



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en electricidad y Computación.

Análisis comparativo de Codificaciones de bloques lineales en un sistema OFDM con detección de portadora y reconocimiento de ACK en la transmisión de texto.

EXAMEN COMPLEXIVO.

Obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES.

Presentado por:

Ing. Marcos Michel Manzur Espinoza.

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2016

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado.

A la ESPOL por darme la oportunidad de estudiar en la carrera.

Al PhD. Boris Ramos por su continua colaboración y exigencia en este proyecto.

A la Ingeniera Maricela Freire por su tenaz ayuda en el desarrollo del laboratorio.

DEDICATORIA

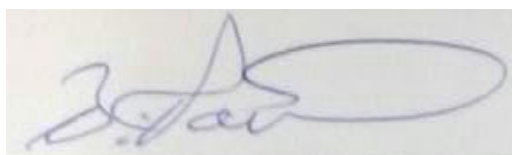
Agradezco a Dios Todopoderoso por protegerme y guiarme durante todo mi camino.

A mi abuela que siempre está conmigo en todo momento, me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mis hermanas por su apoyo moral y entusiasmo.

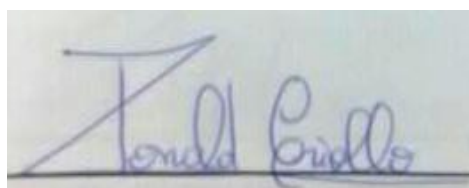
A mi esposa por su apoyo incondicional.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'B. Ramos', with a large, stylized flourish extending to the right.

Ph.D. Boris Ramos

EVALUADOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ronald Criollo', with a large, stylized flourish extending to the left.

Master Ronald Criollo

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 POLITECNICA DEL LITORAL”.

Art. 12 del Reglamento de Graduación.



Marcos Michel Manzur Espinoza

C.I.: 0922859053

RESUMEN

El siguiente proyecto consiste en la implementación de un sistema OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) para la transmisión de texto con una modulación QPSK y también con la modulación PI/4QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying), usando codificadores de canal lineales Hamming y LDPC (Low Density Parity Check) con el objetivo de demostrar cual presenta un mejor desempeño antes variaciones de ruido en los diferentes canales multitrayectorias emulados (Indoor 1A-1B, Outdoor 4A-4B), también se implementó el protocolo CSMA (Carrier Sense Multiple Access) para detectar la disponibilidad del canal y con un reconocimiento positivo ACK y reconocimiento negativo NACK (Acknowledgement); para la implementación y análisis de los parámetros del sistema, se realizó la comparación de las curvas BER vs. SNR y R_b vs. SNR para los diferentes escenarios planteados en este proyecto. Se utilizó el software LabVIEW y el hardware NI USRP 2920 tomando como referencia el manual de prácticas del laboratorio de simulación de Telecomunicaciones.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	3
TRIBUNAL DE SUSTENTACION	4
DECLARACION EXPRESA	5
RESUMEN	6
CONTENIDO	7
ABREVIATURAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABLAS	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. MARCO TEORICO	14
2.1. OFDM	14
2.2. TRANSMISIÓN DE TEXTO	15
2.3. RECEPTOR DE TEXTO	15
2.4. MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN.	16
2.5. QPSK.	17
2.6. PI/4 QPSK.	18
2.7. CANALES MULTITRAYECTORIAS	19
2.7.1. Perfil de Potencia y Respuesta del Canal Indoor A.	20
2.7.2. Perfil de potencia y Respuesta del Canal Indoor B.	21
2.7.3. Perfil de potencia y Respuesta del Canal Outdoor A.	23
2.7.4. Perfil de potencia y Respuesta del Canal Outdoor B.	24
2.8. CSMA.	25
2.9. RECONOCIMIENTO POSITIVO ACK.	27
2.10. RECONOCIMIENTO NEGATIVO NACK.	28

2.11. CODIFICACIÓN DE CANAL LDPC.	29
2.12. CODIFICACIÓN DE CANAL HAMMING.	32
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS.	35
3.1. Desempeño de canales multitrayectorias.	36
3.2. Desempeño de Modulaciones.	36
3.3. Desempeño de codificadores de canal.	37
3.4. Tasa de transmisión de datos.	42
4. CONCLUSIÓN Y COMENTARIO.	44
5. REFERENCIAS.	45

ABREVIATURAS

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
ISI	Interferencia Intersimbólica.
SNR	Relación Señal Ruido.
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying.
PI/4 QPSK	Quadrature Amplitude Modulation.
LDPC	Códigos de comprobación de paridad de baja densidad.
CSMA	Acceso Múltiple Por Detección De Portadora.
ACK	Acknowledgement.
NACK	Negative Acknowledgement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de bloques transmisión OFDM.	14
Figura 2.2. Diagrama de bloques receptor OFDM.	15
Figura 2.3. Conversión de texto a bits.	15
Figura 2.4. Conversión de bits a texto.	16
Figura 2.5. Diagrama de bloques modulación OFDM.	16
Figura 2.6. Diagrama de bloques demodulación OFDM.	17
Figura 2.7. Constelación de Modulación QPSK.	18
Figura 2.8. Constelación de Modulación PI/4 QPSK.	19
Figura 2.9. Espectro de Potencia de Retraso Multitrayecto - Indoor A.	20
Figura 2.10. Espectro de Potencia de Retraso Multitrayecto - Indoor B.	21
Figura 2.11. Espectro de Potencia de Retraso Multitrayecto - Outdoor A.	23
Figura 2.12. Espectro de Potencia de Retraso Multitrayecto - Outdoor B.	24
Figura 2.13. Esquema de funcionamiento de protocolo CSMA.	26
Figura 2.14. Funcionamiento del Protocolo CSMA.	27
Figura 2.15. Esquema ACK Transmisión sin errores.	28
Figura 2.16. Esquema NACK Transmisión con errores.	29
Figura 2.17. Codificación de Canal LDPC.	30
Figura 2.18. Matriz de Paridad.	30
Figura 2.19. Esquema del proceso de Codificación LDPC 13/12.	31
Figura 2.20. Esquema del proceso de Codificación LDPC 7/10.	32
Figura 2.21. Calcula las posiciones del bit de paridad.	33
Figura 2.22. Detecta los bit paridad menos significativos a uno.	33
Figura 2.23. Cálculo de paridad.	34
Figura 2.24. Corrección de errores.	34
Figura 2.25. Recuperación de palabra original.	35
Figura 2.26. BER VS SNR, QPSK, CANALES MULTITRAYECTO.	36

Figura 2.27. BER VS SNR, QPSK vs. PI/4QPSK, CANALES MULTITRAYECTO.	37
Figura 2.28. BER VS SNR, QPSK, INDOOR 1A-1B, LDPC10 HAMMING 1.	38
Figura 2.29. BER VS SNR, QPSK, OUTDOOR 4A-4B, LDPC 10 HAMMING 1.	38
Figura 2.30. BER VS SNR, QPSK, INDOOR 1A-1B, LDPC 13 HAMMING 2.	39
Figura 2.31. BER VS SNR, QPSK, OUTDOOR 4A-4B, LDPC13 HAMMING 2.	40
Figura 2.32. BER VS SNR, PI/4QPSK, INDOOR 1A-1B, LDPC10 HAMMING 1.	40
Figura 2.33. BER VS SNR, PI/4QPSK, OUTDOOR 4A-4B, LDPC10 HAMMING 1.	41
Figura 2.34. BER VS SNR, PI/4QPSK, OUTDOOR 4A-4B, LDPC10 HAMMING 1.	41
Figura 2.35. BER VS SNR, PI/4QPSK, OUTDOOR 4A-4B, LDPC13 HAMMING 2.	42
Figura 2.36. Rb VS SNR, MODULACIÓN Y CANAL MULTITRAYECTO, SIN CODIFICACIÓN.	43
Figura 2.37. Rb VS SNR MODULACIÓN, CANAL MULTITRAYECTO, CON CODIFICACIÓN.	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1. Modulaci3n QPSK.	17
Tabla 3.2. Modulaci3n PI/4 QPSK.	18
Tabla 3.3. Canales Indoor - Comerciales.	19
Tabla 3.4. Pasos del Canal Indoor A.	21
Tabla 3.5. Pasos del Canal Indoor B	22
Tabla 3.6. Canal Outdoor - 1reas Rurales.	22
Tabla 3.7. Pasos del Canal Outdoor A.	23
Tabla 3.8. Pasos Canal Outdoor B.	25

1. INTRODUCCI3N

En la actualidad debido a la necesidad de transmitir información a largas distancias sin utilizar cables, se ha vuelto el uso más frecuente de los sistemas de comunicación inalámbricos; sin embargo al realizar la transmisión inalámbricamente, el canal introduce ciertos errores que dependen del entorno de propagación ocasionando que la señal recibida no contenga exactamente la información transmitida, por este motivo se ha visto la necesidad de implementar codificadores de canal que introducen bits de redundancia lo cual nos permitirá corregir los errores introducidos por este canal inalámbrico.

Además se debe considerar que un canal al ser banda ancha o selectivo en frecuencia va a ocasionar interferencia intersimbólica ISI lo que difícilmente puede ser eliminada por un sistema de una sola portadora, por lo tanto se ha reemplazado estos sistemas por OFDM, ya que, de esta manera se forman varios subcanales de banda angosta y con la ayuda de la transformada de Fourier se implementan ecualizadores más sencillos que puedan combatir la interferencia intersimbólica ocasionada por los canales multitrayectorias.

Otro factor importante que se debe considerar en un sistema inalámbrico es el control de acceso al medio que nos permitirá identificar si otro equipo se encuentra transmitiendo a la misma frecuencia y de esta manera evitar colisiones.

Con el objetivo de tener un sistema inalámbrico óptimo, se ha considerado los factores expuestos anteriormente y por lo tanto se ha implementado en el proyecto OFDM, CSMA, ACK y codificadores de canal lineales Hamming y LDPC para la recepción de información (texto) con la menor probabilidad de error.

Las pruebas de evaluación del rendimiento del sistema se las realizará en base a los parámetros BER y R_b para los distintos escenarios planteados variando el ruido emulado, los escenarios se definirán utilizando los codificadores Hamming o LDPC, modulación QPSK o PI/4QPSK y canales multitrayectorias Outdoor o Indoor.

2. MARCO TEORICO

2.1 OFDM

OFDM es una técnica de modulación digital, que utiliza múltiples portadoras, mediante esta técnica se pretende separar el espectro en varias subportadoras para obtener subcanales de banda angosta y de esta manera evitar la interferencia intersimbólica [2].

En la transmisión para el envío de datos en varias subportadoras, los símbolos mapeados ya sea en QPSK o PI/4 QPSK se convierten en flujos de datos paralelos obteniendo grupos de $N-K$ símbolos, luego se insertan símbolos nulos cada $N-K$ símbolos enviados, los símbolos mapeados en las portadoras se aplica la transformada inversa de Fourier, seguido a ello se coloca como cabecera un prefijo cíclico, con el fin de eliminar las interferencias producidas por el canal. Para transmitir la información nuevamente se realiza la conversión paralelo serial, se aplica el proceso de upsampling y el filtro formador de pulsos como se muestra en la Figura 2.1.

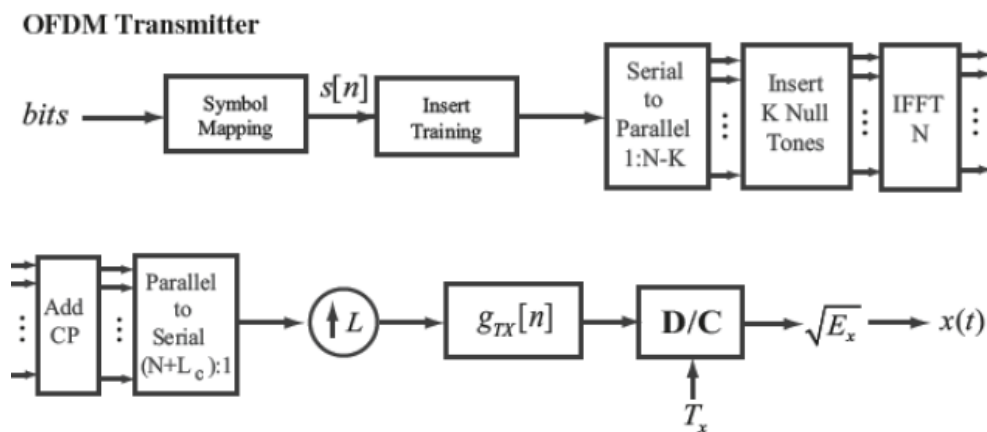


Figura 2.1. Diagrama de bloques transmisión OFDM.

