



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE
CODIFICADORES DE CANAL LINEALES EN SISTEMAS DE
UNA SOLA PORTADORA USANDO PROTOCOLOS DE
CONTROL DE TRANSMISIÓN”**

INFORME DE PROYECTO

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Ing. Galo Arcalle Sabando

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

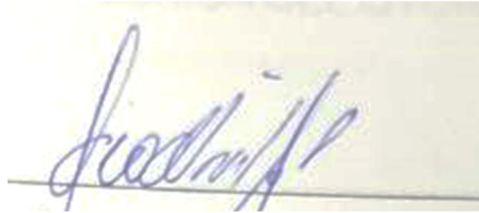
AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a la Ing. Maricela Freire por todo el apoyo brindado, a la coordinación de maestría y a mi tribunal de sustentación por su guía para la culminación adecuada de este proyecto.

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mis padres Galo Arcalle y Mayra Sabando, los cuales siempre están apoyándome para alcanzar las metas propuestas.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

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

Francisco Novillo, Ph.D.

EVALUADOR

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

Ronald Criollo, 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.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Galo Arcalle Sabando', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat illegible due to its cursive nature.

Galo Arcalle Sabando

C.I.: 0703686600

RESUMEN

En el presente documento se explicará el diseño, implementación y posterior análisis de un sistema de comunicación inalámbrico con codificadores lineales de canal en base a un sistema de una sola portadora. La codificación lineal de la información que se enviará será controlada por protocolos basados en detección de portadora.

El sistema contará con codificadores Hamming y LDPC a diferentes tasas con la finalidad de poder realizar un análisis comparativo entre los dos codificadores lineales y concluir sobre cuál es el que mejor rendimiento le da al sistema de comunicación inalámbrica a desarrollar.

Posteriormente, se estudiará como en base al tipo de modulación digital a implementar, y las tasas de codificación de Hamming y LDPC permiten tener variaciones significativas en la tasa de error de bit para los diferentes canales a analizar, siendo estos, los canales Indoor y Outdoor, comerciales y de áreas rurales respectivamente.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN	vi
CONTENIDO	vii
ABREVIATURAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xii
INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO TEÓRICO	14
1.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN	14
1.1.1. Sistemas de Comunicación Inalámbrica.....	14
1.1.2. Transmisión de Texto.....	16
1.2. MODULACIÓN DIGITAL	17
1.2.1. Modulación QPSK.....	17
1.2.2. Modulación $\pi/4$ QPSK	19
1.3. CANAL INALÁMBRICO	20
1.4. CANALES MUTITRAYECTORIAS	20
1.5. CODIFICACIÓN Y DETECCIÓN DE ERRORES	21
1.5.1. HAMMING.....	21
1.5.2. LDPC	22
1.5.3. FEC.....	23
1.6. MENSAJES DE ACUSE DE RECIBO	23

1.6.1. ACK.....	23
1.6.2. NACK	24
1.7. PROTOCOLO CSMA.....	25
2. ANÁLISIS Y RESULTADOS	26
2.1. Respuestas Impulso de canales empleados.	26
2.2. Análisis de las variaciones de canales multitrayectorias.	29
2.3. Análisis en base a los tipos de modulaciones utilizados.	32
2.4. Análisis de los codificadores de canal.....	33
2.5. Análisis de la tasa de codificación.....	34
2.6. Análisis de la tasa de transmisión de datos.....	37
CONCLUSIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXOS	43
2.1. ANEXOS 1 – Diagramas de bloque de los codificadores.....	43

ABREVIATURAS

BER	Bit Error Rate
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
BPSK	Binary Phase Shift Keying
LDPC	Low Density Parity Check
FEC	Forward Error Correction
ACK	Acknowledgment
NACK	Negative Acknowledgment
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
MAC	Media Access Control
SNR	Signal to Noise Ratio
Tx	Transmitter
Rx	Receiver

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema de comunicación inalámbrico. [3] ..	15
Fig. 2. Esquema de transmisión y recepción de texto en LabVIEW.	16
Fig. 3. Diagrama de constelación de QPSK.	18
Fig. 4. Gráfico de constelación de modulación $\pi/4$ QPSK.....	19
Fig. 5. Ejemplo de codificación Hamming.....	22
Fig. 6. Ejemplo de transmisión sin errores. [15].....	24
Fig. 7. Ejemplo de mensaje NACK.	24
Fig. 8. Ejemplo de funcionamiento básico del protocolo CSMA/CN.	25
Fig. 9. Esquema del sistema de comunicación implementado.	26
Fig. 10. Perfil de retraso de potencia del canal Indoor A.	27
Fig. 11. Perfil de retraso de potencia del canal Indoor B.	27
Fig. 12. Perfil de retraso de potencia del canal Outdoor A.	28
Fig. 13. Perfil de retraso de potencia del canal Outdoor B.	28
Fig. 14. BER vs SNR para QPSK sin codificación.....	29
Fig. 15. BER vs SNR para QPSK con codificación LDPC 9-12.	30
Fig. 16. BER vs SNR para QPSK con codificación Hamming 4/7.	31
Fig. 17. BER vs SNR para diferentes modulaciones.	32
Fig. 18. BER vs. SNR comparativo de los codificadores utilizados.	33
Fig. 19. BER vs SNR para QPSK y $\pi/4$ QPSK con codificación Hamming y LDPC.....	34
Fig. 20. BER vs. SNR comparativo de variaciones de tasa de codificación Hamming.....	35
Fig. 21. BER vs. SNR comparativo de variaciones de tasa de codificación LDPC.....	36
Fig. 22. Rb vs. SNR para un canal sin codificación en QPSK.	37
Fig. 23. Rb vs. SNR para un canal con codificaciones en QPSK y en $\pi/4$ QPSK.	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Símbolos con su respectiva fase y nivel de energía. [5].....	18
Tabla 2. Canales Indoor – Comerciales. [9]	20
Tabla 3. Canales Outdoor – Áreas Rurales. [9].....	21

INTRODUCCIÓN

Se presenta la problemática de diseñar un sistema de comunicación capaz de trabajar con diferentes tipos de modulación y basado en diferentes tipos de codificadores lineales para poder transmitir información en escenarios interiores y exteriores como canales de propagación. Sistemas de una sola portadora presentan diferentes problemas en el control de la data que se envía, es por eso, que se plantea como solución principal hacer uso de protocolos capaces de controlar este flujo de datos durante una transmisión. Por otra parte, al tener diferentes modulaciones y codificadores, se plantea realizar un análisis comparativo para poder determinar cuál combinación es la que mejor resultados proyecta.

En el capítulo 1, se presenta en orden secuencial, el fundamento teórico de los tipos de modulación y los codificadores, para después, establecer una clara relación entre lo teórico y los resultados obtenidos en base a la configuración del programa realizado en LabVIEW. Finalmente, con todas estas herramientas mencionadas, se analiza de manera tabulada y grafica los valores de la tasa de error de bit obtenidos para poder determinar los mejores requerimientos para un sistema más óptimo, lo cual se lo presentará en el capítulo 2 de este documento.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detalla adecuadamente todos los conocimientos que fueron necesarios para poder llevar a cabo el diseño del sistema de transmisión inalámbrico de texto, así como también, todos los conceptos que se utilizaron para la implementación del mismo y las posteriores pruebas realizadas, con el fin, de corroborar lo que analíticamente se había obtenido.

1.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

Los sistemas de comunicación representan toda unidad capaz de permitir transferir desde un emisor a un receptor, toda clase de información posible, desde una carta escrita, hasta un código de cuenta bancaria enviado por internet. Dentro de estos sistemas, existen varios tipos, los necesarios para este estudio son principalmente los medios guiados y los medios inalámbricos. [1]

1.1.1. Sistemas de Comunicación Inalámbrica

Es un sistema que utiliza el medio ambiente como medio de transmisión a través de ondas electromagnéticas, por lo tanto, no utiliza guía de ondas para su transmisión. [2]

La comunicación digital es el proceso de transmisión y recepción de información digital a través de un canal. Los sistemas de comunicación digital ofrecen una mayor calidad en comparación a los sistemas analógicos ya que

son más robustos al ruido y de fácil integración con diferentes tipos de fuente como Voz, Texto y Video. [3]

El presente proyecto se ha realizado en base a un enlace de comunicación digital inalámbrico punto a punto, el cual fue implementado como se detalla en la Fig. 1.

