



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Implementación de un sistema inalámbrico de Audio, bajo un esquema de modulación QPSK/8PSK con una codificación convolucional

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

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Miguel Andres Galarza Pico

GUAYAQUIL - ECUADOR
AÑO 2016

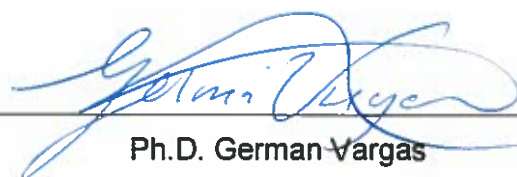
AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis profesores y compañeros de la MET por sus aportes a mi meta académica

DEDICATORIA

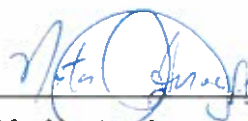
Dedico este logro a mi Madre, Hermano y Padre quienes me motivaron a cumplir este nuevo logro.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ph.D. German Vargas

EVALUADOR



Mg. Nestor Arreaga

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.



Miguel Andres Galarza Pico

C.I.: 1715004667

RESUMEN

El sistema implementado en el presente proyecto, se basa en la transmisión de una fuente de audio a través de dos 2 tipos de modulaciones propuestas, modulación QPSK y 8 PSK.

Para la codificación de canal se plantea que los datos sean transmitidos por medio de una codificación convolucional.

Para la codificación de audio, es necesario la compresión de la información y el envío de colas para mantener la sincronización de la información.

Para hacer las simulaciones de este proyecto se las realiza por dos tipos de canales donde se define los niveles de Avg power con su respectivo delay.

CONTENIDO

| | |
|--|------|
| AGRADECIMIENTOS | I |
| DEDICATORIA | II |
| TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN | III |
| DECLARACIÓN EXPRESA | IV |
| CONTENIDO | vi |
| ABREVIATURAS | vii |
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| LISTA DE TABLAS | ix |
| INTRODUCCIÓN | 10 |
| 1. SOURCE(AUDIO) | 11 |
| 1.1 Etapas del Software del Source de Audio (Codificador) | 12 |
| 1.2 Etapas del Software del Source de Audio (Decodificador) | 14 |
| 2. CODIFICACION CONVOLUCIONAL | 15 |
| 3. MODULACION | 17 |
| 4. RESULTADOS | 20 |
| 5. ANALISIS DE RESULTADOS | 25 |
| CONCLUSIONES | 26 |
| BIBLIOGRAFÍA | 27 |

ABREVIATURAS

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| USRP | Universal Software Radio Peripheral |
| SNR | Signal to Noise Ratio |
| BER | Bit Error Rate |
| PSK | Phase-Shift Keying |
| 8PSK | 8 Phase-Shift Keying |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Formación del Árbol | 12 |
| Figura 2: Bloque DCT en el codificador de Audio | 12 |
| Figura 3: Componentes DCT..... | 13 |
| Figura 4: Componentes DCT sin ruido (wafeform)..... | 13 |
| Figura 5: Bloque de codificación de Audio (etapa Cuantizacion y Compresión Huffman) | 13 |
| Figura 6: Resultados de etapa de Cuantizacion | 14 |
| Figura 7: Resultados de Compresión (Árbol de Huffman) | 14 |
| Figura 8: Bloque de Decodificador de Huffman y etapa de Cuantizacion. .. | 14 |
| Figura 9: Resultados de Decodificador de Huffman | 15 |
| Figura 10: Resultados de Cuantizacion en decodificador | 15 |
| Figura 11: Diagrama de estados | 16 |
| Figura 12. Diagrama de constelaciones QPSK que se muestra en la Interface de Rx..... | 18 |
| Figura 13: Modulación 8 PSK..... | 19 |
| Figura 14: Diagrama de constelaciones 8PSK que se muestra en la Interface de Rx..... | 19 |
| Figura 15: BER vs SNR para QPSK con codificación 1/2 | 21 |
| Figura 16: BER vs SNR para 8PSK con codificación 1/2..... | 21 |
| Figura 17: BER vs SNR para QPSK con codificación 1/3..... | 22 |
| Figura 18: BER vs SNR para 8PSK con codificación 1/3..... | 22 |
| Figura 19: BER vs SNR para QPSK sin codificación | 22 |
| Figura 20: BER vs SNR para QPSK sin codificación para el canal de la Tabla 4A. | 23 |
| Figura 21. BER vs SNR para 8PSK sin codificación para el canal de la Tabla 4A. | 24 |
| Figura 22: BER vs SNR para QPSK con codificación 1/3 para el canal de la Tabla 4B..... | 25 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Medidas tasas de codificación REAL y SIMULADO..... | 17 |
| Tabla 2. Asignación de Codificación QPSK [5] | 18 |
| Tabla 3.Asignación Codificación 8 PSK..... | 19 |
| Tabla 4. BER vs SNR QPSK con Codificación $\frac{1}{2}$ | 20 |
| Tabla 5.Tabla Canal 4A..... | 23 |
| Tabla 6.Tabla Canal 4B..... | 24 |

INTRODUCCIÓN

El sistema de comunicación inalámbrico en el que basa el presente proyecto, tiene 3 etapas, codificación de la fuente a transmitir, modulación, codificación de canal, transmisión por medio de canales inalámbricos.

