



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Análisis Comparativo de Códigos Correctores de Errores en un Sistema de Comunicación Inalámbrico de Transmisión de Imagen de una Sola Portadora”

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

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Ing. Ricardo Felipe Cascante Yarlequé

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

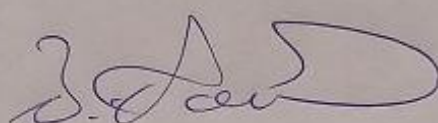
AGRADECIMIENTOS

Agradezco de una manera especial a mi coordinador de la maestría al Ph.D. Boris Ramos, a la Ing. Marisela Freire y a todo su equipo de trabajo, por haberme dado la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos en la ESPOLE en base al apoyo tanto en lo personal como en lo profesional, lo que me ha permitido realizar de buena manera la presentación de este proyecto.

DEDICATORIA

Dedico esta meta alcanzada principalmente a Dios, por ser mi soporte espiritual, a mi madre Lourdes Yarlequé, por ser la razón de mi vida y pilar fundamental en mi Maestría, a mi padre Richard Cascante, por estar conmigo cuando necesitaba un consejo, a mis hermanos Roberto y Rita Cascante, a mis sobrinas Violetita, Paulita y Samanthita, a mis abuelos eternos Papimin y Mamichela que cuidan de mí desde el cielo y a toda mi familia, por ser los pilares fundamentales de mi vida.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ph.D. Boris Ramos

EVALUADOR



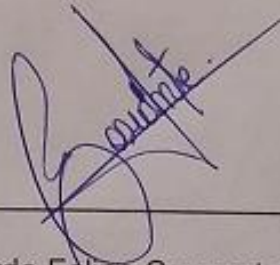
M.Sc. Carlos Valdivieso

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.



Ricardo Felipe Cascante Yarlequé

C.I.:0915504104

RESUMEN

El presente proyecto se basa en el diseño, implementación y simulación dentro de un sistema inalámbrico, en el cual se analizará el desempeño de los códigos de canal Hamming y LDPC (Low Density Parity Check), que se aplican en la transmisión de imágenes. A su vez se observará el comportamiento de cada uno de ellos en distintos canales de transmisión tanto para modulación QPSK y 64 QAM, con la ayuda del programa LabVIEW y los equipos NI USRP-2920. Para aquello, analizaremos el comportamiento de las gráficas BER vs SNR que generen los códigos de canal en diversos niveles de ruido, con el objetivo de establecer los factores que puedan afectar dentro de un sistema de comunicación inalámbrico al momento de transmitir una imagen y a su vez poder ofrecer un sistema más correcto y efectivo.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	III
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
CONTENIDO	vi
ABREVIATURAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
INTRODUCCIÓN	12
1. MARCO TEORICO	12
1.1. DESVANECIMIENTO MULTIPASO	14
1.2. DESVANECIMIENTO MULTIPASO	14
1.3. DESVANECIMIENTO MULTIPASO	15
1.4. CANAL REAL	16
1.5. CANAL ISI	18
2. TÉCNICAS DE MODULACIÓN	22
2.1. QPSK	23
2.2. 64 QAM	25
3. CODIFICACIÓN DE CANAL	26
3.1. CODIFICACIÓN DE CANAL	29
3.2. HAMMING	33
3.2.1. Implementación Codificador y Decodificador Hamming (7,4).....	35
3.3. LDPC (LOW DENSITY PARITY CHECK)	38
3.3.1. Implementación Codificador y Decodificador LDPC (10,9).....	40
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS	42

4.1.1. Desempeño de los codificadores Hamming y LDPC en diferentes modelos de canal.	47
4.1.2. Desempeño de los codificadores Hamming y LDPC en diferentes técnicas de modulación.	48
4.1.3. Tolerancia al ruido.	50
CONCLUSIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	55

ABREVIATURAS

BER	Bit Error Rate
ISI	Interferencia Intersimbólica
OA	Outdoor A
OB	Outdoor B
QPSK	Quadrature Phase-ShiftKeying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
SNR	Signal to Noise Ratio
USRP	Universal Software Radio Peripheral
B_s	Ancho de Banda de Señal
B_c	Ancho de Banda Coherente

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1. Modelo de Canal.....	Pag.13
Figura. 2. Debilitamiento de sombra.....	Pag.15
Figura. 3. Multitrayectoria.....	Pag.16
Figura. 4. Ambiente Real Laboratorio Telecomunicaciones.....	Pag.17
Figura. 5. Perfil de Potencia Canal Real.....	Pag.18
Figura. 6. Perfil de Potencia de Retardos Tabla 4 Canal A.....	Pag.20
Figura. 7. Perfil de Potencia de Retardos Tabla 4 Canal B.....	Pag.21
Figura. 8. Tx Apply Channel Outdoor Áreas Rurales Canal A.....	Pag.22
Figura. 9. Tx Apply Channel Outdoor Áreas Rurales Canal B.....	Pag.22
Figura. 10. Constelación QPSK.....	Pag.24
Figura. 11. Constelación 64QAM.....	Pag.26
Figura. 12. Sistema de Transmisión y Recepción con Ruido.....	Pag.28
Figura. 13. Clasificación de los Codificadores de Canal.....	Pag.30
Figura. 14. Línea de Transmisión con Ruido.....	Pag.31
Figura. 15. Datos con Codificación de Canal.....	Pag.32
Figura. 16. Codificador Hamming.....	Pag.34
Figura. 17. Bits de Paridad Hamming (7,4).....	Pag.35
Figura. 18. Esquema Completo Hamming (7,4).....	Pag.36
Figura. 19. Comparación bits de Paridad Decod. Hamming (7,4).....	Pag.37
Figura. 20. Corrección en la Información Decod. Hamming (7,4).....	Pag.38
Figura. 21. Matriz de Comprobación de Paridad LDPC.....	Pag.40
Figura. 22. Matriz de Paridad LDPC 10 x 9.....	Pag.41
Figura. 23. Codificador LDPC 10 x 9	Pag.41
Figura. 24. Síndrome y Probabilidad de Error Decod. LDPC 10x9.....	Pag.42
Figura. 25. Esquema de Transmisión y Recepción de Datos.....	Pag.43
Figura. 26. Imagen Original.....	Pag.43
Figura. 27. Imagen Distorsionada Canal Real Modulación QPSK.....	Pag.45
Figura. 28. Imagen Distorsionada Canal Real Modulación 64QAM...Pag.46	
Figura. 29. Imagen Distor. Canal A Mod. 64QAM Cod. Hamming 7...Pag.46	
Figura. 30. Imagen Distor. Canal B Mod. QPSK Cod.LDPC 10-3.....Pag.46	
Figura. 31. Gráfica BER VS SNR QPSK Real.....	Pag.47

Figura. 32. Gráfica BER VS SNR CANAL A VS CANAL B QPSK.....	Pag.47
Figura. 33. Gráfica BER VS SNR 64QAM Real.....	Pag.48
Figura. 34. Gráfica BER VS SNR CANAL A VS CANAL B 64QAM....	Pag.48
Figura. 35. Gráfica Rb VS SNR QPSK y 64QAM.....	Pag.50

LISTA DE TABLAS

Tabla. 1. Outdoor Áreas Rurales Tabla 4 Canal A y B.....	Pag.20
Tabla. 2. Cálculo Pasos Canal A Outdoor Áreas Rurales.....	Pag.21
Tabla. 3. Cálculo Pasos Canal B Outdoor Áreas Rurales.....	Pag.21

INTRODUCCIÓN

Hoy en día los sistemas de comunicación presentan gran relevancia tecnológica a nivel mundial ya que nos permiten tener una mayor flexibilidad en el paso de la información desde un punto a otro y por ende una gran ayuda a través de diversos servicios de gran uso en el ser humano ya sea para el envío y recepción de texto, imagen o video. No obstante durante la transmisión de la información, pudiera haber pérdidas de la misma debido a diversos factores tales como el ruido, interferencia intersimbólica, y la atenuación que existen y se generan en el medio. Debido aquello es necesario utilizar los códigos de canal que nos permitan recuperar la información original a pesar que en el medio existan dificultades en el momento de la transmisión.

1. MARCO TEÓRICO

El término canal se refiere al medio entre la antena transmisora y la antena receptora como se muestra en la figura1.

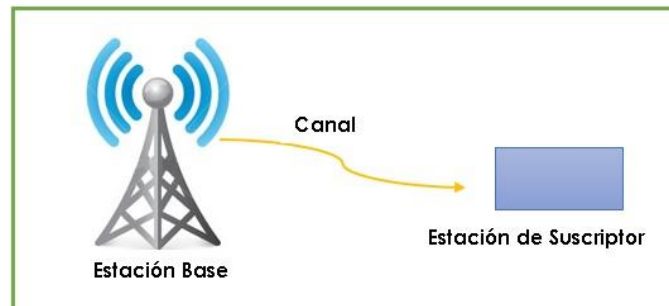


Figura. 1. Modelo de Canal

Las características de la señal inalámbrica cambian a medida que se desplaza desde la antena del transmisor a la antena del receptor. Estas características dependen de la distancia entre las dos antenas, la trayectoria (s) tomada (s) por la señal, y el ambiente (edificios y otros objetos) alrededor de la trayectoria. El perfil de la señal recibida se puede obtener de la señal transmitida si tenemos un modelo del medio entre los dos. Este modelo del medio se llama modelo de canal.

En general, el perfil de potencia de la señal recibida se puede obtener convolucionando el perfil de potencia de la señal transmitida con la respuesta de impulso del canal.

Los tres componentes clave de la respuesta de canal son desvanecimiento multipaso, desvanecimiento de sombra y multitrayecto como se explica a continuación.

1.1. DESVANECIMIENTO MULTIPASO

El canal más simple es la línea de espacio libre del canal de visión sin objetos entre el receptor y el transmisor o alrededor del trayecto entre ellos. En este caso simple, la señal transmitida se atenúa ya que la energía se extiende esféricamente alrededor de la antena transmisora.

La presencia de tierra hace que algunas de las ondas reflejen y alcancen el transmisor. Estas ondas reflejadas pueden tener algún tiempo un desplazamiento de fase de 180° y, por tanto, pueden reducir la potencia neta recibida.

1.2. DESVANECIMIENTO MULTIPASO

Si hay objetos (tales edificios o árboles) a lo largo del camino de la señal, parte de la señal transmitida se pierde por absorción, reflexión, dispersión y difracción. Este efecto se denomina shadowing. Como se muestra en la

Figura 2, si la antena de base era una fuente de luz, el edificio medio proyectaba una sombra en la antena del abonado.

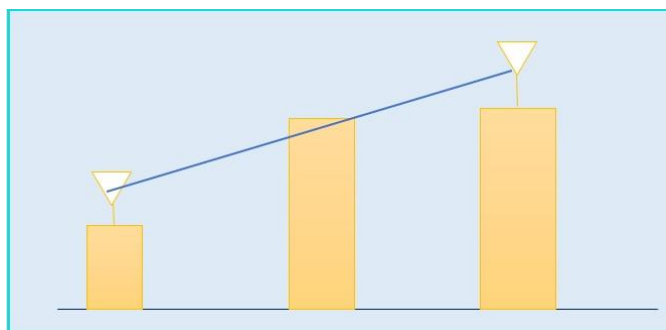


Figura. 2. Debilitamiento de sombra

1.3. DESVANECIMIENTO MULTIPASO

Los objetos situados alrededor de la trayectoria de la señal sin hilos reflejan la señal. Algunas de estas ondas reflejadas también se reciben en el receptor. Puesto que cada una de estas señales reflejadas adopta una trayectoria diferente, tiene una amplitud y una fase diferentes.

