



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:
**Implementación del sistema de multiplexación por división de
frecuencias ortogonales utilizando esquemas de modulación digital de
orden superior**

AUTOR:
Guayamabe Ubilla, Joselyn María

Componente práctico del examen complejo previo a la
obtención del grado de **INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:
M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador

6 de marzo del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Guayamabe Ubilla, Joselyn María** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, 6 de marzo del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Guayamabe Ubilla, Joselyn María**

DECLARÓ QUE:

El componente práctico del examen complejo: Implementación del sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales utilizando esquemas de modulación digital de orden superior, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 6 de marzo del 2020

EL AUTOR

GUAYAMABE UBILLA, JOSELYN MARÍA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Guayamabe Ubilla, Joselyn María**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo: Implementación del sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales utilizando esquemas de modulación digital de orden superior**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 6 de marzo del 2020

EL AUTOR

GUAYAMABE UBILLA, JOSELYN MARÍA

REPORTE DE URKUND

URKUND Bloques Fernando Palacios Meléndez (edwin_palacios)

Documento	Joselyn_Guayamabe_EC2019B.docx (D64777940)
Presentado	2020-03-03 08:38 (-05:00)
Presentado por	fermandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@anatsis.orkund.com
Mensaje	Revisión EC Joselyn Guayamabe Mostrar el mensaje completo 1% de estas 16 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
>	DISEÑO DE UNA GUI EN MATLAB PARA EVALUAR...
	https://docplayer.es/79187623-Universidad-cat...
Fuentes alternativas	
	Tesis Adrian Sig Tu Toral.docx
Fuentes no usadas	

Reiniciar Exportar Compartir

1 Advertencia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Implementación del

sistema de multiplexación por división de frecuencias
ortogonales utilizando esquemas de modulación digital de
orden superior

AUTOR: Guayamabe Ubilla, Joselyn Maria

Componente práctico del examen complejo

previo a la obtención del grado de INGENIERA EN
TELECOMUNICACIONES

REVISOR: M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este momento, por sostenerme y enseñarme que ninguna prueba es difícil cuando vas de su mano. Que si en el crees todo es posible.

A mis padres, los mejores de este mundo por todo el esfuerzo y dedicación que ha conllevado esta etapa de mi vida sin ellos definitivamente no habría sido posible. Todos mis triunfos llevan su nombre.

A todas las personas que formaron parte de todo este largo proceso, Gracias a todos por la confianza y por haber hecho esto realidad.

EL AUTOR

GUAYAMABE UBILLA, JOSELYN MARÍA

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por cada bendición hacia mi vida por darme a los mejores padres del mundo y a mis 2 princesas, mis hermanas.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños. Papá gracias por enseñarme que sin sacrificio no hay recompensa por cada día creer en mí y en mis expectativas de vida. Mamá sin tu compañía y aliento día a día esto no habría sido posible. A mis princesas por hacerme mejor persona, Ustedes son mi motivación, mi razón de vivir.

Gracias a todos quienes estuvieron conmigo durante todo este proceso, este no es final con la bendición de Dios y con mi familia de la mano esto es apenas el comienzo.

EL AUTOR

GUAYAMABE UBILLA, JOSELYN MARÍA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DECANO

f. _____
M. Sc. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____
M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO	2
1.1. Introducción.	2
1.2. Objetivo General.	3
1.3. Objetivos Específicos.	3
CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.	4
2.1. Introducción a los sistemas de comunicación.	4
2.2. Modulación de señales de comunicación.	5
2.2.1. Modulación de amplitud (AM)	6
2.2.2. Modulación de frecuencia y fase (FM y PM)	7
2.3. Sistemas de comunicaciones digitales.	8
2.3.1. Modulación por desplazamiento de amplitud – ASK.	10
2.3.2. Modificación por desplazamiento de fase – PSK.	11
2.3.3. Modulación de desplazamiento de frecuencia – FSK.	12
2.4. Clasificación de esquemas de modulación digital.	13
Capítulo 3: Diseño y análisis de resultados	16
3.1. Descripción general de la propuesta.	16
3.2. Esquema de modulación por desplazamiento de fase – PSK.	16
3.2.1. Modulación QPSK.	16
3.2.2. Modulación 16-PSK.	20
3.2.3. Modulación 32-PSK.	22
3.3. Esquema de modulación QAM	26
3.3.1. Modulación 16-QAM	30
3.3.2. Modulación 32 QAM	32
3.4. Comparación entre M-PSK y M-QAM	35

Conclusiones	37
Recomendaciones.....	38
Bibliografía.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Bloques de construcción básicos del sistema de comunicación. .4	
Figura 2. 2: Forma de onda de señal para una modulación de amplitud.6	
Figura 2. 3: Forma de onda de señal de modulación de frecuencia.7	
Figura 2. 4: Separación del proceso de transmisión en dos bloques de codificación.9	
Figura 2. 5: Diagrama de bloques básico del sistema de comunicación digital.10	
Figura 2. 6: Constelación de QPSK.10	
Figura 2. 7: Forma de onda de señal de la modulación por desplazamiento de fase – PSK.12	
Figura 2. 8: Forma de onda de señal de la modulación por desplazamiento de frecuencia – FSK.13	
Figura 2. 9: Colocación de la clasificación de modulación en el receptor14	
Figura 2. 10: Diferentes divisiones de clasificación de modulación.14	

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Constelación de QPSK.17	
Figura 3. 2: Respuesta impulsiva y de frecuencia del canal.18	
Figura 3. 3: Muestras de entrada y salida.18	
Figura 3. 4: Trazado de señal de entrada y salida para visualización de errores.19	
Figura 3. 5: Número de error versus relación señal/ruido para el sistema QPSK-OFDM.19	
Figura 3. 6: Tasa de error de símbolo versus relación señal/ruido para el sistema QPSK-OFDM.20	
Figura 3. 7: Constelación de la modulación 16-PSK.21	
Figura 3. 8: Trazado de señal de entrada y salida para visualización de errores.21	

Figura 3. 9: Número de error versus Relación señal/ruido para 16-PSK-OFDM.	22
Figura 3. 10: Tasa de error de símbolo versus Relación señal/ruido para 16- PSK-OFDM.....	22
Figura 3. 11: Constelación de la modulación 32-PSK.....	23
Figura 3. 12: Muestras de entrada y salida para el sistema 32-PSK.....	24
Figura 3. 13: Trazado de señal de entrada y salida para visualizar errores ..	24
Figura 3. 14: Número de error Vs Relación señal/ruido para 32-PSK-OFDM.	25
Figura 3. 15: Tasa de error de símbolo versus relación señal/ruido para 32- PSK-OFDM.....	25
Figura 3. 16: SER Vs SNR para PSK-OFDM	26
Figura 3. 17: Constelación de 4-QAM.....	27
Figura 3. 18: Muestras de entrada y salida para la modulación 4-QAM.	28
Figura 3. 19: Trazado de señal de entrada y salida para visualización de errores.	28
Figura 3. 20: Número de error versus relación señal/ruido para 4-QAM-OFDM.	29
Figura 3. 21: Tasa de error de símbolo versus relación señal/ruido para 4- QAM-OFDM.....	29
Figura 3. 22: muestra si hay datos de error presentes en los primeros 100 datos recibidos.....	30
Figura 3. 23: Trazado de señal de entrada y salida para visualizar errores ..	31
Figura 3. 24: Número de errores en la relación señal / ruido respectivo.	31
Figura 3. 25: Tasa de error de símbolo Vs Relación señal / ruido para 16QAM- ofdm	32
Figura 3. 26: Constelación de 32 QAM	33
Figura 3. 27: Trazado de señal de entrada y salida para visualizar errores ..	33
Figura 3. 28: Número de error versus relación señal/ruido para la modulación 32-QAM-OFDM.....	34

Figura 3. 29: Tasa de error de símbolo versus relación señal/ruido para la modulación 32-QAM-OFDM.	34
Figura 3. 30: SER Vs SNR para QAM-OFDM	35
Figura 3. 31: SER Vs SNR para M-PSK-OFDM Vs M-QAM-OFDM.....	36

Resumen

En el presente documento se presenta la información relacionada al componente práctico del examen complejo y que trata la implementación del sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales, o también llamado OFDM utilizando varios esquemas de modulación digital de orden superior, tales como la modulación por desplazamiento de fase, o conocida como PSK, con diferentes niveles. También se incluye la modulación por amplitud de cuadratura, o conocida QAM, con diferentes niveles. Primero se realiza una breve introducción de las comunicaciones y el uso de OFDM como esquema de transmisión multiportadora. Se plantea tanto el objetivo general y objetivos específicos con los que se desarrolló el componente práctico. Después, se realiza la caracterización teórica de los sistemas de comunicaciones, los esquemas de modulación digital y la multiplexación OFDM. Finalmente, se desarrollan los diferentes escenarios de simulación del sistema OFDM ya sean para modulaciones M-PSK y M-QAM sobre el programa MatLab.

Palabras claves: MODULACIÓN, FRECUENCIA, FASE, OFDM, CUADRATURA, MULTIPLEXACIÓN.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO

1.1. Introducción.

La creciente necesidad de comunicaciones móviles digitales de alta velocidad de bits ha incitado a la aparición de la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*) para lograr un buen rendimiento en la transmisión de datos de alta velocidad. También es una técnica efectiva que produce una alta eficiencia espectral y un buen esquema para combatir los canales de desvanecimiento selectivos de frecuencia en los sistemas de comunicación inalámbricos sin olvidar la propiedad principal que es la ortogonalidad de la subportadora. (Zaier & Bouallegue, 2011)

Por lo tanto, la duración del símbolo debe ser significativamente mayor que la propagación del retardo del canal. En la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), todo el canal se divide en muchos subcanales estrechos. Dividiendo el flujo de datos en serie de alta velocidad en muchos flujos paralelos de baja velocidad, cada flujo paralelo modula subportadoras ortogonales por medio de la transformada inversa rápida de Fourier (IFFT).

Para Marques et al., (2010) el sistema OFDM es la multiplexación más popular en los sistemas modernos de comunicación inalámbrica. Entre otras características, OFDM ha sido capaz de explotar con éxito la información del estado del canal (*Channel State Information, CSI*) en el transmisor, lo que permite implementar esquemas dinámicos de asignación de recursos que mejoran la eficiencia espectral y la capacidad de recuperación de errores. Sin embargo, en la mayoría de los sistemas de comunicación inalámbrica es difícil lograr un CSI perfecto en el transmisor.

Según Borkar & Bormane, (2012) OFDM es un esquema de transmisión multiportadora. Es decir, que OFDM transmite datos mediante el uso de una gran cantidad de portadoras de ancho de banda estrecho. En un sistema de transmisión OFDM, cada subportadora se atenúa individualmente bajo el

canal de desvanecimiento rápido y selectivo de frecuencia si se utiliza el mismo esquema de transmisión fija para todas las subportadoras OFDM.

Según Zhang et al., (2017) el sistema OFDM es muy utilizado en los sistemas de comunicación de línea eléctrica (*Power Line Communication, PLC*), y el ruido del canal de línea eléctrica es uno de los principales factores que afecta la confiabilidad de la comunicación por línea eléctrica. El desarrollo de la tecnología de comunicación por línea eléctrica es de gran importancia práctica para la monitorización y lectura remota de contadores del sistema eléctrico, y desempeña un papel insustituible en el desarrollo de la red inteligente.