La fuente a usar que se usa es Audio, el audio es tratado mediante un sistema de compresión tanto en la codificación como la decodificación.

La compresión se realizó con la metodología de Huffmann, tanto en el decodificador como el codificador.

La codificación de canal usado en el Proyecto es la convolucional, donde se muestran la matriz generadora, el diagrama de estados.

Las modulaciones usadas que se presenta para el presente Proyecto son QPSK y 8PSK, en este proyecto se presenta la asignación de los códigos.

El audio es una fuente que debe ser transmitida con elementos adicionales como la resolución, estos elementos serán transmitidos por medio de los queries (colas) del software.

1. SOURCE(AUDIO)

Para la transmisión de audio, es necesario un proceso de compresión de la señal, usando codificación/decodificación de Huffman respectivamente.

Las modulaciones que se detallan para el desarrollo del proyecto son QPSK y 8PSK, el bitstream de datos son codificados por el procesamiento de codificación de canal, bajo diferentes tasas de codificación.

Y se ejecuta la transmisión real de este sistema en un canal AWGN y un canal para ambientes outdoor.

Bitstream de Audio

La codificación del audio, se divide en el proceso de DCT (Transformada discreta de Fourier), se muestra la señal resultante en la Fig1.

Este proceso de DCT es necesario para reducir los números de muestras en el dominio del tiempo y poder usar la representación en el dominio de la frecuencia [1]

A partir de tener los coeficientes DCT se define un nuevo proceso de cuantización, donde se define el número de bit que se usaran para transmitir dichos coeficientes (resolución). La resolución es una variable que influye en el procesamiento del audio a lo largo de la transmisión.

En esta parte se tuvo que minimizar la cantidad de componentes a ser transmitidos, esto debido que para el sistema de codificación convolucional, es necesario minimizar el procesamiento.

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

(1)

La ecuación (1) hace referencia a la formula estándar del cálculo de los coeficientes DCT.

A partir de la cuantización se tienen datos binarios que tienen cierta redundancia, lo que se busca es aprovechar esta redundancia y comprimir los datos a enviar al modulador, para esto se usa la codificación Huffman.

La codificación Huffman se la ejecuta mediante la construcción de un árbol binario, compuesto de nodos, padres, childs 0/1. (Fig. 1)

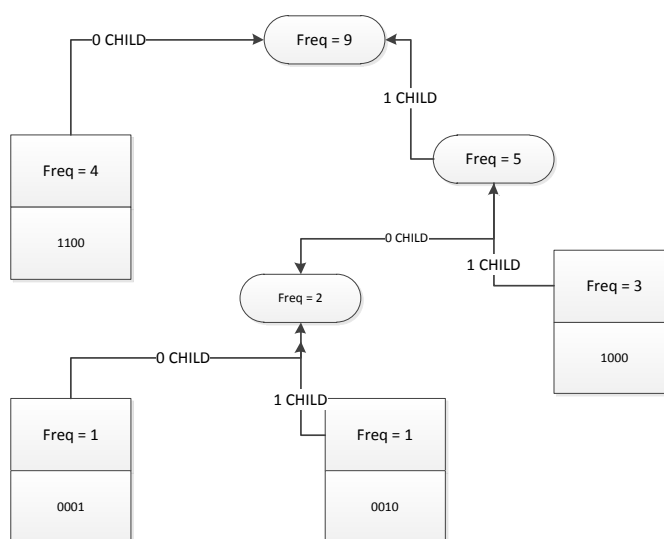


Figura 1: Formación del Árbol

En la Figura 1. Se muestra el árbol el cual es un elemento clave para la reconstrucción del audio, el cual se transmite en la trama de datos a través de las colas que maneja el proyecto.

