de información. [4]. En el proyecto se utilizaron QPSK y  $\pi/4$  QPSK.

#### QPSK

O codificación por cambio de fase en cuadratura, donde la información transportada por la señal transmitida está contenida en la fase. Tiene un desplazamiento de fase de 4 símbolos, desplazados entre sí  $90^\circ$  donde cada símbolo aporta 2 bits. [6].  $R_b$  representa la velocidad de transmisión de bit y se corresponde con el tiempo de bit y con el tiempo de símbolo mediante la relación:  $R_b = 1/T_b = 2/T_s$ . La fase de la portadora toma uno de cuatro valores igualmente espaciados ( $0, \pi/2, \pi$  y  $3\pi/2$ ), cada uno corresponde a un único símbolo. La señal QPSK está definida por la ecuación siguiente:

$$S_{QPSK}(t) = \sqrt{\frac{2^E}{T}} \cos(2\pi f_c t + (i-1) \frac{\pi}{2})$$

**Ecuación 2:** Señal QPSK [6]

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

#### $\pi/4$ QPSK

Es una modulación QPSK que tiene dos constelaciones idénticas solo que desfasadas  $45^\circ$ , la ventaja es que al no pasar por el origen el rango de las funciones es muy bajo. Tiene una transición de fase máxima de aprox.  $135^\circ$ . Utilizamos la misma fórmula que QPSK pero modificando su fase  $\pi/4$ . Finalmente en el lado del receptor se encuentran los bloques que realizan los procesos inversos con el objetivo de reconstruir la señal original.

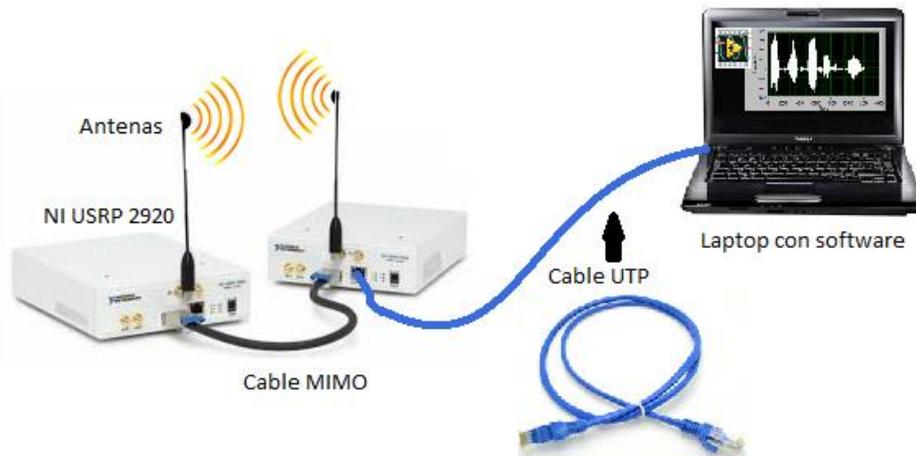
## 2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

### 2.1. Especificaciones del Diseño del Sistema

En el proyecto implementado la fuente o señal a transmitir será audio, la misma que pasa por los procesos de codificación de fuente y compresión para ser enviada al medio inalámbrico.

El sistema será evaluado utilizando modulaciones QPSK y  $\pi/4$  QPSK.

Para la realización de este proyecto se implementó un sistema de comunicación inalámbrica mediante 2 USRP 2920 y el software de Labview 2015 a través de VIs tal como se observa en la siguiente figura, donde se procedió a realizar pruebas de transmisión de audio mediante 2 modulaciones y con cifrado simétrica en los datos a transmitir en un entorno simulado y real.



**Fig. 4:** Equipos del sistema implementado para el ambiente de pruebas

## 2.2. Modelado del Escenario

Parámetros de Modulación QPSK Y $\pi/4$ QPSK	
Transmisor y Receptor	
Oversample Factor	4
Sample Rate	20M
Resolución	6
Password	M123
Packet Duration (sec)	4,0434 m
Capture Time (s)	5,00 m
Ancho de Canal	5 Mb
Potencia de Antena	10 dB

**Tabla 1.** Parámetros en el Sistema de Transmisión y Recepción

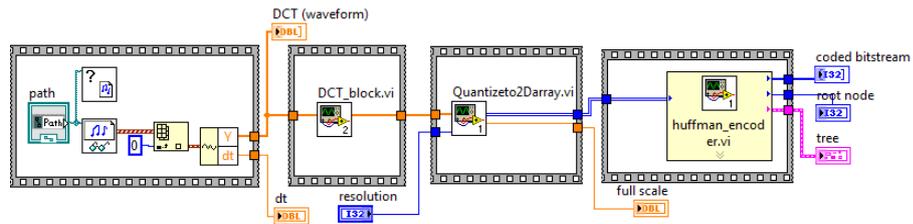
## 2.3. Detalles de Implementación

### 2.3.1. Procesamiento de Audio

El formato del audio a tratar en el sistema es .wav de tamaño fijo.

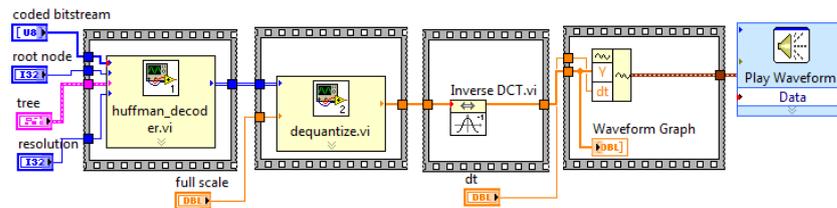
El propósito de transmitir audio es evaluar el sistema para identificar la mejor modulación para hacerlo, aquí el usuario evalúa la calidad del audio recuperado identificando fácilmente los errores producidos por el medio, variaciones de ruido entre otros.

Para la transmisión de la señal de audio se considera el esquemático representado en la Fig. 5, se carga el archivo .wav luego se aplica la transformada discreta de cosenos, posteriormente los coeficientes pasan por el proceso de cuantificación considerando el parámetro de resolución 6 de tal manera que nos permita entender el audio transmitido y finalmente con esta matriz de muestras en el dominio de la frecuencia pasamos por un codificador de fuente Huffman.



