



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE VIDEO A TRAVÉS DE
CANALES MULTITRAYECTORIA EN UN SISTEMA DE UNA
SOLA PORTADORA USANDO CODIFICADORES”**

INFORME DE PROYECTO

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Ing. Fabián Aurelio Sarmiento Cabrera

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco ante todo a Dios, quien ha sido mi guía celestial a lo largo de mi vida y que gracias a su misericordia me ha permitido concluir un peldaño más en mi vida profesional.

A mis padres, esposa e hijos, por brindarme siempre la motivación de seguir adelante y no flaquear en el intento, ni rendirme en la meta que emprendí en el 2012.

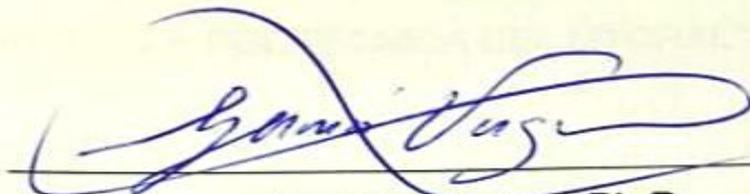
A todos quienes de alguna u otra forma brindan la posibilidad, que el programa de Maestrías en Telecomunicaciones ESPOL, llegue a su culminación con éxitos , no puedo dejar de lado mis sinceros agradecimientos a la Ing. Maricela Freire Barba por contribuir con sus valiosos conocimientos en el presente trabajo.

A mis entrañables amigos MET2, por todo el conocimiento compartido en las largas jornadas académicas de estudio que mantuvimos.

DEDICATORIA

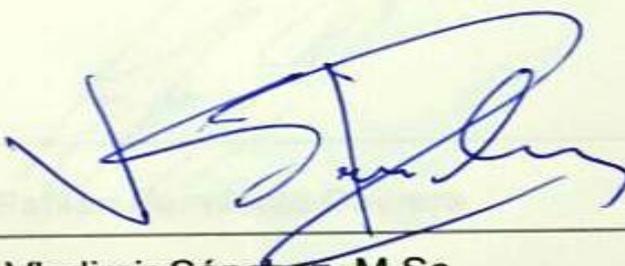
Dedico este logro a Dios, por brindarme la sabiduría para poder llegar a mi objetivo, a mis padres el Sr. Aurelio Sarmiento y Sra. Silvia Cabrera, por haberme enseñado hacer un hombre de bien, a mi hermana Dra. Madeleine Sarmiento, por ser un gran ejemplo a seguir, a mi esposa Ing. Mónica Cunin por estar siempre cuidando de mí en mis noches de estudio brindándome su apoyo incondicional a mis hijos Sebastián y Maximiliano, mis mayores alegrías los cuales me han llenado de ímpetu para seguir adelante, a mi tíos Paulina y Edy los cuales siempre están conmigo en las buenas y en las malas , a mi querida Abuelita Ana por estar siempre ahí apoyando con sus palabras sabias. No alcanzarían las paginas para agradecer a todas las personas que influenciaron de alguna u otra forma en lograr mi logro , pero las llevo plenamente en reconocimiento en mi corazón.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Germán Vargas, Ph.D.

EVALUADOR



Vladimir Sánchez, M.Sc.

EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

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

Art. 12 del Reglamento de Graduación.



Fabián Sarmiento Cabrera

C.I.: 0925544454

RESUMEN

Para el presente proyecto se realizará el diseño, implementación y posterior análisis de un sistema de comunicación inalámbrica para la transmisión y recepción de video en un sistema de una sola portadora, basados en diferentes tipos de modulación y un tipo de codificador específico. Las distinciones para los sistemas a desarrollar se centran en los canales en los cuales se va a transmitir. Siendo los canales Real y Exterior de áreas rurales los que definan las características del medio de los cuales dispondrá el sistema para conocer qué tan eficiente será la transmisión – recepción del video.

En el análisis se evaluarán las gráficas de BER vs. SNR de los ecualizadores, tomando como referencia los diferentes niveles de ruido a lo que dicho sistema es expuesto, el modelamiento de los canales multitrayectoria y la codificación utilizada, para poder conocer la incidencia que tienen en la transmisión y que tipo de soluciones efectivas se pueden tener para mejorar o elegir el canal más óptimo.

El sistema será diseñado en el software LabVIEW en base a los requisitos de diseño y posteriormente, será implementado haciendo uso de los módulos USRP 2920 propietarios de National Instruments.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACIÓN EXPRESA.....	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN.....	vi
CONTENIDO	vii
ABREVIATURAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	12
1. MARCO TEÓRICO	13
1.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	13
1.2. TRANSMISIÓN DE VIDEO	14
1.3. MODULACIÓN DIGITAL	15
1.3.1. Modulación QPSK.....	15
1.3.2. Modulación $\pi/4$ QPSK	17
1.4. CODIFICACIÓN DE CANAL	18
1.4.1. Codificación Convolutiva.....	19
1.5. CANALES MUTITRAYECTORIAS	20
1.6. INTERFERENCIA INTERSIMBÓLICA	23
1.7. ECUALIZACIÓN.....	24
1.8. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	25
1.8.1. Diseño del sistema	25
1.8.2. Procesamiento de video	26
1.8.3. Proceso de transmisión.....	27
2. ANÁLISIS Y RESULTADOS	29

2.1. DISTORSIÓN DE INFORMACIÓN POR EFECTO DE RUIDO	30
2.2. ANÁLISIS DE CANALES MULTITRAYECTORIAS	31
2.3. ANÁLISIS DEL TIPO DE MODULACIÓN.....	33
2.4. ANÁLISIS DE CODIFICADORES CONVOLUCIONALES.....	34
2.5. ANÁLISIS DE LA TASA DE TRANSMISIÓN DE DATOS.....	35
CONCLUSIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	39

ABREVIATURAS

BER	Bit Error Rate
SNR	Signal to Noise Ratio
Tx	Transmitter
Rx	Receiver
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
AWGN	Additive White Gaussian Noise
ISI	Inter Symbol Interference

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Esquema de un sistema de comunicación inalámbrico. [1]	14
Fig. 2. Esquema de transmisión de video.....	15
Fig. 3. Diagrama de constelación de QPSK.	17
Fig. 4. Gráfico de constelación de modulación $\pi/4$ QPSK.....	18
Fig. 5. Esquema del codificador convolucional con L etapas.	19
Fig. 6. Ejemplo de multitrayecto para la red de telefonía móvil.	20
Fig. 7. Perfil de retraso de potencia para Exterior canal A.	21
Fig. 8. Perfil de retraso de potencia para Exterior canal B.	22
Fig. 9. Perfil de retraso de potencia para canal Interior.....	23
Fig. 10. Ejemplo de interferencia intersimbólica.	24
Fig. 11. Diagrama de bloques para transmisión de imágenes.....	27
Fig. 12. Diagrama de bloques para recepción de imágenes.	27
Fig. 13. Esquema del proceso de transmisión usado.....	28
Fig. 14. Diagrama del proceso de recepción en LabVIEW.....	29
Fig. 15. Ejemplo de transmisión y recepción con nivel AWGN infinito.....	30
Fig. 16. Ejemplo de transmisión y recepción con nivel de ruido AWGN de -8 dB.....	31
Fig. 17. BER vs. SNR para QPSK en canal REAL y Exterior áreas rurales. ...	32
Fig. 18. BER vs. SNR para $\pi/4$ QPSK en canal REAL y Exterior áreas rurales.	32
Fig. 19. BER vs. SNR para QPSK y $\pi/4$ QPSK sin codificación.....	33
Fig. 20. Codificadores convolucionales en QPSK.	34
Fig. 21. Codificadores convolucionales en $\pi/4$ QPSK.....	35
Fig. 22. Rb vs. SNR para modulación QPSK.	36
Fig. 23. Rb vs. SNR para modulación $\pi/4$ QPSK.	36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Símbolos con su respectiva fase y nivel de energía.....	16
Tabla 2. Canales Exterior – Áreas Rurales.	21
Tabla 3. Especificaciones del sistema implementado.	26

