



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE TASAS DE CODIFICACIÓN CONVOLUCIONAL EN UN SISTEMA INALÁMBRICO OFDM PARA TRANSMISIÓN DE VIDEO EN CANALES MULTITRAYECTORIAS”

EXAMEN COMPLEXIVO, COMPONENTE PRÁCTICO INFORME DE PROYECTO

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Ing. Claudia Malena Tapia Palomino

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mi Familia por ser la guía y soporte en todos los momentos de mi vida.

A mi tutor el Dr. Boris Ramos, a la Ing. Maricela Freire y a mis evaluadores Msc. César Yépez, Edison del Rosario por su gran aporte en el planteamiento, implementación y elaboración de documentación del presente proyecto.

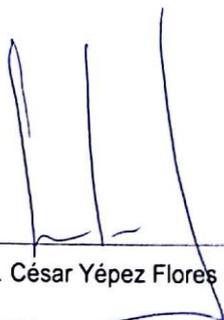
A mis compañeros de maestría que han sido de gran apoyo en este proceso.

DEDICATORIA

Dedicado a mis papás que siempre han sacrificado muchas cosas para que tenga la mejor educación, que son los que han inculcado en mí con su ejemplo que la educación es fundamental en la vida y los que tienen los mejores deseos para que culmine esta etapa con éxito.

A mis hermanos que me ven como ejemplo y que sé que están orgullosos de todo lo que logro en cada paso de mi vida.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



M.Sc. César Yépez Flores
-EVALUADOR



M.Sc. Edison del Rosario Camposano
EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

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

Art. 12 del Reglamento de Graduación.



Claudia Malena Tapia Palomino

C.I.: 0801860792

RESUMEN

En este documento se presenta el diseño, implementación, simulación de un sistema digital de comunicación inalámbrico de múltiples portadoras OFDM para la transmisión de video usando QPSK, 16QAM como modulaciones banda base y un codificador convolucional para darle robustez a la señal haciendo que los efectos del canal como ruido, atenuaciones e interferencia sean mínimos mejorando el desempeño del sistema. Las herramientas que se usan para conseguirlo son el Software LabView y los equipos NI USRP-2920.

Luego de construido el sistema se hace el análisis del desempeño del codificador variando las tasas de codificación, las modulaciones, los canales multitrayectorias para indoor y outdoor obteniendo como resultado valores de BER vs SNR, Rb vs SNR con el fin de concluir de comparar dichas variaciones que hacemos y concluir cual sería la transmisión más óptima de video en el sistema de comunicaciones inalámbrico construido.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA.....	II
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	III
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
CONTENIDO	vi
ABREVIATURAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	12
1. MARCO TEORICO	13
1.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICAS	13
1.2. SISTEMA OFDM.....	¡Error! Marcador no definido.6
1.3. TRANSMISION Y RECEPCION DE VIDEO.....	177
1.3.1. Adquisición de Video	218
1.3.2. Conversion de Video a String	19
1.3.3. Conversion de String a Bit	19
1.3.4. Conversion de Bit a Imagen en la recepción	22
1.4. MODULACIONES DIGITALES.....	20
1.4.1. Modulación QPSK	¡Error! Marcador no definido.
1.4.2. Modulación 16QAM	¡Error! Marcador no definido.2
1.5. CANALES INALÁMBRICOS.....	233
1.5.1. Canales Indoor	¡Error! Marcador no definido.3
1.5.2. Canales Outdoor.....	¡Error! Marcador no definido.4
1.6. CODIFICADOR	¡Error! Marcador no definido.5
1.6.1. Codificador Convolutacional	¡Error! Marcador no definido.5
1.7. SINCRONIZACIÓN	288
1.7.1. Sincronización de Trama	¡Error! Marcador no definido.8
1.7.1. Sincronización de Frecuencia. ¡Error! Marcador no definido.9	

1.8. CIFRADO	¡Error! Marcador no definido.9
1.8.1. Cifrador RC4.....	30
2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	31
2.1. Distorsion de Imagen en presencia de variaciones de ruido¡Error! Marcador no de	
2.2. Análisis del sistema de comunicaciones en base a los resultados obtenidos de BER vs SNR	¡Error! Marcador no definido.3
2.2.1. Respuesta del sistema en los diferentes canales	33
2.2.2. Respuesta del sistema en diferentes tasas de codificación...	38
2.2.3. Respuesta del sistema en diferentes modulaciones.....	40
2.3. Análisis del sistema de acuerdo a los valores obtenidos de Rb vs SNR.....	41
CONCLUSIONES.....	415
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS	500

ABREVIATURAS

BER	Bit Error Rate
ICI	Interferencia Interportadora
ISI	Interferencia Intersimbólica
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
SNR	Signal to Noise Ratio
USRP	Universal Software Radio Peripheral

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Elementos de un sistema de comunicaciones digital inalámbrico ..	13
Fig. 2 Ortogonalidad en OFDM.....	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 3 Prefijo Cíclico.....	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 4 Proceso de adquisición de video.	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 5 Proceso de conversión de imagen a string	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 6 Proceso de conversión String a Bit.....	20
Fig. 7 Proceso de conversión de Bit a Imagen	20
Fig. 8 Constelación de la Modulación QPSK.....	21
Fig. 9 Constelación de la Modulación 16-QAM.....	22
Fig. 10 Canal Multitrayectorias	23
Fig. 11 Perfil de potencia de retardos canal Outdoor A,B.....	24
Fig. 12 Perfil de potencia de retardos canal Indoor Real – Ambiente Oficina.....	25
Fig. 13 Codificador Convolutacional	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 14 Bloque Codificador Convolutacional Labview	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 15 Bloque Decodificador Convolutacional Labview	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 16 Cifrador RC4.....	30
Fig. 17 Distorsión en QPSK, codif. Tasa 2/3, canal Outdoor A	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 18 BER vs SNR modulación QPSK, canales Outdoor Rural A, Outdoor Rural B, Real: sin Codificador, con Codificador tasa ½, Codificador tasa 2/3	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 19 BER vs SNR modulación QPSK, canales Outdoor Rural A, Outdoor Rural B, Real: sin Codificador, con Codificador tasa ½, Codificador tasa 2/3	35

Fig. 20 BER vs SNR modulación 16QAM, canales Outdoor Rural A, Outdoor Rural B, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 21 BER vs SNR modulación 16QAM, canales Outdoor Rural A, Outdoor Rural B, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$	38
Fig. 22 BER vs SNR modulación QPSK, canales Outdoor Rural A, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$	39
Fig. 23 BER vs SNR modulación 16QAM, canales Outdoor Rural A, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$	39
Fig. 24 BER vs SNR modulación QPSK, canales Outdoor Rural A, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$	40
Fig. 25 BER vs SNR modulación 16QAM, canales Outdoor Rural A, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$	41
Fig. 26 Rb vs SNR modulación QPSK, canal Outdoor Rural A: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$	42
Fig. 27 Rb vs SNR modulación QPSK, canal Outdoor Rural B: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 28 Rb vs SNR modulación QPSK, canal Indoor Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$	43
Fig. 29 Rb vs SNR modulación 16QAM, canal Outdoor Rural A: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$	44
Fig. 30 Rb vs SNR modulación 16QAM, canal Indoor Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Canales Multitrayectoria Outdoor Rural.....	24
Tabla 2. Distorsión de imagen en presencia de Ruido	32

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los usuarios de servicios telecomunicaciones demandan cada vez más velocidad y calidad en los servicios, por ello los sistemas de comunicaciones se deben ir desarrollando para ser capaces de soportar las necesidades de los usuarios.

En sistemas de comunicaciones de banda ancha actuales de cable e inalámbricos como televisión digital terrestre, radio digital, ADSL, transmisión inalámbrica, telefonía móvil es muy común encontrar que se usa modulación OFDM por su excelente desempeño en el aprovechamiento del sistema debido a que aprovecha el ancho de banda porque lo divide en múltiples subportadoras y además es muy bueno en canales que presentan multitrayectorias.

Además dentro de los sistemas de comunicaciones para dar calidad de servicio es importante codificar el canal para hacer la detección y corrección de errores.

Por lo expuesto, en este documento se hará el análisis de los efectos de un codificador en un sistema de comunicación digital inalámbrico basado en OFDM para asegurar que la recepción de la señal sea correcta.

En este proyecto se usó como base las prácticas del manual Digital Wireless Communication Physical Layer Exploration Lab Using the NI USR [1] y sobre esa información se hace la implementación del sistema de comunicaciones inalámbrico.

1. MARCO TEORICO

1.1. SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

Un sistema de comunicaciones inalámbricas es el que describe todo el proceso que se lleva a cabo para que exista la debida transmisión y recepción de la señal usando como medio de transmisión el espectro radioeléctrico, dichas ondas radioeléctricas se propagan a través del aire llevando la información desde el transmisor hasta el receptor. En la Fig. 1 se puede observar el sistema usado en este proyecto.

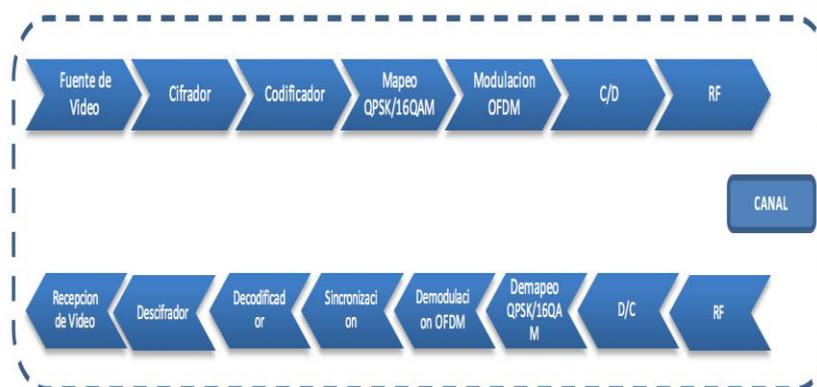


Fig. 1. Elementos de un sistema de comunicaciones digital inalámbrico

En el transmisor se tiene:

- La fuente que para este proyecto se está usando video.
- Cifrado para darle seguridad por medio de contraseña al video que se va transmitir.

- Codificador que añade redundancia a la información que se está transmitiendo para darle robustez a la señal en su paso por el canal inalámbrico.
- Mapeo QPSK o 16QAM recibe la señal en bits y la convierte en símbolos que nos otra cosa que una señal compleja
- Modulación OFDM convierte los símbolos de las constelaciones QPSK o 16QAM en símbolos OFDM
- Aunque no se muestra en la figura luego se hace inserción de secuencia de entrenamiento consiste en aumentarle unos bits en forma de etiqueta al inicio de la trama a transmitir, el UpSampling que inserta ceros para que se pueda formar bien el tren de pulsos y el filtro de formación de pulsos que es donde se forman los pulsos haciendo discretos los símbolos que recibe.
- D/C hace la conversión de la señal discreta a RF que es la señal que se envía por el canal.

El medio de transmisión:

- Es un canal multitrayectoria con presencia de ruido.

En el receptor se tiene:

- C/D recibe señal RF y la convierte en continua
- Aunque no se muestra en la figura luego se debe colocar un filtro de acoplamiento el cual recibe señal continua y la convierte en símbolo,

un DownSampling para eliminar los ceros insertados por el UpSampling.