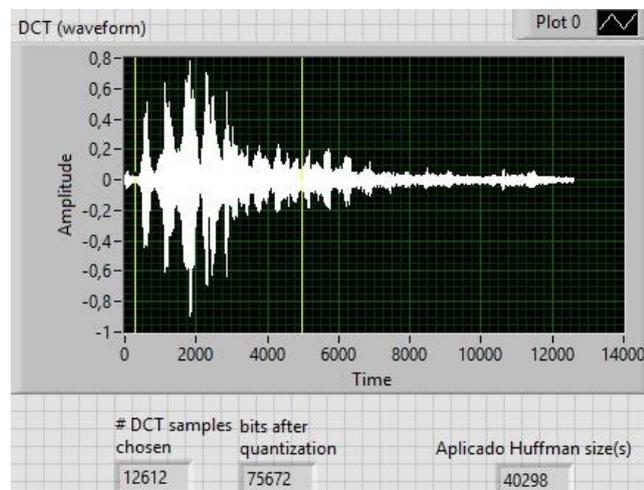
**Fig. 5:** Transmisión de Audio

En la recepción se realiza el proceso inverso los bits se decodifican usando Huffman, se decuantizan y finalmente se aplica la transformada inversa de cosenos para reconstruir el audio.



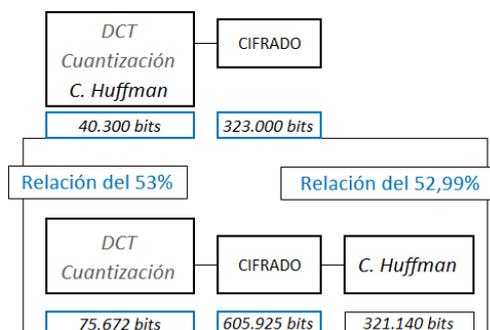
**Fig. 6:** Recepción de Audio

Hasta la cuantización, en la Fig. 7 podemos observar que tenemos un valor de 75.672 bits, si a esto aplicamos el algoritmo de compresión Huffman obtenemos 40.298 bits o una relación de compresión del 53%.



**Fig. 7:** Valores de Cuantización y aplicando Huffman

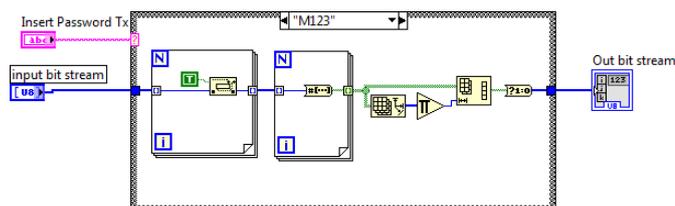
Aplicando el algoritmo de Huffman antes y después del cifrado tenemos la misma relación de compresión.



**Fig. 8:** Relación de Compresión Huffman antes y después del cifrado

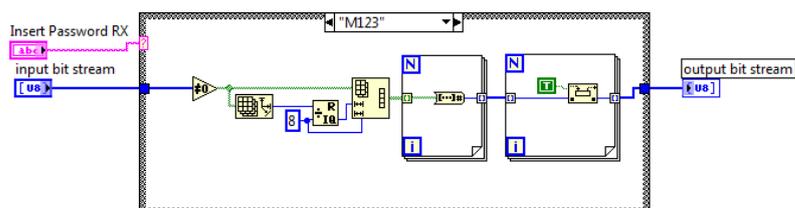
### 2.3.2. Proceso de Cifrado y Descifrado

Una vez recibidos los bits codificados se procede con el cifrado simétrica en la que se utiliza una palabra clave "M123" y los bits son rotados 1 posición a la izquierda.



**Fig. 9:** Cifrado Simétrico

En la Fi. 10 está la recepción donde se descifra la información utilizando la misma palabra clave "M123" y se rotan los bits 1 posición a la derecha.

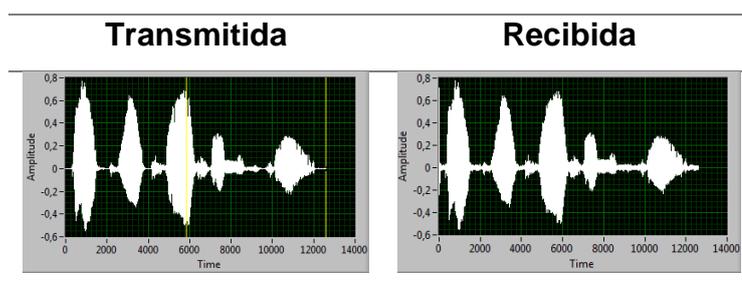


**Fig. 10:** Descifrado Simétrico

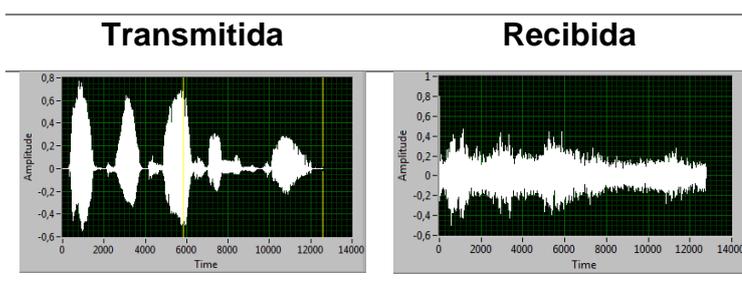
### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se demostrará y evaluará la respuesta del sistema implementado, considerar que en el receptor se tendrá la suma de todas las señales del medio inalámbrico y del ruido emulado en el sistema (AWGN) lo cual nos permitirá ver la afectación en los parámetros SNR y BER.

A continuación en la Fig. 11 se muestra la señal de audio transmitida y recibida, como se puede apreciar en la señal recibida no se tiene distorsión ya que el audio tiene una potencia de ruido hacia el  $-\infty$ , y el audio fue comprensible, sin embargo en la Fig. 12 en la señal recibida se observa la señal de audio distorsionada, ya que en este caso la transmisión se realizó con una potencia de ruido de  $-8\text{dB}$  manteniendo modulación QPSK y el audio se escuchó distorsionado.