1.2. Objetivo General.

Realizar la implementación del sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales utilizando esquemas de modulación digital de orden superior mediante la plataforma de simulación MatLab.

1.3. Objetivos Específicos.

- a. Describir los fundamentos teóricos o estado del arte de los sistemas de comunicación y tipos de modulaciones.
- b. Diseñar los escenarios de simulación de diversos esquemas de modulaciones PSK, QAM utilizando el sistema OFDM.
- c. Evaluar los resultados obtenidos en cada escenario de simulación de los esquemas de modulación sobre el sistema OFDM.

CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.

2.1. Introducción a los sistemas de comunicación.

Un sistema de comunicación típico (véase la figura 2.1) comienza con el concepto de su fuente de información, que genera la información de interés que se enviará a alguna parte. Esta fuente de información se le da al sistema, llamado transmisor. El trabajo de un transmisor es preparar la información para el envío real a través de algún medio físico. En cierto sentido, el transmisor hace coincidir las características de la señal con las características del medio. El medio físico a través del cual se transmiten los datos se llama canal. El canal es una abstracción para cada tipo de medio físico a través del cual se transmite la información.

En el extremo del receptor, el trabajo consiste en garantizar que la información se proporcione al usuario en una forma adecuada que pueda utilizarse en alguna aplicación. Un sistema de comunicación tiene cinco bloques principales, tal como se muestra en la figura 2.1.

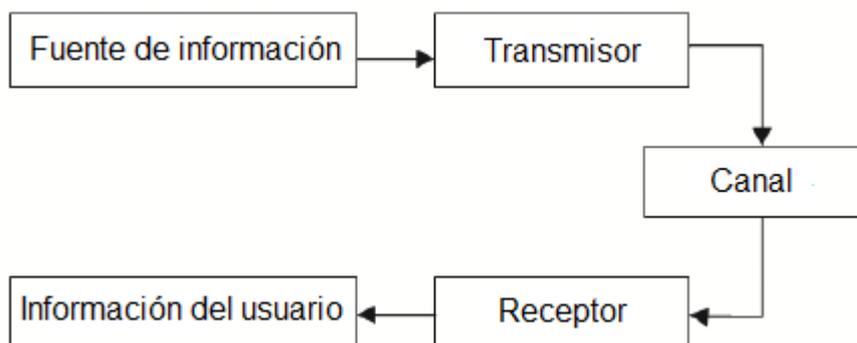


Figura 2. 1: Bloques de construcción básicos del sistema de comunicación.

Fuente: (Alteinco, 2019)

Elaborado por: Autor.

Puede haber muchos tipos de fuentes de información, la forma más común de fuente son las señales de voz y datos. Estas fuentes de información tienen su propio conjunto de requisitos para el sistema de comunicación. Una de las características de las fuentes de información es la banda o la ocupación espectral que es directamente proporcional al ancho de banda del canal. El ancho de banda es un atributo o recurso muy importante del sistema de comunicación.

Enviar señales de voz analógicas sin formato en su forma original es bastante imposible porque el tamaño de la antena sería muy grande. Además, cuando se trata con una gran cantidad de señales, es muy difícil asignar ancho de banda a todas ellas. Algunas bandas de frecuencia pueden generar una atenuación de señal más alta que otras, por lo tanto, un usuario debería poder cambiar a bandas de frecuencia más altas. EN consecuencia, para superar los problemas mencionados anteriormente; el transmisor tiene que realizar un proceso específico llamado modulación.

2.2. Modulación de señales de comunicación.

En un sistema de comunicación, la señal transmitida tiene que propagarse a través de un canal. Según (Candotti & Mavares, 2012) Un canal de comunicación es un entorno físico que tiene un ancho de banda finito. El canal de comunicación también se divide en subdivisiones adicionales para permitir que múltiples usuarios transmitan. Este ancho de banda limitado del canal restringe el ancho de banda de la señal transmitida. Primero se debe incrustar la señal de voz en alguna otra señal con una frecuencia más alta para que el requisito de tamaño de la antena sea mucho menor.

De ahí se obtiene la idea de una señal portadora. El trabajo de la portadora es transportar la señal de información junto con él. Este proceso de combinar la onda portadora y la señal de información se llama modulación. La amplitud, fase o frecuencia de esta portadora se altera proporcionalmente a la señal de información transmitida. Esta operación se conoce como modulación. La modulación de una onda sinusoidal se realiza para convertir una señal de mensaje de baja frecuencia en una señal de transmisión de alta frecuencia, por ejemplo, una señal de audio podría convertirse en una señal de radiofrecuencia (señal de RF). (Reyes Cabello, 2017)

Los tipos de modulación pueden subdividirse en dos categorías según el tipo de señal transmitida final. Si la señal transmitida es continua, se llama modulación analógica. Si la señal transmitida consiste en un alfabeto finito de símbolos discretos, se llama modulación digital.

2.2.1. Modulación de amplitud (AM)

La modulación de amplitud (*Amplitude Modulation, AM*) es el esquema de modulación más simple. La AM se logra cambiando la amplitud de la onda portadora con respecto a la señal de modulación, tal como se muestra en la figura 2.2. La representación analítica de la señal modulada se puede expresar como, (Vacacela Morales, 2018)

$$z(t) = A_c [1 + \mu x(t)] e^{j\omega_c t}$$

es decir, una suma de la señal portadora y la señal moduladora escalada por $A_c \mu$ y desplazada en frecuencia por ω_c . El ancho de banda resultante "B" de la señal modulada es $2\omega_c$. La envolvente de la señal de AM se puede expresar como,

$$a(t) = A_c [1 + \mu x(t)]$$

es decir, la señal de modulación está sesgada a valores positivos. La fase instantánea se puede expresar como,

$$\phi(t) = \tan^{-1} \left[\frac{A_c [1 + \mu x(t)] \sin(\omega_c t)}{A_c [1 + \mu x(t)] \cos(\omega_c t)} \right] = \omega_c t$$

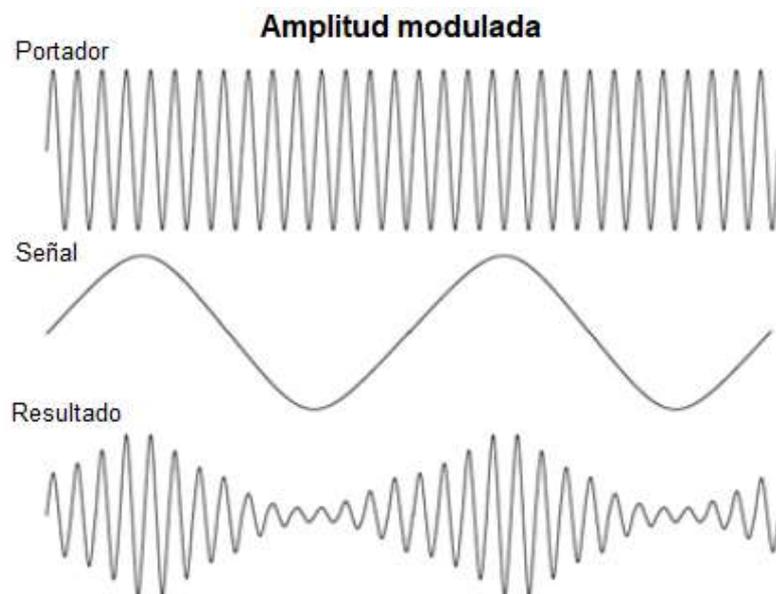


Figura 2. 2: Forma de onda de señal para una modulación de amplitud.

Fuente: (Vacacela Morales, 2018).

La frecuencia instantánea es simplemente

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d(\omega_c t)}{dt} = f_c$$

2.2.2. Modulación de frecuencia y fase (FM y PM)

En los esquemas de modulación de frecuencia (Frequency Modulation, FM) y de fase (Phase Modulation, PM), la amplitud instantánea permanece constante y se altera el ángulo de la portadora. En FM, la frecuencia instantánea se altera de acuerdo con la señal de modulación, tal como se puede observar en la figura 2.3. La señal FM analítica puede expresarse como, (Gómez Mero, 2016)

$$z(t) = A_c \exp \left\{ j \left[\omega_c t + 2\pi f \Delta \int_{t_0}^t x(\lambda) d\lambda \right] \right\}$$

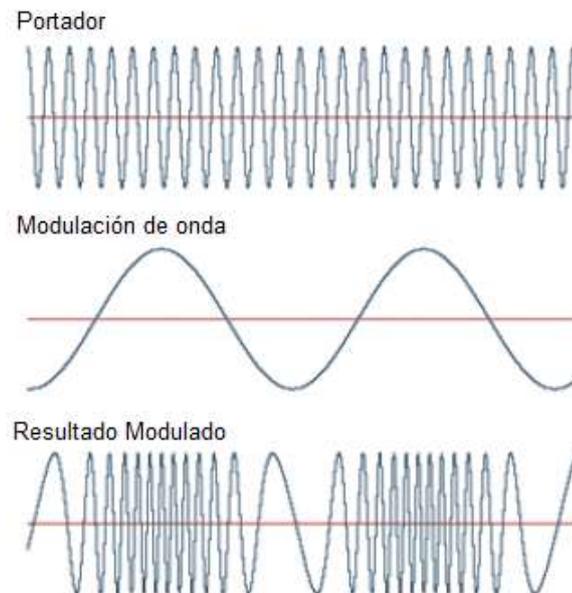


Figura 2. 3: Forma de onda de señal de modulación de frecuencia.
Fuente: (Gómez Mero, 2016).

En la modulación de fase, la fase instantánea varía según la señal de modulación. La señal modulada en fase analítica puede expresarse como,

$$z(t) = A_c \exp \{ j[\omega_c t + \phi \Delta x(t)] \}$$

En un sistema de comunicación, el fenómeno del ruido limita la transmisión de datos a través de un canal. En ausencia de ruido, se puede derivar una precisión infinita y, por lo tanto, sin restricciones en la cantidad de datos que se debe enviar. Sin embargo, el ruido está presente de manera uniforme en diferentes medidas de tiempo y frecuencia.

El tipo más común de modelo de ruido utilizado es el ruido gaussiano blanco aditivo (*Additive White Gaussian Noise, AWGN*). El ruido puede

deberse a muchas fuentes internas y externas del sistema. Cuando se combina el efecto de todas las fuentes de ruido, de acuerdo con el teorema del límite central, este ruido combinado será gaussiano y puede estimarse usando el AWGN. El ruido blanco significa que el ruido no está correlacionado en ningún otro momento. Para el AWGN con una restricción de ancho de banda, la capacidad de enviar datos se convierte en,

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_o W} \right)$$

Donde W es el ancho de banda, P es la potencia de la señal. Esta es la tasa de bits máxima y máxima alcanzable en la práctica. Esta igualdad presenta lo más rápido que puede transmitir un sistema de comunicación.