En la recepción se realiza el proceso inverso eliminando las muestras que corresponden al prefijo cíclico insertados en la transmisión, tal como se muestra en la Figura 2.2

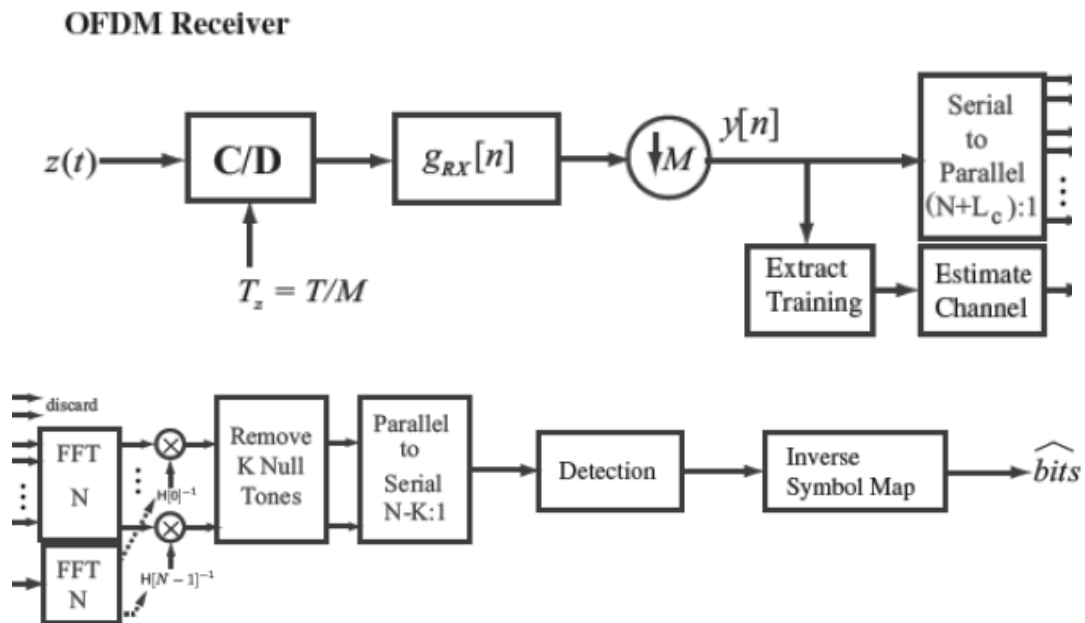


Figura 1.2. Diagrama de bloques receptor OFDM.

2.2 TRANSMISIÓN DE TEXTO

Para la implementación de este sistema se transmitirá un mensaje de texto, como base del proceso de transmisión y análisis, en la cual usamos los bloques del software de LabVIEW, en el transmisor se crea una conversión de texto a string y luego hacia bits. Estos bits son enviados a través de dos codificaciones lineales específicos (LDPC – Hamming), para la transmisión eficaz de del texto.

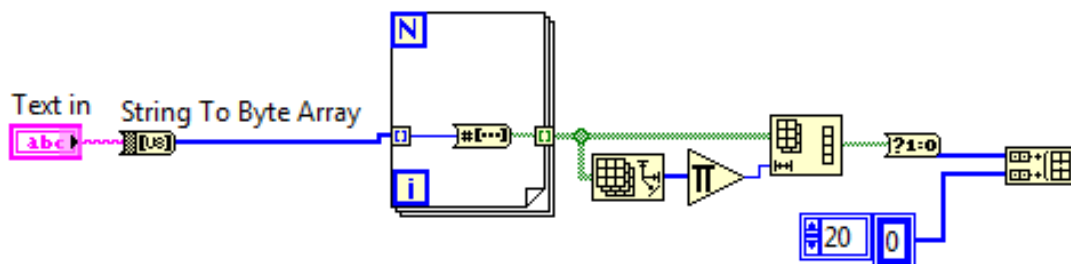


Figura 2.2. Conversión de texto a bits.

En la Figura 2.3 se muestra el código en LabView del subsistema de transformación de texto a string, y luego a un arreglo de bits para que puedan ser modulados y transmitidos, por un canal definido.

2.3 RECEPTOR DE TEXTO

En el receptor el tren de bits enviados por el transmisor, como base del proceso de recepción, en el que a través de los bloques del software LabVIEW, se crea

una conversión de bits a string y luego a texto, las cuales son receptados a través del canal, con una modulación específica y decodificados en el receptor, recuperando la señal transmitida, en la Figura 2.4 se muestra el bloque de conversión de bits a string para recuperar el texto transmitido.

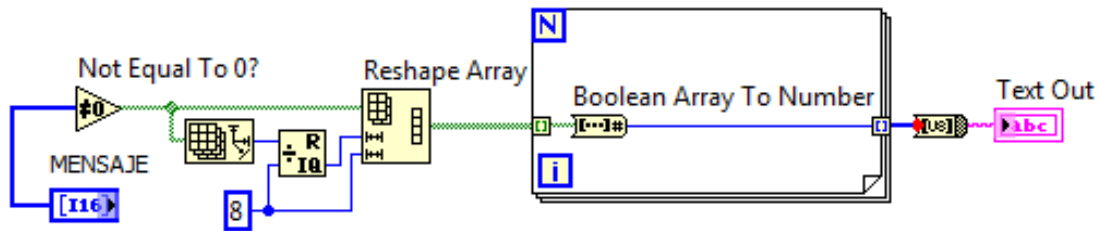


Figura 2.3. Conversión de bits a texto.

2.4 MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN

Modulación engloba un conjunto de técnicas para transportar información sobre una o varias portadoras, típicamente una onda sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos [3].

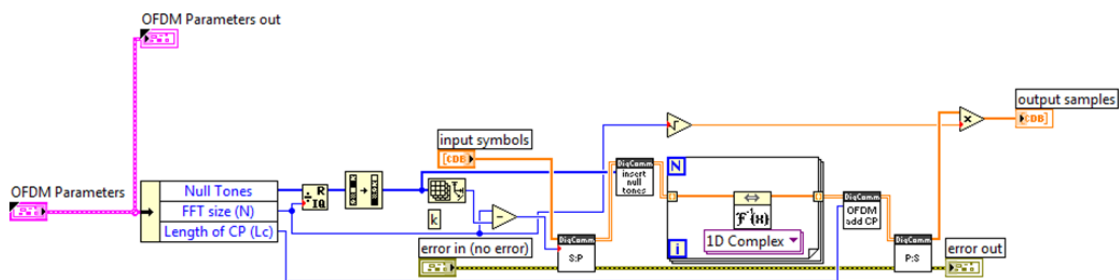


Figura 2.4. Diagrama de bloques modulación OFDM.

En la Figura 2.5 se muestra el diagrama de bloques de OFDM la cual recibe los símbolos aplicados a la modulación digital para convertirlos a múltiples portadoras.

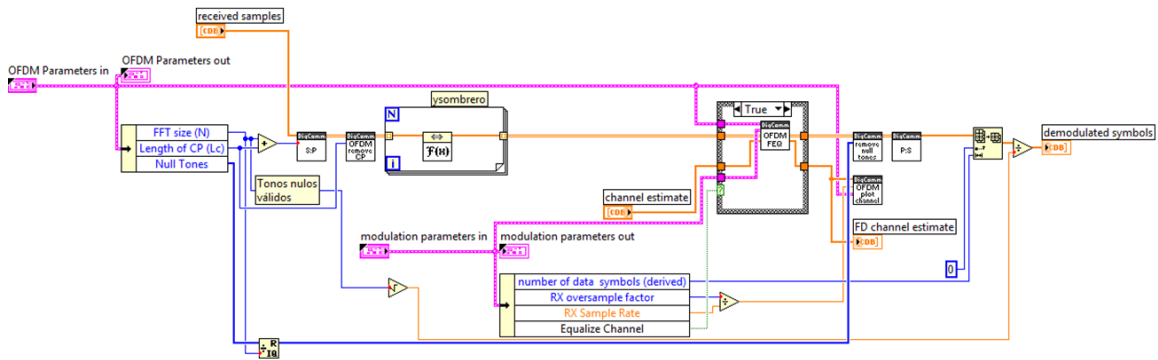


Figura 2.5. Diagrama de bloques demodulación OFDM.

En la demodulación se realiza el proceso inverso mostrado en la Figura 2.6.

2.5 QPSK

Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura, se usan dos bits para formar cada símbolo. El resultado es la portadora con una fase de entre cuatro posibles valores durante el tiempo de duración de símbolo, tal como se detalla en la siguiente fórmula:

$$N_b = \log_2 M$$

N_b : Numero de bits por simbolo.

M : Numero de símbolos.

Para modulación QPSK tenemos que: $M = 4$ y $N_b = 2$

Para esta modulación tenemos las siguientes combinaciones de bits y la representación en el plano cartesiano Tabla 3.1:

BITS	FASE	LOCACIÓN	SIMBOLOS
0	45°	1.0	1+1i
1	135°	1.0	1-1i
10	-45°	315°	-1-1i
11	-135°	225°	1-1i

Tabla 3.1. Modulación QPSK.

En la Tabla 3.1 tenemos los bits con su respectiva fase, también tenemos la conversión de bit a símbolo, todo este comportamiento obedece la modulación QPSK.

Para la modulación QPSK, la representación de la constelación, como se muestra en la Figura 2.7, muestra que entre cada símbolo existe una transición de 45° .

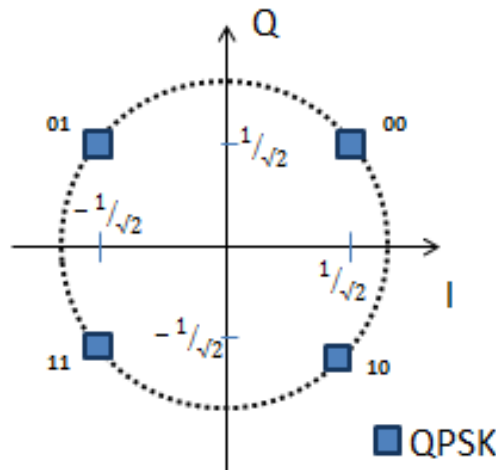


Figura 2.7. Constelación de Modulación QPSK.

2.6 PI/4 QPSK

Esta variante de QPSK utiliza dos constelaciones idénticas que son giradas en 45° o $\pi/4$ (de ahí su nombre) una con respecto a otra. Por lo general, cualquiera de los símbolos pares o impares se utilizan para seleccionar los puntos de una de las constelaciones y los otros símbolos seleccionan puntos de la otra.

BITS	FASE	LOCATION	SIMBOLOS
0	45°	0°	$-0,7071+0i$
1	135°	90°	$0+0,7071i$
10	-135°	270°	$-0,7071+0i$
11	-45°	180°	$0,7071+0i$

Tabla 3.2. Modulación PI/4 QPSK.

En la Tabla 3.2 tenemos los bits, trabajando en su respectiva fase, y su respectiva locación, también tenemos la conversión de bit a símbolo, todo este comportamiento obedece la modulación PI/4 QPSK.

Para la modulación PI/4 QPSK, la representación de la constelación como se puede ver en la Figura 8, muestra que entre cada símbolo existe una transición de 90° .

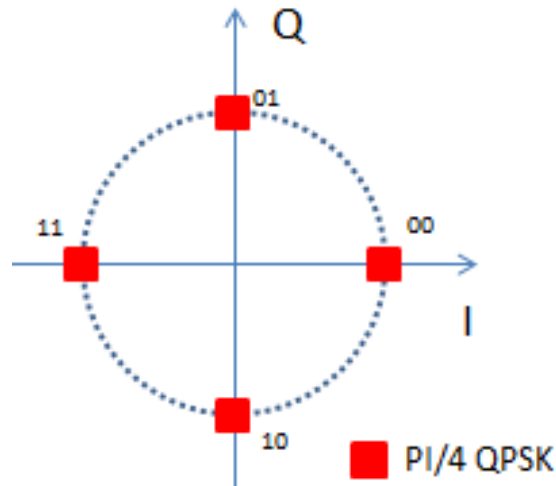


Figura 2.8. Constelación de Modulación PI/4 QPSK.

2.7 CANALES MULTITRAYECTORIAS

Para esta simulación se implementa dos canales Indoor y dos canales Outdoor, que se muestran en la Tabla 3 y 6 respectivamente, donde se indica la potencia en la que se va a transmitir y el tiempo de retardo de las diferentes trayectorias que toma la señal para llegar al receptor [4].

TAP	CANAL INDOOR A		CANAL INDOOR B	
	Delay (nSec)	Avg Power (dB)	Delay (nSec)	Avg Power (dB)
1	0	0	0	0
2	100	-5,9	100	-0,2
3	200	-14,6	200	-5,4
4			400	-6,9
5			500	-24,5
6			700	-29,7

Tabla 3.3. Canales Indoor - Comerciales.

A continuación se mostrarán los resultados del análisis de los “Canales Indoor – Comerciales”, para validar los datos del canal en el Espectro de Potencia de Retraso Multitrayecto, el cual muestra la amplitud de la señal transmitida, en función del retardo del tiempo.

2.7.1 Perfil de Potencia y Respuesta del Canal Indoor A.

$$\tau = \frac{(0)(1) + (0.1)(0.2570) + (0.2)(0.34)}{(1 + 0.2570 + 0.034)} = 0.025\mu s$$

$$\tau^2 = \frac{(0)^2(1) + (0.1)^2(0.2570) + (0.2)^2(0.34)}{(1 + 0.2570 + 0.034)} = 0.0125\mu s$$

Dispersión rms del retardo

$$\sigma_\tau = \sqrt{0.0125\mu s - 0.025\mu s^2} = 0.1089\mu s$$

Ancho de Banda Coherente

$$B_c = \frac{1}{5 \times \sigma_\tau} = \frac{1}{5 \times 0.1089\mu s} = 1,83\text{ MHz}$$

Ancho de banda de señal

$$B_s = \frac{Bofdm}{N} = \frac{10\text{ MHz}}{64} = 0.15\text{ MHz}$$

Donde se comprueba que el ancho de banda de la señal, es mayor al ancho de banda coherente, eso quiere decir, que el canal multitrayecto es Banda Ancha.