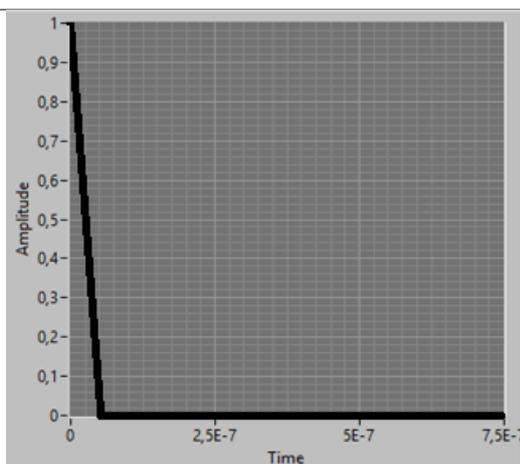
**Fig. 11:** Señal de audio transmitida y recibida, Ruido  $-\infty$



**Fig. 12:** Señal de audio transmitida y recibida, Ruido  $-8\text{dB}$

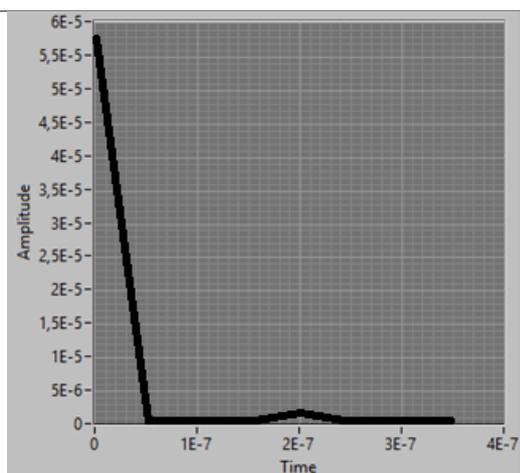
En la Fig. 13 se muestra la respuesta impulso del canal inalámbrico con separación de las antenas de 1 metro, donde se aprecia que el canal posee una trayectoria, sin embargo al separar las antenas 2 metros se observan 2 trayectorias Fig. 14.

### Separación de Antenas - 1 Metro



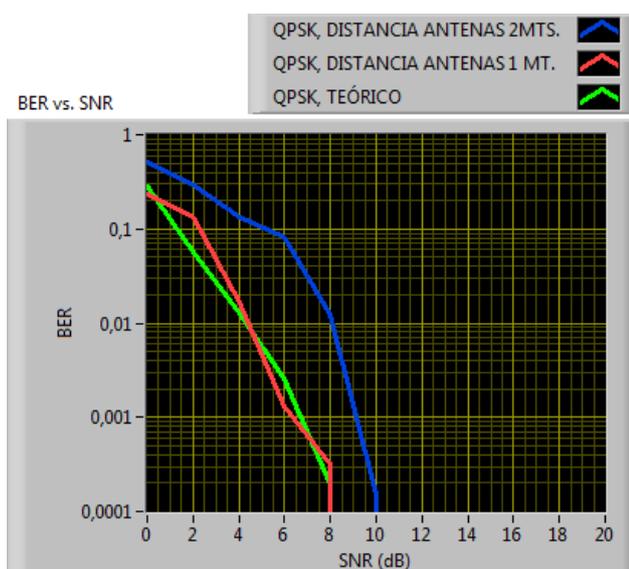
**Fig. 13:** Respuesta impulso – Separación de Antenas 1 mt.

### Separación de Antenas - 2 Metros



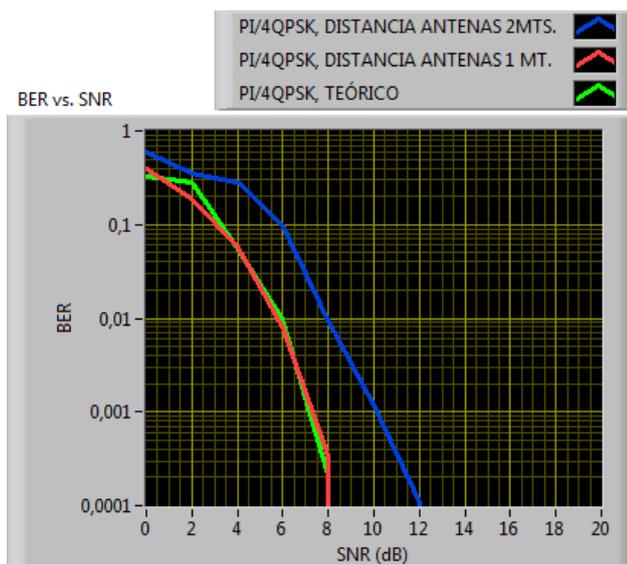
**Fig. 14:** Respuesta impulso – Separación de Antenas 2 mt.

En la Fig. 15 se aprecia la respuesta del sistema ante variaciones de la distancia de antenas y modulación QPSK con una curva BER vs. SNR, en la misma se observa que a una distancia de 1 metro se tiene una respuesta similar al valor teórico o simulado, sin embargo al separar las antenas 2 metros se observa que se tiene un mayor valor de BER lo que ocurre por el efecto multitrayectoria.



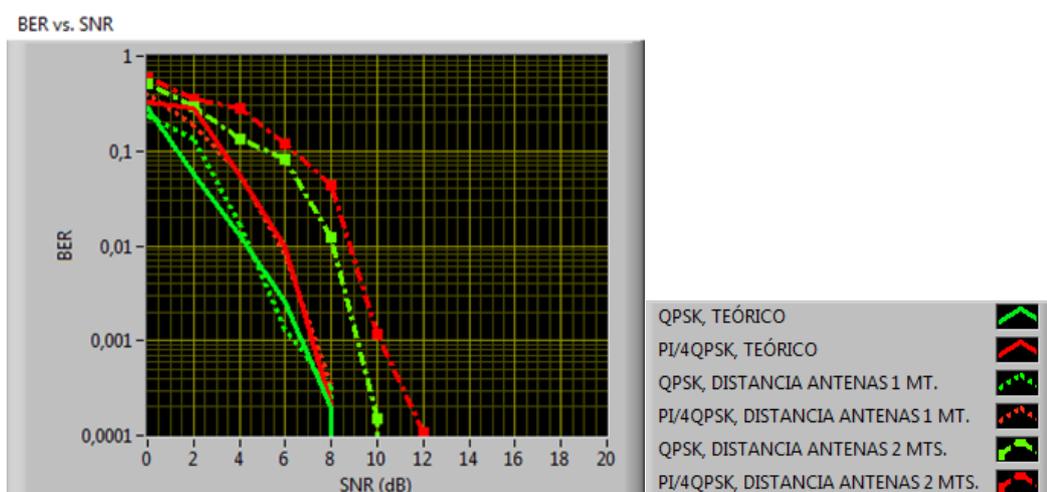
**Fig. 15:** BER vs. SNR – QPSK, CANAL INALÁMBRICO

En la Fig. 16 se aprecia la respuesta del sistema ante variaciones de la distancia de antenas y modulación  $\pi/4$  QPSK con una curva BER vs. SNR, igual que la Fig. 14 usando modulación QPSK se tiene la misma tendencia, el sistema que presenta un mayor BER es cuando se separan las antenas 2 metros.