Dependiendo de la fase, estas múltiples señales pueden resultar en aumento o disminución de la potencia recibida en el receptor. Incluso un ligero cambio de posición puede dar lugar a una diferencia significativa en las fases de las señales y por lo tanto en la potencia total recibida.

Las variaciones de la intensidad de la señal son debido al cambio de trayectos múltiples a distancias en el rango de la longitud de onda de la señal.

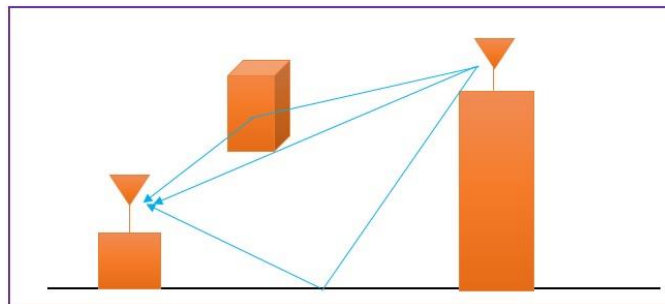


Figura. 3. Multitrayectoria

Puesto que diferentes trayectorias son de diferentes longitudes, un único impulso enviado desde el transmisor dará lugar a múltiples copias que se reciben en diferentes momentos.

Para el presente proyecto se analizará tanto el canal Real como el canal ISI, los cuales detallamos a continuación:

1.4. **CANAL REAL**

La propagación por trayectos múltiples es un hecho de la vida en cualquier escenario de radio terrestre. Mientras que la trayectoria directa o de línea de

visión es normalmente la señal deseada principal, un receptor de radio recibirá muchas señales resultantes de la señal tomando un gran número de trayectorias diferentes.

La propagación de trayectos múltiples resultante de la variedad de rutas de señales que pueden existir entre el transmisor y el receptor puede dar lugar a interferencias en una variedad de formas, incluyendo distorsión de la señal, pérdida de datos y desvanecimiento por trayectos múltiples.

Si se produce la propagación por trayectos múltiples, aparecerán dos o más señales en el receptor. Una es la señal directa o de línea de visión, y otra es una señal reflejada.

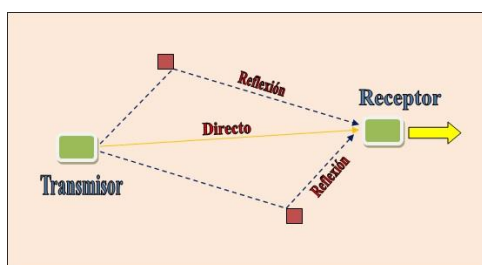


Figura. 4. Ambiente Real Laboratorio de Telecomunicaciones

Como éstos llegarán a tiempos diferentes debido a las diferentes longitudes de trayectoria, tendrán frecuencias diferentes, provocadas por el hecho de que las dos señales han sido transmitidas por el transmisor en momentos ligeramente diferentes. Por consiguiente, cuando las dos señales se reciben

juntas, puede producirse distorsión si tienen niveles de intensidad de señal similares.

Esta propagación de los trayectos multipasos, generan una respuesta impulso que nos ayuda para el estudio del comportamiento del sistema, el mismo que se ve reflejado en un Perfil de Potencia de la señal que se está transmitiendo.

Como parte de las pruebas en el proyecto, obtuvimos el power delay profile en un ambiente de laboratorio interno tal como se muestra en la figura, validando que se mantuvo la misma respuesta del canal para la toma de datos, con separación de antenas 1 mtr.

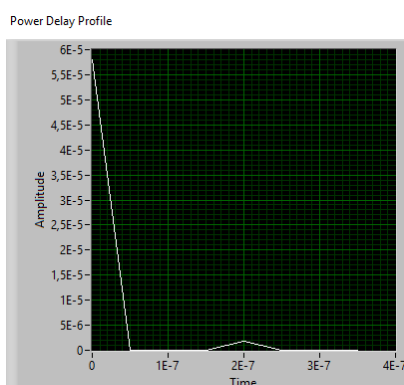


Figura. 5. Perfil de Potencia Canal REAL

1.5. CANAL ISI

A diferencia de las señales analógicas, que normalmente son de naturaleza suave, las señales digitales están compuestas de impulsos con transiciones a menudo verticales. El hecho de que las señales digitales a veces tengan

transiciones verticales aumenta significativamente su ancho de banda, ya que requiere un ancho de banda infinito para representar una señal con transiciones verticales.

El hecho de que cualquier sistema de comunicación tenga ancho de banda limitado para transmitir datos digitales indica que sin duda un impulso cuadrado transmitido se recibirá de manera diferente en el receptor, ya que el canal filtrará algunos componentes del mismo. La diferencia depende de cuán estrecho sea el ancho de banda del canal comparado con la tasa de símbolos en la señal.

El efecto de filtrar parte de la señal transmitida por el canal sobre la calidad de la señal recibida puede ser significativo de que se produzca un fenómeno denominado Interferencia entre Símbolos (ISI). ISI hace que los impulsos transmitidos se mezclen entre sí, lo que significa que un impulso que se transmite entre instantes de tiempo se difuminará en impulsos adyacentes que afectan al proceso de detección de datos y posiblemente causan errores no como resultado de ruido, sino como resultado de la mezcla de símbolos.

Por la representación en gran parte de lo que sucede en la señal a medida que se transmite para nuestro caso una imagen, el tipo de modelamiento indicado está dado en el Canal ISI, por lo tanto para nuestra simulación del proyecto, nos basamos en la siguiente tabla que es originada en las Áreas Rurales Outdoor.

Tap	Canal A		Canal B	
	Delay (uSec)	Avg Power (dB)	Delay (uSec)	Avg Power (dB)
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.2	-2.0	0.1	-4.0
3	0.4	-10.0	0.2	-8.0
4	0.6	-20.0	0.3	-12.0
5			0.4	-16.0
6			0.5	-20.0

Tabla. 1. Outdoor Áreas Rurales Tabla 4 Canal A y B

Los canales multipasos identificados en la tabla 1 como canales Outdoor de Áreas Rurales utilizadas para el estudio de nuestro proyecto poseen 4 retardos para el Canal A y 6 retardos para el Canal B con los tiempos y amplitudes de manera distinta. Para ambos canales si $B_s > B_c$, se dice que el canal Multitrayectoria es selectivo. La demostración respectiva se lo hará en Análisis y Resultados.

Dichos canales presentan una respuesta impulso que ayudan a conocer el comportamiento de un sistema de comunicación, los cuales se pueden observar en el Perfil de Potencia de la señal transmitida.

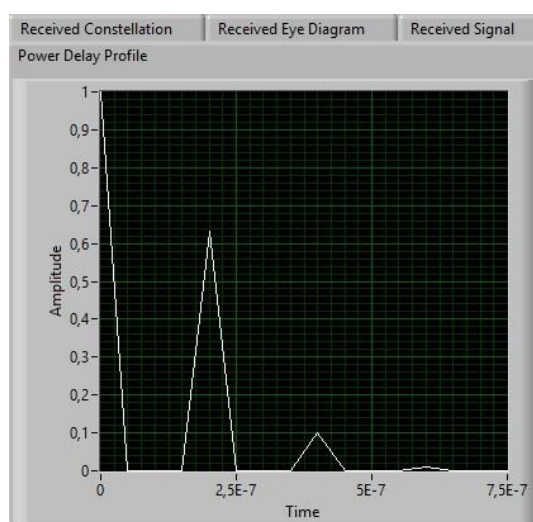


Figura. 6. Perfil de Potencia de Retardos Tabla 4 Canal A

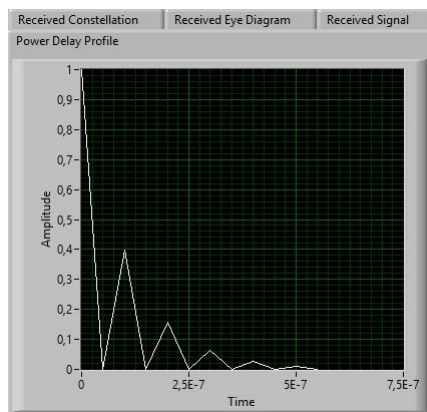


Figura. 7. Perfil de Potencia de Retardos Tabla 4 Canal B

Cabe indicar que para el cálculo de los pasos en el Perfil de Potencia tanto para el Canal A como para el canal B, se realizaron las siguientes operaciones las cuales se muestran en las figuras 9 y 10 respectivamente.

Nombre	Descripción	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4
CANAL A	Retraso τ (μ s)	0,00	0,20	0,40	0,60
	Power (dB)	0,00	-2,00	-10,00	-20,00
$\phi = -2\pi f\tau$		0,00	-1.149,83	-2.299,65	-3.449,48
$P(\text{watts})$		1,00000	0,63096	0,10000	0,01000
$\text{Amplitud} = \sqrt{P}$		1,00000	0,79433	0,31623	0,10000
$\cos\phi$		1,000000	0,999996	0,999986	0,999967
$\sin\phi$		0,000000	-0,002689	-0,005378	-0,008066
$R_e = A\cos\phi$		1,000000	0,794325	0,316223	0,099997
$I_m = A\sin\phi$		0,000000	-0,002136	-0,001700529470	-0,0008066270932756

Tabla. 2. Cálculo Pasos Canal A Outdoor Áreas Rurales

Nombre	Descripción	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6
CANAL B	Retraso τ (μ s)	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
	Potencia (dB)	0,00	-4,00	-8,00	-12,00	-16,00	-20,00
$\phi = -2\pi f\tau$		0,00	-574,91	-1.149,83	-1.724,74	-2.299,65	-2.874,56
$P(\text{watts})$		1,00000	0,39811	0,15849	0,06310	0,02512	0,01000
$\text{Amplitud} = \sqrt{P}$		1,00000	0,63096	0,39811	0,25119	0,15849	0,10000
$\cos\phi$		1,000000	-0,999999	0,999996	-0,999992	0,999986	-0,999977
$\sin\phi$		0,000000	0,001344	-0,002689	0,004033	-0,005378	0,006722
$R_e = A\cos\phi$		1,000000	-0,630957	0,398106	-0,251187	0,158487	-0,099998
$I_m = A\sin\phi$		0,000000	0,000848	-0,001070	0,001013	-0,000852	0,000672

Tabla. 3. Cálculo Pasos Canal B Outdoor Áreas Rurales

Tanto los pasos del Canal A como el Canal B, fueron integrados en el VI TX Apply Channel que se encuentra en el Transmisor.