INTRODUCCIÓN

El hombre en su convicción de mantenerse comunicado se ha enfrentado a vencer las barreras que la distancia coloca para poder manifestar sus ideales y pensamientos en un mensaje, y que este llegue a su destino de la manera más eficiente posible. Hoy en día, existen sistemas de comunicación capaces de recorrer largas distancias, ya sea de forma alámbrica o inalámbrica y así poder hacer llegar la información que desee.

El sistema de comunicación a implementar contempla las características de transmitir en un medio inalámbrico que posee niveles de interferencia, ruido y demás características que pueden mermar la capacidad de comunicación y producir errores en la recepción, que pueden ser desde unos cuantos bits hasta todo el paquete enviado. Estos sistemas se perfeccionan día a día ya sea por el tipo de modulación o por la codificación que se utiliza, primero para poder manejar más información en una misma transmisión y segundo para mantenerla segura desde el origen hasta su destino. Todas estas características serán emuladas en el presente proyecto para determinar las mejores condiciones para la transmisión de video de forma inalámbrica.

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se hará un recuento de todos los fundamentos teóricos esenciales para poder desarrollar el análisis e implementación del proyecto de transmisión inalámbrica de video en una sola portadora.

1.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Los sistemas de comunicación inalámbrica son aquellos en los que se omiten los cables para poder comunicarse (transmisión/recepción), el medio utilizado es el de una onda electromagnética modulada en el espacio, mas no en un medio físico. Estos sistemas se han desarrollado a lo largo del tiempo en base a la consigna de conocer como el canal (medio físico) de comunicación se comporta para que la onda (información) viaje sin problemas y sea recibida integra con el menor error posible y pueda ser tratada por el receptor. [1]

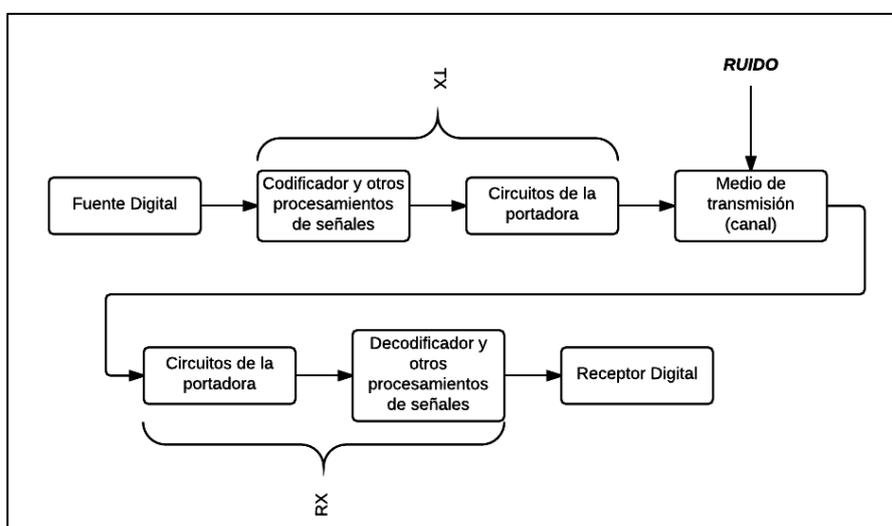


Fig. 1. Esquema de un sistema de comunicación inalámbrico. [1]

En la Fig. 1 se muestra el esquema básico para un sistema de comunicación inalámbrico. La fuente de información procesa la data hacia el codificador (convolucional) para posteriormente modularlo y realizar el respectivo procesamiento de la señal que del lado de receptor será dispuesta en el sentido contrario hasta obtener la información que fue transmitida desde la fuente.

1.2. TRANSMISIÓN DE VIDEO

La transmisión de video es una técnica que consiste básicamente en transmitir imágenes de forma simultanea para que de la percepción de movimiento. En la transmisión, se separan las dos señales que lo componen el audio y el video propiamente dicho. Ambas etapas serán tratadas por separado, es decir, el video y el audio serán encapsulados de forma independiente y enviados a un mismo multiplexor, el cual enviará una única secuencia de transporte que contendrá la información de ambos. [2]

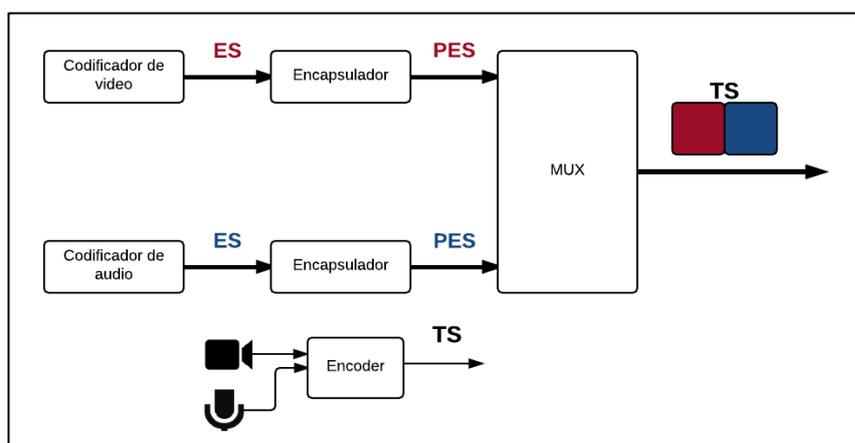


Fig. 2. Esquema de transmisión de video.

En la Fig. 2 se muestra cómo funciona un transmisor de video, ya que, las señales de audio y video son encapsuladas de forma separada para generar una ES (Secuencia Elemental) para cada una. Posteriormente, se codificará la ES generando una PES (Secuencia Elemental Empaquetada), la cual a su vez será ingresada al multiplexor para producir en conjunto (audio y video) la Secuencia de Transporte o TS.