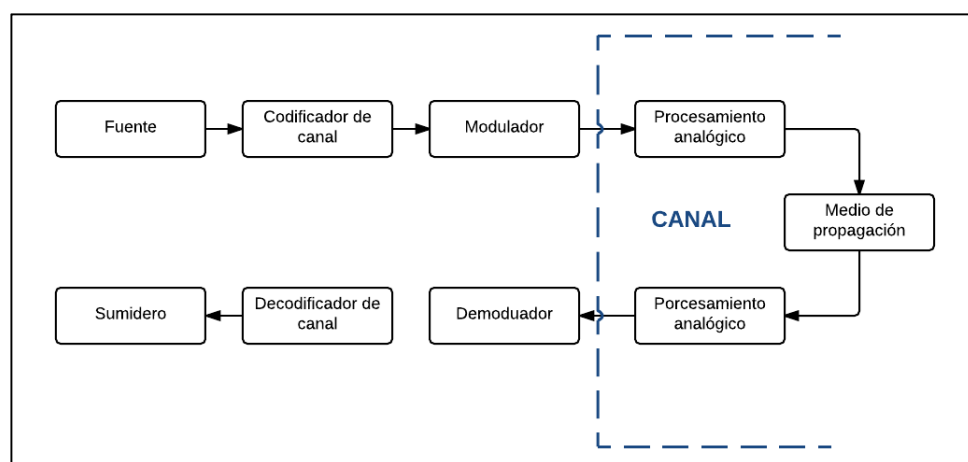


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema de comunicación inalámbrico. [3]

El diagrama de bloques del sistema inalámbrico está compuesto por 3 etapas: transmisor, canal y receptor. El transmisor procesa los bits de datos para la transmisión sobre un medio físico. El canal es el medio físico que añade ruido e interferencia intersimbólica y distorsiona la señal transmitida. El receptor intenta recuperar la señal original.

1.1.2. Transmisión de Texto

Para poder transmitir texto se hace una conversión de los caracteres a transmitir uno a uno a su equivalente ASCII para de estos pasar a un dato booleano que será transmitido. Del lado del receptor se realizará el proceso contrario partiendo desde un dato booleano para obtener su ASCII correspondiente y finalmente los caracteres que conforman la información original.

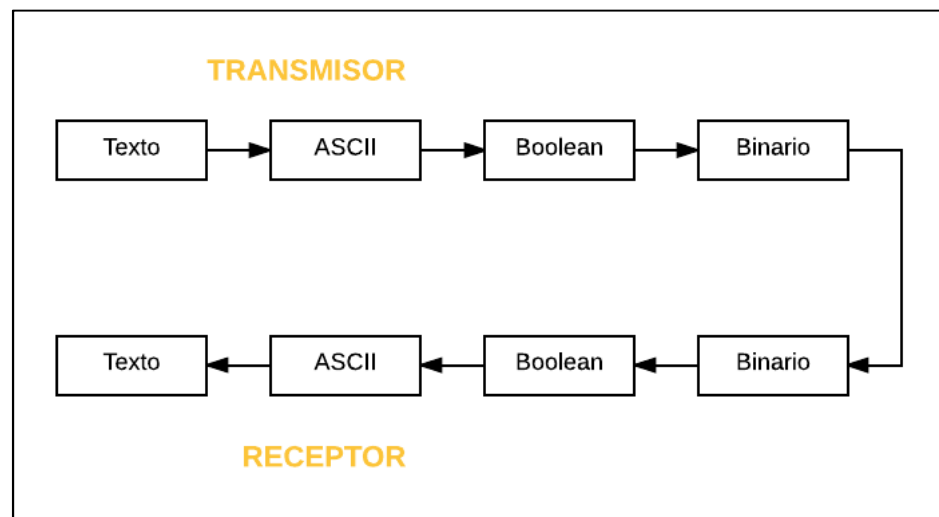


Fig. 2. Esquema de transmisión y recepción de texto en LabVIEW.

En la Fig. 2 se observa el esquema seguido para poder realizar la transmisión y posterior recepción de texto en LabVIEW.

1.2. MODULACIÓN DIGITAL

Cuando se habla de modulación, se hace referencia a todo el conjunto de técnicas que se utilizan para transportar información sobre una onda portadora. Mediante el uso de estas técnicas se puede tener un mejor aprovechamiento de los canales de comunicación, lo que a su vez permite transmitir más información de manera simultánea además de, optimizar la resistencia a niveles de ruido e interferencia no deseados. [4]

1.2.1. Modulación QPSK

La modulación QPSK o modulación por cambio de fase en cuadratura, es aquella en donde las cuatro fases se encuentran equiespaciadas. [5]

La señal modulada se expresa:

$$S(t) = A \cos[2\pi f_0 t + \theta(t)] ; 0 \leq t \leq T_b \quad (1)$$

Definiendo esto se tiene la amplitud de esta señal se define en base a la energía y el período de la misma, lo que a su vez expresa la magnitud de cada uno de los símbolos. Entonces la ecuación 1 de la señal quedará: [5]

$$S(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos[2\pi f_0 t + \theta(t)] ; 0 \leq t \leq T_b \quad (2)$$

Una vez determinado esto, se puede construir la constelación respectiva para esta modulación digital, la cual, se la expresa mediante la Tabla 1 y la Fig. 3.

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

Tabla 1. Símbolos con su respectiva fase y nivel de energía. [5]

Una vez definidos los niveles de energía y la fase correspondiente a cada símbolo, se puede construir la constelación, la cual se expresa en a Fig. 3.

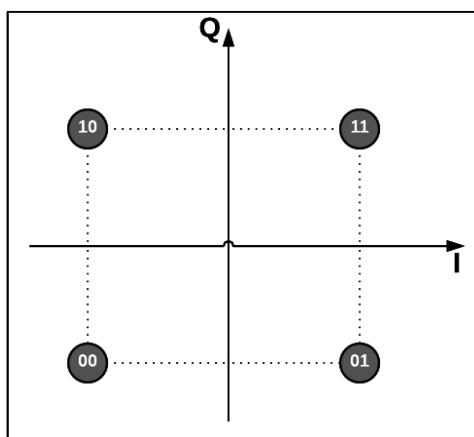


Fig. 3. Diagrama de constelación de QPSK.

En la Fig. 3 se observa la constelación QPSK, en donde, los símbolos son equiprobables y mantienen el mismo nivel de energía para cada una de las fases representadas.

1.2.2. Modulación $\pi/4$ QPSK

La modulación $\pi/4$ QPSK es un caso especial de la modulación QPSK, el cual corresponde a un modo de modulación de fase diferencial (flujo de bits no se altera, sino que varía la norma de funcionamiento del modulador de fase). Para que esto ocurra, se requiere que el modulador seleccione el ángulo de salto al siguiente símbolo de la constelación dependiendo del dibit (dos bits en un baudio) que se vaya a transmitir. [6]

En la Fig. 4 se observa la constelación de un sistema de modulación QPSK desfasado $\pi/4$.

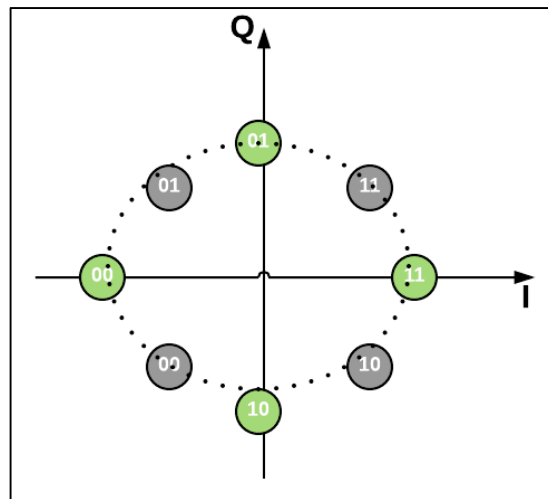


Fig. 4. Gráfico de constelación de modulación $\pi/4$ QPSK.