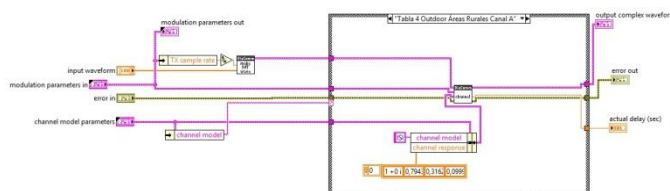


Figura. 8. TX Apply Channel Outdoor Áreas Rurales Canal A

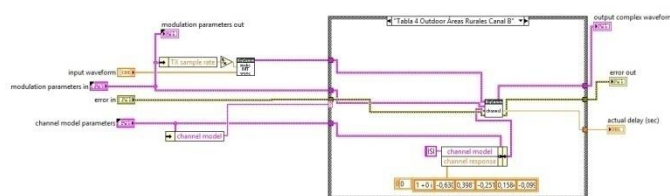


Figura. 9. TX Apply Channel Outdoor Áreas Rurales Canal B

2. TÉCNICAS DE MODULACIÓN

El concepto fundamental de la comunicación digital es mover la información digital de un punto a otro a través de un canal analógico. Más específicamente, la comunicación digital de banda de paso implica la modulación de la amplitud, fase o frecuencia de una señal portadora analógica con una señal portadora de información en banda base. Por definición, la frecuencia es la derivada temporal de la fase; Por lo tanto,

podemos generalizar la modulación de fase para incluir la modulación de frecuencia.

Normalmente, la frecuencia portadora es mucho mayor que la tasa de símbolos de la modulación, aunque esto no siempre es así. En muchos sistemas de comunicaciones digitales, la portadora analógica está en una frecuencia de radio (RF), cientos o miles de MHz, con tasas de símbolo de información de muchos mega símbolos por segundo. En otros sistemas, el portador puede estar a una frecuencia de audio, con índices de símbolos de unos pocos cientos a unos pocos miles de símbolos por segundo.

En esta sección nos enfocamos a las 2 técnicas de modulación basadas para este proyecto como son QPSK y 64 QAM, las cuales permitirán observar el efecto que tomarán los Códigos Detectores de Errores implementados para dicho estudio.

2.1. **QPSK**

En un sistema de comunicación digital, la información que se envía desde el transmisor al receptor siempre se codifica en forma de datos digitales. Si la información que se ha enviado ya está en el formato digital, a continuación, el remitente no está obligada a tener ningún esfuerzo adicional cuando se utiliza el sistema de comunicación digital.

Sin embargo, si la información que se envía es analógica, tales como la voz en voz sobre protocolo de Internet (VoIP) llamada entre dos usuarios finales, es responsabilidad del remitente para convertir la información analógica (voz) en formato digital mediante el empleo de conversión analógico a digital. Obviamente, el receptor tendrá que invertir el proceso mediante la construcción de una señal analógica de la señal digital recibida.

La señal cuadrifásica (QPSK) está representado por cuatro puntos en el diagrama de constelación. Como de costumbre, para cada periodo de símbolos, seleccionamos uno de los cuatro símbolos de transmisión durante el mismo periodo de símbolo. Sin embargo, en este caso, cada símbolo representa dos bits de información y por lo tanto el periodo de símbolo es el doble del período de bit.

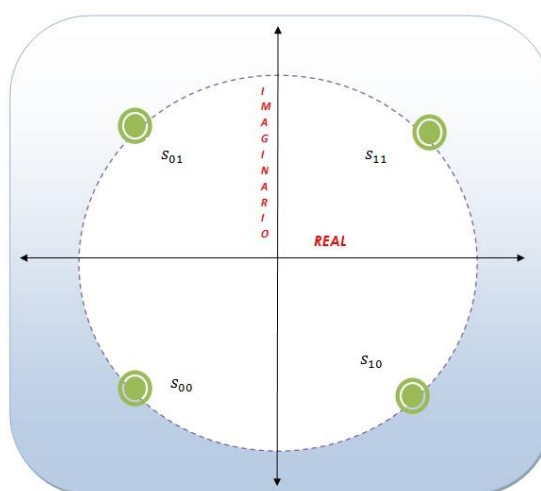


Figura. 10. Constelación QPSK

Ahora que tenemos expresiones para cada punto de la señal en la constelación QPSK, la generación de la señal QPSK es más sencillo ya que podemos destacar que cada punto de la constelación representa dos bits de la señal y, como en el caso de BPSK, cada posible par de bits tiene que ser asignada a uno de los puntos de la constelación

2.2. **64 QAM**

Modulación de amplitud en cuadratura o QAM es una forma de modulación que se utiliza ampliamente para la modulación de las señales de datos sobre un soporte utilizado para las comunicaciones de radio. Es ampliamente utilizado ya que ofrece ventajas sobre otras formas de modulación de datos, tales como PSK, aunque muchas formas de modulación de datos operan entre sí.

QAM es una señal en la que dos portadoras desplazadas en fase en 90 grados son modulados y la salida resultante se compone de dos variaciones de amplitud y de fase. En vista del hecho de que tanto las variaciones de amplitud y de fase están presentes también se puede considerar como una mezcla de amplitud y modulación de fase.

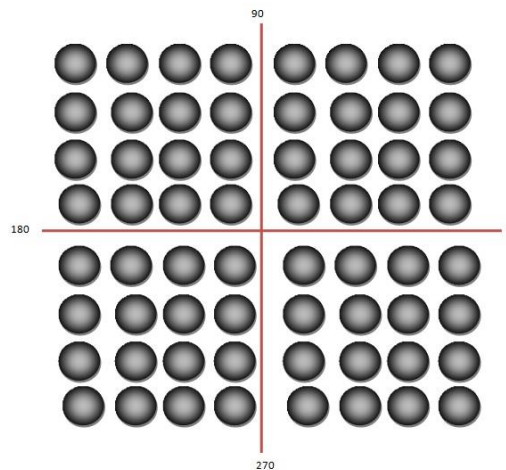


Figura. 11. Constelación 64 QAM

Modulación de amplitud en cuadratura es un esquema de modulación importante con muchas aplicaciones prácticas, incluyendo tecnologías inalámbricas actuales y futuras.

Algunos ejemplos de sistemas de comunicación que utilizan QAM son Wi-Fi, módems de cable, difusión de vídeo digital (DVB) y WiMAX.

3. CODIFICACIÓN DE CANAL

A medida que aumentan las demandas de ancho de banda, la tolerancia a errores y la disminución de la latencia, los diseñadores de sistemas de

comunicación de datos están buscando nuevas formas de ampliar el ancho de banda disponible y mejorar la calidad de la transmisión.

El objetivo de las comunicaciones es transmitir la información que normalmente es desconocida para el extremo receptor de una manera precisa y rápida. Cuando los datos pasan por los canales de comunicación, puede haber pérdida o alguna distorsión de la información. En las comunicaciones de datos, también podríamos aplicar diferentes métodos de codificación para resolver estos problemas. La codificación y la modulación proporcionan los medios de mapear información en formas de onda de tal manera que el demodulador y decodificador apropiados del receptor puedan recuperar la información de una manera fiable. Los códigos se utilizan para la compresión de datos, la criptografía, la corrección de errores y, más recientemente, también para la codificación de red. La teoría de la codificación del control de errores ha sido objeto de intensos estudios desde la década de 1940 y ahora se utiliza ampliamente en sistemas de comunicación. [3]. Los códigos son estudiados por diversas disciplinas científicas tales como la teoría de la información, la ingeniería eléctrica, las matemáticas y la informática, con el propósito de diseñar métodos de transmisión de datos eficientes y confiables.

Esto implica típicamente la eliminación de la redundancia y la corrección (o detección) de errores en los datos transmitidos.

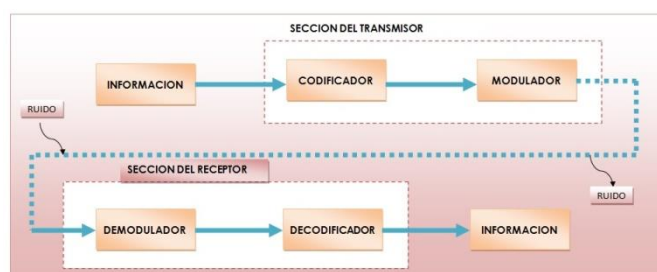


Figura. 12. Sistema de Transmisión y Recepción con Ruido

Los Burst Error o llamados también errores contiguos en el tren de bits, es una ocurrencia común en sistemas de comunicación digital, sistemas de radiodifusión y dispositivos de almacenamiento digital. Muchos mecanismos han ideado para mitigar este problema.

La corrección de errores hacia delante es una técnica en la que se agrega información redundante al mensaje original, de manera que algunos errores se pueden corregir en el receptor, utilizando la información redundante añadida.

Hay esencialmente dos aspectos a la teoría de la codificación:

- Codificación de fuente.
- Codificación de canal

Para efecto de estudio, nos basaremos en la codificación de canal.

3.1. **CODIFICACIÓN DE CANAL**

La codificación de canal se refiere a la clase de transformaciones de señal diseñadas para mejorar el rendimiento de las comunicaciones permitiendo que las señales transmitidas soporten mejor los efectos de diversos impedimentos del canal, tales como ruido, interferencia y atenuación. La codificación de canales para la detección y corrección de errores ayuda a los diseñadores de sistemas de comunicación a reducir los efectos de un canal de transmisión ruidoso [3].

En esta era de la información, hay una necesidad cada vez mayor no sólo de velocidad, sino también de precisión en el almacenamiento, recuperación y transmisión de datos.

Los canales o medios imperfectos a través de los cuales se transmiten mensajes provocan errores en los mensajes recibidos. La codificación de canales es una técnica que permite detectar o incluso corregir estos errores.

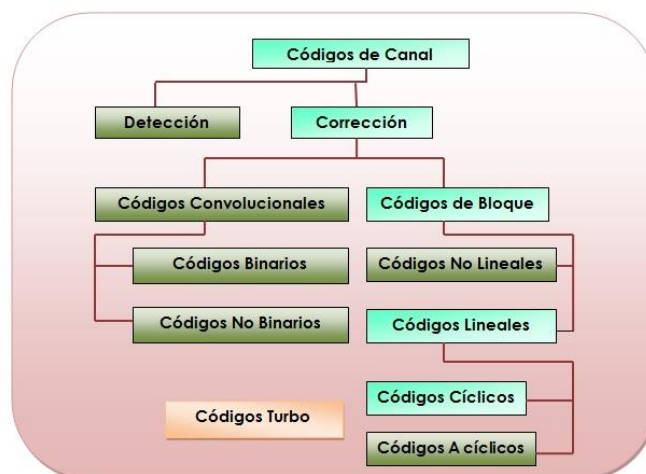


Figura.13. Clasificación de los Codificadores de Canal

Los codificadores de canal sirven para obtener el control de errores en la transmisión de datos en el que la fuente (transmisor) envía los datos redundantes y el destino (receptor) reconoce solamente la porción de los datos que no contiene errores aparentes.

En la teoría de las telecomunicaciones y la información, la codificación de canal, es un sistema de control de errores para la transmisión de datos, por lo que el remitente agrega datos redundantes a sus mensajes, también conocidos como código de corrección de errores. Esto permite al receptor detectar y corregir errores (dentro de algún límite) sin necesidad de pedir al remitente datos adicionales. La ventaja de los codificadores de canal es que no se requiere un canal de retorno, o que a menudo se puede evitar la retransmisión de datos, a costa de mayores requerimientos de ancho de

banda en promedio. Por lo tanto, la codificación de canal se aplica en situaciones en las que las retransmisiones son relativamente costosas o imposibles.