- Sincronización de trama que se usa para resolver los retardos que se han dado en el sistema por efectos del canal y sincronización de frecuencia para resolver los desfases de la frecuencia de portadora.
- Demodulador OFDM convierte los símbolos OFDM en símbolos complejos
- Demapeador QPSK o 16QAM convierte los símbolos complejos en bits.
- Decodificador para eliminar los bits de respaldo que se enviaron.
- Descifrador para poder a través de la contraseña correcta acceder a la visualización del video.

1.2. SISTEMA OFDM

La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales es una técnica de modulación/demodulación que se usa en comunicaciones haciendo que la transmisión de la señal se haga a través de varias subportadoras [2] que se obtienen de la división del ancho de banda del canal en N subportadoras, donde cada una de ellas modula 1 símbolo de la señal y se multiplexa en frecuencia.

En OFDM se logra eficiencia espectral y reducción significativa de la interferencia intersimbólica debido a que cada símbolo MPSK/MQAM están ortogonales entre si tal como se muestra en la Fig. 2 y son asignados a cada subportadora a través de la transformada rápida de Fourier, por ello se puede prestar servicios con alta velocidad de transmisión y calidad.

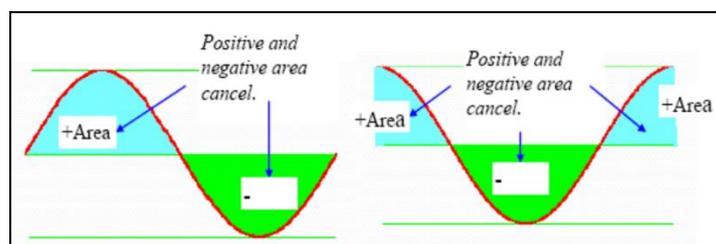


Fig. 2 Ortogonalidad en OFDM

1.3.1. Adquirir video

En el transmisor del sistema de comunicación inalámbrico:

- Se configura la adquisición de la grabación del video (IMAQ Config Grab) que reconoce las cámaras conectadas al equipo, para este proyecto usamos la cámara web que trae incorporada la portátil
- A través de la función Session In iniciamos la sesión de la cámara que se escoja de las disponibles y se crea espacio de memoria (IMAQ Create)
- Se empieza a capturar las imágenes de forma continua (IMAQ Grab), se cierra la sesión (Session Out), se le conecta display para ir visualizando video y finalmente se cierra la cámara (IMAQ Close Camera). El proceso descrito se muestra en el diagrama de la Fig. 4.

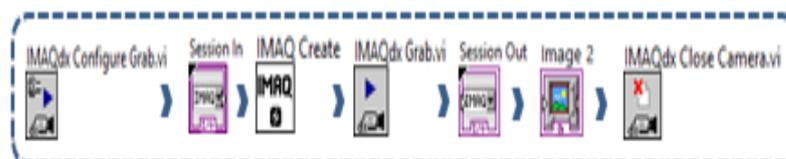


Fig. 4 Proceso de adquisición de video

1.3.2. Conversión de imagen a string

El video capturado para poder procesarlo en el sistema de comunicaciones que se está diseñando:

- Se lo debe convertir a string a través de la función Flatten Image to String de Labview.
- Previa dicha conversión se crea un espacio de memoria con IMAQ Create para hacer configuración del formato de imagen del video que puede ser Gray Scale, Complex, RGB, en este caso se escogió tratar el video como RGB lo cual nos proporciona imágenes a color.
- Además también se configura con la función IMAQ Resample el tamaño de las imágenes que conforman del video tanto el ancho como el alto, para el proyecto se usa dimensión 320x200. El proceso descrito se muestra en la Fig. 5

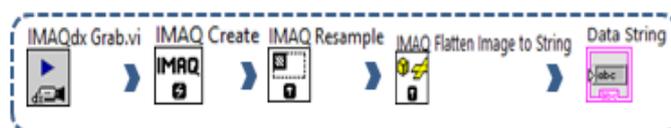


Fig. 5 Proceso de conversión de imagen a string

1.3.3. Conversión de String a Bit

Teniendo el video convertido en String con la ayuda de Labview se programa la conversión de esos strings en bytes, los bytes a booleano y finalmente de booleano a bits que nos van a servir para el siguiente bloque en la transmisión que es el cifrado. El proceso descrito se muestra en la Fig. 6



Fig. 6 Proceso de conversión String a Bit

1.3.4. Conversión de Bit a imagen

Ya en el receptor los bits que se reciben del bloque descifrador a través de programación en Labview se convierten a String, luego se usa función Unflatten from String que hace la conversión de los string a imagen. El proceso descrito se muestra en el diagrama de la Fig. 7

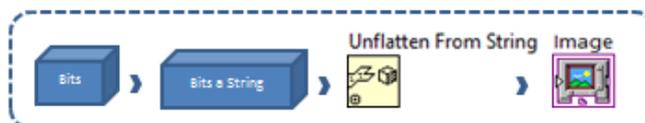


Fig. 7 Proceso de conversión de Bit a Imagen

1.4. MODULACIÓN DIGITAL

El proceso de modulación digital en un sistema de comunicaciones consiste en hacer que el espectro de una señal se cambie a un nuevo rango de frecuencia con el fin de que sea más fácil transmitirla. [4].

Las modulaciones digitales se hacen a sistemas de comunicaciones con rango de frecuencias banda base y pasa banda, en banda base la modulación digital convierte los bits en números complejos y estos a su vez

en forma de onda que se acopla al canal, en pasa banda adicionalmente se desplaza a una frecuencia más alta la señal haciendo que la señal se propague mejor.

En este proyecto se hace uso de modulaciones QPSK y 16QAM las cuales se implementaron de acuerdo a lo que se describe a continuación:

1.4.1. QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying)

En la Fig. 8 se puede observar constelación QPSK obtenida en Labview, básicamente lo que se hizo es que la señal portadora de frecuencia tenga hasta 4 fases de salidas diferentes que la denominaremos M, donde el número de bits por símbolo en esta modulación es $\log_2 M = 2$. [5]

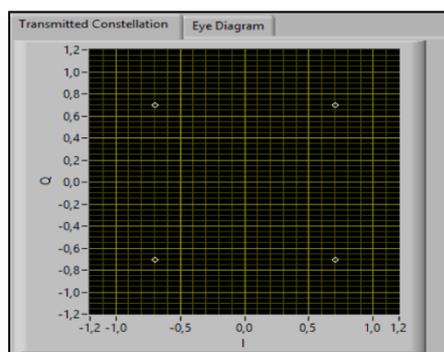


Fig. 8. Constelación de la Modulación QPSK.

Lo importante de QPSK es que en la transmisión mantiene la amplitud constante y varía la fase entre 45° y -45° con separación angular entre los fasores de 90° , logrando mantener la información correcta hasta que se haga la recepción.

1.4.2. 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

En la Fig. 9 se puede observar constelación QPSK obtenida en Labview, básicamente lo que se hizo es que la señal portadora de frecuencia tenga hasta 4 fases de salidas diferentes que la denominaremos M, donde el número de bits por símbolo en esta modulación es $\log_2 M = 2$. [5]

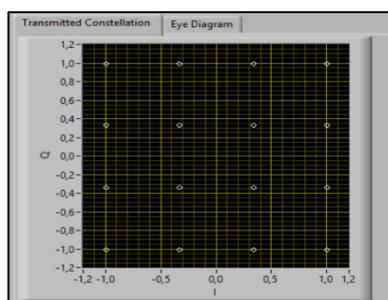


Fig. 9. Constelación de la Modulación QPSK.

Lo importante de QPSK es que en la transmisión mantiene la amplitud constante y varía la fase entre 45 y -45 grados con separación angular entre los fasores de 90 grados, logrando mantener la información correcta hasta que se haga la recepción.

1.5. CANALES INALÁMBRICOS

Un canal inalámbrico es conocido como canal multitrayectorias debido a que la propagación de la señal del transmisor hacia el receptor no es punto a punto, sino que en el aire la señal se puede propagar por diferentes caminos y en lugar de tener una señal únicamente atenuada por la distancia, ver Fig. 10[8] , en canales inalámbricos adicionalmente la señal va difractándose y reflejándose a medida que encuentra obstáculos en su camino dando como resultado en la recepción varias señales repetidas pero con retardos entre ellas que producen interferencia intersimbólica y con la energía repartida entre todos los caminos que recorrió para llegar al receptor.

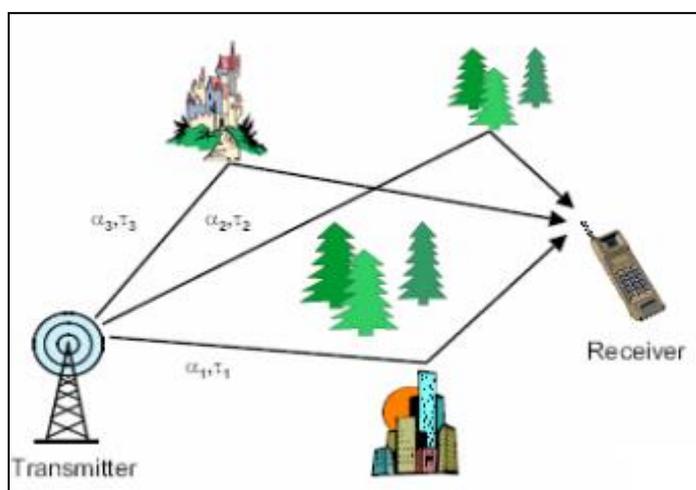


Fig. 10. Canal Multitrayectorias

1.5.1. Canales Outdoor

Para la implementación de este proyecto se usa dentro de la programación del sistema la tabla que se muestra en la Tabla. 1 que se detalla a continuación para simular un ambiente Outdoor, con la tabla Outdoor Rural – Canal A se simula un canal que tiene 4 trayectorias para llegar a la recepción y con la tabla Outdoor Rural – Canal B se simula un canal que tiene 6 trayectorias para llegar al receptor.

Pasos	Outdoor Rural - Canal A		Outdoor Rural - Canal B	
	Delay (useg)	Avg Power(dB)	Delay (useg)	Avg Power(dB)
1	0	0	0	0
2	0,2	-2	0,1	-4
3	0,4	-10	0,2	-8
4	0,6	-20	0,3	-12
5			0,4	-16
6			0,5	-20

Tabla 1 Canales Multitrayectoria Outdoor Rural

De la simulación se obtiene la respuesta impulso del canal, donde se puede observar el retardo y la amplitud de la potencia para cada canal Outdoor A, Outdoor B, ver Fig. 11.

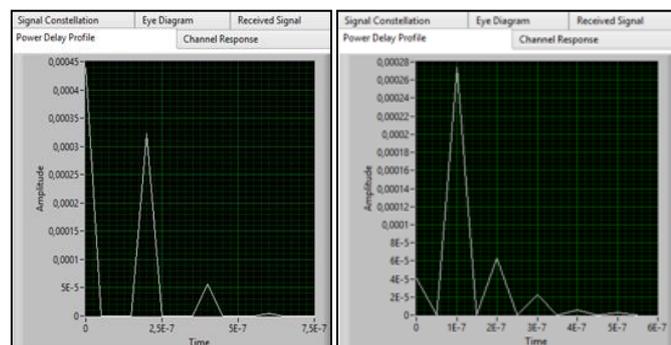


Fig. 11. Perfil de potencia de retardos canal Outdoor A,B

1.5.2. Canal Indoor Real – Ambiente de Oficina

Para la implementación de este canal se hizo en ambiente de oficina, usando antenas omnidireccionales separándolas 1 metro de distancia.