1.3. MODULACIÓN DIGITAL

Las modulaciones digitales comprenden todos los métodos para poder transmitir la información sobre una portadora en términos de los símbolos que se pueda producir. En estos símbolos será colocada la información a transmitir, formándose, las constelaciones de las modulaciones digitales. [3]

1.3.1. Modulación QPSK

La modulación QPSK o modulación por desplazamiento de fase cuaternaria o en cuadratura, consiste en la representación polar de las señales. La portadora se convierte en la referencia tanto para la frecuencia como para la fase, siendo la señal interpretada completamente por la portadora. [4]

En comunicaciones digitales la modulación es comúnmente representada en términos de I (Fase) y Q (Cuadratura), es decir,

las representaciones rectangulares de las componentes de la señal a transmitir. [4]

Símbolo	Fase	S_{i1}	S_{i2}
00	$\pi/4$	$+\sqrt{E/2}$	$-\sqrt{E/2}$
01	$3\pi/4$	$-\sqrt{E/2}$	$-\sqrt{E/2}$
11	$5\pi/4$	$-\sqrt{E/2}$	$+\sqrt{E/2}$
10	$7\pi/4$	$+\sqrt{E/2}$	$+\sqrt{E/2}$

Tabla 1. Símbolos con su respectiva fase y nivel de energía.

En la tabla 1 se definen los símbolos en base a la consigna de que al ser 4, se necesitan 2 bits para poder generar las 4 posibilidades. Por otra parte, la fase se la define en términos de la ecuación 1.

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

Con esto se puede construir la respectiva constelación, la cual esta descrita en la Fig. 3. En ella se presentan las 4 combinaciones posibles del sistema QPSK.

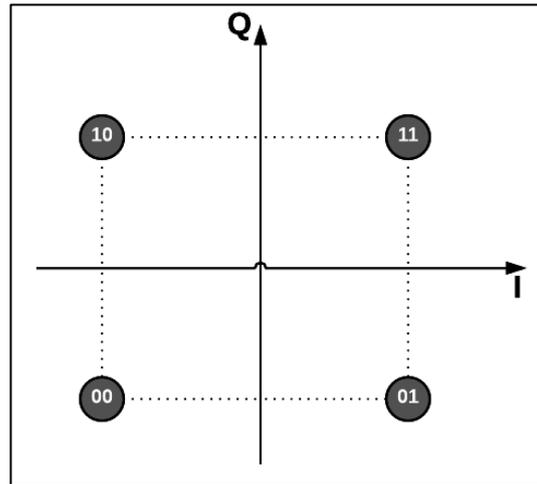


Fig. 3. Diagrama de constelación de QPSK.

1.3.2. Modulación $\pi/4$ QPSK

La modulación $\pi/4$ QPSK es una forma derivada de la modulación QPSK que consiste en una realizar una modulación diferencial, en donde el flujo de bits no se va a modificar, sino que se modificará la norma del modulador de fase. Este cambio de fase se da gracias a que este selecciona el ángulo de salto del siguiente símbolo en función del DIBIT que se vaya a transmitir. [5]

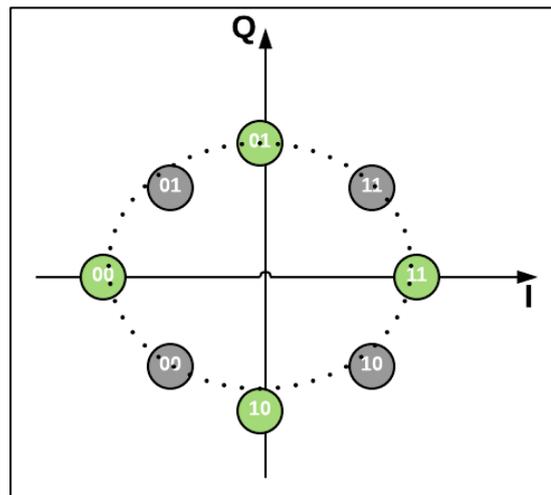


Fig. 4. Gráfico de constelación de modulación $\pi/4$ QPSK.

En la Fig. 4 se tiene el sistema QPSK desfasado (símbolos en verde) convirtiéndose en una modulación QPSK desfasada $\pi/4$.

1.4. CODIFICACIÓN DE CANAL

Dentro de los sistemas de comunicación, existen técnicas capaces de encriptar la información que va a ser transmitida con la finalidad de detectar y corregir errores producidos en dicho canal ya sea por ruido o por distorsiones que se encuentren intrínsecas en el medio o las linealidades del mismo. Este proceso se realiza para que, en el sistema de comunicación, exista confiabilidad y seguridad en la transmisión y recepción de la información que se está transportando. [6]

1.4.1. Codificación Convolutiva

Los códigos convolucionales se generan pasando la secuencia de información que se va a transmitir a través de un registro de desplazamiento, el cual, de manera general, se basa en un registro con L etapas de k bits y n generadores de funciones algebraicas.

[7]

En la Fig. 5 se muestra como en el codificador convolutiva, la secuencia de entrada se desplaza k bits con cada flanco de reloj (ya que el registro de desplazamiento es un elemento digital). Por cada k bits se tienen n bits de salida, siendo la velocidad de código la razón entre estas dos magnitudes.

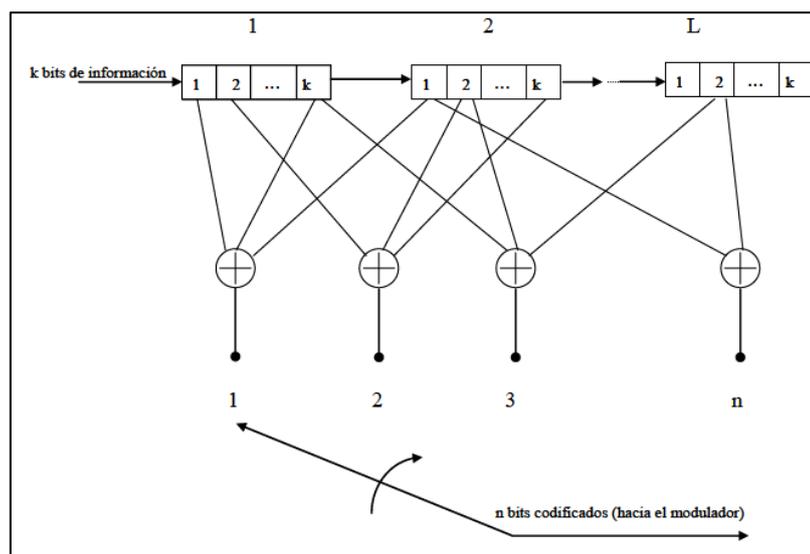


Fig. 5. Esquema del codificador convolutivo con L etapas.

1.5. CANALES MUTITRAYECTORIAS

Los canales multitrayectoria representan el modelo más común en los sistemas de comunicaciones inalámbricas. El uso de los mismos está principalmente en las redes de telefonía celular, ya que, las diferentes trayectorias de la señal al difractarse o dispersarse por chocar con un obstáculo, permiten que la señal tenga diferentes niveles recibidos y puedan afectar de manera constructiva o destructiva al sistema. [8]

Estos diferentes niveles de potencia durante una transmisión se generan por las ondas electromagnéticas que se dispersan en el medio, tal como se muestra en la Fig. 6.