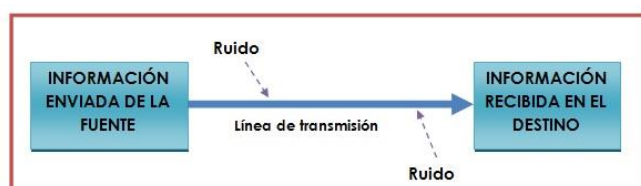


Figura. 14. Línea de Transmisión con Ruido

En particular, la información en la codificación de canal suele añadirse a la mayoría de los dispositivos de almacenamiento masivo para proteger contra daños a los datos almacenados.

Los codificadores de canal están a menudo situados cerca del receptor de una señal analógica, en la primera etapa de procesamiento digital después de recibir una señal. Es decir, los circuitos en la codificación de canal son a menudo una parte integral del proceso de conversión analógico a digital, que también implica modulación digital y demodulación, o codificación y decodificación de línea. Muchos codificadores de canal también pueden generar una señal de tasa de error de bits (BER) que puede utilizarse como realimentación para ajustar la electrónica de recepción analógica.

Los codificadores de canal se logran añadiendo redundancia a la información transmitida usando un algoritmo predeterminado. Cada bit redundante es invariablemente una función compleja de muchos bits de información original.



Figura. 15. Datos con Codificación de canal

La información original puede o no aparecer en la salida codificada; Los códigos que incluyen la entrada no modificada en la salida son sistemáticos, mientras que los que no lo son no son sistemáticos.

Las dos categorías principales de la codificación de canal son la codificación por bloques y la codificación convolucional.

- Los códigos de bloque funcionan en bloques de tamaño fijo (paquetes) de bits o símbolos de tamaño predeterminado.
- Los códigos convolucionales funcionan en secuencias de bit o símbolo de longitud arbitraria.
- Un código convolucional puede convertirse en un código de bloque, si se desea.

- Los códigos convolucionales se decodifican con mayor frecuencia con el algoritmo de Viterbi, aunque a veces se utilizan otros algoritmos.

Se explicará brevemente sobre los códigos aplicados en este proyecto como son los códigos Hamming y LDPC.

3.2. **HAMMING**

A finales de la década de 1940 Claude Shannon estaba desarrollando la teoría de la información y la codificación como un modelo matemático para la comunicación. Al mismo tiempo, Richard Hamming, encontró una necesidad de corrección de errores en su trabajo en computadoras.

La comprobación de paridad ya estaba siendo utilizada para detectar errores en los cálculos de los equipos basados en relés del día, y Hamming se dio cuenta de que un patrón más sofisticado de comprobación de paridad permitió la corrección de errores únicos junto con la detección de errores dobles.

Los códigos que Hamming ideó, los códigos binarios Hamming binarios y sus versiones ampliadas de corrección de error único, marcaron el comienzo de la teoría de la codificación. Estos códigos siguen siendo importantes hoy en día, por razones teóricas y prácticas. Este código es utilizado para la detección y corrección de errores los cuales son producidos en la transmisión

de códigos binarios, los cuales están compuestos por los bits de comprobación y los bits de información.

El código Hamming es generado a partir de una distancia mínima de 3, debido a que una distancia de 1 o 2 produce un inconveniente en la generación de un código para detectar un error. Los códigos de Hamming se expresan como una función de un solo número entero: m .

Los parámetros a utilizar para la construcción de un código Hamming son los siguientes:

- Longitud del código: $m \geq 2$ $n = 2^m - 1$
- Número de bits de información: $K = 2^m - m - 1$
- Número de bits de paridad: $n - k = m$
- Capacidad de corrección de errores: $t = 1$

El código de Hamming más popular es el (4,7) con palabras de código de 7 bits ($k = 4$ bits de información y $m = 3$ bits redundantes) que detecta todos los errores de uno y dos -bit y corrige todos los errores de 1 bit ($n = 7$).

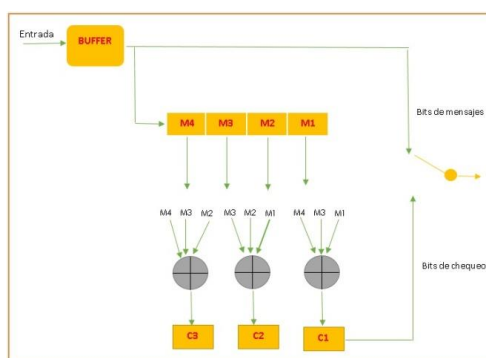


Figura. 16. Codificador Hamming

Los bits de paridad que son añadidos en los datos van a servir en lo posterior en el receptor para poder detectar y al mismo tiempo corregir la posición el bit que fue alterado.

Para efecto de implementación y estudio, desarrollamos un Hamming (7,4) el cual su codificación y decodificación será descrito en el siguiente punto.

3.2.1. Implementación Codificador y Decodificador Hamming (7,4)

Para nuestro proyecto implementamos un codificador Hamming (7,4) en el cual denotamos la cantidad de bloques de información que para nuestro caso son 7 y a su vez hacemos la inserción de 4 bits de paridad siendo estos colocados en las siguientes posiciones: ($2^n=1, 2, 3, 4$), teniendo en cuenta que los bits de paridad son potencia de 2.

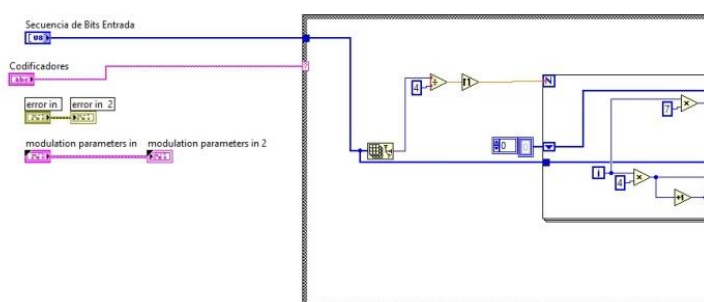


Figura. 17. Bits de Paridad Hamming (7,4)

Luego de la inserción de los bits de paridad, procedemos a realizar el cálculo de los mismos, en el cual nuestro codificador generará valores tanto

significativos como no significativos en las posiciones de dichos bits, en donde el primer bit de paridad denominado p_1 , guardará los datos cuyo valor de bit sea menos significativo en 1. Para este primer bit de paridad tenemos que tomar en cuenta que si se tiene paridad par el bit correspondiente tendrá un valor de cero y de darse lo contrario el valor será de 1.

Así mismo como el caso del bit de paridad p_1 , para el bit de paridad N-ésimo denominado p_n , guardará los datos que tengan en dicha posición del bit menos significativo un 1. Luego de aquello se procederá a calcular la paridad correspondiente para asignarle un valor.

Para finalizar la codificación, los bits de paridad obtenidos serán colocados en las posiciones descritas a principio de esta sección y en el resto de posiciones se colocarán tanto los bits de datos y de información que para nuestro proyecto se consideró 7 bits.

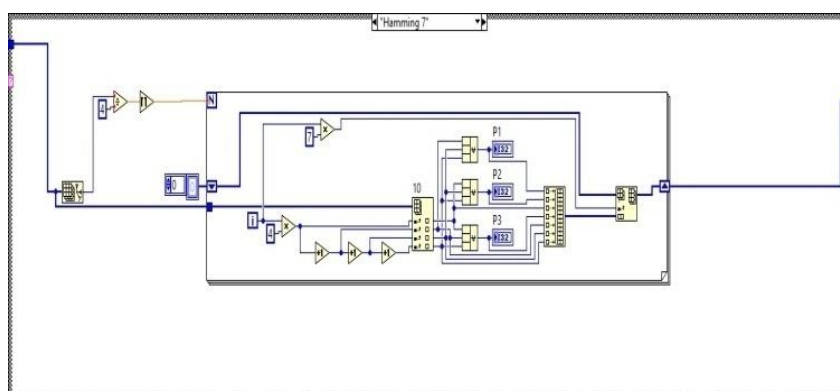


Figura. 18. Esquema completo Hamming (7,4)

Para nuestra decodificación presentada en este proyecto, hacemos un recálculo de los bits de paridad usando el mismo proceso que aplicamos en la codificación, en el cual procedemos a la extracción de los bits codificados y se comparan con los que se han calculado. En el momento de la comparación nos indicará si ha existido o no errores es decir si son iguales no hay error. Los errores en la decodificación serán interpretados con un valor de 1 y los no errores con un valor de 0.

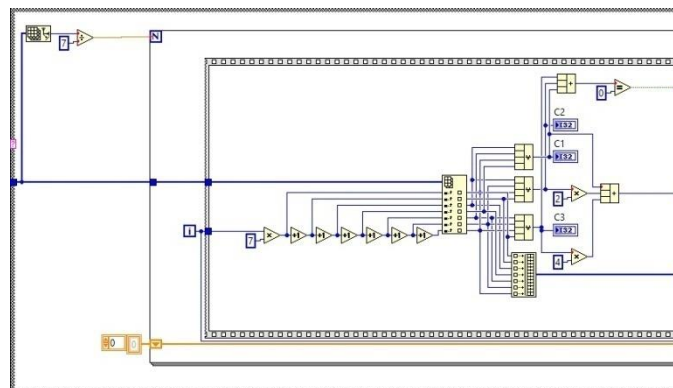


Figura. 19. Comparación bits de paridad Decodificador Hamming (7,4)

Los bits de paridad son colocados en un arreglo que va desde el menos hasta el más significativo luego de haber sido comparados. A este proceso se le denomina Síndrome, el mismo que será convertido a un número decimal para poder indicarnos la posición en donde se ha originado el error. Para corregir dicho error procedemos a invertir el bit ubicado en la posición que antes se calculó dando como resultado final los bits corregidos y decodificados en el receptor de nuestro sistema.

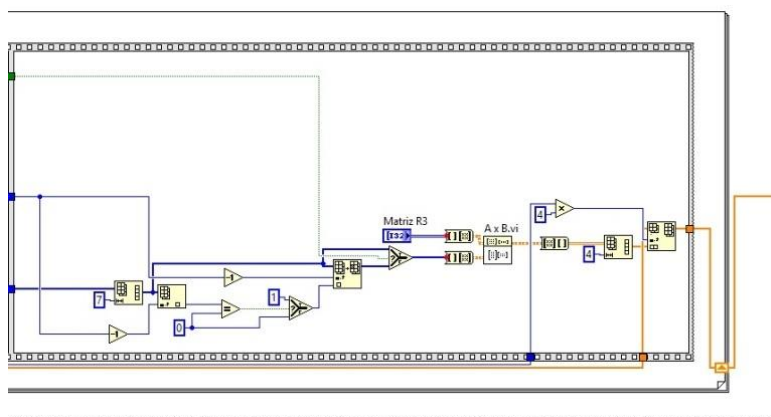


Figura. 20. Corrección en la Información Decodificador Hamming (7,4)

3.3. LDPC (LOW DENSITY PARITY CHECK)

Los códigos LDPC (*Low Density Parity Check* o llamados también *Códigos de Comprobación de Paridad de Baja Densidad*) son una clase de códigos de bloque lineales inventados por Robert G. Gallager en 1963[4].