1.3. CANAL INALÁMBRICO

Los canales o bandas de frecuencia para comunicaciones inalámbricas, representan los intervalos en los cuales la información puede ser enviada para diferentes servicios. Estos servicios y las divisiones dependen del lugar en donde se esté. [7]

1.4. CANALES MUTITRAYECTORIAS

Los efectos de una propagación multitrayectoria se producen de los fenómenos de reflexión, dispersión y difracción ocasionados por ambientes exteriores o ambientes interiores. Reduciendo el rendimiento del sistema de comunicación a implementar. [8]

En la Tabla 2 se indican 2 canales interiores comerciales, en donde, el canal A tiene 3 retardos y el canal B 6 retardos con sus respectivos retardos (delays) y niveles de potencia.

Canal Indoor A		Canal Indoor B	
Delay (nsec)	Avg Power (dB)	Delay (nsec)	Avg Power (dB)
0	0	0	0
100	-5.9	100	-0.2
200	-14.6	200	-5.4
		400	-6.9
		500	-24.5
		700	-29.7

Tabla 2. Canales Indoor – Comerciales. [9]

En la Tabla 3 se indican 2 canales exteriores áreas rurales, en donde, el canal A tiene 7 retardos y el canal B 6 retardos con sus respectivos retardos (delays) y niveles de potencia.

Canal Outdoor A		Canal Outdoor B	
Delay (usec)	Avg Power (dB)	Delay (usec)	Avg Power (dB)
0	0	0	0
0.1	0	0.1	-4.0
0.2	-2.0	0.2	-8.0
0.3	0	0.3	-12.0
0.4	-10.0	0.4	-16.0
0.5	0	0.5	-20.0
0.6	-20.0		

Tabla 3. Canales Outdoor – Áreas Rurales. [9]

1.5. CODIFICACIÓN Y DETECCIÓN DE ERRORES

En transmisión de datos existen escenarios en donde existirán errores en la recepción debido a las características del medio o del canal de transmisión. Es por eso que existen métodos de corrección y detección de estos errores para de alguna forma garantizar la confiabilidad de la información a recibir. [10]

1.5.1. HAMMING

En la Fig. 5 mostrada a continuación, se describe un ejemplo de codificación de Hamming, en donde se toman en cuenta la palabra clave y los bits de paridad que esta genera. [11]

	P ₁	P ₂	d ₁	P ₃	d ₂	d ₃	d ₄	P ₄	d ₅	d ₆	d ₇
Posicion	0001 (1)	0010 (2)	0011 (3)	0100 (4)	0101 (5)	0110 (6)	0111 (7)	1000 (8)	1001 (9)	1010 (10)	1011 (11)
Palabra original			0		1	0	1		0	0	1
P ₁	1		0		1		1		0		1
P ₂		0	0			0	1			0	1
P ₃				0	1	0	1				
P ₄								1	0	0	1
Palabra + paridad	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1

Fig. 5. Ejemplo de codificación Hamming.

1.5.2. LDPC

La comprobación de paridad de baja densidad, son una clase de códigos de corrección de error lineal, que permiten transmitir un mensaje por un canal de comunicaciones que presenta un nivel de ruido elevado, es decir, un canal de transmisión que tiene errores. Los LDPC tienen al menos una matriz de paridad de baja densidad (pocos elementos distintos de cero), por eso, una secuencia n de códigos se le dice LDPC cuando cada código tiene por lo menos una matriz de paridad en la cual la cantidad de elementos distintos de cero es $O(n)$. [12]

1.5.3. FEC

La corrección de errores hacia adelante, es un mecanismo de corrección de errores que permite corregir los errores desde el receptor sin retransmisión de la información original, haciendo uso de un sistema sin retorno (sistema en tiempo real), donde no se va a esperar por la retransmisión para poder mostrar los datos. [13]

1.6. MENSAJES DE ACUSE DE RECIBO

Los mensajes de acuse de recibo, son mensajes de retorno que aseguran que determinada información o comunicación ha llegado a su destino correctamente o no y que, de ser cierto, esto implica que no existieron problemas en la comunicación, es decir, sin errores. [14]

1.6.1. ACK

En algunos protocolos de comunicación digital, ACK es el nombre que se le da a la señal que indica que los datos han sido recibidos satisfactoriamente, incluso en algunos tipos de comunicación se considera correcto un número aceptable de errores. La señal ACK es enviada desde el destino hacia la fuente luego de que la información recibida ha sido reconocida. [15]

En la Fig. 6 se tiene un claro ejemplo de la confirmación ACK en una transmisión sin errores. Se tiene una ventana de 100 bytes con un tamaño de segmento de 50 bytes. [15]

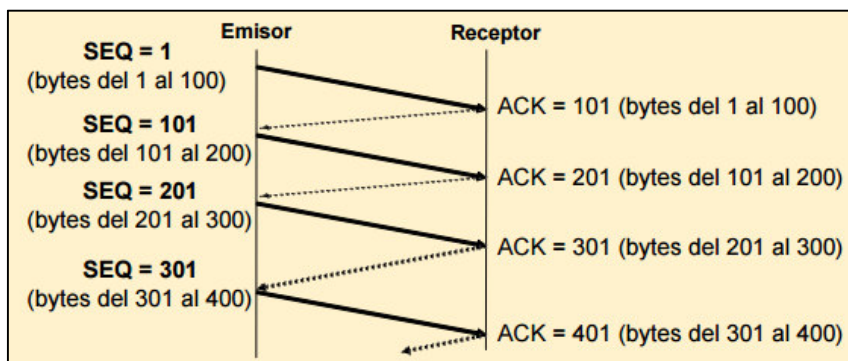


Fig. 6. Ejemplo de transmisión sin errores. [15]

1.6.2. NACK

Así como se cuenta con una señal ACK, también se tiene una señal capaz de indicar desde el receptor que la trama enviada ha sufrido un error cuando fue transmitida. [16]

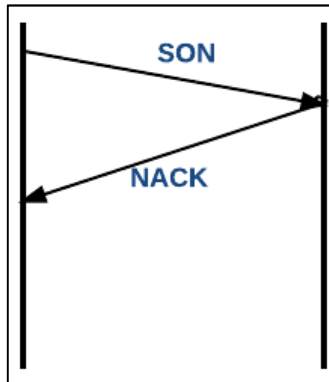


Fig. 7. Ejemplo de mensaje NACK.

En la Fig. 7 se muestra como una vez enviado un mensaje y el respectivo aviso, este por algún motivo no llega a su destino, generándose así el mensaje de NACK desde el receptor.

1.7. PROTOCOLO CSMA

El protocolo CSMA o protocolo de acceso múltiple por detección de portadora es un algoritmo de acceso al medio compartido, en donde, las principales aplicaciones se encuentran en redes Ethernet y en redes inalámbricas. El protocolo CSMA fue un gran avance en este tipo de mecanismos, lo que dio origen a sus predecesores, CSMA/CD y CSMA/CA, siendo, el mismo protocolo, pero con detección de colisiones y con prevención de colisiones, respectivamente. La meta de este protocolo es de poder evitar el máximo número de colisiones posibles. [17]

A continuación, se presenta un esquema del funcionamiento del protocolo CSMA.

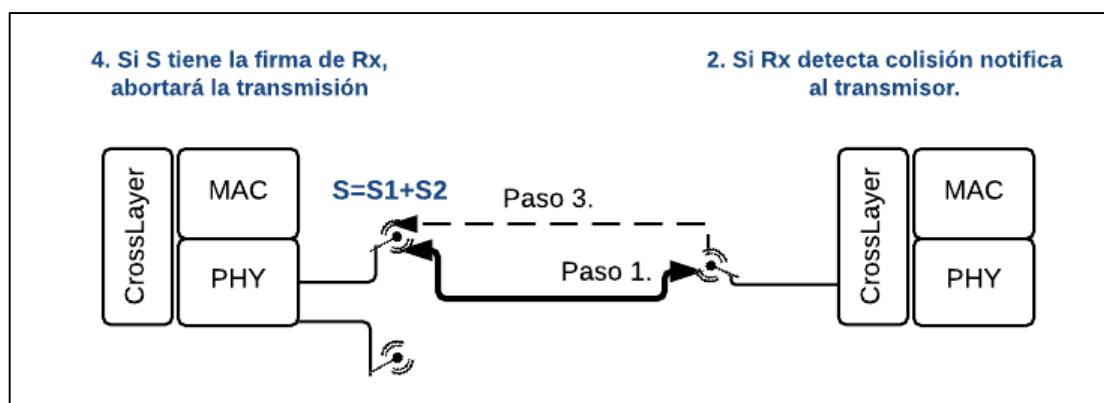


Fig. 8. Ejemplo de funcionamiento básico del protocolo CSMA/CN.