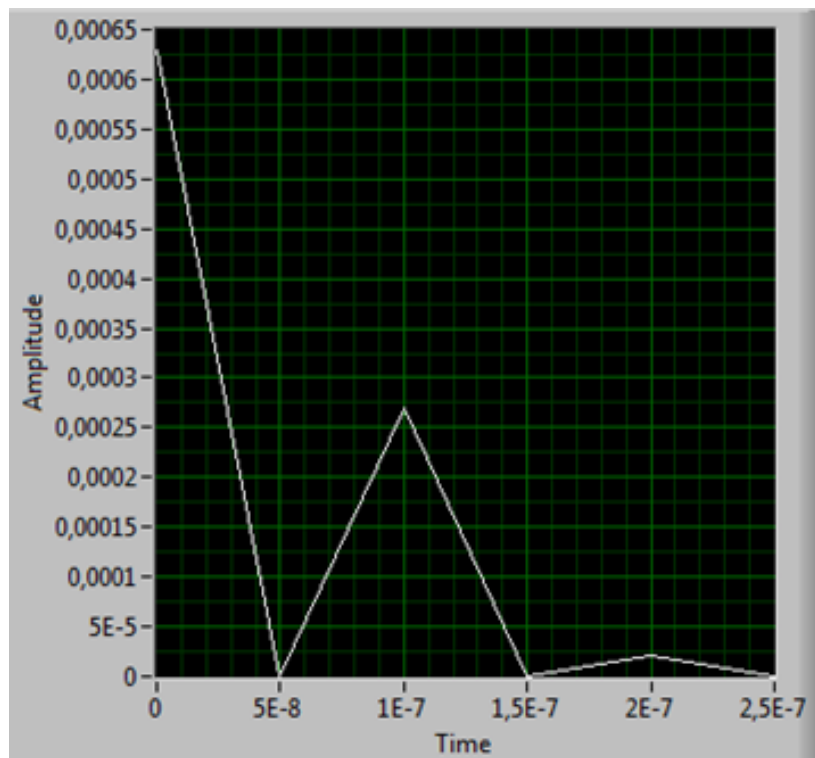


Figura 2.9. Espectro de Potencia de Retraso Multitrayecto - Indoor A.

$(a + bi) =$	1,000000000000	0,000000000000	i
$(a + bi) =$	-0,506990250109	0,000681594588	i
$(a + bi) =$	0,186208040562	-0,000500674804	i

Tabla 3.4. Pasos del Canal Indoor A.

En la Figura 2.9. Mostramos que en la potencia se observa los tres trayectos de la señal con una amplitud y un retardo de 100 ns. La respuesta del canal mediante los cálculos mostrados se valida que $B_s < B_c$ con lo cual se demuestra que es un canal plano.

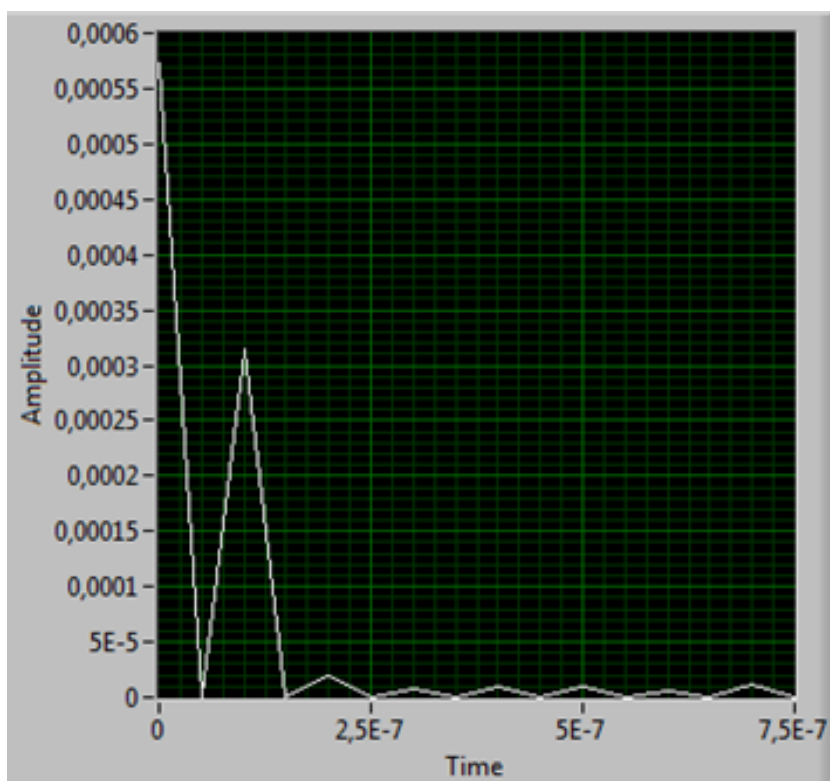


Figura 2.10. Espectro de Potencia de Retraso Multitrayecto - Indoor B.

1,000000000000	0,000000000000	i
-0,977236337830	0,001313790550	i
0,537029855117	-0,001443961909	i
0,000000000000	0,000000000000	i
0,451849410942	-0,002429876286	i

-0,059564868614	0,000400399013	I
0,000000000000	0,000000000000	I
-0,032732619997	0,000308047646	I

Tabla 3.5. Pasos del Canal Indoor B

En la Figura 2.10, mostramos que en la potencia se observa ocho trayectorias de la señal con cierta amplitud y con un retardo de 100 ns.

La respuesta del canal, mediante los cálculos realizados tal como se detallaron anteriormente para el caso del Canal A se cumple que $B_s < B_c$ con lo cual se demuestra que es un canal plano.

2.7.2 Perfil de Potencia y Respuesta del Canal Indoor B.

$$\tau = 0.09678\mu s$$

$$\tau^2 = 0.02282\mu s$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{0.02282 \mu s - 0.09678\mu s^2} = 0.1159 \mu s$$

$$B_c = 1.72 \text{ MHz}$$

$$B_s = 0.15 \text{ MHz}$$

TAP	CANAL A		CANAL B	
	Delay (nSec)	Avg Power (dB)	Delay (nSec)	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 3.6. Canal Outdoor - Áreas Rurales.

Se toman los datos de la tabla 3.6, para implementar el canal multipasos de Canales Outdoor. A continuación se muestran los resultados del análisis de los "Canales Outdoor – Áreas Rurales".

2.7.3 Perfil de Potencia y Respuesta del Canal Outdoor A.

$$\tau = 0.09890 \mu s$$

$$\tau^2 = 0.025 \mu s$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{0.025 \mu s - 0.09890 \mu s^2} = 0.1233 \mu s$$

$$B_c = 1.62 \text{ MHz}$$

$$B_s = 0.15 \text{ MHz}$$

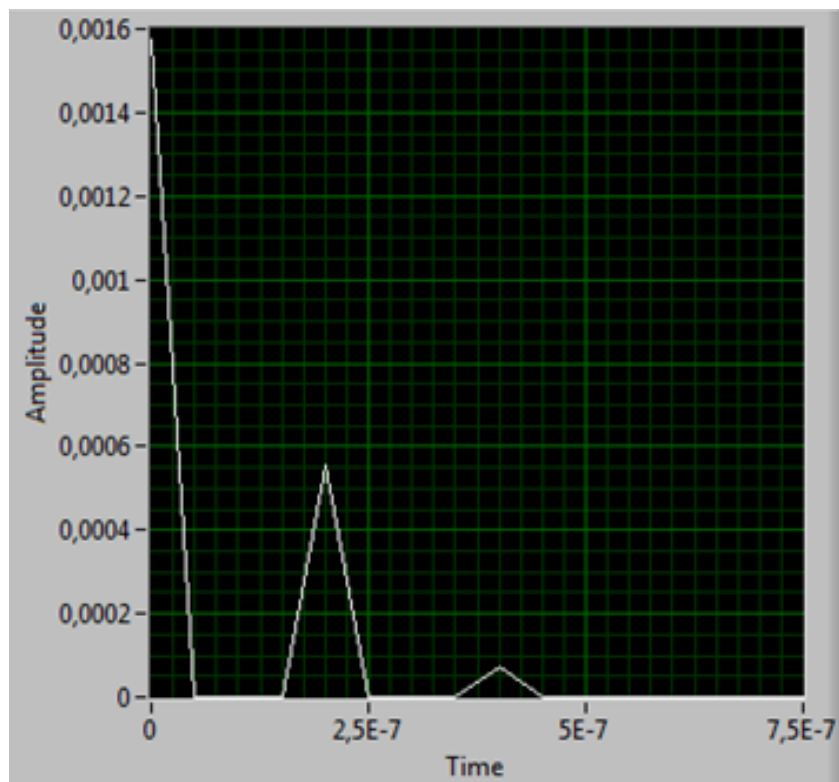


Figura 2.11. Espectro de Potencia de Retraso Multitrayecto - Outdoor A.

$(a + bi) =$	1,000000000000	0,000000000000	i
$(a + bi) =$	0,794325363400	-0,002135776171	i
$(a + bi) =$	0,316223193646	-0,001700529470	i
$(a + bi) =$	0,099996746711	-0,000806627093	i

Tabla 3.7. Pasos del Canal Outdoor A.

En la Figura 2.11 se muestra en Potencia las cuatro trayectorias de la señal con amplitud y con un retardo de 0.2 us.

La respuesta del canal, mediante los cálculos mostrados a continuación se valida que $B_s < B_c$ con lo cual se demuestra que es un canal plano

2.7.5 Perfil de Potencia y Respuesta del Canal Outdoor B.

$$\tau = 0.06369 \mu s$$

$$\tau^2 = 0.01359 \mu s$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{0.01359 \mu s - 0.06369 \mu s^2} = 0.0975 \mu s$$

$$B_c = 2.05 \text{ MHz}$$

$$B_s = 0.15 \text{ MHz}$$

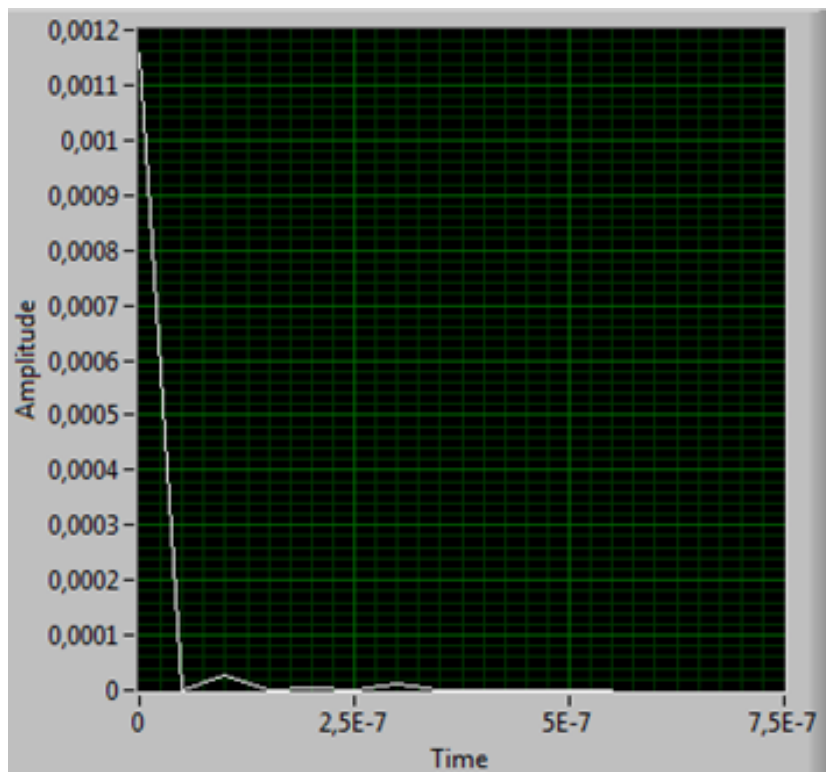


Figura 2.12. Espectro de Potencia de Retraso Multitrayecto - Outdoor B.

1,000000000000	0,000000000000	i
-0,630956774286	0,000848254424	i
0,398105731482	-0,001070423751	i
-0,251186600169	0,001013086065	i
0,158487027632	-0,000852283661	i
-0,099997740768	0,000672191472	i

Tabla 3.8. Pasos Canal Outdoor B.

En la Figura 2.12 se muestra en la potencia las seis trayectorias de la señal con cierta amplitud y con un retardo de 0.1 us.