No obstante quedaron en el olvido ya que requerían una alta capacidad de cómputo para su decodificación. Posteriormente fueron reinventados a mediados de los años 90 por MacKay y Neal [5].

Cada código *LDPC* se define con una matriz H de tamaño $M \times N$, donde N es la longitud del código y M el número de bits de paridad en el código, que tiene como característica ser de baja densidad, es decir, que la mayoría de sus elementos son nulos. A partir de la estructura de la matriz de chequeo de paridad H se definen los tipos de códigos *LDPC* regulares e irregulares [4].

Una de las características de estos códigos es que tienen una representación gráfica muy sencilla basada en la representación por grafos para códigos lineales desarrollado por Tanner [5].

Las características principales de los códigos LDPC son:

- 1.- Rendimiento al acercarse al límite de Shannon.
- 2.- Buen rendimiento de corrección de error en el bloque.
- 3.- Adecuado para su implementación en paralelo.
- 4.- La decodificación en el registro es bastante rápido.

Las desventajas principales de los códigos LDPC son:

- 1.- Puede llevar mucho tiempo para converger a una buena solución.
- 2.- Requiere longitudes de palabra de código muy largas para un buen rendimiento de decodificación.
- 3.- La convergencia iterativa es lenta.
- 4.- Debido a las razones anteriores, el tiempo de transmisión aumenta.

Para realizar la codificación LDPC nos basamos en que dicha codificación utiliza en el proceso tanto de codificación como en la decodificación una matriz de paridad.

La matriz de paridad se conforma básicamente con elementos que poseen un valor de unos y de ceros teniendo en consideración que en la mayoría sus valores son nulos ya que de esta forma es considerada dispersa.

El codificador mediante la matriz de paridad, va generando los bits de paridad a partir de los bits de información. Esta misma matriz en el decodificador, reconstruye los bits erróneos a partir de los bits que se encuentran codificados. La matriz de comprobación de paridad es expuesta mediante la relación de los símbolos de paridad y de aquellos símbolos que proceden desde la fuente.

$$(H_1|H_4) = \begin{matrix}
 \begin{matrix}
 S_0 & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S & P_7 & P_8 & P_9 & P_{10} \\
 \begin{pmatrix}
 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{pmatrix}
 \end{matrix}
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 p_6 = S_1 \oplus S_3 \oplus S_4 \oplus S_5 \\
 p_7 = S_2 \oplus S_1 \oplus S_2 \oplus S_4 \\
 p_8 = S_4 \oplus S_2 \oplus S_2 \oplus S_5 \\
 p_9 = S_2 \oplus S_1 \oplus S_4 \\
 p_{10} = S_2 \oplus S_3 \oplus S_5 \\
 \hline
 n-k \text{ ecuaciones}
 \end{matrix}$$

Figura. 21. Matriz de Comprobación de Paridad LDPC

De la misma forma, para efecto de implementación y estudio, desarrollamos un LDPC (10,9) el cual su codificación y decodificación será descrito en el siguiente punto.

3.3.1. Implementación Codificador y Decodificador LDPC (10,9)

Para nuestro proyecto implementamos un codificador LDPC 10 9, el cual representa una Matriz de Paridad con denominación H de tamaño 10x9, en donde las columnas representan uno de los 10 bits de la información que se

recibe y en cada fila se representa las restricciones de verificación de paridad que para nuestro caso son 9.

Matriz de Paridad 10x9

0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

Fig. 22. Matriz de Paridad LDPC 10x9

Gracias a la Matriz de Paridad, se generará una nueva matriz denominada G , la cual deberá cumplir con la siguiente expresión $GxH^T = 0$.

A raíz de la obtención de la matriz G , los 10 bits de información obtenidos son multiplicados con dicha matriz (G) para poder obtener la palabra codificada.

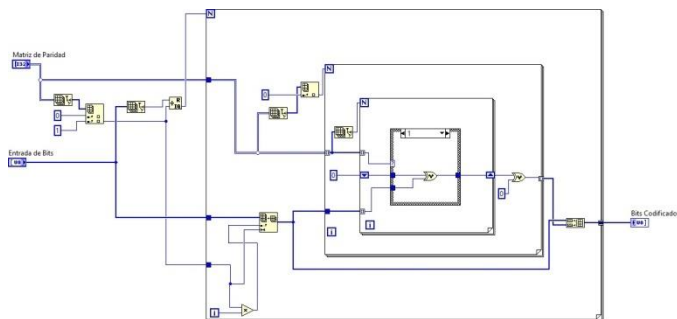


Figura. 23. Codificador LDPC 10x9

En el proceso de la decodificación, para obtener el síndrome necesitamos realizar el proceso inverso de la codificación con la finalidad de comparar los bits de paridad con ayuda de la matriz H , los cuales generarán el cálculo de la probabilidad de error para la salida de los bits decodificados.

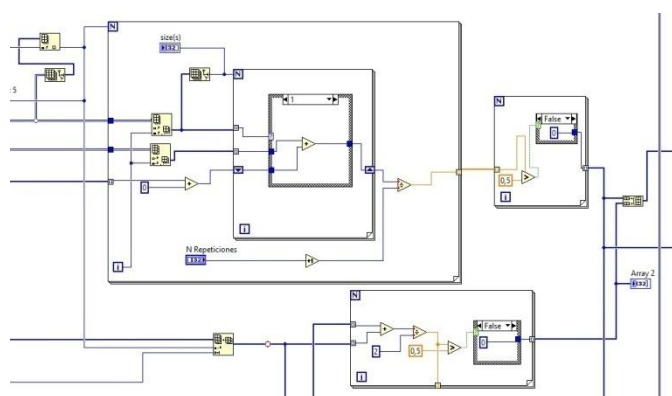


Figura. 24. Síndrome y Probabilidad de Error Decodificador LDPC 10x9

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En esta sección presentaremos el análisis de los códigos de canal con los parámetros utilizados en el Laboratorio mediante el programa LabVIEW y los equipos NI USRP-2920. A su vez mostraremos cada una de las gráficas obtenidas en base a los datos presentados y captados en nuestro sistema.

Para el diseño de nuestro proyecto, fue utilizado el siguiente esquema de los bloques de transmisión y recepción de una imagen:

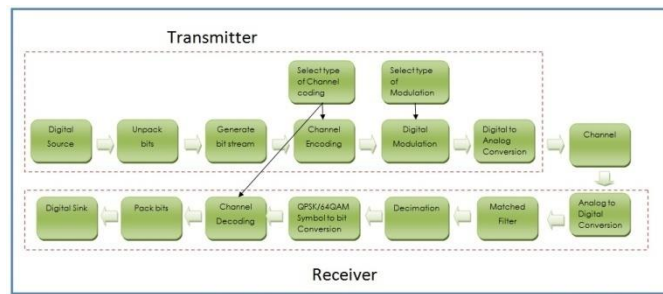


Figura. 25. Esquema de Transmisión y Recepción de Datos

La imagen original que usamos en la transmisión, es la que se muestra en la figura 26.



Figura. 26. Imagen Original

Los parámetros utilizados para un canal REAL, fueron los siguientes:

- Tx Oversample = 4
- Rx Oversample = 4
- Tx Sample Rate = 20M
- Rx Sample Rate = 20M
- Channel Estimate Length = 3
- Equalizer Length = 3

Los parámetros utilizados en el canal ISI para la tabla 4 Canal A, fueron los siguientes:

- Tx Oversample = 4
- Rx Oversample = 4
- Tx Sample Rate = 20M
- Rx Sample Rate = 20M
- Symbol Rate = 5 MHz
- $T_s = 1/R_s = 1/5\text{MHz} = 0,2 \text{ us}$
- Channel Estimate Length = 4
- Equalizer Length = 4

Los cálculos para demostrar que $B_s > B_c$ en el Canal A fueron los siguientes:

$$\tau = 98.90\text{ns} \quad (1)$$

$$\tau^2 = 25747.12\text{ns}^2 \quad (2)$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{25747.12 - (98.90)^2} = 126.42\text{ns} \quad (3)$$

$$B_c = 7.91 \text{ MHz} \quad (4)$$

$$B_s = 20 \text{ MHz} \quad (5)$$

$$\therefore B_s \gg B_c$$

Los parámetros utilizados en el canal ISI para la tabla 4 Canal B, fueron los siguientes:

- Tx Oversample = 2
- Rx Oversample = 2
- Tx Sample Rate = 20M
- Rx Sample Rate = 20M

- Symbol Rate = 10 MHz
- $T_s = 1/R_s = 1/10\text{MHz} = 0,1 \mu\text{s}$
- Channel Estimate Length = 6
- Equalizer Length = 6

Los cálculos para demostrar que $B_s > B_c$ en el Canal B fueron los siguientes:

$$\tau = 60.09\text{ns} \quad (6)$$

$$\tau^2 = 13600.26\text{ns}^2 \quad (7)$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{13600.26 - (60.09)^2} = 99.94\text{ns} \quad (8)$$

$$B_c = 10.0052 \text{ MHz} \quad (9)$$

$$B_s = 20 \text{ MHz} \quad (10)$$

$$\therefore B_s \gg B_c$$

Luego de haber efectuado las pruebas respectivas, la imagen original se vio afectada por las diversas técnicas de modulación y de codificación de canal que el sistema fue sometido, las cuales presentamos a continuación.

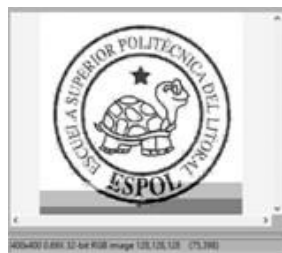


Figura. 27. Imagen Distorsionada Canal Real Modulación QPSK

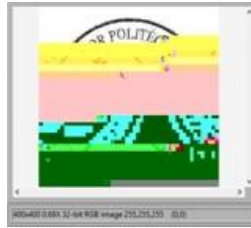


Figura. 28. Imagen Distorsionada Canal Real Modulación 64QAM



**Figura. 29. Imagen Distorsionada Canal A Modulación 64QAM
Codificación Hamming 7**



**Figura. 30. Imagen Distorsionada Canal B Modulación QPSK
Codificación LDPC 10-3**

Las curvas reflejadas fueron los siguientes en base a los datos obtenidos con el uso de los equipos NI USRPs-2920 y el software LabVIEW a una frecuencia de 915 MHz.

Cabe indicar que en la curvas SNR vs BER, analizaremos el desarrollo de los códigos de canal en base a la modulación presentada y el comportamiento de cada una de ellas.