2.3. Sistemas de comunicaciones digitales.

La razón para comunicarse en un medio digital es que los sistemas digitales son mucho más fáciles de diseñar e implementar, lo que aumenta la practicidad del sistema. Los sistemas digitales también son muy baratos y se pueden producir a gran escala, lo que reduce el costo de producción. En la comunicación digital, los datos a transmitir están en formato digital. Si la información comienza a ser analógica, primero se convierte a digital por convertidores analógicos a digitales. Esto se hace a través del proceso de muestreo y cuantización. En el caso de los datos digitales, los datos se alinean como una secuencia de bits que se pueden transmitir con poca manipulación.

Una señal digital se caracteriza por el hecho de que cada punto y cada muestra solo pueden tomar un número finito de valores, a diferencia de las señales analógicas. En el proceso de comunicar datos a través de un canal, Shannon propuso un modelo que disecciona el bloque transmisor en dos procesos separados, tal como se muestra en la figura 2.4.

El proceso de transmisión primario comprimirá la fuente de información al máximo y el segundo bloque enviará los datos comprimidos de manera eficiente. El primer bloque se llama codificación de fuente, mientras que el último se conoce como codificación de canal. En resumen, la codificación de

fuente se relaciona con la fuente mientras que el bloque de codificación de canal se relaciona con el canal. Al dividir el bloque transmisor, no se pierde eficiencia ni efectividad.

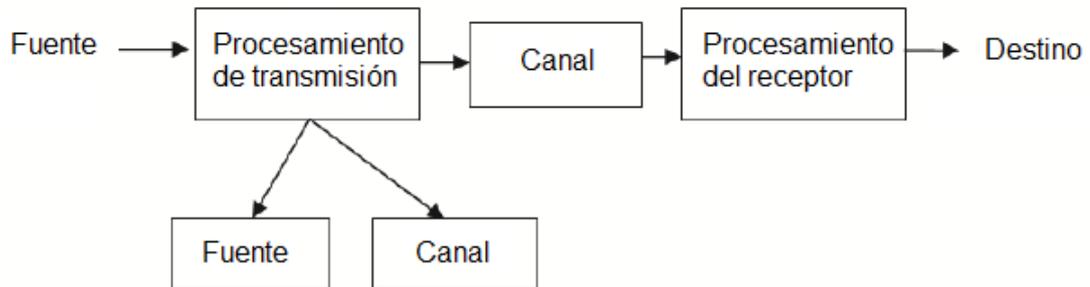


Figura 2. 4: Separación del proceso de transmisión en dos bloques de codificación.
Elaborado por: Autor

El codificador fuente comprime la fuente binaria de información en un número mínimo de bits para ahorrar ancho de banda (AB). El AB es un producto importante y todos los bits redundantes se suprimen para minimizar los datos que utilizará el AB. El codificador de canal da forma a los bits de datos de manera apropiada para que todos los bits se propaguen sin pérdida de información. En cierto modo, su trabajo es hacer coincidir las características de los bits de datos con las del canal. La principal ventaja de este bloque es que, si el canal introduce algún error en el flujo de datos, entonces el decodificador del canal podrá corregir ese error hasta cierto punto.

Muchos canales son de naturaleza analógica y, por lo tanto, se necesita de un modulador digital que convierta los datos digitales en forma analógica para que se transmitan en el canal analógico. Las partes del receptor funcionan de manera opuesta para recuperar la información de los bits transformados y los resultados en los bits de salida, tal como se muestra en la figura 2.5. Una representación analítica general de las señales moduladas digitales está dada por,

$$z(t) = A_c e^{j\omega_c t} \sum_{m=-\infty}^{\infty} s[m]g(t - mT)$$

Donde A_c es la amplitud y w_c es la frecuencia de la portadora. La secuencia de símbolos discreta $s[m]$ se compone de un alfabeto distintivo

para el tipo de modulación. La forma de onda $g(t)$ es un pulso de señal de valor real cuya forma influye en el espectro de la señal modulada.

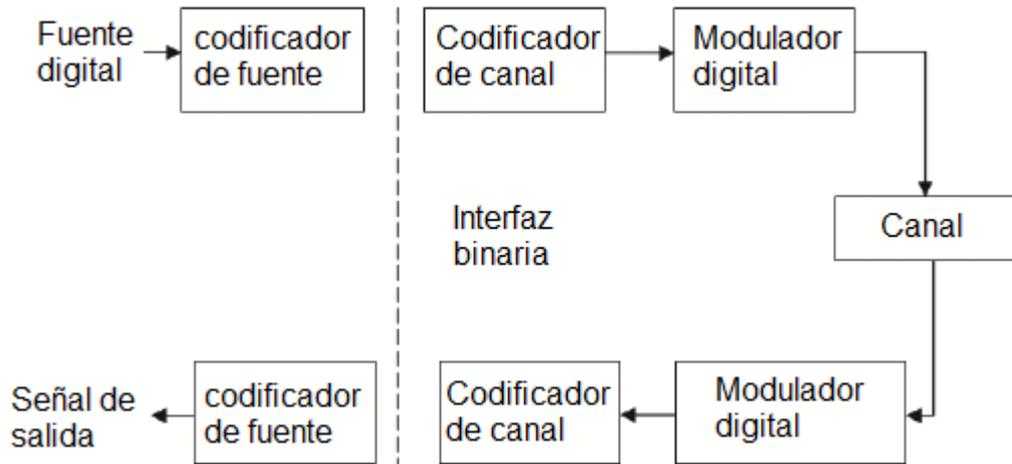


Figura 2. 5: Diagrama de bloques básico del sistema de comunicación digital.
Elaborado por: Autor

2.3.1. Modulación por desplazamiento de amplitud – ASK.

La modulación por desplazamiento de amplitud (*Amplitude Shift Keying*, ASK, también conocido como modulación ASK, es el esquema de modulación digital más simple. El alfabeto consiste en $M = 2^b$ puntos en la línea real del espacio de señal donde cada punto representa una secuencia de bits 'b'. Por lo tanto, los símbolos están representados por diferentes niveles de amplitud de la señal modulada, tal como se muestra en la figura 2.6.

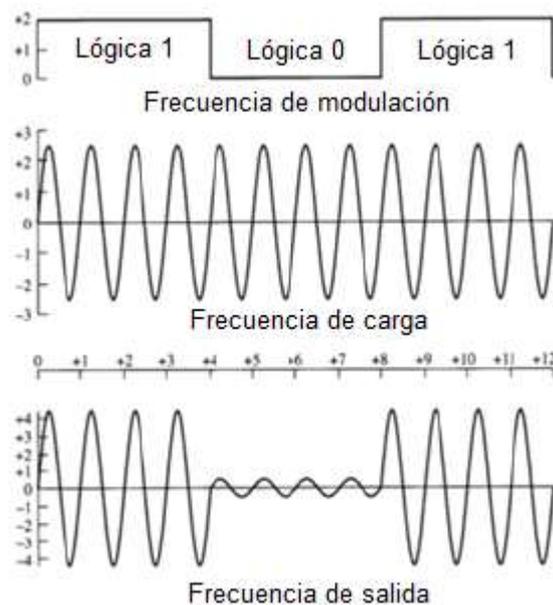


Figura 2. 6: Constelación de QPSK
Elaborado por: Autor

La amplitud instantánea de la señal modulada ASK se puede expresar como,

$$a(t) = A_c |s(t)|$$

Dónde,

$$s(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} s[m]g(t - mT)$$

es decir, el valor absoluto de la función de símbolo $s(t)$ con diferente amplitud de niveles escalados por A_c . La fase instantánea se obtiene mediante,

$$\phi(t) = \mu(-s(t))\pi + \omega_c t$$

Donde $u(t)$ es la función de escalón unitario. La frecuencia instantánea puede expresarse como,

$$f(t) = -\frac{s(t)}{2}\delta(-s(t)) + f_c$$

2.3.2. Modificación por desplazamiento de fase – PSK.

La codificación de cambio de fase se obtiene definiendo un estado de fase único de la portadora para cada símbolo, tal como se muestra en la figura 2.7. Los símbolos no tienen ningún efecto en la amplitud instantánea. La señal analítica modulada PSK puede expresarse como,

$$z(t) = A_c \sum_{m=-\infty}^{\infty} e^{j(\omega_c t + \phi[m])} g(t - mT)$$

La fase instantánea es,

$$\phi(t) = \omega_c t + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \phi[m] \left[\mu\left(t - \frac{m-1}{2}T\right) - \mu\left(t - \frac{m+1}{2}T\right) \right]$$

donde las funciones de escalón unitario recogen el término de fase correcto en cada instante de tiempo. La fase de la señal modulada consiste en los estados de fase causados por la secuencia de símbolos. La frecuencia instantánea se obtiene mediante,

$$f(t) = f_c + \frac{1}{2\pi} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \phi[m] \left[\delta\left(t - \frac{m-1}{2}T\right) - \delta\left(t - \frac{m+1}{2}T\right) \right]$$

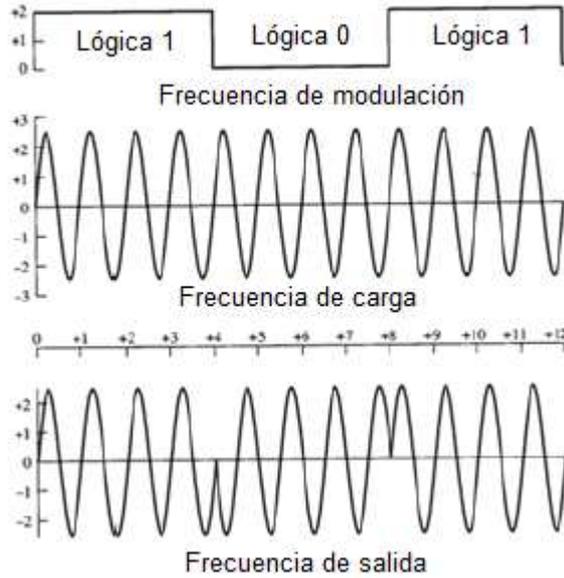


Figura 2. 7: Forma de onda de señal de la modulación por desplazamiento de fase – PSK.

Elaborado por: Autor

PSK es un esquema de modulación de energía constante. Si se quiere transmitir más bits en un símbolo, simplemente se incrementa el número de puntos en la constelación. Si se quiere transmitir 3 bits por símbolo, se divide la constelación en 8 divisiones. Para 4 bits, se tiene que dividir los ángulos de constelación en 16 puntos. Pero aumentar el número de puntos acercará cada punto a sus puntos vecinos y cuando el canal introduce ruido, los puntos cambiarán de lugar en ciertos grados. El demodulador no podrá reconocer y separar dichos puntos debido al bajo margen de separación, lo que aumenta la probabilidad de error.

2.3.3. Modulación de desplazamiento de frecuencia – FSK.

La señal modulada FSK se compone de pulsos que tienen diferentes frecuencias dependiendo del símbolo, tal como se muestra en la figura 2.8. La fase de la señal FSK puede ser continua o discontinua dependiendo de la duración de los pulsos. La señal analítica modulada FSK puede expresarse como,

$$z(t) = A_c \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \omega \Delta \int^t s(\tau) d\tau \right] \right\}$$

Donde $s(t)$ es igual que la última ecuación de la sección 2.3.1. $w\Delta$ es la diferencia de frecuencia de dos pulsos adyacentes. La envolvente de la señal FSK es constante. El ancho de banda de la señal FSK puede reducirse eligiendo $f\Delta = 1 / (2T)$, que se denomina MSK de desplazamiento mínimo. Al elegir $g(t)$ como filtro de paso bajo con forma gaussiana, se obtiene Gaussian MSK, que se utiliza en el sistema global para móviles (GSM). La fase instantánea de FSK está dada por

$$\phi(t) = \omega_c t \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \omega \Delta \int^t s(\tau) d\tau \right] \right\}$$

La frecuencia instantánea se convierte en,

$$f(t) = f_c + f\Delta s(t)$$

es decir, la frecuencia instantánea varía con respecto a los valores de los símbolos.