En la Fig. 8 se muestra el esquema de funcionamiento del protocolo CSMA, en donde, se observa como al detectar una transmisión simultánea, se detiene la misma hasta que el canal este libre nuevamente.

2. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Una vez explicados todos los conocimientos teóricos previos, se procedió a implementar el sistema de comunicación inalámbrico en base a la programación de LabVIEW y la configuración de los equipos USRP 2920, tal como se observa en a Fig. 9.



Fig. 9. Esquema del sistema de comunicación implementado.

2.1. Respuestas Impulso de canales empleados.

Dentro de un sistema de comunicación es de suma importancia conocer la respuesta impulso con la que se cuenta en el canal, ya que, permite conocer las propiedades intrínsecas del mismo tales como, dispersión, interferencia, entre otras. Estas características permiten tener una idea de cómo al afectar la señal, estas afectan al sistema de comunicación. La respuesta de impulso es la intensidad de la señal recibida a través de un canal multitrayectoria el cual genera un retardo. Este retardo es la diferencia entre las señales

enviadas y las recibidas después de viajar por el canal, esta diferencia es expresada en decibeles.

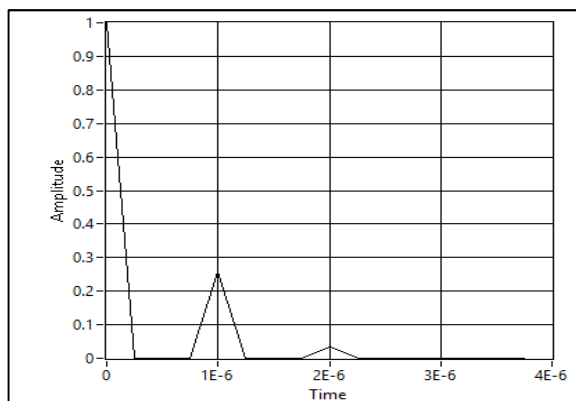


Fig. 10. Perfil de retraso de potencia del canal Indoor A (Tabla 2).

En la Fig. 10 se observa cómo se comporta el perfil de retraso de potencia del canal Indoor A, en donde, se tiene los retrasos respectivos para la señal a transmitir en este caso se pueden apreciar las 6 trayectorias.

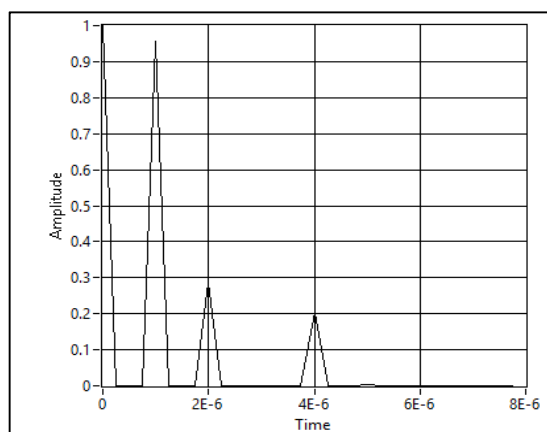


Fig. 11. Perfil de retraso de potencia del canal Indoor B (Tabla 2).

En la Fig. 11 se observa cómo se comporta el perfil de retraso de potencia del canal Indoor B, en donde, se tiene los retrasos respectivos para la señal a transmitir en este caso se pueden apreciar las 8 trayectorias.

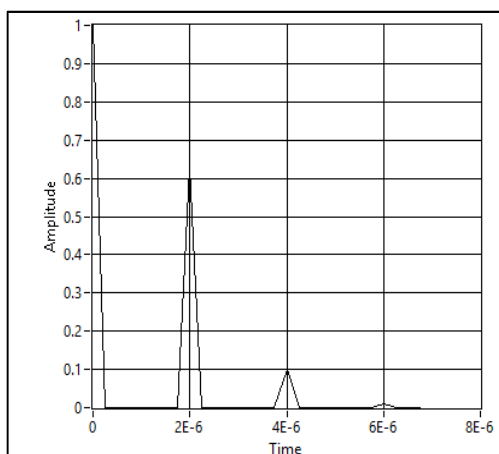


Fig. 12. Perfil de retraso de potencia del canal Outdoor A (Tabla 3).

En la Fig. 12 se observa cómo se comporta el perfil de retraso de potencia del canal Outdoor A, en donde, se tiene los retrasos respectivos para la señal a transmitir en este caso se observan 7 trayectorias.

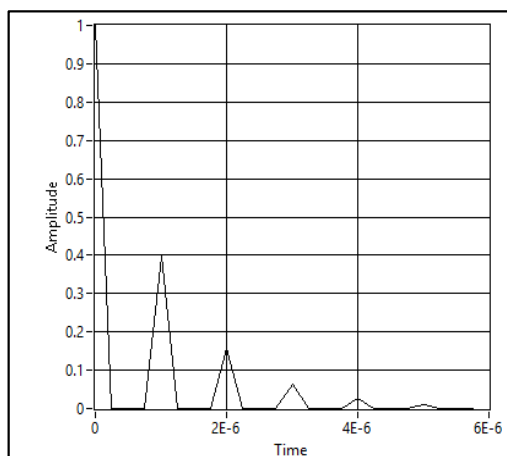


Fig. 13. Perfil de retraso de potencia del canal Outdoor B (Tabla 3).

En la Fig. 13 se observa cómo se comporta el perfil de retraso de potencia del canal Outdoor B, en donde, se tiene los retrasos respectivos para la señal a transmitir en este caso se observan 6 trayectorias.

2.2. Análisis de las variaciones de canales multitrayectorias.

En esta sección, se realizará un análisis comparativo, para los diferentes canales Indoor comerciales y Outdoor rurales, con una modulación QPSK en un ambiente simulado y real.

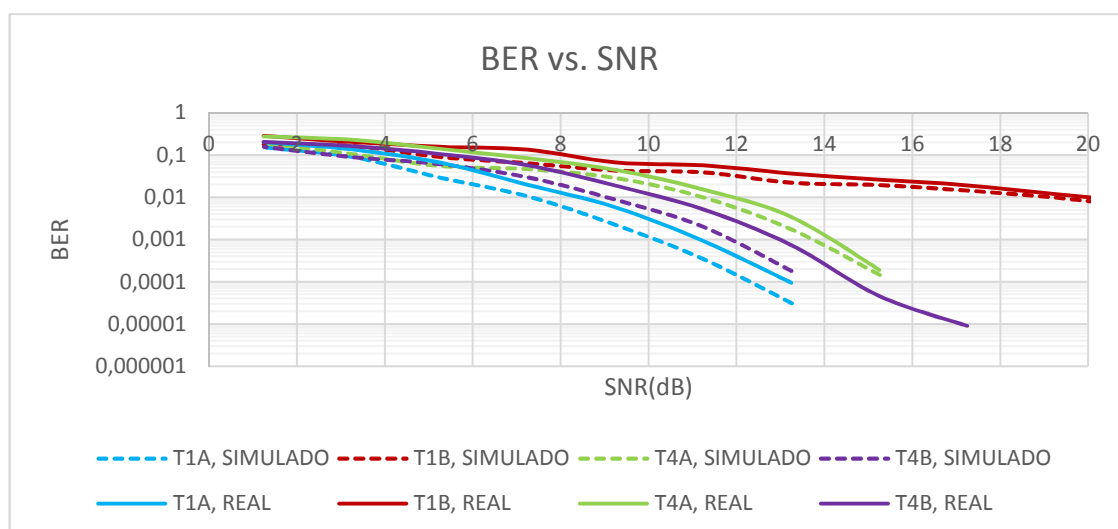


Fig. 14. BER vs SNR para QPSK sin codificación.