En la Fig. 12 se muestra que de los datos tomados en Labview en la recepción se puede observar que la señal se transmitió por línea directa es la que está en retardo 0 useg y un camino adicional que esta con retardo de 0.2 useg

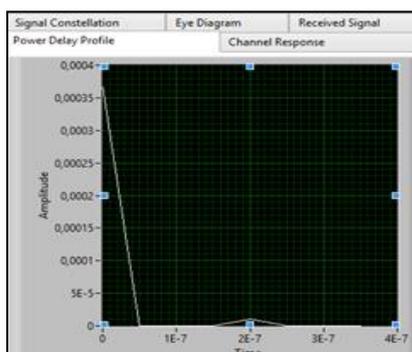


Fig. 12. Perfil de potencia de retardos canal Indoor Real – Ambiente Oficina

1.6. CODIFICACION DE CANAL

Se usa codificación del canal para incluirle a la señal que se está transmitiendo redundancia y a través de un decodificador en el receptor corregir errores asegurando la recuperación de forma correcta la señal.

Para incluir la redundancia se usa tasas que relacionan la cantidad de bits en la entrada con la cantidad de bits en la salida.

1.6.1. Codificador Convolutacional

Un codificador convolutacional para obtener la información codificada en un instante de tiempo se basa no solo en los bits actuales a codificar sino que también en los bits anteriores codificados, por lo cual es considerado un sistema lineal invariante en el tiempo, con memoria y discreto.

Para implementar un codificador convolutacional los k bits que se desean codificar se pasan por un grupo de registros de desplazamiento de longitud L

que se conectan a tantos sumadores módulo 2 como bits de salida que quieran tener obteniendo una secuencia de salida de n bits como se muestra en la Fig. 13[9]

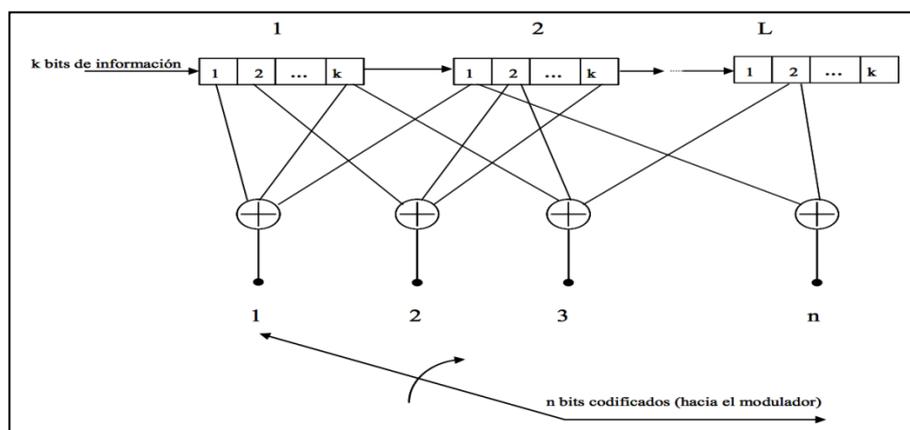


Fig. 13. Codificador Convolucional

El deslizamiento a través del registro de desplazamiento se da cada vez que llega un ciclo de reloj la secuencia de entrada que va pasando por el registro de desplazamiento se desplaza k bits obteniendo los n bits en la secuencia de salida. Además en un codificador convolucional se define k/n como la tasa a la cual trabaja el codificador.

El codificador convolucional al recibir los k bits que se desean codificar a través él va pasando de un estado a otro a medida que van llegando dichos k bits. Por ello se puede hacer con ellos un diagrama que muestre todas esas transiciones, pero en estos diagramas de estado no se muestran las evoluciones de las transiciones y tampoco se puede ver las salidas a medida que van llegando las cadenas de k bits al codificador convolucional, por ello se usa un diagrama conocido como Trellis que permite visualizar la transición

entre los estados en función del tiempo ya que relaciona la secuencia de los k bits de entrada con el código generado en un determinado momento.

En una codificación convolucional la corrección de errores viene dada en función de la distancia libre (d_{free}) que es el camino que partiendo del estado inicial $000\dots 0$ regresa a dicho estado con el menor número de unos en la secuencia de salida siendo $d_{free} = \text{número de unos presentes en esa secuencia}$, es decir es capaz de corregir $(d_{free} - 1)/2$ errores por cada nL bits del código.

En este proyecto se hizo uso del bloque Codificador de Labview que se encuentra en: RF Communication-> Modulation ->Digital -> Channel Coding -> MT Convolutional Encode, ver Fig. 14

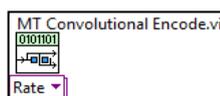


Fig. 14. Bloque Codificador Convolucional Labview

Además para la decodificación se hizo uso del bloque: RF Communication -> Modulation ->Digital -> Channel Decode-> MT Convolutional Decode, ver Fig. 15

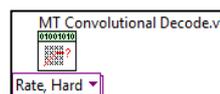


Fig. 15. Bloque Decodificador Convolucional Labview

Dichos bloques ya traen la programación lista para codificar y decodificar que se basan en el funcionamiento descrito previamente.

1.7. SINCRONIZACIÓN

La sincronización en sistemas de comunicaciones es importante porque sirve para evitar los efectos que se producen debido a variaciones tanto en tiempo y en frecuencia, más aun si estamos trabajando en un sistema multi portadora

Las variaciones en el tiempo producen que la transformada de Fourier también desplace los símbolos porque se estará introduciendo error en la fase entre dos subportadoras adyacentes haciendo que se roten los datos al demodularse y que se presente la interferencia intersimbólica , las variaciones en la frecuencia se dan por la diferencia de frecuencia entre los osciladores del transmisor y receptor o por el efecto Doppler generado por el movimiento de los terminales y hacen que se pierda la ortogonalidad entre las portadoras haciendo que se haga presente la interferencia interportadoras y recepción incorrecta de los datos debido a que se produce rotación de la fase de las subportadoras.

1.7.1. Sincronización de Trama

La sincronización de trama usada en este proyecto es la basada en algoritmo de Schmidl & Cox con el fin de corregir los retardos que son múltiplos de los periodos de símbolos.

Este algoritmo se usa en el receptor y se basa en estimar el desplazamiento de trama producido por el canal y así identificar el inicio de la trama a través de la búsqueda de dos secuencias de entrenamiento que son tramas de bits las cuales se le insertan en el transmisor, estas secuencias

de entrenamiento para este proyecto son las definidas por el estándar de la IEEE 802.11a que consta de 12 bits que son modulados en QPSK dando 64 símbolos.

Para hallar el desplazamiento de trama producido por el canal se usa la siguiente relación: $d = \text{argmax}_d M[d]$, donde d es el punto máximo de la métrica de correlación que representa el inicio de la trama, $M[d]$ es una métrica de tiempo que está definida por la relación de $R[d]$ que es la conjugada de la señal de entrada en diferentes instantes de tiempo y $P[d]$ que es la energía de la segunda muestra [10][11].

1.7.2. Sincronización de Frecuencia

La sincronización de frecuencia busca corregir el desplazamiento generado de la frecuencia portadora.

En este proyecto se usa el algoritmo de Moose para lograr la sincronización, dicho algoritmo se basa en usar una secuencia de entrenamiento periódica considerándose un algoritmo autoreferenciado.

1.8. CIFRADO

Cifrado es el mecanismo usado para que terceros no accedan a la información que se está transmitiendo por el canal de comunicación. Se logra el cifrado usando claves en el transmisor para ocultar la información que se envía en el canal.

1.8.1. Cifrado RC4

Para hacer demostración de cifrado en este proyecto se usa el cifrado RC4 dada su simplicidad de implementación y eficiencia, es muy común entre los protocolos de wireless pero cabe recalcar que hay cifradores con algoritmos más complejos y seguros en la actualidad.

El algoritmo RC4 se considera un cifrador de flujo porque hace el cifrado bit a bit, además se considera un cifrador simétrico porque usa la operación binaria XOR que hace posible que en la recepción para hacer el descifrado el proceso sea el mismo usando la misma clave.

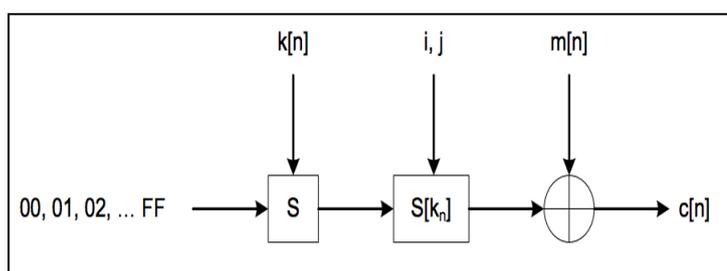


Fig. 16. Cifrador RC4

De acuerdo a la Fig. 16[12], básicamente lo que se hace es lo siguiente: se genera un arreglo hexadecimal de 0 a 255 bytes dando como resultado un arreglo S que va de 00 a FF. Seguido de esto se hace una operación matemática mod256 de la suma cada byte de la clave original $k[n]$ (convertida de ASCII a bytes) con el arreglo S obteniendo como resultado el generador de códigos pseudoaleatorios que es el arreglo $S[k_n]$ donde i, j son los índices de arreglo, finalmente se hace el XOR del generador de códigos pseudoaleatorios obtenido con los bits de la información a transmitir $m[n]$ dando como resultado la información cifrada $c[n]$.

2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el sistema de comunicación ya implementado se empieza a transmitir el video por el canal de comunicaciones inalámbrico multitrectorias para hacer las variaciones que se van a presentar a continuación y analizar la información que se recibe a través de los datos de BER vs SNR, Rb vs SNR.

Al hacer la transmisión de video para obtener los datos de BER vs SNR se empieza a variar el ruido, para este proyecto se tomaron datos variándolo de -30 a -2 en pasos de dos en dos y para cada iteración obtenemos un valor de BER y un valor de SNR.

Para obtener los datos de Rb vs SNR, primero se calcula el Rb para lo cual se debe conocer la tasa de muestreo de acuerdo a la modulación que se esté usando y se multiplica por la tasa de símbolo, esa tasa de símbolo es el inverso del tiempo de símbolo, el tiempo de símbolo es el retardo con el cual están separado cada paso de nuestro canal multitrectorias usado.

Luego se hace variaciones del ruido en la transmisión desde -30 de dos en dos hasta encontrar el punto en que el video que se transmite empiece a distorsionarse y ese va a ser el valor de SNR que se usara. Para este proyecto los equipos USRPs solo soportan Rb de 35Mbps, en los casos que el Rb es mayor al soportado no se analiza.

2.1. Distorsión de Imagen en presencia de variaciones de ruido

Al hacer variaciones del ruido en el transmisor el video se empieza a distorsionar a partir de ciertos valores dependiendo de la modulación y si se está o no codificando el canal, por ello se presenta a continuación los resultados obtenidos:

Canal	Ruido empieza a distorsionar video en QPSK	Ruido empieza a distorsionar video en 16QAM
Canal Outdoor Rural A sin codificación	-14	-22
Canal Outdoor Rural A codificación 1/2	-8	-16
Canal Outdoor Rural A codificación 2/3	-10	-20
Canal Outdoor Rural B sin codificación	-12	-26
Canal Outdoor Rural B codificación 2/3	-8	-14
Canal Outdoor Rural B codificación 1/2	-6	-14
Canal Indoor Real sin codificación	-8	-16
Canal Indoor Real codificación 2/3	-2	-10
Canal Indoor Real codificación 1/2	-4	-8

Tabla 2 Distorsión de imagen en presencia de Ruido

Se puede observar en la Tabla 2 que el sistema de comunicaciones se empieza a distorsionar más pronto si no se usa codificación y soporta más ruido cuando se hace codificación convolucional de tasa $\frac{1}{2}$.