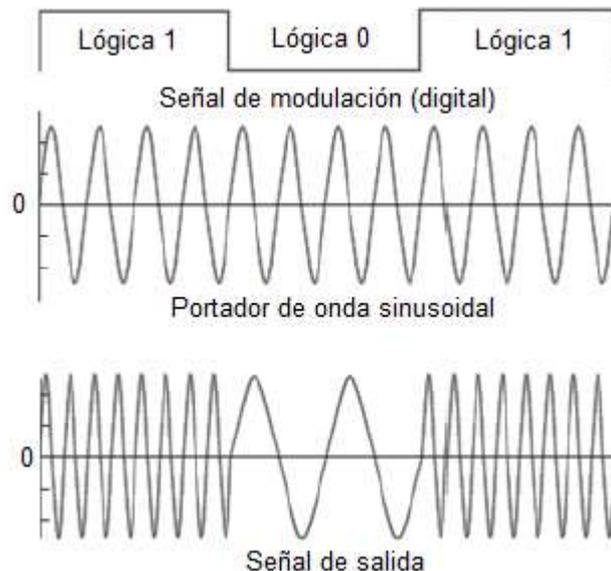


Figura 2. 8: Forma de onda de señal de la modulación por desplazamiento de frecuencia – FSK.

Elaborado por: Autor

2.4. Clasificación de esquemas de modulación digital.

Un identificador digital de modulación automática (AMI) es un dispositivo que reconoce automáticamente el tipo de modulación de las señales de radio recibidas. Un AMI encuentra sus usos en aplicaciones de comunicaciones militares y civiles, incluyendo confirmación de señal, identificación de

interferencia, monitoreo de espectro, vigilancia de señal, guerra electrónica y análisis de amenazas militares. Cuando se identifican los esquemas de modulación de una señal recibida, se puede seleccionar un demodulador apropiado para recuperar la información.

Los métodos utilizados para la clasificación de la modulación se implementan como etapas intermedias entre las señales recibidas y la etapa de descifrado o recuperación de datos (véase la 2.9). El bloque de clasificación de modulación que se muestra en la figura 2.9 se ilustra con ejemplos en la figura 2.10. El proceso de AMI se puede utilizar para modulaciones analógicas y digitales.

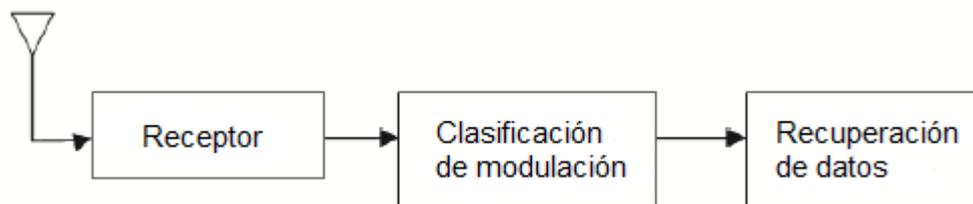


Figura 2. 9: Colocación de la clasificación de modulación en el receptor
Elaborado por: Autor

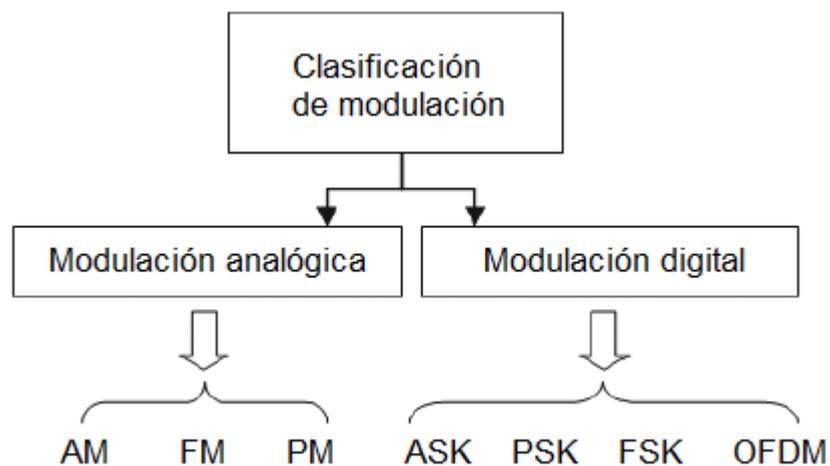


Figura 2. 10: Diferentes divisiones de clasificación de modulación.
Elaborado por: Autor

La clasificación de la modulación es una tarea compleja, especialmente en entornos de múltiples señales, como la banda HF, donde operan muchos sistemas actuales de comunicación por radio civiles y militares. Es muy difícil analizar e identificar señales moduladas de manera diferente en tiempo real

debido a la alta densidad de señal y los efectos de desvanecimiento en la banda de HF. Además, los factores de degradación de la señal, como la propagación por trayectos múltiples, el desvanecimiento selectivo de frecuencia y el canal variable en el tiempo, aumentan la complejidad de la tarea. Además, puede haber poca o ninguna información a priori proporcionada sobre la señal entrante.

Capítulo 3: Diseño y análisis de resultados

3.1. Descripción general de la propuesta.

En este capítulo se investiga el rendimiento de la multiplexación de división de frecuencia ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*), para diferentes modulaciones por desplazamiento de fase (PSK) y por amplitud de cuadratura (QAM) en canales de ruido gaussiano blanco aditivo (*Additive White Gaussian Noise, AWGN*). El programa MatLab se utilizará para obtener los resultados y también para calcular la tasa de error de símbolo (*Symbol Error Rate, SER*) para varias relaciones señal a ruido (*Signal to Noise Relation, SNR*). Se debe tener en cuenta aquí que la tasa de error de bits (*Bits Error Rate, BER*) se puede obtener mediante la expresión:

$$\text{velocidad de símbolo} = \frac{\text{velocidad de bits}}{\text{Número de bits transmitidos por símbolo}}$$

3.2. Esquema de modulación por desplazamiento de fase – PSK.

En el sistema de modulación M-PSK, el componente I y el componente Q son interdependientes, con una envoltura constante que hace que los puntos de datos se formen en una constelación circular. Los objetivos importantes en el diseño de un sistema de comunicación digital es tener una probabilidad de error muy baja y la conservación del ancho de banda. En esta sección se utilizarán las modulaciones QPSK (4-PSK), 16-PSK y 32-PSK, con canales AWGN. El rendimiento del sistema se examina con diferentes valores de SNR. También, los resultados obtenidos son graficados y analizados.

3.2.1. Modulación QPSK.

QPSK utiliza solo la mitad del ancho de banda del canal utilizado por PSK binario (llamado BPSK), tiene la misma probabilidad de error que el sistema BPSK con la misma velocidad de bits y el mismo E_b/N_0 . En este escenario de simulación el sistema OFDM es programado en MatLab, en el cual el sistema se proporciona con 64000 datos binarios, el nivel de modulación M se establece en 4, la longitud de la transformada rápida de Fourier (FFT) se establece en 64, el prefijo cíclico se establece en 10. La tabla 3.1 muestra los parámetros de simulación para la modulación QPSK.

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación del escenario de modulación QPSK.

QPSK	
M	4
Datos binarios de entrada	64000
No. de símbolos	32000
Longitud de FFT	64
Prefijo Cíclico	10
No. De tramas	500
Tamaño de trama	64

Elaborado por: Autora.

Los puntos de constelación de QPSK se muestran en la figura 3.1. Para la modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (*Quadrature Phase Shift Keying, QPSK*) se sabe que tiene cuatro puntos de constelación con dos valores I y dos valores Q.

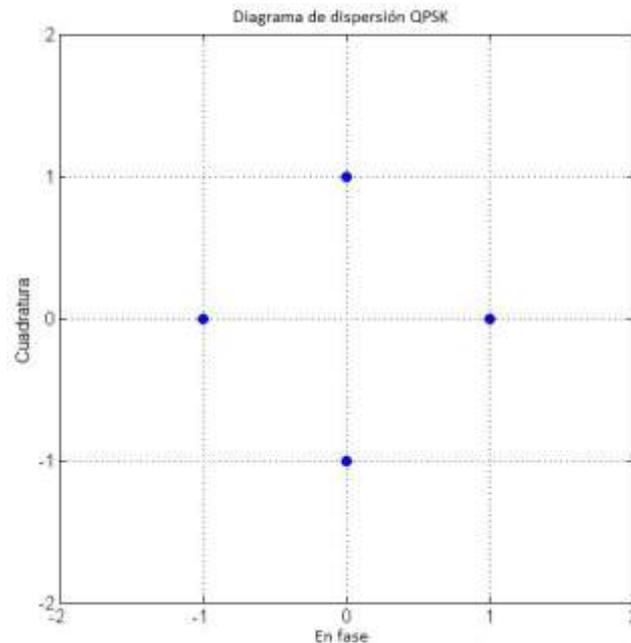


Figura 3. 1: Constelación de QPSK

Elaborado por: Autora.

Los gráficos en la figura 3.2 muestran la respuesta al impulso y la respuesta de frecuencia del canal. La figura 3.3 muestra las primeras 100 muestras de entrada y las 100 muestras de salida.