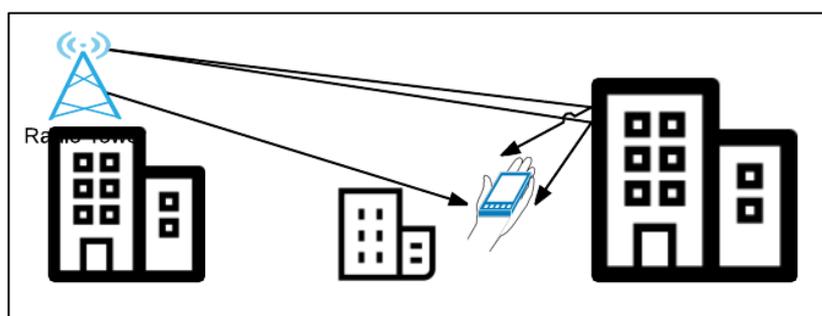


Fig. 6. Ejemplo de multitrayecto para la red de telefonía móvil.

Para el sistema a implementar se tienen los canales Real y Exterior Áreas Rurales, para este último sus características se representan en la tabla 2. Los valores aquí descritos permitirán posteriormente conocer los perfiles de retraso de potencia de cada uno.

Canal A

Canal B

Delay (usec)	Avg Power (dB)	Delay (usec)	Avg Power (dB)
0	0	0	0
0.2	-2	0.1	-4
0.4	-10	0.2	-8
0.6	-20	0.3	-12
		0.4	-16
		0.5	-20

Tabla 2. Canales Exterior – Áreas Rurales.

En la tabla 2 se describen las características de potencia y de SNR para el canal Exterior de áreas rurales. Dichos valores representan el perfil de retraso de potencia para el canal A y el canal B respectivamente.

Es en base a estas características que se produjeron los perfiles de retraso de potencia mediante LabVIEW.

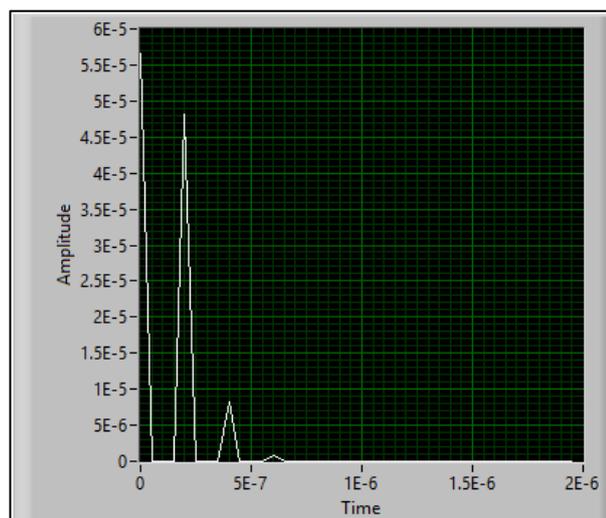


Fig. 7. Perfil de retraso de potencia para Exterior canal A.

En la figura 7 se muestra el perfil de retraso de potencia para el canal A de Exterior – Áreas rurales, en ella se muestran 4 trayectorias que recorren la señal con un retraso de $0.2 \mu\text{s}$.

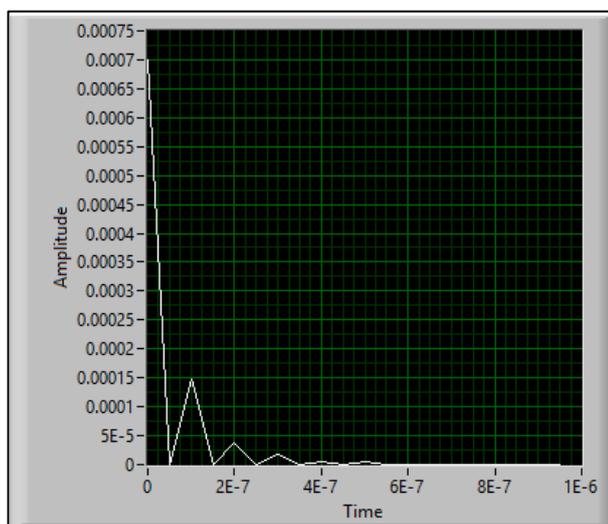


Fig. 8. Perfil de retraso de potencia para Exterior canal B.

En la figura 7 se muestra el perfil de retraso de potencia para el canal A de Exterior – Áreas rurales, en ella se muestran 6 trayectorias que recorren la señal con un retraso de $0.1 \mu\text{s}$.

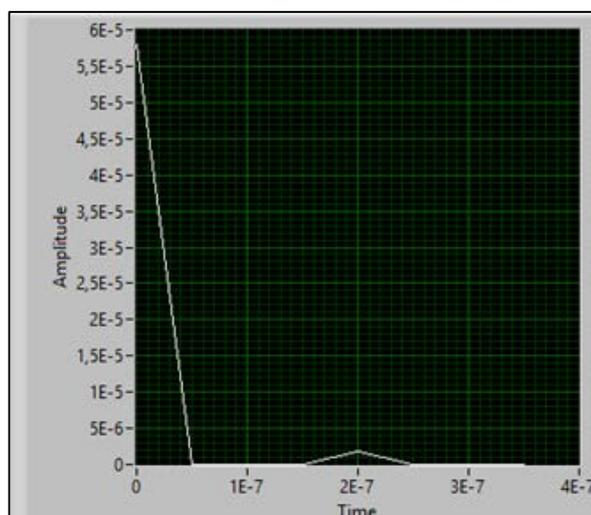


Fig. 9. Perfil de retraso de potencia para canal Interior.

En la Fig. 9 se muestra el perfil de retraso de potencia para un canal inalámbrico con separación de 2 metros entre las antenas, se muestran 2 trayectorias.

1.6. INTERFERENCIA INTERSIMBÓLICA

Dentro de los sistemas de transmisión digital y en los sistemas de telecomunicaciones en general, la distorsión de la señal recibida que se capta, va produciendo desplazamientos temporales en dicha señal, lo que a su vez producirá, solapamiento de los pulsos de la señal hasta que en el receptor no se pueda distinguir los cambios de la que se está recibiendo, como, por ejemplo, las características individuales de la señal. [9]

Esta característica de solapamiento de la señal con los diferentes pulsos, se conoce como interferencia intersimbólica (ISI). La ISI puede deteriorar la señal y comprometer gravemente los datos que se están recibiendo. [10]

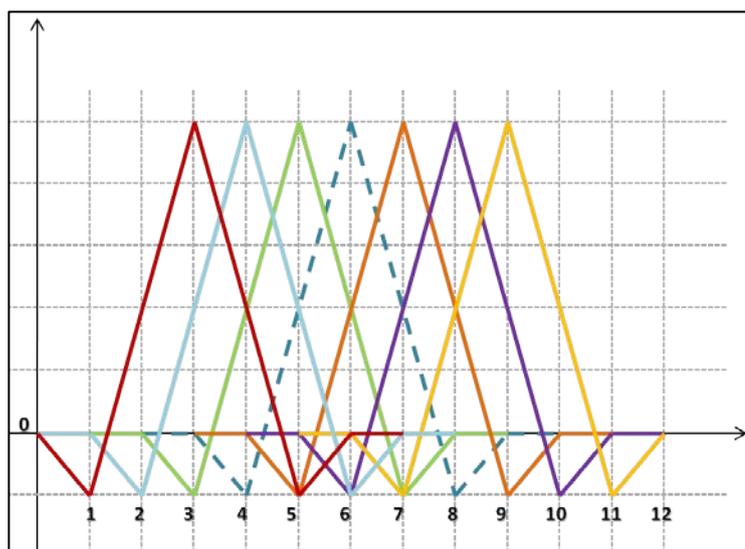


Fig. 10. Ejemplo de interferencia intersimbólica.