4.1.1. Desempeño de los codificadores Hamming y LDPC en diferentes modelos de canal.

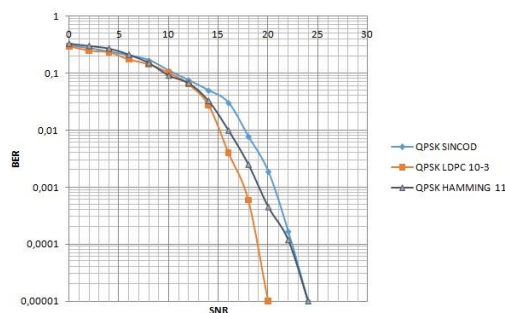


Figura. 31. GRÁFICA BER VS SNR QPSK REAL

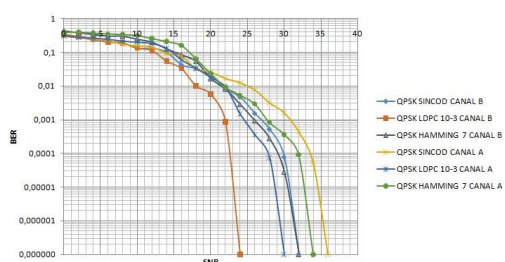


Figura. 32. GRÁFICA BER VS SNR CANAL A VS CANAL B

Para el análisis correspondiente, nos enfocaremos en el comportamiento de cada uno de los codificadores frente a cada canal, teniendo en cuenta que ambos codificadores sean sometidos en el mismo escenario y modulación que para nuestro caso modularemos en QPSK.

Comparando las figuras 31 y 32 podemos notar claramente que tanto Hamming como LDPC en un canal REAL tienen mejor desempeño. Esto debido a que para efecto de estudio utilizamos un canal de ambiente indoor de laboratorio.

Cuando sometemos los codificadores Hamming y LDPC en un canal ISI en ambiente Outdoor, considerando que los niveles de potencia y los tiempos de retardo son muy elevados, dificultan mantener una reconstrucción de la señal transmitida por la presencia de ruido y de la interferencia intersimbólica.

Así mismo para efecto de nuestro estudio, podemos visualizar que la codificación LDPC es más eficiente que los Hamming y que habiendo un ambiente Outdoor en un canal ISI, nuestro sistema converge mucho más rápido en el canal B detallado en el modelamiento del Canal.

4.1.2. Desempeño de los codificadores Hamming y LDPC en diferentes técnicas de modulación.

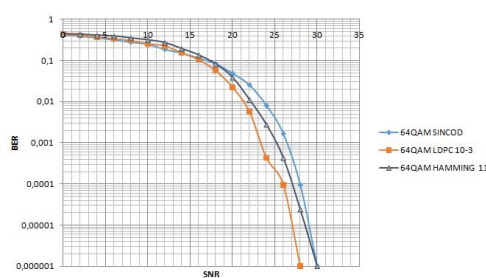


Figura. 33. GRÁFICA BER VS SNR 64QAM REAL

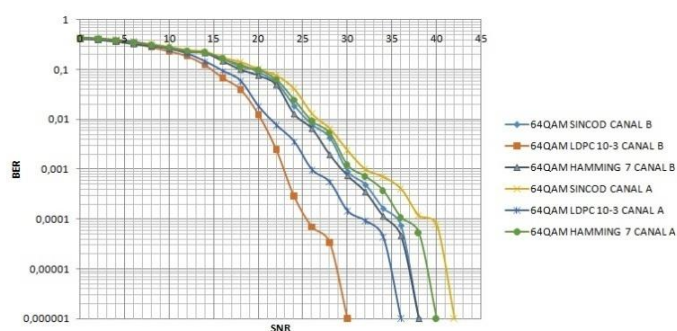


Figura. 34. GRÁFICA BER VS SNR CANAL A VS CANAL B 64QAM

Para el análisis correspondiente, nos enfocaremos en el comportamiento de los codificadores utilizando diversas técnicas de modulación que en nuestro caso son QPSK y 64QAM. De la misma manera los codificadores serán sometidos a los diversos modelos de canal en este proyecto.

Debido a que las técnicas de modulación son muy sensibles a los diversos niveles de ruido, observando en las figuras 32 y 34, podemos notar que QPSK otorga una mayor robustez a nuestro sistema ya que permite estimar y eliminar los efectos del canal de una mejor manera.

De igual forma, se visualiza en las figuras 33 y 34, que los niveles de ruido en un ambiente Outdoor son muy sensibles en 64QAM permitiendo que sea más tolerable al ruido cuando se utiliza la codificación LDPC.

En la gráfica 33 podemos visualizar claramente como en una modulación 64QAM tanto el Canal A como el Canal B, provocan que el sistema no sea tolerable de una manera más efectiva a los factores externos. Sin embargo podemos deducir en base las curvas obtenidas que de igual manera el Canal B tiende a tener una mayor eficiencia a diferencia del Canal A.

4.1.3. Tolerancia al ruido.

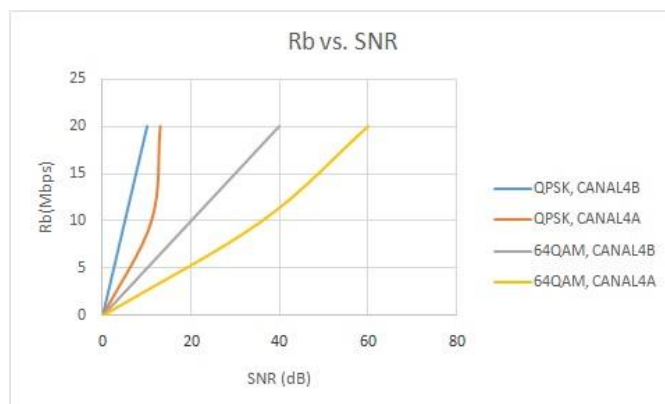


Figura.35. GRÁFICA Rb VS SNR QPSK y 64QAM

En esta gráfica mostrada se puede observar el nivel de tolerancia del Canal A con el Canal B de nuestro sistema ya que a medida que se aumenta los niveles de Ruido, la imagen se verá distorsionada y en algunos casos no se mostrará en la recepción de la misma. Para encontrar el umbral se mantiene un tiempo de símbolo equivalente a la separación de cada retraso y a ello le añadimos ruido a nuestro transmisor. Como se puede apreciar el Canal B en QPSK tiene una mejor tolerancia al ruido con respecto al Canal A y en las modulaciones presentadas.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en nuestro proyecto basado en una transmisión y recepción de imagen modulada en QPSK y 64 QAM podemos concluir lo siguiente:

- La transmisión de imagen en nuestro sistema fue dada bajo la librería Vision and Motion de LabVIEW, el cual nos permitió realizar en los VIs tanto en imagen enviada como en la recibida, utilizar los parámetros necesarios tales como compresión, resolución y tamaño de la imagen. Esto con el objetivo de que exista una disminución en la duración del paquete transmitido.
- Dentro del análisis de las curvas obtenidas en los diversos escenarios, convergieron de una manera más eficiente y rápida en un canal indoor en un ambiente de laboratorio a diferencia de los canales Multitrayectoria.
- QPSK tiene una mayor distancia euclidiana entre símbolos lo que permite una mayor tolerancia al ruido, por lo que hay menos oportunidad de que el demodulador pueda malinterpretar los símbolos. Cabe indicar que con la modulación 64QAM pudimos transmitir a una velocidad mucho mayor sin embargo esto lo hace más susceptible al ruido que presentan los canales.

- Al analizar las gráficas BER vs SNR podemos concluir que los niveles de ruido y de interferencia intersimbólica son mucho mayor en los ambientes Outdoor ya que poseen un mayor tiempo de retardos en comparación a un canal indoor ambiente de laboratorio.

- La codificación de canal más eficiente son los LDPC con respecto a los códigos Hamming debido a su desempeño durante la modelación de los canales presentados en este proyecto. Cabe indicar que LDPC es mucho más complejo en la construcción de sus códigos debido a su matriz de paridad y de un algoritmo interactivo para la estimación de los errores en el receptor.

- La codificación Hamming puede corregir un solo error por bloque de información mientras LDPC permite corregir más de un error en base a las probabilidades calculadas.

BIBLIOGRAFÍA

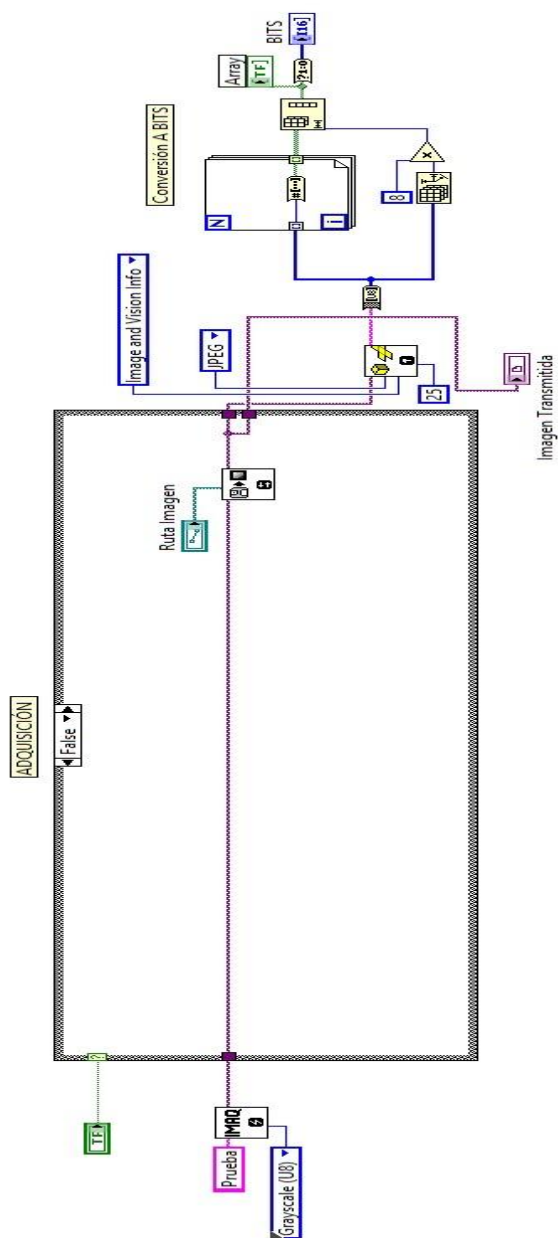
- [1] Robert w. Heat Jr. Ph.D., PE. "Digital Communications: Physical Layer Labusing the NI USRP Platform", National Technology and Science Press.
- [2] Erik L, "EE49 Lab 1: Source Coding Lab: Cosine Transform (DCT), sample quantization, and Huffman coding", Version 9, National Instruments (2016).
- [3] Awon Nuzhat Tasneem, Rahman Md. Mizanur, et.al., "Effect of AWGN & Fading (Raleigh & Rician) channels on BER performance of a WiMAX communication System", *International Journal of Computer Science and Information Security*, Vol. 10, No. 8, August 2012, p.11-17.
- [4] Gallager, R. (1963). Low-Density Parity-Check Codes. Cambridge.
- [5] MacKay D. & Neal R. (1996). Near Shannon Limit Performance of Low Density Parity Check Codes. Electronics Letters.
- [6] Luby, M., Mitzenmacher, M., Shokrolahi, M., & Spielman, D. (2001). Improved Low-Density Parity-Check Codes using Irregular Graphs. *IEEE Transactions on information Theory*, 585-598.