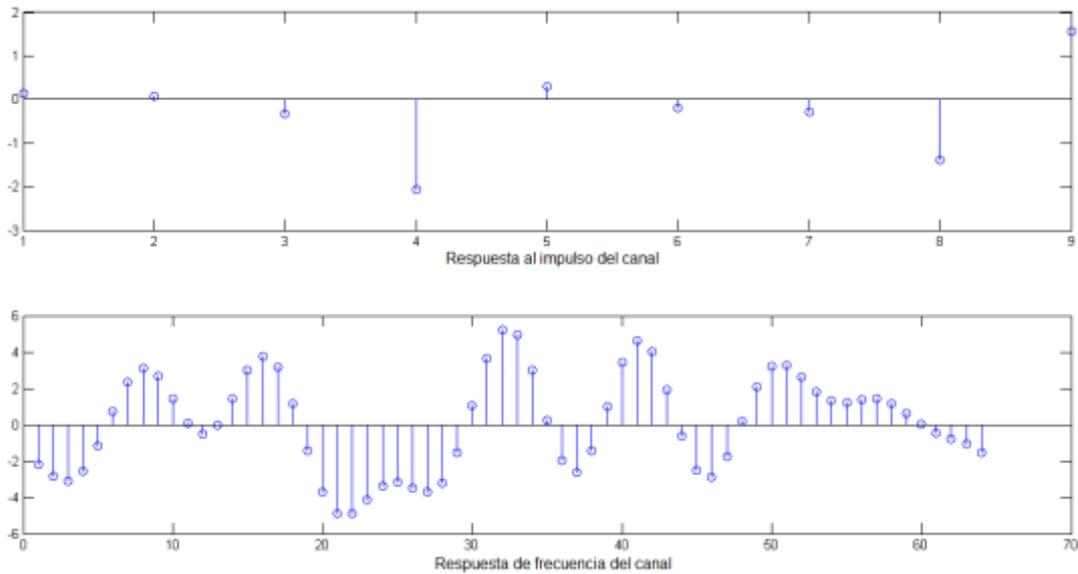


Figura 3. 2: Respuesta impulsiva y de frecuencia del canal.
Elaborado por: Autor

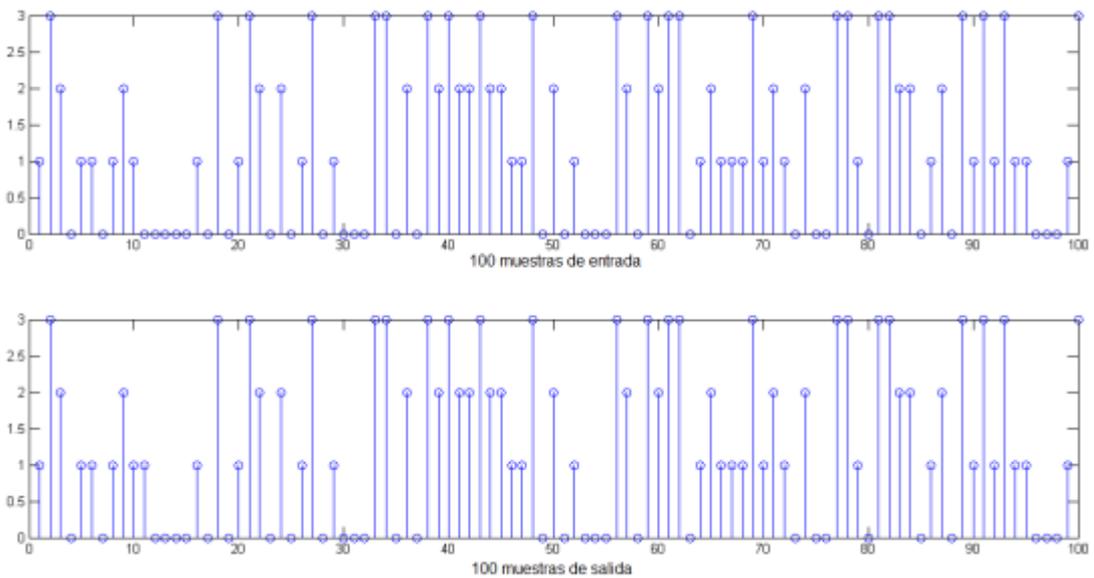


Figura 3. 3: Muestras de entrada y salida.
Elaborado por: Autor

El gráfico de la figura 3.4 se utiliza para visualizar los datos de error, la línea roja que se muestra en el gráfico es el bit de error. La figura 3.5 muestra el número de errores en la relación señal/ruido respectivo.

En la figura 3.6 se muestra la tasa de error del símbolo con respecto a la relación señal/ruido para el sistema QPSK-OFDM.

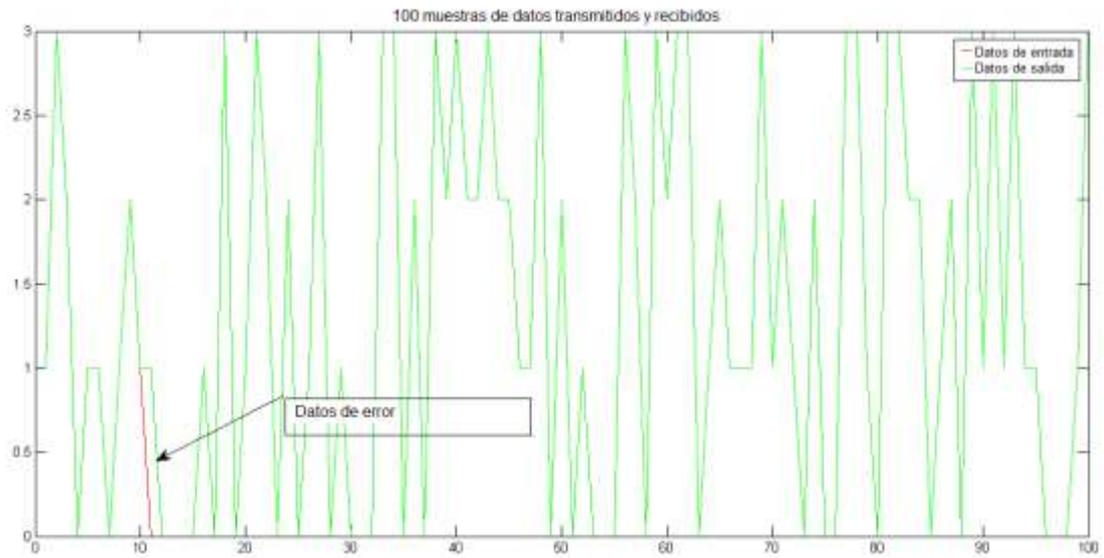


Figura 3. 4: Trazado de señal de entrada y salida para visualización de errores.
Elaborado por: Autor

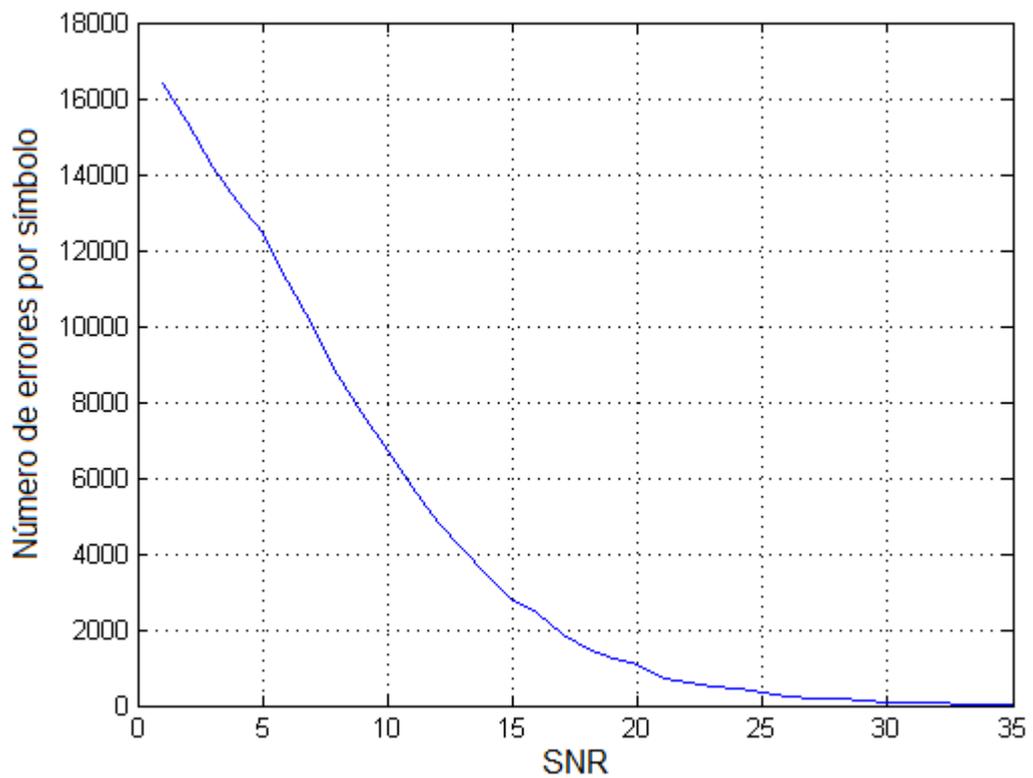


Figura 3. 5: Número de error versus relación señal/ruido para el sistema QPSK-OFDM.

Elaborado por: Autor

Aparte de esto, proporciona la misma velocidad de datos que BPSK para la mitad del ancho de banda que necesita BPSK. Pero el principal problema al utilizar QPSK es la complejidad de los transmisores y receptores.

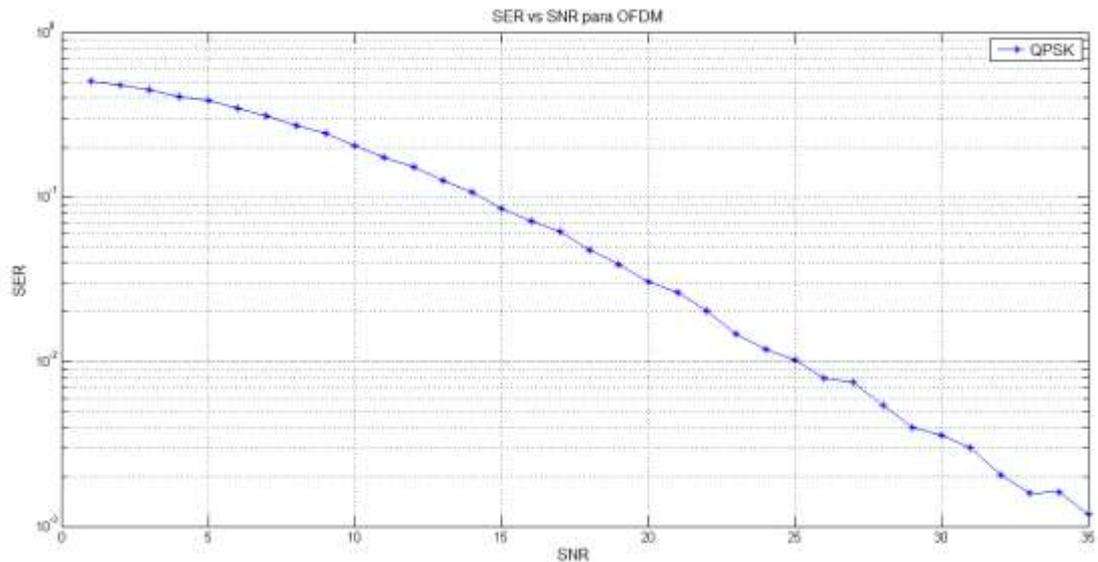


Figura 3. 6: Tasa de error de símbolo versus relación señal/ruido para el sistema QPSK-OFDM.

Elaborado por: Autor

3.2.2. Modulación 16-PSK.

En el sistema 16PSK se pueden tener 4 bits/símbolo. El nivel de modulación M se establece en 16, el número total de bits a transmitir es 64000, la longitud de FFT se establece en 64 y la corrección previa cíclica es 10, tal como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3. 2: Parámetros de simulación 16PSK

16PSK	
M	16
Ingresar datos binarios	64000
No. de símbolos	16000
FFT. Longitud	64
Prefijo Cíclico	10
No. de marcos	250
Tamaño del marco	64

Elaborado por: Autor

La figura 3.7 muestra 16 puntos en un círculo con fase $\pm 22.5^\circ$ y el demodulador tiene solo $\pm 11.25^\circ$ de fase para detectar el símbolo.