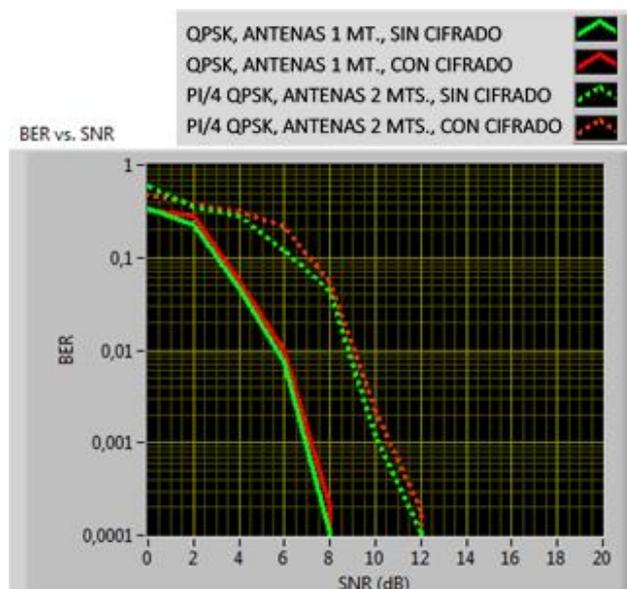
**Fig. 16:** BER vs. SNR –  $\pi/4$  QPSK, CANAL INALÁMBRICO

En la Fig. 17 se observa que a pesar de la separación de las antenas se tiene una mejor respuesta utilizando modulación QPSK que  $\pi/4$  QPSK, ya que este tipo de modulación tiene una mayor desfase lo que produce que se tenga un menor BER ante variaciones de ruido.



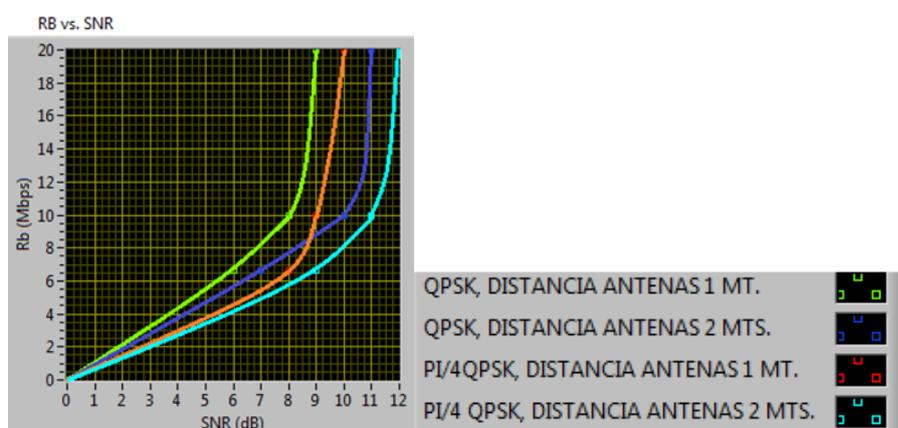
**Fig. 17:** BER vs. SNR – QPSK Y  $\pi/4$  QPSK, CANAL INALÁMBRICO

Además se realizaron pruebas con y sin cifrado, las curvas se muestran en la Fig. 18 y se puede apreciar que no existe diferencia con respecto al BER; sin embargo lo que se logra es proteger la información de intrusos.



**Fig. 18:** BER vs. SNR – CON Y SIN CIFRADO

Finalmente se realizó el análisis de la tasa de transmisión de datos ante variaciones de ruido, se puede apreciar en la Fig. 19 que la mejor respuesta se tiene utilizando una modulación QPSK y con separación de antenas de 1 metro.



**Fig. 19:** Rb vs. SNR – CON Y SIN CIFRADO

## CONCLUSIONES

Se comprobó la robustez de la modulación QPSK frente a  $\pi/4$  QPSK, aunque se obtienen valores de BER similares en los distintos casos, podemos observar que QPSK presenta menos fallas en un entorno real con y sin cifrado.

Observamos que a mayor separación en las antenas tenemos mayor error en la transmisión de la información ya que existen pérdidas en el canal por interferencias presentes en el medio como señales de equipos móviles y otros NI USRPs en funcionamiento.

Una ventaja del cifrado simétrico es que brinda robustez al sistema de transmisión ya que el emisor cifra el contenido del mensaje para su envío seguro hasta el receptor que será el único capaz de leer el mensaje gracias a su clave de desbloqueo.

Apoyados en los resultados, las gráficas muestran que utilizando cifrado o no, el BER no se ve afectado. Como desventaja al utilizar cifrado se incrementa el tamaño del paquete porque aumenta la duración del tiempo de transmisión sin embargo el contenido de la información viaja seguro. Cabe recalcar que al aplicar compresión Huffman antes o después del cifrado tenemos la misma relación.

Al aumentar el nivel de resolución tendremos mejor calidad en el audio, por otro lado al reducirla existirá una baja considerable en la misma, en nuestro caso particular el umbral de la resolución es 6; por tanto si estamos dispuestos a tolerar cierto deterioro en el sonido reconstruido, se podría disminuir la resolución por un valor diferente que el correspondiente al umbral.