- [7] Lin, S., & Costello, D. (2004). Error Control Coding: Fundamentals and Applications (Segunda ed.). California: Prentice Hall.
- [8] <http://www.mpi-sws.org/~zartash/publications/2007-DigitalPhaseMod.pdf>.
- [9] https://awrcorp.com/download/faq/english/docs/VSS_System_Blocks/I80211A_MAP.htm.
- [10] atlantarf.com/Error_Control.php

ANEXOS

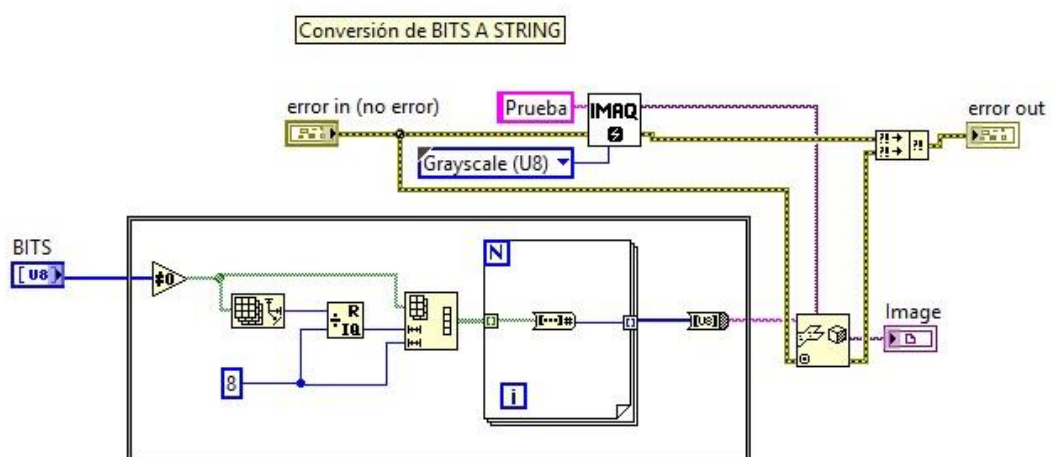
ANEXO 1

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW ADQUISICIÓN DE IMÁGEN



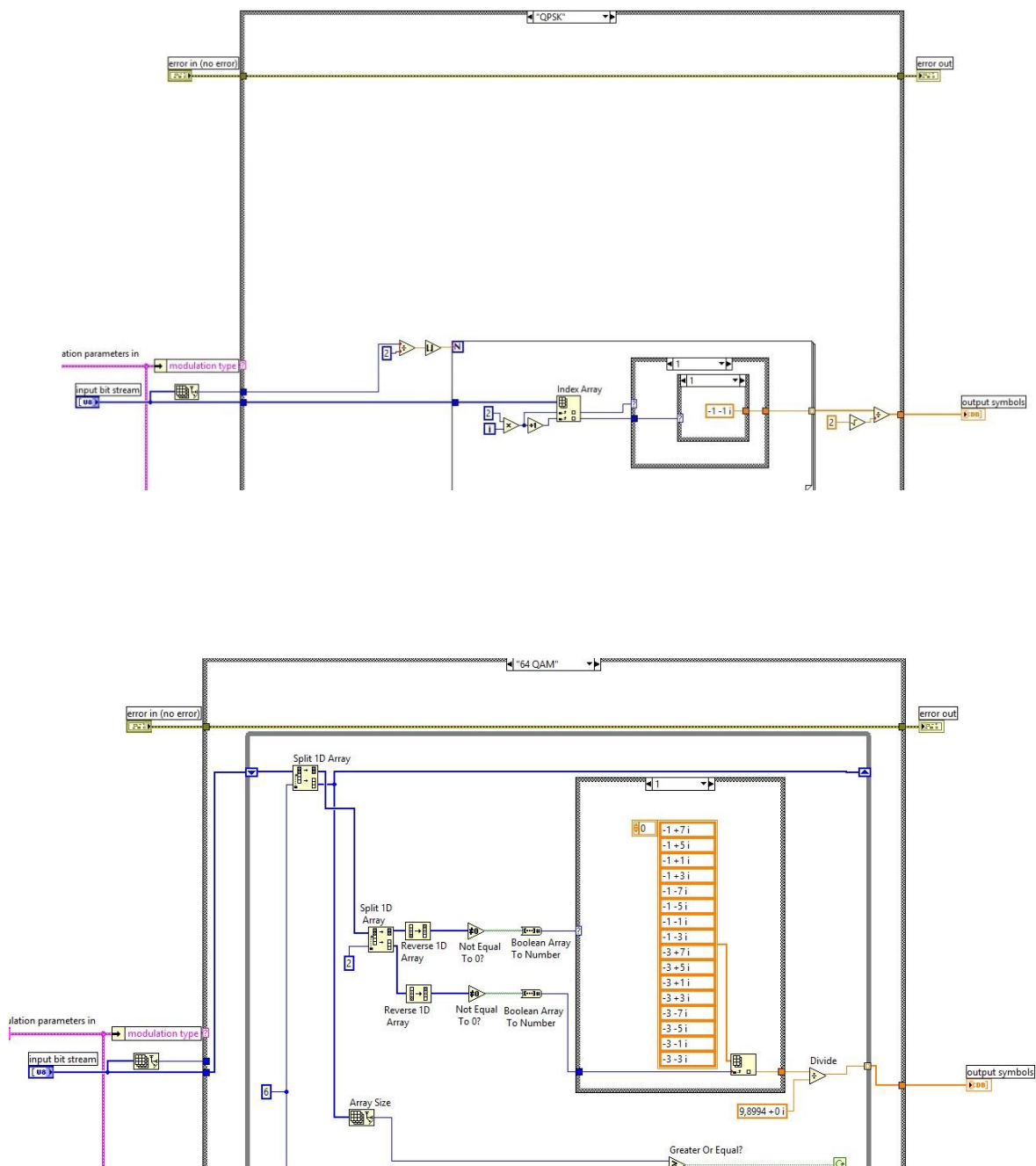
ANEXO 2

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW IMAGEN RECIBIDA



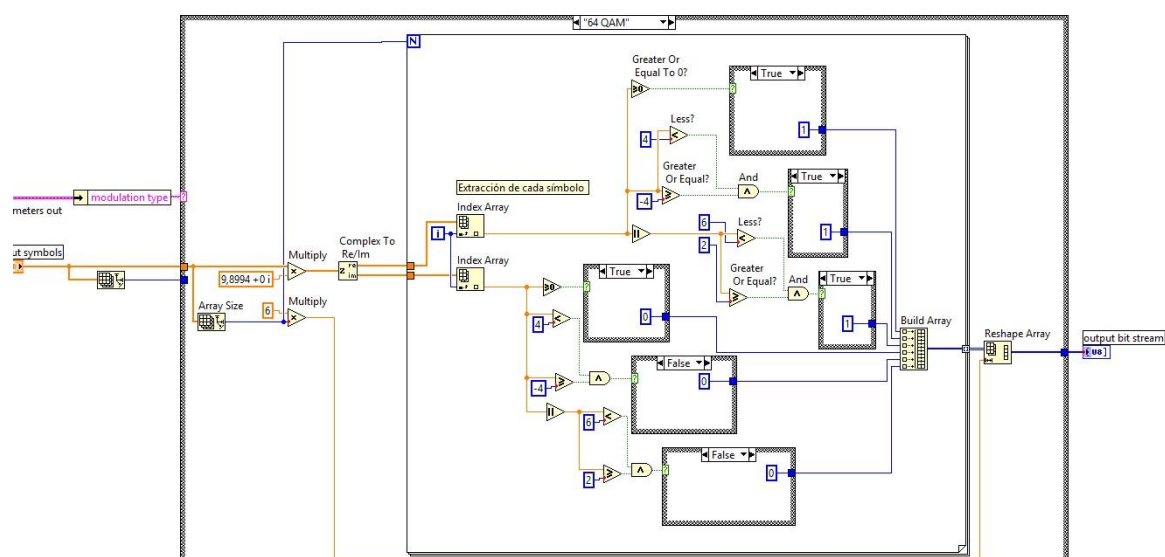
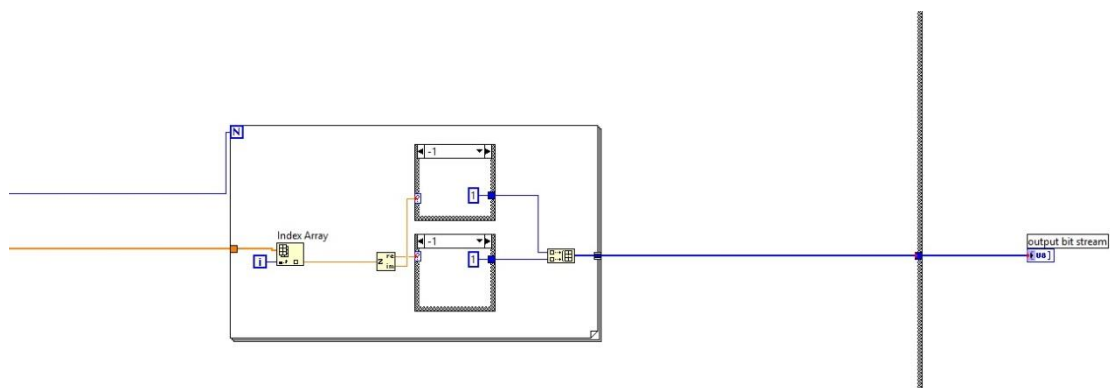
ANEXO 3