La respuesta del canal, mediante los cálculos mostrados a continuación se valida que $B_s < B_c$ con lo cual se demuestra que es un canal plano. [3]

2.8 CSMA.

El protocolo de acceso múltiple por detección de portadora (CSMA), es un algoritmo de acceso compartido al medio de transmisión, la aplicación del protocolo es específicamente en redes de Ethernet y en redes inalámbricas. Con el avance de la tecnología, para este protocolo hay dos predecesores que son: CSMA/CD y CSMA/CA, que es el mismo funcionamiento de acceso al canal, pero CA es para detectar las colisiones y el CA es para prevenir colisiones. El final de la implementación del protocolo es evitar las colisiones de la Data, para que el receptor detecte la Data completamente sin errores. [5]

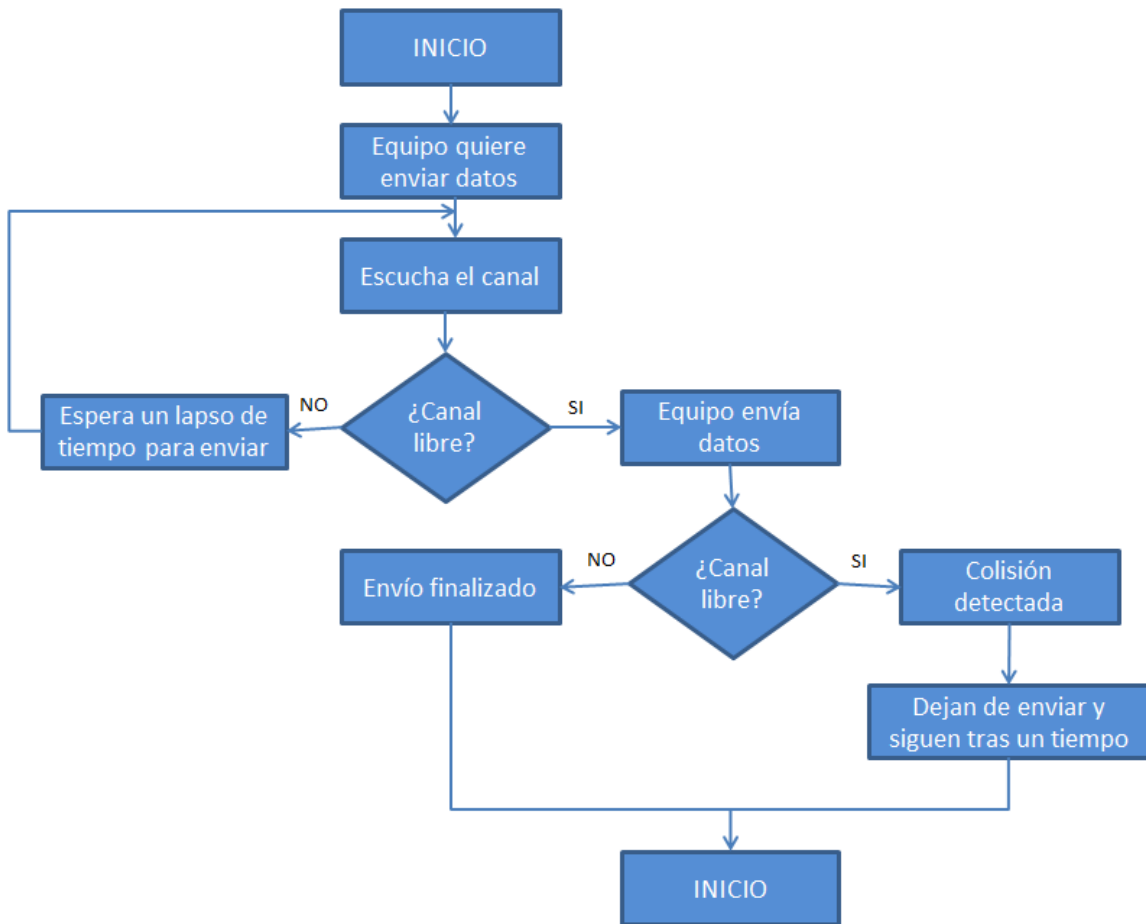


Figura 2.13. Esquema de funcionamiento de protocolo CSMA.

El diagrama de flujo que se visualiza en la Figura 2.13. muestra como es el comportamiento lógico del protocolo CSMA, la cual censa el canal, si está libre el mismo transmite, caso contrario espera. Si el canal está ocupado espera y después de un tiempo transmite. [5]

Según lo antes mencionado para nuestro proyecto se implementa el protocolo CSMA no persistente, que se muestra en la Figura 2.14, el cual consiste en sensar la portadora y esperar cierto tiempo para comenzar a transmitir.

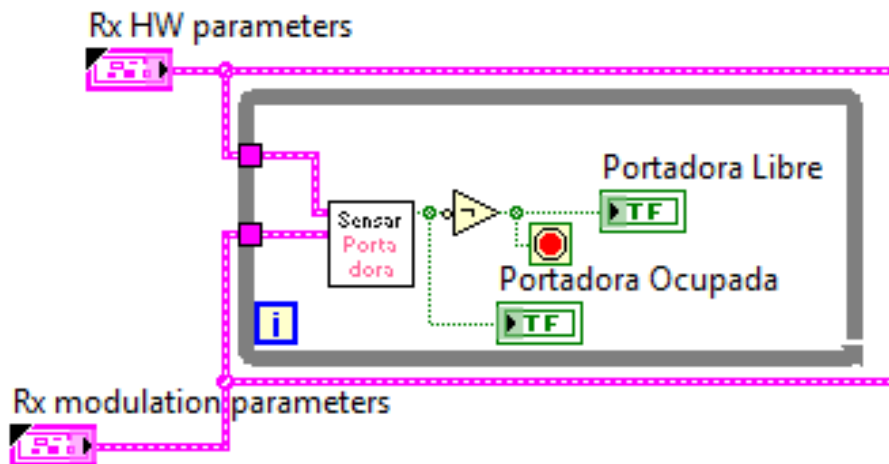


Figura 2.14. Funcionamiento del Protocolo CSMA.

Podemos visualizar que a la entrada de la modulación y de los parámetros del Hardware (Tx) tenemos un sensor de portadora, la cual verifica si el medio está ocupado o no. A continuación tenemos una función de negación, la cual calcula la negación lógica de la entrada, es decir, si X es falso, la función devuelve verdadero, si X es verdadero, la función devuelve falso. También tenemos un bucle While en la que hace que repite el código dentro de un subdiagrama hasta que produzca una condición, en donde determina que la portadora está libre u ocupada, para comenzar la transmisión del texto.

2.9 RECONOCIMIENTO POSITIVO ACK.

ACK del inglés acknowledgement, en comunicaciones de transmisión, es el mensaje que el receptor de la comunicación envía al transmisor para confirmar la llegada del mensaje. El ACK también puede informar si se ha recibido de forma íntegra y sin cambios el mensaje.

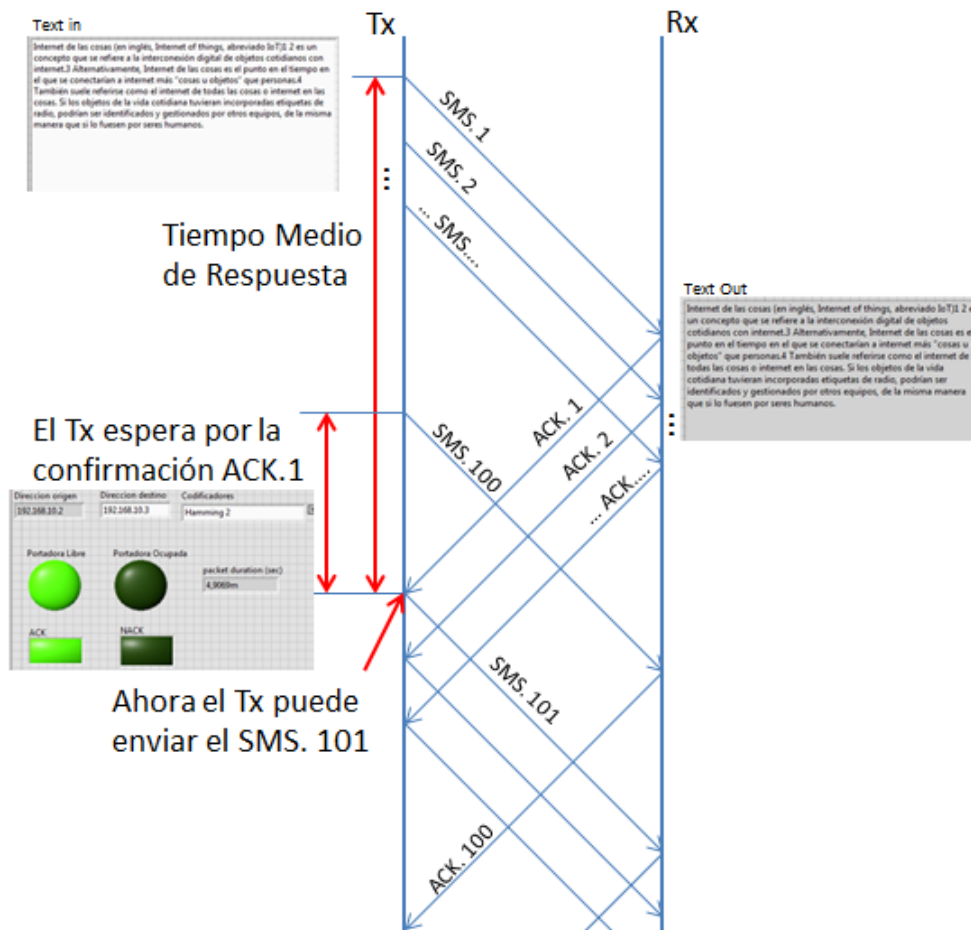


Figura 2.15. Esquema ACK Transmisión sin errores.

En la Figura 2.15 muestra el comportamiento de la transmisión de texto sin errores con confirmación de ACK en el transmisor.

2.10 RECONOCIMIENTO NEGATIVO NACK.

NACK del inglés negative acknowledgement, en comunicaciones de transmisión, es el mensaje que el receptor de la comunicación envía al transmisor para indicar que en la recepción de la trama los datos han llegado con errores y de esta manera iniciar una nueva transmisión de la misma información.

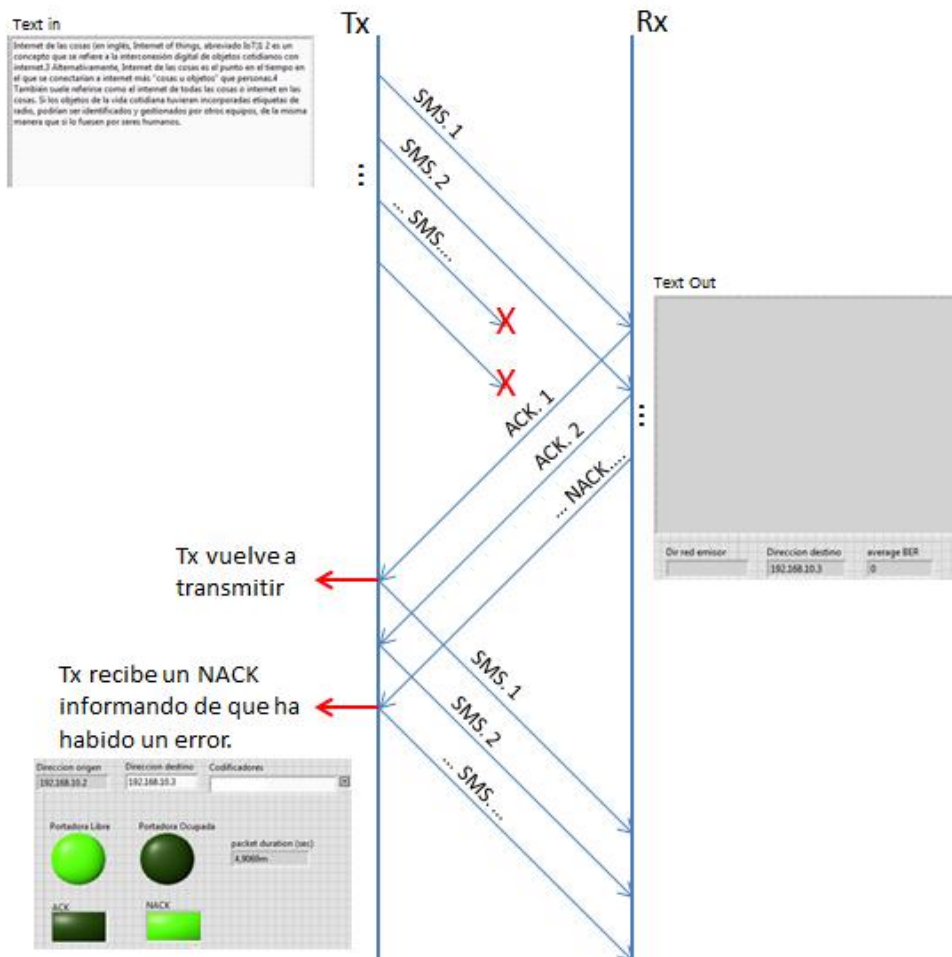


Figura 2.16. Esquema NACK Transmisión con errores.

En la Figura 2.16 podemos visualizar que el mensaje enviado por el transmisor, no llega completamente al receptor, este a su vez envía una respuesta de negación.