1.1 Etapas del Software del Source de Audio (Codificador)

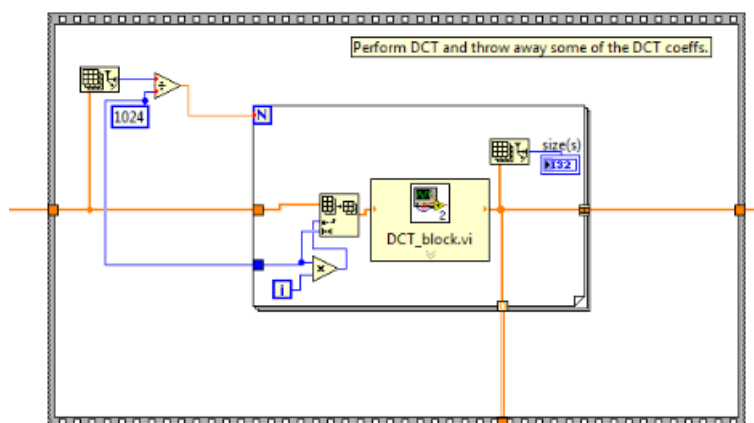


Figura 2: Bloque DCT en el codificador de Audio

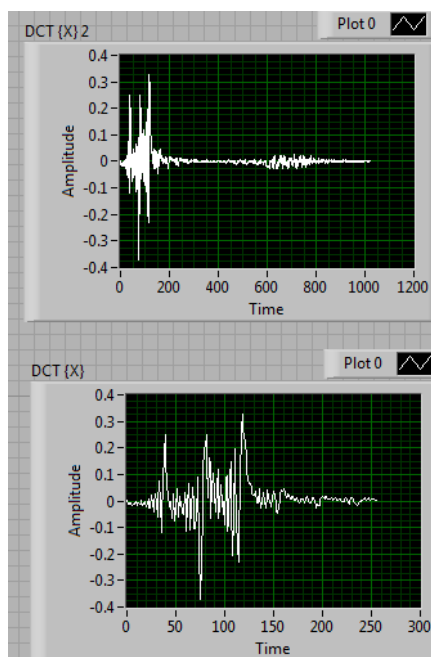


Figura 3: Componentes DCT

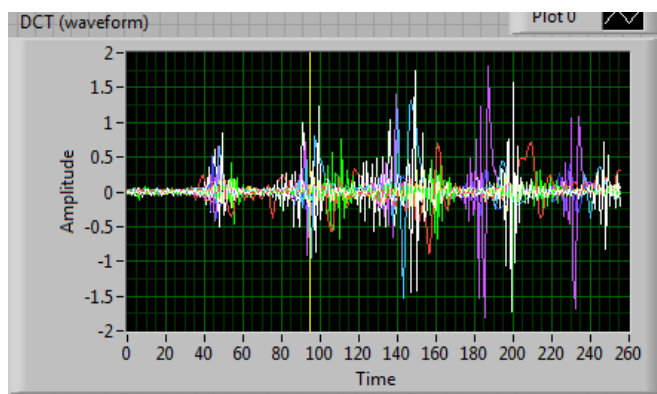


Figura 4: Componentes DCT sin ruido (waveform)

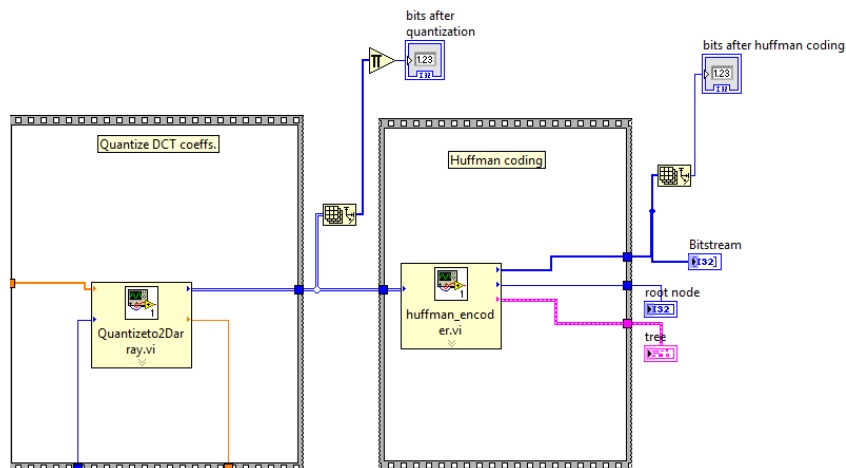


Figura 5: Bloque de codificación de Audio (etapa Cuantización y Compresión Huffman)