## BIBLIOGRAFÍA

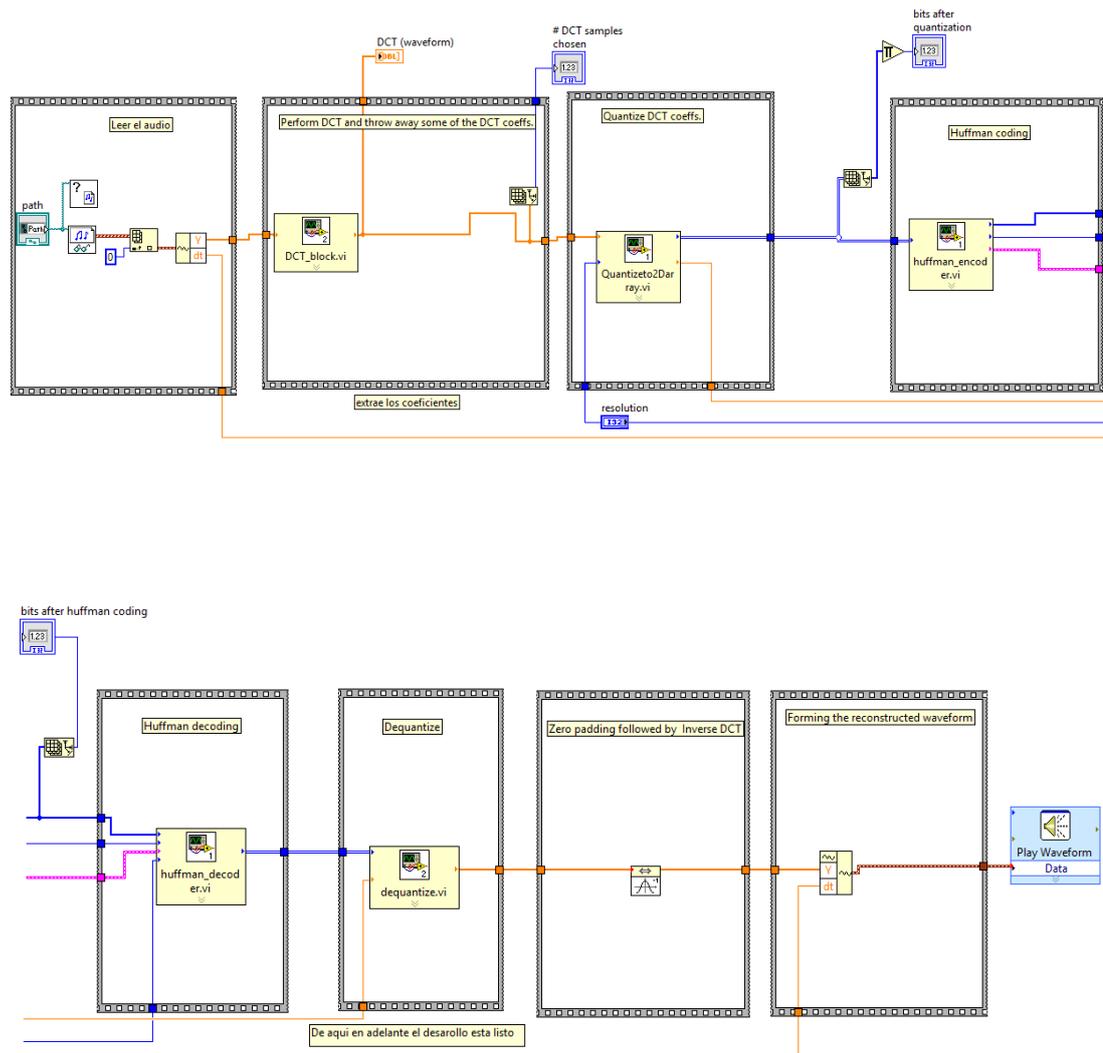
- [1] Vélez C, Kortum M, "Diseño, simulación de esquemas de estimación del canal y ecualización de un sistema de comunicación de una sola portadora", Tesina de seminario previa para la obtención de título de ingeniero en Electrónica y telecomunicaciones, ESPOL 2013.
- [2] Erik L, "EE49 Lab 1: Source Coding Lab: Cosine Transform (DCT), sample quantization, and Huffman coding", Version 9, National Instruments, 2016.
- [3] Alegsa Leandro, "Codificación Huffman", En: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/codificacion%20huffman.php>
- [4] Delgado Luis, Universidad Politécnica de Valencia, "Diseño e Implementación de un Modem con Modulación QPSK", En: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13407/TFC%20%20Dise%C3%B1o%20e%20implementaci%C3%B3n%20de%20un%20m%C3%B3dem%20con%20modulaci%C3%B3n%20QPSK.pdf?sequence=1>
- [5] López José, "Codificación de Huffman", En: <http://joselu.webs.uvigo.es/material/Algoritmo%20de%20Huffman.pdf>
- [6] Jakhar Naveen, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, "Sistemas de Modulación derivados de QPSK", En: <http://es.slideshare.net/naveenjakhar12/phase-shift-keying-4-quadrature-phase-shift-keying>
- [7] Gutiérrez Pedro, "Tipos de Criptografía", En: <http://www.genbetadev.com/seguridad-informatica/tipos-de-criptografia-simetrica-asimetrica-e-hibrida>.

- [8] Amieva Eneko, “Criptografía: simétrica, asimétrica e híbrida”, En: <http://enekoamieva.com/criptografia-simetrica-asimetrica-e-hibrida/>
- [9] Epuñan Jorge, “Modo de Encriptado”, En: <https://github.com/juanbrujo/superclave-CLI/wiki/Sobre-el-modo-de-encriptado-CTR>
- [10] OREYLLI, “Discrete Cosine Transform”, En: <https://www.safaribooksonline.com/library/view/learning-opencv/9780596516130/ch06s12.html>
- [11] Unión Internacional de las Telecomunicaciones (ITU), “Información de referencia sobre el plan estratégico de la Unión para 2016 – 2019. Pag. 7. En: [https://www.itu.int/en/council/planning/Documents/Background\\_Strategic%20Plan%20for%20the%20Union%202016-2019\\_Spanish.pdf](https://www.itu.int/en/council/planning/Documents/Background_Strategic%20Plan%20for%20the%20Union%202016-2019_Spanish.pdf)
- [12] National Instruments, Descripción de Equipos, En: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/212432>