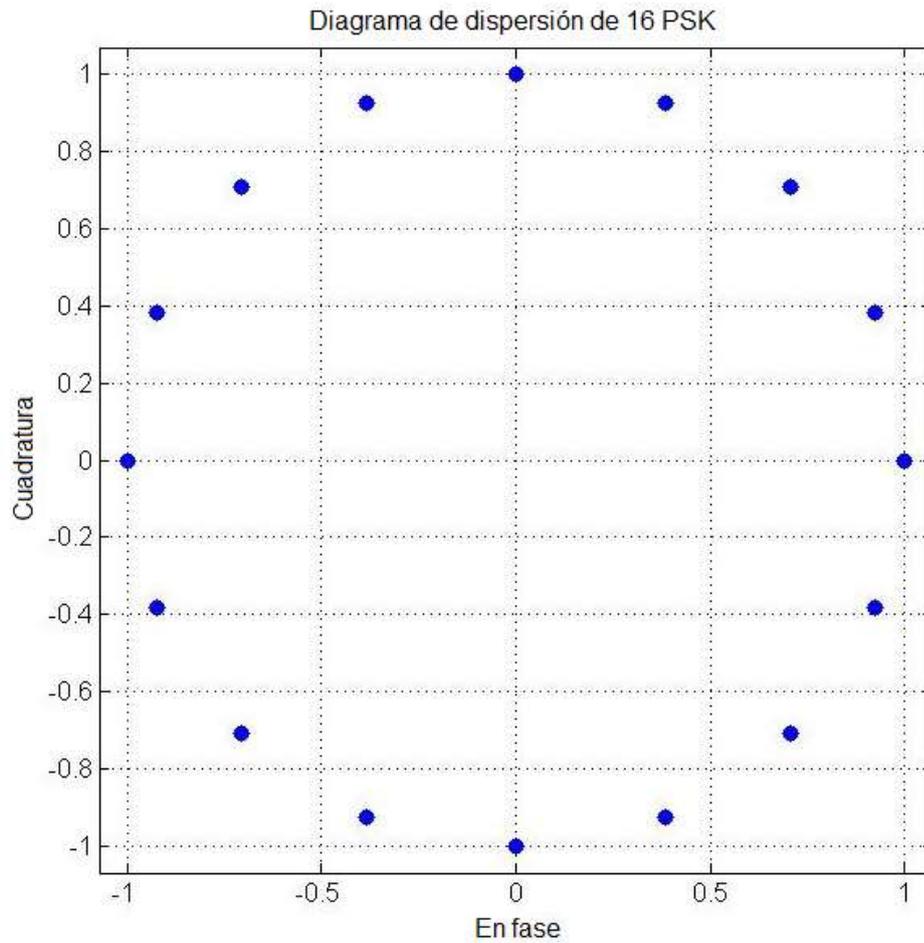


Figura 3. 7: Constelación de la modulación 16-PSK.
Elaborado por: Autor

La figura 3.8 muestra los gráficos de los primeros 100 datos de entrada y salida, las líneas rojas muestran dónde se han producido los errores.

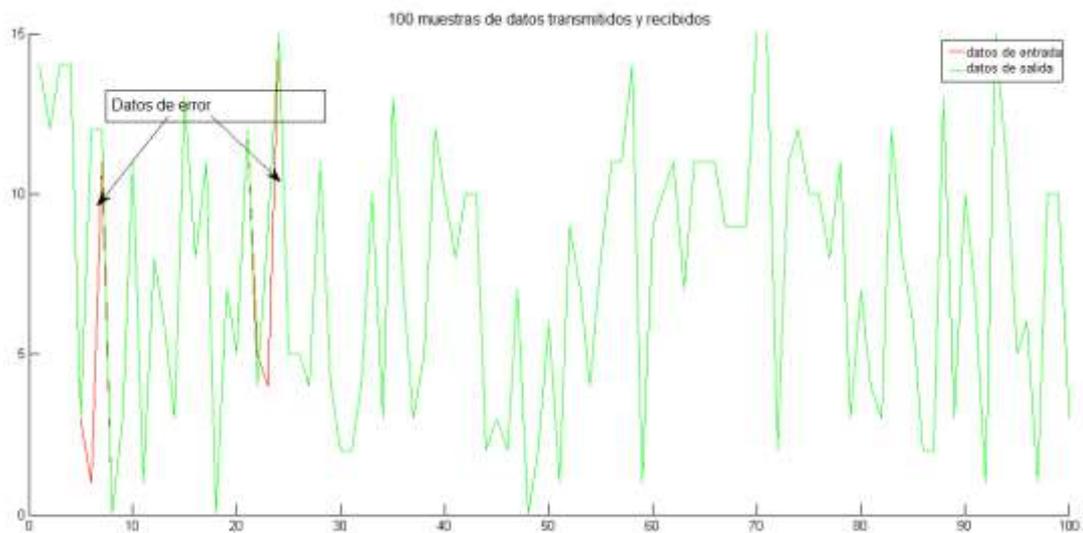


Figura 3. 8: Trazado de señal de entrada y salida para visualización de errores.
Elaborado por: Autor

La figura 3.9 muestra el número de errores en la relación señal/ruido respectivo.

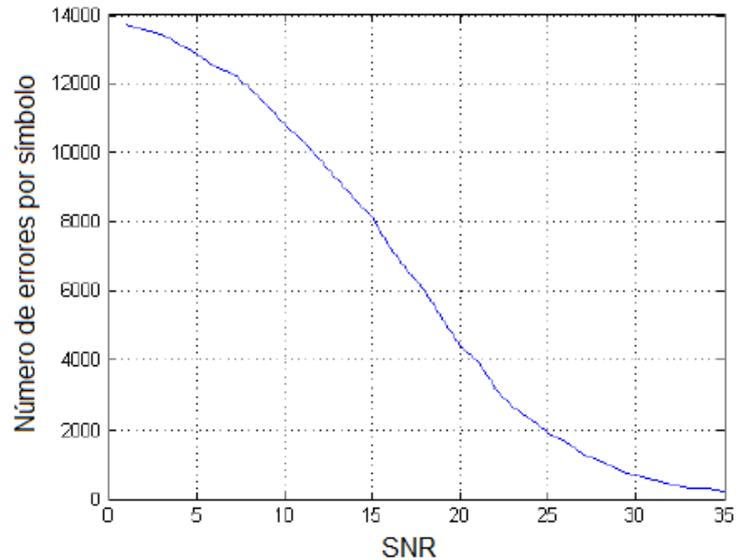


Figura 3. 9: Número de error versus Relación señal/ruido para 16-PSK-OFDM.
Elaborado por: Autor

El gráfico en la figura 3.10 muestra el SER del sistema con diferentes valores de SNR.

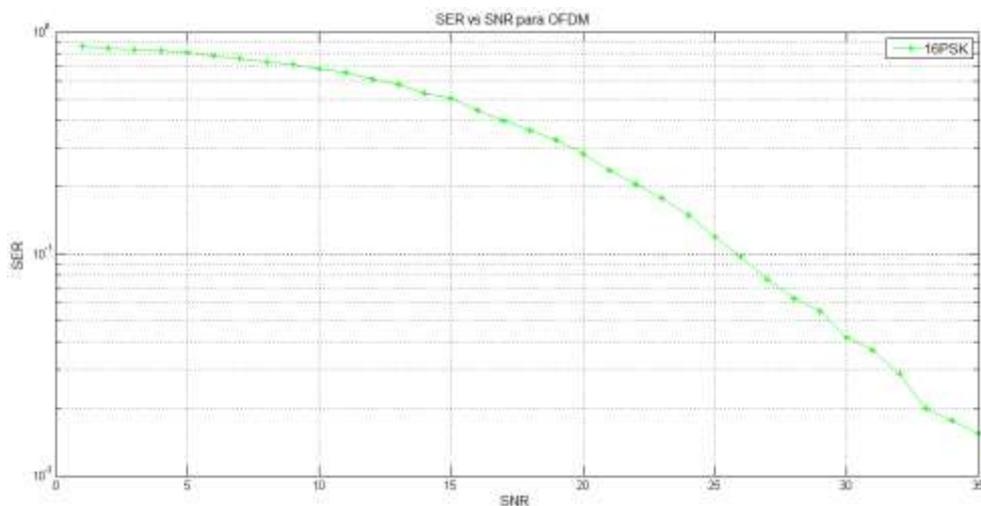


Figura 3. 10: Tasa de error de símbolo versus Relación señal/ruido para 16-PSK-OFDM.

Elaborado por: Autor

3.2.3. Modulación 32-PSK.

En el sistema 32-PSK se tiene 5 bits/símbolo, el nivel de modulación se establece en 32, el número total de bits a transmitir es 64000 y la longitud de FFT es 64 y el pre-arreglo cíclico se establece en 10, tal como se observa en la tabla 3.3.

Tabla 3. 3: Parámetros de simulación 32PSK

16PSK	
M	32
Ingresar datos binarios	64000
No. de símbolos	12800
FFT. Longitud	64
Prefijo Cíclico	10
No. de marcos	200
Tamaño del marco	64

Fuente:

El diagrama de constelación que se muestra en la figura 3.11 tiene 32 puntos separados con una fase de $\pm 11:25^\circ$ y el demodulador tiene una fase de $\pm 5:625^\circ$ para detectar los símbolos.

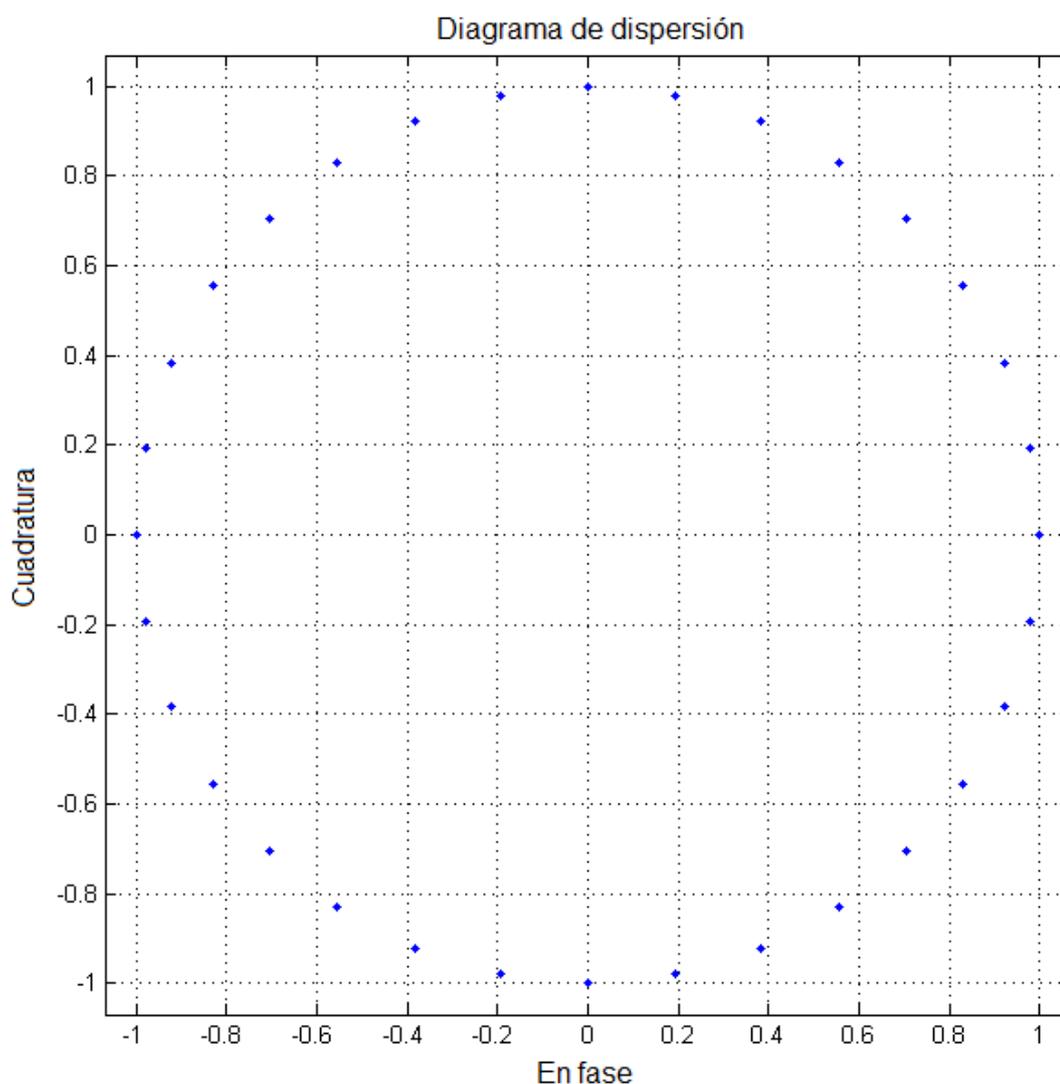


Figura 3. 11: Constelación de la modulación 32-PSK.