En la Fig. 14 se observa cómo en base a diferentes valores de potencia de ruido y de SNR se tiene una tasa de error de bit. Es importante observar cómo se comporta esta curva tanto para los valores reales como para los

simulados, ya que, en el escenario real planteado quien mejor se acopla a un óptimo desempeño es el canal Indoor 1A, esto debido a que se tiene una menor SNR en función de la tasa de error de bit producida.

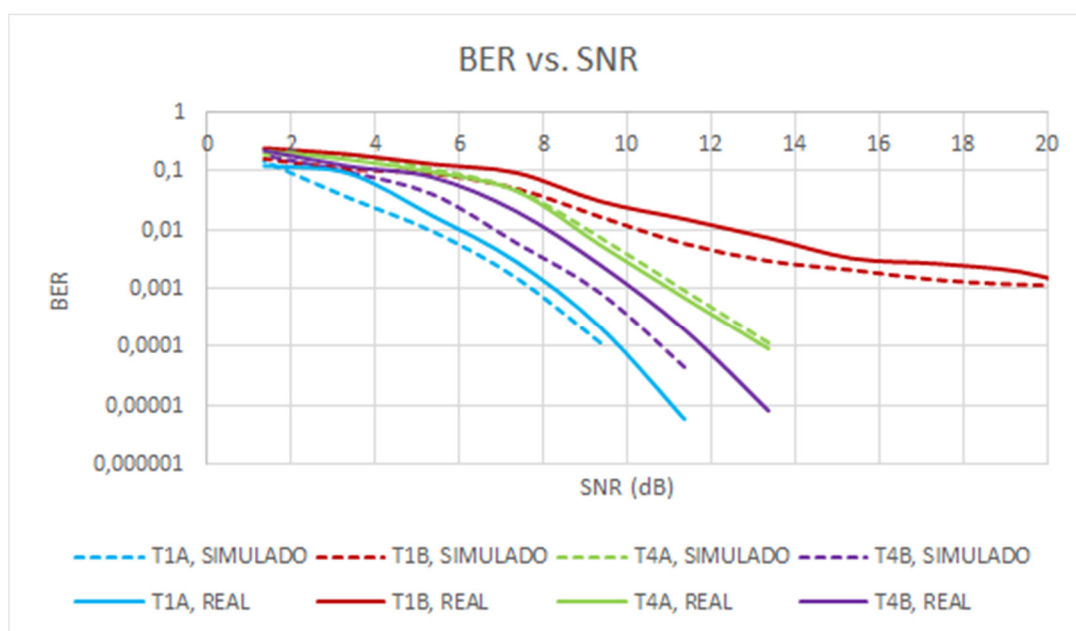


Fig. 15. BER vs SNR para QPSK con codificación LDPC 9-12.

En la Fig. 15 se observa el comportamiento de la tasa de error de bit haciendo uso de codificación LDPC 9-12 (ingresan 12 bits y salen 21, siendo 9 de paridad) en base a una modulación QPSK. En las curvas mostradas se aprecia una clara diferencia de rendimiento entre el canal Indoor 1A, esto debido a que se tiene una menor SNR en función de la tasa de error de bit producida.

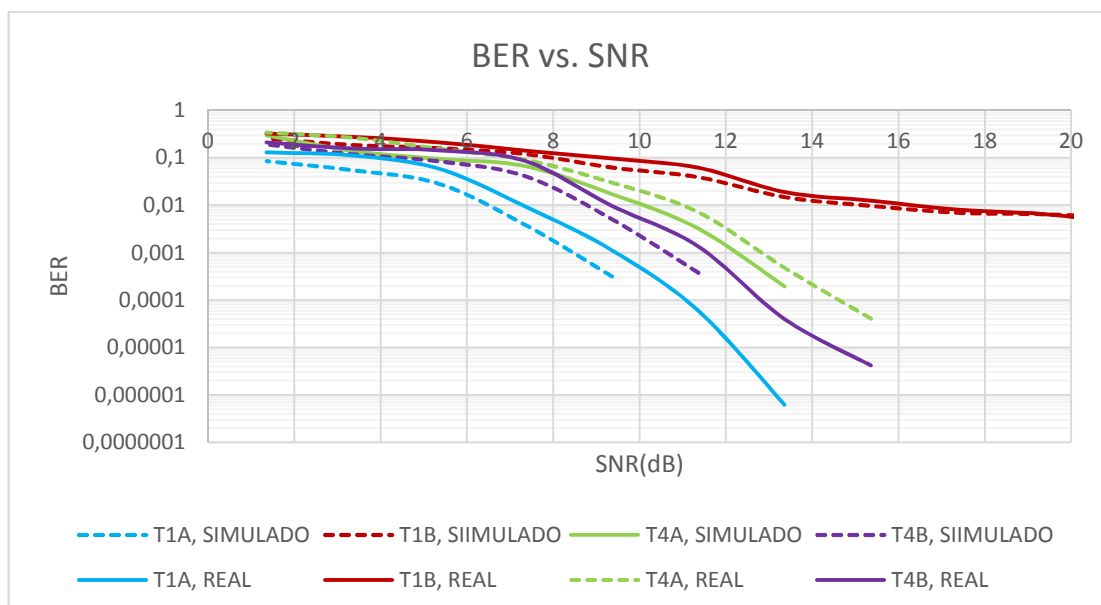


Fig. 16. BER vs SNR para QPSK con codificación Hamming 4/7.

En la Fig. 16 se observa cómo en base a la modulación QPSK, se obtuvieron diferentes resultados simulados y reales para la codificación Hamming. Obteniendo el mejor desempeño para el canal 1A, esto debido a que se tiene una menor SNR en función de la tasa de error de bit producida.

Como se pudo observar en los casos anteriores al realizar las pruebas sin codificación y con codificación de canal se obtuvo un mejor rendimiento en el canal Indoor 1A ya que posee un menor número de tiempo de retardo de propagación en comparación con los demás canales analizados en este estudio.

2.3. Análisis en base a los tipos de modulaciones utilizados.

En esta sección se analizará la respuesta de la tasa de error de bit para las modulaciones QPSK y $\pi/4$ QPSK. Este análisis tiene como fin determinar en qué caso un tipo de modulación es más confiable y robusto frente al otro tipo de modulación.

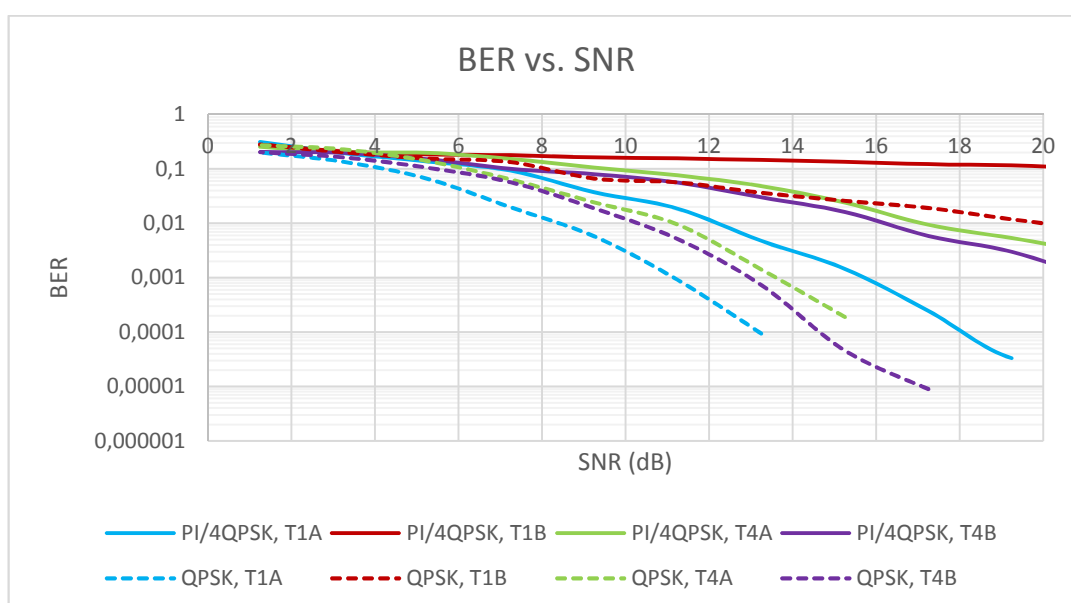


Fig. 17. BER vs SNR para diferentes modulaciones.