# ANEXOS

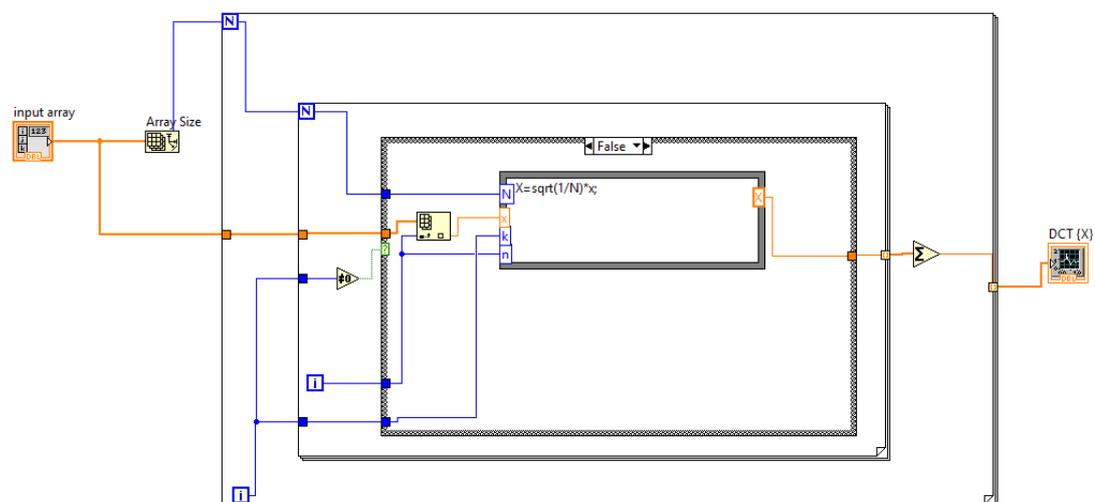
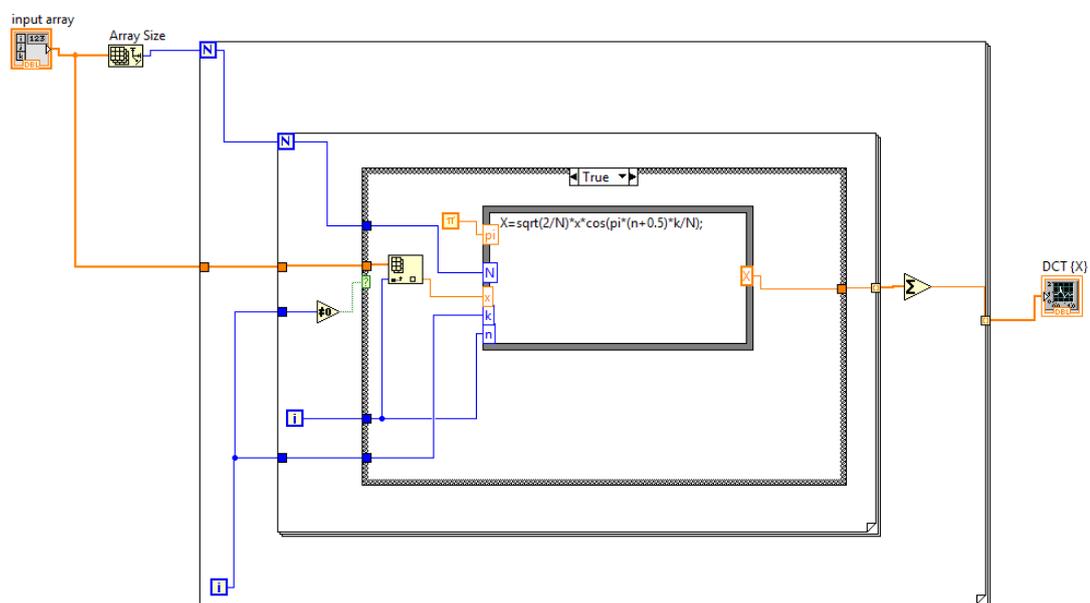
## ANEXO 1

### DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROYECTO GUIA



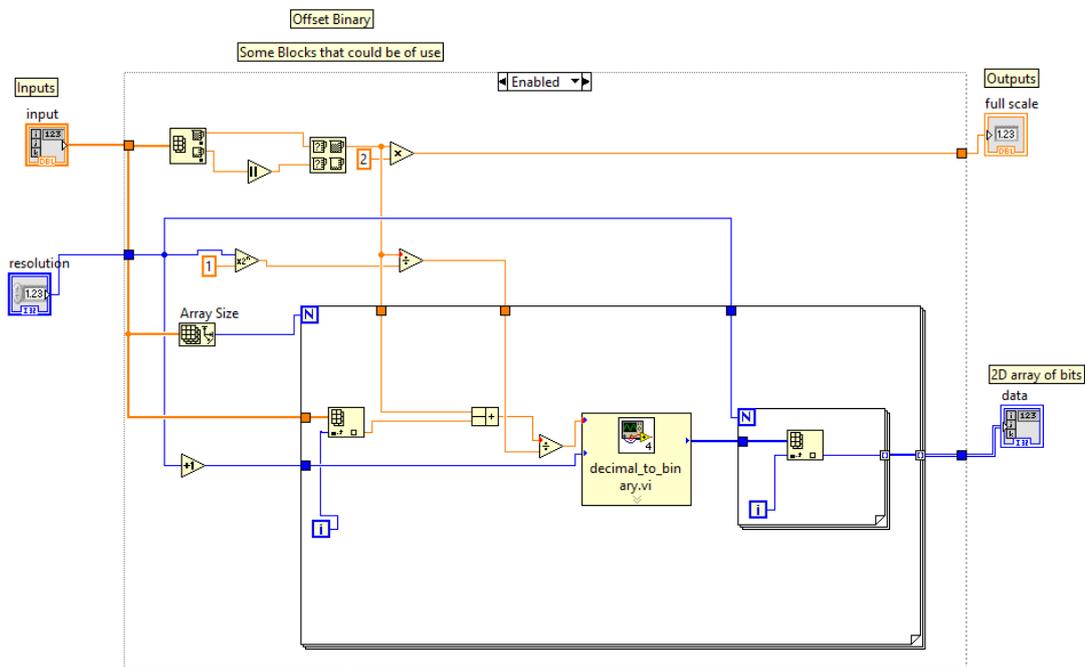
## ANEXO 2

## DIAGRAMA DE BLOQUE DE DCT



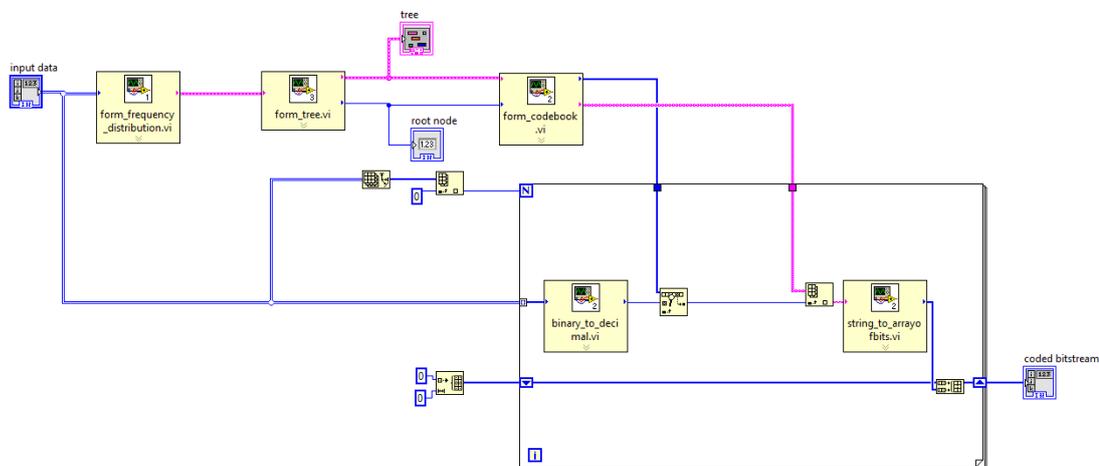
### ANEXO 3

#### DIAGRAMA DE BLOQUE DEL CUANTIZADOR 2D ARRAY



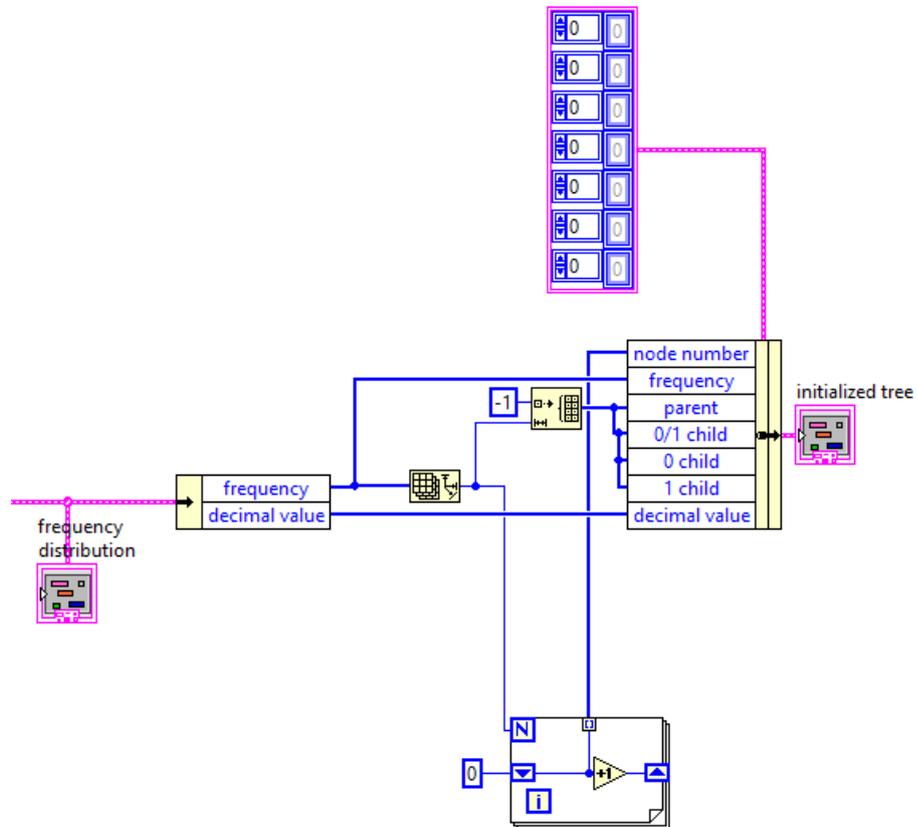
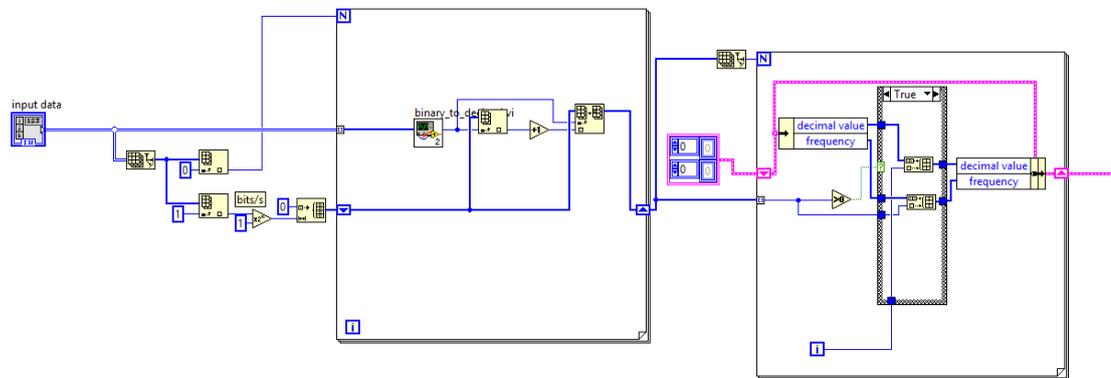
### ANEXO 4