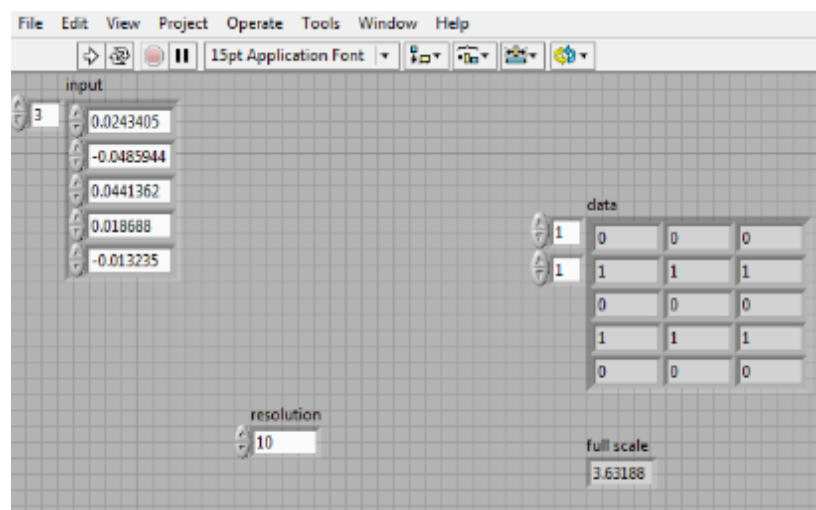


Figura 6: Resultados de etapa de Cuantización

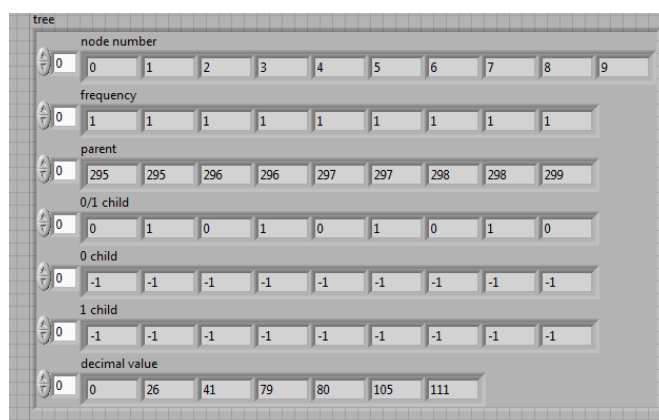


Figura 7: Resultados de Compresión (Árbol de Huffman)

1.2 Etapas del Software del Source de Audio (Decodificador)

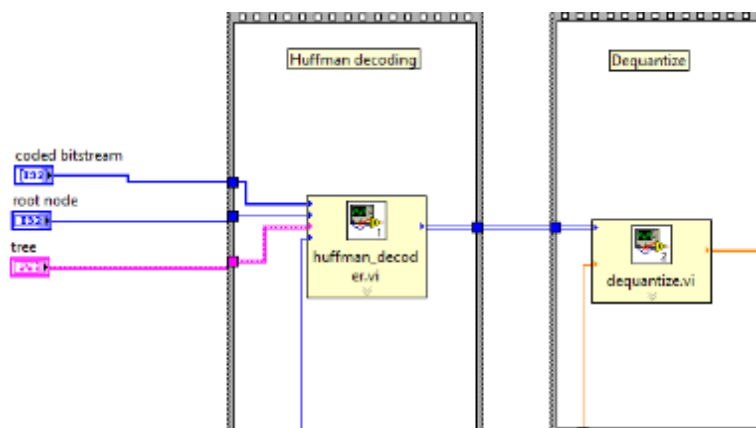


Figura 8: Bloque de Decodificador de Huffman y etapa de Cuantización.

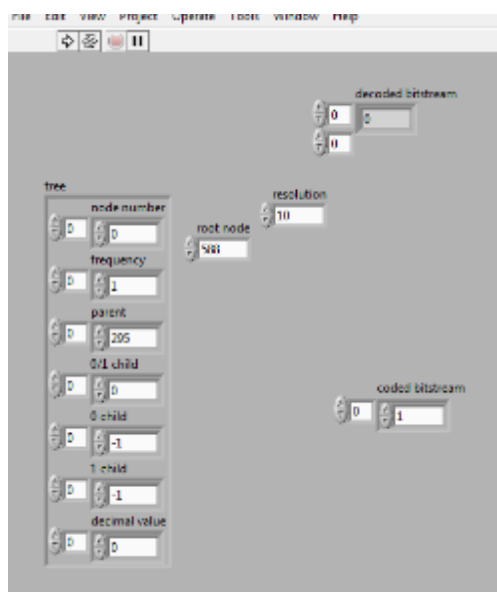


Figura 9: Resultados de Decodificador de Huffman

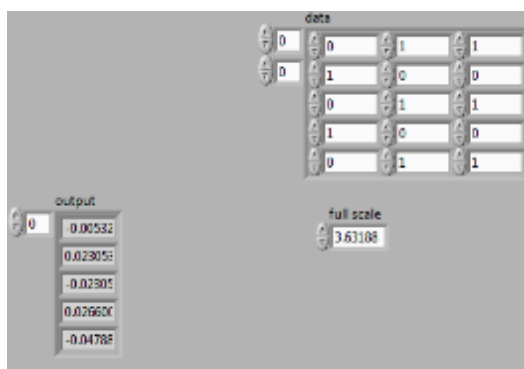


Figura 10: Resultados de Cuantizacion en decodificador

2. CODIFICACION CONVOLUCIONAL

La codificación convolucional no usa todo el bloque de información para comenzar a codificar, a medida que llegan los bits estos comienzan a decodificarse dependiendo del estado del codificador, en los codificadores se deben considerar la tasa de codificación (relación entre los bits de entrada y los bits de salida $r=k/n$. (tasa de código) [2], donde el elemento principal es la palabra de código que se va a definir como $v=uG$

El código convolucional se compone de n, m y k , donde n son las salidas, las k son las entradas y m se refiere a la memoria del codificador.