2.11 CODIFICACIÓN DE CANAL LDPC.

LDPC (Códigos de comprobación de paridad de baja densidad), la característica de esta codificación es que es eficiente cercana al límite de Shannon, adaptable a distintos tipos de medios, con alta confiabilidad y con algoritmos de baja complejidad. Es una clase de códigos de corrección de error lineal, la cual permite transmitir grandes cantidades de mensajes por los canales estudiados en este proyecto, que presenta un nivel de ruido elevado, es decir, que en el receptor llega la señal con errores. [6]

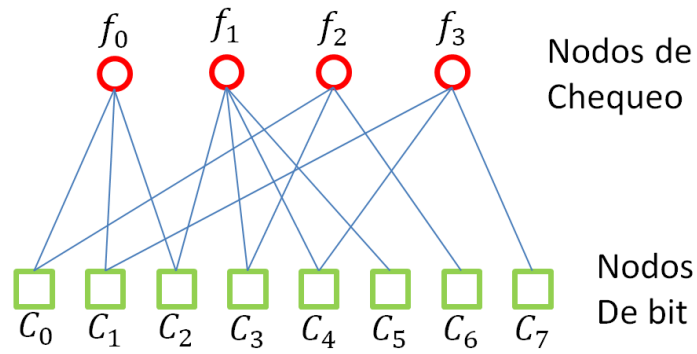


Figura 2.17. Codificación de Canal LDPC.

En la Figura 17 se muestra que en base a esto podemos visualizar el Grafo Bipartido con los nodos separados en dos clases y con las conexiones entre nodos de distinta clase. Por lo consiguiente tenemos la matriz de paridad Figura 18. que se puede ver como una matriz de adyacencia del grafo.

$$H = \begin{pmatrix} 11100000 \\ 00111100 \\ 10010010 \\ 01001001 \end{pmatrix}$$

Figura 2.18. Matriz de Paridad.

Esta forma de representaciones de los códigos lineales se llama grafo de Tanner. Para nuestro proyecto vamos a utilizar la codificación LDPC 13.

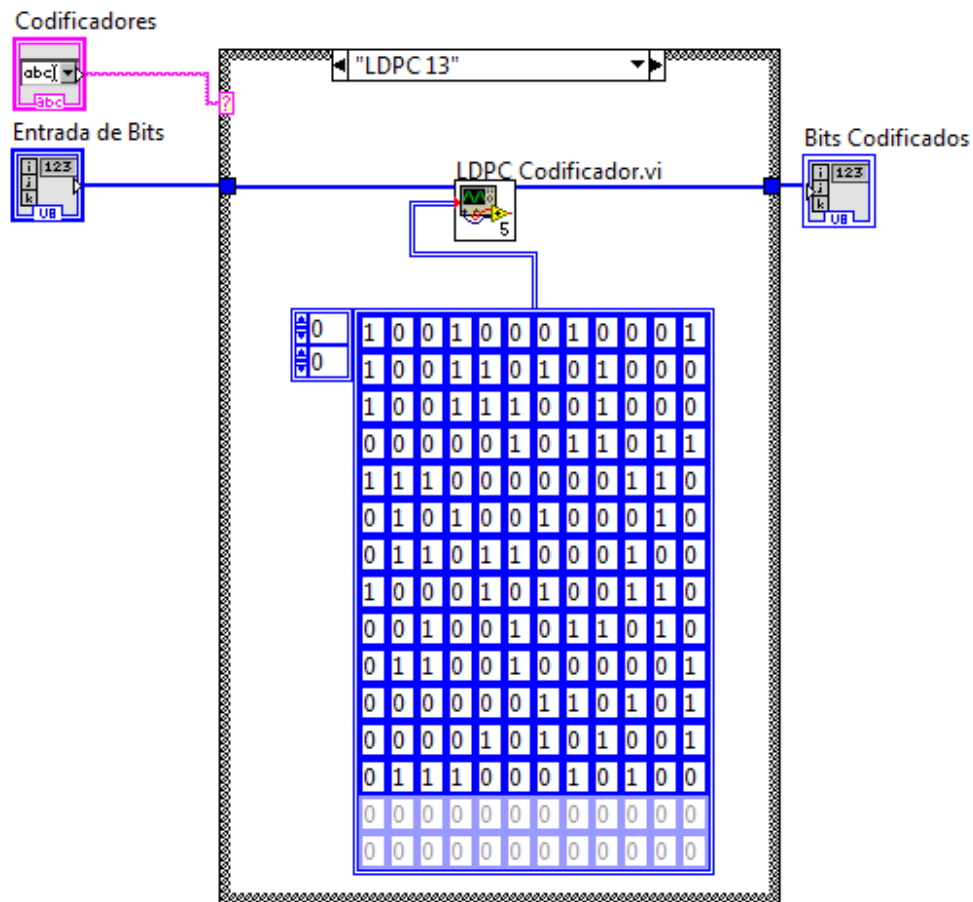


Figura 29. Esquema del proceso de Codificación LDPC 13/12.

En la Figura 2.19 tenemos el esquema de nuestro proyecto consta con la matriz de comprobación de paridad es [12, 13], es decir, que la matriz de comprobación es la que por cada fila de la misma se calcula la paridad con los componentes de la secuencia que vas a transmitir, quiere decir que LDPC 13, son 13 bits que se agregan a la señal original, tomando bloque de información de 12 bits.

Además por efecto de comparaciones se utilizará la codificación LDPC 10.

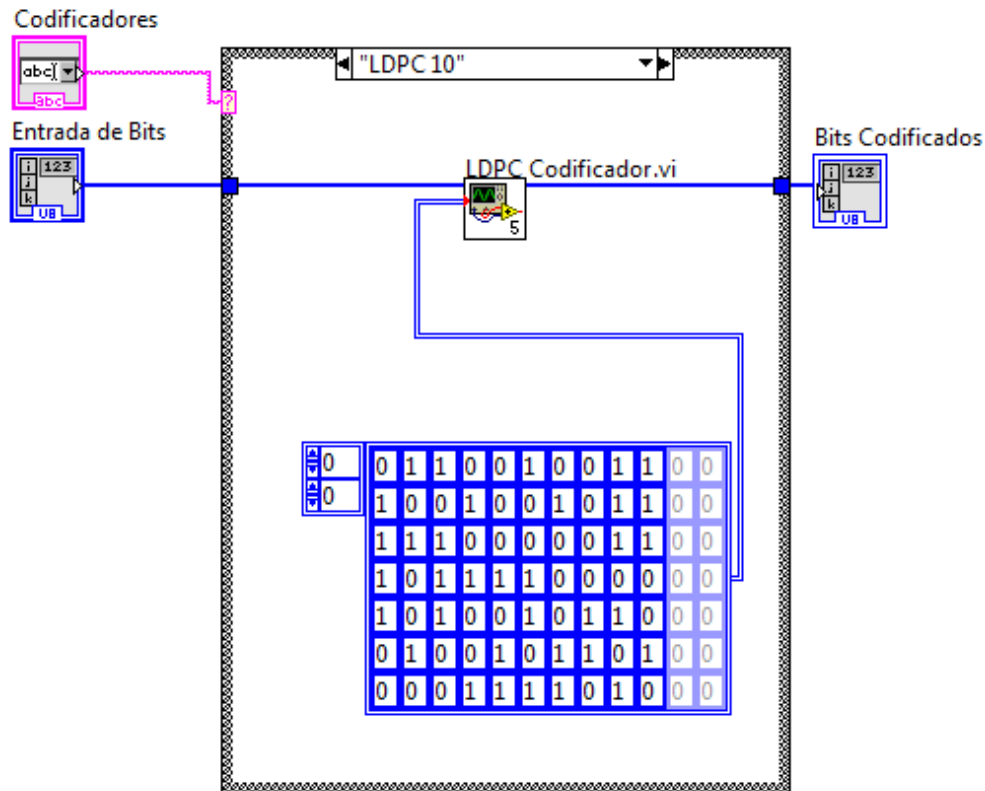


Figura 2.20. Esquema del proceso de Codificación LDPC 7/10.

En la Figura 2.20 consta también una matriz de comprobación de paridad de [10, 7]. Para este proyecto adicionamos la Codificación LDPC 10, que son 10 bits que se agregan a la señal original, para este caso se toman bloques de información de 7 bits, con el fin de poder recuperar o regenerar la data pérdida al ser transmitida.

2.12 CODIFICACIÓN DE CANAL HAMMING.

La idea general del código de Hamming es introducir unos bits de redundancia y distribuirlos en cierta forma a lo largo de la palabra de forma que al producirse errores podamos detectarlas y corregirlas. La nomenclatura general que se usa al expresar este tipo de código lo representamos con dos números [10, 5] donde el primero significa la secuencia de bits que analiza, y la otra el número de bit que lleva la información, haciendo la resta de los dos podemos sacar el número de bits de paridad es 5. [7]

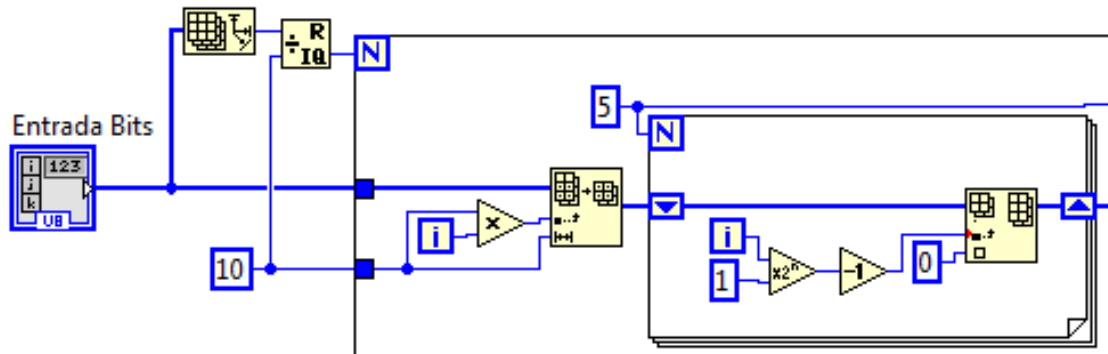


Figura 2.21. Calcula las posiciones del bit de paridad.

Transmisor: En la Figura 2.21 muestra el bloque de codificación, que calcula los bits de paridad, van en las posiciones que son potencia de dos, es decir $n=0,1,2,3,4,5$; tenemos que: $2^n = 1, 2, 4, 8, 16, 32$ y en las posiciones restantes van los bits de datos del bloque de información tomado.

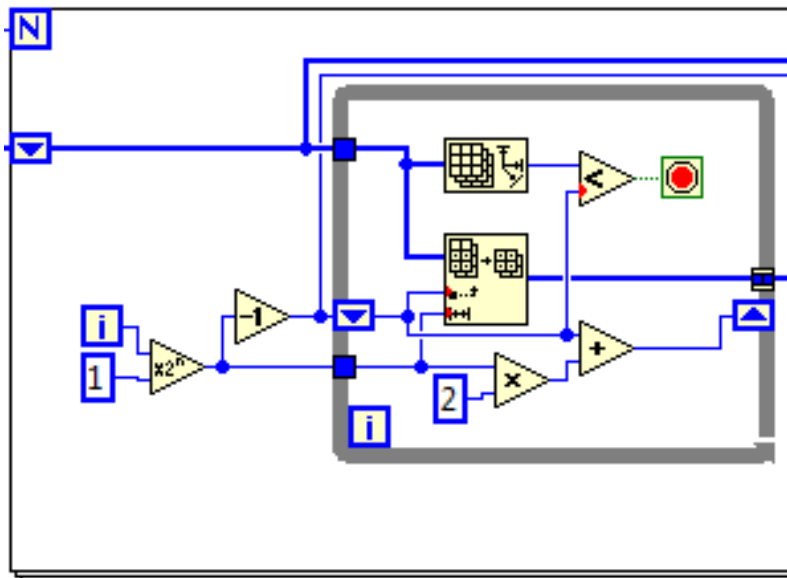


Figura 2.22. Detecta los bit paridad menos significativos a uno.

En la Figura 2.22, el diagrama detecta la posición del bit menos significativo a uno, para lo cual calculamos los bits de las cinco palabras de paridad.

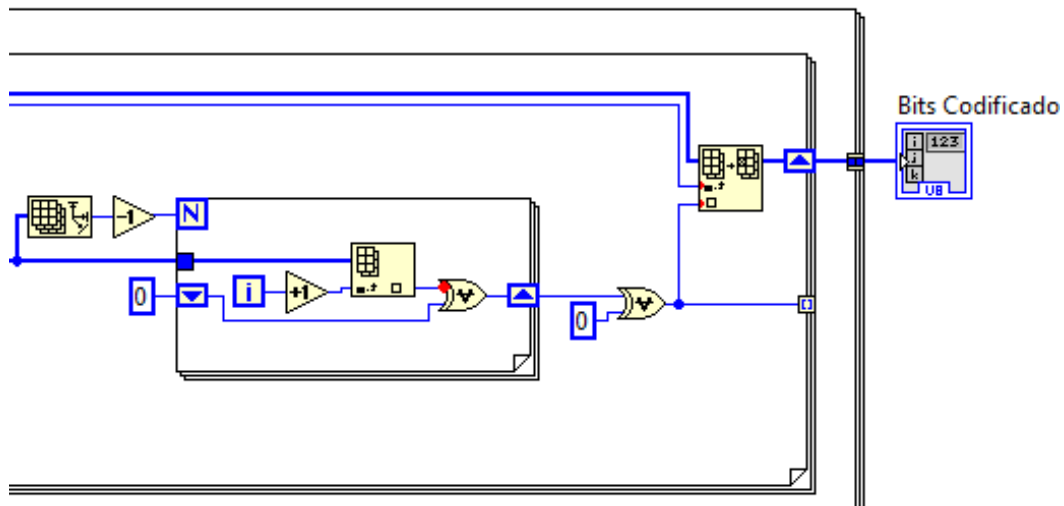


Figura 2.23. Cálculo de paridad

En la Figura 2.23, el diagrama suma los bit de paridad calculados y los bits de información, si la suma de los bits es par le asignamos al respectivo bit de parida un "0", caso contrario si la suma es impar le asignamos al bit de paridad un "1"

Receptor: Para el caso de decodificación, el procedimiento es el mismo, recalcularemos la paridad, extraemos los bit de paridad que vienen en la palabra código y las compararemos.