En la Fig. 10 se tiene un ejemplo de cómo los pulsos desfasados temporalmente generan solapamiento y por ende interferencia intersimbólica.

1.7. ECUALIZACIÓN

La ecualización dentro de un sistema permite compensar las diferencias que existen en el canal de transmisión, entre las cuales se tiene, la distorsión de fase y la amplitud dependiente de frecuencia.

Aparte de brindar la característica de poder corregir problemas de respuesta de frecuencia del canal, los ecualizadores permiten cancelar los efectos causados por el fenómeno multitrayecto de señal, siendo estos, ecos de voz, desvanecimiento de Rayleigh en los canales de comunicación móviles, entre otros. Los ecualizadores que son específicamente diseñados para corregir el fenómeno de multitrayecto se conocen como ecocanceladores. [11]

Uno de los ecualizadores más implementados, es el ecualizador directo, el cual consiste básicamente en la estimación de mínimos cuadrados simple, es decir, el ecualizador se encuentra directamente de las secuencias de entrenamiento haciendo de este sistema, una robusta solución frente al ruido.

[12]

1.8. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Una vez descritos todos los fundamentos teóricos requeridos para el presente proyecto, se detallarán a continuación todas las pautas seguidas en el proceso de implementación del mismo.

1.8.1. Diseño del sistema

En el sistema implementado, la fuente a transmitir es una señal de video, por lo que se ha utilizado las librerías VISION AND MOTION que provee LabVIEW para aplicar los métodos de compresión y digitalización.

La codificación convolucional será la técnica usada para corregir los efectos del canal, para realizar el análisis del sistema se procederá a variar la tasa de codificación.

Finalmente, el sistema será analizado usando modulaciones QPSK y PI/4QPS, canales multitrayectorias Indoor y Outdoor, adicional se definirán los parámetros de la Tabla 3 como constantes.

Parámetros en Modulación QPSK Y PI/4	
QPSK	
Transmisor y Receptor	
Oversample Factor	4
Sample Rate	20M
Channel Model	ISI
Equalization Method	Direct

Tabla 3. Especificaciones del sistema implementado.

1.8.2. Procesamiento de video

Para el procesamiento de la señal de video se considera el procedimiento mostrado en la Fig. 11, donde se muestra el uso de la función de la librería VISION and MOTION, en primera instancia se toma una imagen obtenida desde la cámara de la PC para luego pasar por los procesos de compresión y devolver en la recepción imágenes digitalizada en formato RGB, el proceso de recepción se detalla en la Fig. 12.

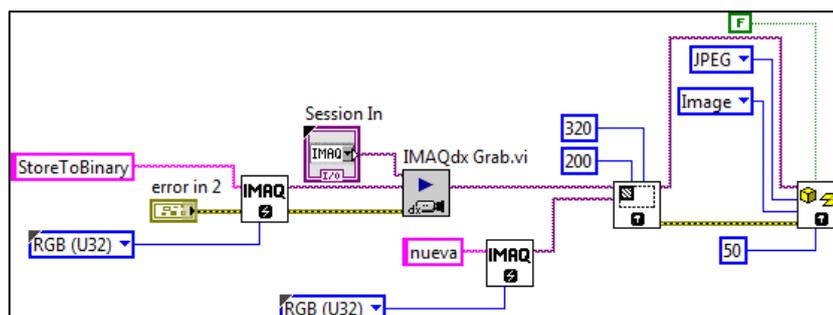


Fig. 11. Diagrama de bloques para transmisión de imágenes.

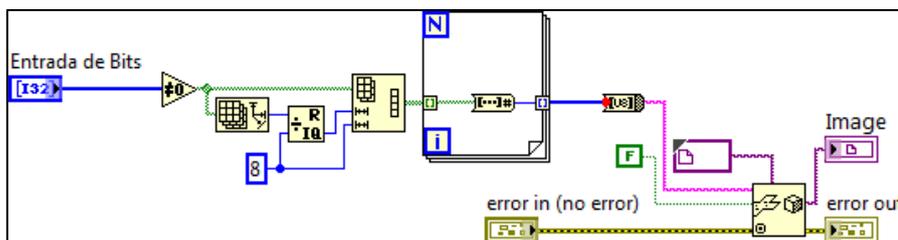


Fig. 12. Diagrama de bloques para recepción de imágenes.

Con el fin de reducir el tiempo de transmisión se optó por definir ciertos parámetros como tamaño de las imágenes 320x200 y resolución 50.

1.8.3. Proceso de transmisión

En el proceso de transmisión se tiene el codificador convolucional que es el que va a permitir eliminar los efectos de canal.

Las imágenes enviadas para formar el video se transformarán en un arreglo binario para luego ser codificados empleando un codificador convolucional, estos bits codificados serán mapeados utilizando modulación QPSK y $\pi/4$ QPSK, tal como se muestra en la Fig. 13.

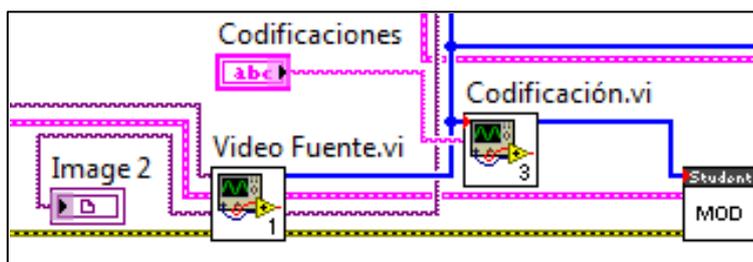


Fig. 13. Esquema del proceso de transmisión usado.

Los símbolos modulados pasan por un filtro formador de pulsos para luego ingresar al bloque del emulador del canal multitrayectoria. El canal será emulado empleando un modelamiento ISI e ingresando los parámetros de respuesta del canal que describirán las trayectorias que recorre la señal desde el transmisor hasta llegar al receptor, adicional también se tendrá un parámetro que permitirá introducir ruido AWGN.

Los canales que se emularán para este proyecto serán los descritos en la Tabla 2, además se realizarán pruebas con un canal AWGN y separación de antenas de 2 metros en el ambiente de Laboratorio.

Una vez recuperados los símbolos en la recepción luego de los procesos de sincronización y ecualización, se procederá con la demodulación y posteriormente con la decodificación convolucional para reconstruir las imágenes enviadas tal como se muestra en la Fig. 14.