Un elemento de los codificadores es la matriz generadora, la cual se forma a partir de secuencias entrelazadas, de acuerdo a la ecuación $v = uG$ se define como la matriz que generara los códigos. [3]

El diagrama de estados (Figura 11) en un codificador se refiere a estados que se codificaran en el tiempo, en este caso representados por S_x

Lo que se indica en las fechas corresponden a los k bits in/ n bits out(producidos)

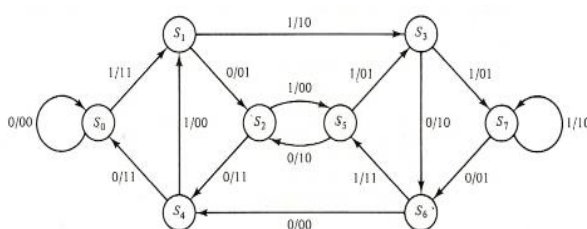


Figura 11:Diagrama de estados

Otro elemento en los codificadores son las métricas de distancia para códigos convolucionales y se define:

$$d = \min\{d(v', v'') : u' \neq u''\} \quad (2)$$

Esta ecuación indica que la mínima distancia es la de Hamming entre dos palabras de código.

En el caso del decodificador se basa en la comparación de secuencias recibidas con los códigos ya incluidos en la codificación.

Para la decodificación en el proyecto actual se usó el decodificador de Viterbi,

La decodificación se basa en Trellis para decodificar códigos convolucionales, los más representativos son VITERBI y MAP, pero se debe considerar que VITERBI trabaja correctamente si la decodificación se ejecuta con toda la secuencia transmitida, pero para evitar este problema se utiliza una ventana temporal que sirve para separar los bits que ya están fijos de los bits que aún no han sido detectados.

En el proceso de decodificación se tienen $2^{k \cdot L}$ posibles caminos de decodificación, siendo k las entradas de bits de información y L los intervalos

de tiempo de transmisión, este proceso de decodificación aumenta al procesamiento computacional del proyecto.

En el decodificador de Viterbi se incluye un concepto llamado 'máxima probabilidad'. esto se refiere a que el decodificador escoge una palabra que aumentara la probabilidad que el símbolo transmitido sea el recibido.

Uno de los limitantes de Viterbi es el canal y su calidad

Ejecutando pruebas en el presente proyecto con un mismo nivel de potencia se tiene los siguientes datos:

a) QPSK (Tasa de codificación 1/2)

| SNR | BER | Noise power |
|-----------|-----------|-------------|
| -0.383769 | 0.119256 | -0.2 |
| 4.41623 | 0.0105707 | -5 |
| SNR | BER | Noise power |
| -0.283769 | 0.238065 | -0.3 |
| 4.41623 | 0.0725062 | -5 |

Tabla 1: Medidas tasas de codificación REAL y SIMULADO

En la tabla 1 se muestra los resultados de la simulación con los equipos USRP con una tasa de codificación de $\frac{1}{2}$, donde se toman los datos BER.

3. MODULACION

Las modulaciones presentadas en el proyecto son QPSK y 8PSK.

Para la modulación QPSK

El estándar IEEE 802.11g utiliza diferentes modulaciones PSK dependiendo de la velocidad deseada. Por ejemplo, para 6 y 9 Mbps utiliza BPSK, y para 12 y 18 Mbps utiliza QPSK. [4]

La forma de la señal original es:

$$x_{QPSK(t)} = \sqrt{P_s}b_p(t)\text{Cos}(Wct) + \sqrt{P_s}b_p(t)\text{Sen}(Wct)[4]$$

Donde:

$$\sqrt{P_s} = \sqrt{\frac{v^2}{2}}$$

$$b_p(t) = \text{Bit par}$$

$$b_i(t) = \text{Bit impar [5]}$$

Para el caso de QPSK se usan 2 bits, en este caso a la salida del modulador se usan cuatro valores posibles, cada uno con diferente fase.

Para el presente proyecto la tabla de codificación es la siguiente:

| Código | Asignación modulación |
|--------|-----------------------|
| 00 | 1 1 |
| 01 | -1 1 |
| 10 | -1 -1 |
| 11 | 1 -1 |

Tabla 2. Asignación de Codificación QPSK [5]

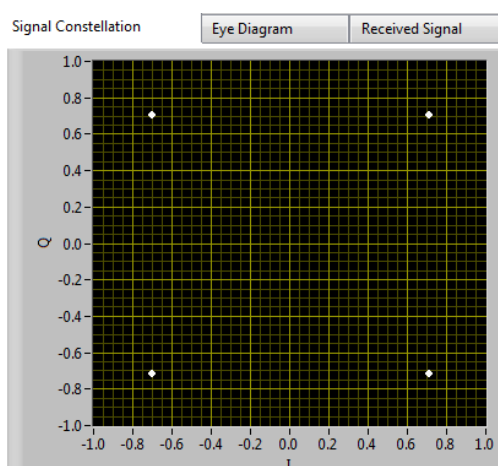


Figura 12. Diagrama de constelaciones QPSK que se muestra en la Interface de Rx.

La tabla 2 hace referencia a la asignación de codificación usada para la modulación QPSK.