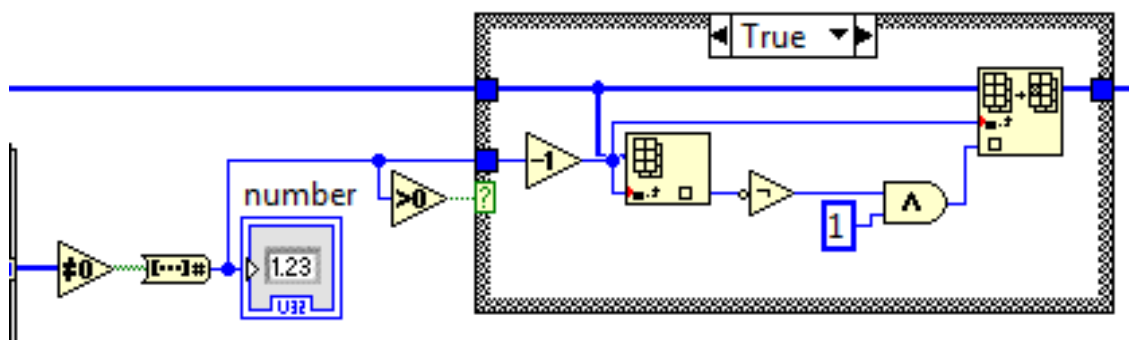


Figura 2.24. Corrección de errores.

En la Figura 2.24 tenemos el bloque que realiza la comparación de la palabra almacenada con el cálculo de paridad, si son iguales no ha habido error, si son diferentes es que se ha producido un error y entonces vemos que el algoritmo es capaz de invertir el bit que se encuentra en la posición de error.

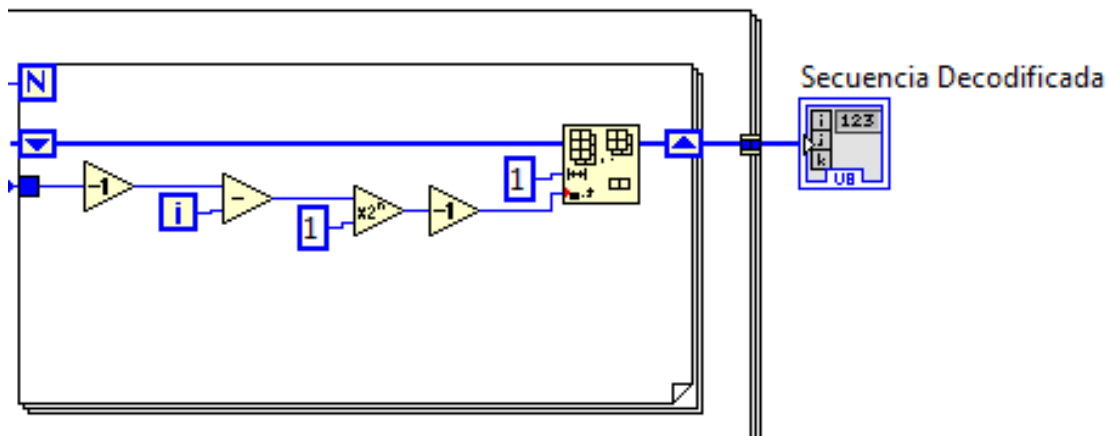


Figura 2.25. Recuperación de palabra original.

En la Figura 2.25 el bloque revisa el arreglo y retorna la información corregida, eliminando los bits de paridad, añadidos en el codificador y recuperando la palabra original.

2.13 ANÁLISIS Y RESULTADOS.

Después de realizar el desarrollo de nuestro sistema, tenemos los siguientes escenarios:

Sistema: OFDM

Data: Texto.

Modulación: QPSK – PI/4 QPSK.

Canal: Indoor A - B, Outdoor A - B.

Capa MAC: CSMA.

Reconocimiento: ACK/NACK

Codificación de canal: LDPC 10 - 13, HAMMING 1 – 2

Para el sistema OFDM se considera una velocidad de transmisión de 20Mbps y con un factor de sobremuestreo de 2 para los canales Indoor 1A, Indoor 1B y para el canal Outdoor 4B utilizamos un factor de sobremuestreo de 4. Una vez implementado el sistema, las pruebas a realizar son las siguientes:

2.13.1 Desempeño de canales multitrayectorias.

A continuación se realizará un análisis comparativo, para los cuatro tipos de canales multitrayecto que son: Indoor comerciales (1A – 1B) Y Outdoor rurales (4A – 4B), con la modulación QPSK, con la ayuda de los USRP 2920 se comparará la transmisión de texto en un ambiente simulado y real.

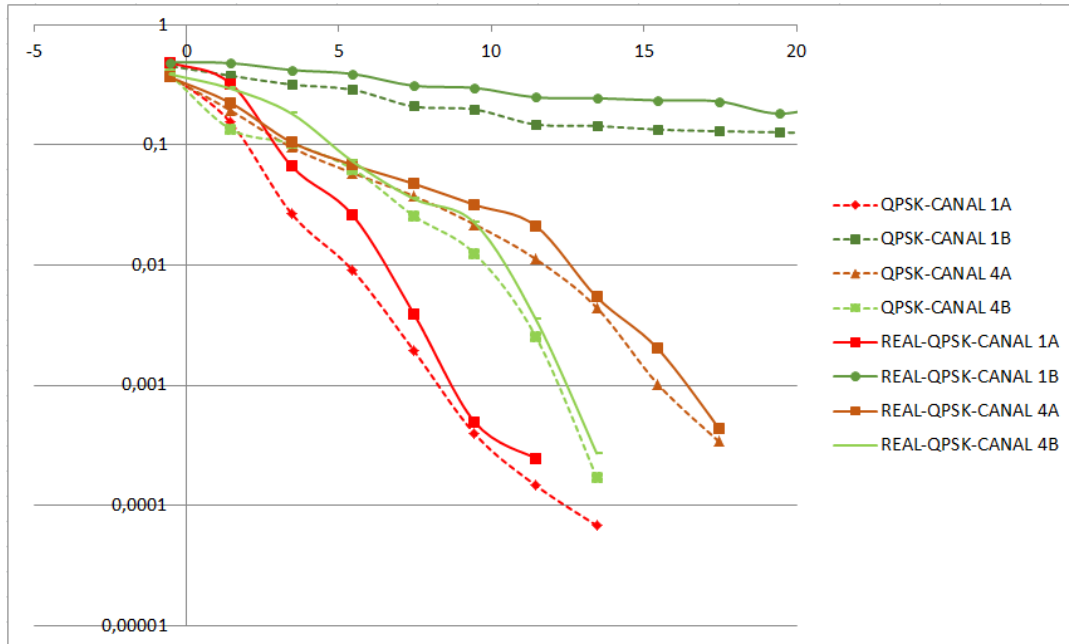


Figura 2.26. BER VS SNR, QPSK, CANALES MULTITRAYECTO.

En la Figura 2.26 observamos los valores de BER que toma la señal al variar la relación señal a ruido SNR, donde se puede apreciar que el canal que presenta un mejor desempeño es el Indoor A ya que posee una menor dispersión de retardo en relación a los demás canales. Además se puede observar que los datos simulados tienen la misma tendencia que los datos obtenidos con los equipos.

2.13.2 Desempeño de Modulaciones.

También se realizará un análisis comparativo, para los dos tipos de modulaciones que son: QPSK y PI/4QPSK, con los diferentes tipos de canales ya nombrados anteriormente, con la ayuda de los USRP 2920 se comparará la transmisión de texto en tiempo real.

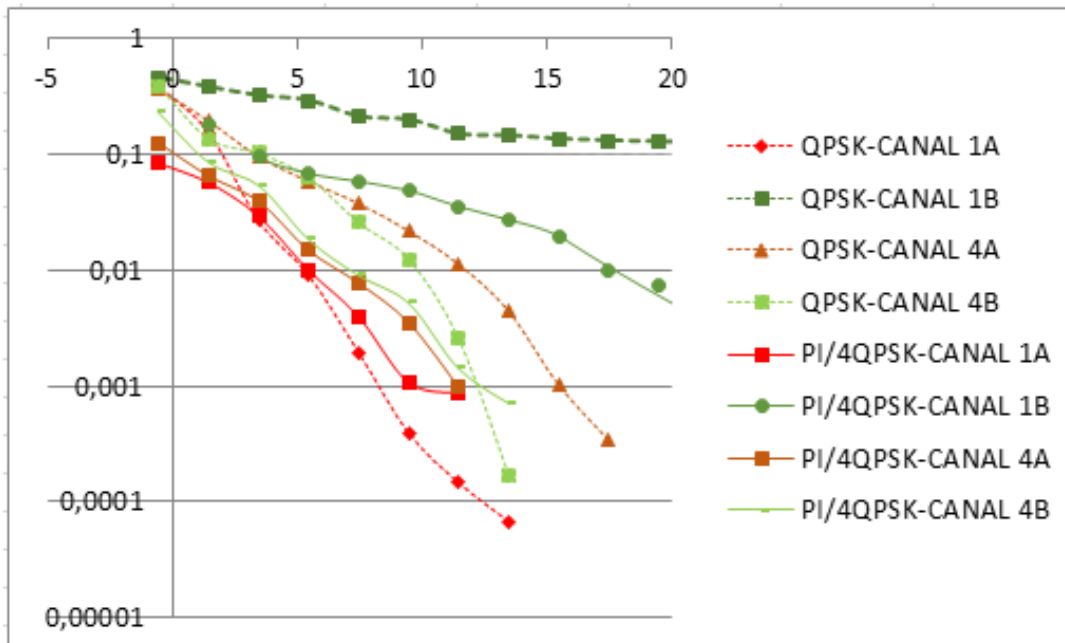


Figura 2.27. BER VS SNR, QPSK vs. PI/4QPSK, CANALES MULTITRAYECTO.

En la Figura 2.27 observamos los valores de BER que toma la señal al variar la relación de señal a ruido SNR, donde se aprecia que la modulación con mejor eficiencia en la señal al ruido es la modulación QPSK, ya que este tipo de modulación los símbolos tienen una mejor transición que existe entre los símbolos.

2.13.3 Desempeño de codificadores de canal.

En esta sección se realizará el análisis de los diferentes codificadores implementados, variando las modulaciones y los canales multitrayectos.

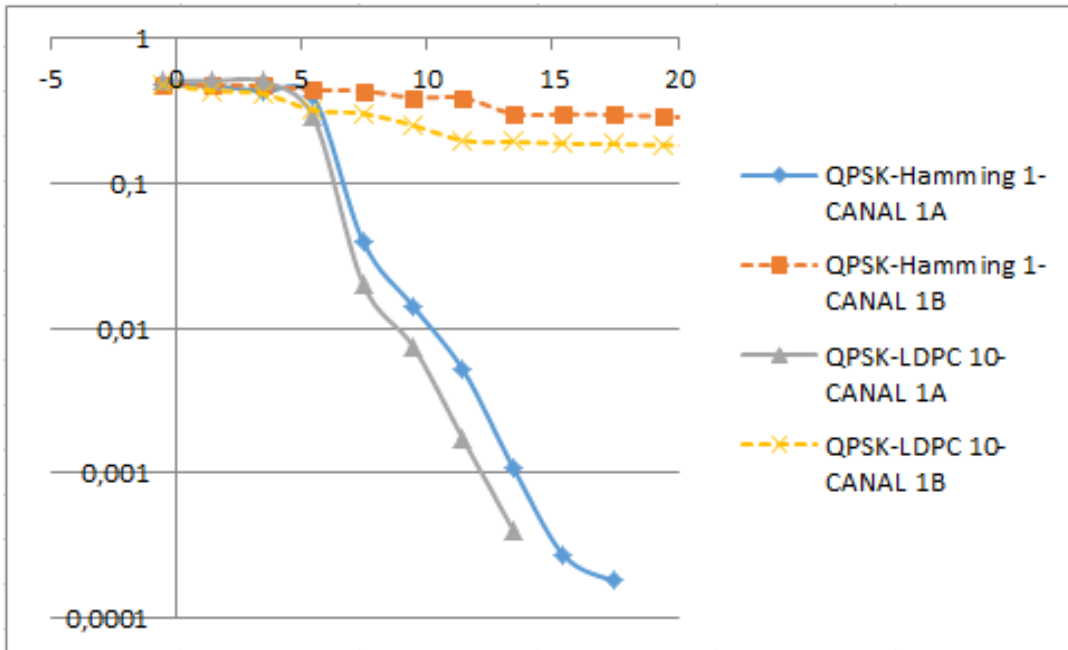


Figura 2.28. BER VS SNR, QPSK, INDOOR 1A-1B, LDPC10 HAMMING 1.