#### DIAGRAMA EN BLOQUE GENERAL DEL ALGORITMO DE HUFFMAN



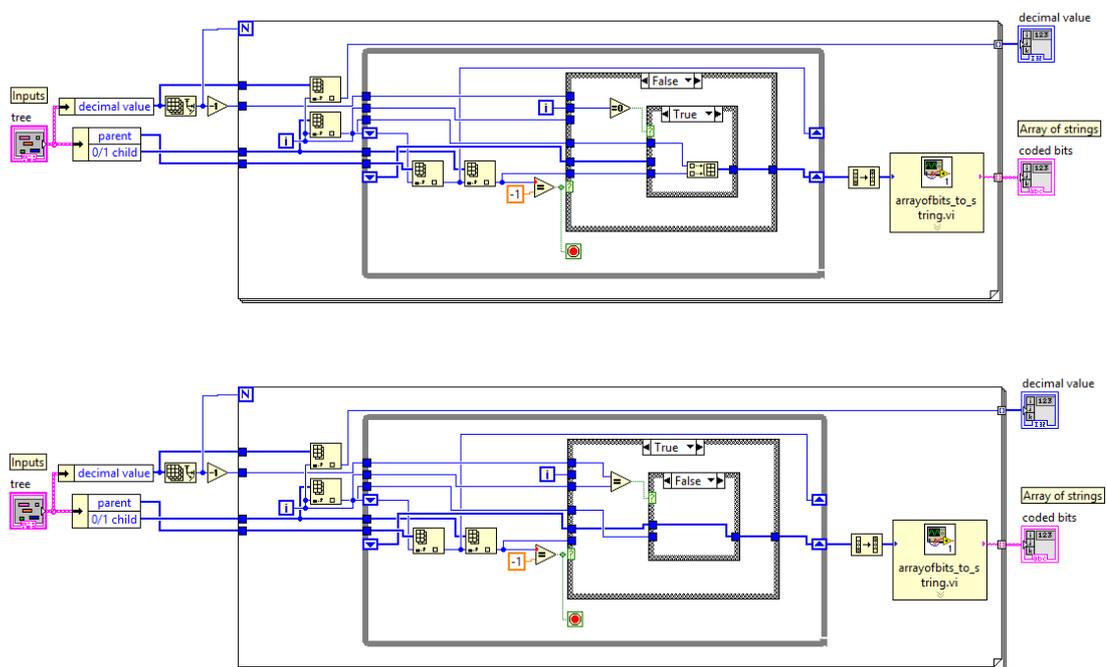
ANEXO 5

DIAGRAMA EN BLOQUE FORM FREQUENCY DISTRIBUTION



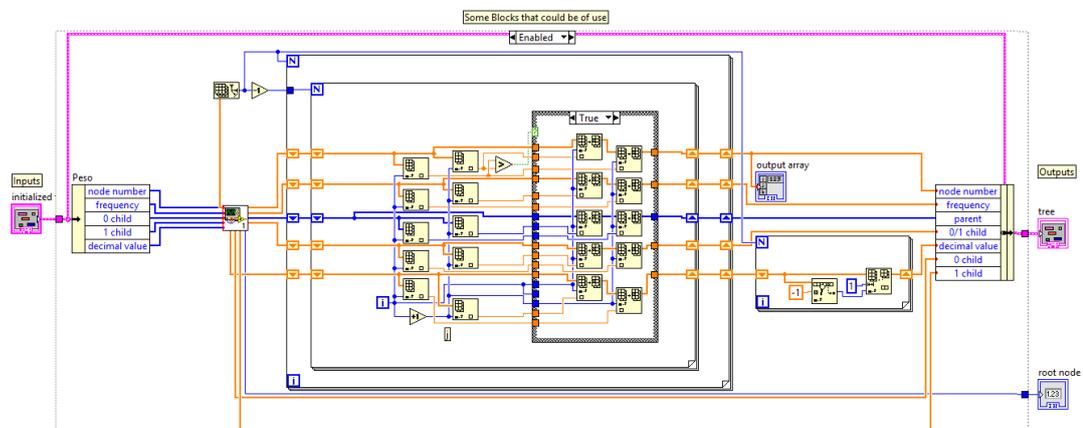
### ANEXO 6

#### DIAGRAMA EN BLOQUE DEL FORM CODEBOOK



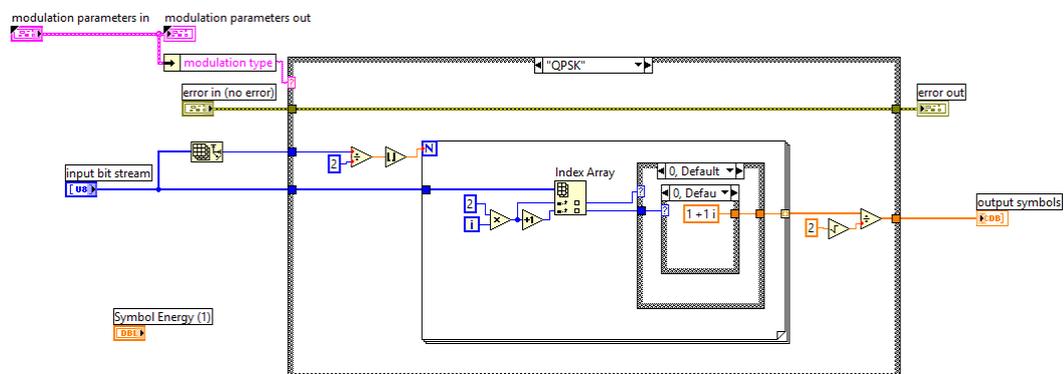
### ANEXO 7

#### DIAGRAMA DE BLOQUE DEL FORM TREE



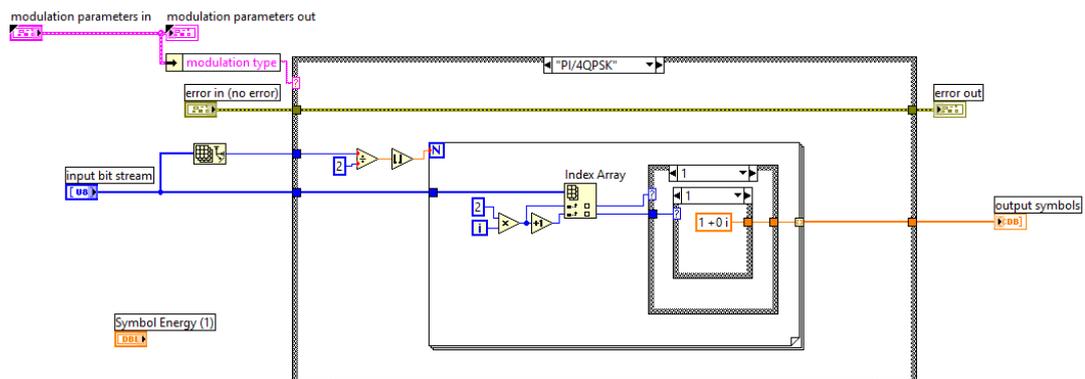
## ANEXO 8

## DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MODULADOR QPSK



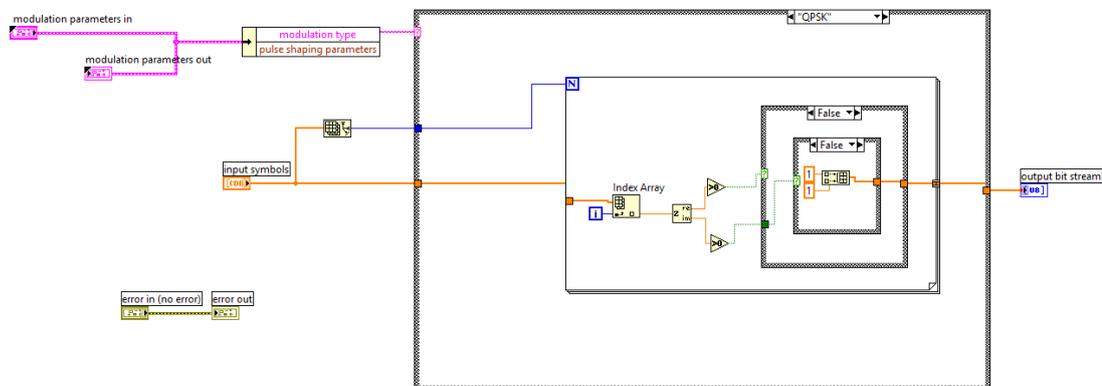
## ANEXO 9

## DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MODULADOR PI/4 QPSK



## ANEXO 10

## DIAGRAMA DE BLOQUE DEL DEMODULADOR QPSK



## ANEXO 11

## DIAGRAMA DE BLOQUE DEL DEMODULADOR PI/4 QPSK