En la figura 12. se muestra la captura del diagrama de constelaciones para la modulación QPSK. La modulación 8 PSK es una técnica para codificar 8 posibles fases de salida, para esto es necesario 3 bits denominados tri bits [6]

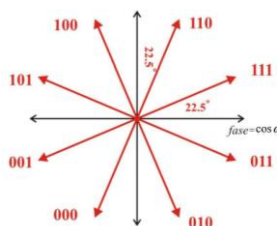


Figura 13: Modulación 8 PSK

En Figura 13. Se muestra el ejemplo que se aplicó para la codificación 8PSK para este proyecto.

| Código | Asignación modulación |
|--------|-----------------------|
| 0 | a b |
| 1 | 0 1 |
| 10 | -a b |
| 11 | -1 0 |
| 100 | -a-b |
| 101 | 0 -1 |
| 110 | a -b |
| 111 | 1 0 |

Tabla 3. Asignación Codificación 8 PSK

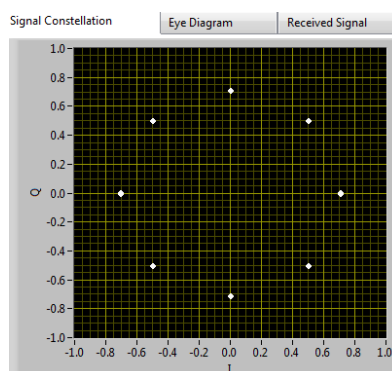


Figura 14: Diagrama de constelaciones 8PSK que se muestra en la Interface de Rx.

En la Tabla 3 hace referencia a la asignación de codificación usada para la modulación 8PSK y en la Figura 14 se verifica el diagrama de constelaciones para esta modulación.

En la modulación 8 PSK a nivel del decodificador se realizan 8 comparaciones y se establece un margen de selección, para estimar los puntos de la constelación.

Tanto las modulaciones QPSK y 8 – PSK tienen que normalizar su potencia, este parámetro se lo define a lo largo del procesamiento del sistema.

Los gráficos de las constelaciones Figura 12 y Figura 14 son tomadas cuando se puede reproducir completamente el audio sin ningún tipo de atenuación.

4. RESULTADOS

En las figuras 12 y 14 se presentan las medidas capturadas usando el canal Real bajo las diferentes tasas de codificación en las modulaciones QPSK y 8 – PSK.

El canal Real hace referencia a las pruebas usando el canal inalámbrico bajo una frecuencia de Tx y Rx propias de los equipos.

Los datos que se varían son el nivel de Ruido del transmisor, tomando la interface del Transmisor SNR y en la interface del receptor se toma el bit error rate.

Simulado vs. Real BER vs SNR Codificación $\frac{1}{2}$

| SNR | BER | Noise power | SNR | BER | Noise power |
|---------|------------|-------------|---------|-------------|-------------|
| - | 0.238065 | -0.3 | - | 0.119256 | -0.2 |
| .283769 | | | .383769 | | |
| 4.41623 | 0.0725062 | -5 | 4.41623 | 0.0105707 | -5 |
| 6.41623 | 0.0178164 | -7 | 6.41623 | 0.0178164 | -7 |
| 9.41623 | 0.00193548 | -10 | 9.41623 | 0.000942928 | -10 |
| 11.4162 | 0 | -12 | 11.4162 | 0 | -12 |
| 13.4162 | 0 | -14 | 13.4162 | 0 | -14 |
| 15.4162 | 0 | -16 | 15.4162 | 0 | -16 |

Tabla 4. BER vs SNR QPSK con Codificación $\frac{1}{2}$

En la tabla 4 se muestran las medidas tomadas para una codificación convolucional de $\frac{1}{2}$ tanto en un canal simulado como el canal Real.

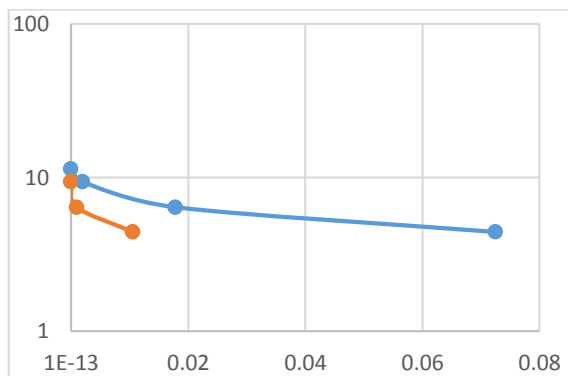


Figura 15: BER vs SNR para QPSK con codificación 1/2

La figura 15 representa el comportamiento de BER vs SNR donde se varia el parámetro noise power en una modulación QPSK con una tasa de codificación de $\frac{1}{2}$.

Desde los niveles de -10 dbm se pudo observar que el audio comienza a reconstruirse y la calidad del audio mejora.

Con esta tasa de codificación se verifica que la calidad de la voz tiende a cambiar respecto a ejecutar la transmisión en un sistema sin codificación.