En la fig. 17 se muestra uno de los resultados obtenidos en Labview cuando se hizo transmisión con modulación QPSK de la cual se observa claramente la constelación, codificación convolucional del canal con tasa $\frac{2}{3}$, canal Outdoor Rural A de 4 pasos. Con ruido de -10 el canal sistema de comunicaciones empieza recibir el video distorsionado.

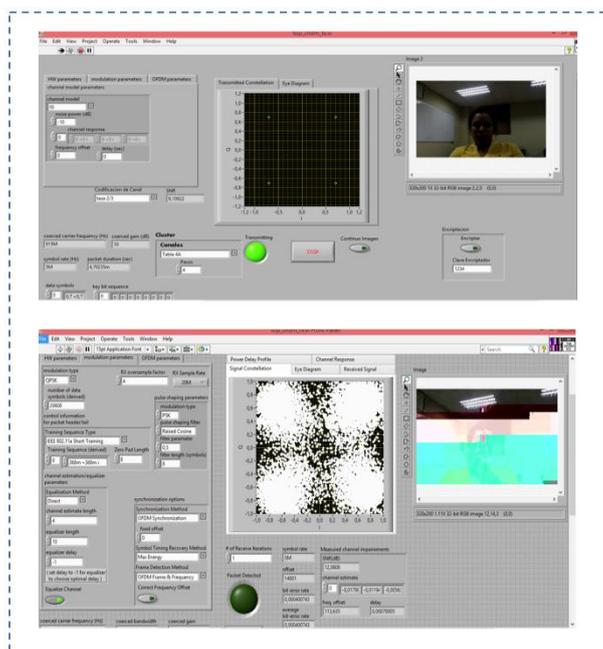


Fig. 17. Distorsión en QPSK, codif. Tasa 2/3, canal Outdoor A

2.2. Análisis del sistema de comunicaciones en base a los resultados obtenidos de BER vs SNR

2.2.1. Respuesta del sistema en los diferentes canales

Probando el sistema de comunicaciones en la versión simulada con modulación QPSK en canales Indoor y Outdoor, sin uso de codificador y con uso de codificador convolucional como se muestra en la Fig. 18 se puede observar que la respuesta Canal Indoor Real sin codificar, con codificación convolucional tasa 1/2 , tasa 2/3 es mejor porque tienen menor probabilidad de recibir bits erróneos (BER) y menor relación señal a ruido(SNR) que el canal Outdoor Rural A, Outdoor Rural B, esto se da debido a que se hizo simulación de ambiente real con canal AWGN y los canales Outdoor Rural A,

Outdoor Rural B que se detallaron previamente tienen entre 4 y 6 obstáculos o trayectorias que hacen que se degrade más la señal.

En las gráficas también se puede observar que el canal Outdoor Rural B se comporta mejor que el canal Outdoor Rural A porque el retardo entre cada paso es menor, estos retardos se los detallo previamente en la Tabla 1.

Además se puede ver en este sistema que tomando como referencia el mejor canal que se mencionó previamente es decir el Indoor Real, modulando en QPSK al hacer la transmisión usando codificación convolucional en tasa $\frac{1}{2}$ es mejor que hacer la transmisión sin codificación o con codificación con tasa $\frac{2}{3}$ porque presenta menores niveles de BER y SNR

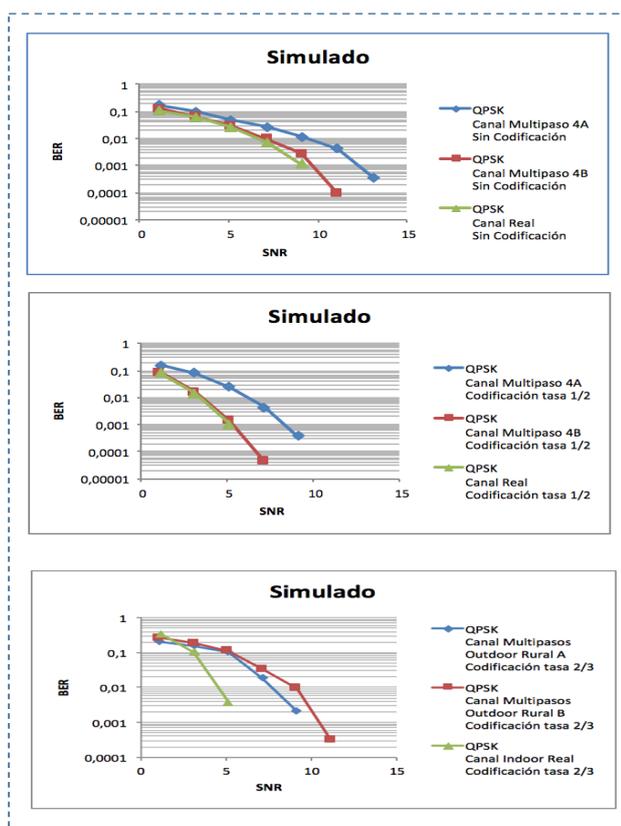


Fig. 18. BER vs SNR modulación QPSK, canales Outdoor Rural A, Outdoor Rural B, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Simulado

Al hacer las pruebas en el sistema real con modulación QPSK en canales Indoor y Outdoor, sin uso de codificador y con uso de codificador convolucional, se puede validar que la tendencia es la misma que ya se explicó en el sistema simulado. Ver Fig. 19

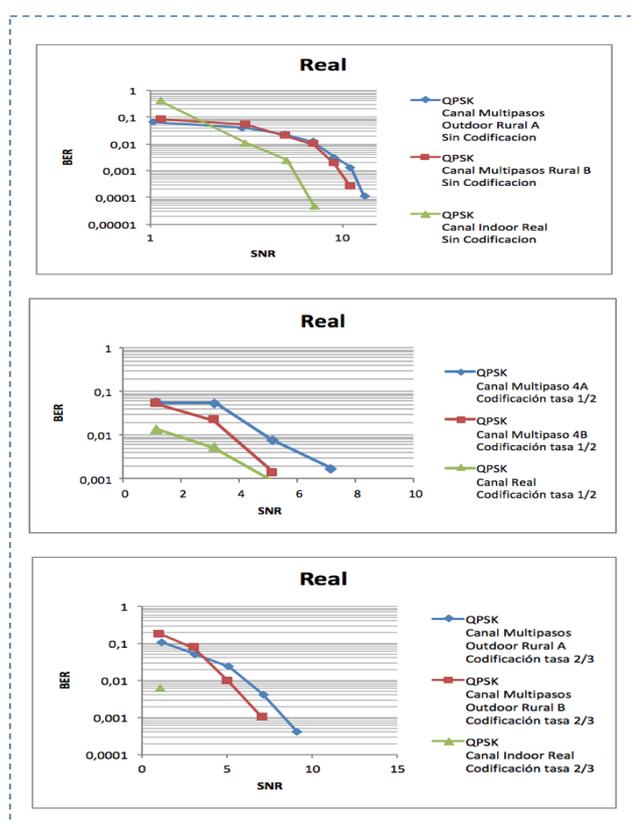


Fig. 19. BER vs SNR modulación QPSK, canales Outdoor Rural A, Outdoor Rural B, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Real

Probando el sistema de comunicaciones en la versión simulada con modulación 16QAM en canales Indoor y Outdoor, sin uso de codificador y con uso de codificador convolucional como se muestra en la Fig. 20 se puede observar que la respuesta Canal Indoor Real sin codificar, con codificación convolucional con tasa $1/2$, tasa $2/3$ es mejor porque tienen menor probabilidad de recibir bits erróneos (BER) y menor relación señal a ruido(SNR) que el canal Outdoor Rural A, Outdoor Rural B, esto se da debido a que se hizo simulación de ambiente real con canal AWGN y los canales Outdoor Rural A, Outdoor Rural B que se detallaron previamente tienen entre 4 y 6 obstáculos o trayectorias que hacen que se degrade más la señal.

En las gráficas también se puede observar que el canal Outdoor Rural B se comporta mejor que el canal Outdoor Rural A porque el retardo entre cada paso es menor, estos retardos se los detallo previamente en la fig.18.

Además se puede ver en este sistema que tomando como referencia el mejor canal que se mencionó previamente es decir el Indoor Real, modulando en 16QAM al hacer la transmisión usando codificación convolucional en tasa $1/2$ es mejor que hacer la transmisión sin codificación o con codificación con tasa $2/3$ porque presenta menores niveles de BER y SNR.

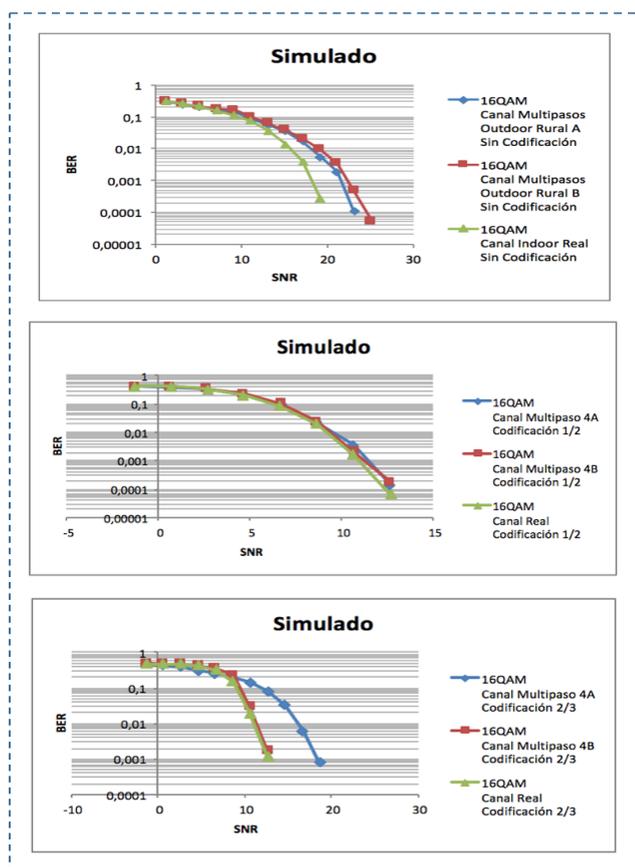


Fig. 20. BER vs SNR modulación 16QAM, canales Outdoor Rural A, Outdoor Rural B, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Simulado

Probando el sistema de comunicaciones en la versión real con modulación 16QAM en canales Indoor y Outdoor, sin uso de codificador y con uso de codificador convolucional se puede observar la misma tendencia que se detalló en el simulado. Ver Fig. 21