Elaborado por: Autor

La figura 3.12 muestra las primeras 100 muestras de entrada y salida.

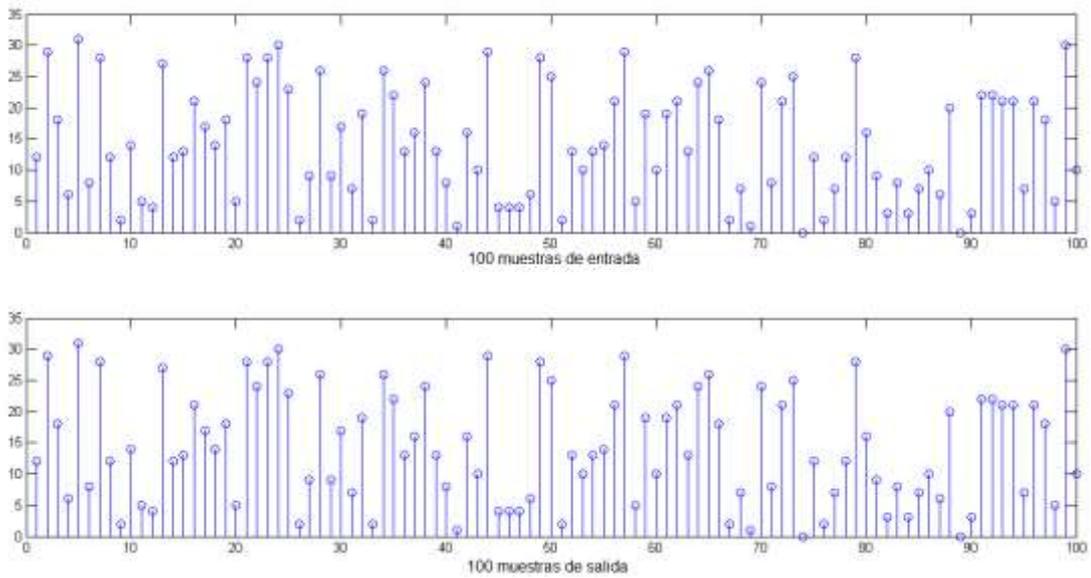


Figura 3. 12: Muestras de entrada y salida para el sistema 32-PSK.
Elaborado por: Autor

La figura 3.13 muestra el gráfico de la señal de entrada y salida para visualizar los símbolos de error.

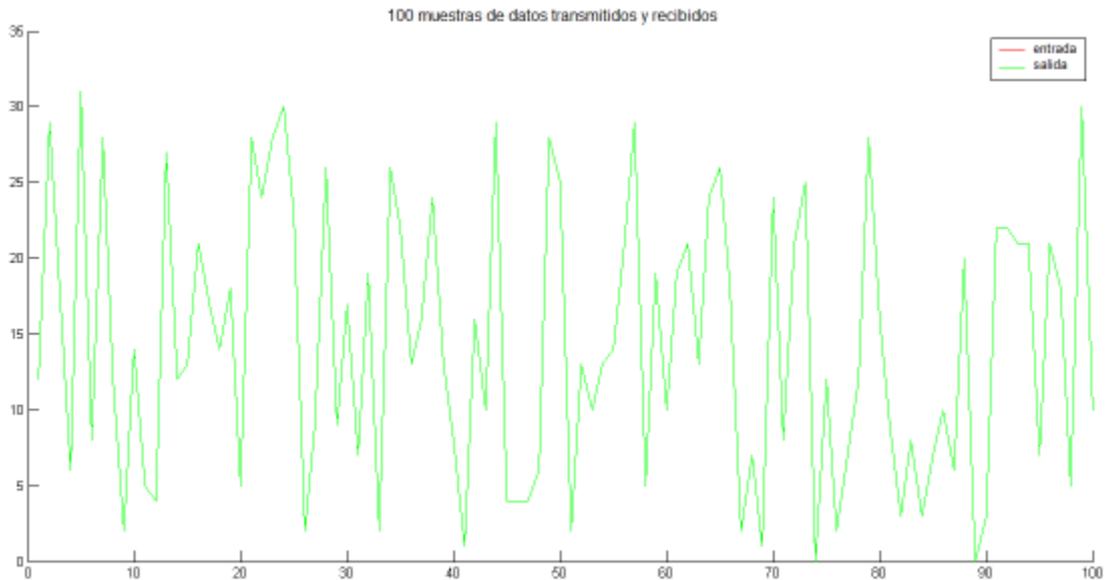


Figura 3. 13: Trazado de señal de entrada y salida para visualizar errores
Elaborado por: Autor

La figura 3.14 muestra el número de errores en la relación señal / ruido correspondiente.

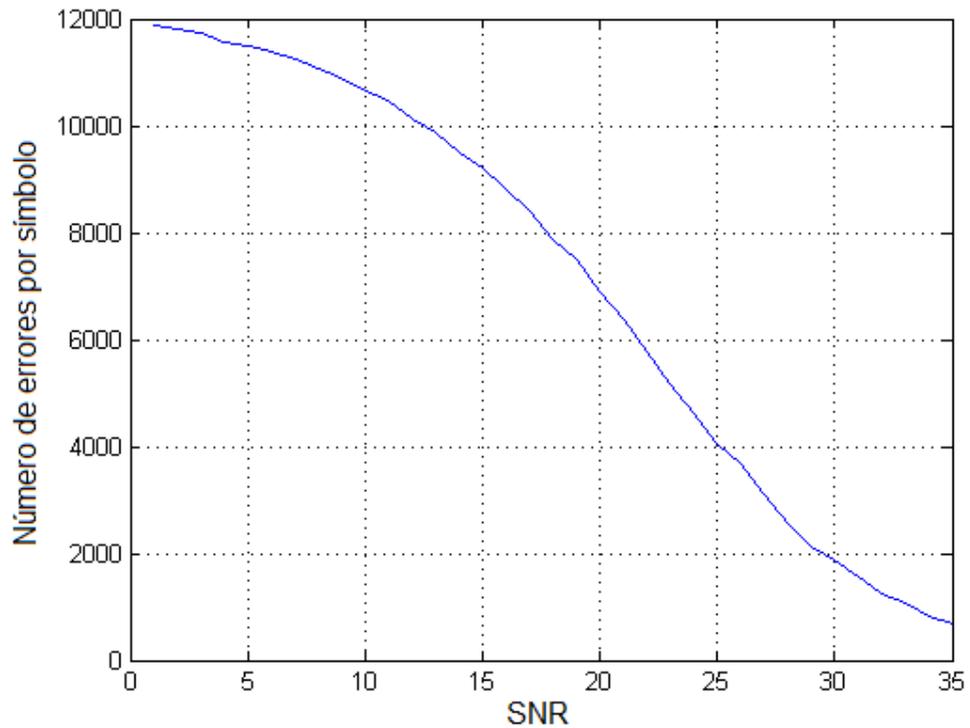


Figura 3. 14: Número de error Vs Relación señal/ruido para 32-PSK-OFDM.
Elaborado por: Autor

La figura 3.15 muestra la tasa de error de símbolo para las correspondientes relaciones de señal a ruido.

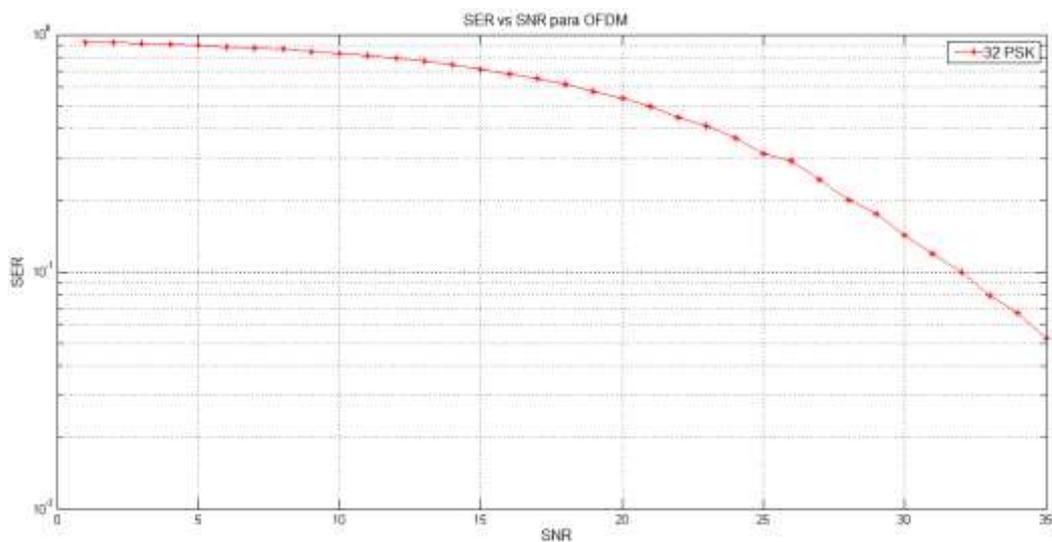


Figura 3. 15: Tasa de error de símbolo versus relación señal/ruido para 32-PSK-OFDM.
Elaborado por: Autor

De la figura 3.16 se puede ver que cuando se utiliza un alto nivel de modulación se obtiene una mayor tasa de error de símbolos. La modulación 32-PSK tiene una mayor tasa de error de símbolo, pero tiene una mayor

velocidad de datos mientras utiliza menos ancho de banda de canal. Se puede reducir la tasa de error de símbolo aumentando la relación señal a ruido.

Se puede elegir los mejores esquemas de modulación para obtener un rendimiento óptimo del sistema en función de las necesidades, para obtener una mayor velocidad de datos, se pueden elegir esquemas de modulación más altos y, para tener una pérdida de datos mucho menor, se pueden utilizar esquemas de modulación más bajos.