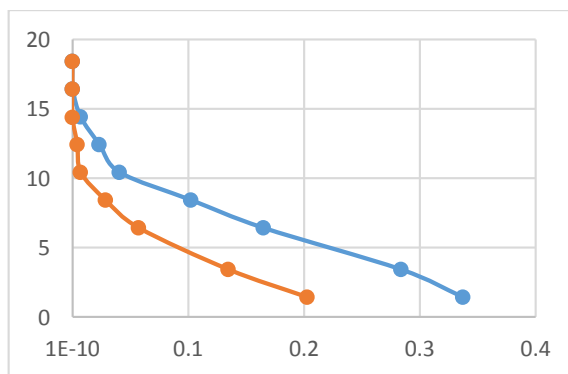


Figura 16: BER vs SNR para 8PSK con codificación 1/2

La figura 16 representa los datos tomados para la modulación 8PSK bajo una codificación de $\frac{1}{2}$, los datos tomados son BER y SNR.

Simulado vs. Real BER Codificación 1/3

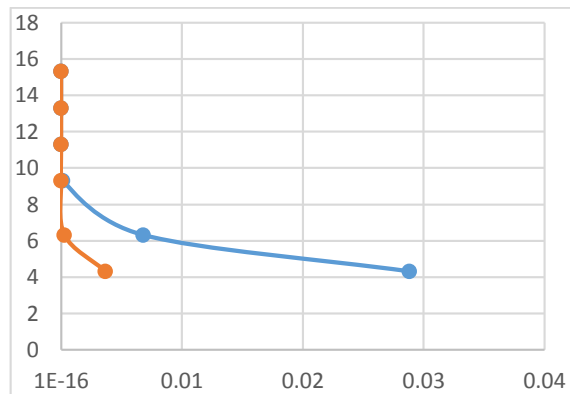


Figura 17: BER vs SNR para QPSK con codificación 1/3

La figura 17 hace referencia a la toma de medidas cuando se ejecuta una codificación de 1/3 con una modulación QPSK.

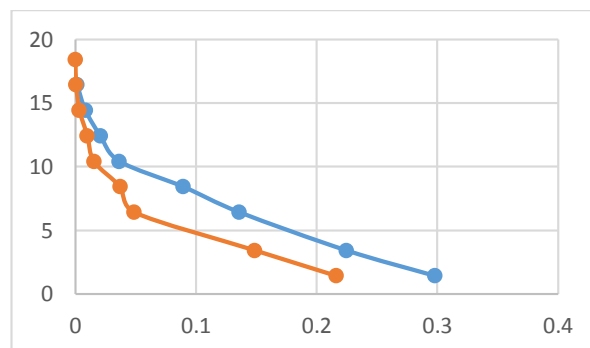


Figura 18: BER vs SNR para 8PSK con codificación 1/3

La figura 18 hace referencia a la toma de medidas cuando se ejecuta una codificación de 1/3 con una modulación 8PSK.

Simulado vs. Real BER Sin codificación

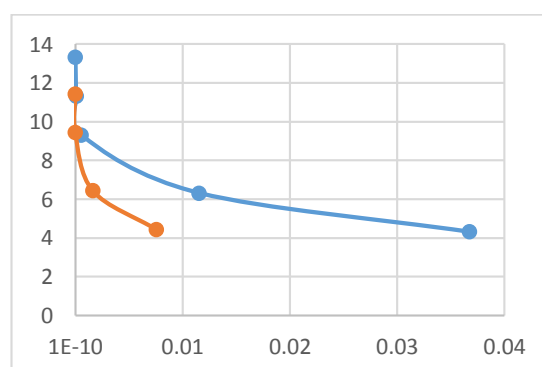


Figura 19: BER vs SNR para QPSK sin codificación

La figura 19 hace referencia a la toma de medidas cuando se ejecuta sin codificación con una modulación QPSK.

Estas pruebas tienen mejor tiempo de respuesta, debido a que el bitstream de audio no tiene ningún tratamiento de codificación.

A continuación, se muestra la Tabla que hace referencia al Canal 4A,

| Delay | Avg Power |
|-------|-----------|
| 0.0 | 0.0 |
| 0.2 | -2.0 |
| 0.4 | -10.0 |
| 0.6 | -20.0 |

Tabla 5.Tabla Canal 4A

La tabla 5 hace referencia a los parámetros definidos para este tipo de canal basado en un tamaño de canal de 4 pasos.

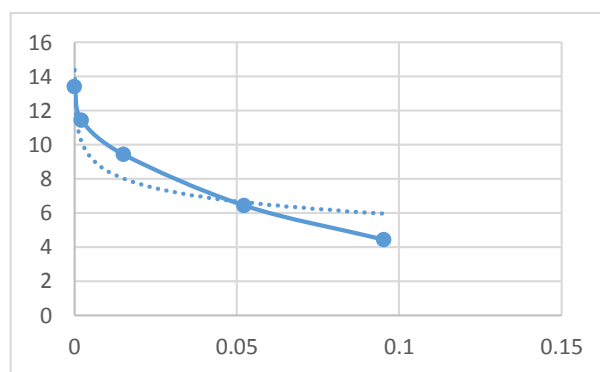


Figura 20:BER vs SNR para QPSK sin codificación para el canal de la Tabla 5.

La figura 20 hace referencia a la toma de medidas con una modulación QPSK simulado en el canal definido en la Tabla 5. Sin codificación.