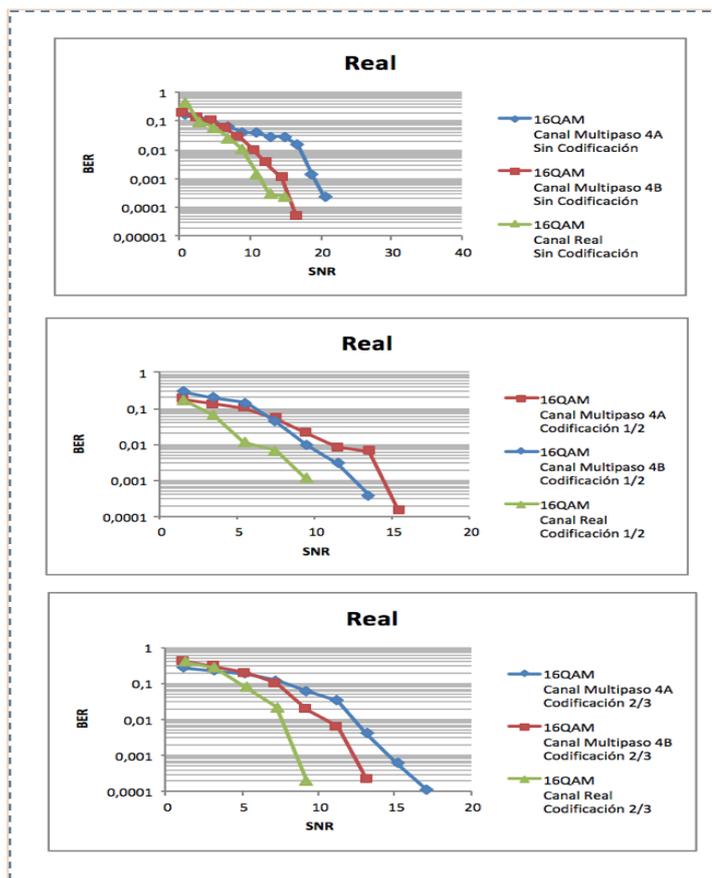


Fig. 21. BER vs SNR modulación 16QAM, canales Outdoor Rural A, Outdoor Rural B, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Real

Respuesta del sistema en diferentes tasas de codificación

Al hacer la prueba del sistema de comunicaciones con modulación QPSK se observa que en canal Indoor real con codificación convolucional de tasa $\frac{1}{2}$ soporta mayores niveles de ruido que al probar nuestro sistema con codificador convolucional de $\frac{2}{3}$ y sin codificación. Además presenta mejor respuesta al ruido que en el canal Outdoor Rural A. Ver Fig. 22

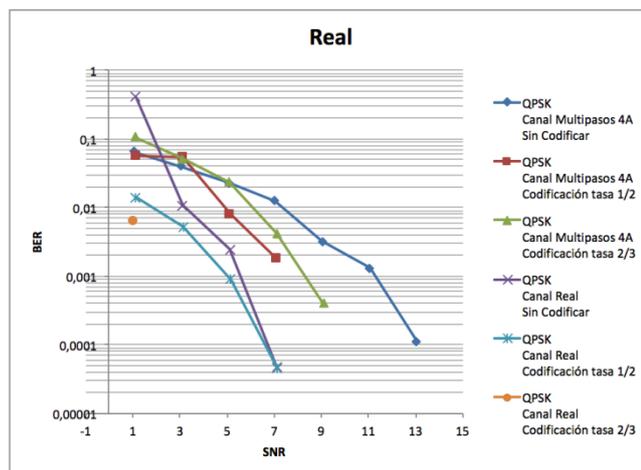


Fig. 22. BER vs SNR modulación QPSK, canales Outdoor Rural A, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Real

Al hacer la prueba del sistema de comunicaciones con modulación 16QAM se observa que en canal Indoor Real con codificación convolucional de tasa $\frac{1}{2}$ soporta mayores niveles de ruido que al probar nuestro sistema con una tasa de codificación $\frac{2}{3}$ y sin codificación. Además presenta mejor respuesta al ruido que en el canal Outdoor Rural A. Ver Fig. 23

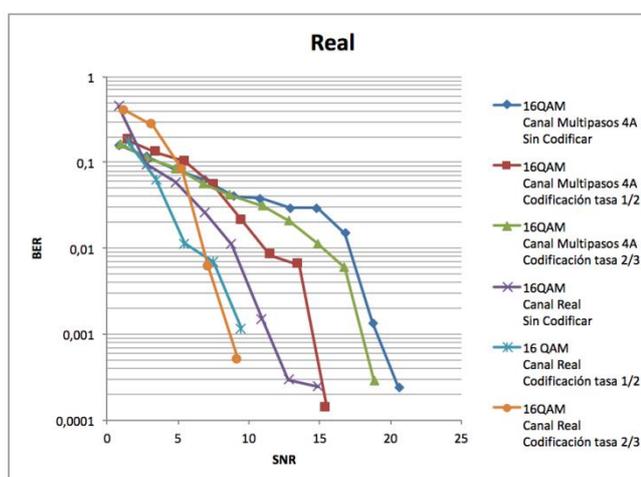


Fig. 23 BER vs SNR modulación 16QAM, canales Outdoor Rural A, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Real

2.2.2. Respuesta del sistema en diferentes modulaciones

Al hacer la prueba del sistema de comunicaciones con modulación QPSK se observa que en canal Indoor real con codificación convolucional de tasa $\frac{1}{2}$ soporta mayores niveles de ruido que al probar nuestro sistema con codificador convolucional de $\frac{2}{3}$ y sin codificación. Además presenta mejor respuesta al ruido que en el canal Outdoor Rural A. Ver Fig. 24

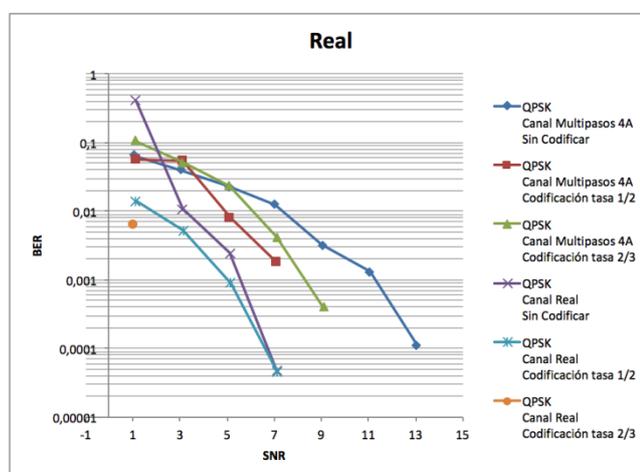


Fig. 24. BER vs SNR modulación QPSK, canales Outdoor Rural A, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Real

Al hacer la prueba del sistema de comunicaciones con modulación 16QAM se observa que en canal Indoor Real con codificación convolucional de tasa $\frac{1}{2}$ soporta mayores niveles de ruido que al probar nuestro sistema con una tasa de codificación $\frac{2}{3}$ y sin codificación. Además presenta mejor respuesta al ruido que en el canal Outdoor Rural A. Ver Fig. 25

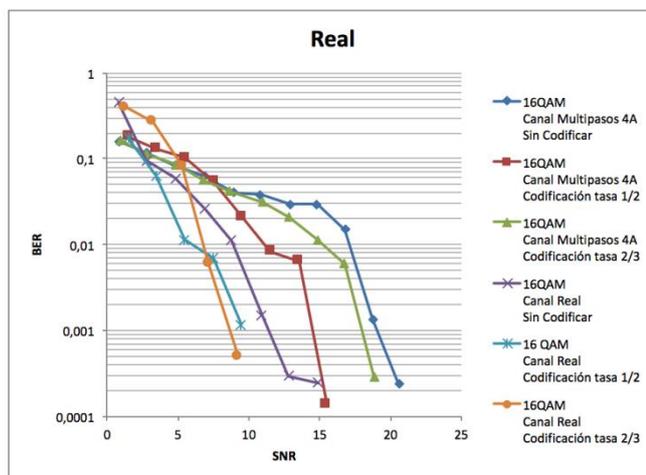


Fig. 25. BER vs SNR modulación 16QAM, canales Outdoor Rural A, Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Real

2.2.3. Análisis del sistema de acuerdo a los valores obtenidos de R_b vs SNR.

Al hacer la transmisión por un canal Outdoor Rural A con modulación QPSK se puede observar que a medida que aumenta tasa de transmisión R_b aumenta el SNR y disminuye el ruido. En este canal cuando se usa codificador convolucional en tasa $\frac{1}{2}$ es más tolerante al ruido que cuando se usó codificador convolucional con tasa $\frac{2}{3}$ o cuando no se usó codificador porque es con el que se obtuvo menor nivel de SNR. Ver Fig. 26

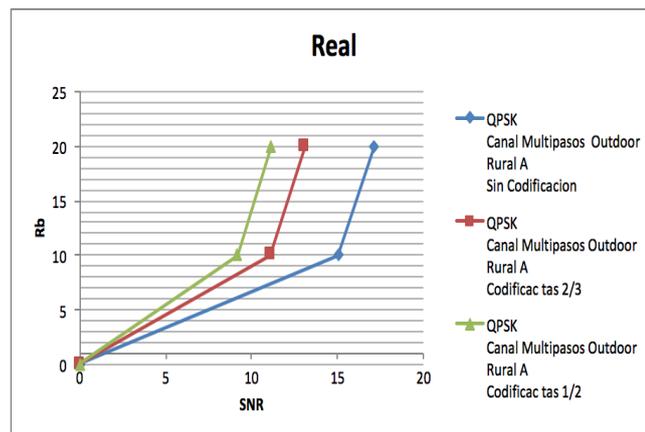


Fig. 26. Rb vs SNR modulación QPSK, canal Outdoor Rural A: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Real

Al hacer la transmisión por un canal Outdoor Rural B con modulación QPSK se puede observar que a medida que aumenta tasa de transmisión Rb aumenta el SNR y disminuye el ruido. En este canal el Codificador convolucional en tasa $\frac{1}{2}$ es más tolerante al ruido porque es con el que se obtuvo menor nivel de SNR con relación a los resultados obtenidos cuando no se usó codificador o cuando se usó codificador convolucional de $\frac{2}{3}$. Ver Fig. 27

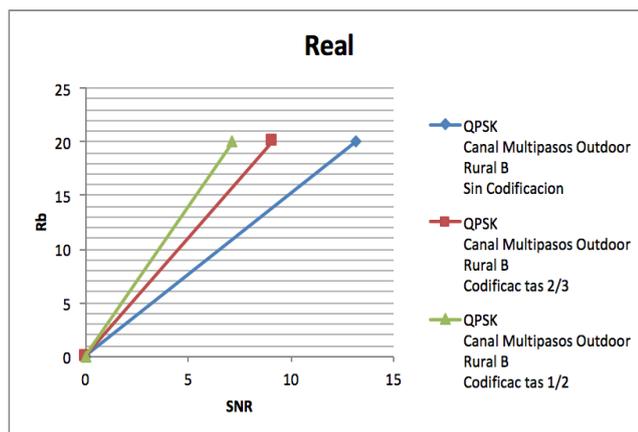


Fig. 27. Rb vs SNR modulación QPSK, canal Outdoor Rural B: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Real

Al hacer la transmisión en un canal Indoor Real con modulación QPSK se puede observar que a medida que aumenta tasa de transmisión Rb aumenta el SNR y disminuye el ruido. En este canal el Codificador convolucional en tasa $\frac{1}{2}$ es más tolerante al ruido porque es con el que se obtuvo menor nivel de SNR con relación a los resultados obtenidos cuando no se usó codificador o cuando se usó codificador convolucional de $\frac{2}{3}$. Ver Fig.28