En la Fig. 17 se muestra que la modulación QPSK presenta un mejor rendimiento ante la modulación $\pi/4$ QPSK en los diferentes canales multitrayectorias analizados, esto debido a que se tiene una menor SNR en función de la tasa de error de bit producida.

2.4. Análisis de los codificadores de canal.

En esta sección se estudiará el comportamiento de los codificadores utilizados, es decir, Hamming y LDPC, así como también una transmisión sin codificación con la finalidad de analizar y comparar la eficiencia de los mismos.

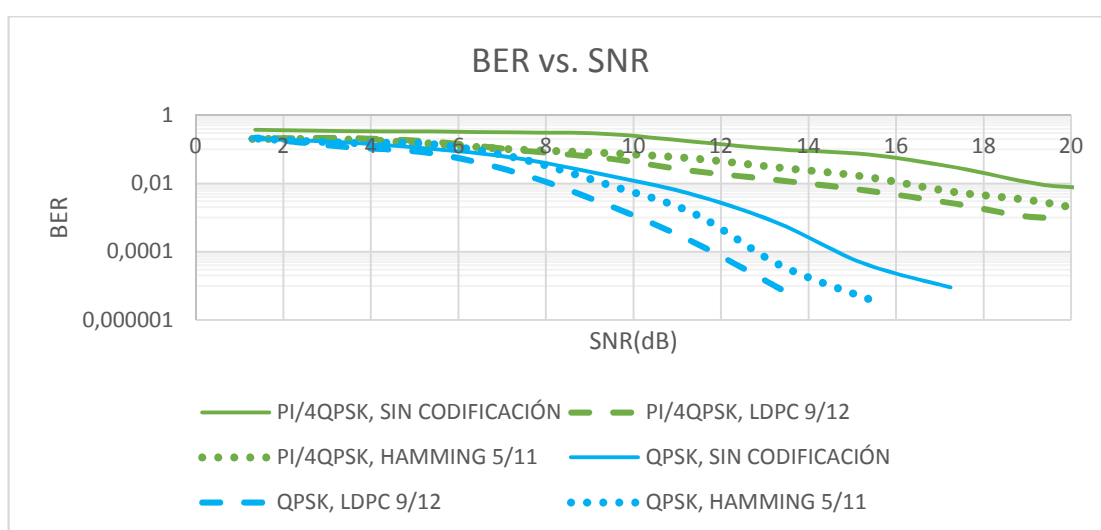


Fig. 18. BER vs. SNR comparativo de los codificadores utilizados.

En la Fig. 18 se observa cómo se comporta la tasa de error de bit para codificaciones Hamming 5-11, LDPC 9-12 y una transmisión sin codificación. En ella se tiene que en términos de eficiencia y rendimiento el sistema de QPSK de LDPC 9/12 es el adecuado. Esto debido a que se tiene una menor SNR en función de la tasa de error de bit producida.

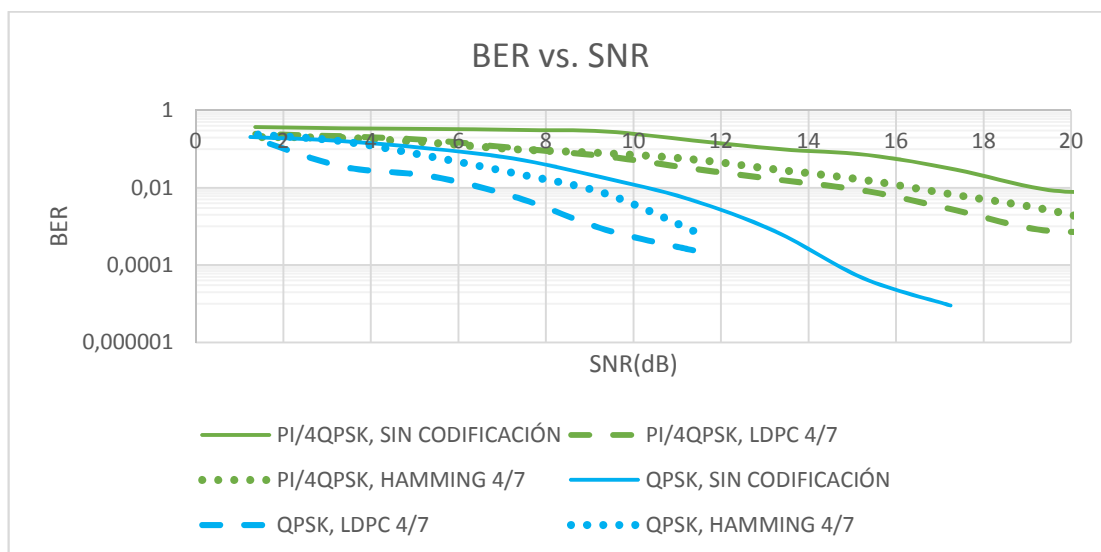


Fig. 19. BER vs SNR para QPSK y $\pi/4$ QPSK con codificación Hamming y LDPC.

En la Fig. 19 se observa cómo en base a LDPC se obtuvieron diferentes curvas para las modulaciones QPSK y su respectiva variación de fase $\pi/4$ QPSK. Se pudo comprobar como el mejor rendimiento posible se obtuvo con una modulación QPSK con codificación LDPC 4-7 (ingresan 7 bits, salen 11, siendo 4 bits de paridad). Esto debido a que se tiene una menor SNR en función de la tasa de error de bit producida.

2.5. Análisis de la tasa de codificación.

En esta sección se estudió la tasa de codificación presentada en los casos de estudio, tanto para LDPC como para Hamming, y a su vez, en términos de si fue una modulación QPSK o $\pi/4$ QPSK.

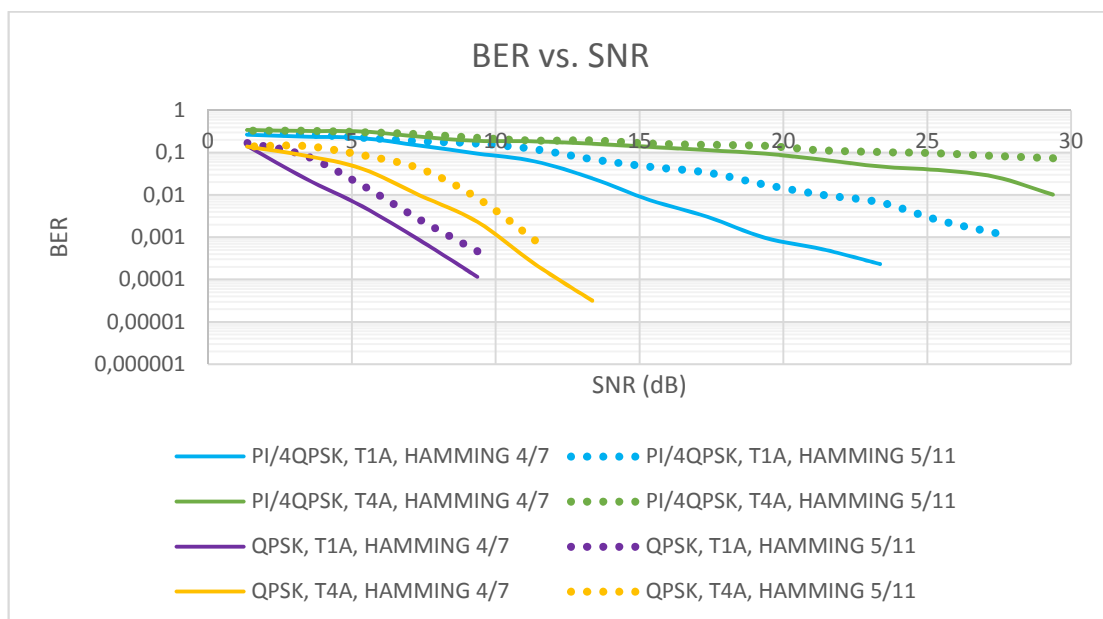


Fig. 20. BER vs. SNR comparativo de variaciones de tasa de codificación Hamming

En términos generales, en la Fig. 20 se observa claramente que el sistema de Hamming 4-7 (ingresan 7 bits y salen 11, siendo 4 de paridad), presenta una tasa de codificación adecuada para las transmisiones realizadas ya que se ajustan a los requerimientos del sistema. Esto debido a que se tiene una menor SNR en función de la tasa de error de bit producida.