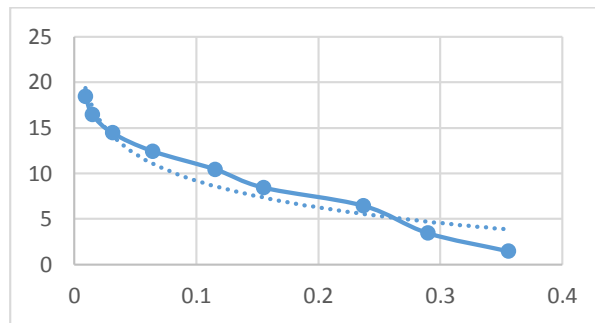


Figura 21. BER vs SNR para 8PSK sin codificación para el canal de la Tabla 5.

La Figura 21 hace referencia a la toma de medidas cuando se ejecuta sin codificación con una modulación 8PSK simulado en el canal definido en la Tabla 4A.

A continuación, se muestra la Tabla que hace referencia al canal 4B,

| Delay | Avg Power |
|--------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 |
| 0.1 | -4.0 |
| 0.2 | -8.0 |
| 0.3 | -12.0 |
| 0.4 | -16.0 |
| 0.5 | -20.0 |

Tabla 6.Tabla Canal 4B

La tabla 6 hace referencia a los parámetros definidos para este tipo de canal basado en un tamaño de canal de 6 pasos.

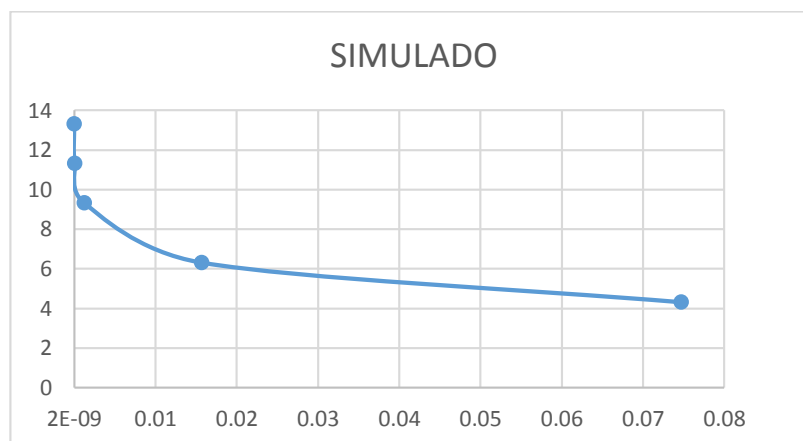


Figura 22: BER vs SNR para QPSK con codificación 1/3 para el canal de la Tabla 4B.

La Figura 22 hace referencia a la toma de medidas con una modulación QPSK simulado en el canal definido en la Tabla 4B. bajo una codificación de 1/3.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Para nuestro sistema simulado se revisa que cuando se tiene el umbral de -18 dbm se comienza a tener un nivel constante de BER en la modulación QPSK.

Para nuestro sistema basado en pruebas reales en niveles de -22 dbm se verifica iguales niveles de BER en una modulación 8 PSK.

En la modulación 8 PSK son mayores los valores de BER a diferencia de QPSK.

Para mejorar el codificador fue necesario dar un tratamiento al audio en su DCT y disminuir la cantidad de componentes transmitida.

El sistema de compresión que se usó en el tratamiento de audio como Huffmann permite que se reduzca el bitstream final que ingresa al codificador convolucional.

Dentro del tratamiento de la codificación del audio se transmite elementos en las colas del sistema, como es la resolución del sistema.

En la codificación convolucional se usa el diagrama de estados de acuerdo al bitstream de audio.

En el decodificador de VITERBI se usa lo referente a máxima probabilidad, en este proyecto se refiere a determinar un posible estado en base a una secuencia recibida.

CONCLUSIONES

La codificación de audio por medio de Huffman permite la optimización del envío de datos, siempre y cuando los parámetros de reconstrucción como el árbol y demás elementos sean debidamente decodificados por el receptor.

El diseñador de una red debe considerar que existe carga de procesamiento al usar los turbo códigos, con las diferentes tasas de codificación.

La modulación 8PSK requiere un tratamiento más complejo, de la señal debido a que se debe determinar los niveles de comparación para los bits a decodificar.

El codificador convolucional desarrollado requiere un trabajo adicional al bitstream, esto debido a que el audio tiene un bitstream más complejo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] "EE49 Laboratory 1 Source Coding," 2011.
- [2] A. VITERBI, "Error Bounds for Convolutional Codes and an Asymptotically," IEEE, 1967.
- [3] A. Francos Romero, "Estudio Teórico de la Arquitectura de Turbo-códigos para aplicaciones de Telefonía Celular de 3G," Puebla, 2007.
- [4] A. Goldsmith, Wireless Communications, Cambridge university Press, 2005.
- [5] M. Mezoa, "Laboratorio Digital Interactivo," 2012.
- [6] S. M. Vasquez, "COMUNICACIONES II," CUCEI, GUADALAJARA.