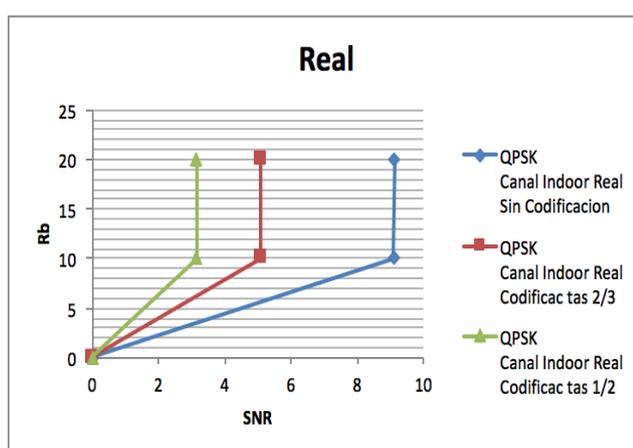


Fig. 28. Rb vs SNR modulación QPSK, canal Indoor Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Real

En la transmisión a través de un canal Outdoor Rural A con modulación 16QAM se puede observar que a medida que aumenta tasa de transmisión Rb aumenta el SNR y disminuye el ruido. En este canal el Codificador convolucional en tasa $\frac{1}{2}$ es más tolerante al ruido porque es con el que se obtuvo menor nivel de SNR con relación a los resultados obtenidos cuando no se usó codificador o cuando se usó codificador convolucional de $\frac{2}{3}$. Ver Fig. 29

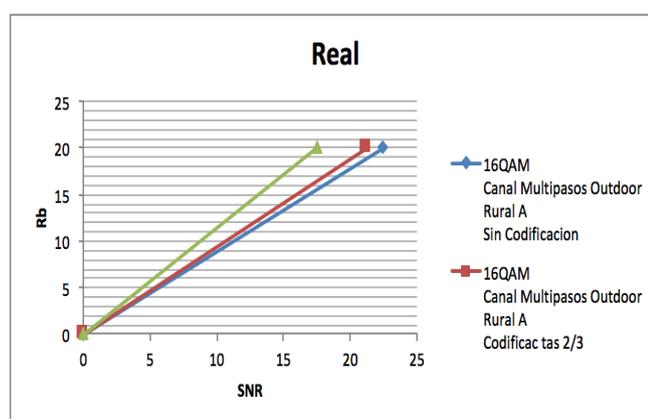


Fig. 29. Rb vs SNR modulación 16QAM, canal Outdoor Rural A: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Real

En la transmisión por a través de un canal Outdoor Rural B con modulación 16QAM se puede observar que a medida que aumenta tasa de transmisión Rb aumenta el SNR y disminuye el ruido. En este canal el Codificador

convolucional en tasa $\frac{1}{2}$ es más tolerante al ruido porque es con el que se obtuvo menor nivel de SNR con relación a los resultados obtenidos cuando no se usó codificador o cuando se usó codificador convolucional de $\frac{2}{3}$. Ver Fig. 30

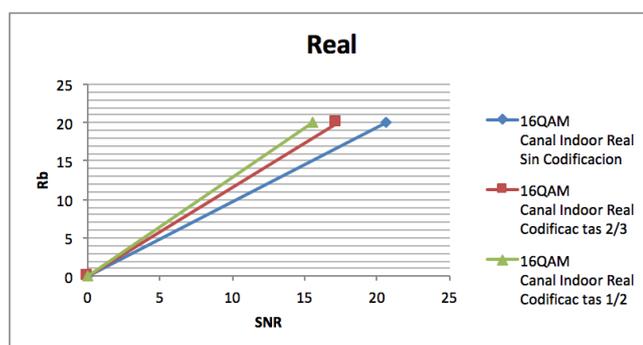


Fig. 30. Rb vs SNR modulación 16QAM, canal Indoor Real: sin Codificador, con Codificador tasa $\frac{1}{2}$, Codificador tasa $\frac{2}{3}$ – Sistema Real

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados ya detallados previamente, se puede concluir que al hacer la transmisión del video por el sistema de comunicaciones inalámbrico OFDM , modulando la información en QPSK o en 16 QAM sobre canales Indoor , Outdoor Rural A, Outdoor Rural B, sin uso de codificación y con uso de codificación convolucional en tasas $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$:

En todas las gráficas de BER vs SNR obtenidas la codificación con tasa $\frac{1}{2}$ fue la mejor por ello se puede asegurar que es mejor transmitir codificando

que sin codificar, y que si se codifica la tasa $\frac{1}{2}$ es la mejor opción porque en la recepción hay menos probabilidad de recibir señal errónea. Esto se da porque en la tasa $\frac{1}{2}$ por cada bit que se va a transmitir al codificarse se envían 2 bits que quiere decir que va 1 bit de información más 1 bit de codificación, en cambio en la tasa $\frac{2}{3}$ por cada 2 bits que se van a transmitir al codificarse se envían 3 bits que quiere decir que van 2 bits de información más 1 bit de codificación por ello claramente codificar a tasa $\frac{1}{2}$ resulta más robusto ante la presencia de ruido.

En todas las gráficas obtenidas de BER vs SNR resultó que es mejor hacer la transmisión por un canal Indoor el cual es un canal de ambiente de oficina presentando en la recepción menores niveles de BER que por los canales Outdoor los cuales se configuraron como canales de ambiente Rural. Este resultado se obtiene porque en los canales Outdoor al tener mayor cantidad de pasos implica más retardos en el caso del Rural A hasta 0,6us y en el caso del Rural B hasta 0,5us incrementando la interferencia intersimbólica y por ende mayor probabilidad de recibir señal errónea a diferencia del canal indoor que solo tiene el paso de retardo de 0,2useg dando la ventaja a este canal de ser el más óptimo para la transmisión.

Respecto a las modulaciones al hacer el comparativo entre las dos que se usaron en este proyecto QPSK y 16QAM se obtuvo de las gráficas que lo mejor es hacer la transmisión modulando en QPSK. Esto se da porque a pesar de que con 16QAM se puede hacer transmisión de 4 bits/seg a diferencia de QPSK que transmite a 2bits/seg, no es más óptimo escoger esta modulación por más rápida que sea debido a que se está transmitiendo video por canal multitrayectorias y existe más probabilidad de recibir el video erróneamente, además la separación entre cada símbolo de la constelación

16QAM es menor que la de los símbolos de QPSK haciendo no sea la más óptima debido a que existe mayor presencia de ISI, por ello lo más óptimo es usar QPSK.

De las gráficas de tasa de transmisión de datos R_b vs SNR en los diferentes canales se obtiene que al usar el codificador convolucional con tasa $\frac{1}{2}$ es más tolerante al ruido que cuando no se usó codificador o cuando se usó codificador convolucional de $\frac{2}{3}$, esto se produce debido a que si aumenta tasa de transmisión R_b aumenta el SNR y disminuye el ruido.

BIBLIOGRAFÍA

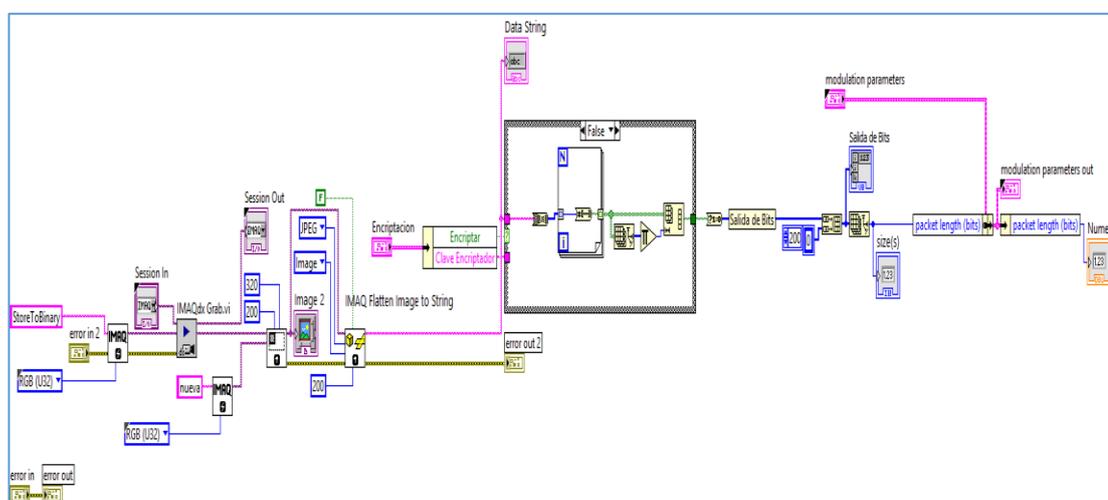
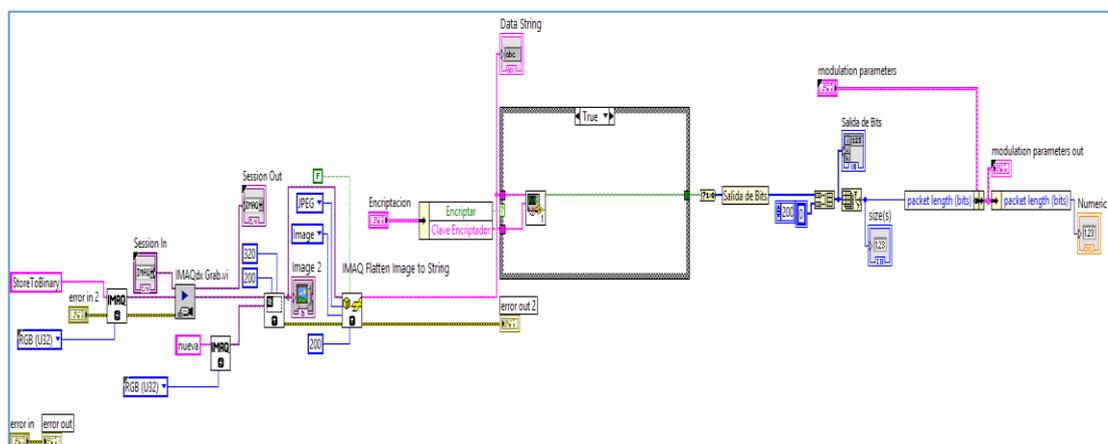
- [1]. Robert w. Heat Jr. Ph.D., PE. "Digital Communications: Physical Layer Lab using the NI USRP Platform", National Technology and Science Press.
- [2]. Jimmy Rodríguez Ordóñez, "Desempeño de la técnica OFDM sobre canales inalámbricos" Universidad de Costa Rica, (2011)
- [3] Pablo Vila, "Modulación OFDM" Albentya Systems. (2013)
- [4]. R. Gallager,(2006) "Channels Modulations and Demodulations". En: Course Materials for 6.450 Principles of Digital Communications I. MIT OpenCourseWare. Massachusetts Institute of Technology. Descargado 24 de Enero de 2014, de <http://ocw.mit.edu/>
- [5]. Joaquín Luna Rodríguez, Sebastián Clavijo, "Modulación de Señales Digitales, Cap. 6", Universidad de Sevilla, Departamento de Tecnología Electrónica.
- [6]. Ramírez, J. y Moreno, J. (2009). "Análisis del Desempeño de la Modulación Wavelet", Popayán: Universidad del Cauca
- [7]. Joaquín Luna Rodríguez, Sebastián Clavijo, "Modulación de Señales Digitales, Cap. 7", Universidad de Sevilla, Departamento de Tecnología Electrónica.
- [8]. Diógenes Marcano "Wimax Móvil, Canal Móvil, Cap. 1, Pág. 24", ATEL ASESORES SC.A
- [9]. Inmaculada Hernández Rioja, "Modulaciones Codificadas Trellis, Códigos Convolutivos" [Online] Disponible: <http://aholab.ehu.es/users/inma/psc/tema5.pdf>
- [10][11]. Víctor Gil Jiménez, "Algoritmos en Transmisión y Recepción para OFDM en entornos multiusuarios, Cap. 3 Modulación OFDM, parámetros y escenarios", Tesis Doctoral, Universidad Carlos III de Madrid
- [12]. Aldo Jiménez Arteaga, "Criptografía de Clave Secreta RC4" [Online] <http://samhain.softgot.com/criptografia/lecturasnotas/algoritmos/rc4.pdf>