En la Figura 2.28 se observa el comportamiento de la tasa de error de bit, utilizando la modulación QPSK, con los codificadores Hamming 1, FEC Forward error Corrector un bit a la vez y LDPC 10, siendo 10 bits de FEC con respecto a la matriz de paridad, es decir, que el codificador LDPC 10 detecta y puede corregir hasta 10 bits con errores que recibe en el receptor. Claramente podemos darnos cuenta con el comportamiento del canal Indoor 1B, que son tasas muy elevadas por lo que tenemos que hay bastante interferencia al momento de transmitir en ese canal, por lo contrario con el canal Indoor 1A tenemos que se comporta de mejor manera.

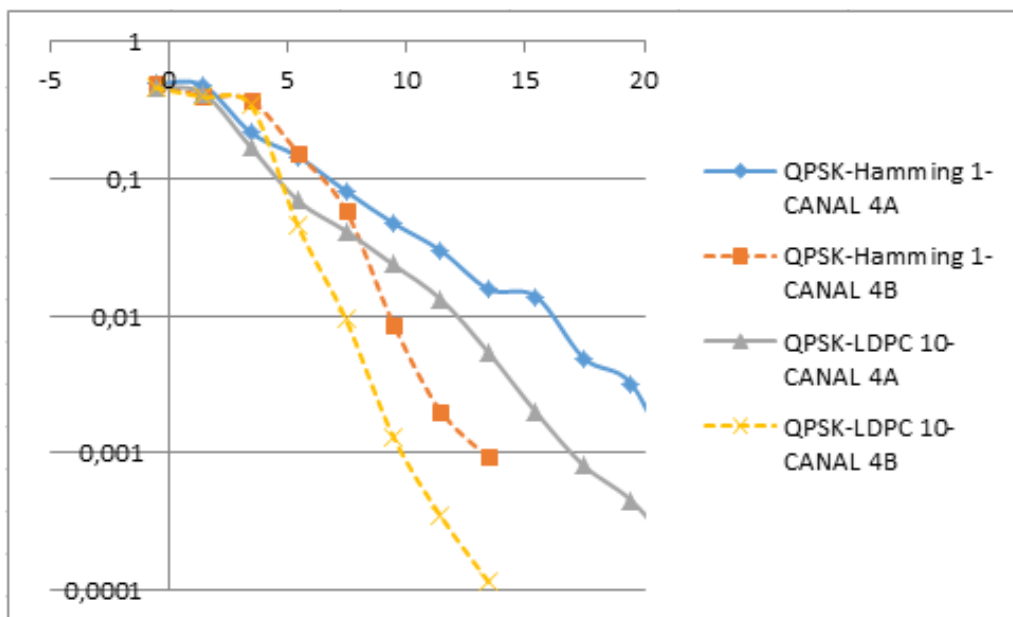


Figura 2.29. BER VS SNR, QPSK, OUTDOOR 4A-4B, LDPC 10 HAMMING 1.

En la Figura 2.29 observamos el comportamiento de tasa de error de bit, utilizando modulación QPSK, con codificadores LDPC 10 y Hamming 1, siendo transmitidos en el canal Outdoor 1A y 4B. Para zonas rurales con el canal 4B y con la codificación LDPC10 tenemos que se comporta de mejor manera y no es afectado a interferencias.

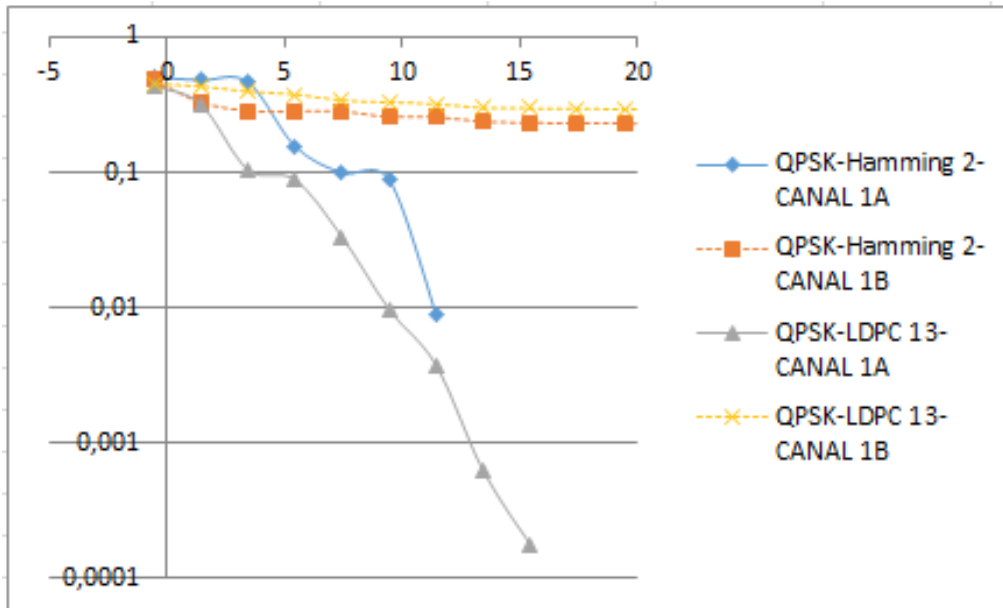


Figura 2.30. BER VS SNR, QPSK, INDOOR 1A-1B, LDPC 13 HAMMING 2.

En la Figura 2.30, observamos el comportamiento de la tasa de error de bit, utilizando la modulación QPSK, con los codificadores LDPC 13 y Hamming 2, y están siendo transmitidos por el canal Indoor 1A y 1B, claramente tenemos que la combinación de (QPSK, LDPC13, CANAL1A) se comporta de mejor manera, ya que comprobamos que la modulación QPSK es mejor, y el codificador LDPC13, según la matriz de paridad, tenemos que tiene la capacidad de regenerar la señal con 13 bits, y el canal 1A, se comporta mejor porque tiene menos pasos, y no es afectado por interferencias.

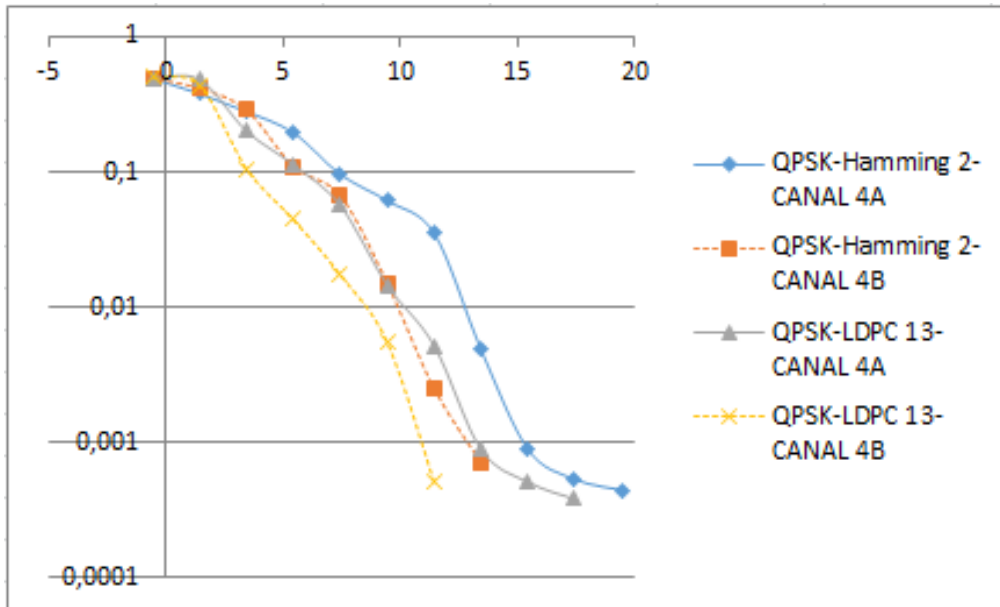


Figura 2.31. BER VS SNR, QPSK, OUTDOOR 4A-4B, LDPC13 HAMMING 2.

En la Figura 2.31. Observamos el comportamiento de tasa de error de bit, que la combinación de QPSK, Hamming 2 y canal 4A es la más vulnerable a pérdidas de la información, y la combinación de QPSK, LDPC13 y Canal Outdoor 4B es la más eficiente, y soporta mayores niveles de ruido.

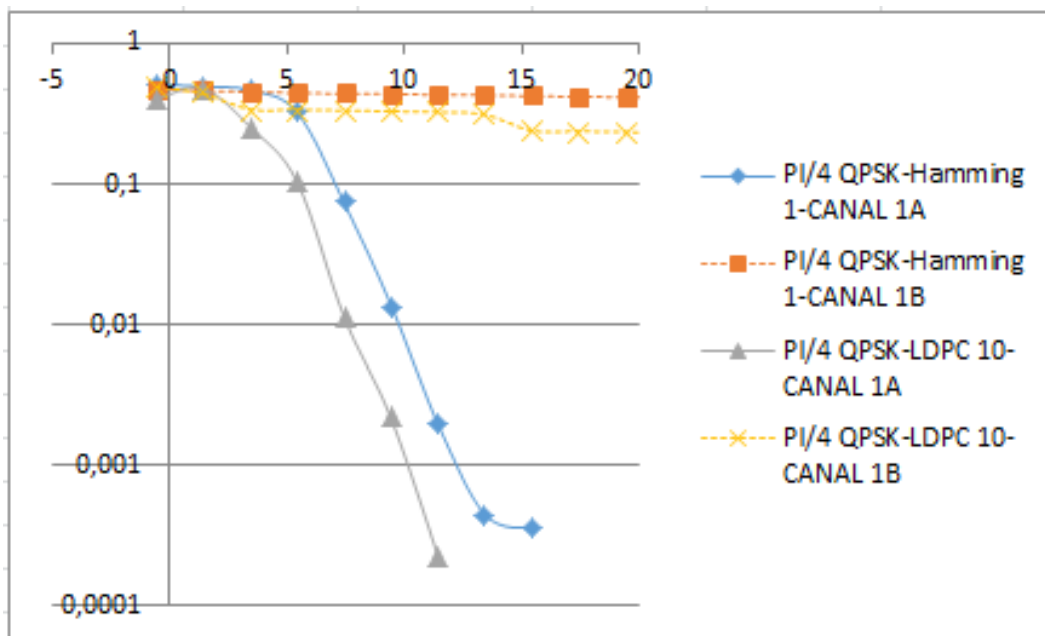


Figura 2.32. BER VS SNR, PI/4QPSK, INDOOR 1A-1B, LDPC10 HAMMING 1.

En la Figura 2.32. Observamos el comportamiento de tasa de error de bit, utilizando la modulación PI/4 QPSK, tenemos que con la combinación PI/4 QPSK, LDPC10, canal Indoor 1A, es la más eficiente, y soporta gran mayor cantidad de ruido.

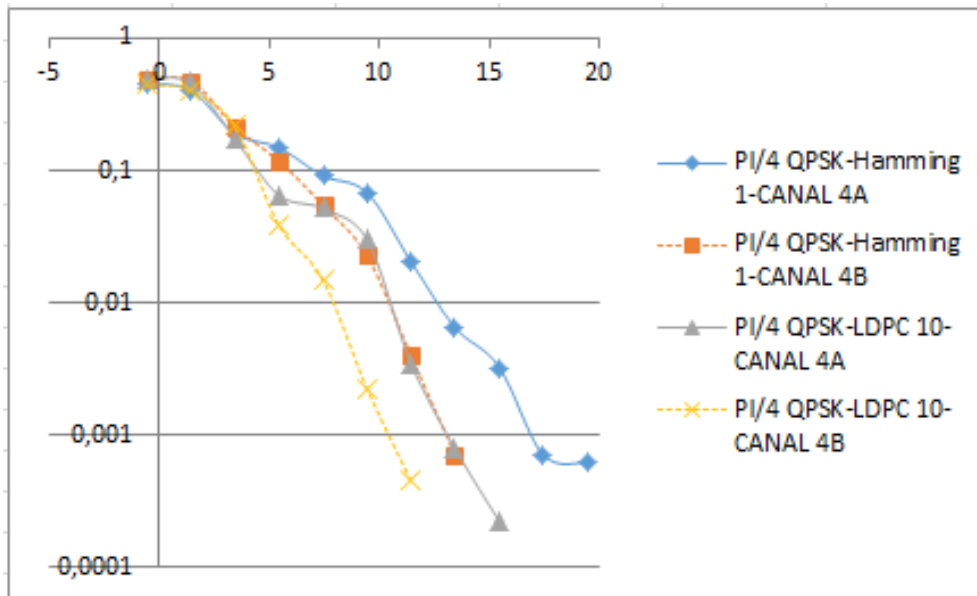


Figura 2.33. BERVSSNR, PI/4QPSK, OUTDOOR 4A-4B, LDPC10 HAMMING 1.

En la Figura 2.33. Observamos el comportamiento de tasa de error de bit, para canales rurales Outdoor, tenemos que PI/4 QPSK, con codificación LDPC 10, transmitido en el canal Outdoor 4B es el más eficiente y soporta gran cantidad de ruido.