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW MODULADOR QPSK Y 64QAM



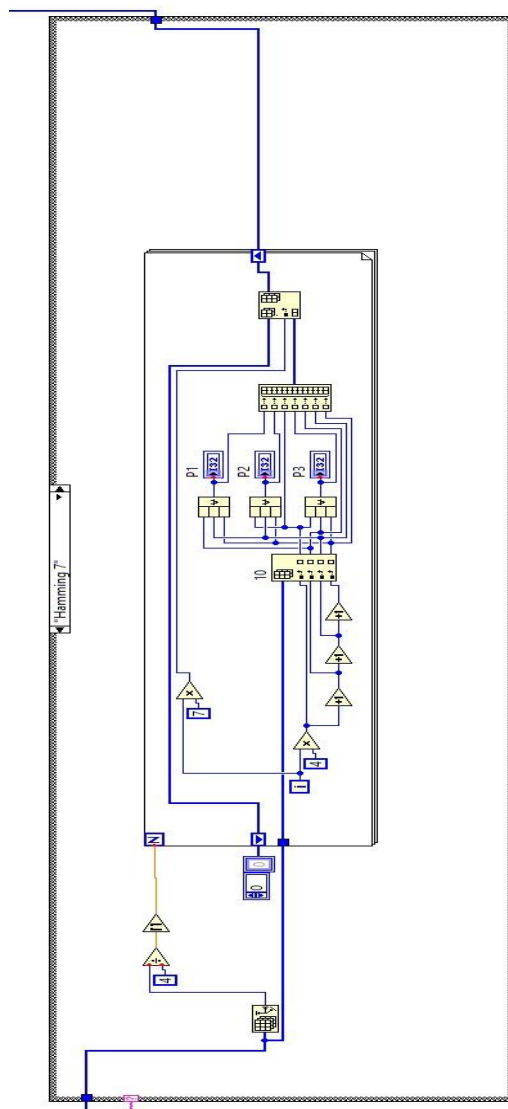
ANEXO 4

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DEMODULADOR QPSK Y 64QAM



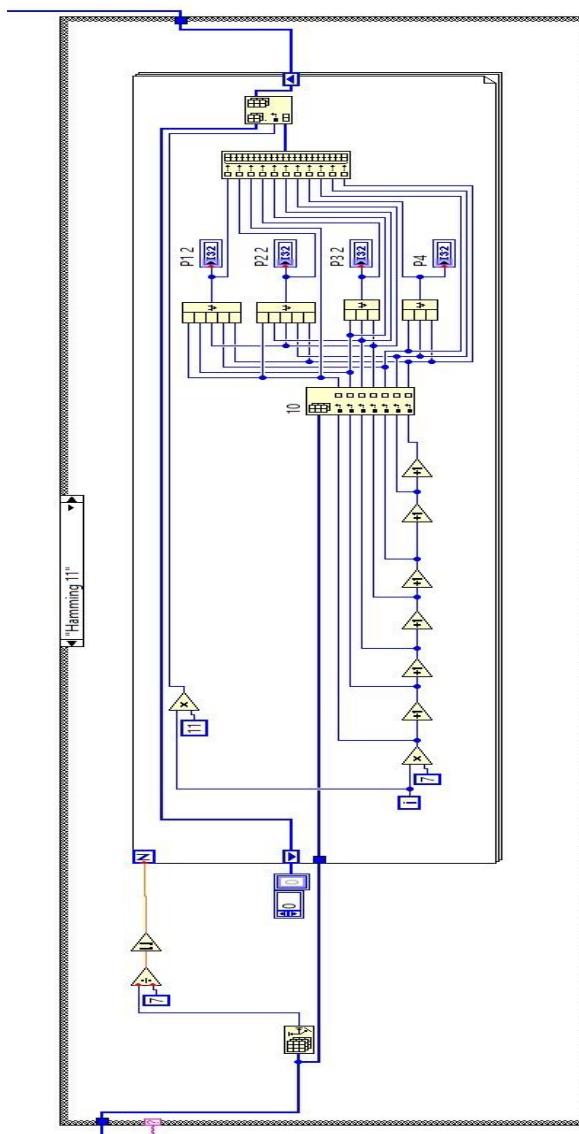
ANEXO 5

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW ENCODE HAMMING 7



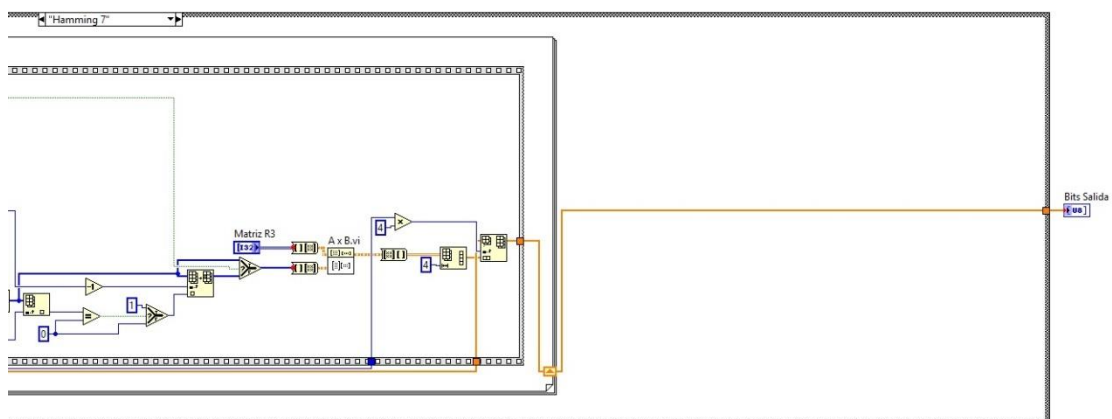
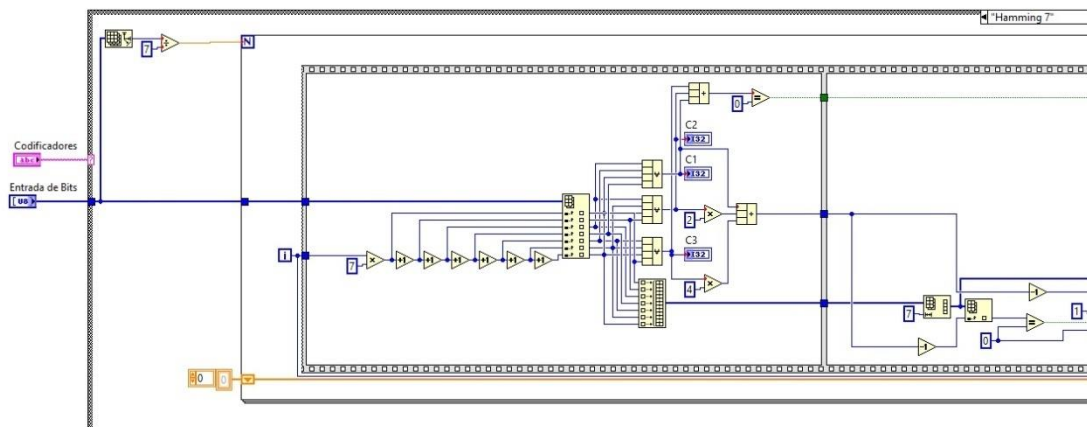
ANEXO 6

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW ENCODE HAMMING 11



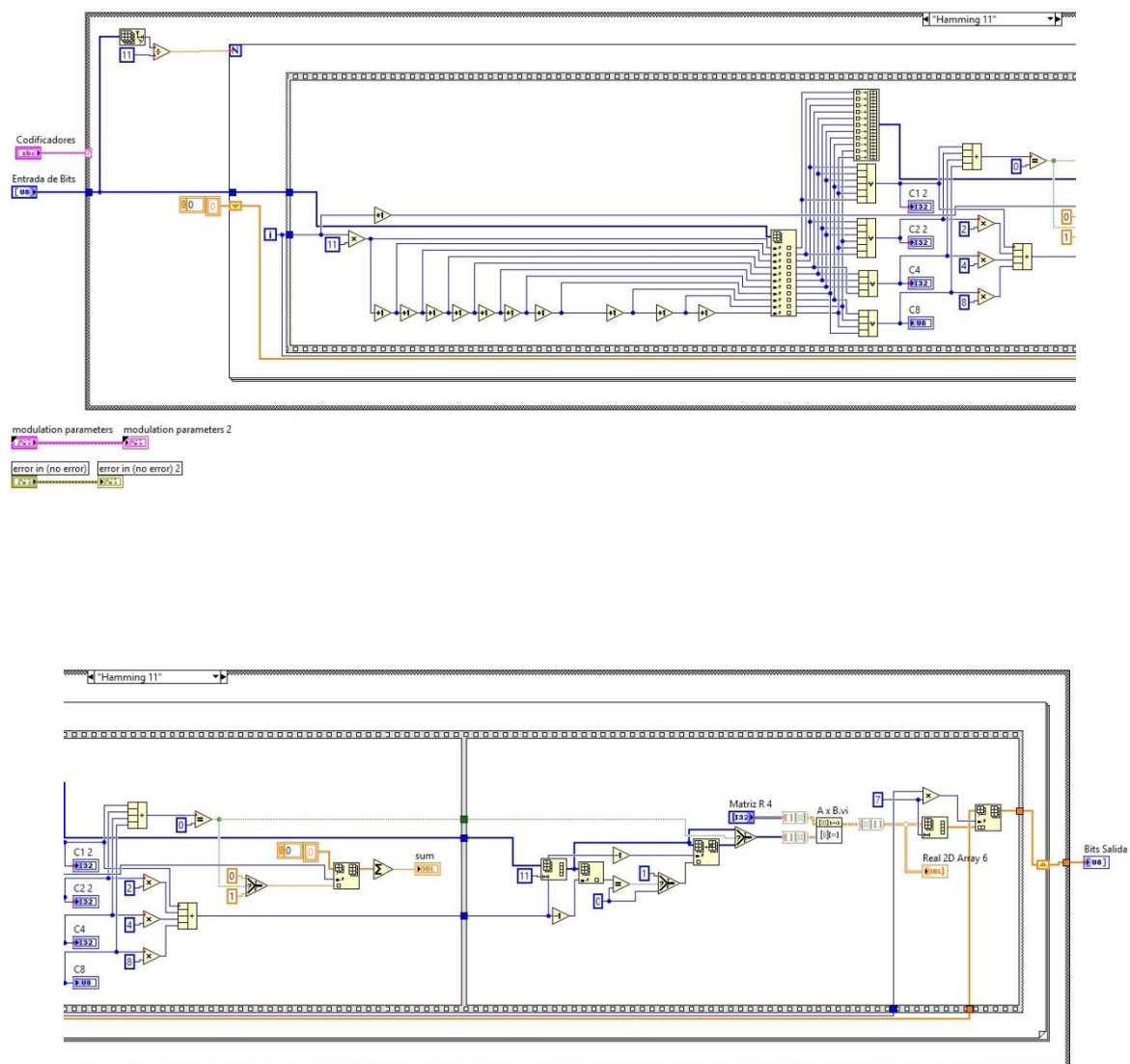
ANEXO 7

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DECODE HAMMING 7



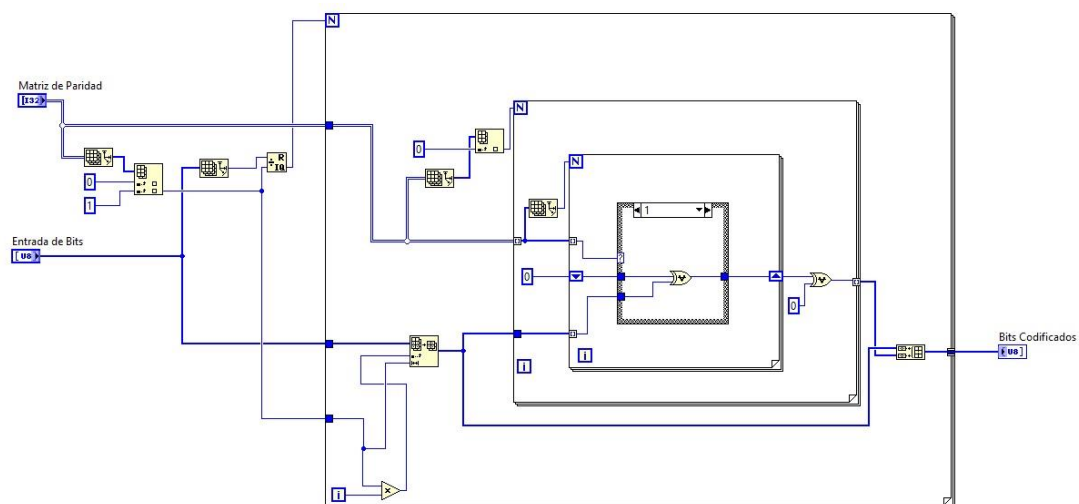
ANEXO 8

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DECODE HAMMING 11



ANEXO 9

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW ENCODE LDPC



ANEXO 10

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DECODE LDPC 12-3