- [13]. "Estudio de un sistema CDMA-OFDM", cap. 2, pág. 14, Modulación OFDM, Proyecto de Fin de Carrera. [Online] Disponible: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5_MODULACION_OFDM.pdf
- [14]. S.B. Weinstein y P.M. Ebert. "Data Transmission by Frequency-division Multiplexing using the Discrete Fourier Transform". IEEE Trans. Commun., COM-19(5):628-634, Octubre 1971.
- [15] Sujoy Katan Saha, "Discrete Fourier Transform Fast Fourier & Their Application in Signal Processing" (2010)
- [16]. Wellington Espinoza, Maricela Freire, "Diseño, simulación e implementación de un esquema de detección de trama y de correlación del desplazamiento de frecuencia de un sistema de comunicación inalámbrico de una sola portadora" Tesina de seminario previa para la obtención de título de ingeniero en Electrónica y telecomunicaciones, Escuela Superior Politécnica del litoral. (2014).
- [17]. Timothy M. Schmidl and Donald C. Cox, "Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol. 45, No. 12, December 1997
- [18]. José M. Martínez "Transmisión de Datos, Codificación de Canal", Universidad Autónoma de Madrid (2012)
- [19]. Luis Chávez Torres "Evaluación de desempeño de estimadores de desplazamiento de frecuencia de portadora en sistemas variantes en el tiempo", Universidad de Guadalajara
- [20]. Vergara José, 'Simulación de un Esquema de Modulación/Demodulación OFDM utilizando modelo de Canal Multitrayectoria, Tesis de Grado,, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2008

ANEXOS

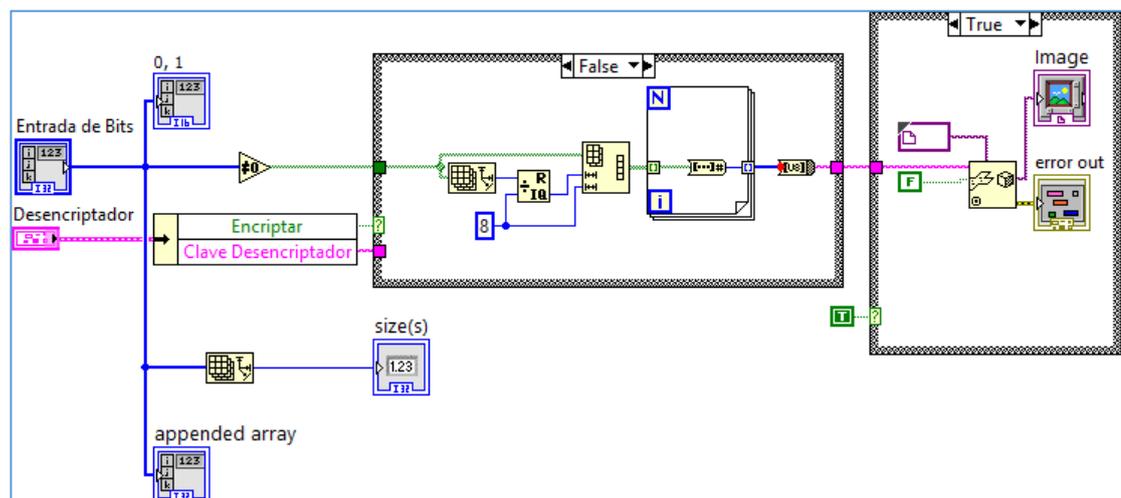
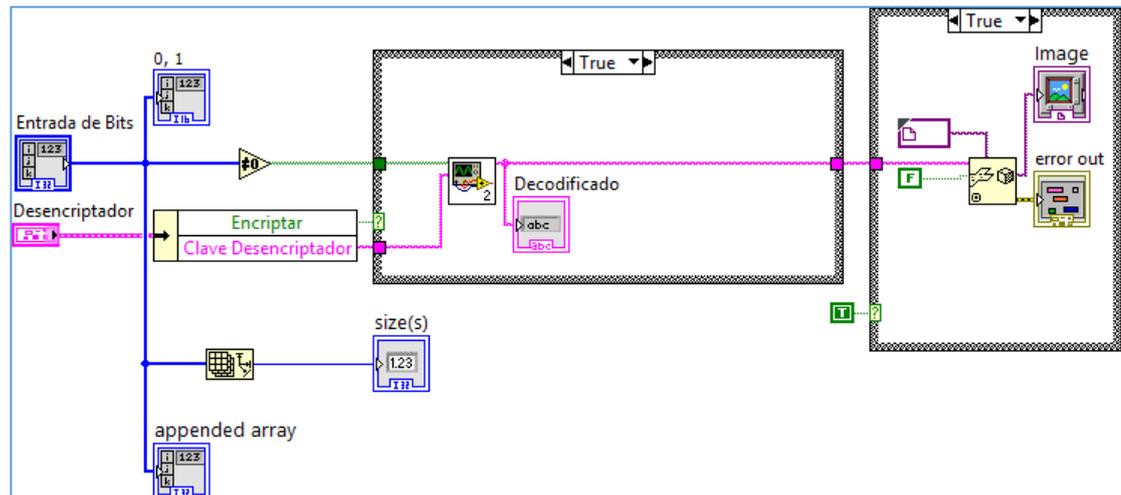
ANEXO 1

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DE FUENTE DE VIDEO A TRANSMITIR



ANEXO 2

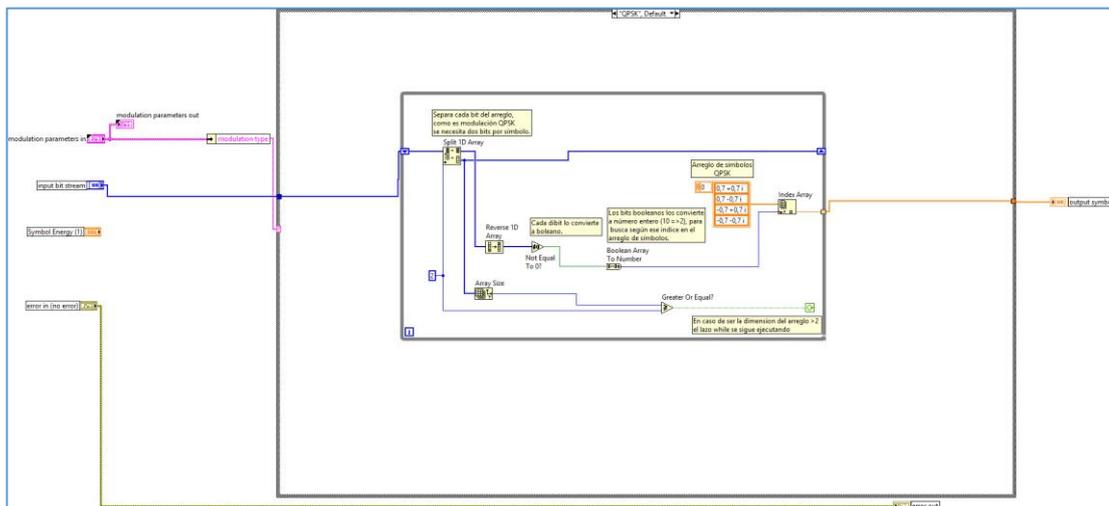
DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DE FUENTE DE VIDEO A RECIBIR