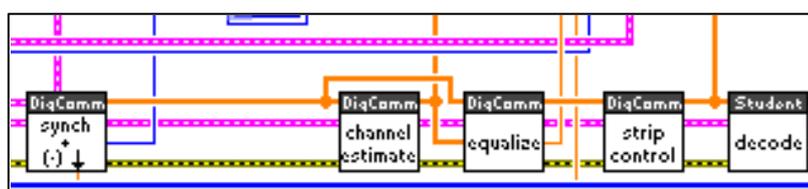


Fig. 14. Diagrama del proceso de recepción en LabVIEW.

2. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos en base a la tasa de error de bit (BER) producido en cada uno de los canales de estudio (REAL y Exterior de áreas rurales A y B) y en función del tipo de modulación implementado (QPSK y $\pi/4$ QPSK). Junto con esto, se analizarán la tasa de datos a la cual transmite cada posible combinación del sistema de transmisión de video implementado. Todo esto se realizó una vez terminada la implementación del sistema, ya que, además se podrá evaluar el mismo en

base a variaciones del nivel de ruido AWGN con la finalidad de observar la degradación o posible distorsión de la señal de video.

2.1. DISTORSIÓN DE INFORMACIÓN POR EFECTO DE RUIDO

En la Fig. 15 se observa una imagen transmitida y recibida sin ruido, sin embargo, al incrementar la potencia del ruido AWGN a -8 dB se observa distorsión en la imagen recibida tal como se muestra en la Fig. 16.

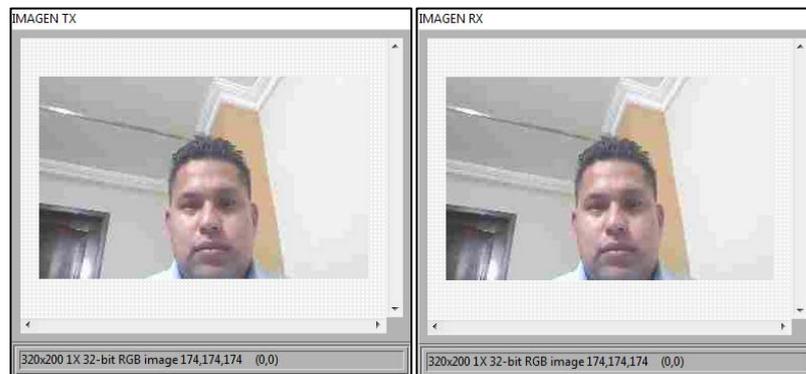


Fig. 15. Ejemplo de transmisión y recepción con nivel AWGN infinito.

En la Fig. 15 se observa como con un nivel de ruido muy alto (infinito) se tiene una calidad de recepción muy alta, sin ningún tipo de distorsión.



Fig. 16. Ejemplo de transmisión y recepción con nivel de ruido AWGN de -8 dB.

En la Fig. 16 se observa como con un nivel de ruido de -8 dB ya se nota una clara distorsión en la recepción de la imagen.

2.2. ANÁLISIS DE CANALES MULTITRAYECTORIAS

A continuación, se detallarán los resultados obtenidos para los canales multitrayectoria implementados, para ambas modulaciones, tanto QPSK y $\pi/4$ QPSK, siendo los canales multitrayectorias, el REAL y el Exterior de áreas rurales.

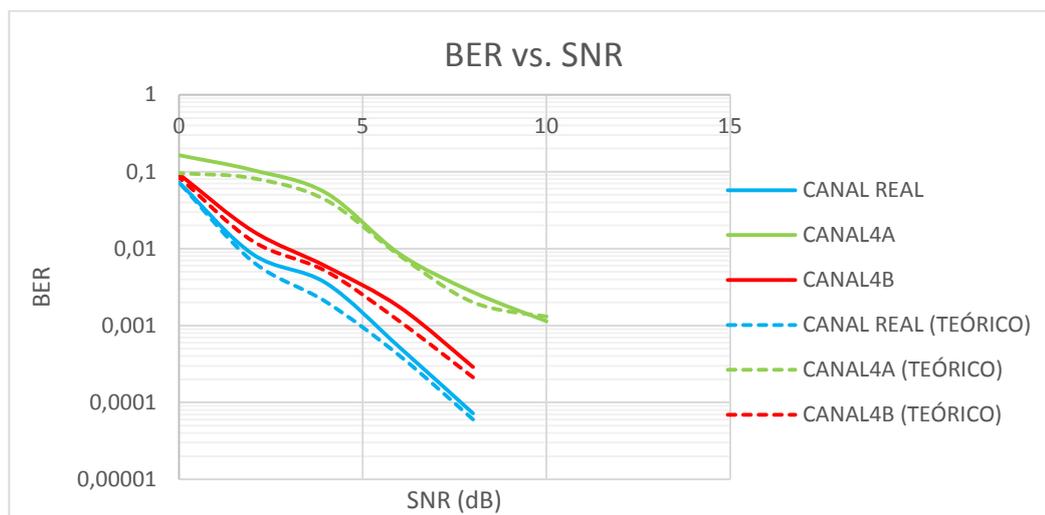


Fig. 17. BER vs. SNR para QPSK en canal REAL y Exterior áreas rurales.

En la fig. 17 se observa que el canal que mejor se adapta a la modulación QPSK para darle un buen rendimiento al sistema es el Canal REAL, ya que, en él no se encuentran características que interfieran la señal en gran medida.

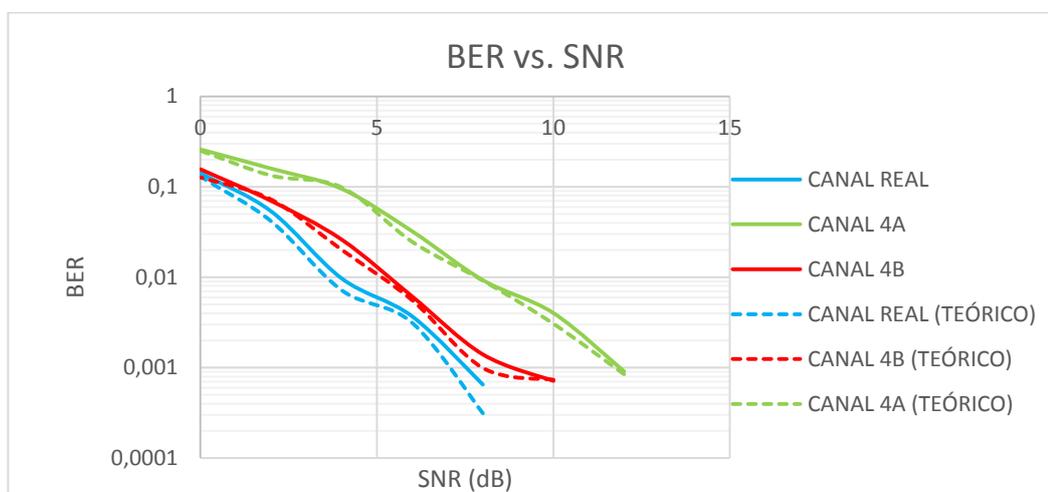


Fig. 18. BER vs. SNR para $\pi/4$ QPSK en canal REAL y Exterior áreas rurales.

En la fig. 18 se analizan la modulación $\pi/4$ QPSK en términos del desempeño en el canal REAL y el canal Exterior de áreas rurales, mostrando que, para este tipo de modulación, las mejores características de rendimiento las ofrece el canal REAL.