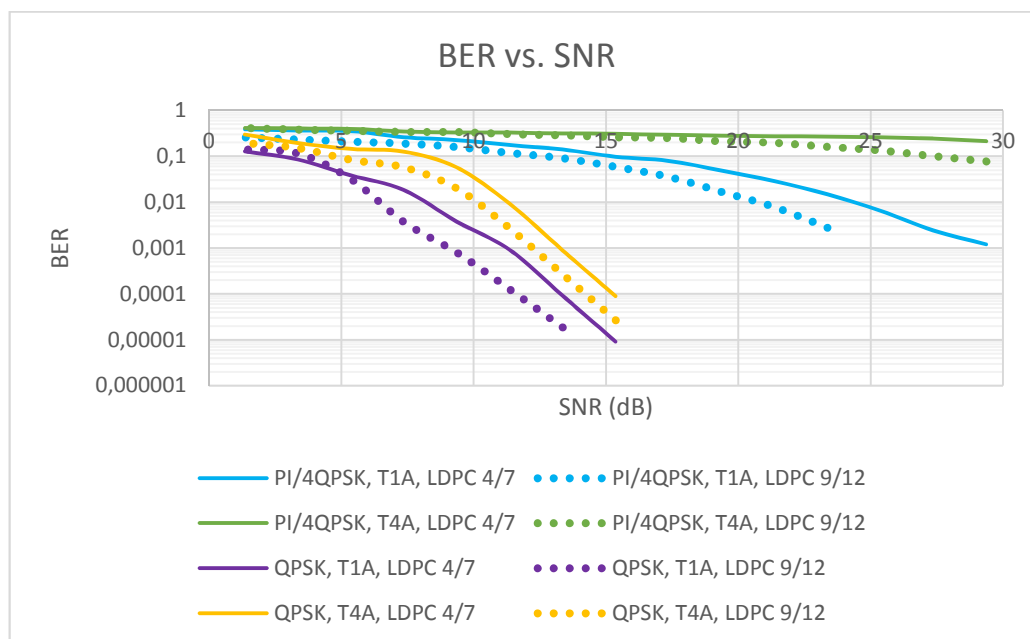


Fig. 21. BER vs. SNR comparativo de variaciones de tasa de codificación LDPC.

De forma similar a las descripciones anteriores, se busca determinar cuál de estas configuraciones para el sistema de comunicación tenga una tasa de codificación adecuada. En la Fig. 21 se observa claramente que con una modulación QPSK y codificación LDPC 9/12 ($r=9$ $n=12$ $k=3$ y en donde ingresan 12 y salen 21). Esto debido a que se tiene una menor SNR en función de la tasa de error de bit producida.

2.6. Análisis de la tasa de transmisión de datos.

En esta sección se estudiará cómo se comporta la tasa de transmisión de datos para los diferentes casos de modulación y codificación, en los que se utilizan diferentes canales multitrayectoria.

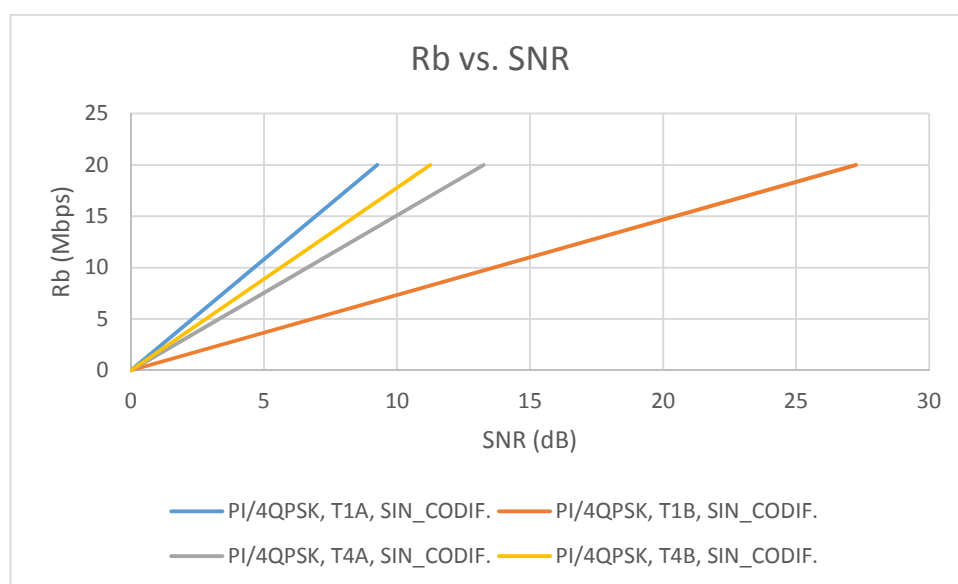


Fig. 22. Rb vs. SNR para un canal sin codificación en QPSK.

En la Fig. 22 se observa que, de todos los canales utilizados para la prueba, el que presenta una relación tasa de datos-SNR más razonable es el sistema QPSK en el canal A de la Tabla 2. Esto debido a que se tiene una menor SNR en función de la tasa de error de bit producida.

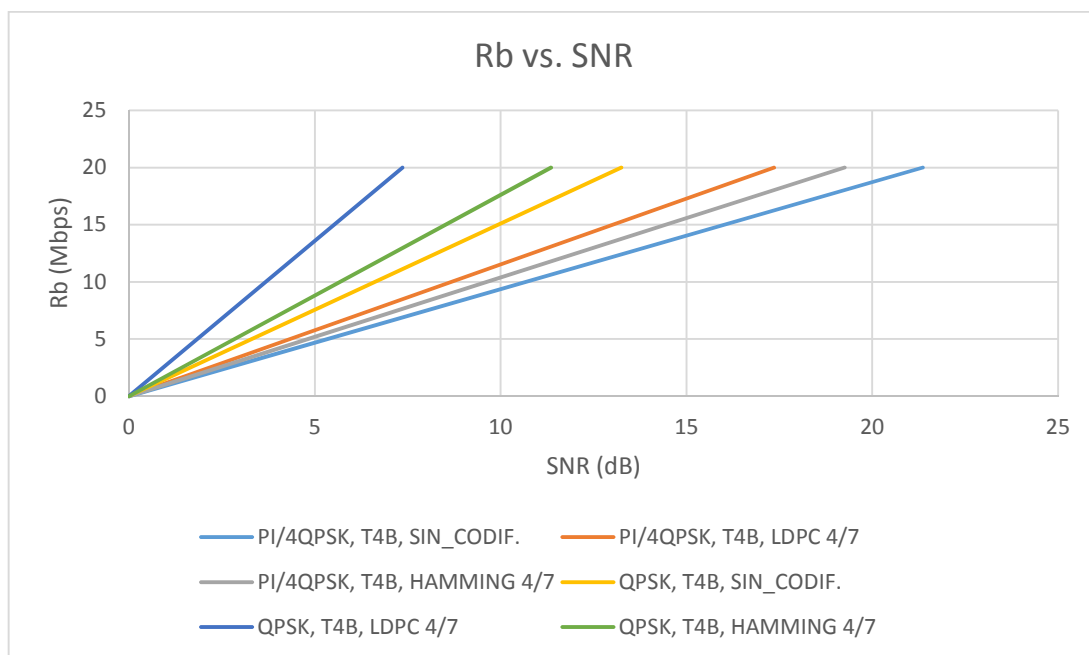


Fig. 23. Rb vs. SNR para un canal con codificaciones en QPSK y en $\pi/4$ QPSK.

En la Fig. 23, se tiene un análisis comparativo para las modulaciones QSK y su respectiva modulación desfasada $\pi/4$ QPSK y en términos de niveles de codificación, partiendo desde un canal sin codificación, hasta un canal con Hamming y un canal con LDPC. Una vez conocido esto, y de acuerdo a la gráfica, el sistema con la relación más alta de tasa de datos-menor SNR es la de QPSK con codificación LDPC.

CONCLUSIONES

En base a los parámetros propuestos para la implementación de este proyecto, se pudo concluir que en el sistema de comunicación inalámbrico desarrollado, la interferencia intersimbólica ISI aumenta a medida que los retrasos son mayores en los canales, lo cual dificulta el proceso de ecualización.