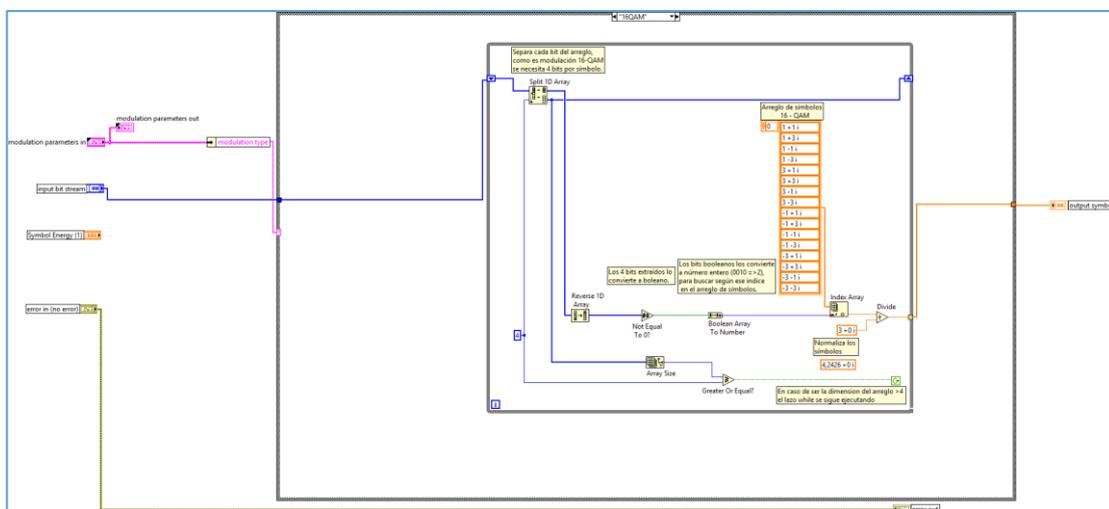
ANEXO 3

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DE MODULACIONES DIGITALES

MODULADOR QPSK



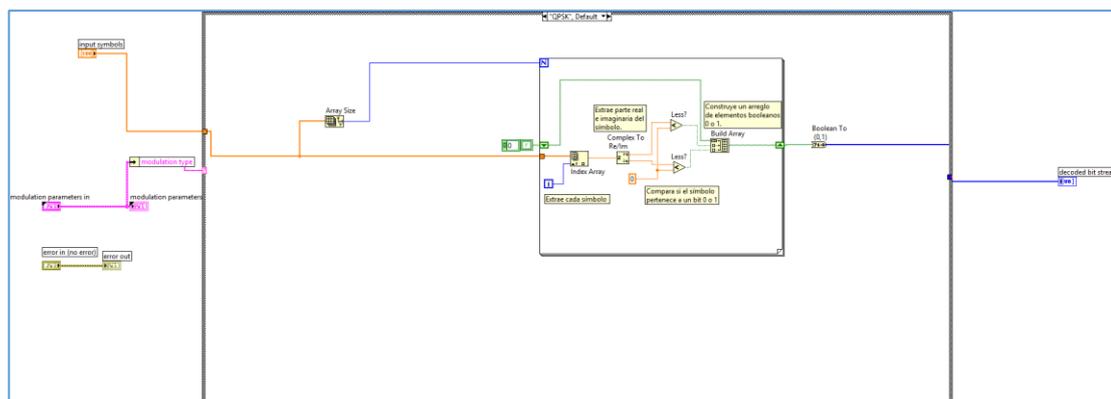
MODULADOR 16QAM



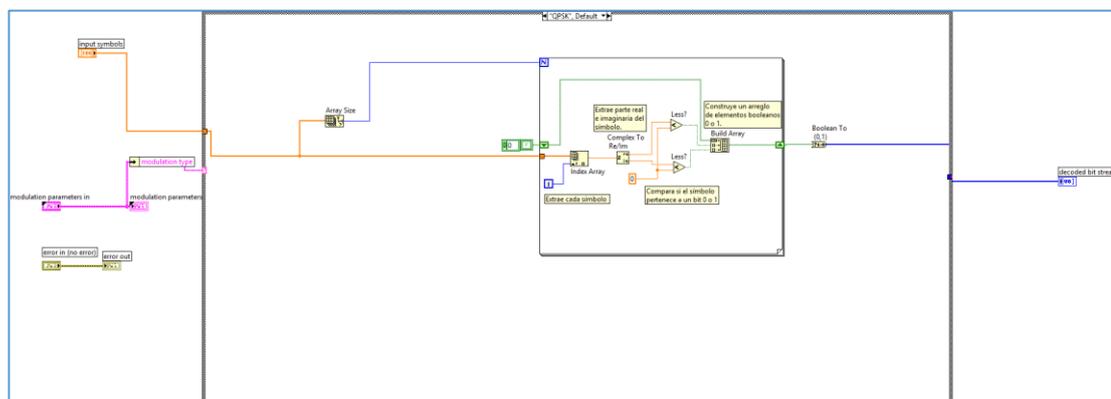
ANEXO 4

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEMODULACIONES DIGITALES

DEMODULACION QPSK



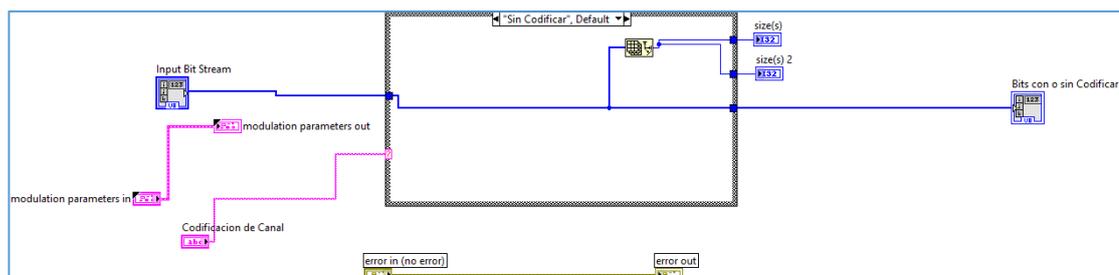
DEMODULACION 16QAM



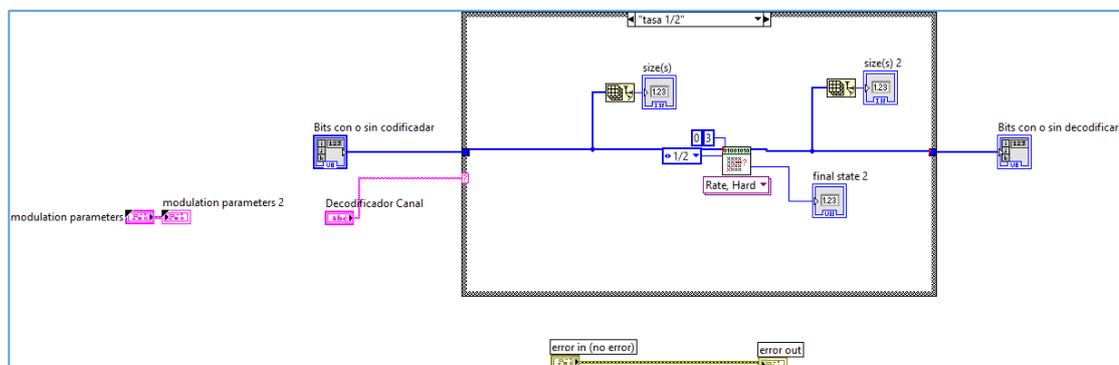
ANEXO 5

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW CODIFICADOR Y DECODIFICADOR CONVOLUCIONAL

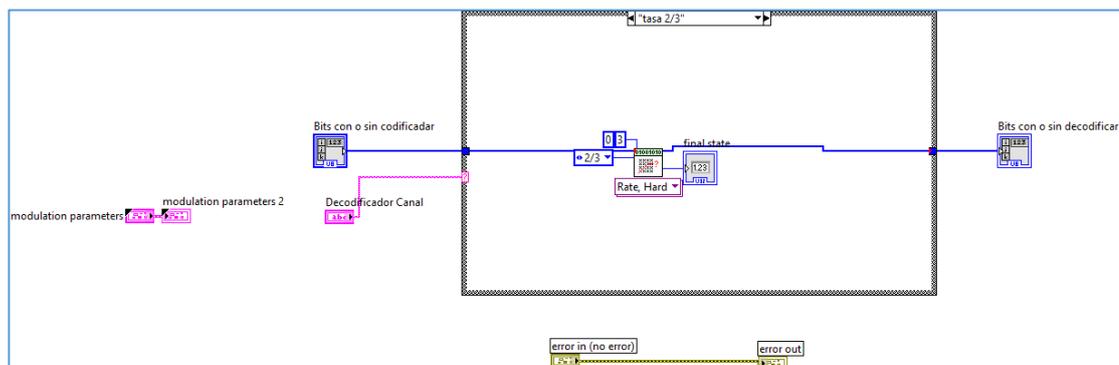
CODIFICADOR CONVOLUCIONAL



DECODIFICADOR CONVOLUCIONAL TASA 1/2



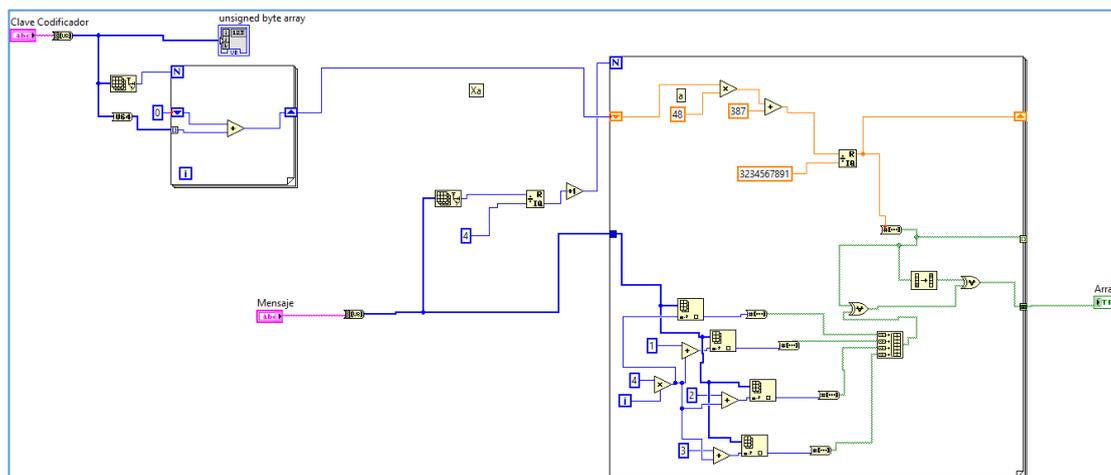
DECODIFICADOR CONVOLUCIONAL TASA 2/3



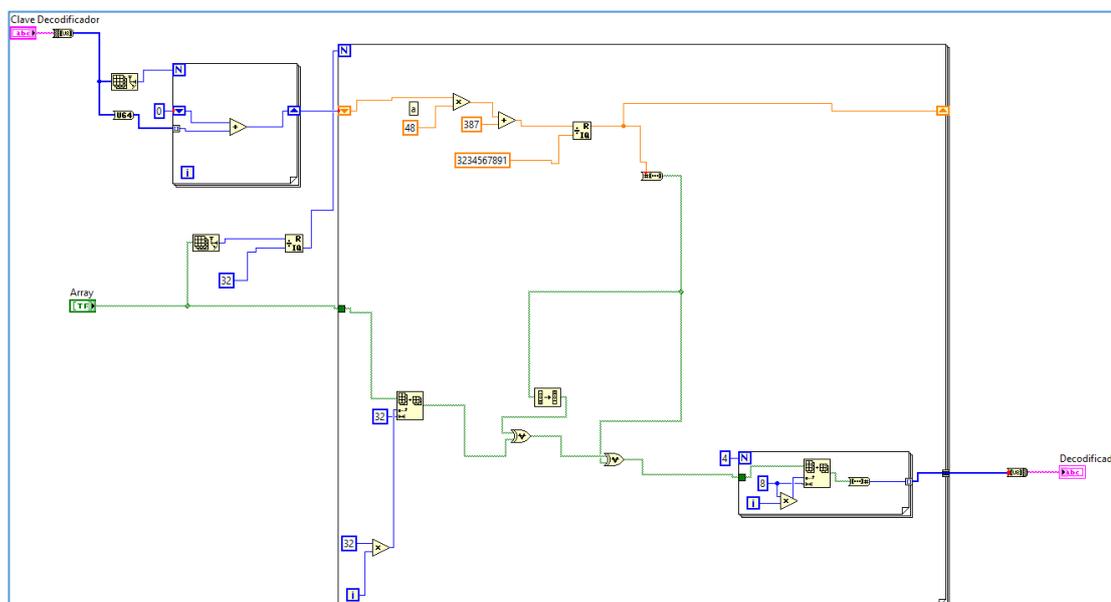
ANEXO 6

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW CIFRADO / DESCIFRADO

CIFRADO



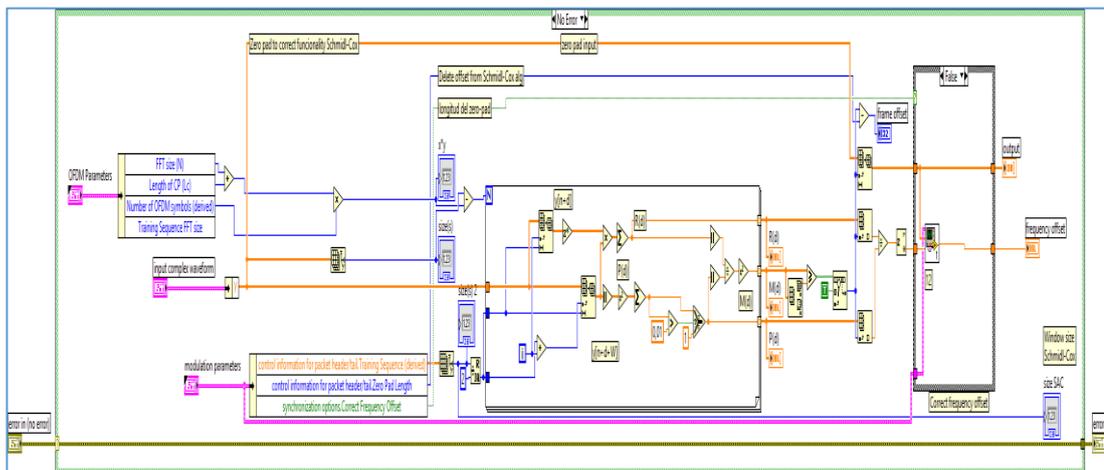
DESCIFRADO



ANEXO 7

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DE SINCRONIZADOR

SCHMIDL&COX



MOOSE