2.3. ANÁLISIS DEL TIPO DE MODULACIÓN

En esta sección se analizará la respuesta presentada por el sistema en base a los tipos de modulación implementados, sin hacer uso de algún tipo de codificación en el canal, es decir, la información viaja integra sin ningún tipo de encriptación.

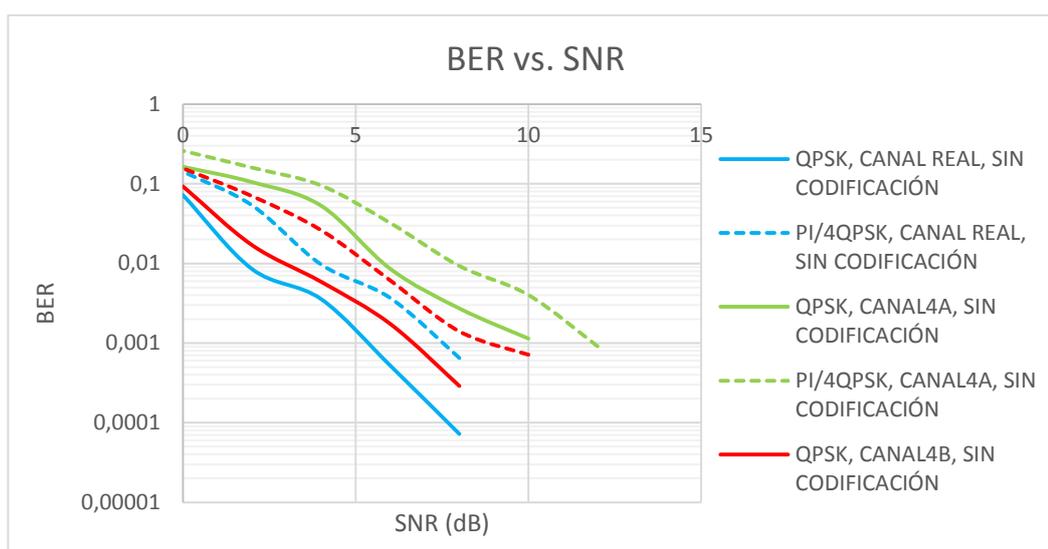


Fig. 19. BER vs. SNR para QPSK y $\pi/4$ QPSK sin codificación.

En la fig. 19 se observa que entre la modulación QPSK y $\pi/4$ QPSK, la primera es mucho más eficiente en el sistema implementado. Siendo la principal razón el hecho de que se encuentra trabajando en el canal REAL.

2.4. ANÁLISIS DE CODIFICADORES CONVOLUCIONALES

En esta sección se analizarán las respuestas obtenidas para el sistema de comunicación inalámbrica en base al tipo de codificación implementado en los canales multitrayectoria escogidos.

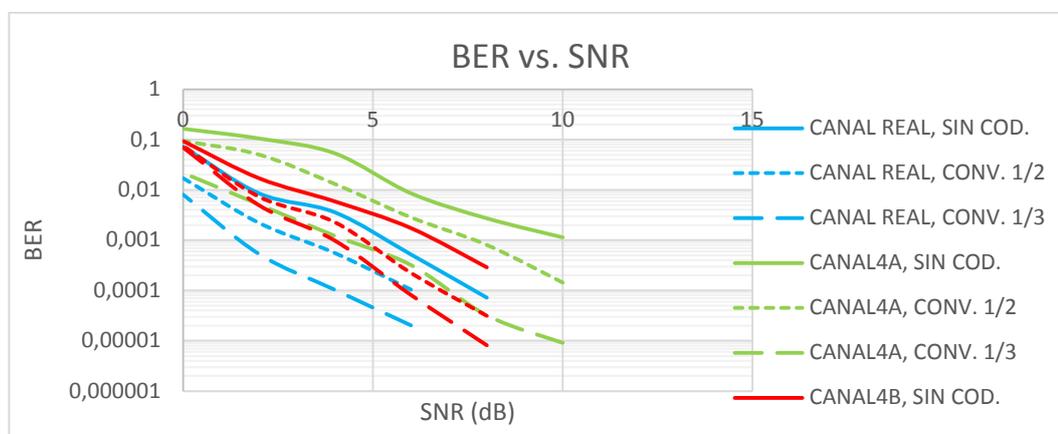


Fig. 20. Codificadores convolucionales en QPSK.

En la fig. 20 se tiene la representación gráfica de los valores de tasa de error de bit frente a su respectivo valor de SNR. En ella se comprueba que el canal REAL prevalece como el que mejor rendimiento tiene, con la característica adicional de que se ha utilizado un codificador convolucional con tasa $\frac{1}{2}$.

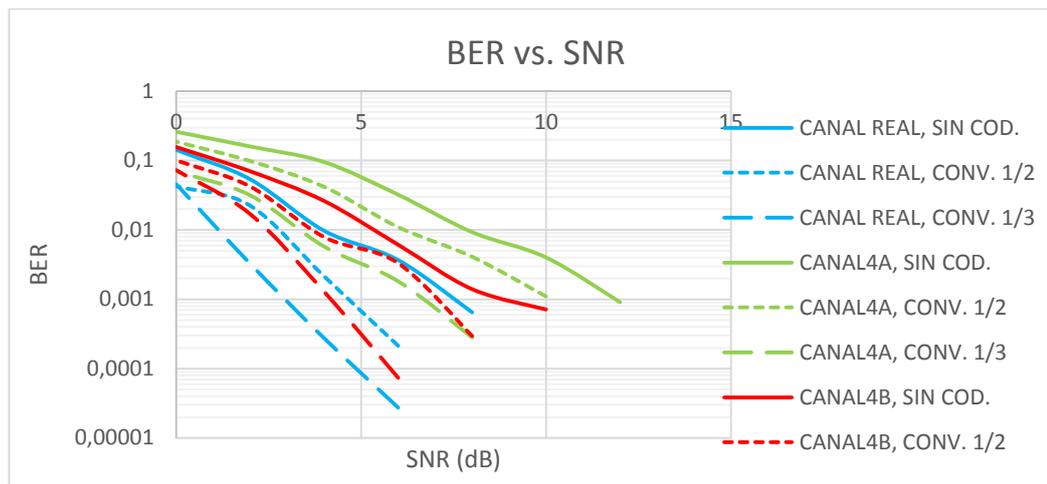


Fig. 21. Codificadores convolucionales en $\pi/4$ QPSK.

En la fig. 21 se observa que el sistema modulado en $\pi/4$ QPSK presente el mejor rendimiento cuando es transmitido en el canal REAL sin ningún tipo de codificador para la data a enviar.

2.5. ANÁLISIS DE LA TASA DE TRANSMISIÓN DE DATOS.

En esta sección se analizará la respuesta de la tasa de transmisión de datos (R_b) obtenida para los canales utilizados en las modulaciones implementadas y con las tasas de codificación convolucional escogidas para el sistema de comunicación inalámbrica desarrollado.