Luego de realizar el análisis comparativo entre las modulaciones QPSK y $\pi/4$ QPSK, se obtuvo que en la mayoría de los casos se tiene un mejor desenvolvimiento de la transmisión en los canales multitrayectorias para la versión de QPSK, ya que, presenta una mayor separación símbolos en la constelación, por lo tanto, una mejora en cómo van a ser llevados los datos.

Al utilizar un codificador lineal se obtuvo una gran mejora en el rendimiento del sistema, ya que al agregar bits de redundancia lo hace más robusto a los efectos del canal, el codificador lineal que presento un mejor desempeño es LDPC con respecto a Hamming.

Al realizar la variación de tasa de codificación en el codificador Hamming se obtuvo un nivel más bajo de BER con una tasa de codificación 4/7 en este caso se tomó 7 bits de información y se agregó 4 bits de paridad, en comparación con un codificador Hamming 11/5 que toma más bits de información lo que lo hace menos eficiente.

En el caso del codificador LDPC se tiene un mejor desempeño del sistema en una tasa de codificación de $9/12$ ya que estoy agregando más bits de paridad que en el caso de la tasa $4/7$.

BIBLIOGRAFÍA

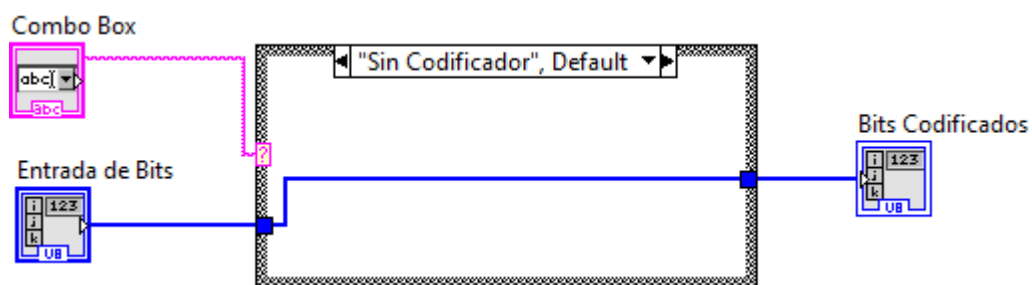
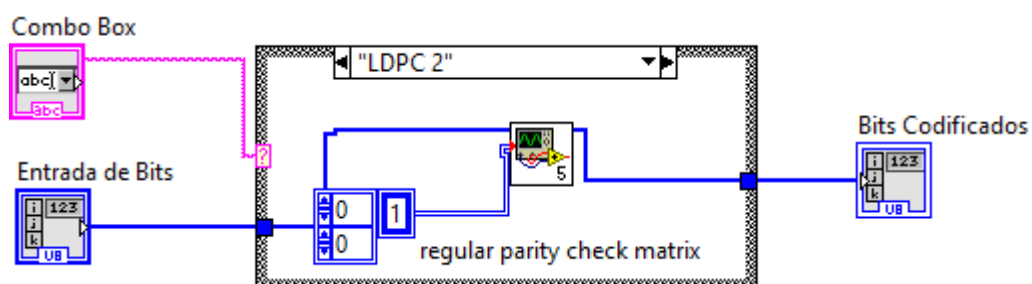
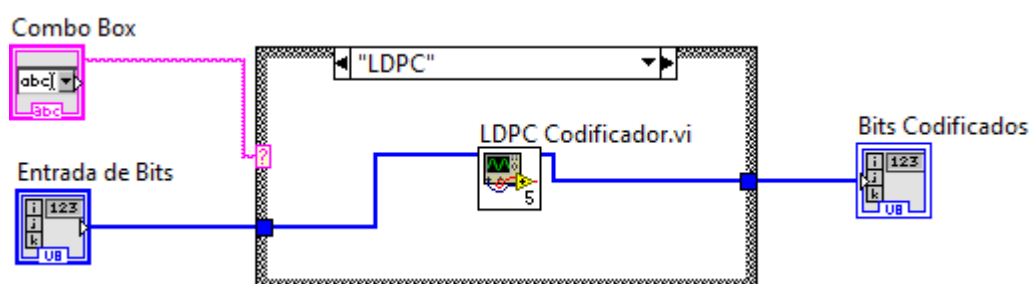
- [1] A. Tanenbaum and D. Wetherall, *Redes de computadoras*, 5th ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 2012, pp. 77-99.
- [2] Erik L, "EE49 Lab 1: Source Coding Lab: Cosine Transform (DCT), sample quantization, and Huffman coding", Version 9, National Instruments (2016).
- [3] R. Heath, *Introduction to Wireless Digital Communication: A Signal Processing Perspective*, 1st ed. Prentice Hall, 2012.
- [4] J. Anderson, T. Aulin and C. Sundberg, *Digital Phase Modulation*, 1st ed. New York, 1986, pp. 15-54.
- [5] *Sistemas de Telecomunicación: Modulación Digital*, 1st ed. Valencia: Universidad de Valencia, 2003.
- [6] A. Das, *Digital communication*, 1st ed. Berlin: Springer, 2010, pp. 111-141.
- [7] B. Ahmed and M. Matin, *Coding for MIMO-OFDM in future wireless systems*, 1st ed. Mahdia: Springer, 2015, pp. 11-20.
- [8] Y. Li and G. Stüber, *Orthogonal frequency division multiplexing for wireless communications*, 1st ed. New York: Springer Science+Business Media, 2006, pp. 1-17.
- [9] ESPOL, "Implementación de un sistema de transmisión y recepción inalámbrico usando LabVIEW y los NI USRPs", Guayaquil, 2016.
- [10] H. Krishna, *Computational complexity of bilinear forms*, 1st ed. Berlin: Springer-Verlag, 1987, pp. 55-85.
- [11] M. Weik, *Computer science and communications dictionary*, 1st ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000, p. 706.

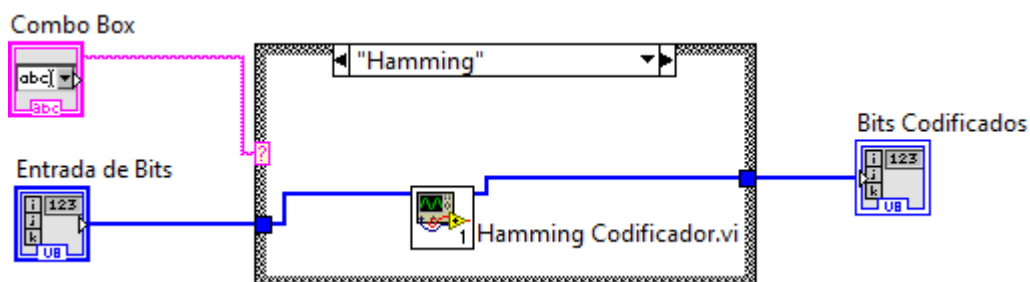
- [12] M. Baldi, *QC-LDPC code-based cryptography*, 1st ed. Ancona, 2014.
- [13] J. Alzubi, O. Alzubi and T. Chen, *Forward error correction based on algebraic-geometric theory*, 1st ed. London: Springer, 2014, pp. 1-9.
- [14] T. Issariyakul and E. Hossain, *Introduction to network simulator NS2*, 1st ed. New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2012, pp. 229-272.
- [15] C. Meinel and H. Sack, *Internetworking*, 1st ed. Postdam: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 591-663.
- [16] A. Bhatia and R. Hansdah, "A media access and feedback protocol for reliable multicast over wireless channel", *Wireless Networks*, vol. 20, no. 8, pp. 2371-2383, 2014.
- [17] J. Landsford, *Wireless Personal Communications*, 1st ed. Virginia: Springer Verlag, 2012, pp. 51-58.

ANEXOS

2.1. ANEXOS 1 – Diagramas de bloque de los codificadores.

En esta sección se hará una descripción de los VI's implementados para realizar las codificaciones LDPC y HAMMING.





El VI codificadores, es el que permite, mediante un case structure y un control de opciones, realizar distintos tipos de codificaciones según escoja el usuario, en cada case se llama a los VI que contienen el diagrama de bloques que realizara la codificación según se especifique. De forma similar ocurre con los decodificadores para el correspondiente codificador.