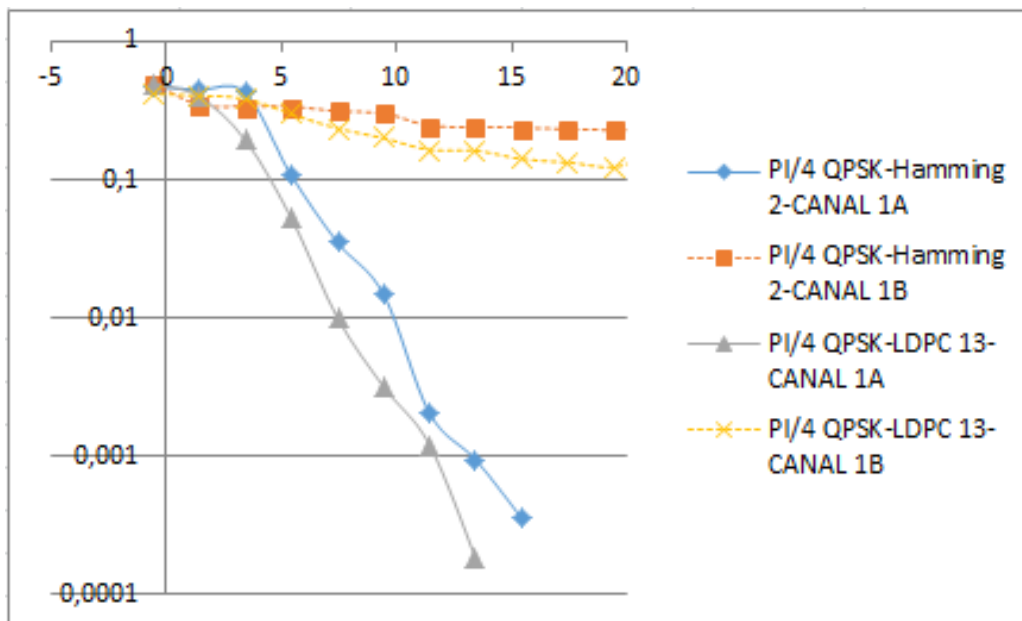


Figura 2.34. BER VS SNR, PI/4QPSK, OUTDOOR 4A-4B, LDPC10 HAMMING 1.

En la Figura 2.34, observamos el comportamiento de tasa de error de bit, con la PI/4 QPSK, codificación Hamming 2 y con el canal Indoor 1A, tenemos que la combinación PI/4 QPSK, LDPC13 y Canal 1A, es la más eficiente. En cambio la

data que se transmiten por medio de los canales Indoor 1B, son afectados por mucho ruido, por eso que el BER sale sumamente elevado.

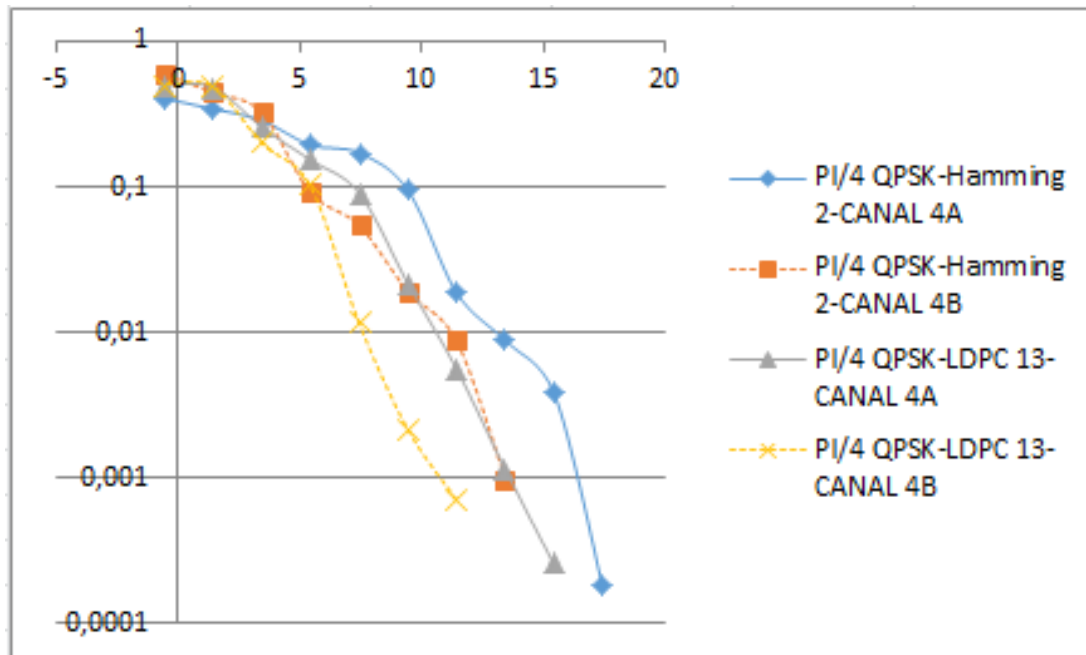


Figura 2.35. BER VS SNR, PI/4QPSK, OUTDOOR 4A-4B, LDPC13 HAMMING 2.

En la Figura 2.35, observamos el comportamiento de la tasa de error de bit, donde se compara con la modulación PI/4 QPSK, codificación Hamming2 – LDPC 13 en los canales Outdoor 4A-4B, tenemos que la combinación PI/4 QPSK-LDPC13-Outdoor4B, es la más eficiente.

2.13.4 Tasa de transmisión de datos.

Para el siguiente ítem vamos a evaluar y/o comparar la relación entre R_b vs SNR, para determinar cuál es la eficiencia de la señal con respecto al ruido, que tan puro llega al receptor y determinar cuál es la tasa de bits máxima para garantizar una transmisión óptima y que no haya pérdidas de paquetes.

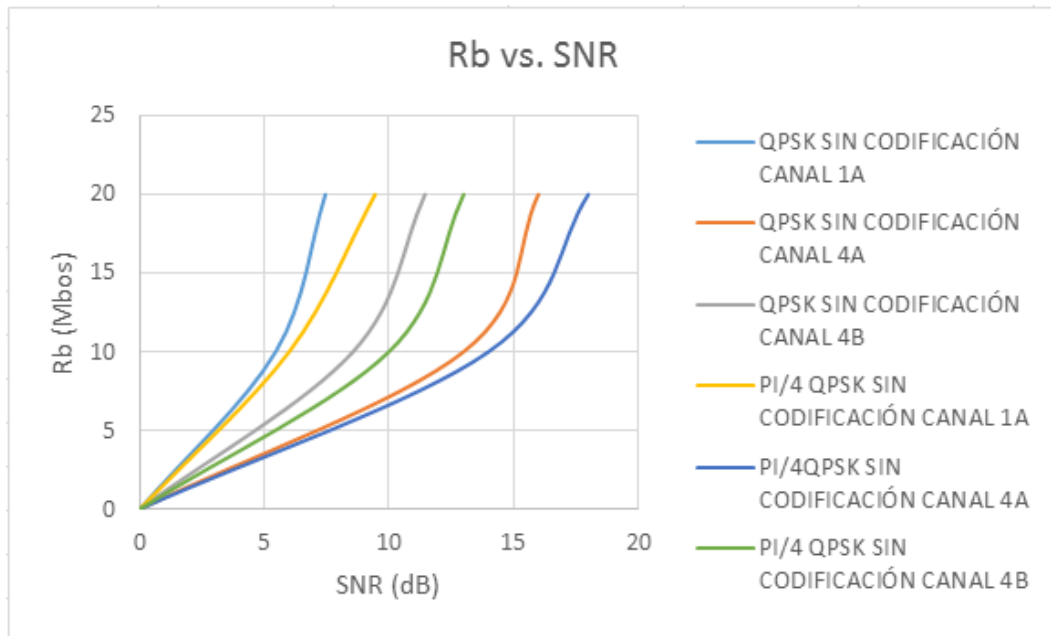


Figura 2.36. Rb VS SNR, MODULACIÓN Y CANAL MULTITRAYECTO, SIN CODIFICACIÓN.

Según la Figura 2.36. Observamos que esta relación de transmisión de datos y SNR, tenemos que para todos los canales multitrayecto que usamos en el proyecto, el mejor que se comporta con las modulaciones QPSK y PI/4 QPSK, es la combinación de la modulación QPSK y el canal Indoor 1A, ya que tiene mejor desempeño y soporta mayores niveles de ruido.

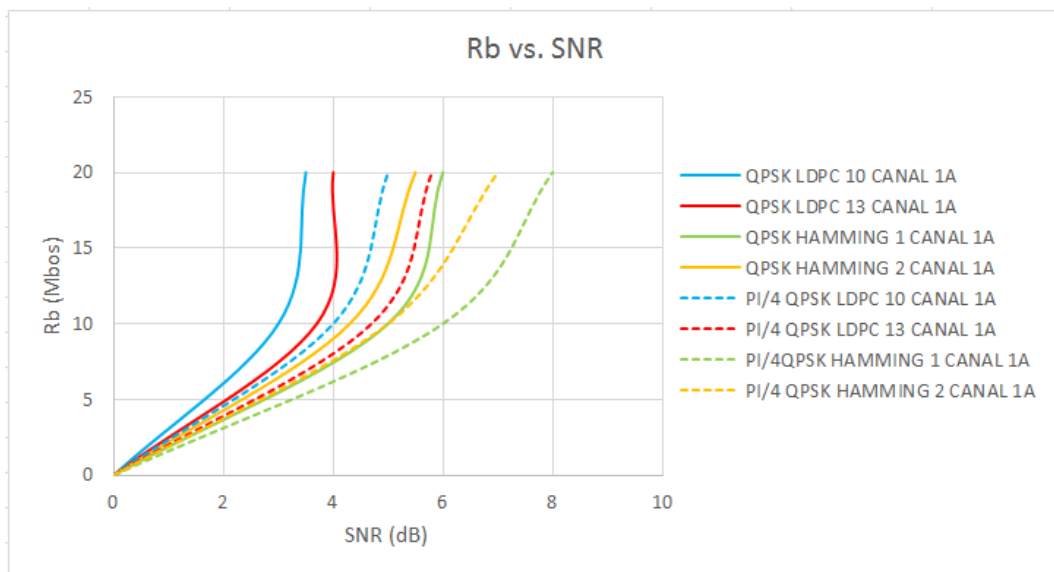


Figura 2.37. Rb VS SNR MODULACIÓN, CANAL MULTITRAYECTO, CON CODIFICACIÓN.

En la Figura 2.37. se tiene un análisis comparativo para las modulaciones, canales y codificaciones, tenemos que para todas las combinaciones posibles en este proyecto, la modulación QPSK, con la codificación LDPC 10, transmitidos por un canal Indoor 1A, es el medio por la que se encontrará

eficacia y seguridad al transmitir información, ya que tienen mucho más desempeño, soporta grandes niveles de ruido y a su vez menores valores de SNR.

2.14 CONCLUSIÓN Y COMENTARIO.

Con las conclusiones y resultados obtenidos en esta simulación se puede concluir lo siguiente:

Para la implementación del proyecto fue necesario emplear funciones de LabVIEW que faciliten la conversión de cadena de caracteres a bits con el fin de poder codificar la información y posteriormente modular.

En el sistema se obtuvo un mejor desempeño con modulación QPSK ya que este tipo de modulación posee una mayor distancia euclidiana entre símbolos y menor transición en la fase con respecto a la modulación PI/4QPSK.

Un canal multitrayectoria se define por los pasos o trayectos que llegan con cierta potencia y retardo, lo cual nos permite definir la dispersión de retardo del canal, mientras mayor sea la dispersión, el ecualizador tendrá dificultad de corregir la interferencia intersimbólica ocasionando que se tengan errores en la recepción de información; como se pudo apreciar al emular el Canal Indoor B.

Tendiendo mayor contaminación en la señal al transmitir tenemos que al codificar, el mejor desempeño utilizado en la simulación tenemos que el codificador lineal LDPC es el más eficiente, ya que LDPC puede corregir más de un error por bloque de información, agregando bits de redundancia, puede regenerar de mejor manera el texto perdido.

La tasa de codificación de un codificador nos permite disminuir los errores introducidos por el canal, ya que esta tasa se relaciona con los bits de paridad que se agrega a la información, mientras mayor sea la cantidad de bits de paridad se va a tener una mejor eficiencia en la corrección de errores.

2.15 REFERENCIAS.

[1]. Robert w. Heat Jr. Ph.D., PE. "Digital Communications: Physical Layer Lab using the NI USRP Platform", National Technology and Science Press.

[2]. Almazán Ramos, María Dolores "Algoritmos en transmisión y recepción para OFDM en entornos multi-usuario" Universidad Carlos III de Madrid.

[3]. Modulación $\pi/4$ QPSK y sus principales usos, http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/alvarado_s_ja/capitulo2.pdf

[4] Eduardo Chancay "Canales Multitrayectos" 2013 <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25435/1/Resumen%20de%20tesis%20EChancay%20y%20CChonillo%2C%20director%20de%20tesis%20Ph.D.%20Boris%20Ramos%20S.%20%208%20ene%202014.pdf>

[5] Teoría Virtual de A. Javier Barragan Piña "Protocolo CSMA" <http://uhu.es/antonio.barragan/content/protocolo-csmacd>

[6] Ismael de Fez Lava "Implementación y evaluación de la codificación LDPC para la transmisión de ficheros en entornos unidireccionales" <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27228/Tesina%20Ismael%20de%20Fez.pdf?sequence=1>

[7] Constantino Perez Vega "Codificación de Canal Hamming" <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Codificacion%20de%20Canal.pdf>