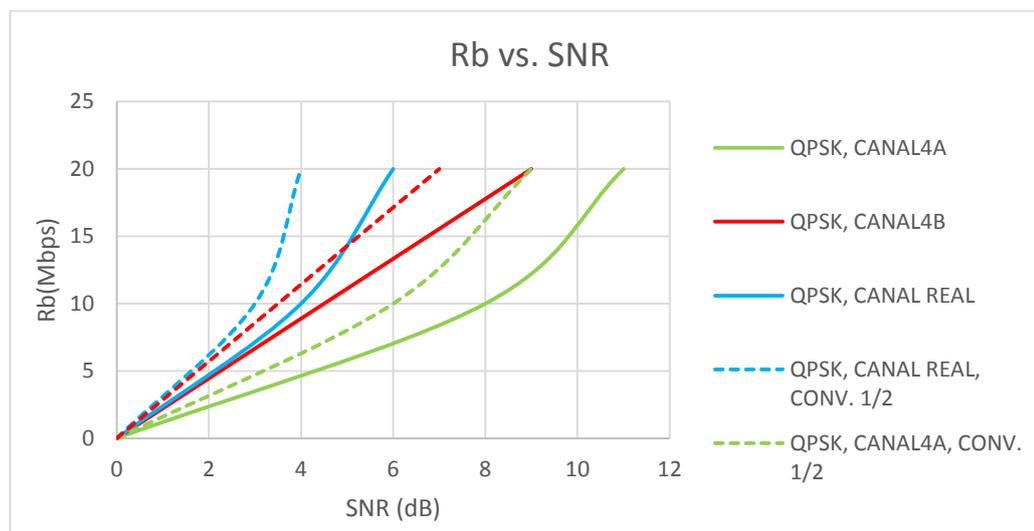


Fig. 22. Rb vs. SNR para modulación QPSK.

En la fig. 22 se el sistema (modulación, canal, codificador) con el mejor desenvolvimiento para la transmisión, es decir, la mayor tasa de datos con el menor SNR, es el sistema QPSK con codificador convolucional de tasa $\frac{1}{2}$ en un canal REAL.

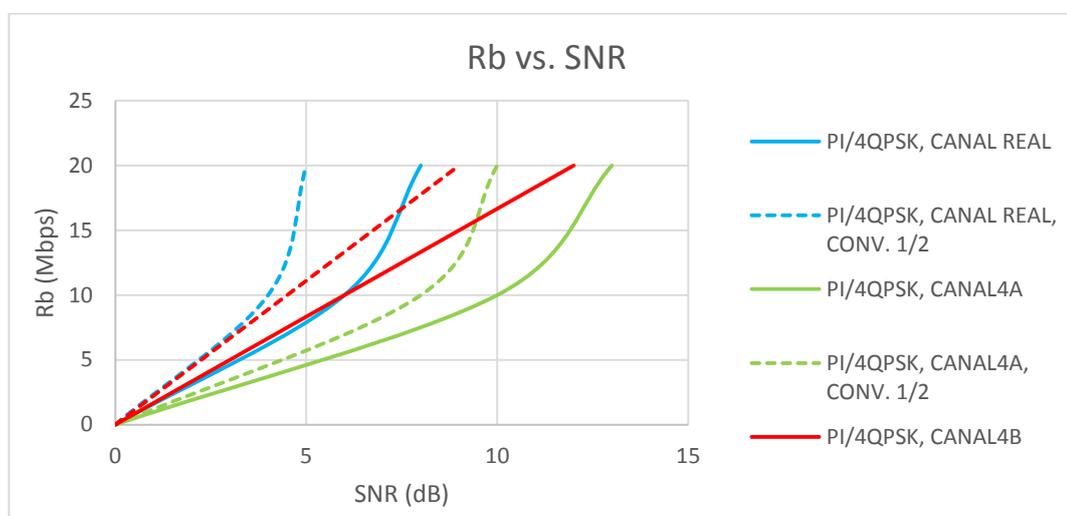


Fig. 23. Rb vs. SNR para modulación $\pi/4$ QPSK.

En la fig. 23 se el sistema (modulación, canal, codificador) con el mejor desenvolvimiento para la transmisión, es decir, la mayor tasa de datos con el menor SNR, es el sistema $\pi/4$ QPSK con codificador convolucional de tasa $\frac{1}{2}$ en un canal REAL.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

En la transmisión de video es necesario utilizar los métodos de compresión y resolución adecuados con el fin de reducir el tiempo de transmisión de cada imagen.

En un canal multitrayectoria mientras más retardos posean existe una mayor interferencia intersimbólica lo que provoca que sea más difícil corregir estos efectos del canal empleando un ecualizador directo, por lo cual se producen

mayores errores en los canales Outdoor ya que estos poseen más trayectorias.

Una modulación QPSK es más eficiente que PI/4QPSK en cuanto a un canal ruidoso y multitrayectoria, ya que en QPSK se tiene una mayor transición en la fase de los símbolos.

Los codificadores convolucionales son robustos a los efectos del canal como ruido y nos proporciona una mejora significativa en términos de tasa de bit (BER), esto se pudo observar en las curvas que decaen más rápido usando un codificador de canal.

Al aumentar la tasa de codificación se produce un mejor rendimiento del sistema con respecto al BER, ya que se introduce más redundancia de bits transmitidos ocasionando que en la recepción se obtenga una mayor cantidad de información correcta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Blázquez, Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos, 1st ed. Cataluña: Universitat Oberta de Catalunya, 2015.
- [2] L. Mendes, TV Digital, 1st ed. Santa Rita do Sapucaí - MG: INATEL, 2013, p. 70.
- [3] A. Oppenheim, A. Willsky, S. Hamid Nawab, G. Mata Hernández and A. Suárez Fernández, Señales y sistemas, 1st ed. México [etc.]: Prentice Hall, 1998, pp. 600-610.
- [4] Transmisión Digital, 1st ed. Valencia, 2013.
- [5] Sistemas de modulación derivados de QPSK, 1st ed. Las Palmas: Grupo de tecnología fotónica y comunicaciones, 2016.
- [6] C. Pérez, *Codificación de Canal*, 1st ed. Cantabria: Universidad de Cantabria, 2011.
- [7] I. Hernáez, *Modulaciones codificadas Trellis*, 1st ed. Bilbao: Inmaculada Hernáez Rioja, 2012.
- [8] J. Jaramillo, "Diseño, Implementación y comparación de un sistema de transmisión inalámbrico de video de una sola portadora utilizando ecualización de canal mínimos cuadrados directo y Zero-Forcing sobre un canal multipaso", Ingeniería, ESPOL, 2016.

- [9] M. Weik, *Computer science and communications dictionary*, 1st ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000, pp 831.
- [10] E. Lee and D. Messerschmitt, *Digital communication*, 1st ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988, pp. 289-370.
- [11] Robert w. Heat Jr. Ph.D., PE. "Digital Communications: Physical Layer Lab using the NI USRP Platform", National Technology and Science Press.
- [12] D. Valarezo, "Análisis comparativo de ecualizadores lineales en un sistema de comunicación inalámbrico de transmisión de audio con una sola portadora", Ingeniería, ESPOL, 2016.