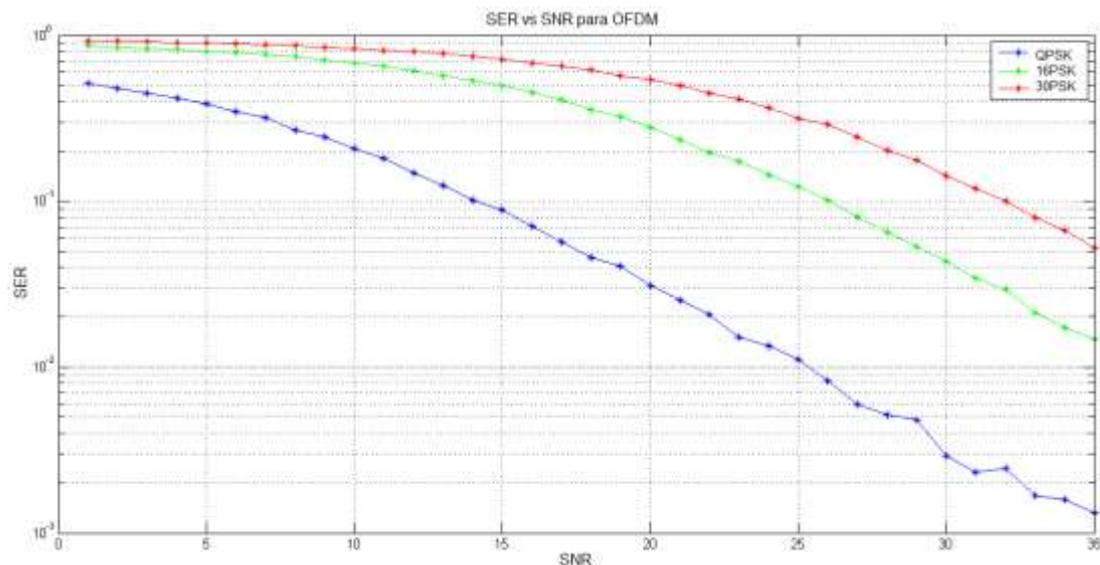


Figura 3. 16: SER Vs SNR para PSK-OFDM
Elaborado por: Autor

3.3. Esquema de modulación QAM

M-QAM se forma haciendo que el componente I y el componente Q sean independientes. M-QAM tiene una red rectangular de puntos de datos. Se puede modular la amplitud y la fase de la señal para aumentar el espacio entre los puntos de constelación, esto se conoce como modulación de amplitud en cuadratura. En esta sección se va a simular el sistema OFDM con modulaciones 4-QAM, 16-QAM y 32-QAM. Se realiza la comparativa de OFDM basado en modulaciones M-QAM con OFDM basado en la modulación M-PSK.

La modulación 4-QAM transmite 2 bits/símbolo, el total de bits a transmitir es 64000, el nivel de modulación es 4, el tamaño FFT 64, el pre-arreglo cíclico es 10, tal como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4: Parámetros de simulación 4-QAM

4QAM	
M	4
Ingresar datos binarios	64000
No. de símbolos	32000
FFT. Longitud	64
Prefijo Cíclico	10
No. de marcos	500
Tamaño del marco	64

Elaborado por: Autor

La modulación 4-QAM tiene una red rectangular de 4 puntos como se muestra en la figura 3.17. En comparación de M-PSK con la constelación de señal M-QAM, QAM tiene una mayor distancia entre los puntos de constelación.

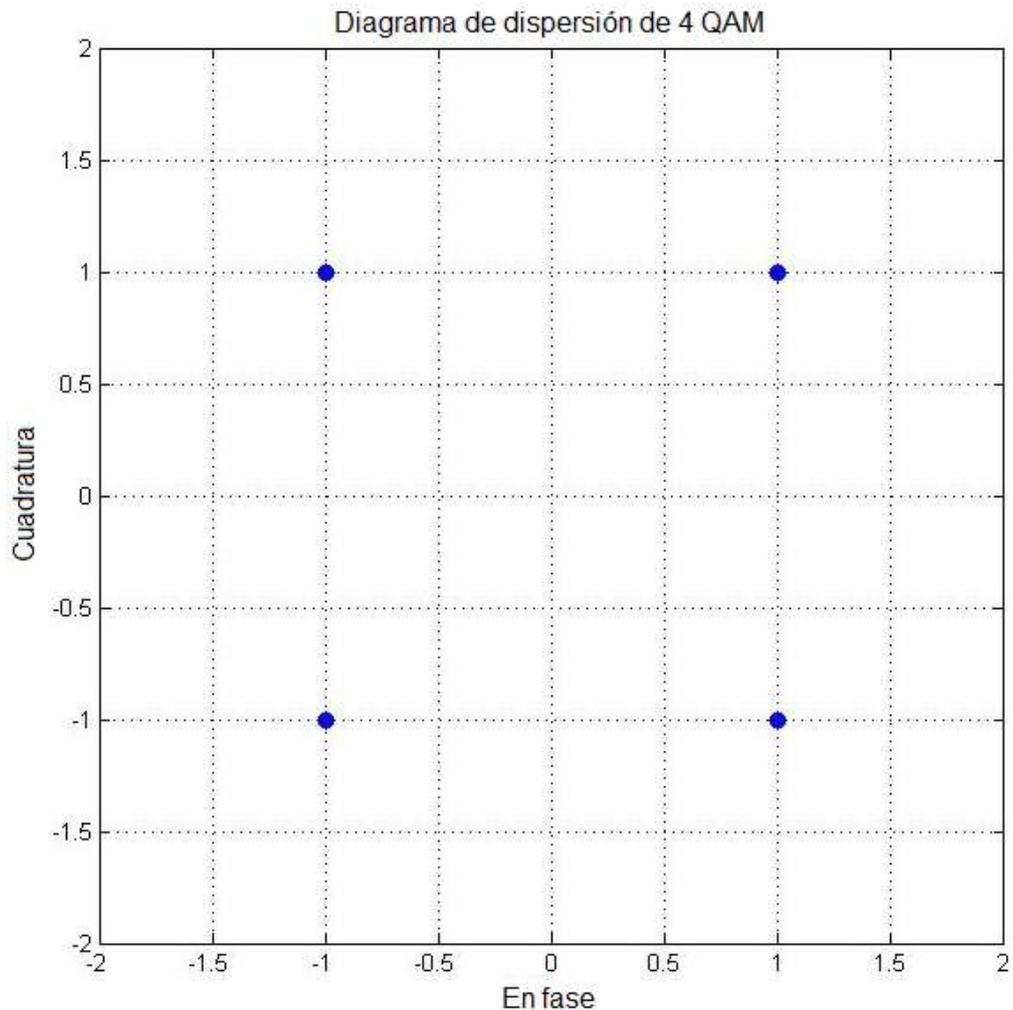


Figura 3. 17: Constelación de 4-QAM.

Elaborado por: Autor

Los datos de entrada y salida de 4-QAM-OFDM se trazan en la figura 3.18.

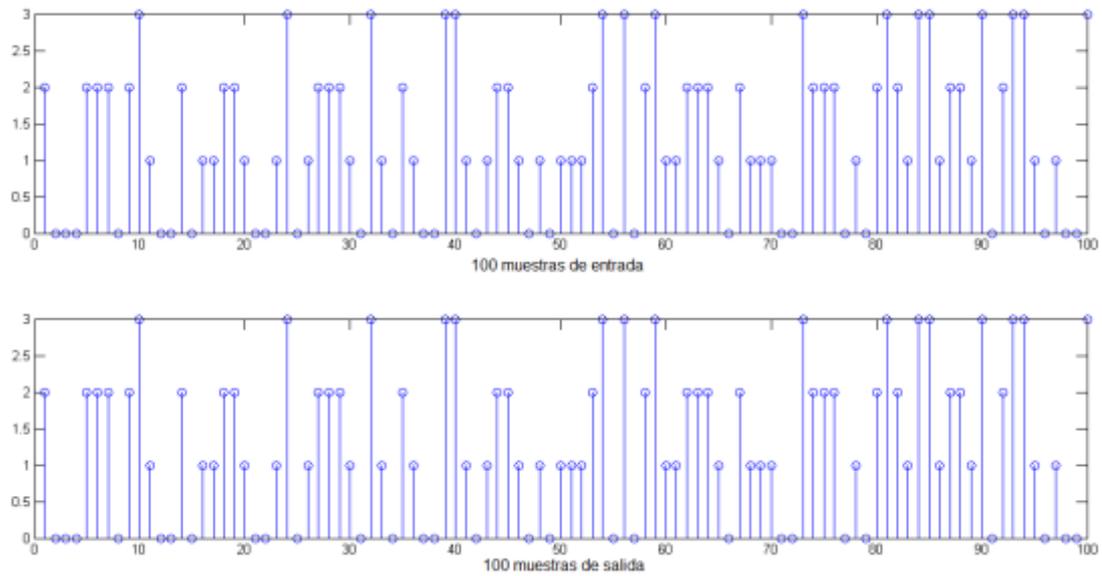


Figura 3. 18: Muestras de entrada y salida para la modulación 4-QAM.
Elaborado por: Autor

La figura 3.19 muestra si hay algún error presente en los primeros 100 datos recibidos.

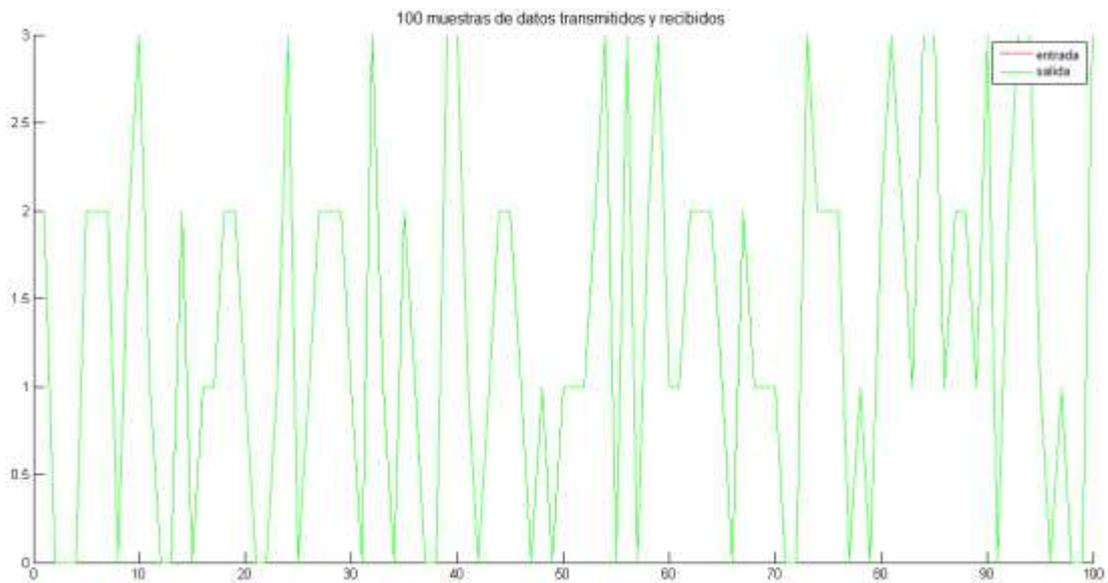


Figura 3. 19: Trazado de señal de entrada y salida para visualización de errores.
Elaborado por: Autor

La figura 3.20 muestra el número de errores en la relación señal/ruido respectivo.

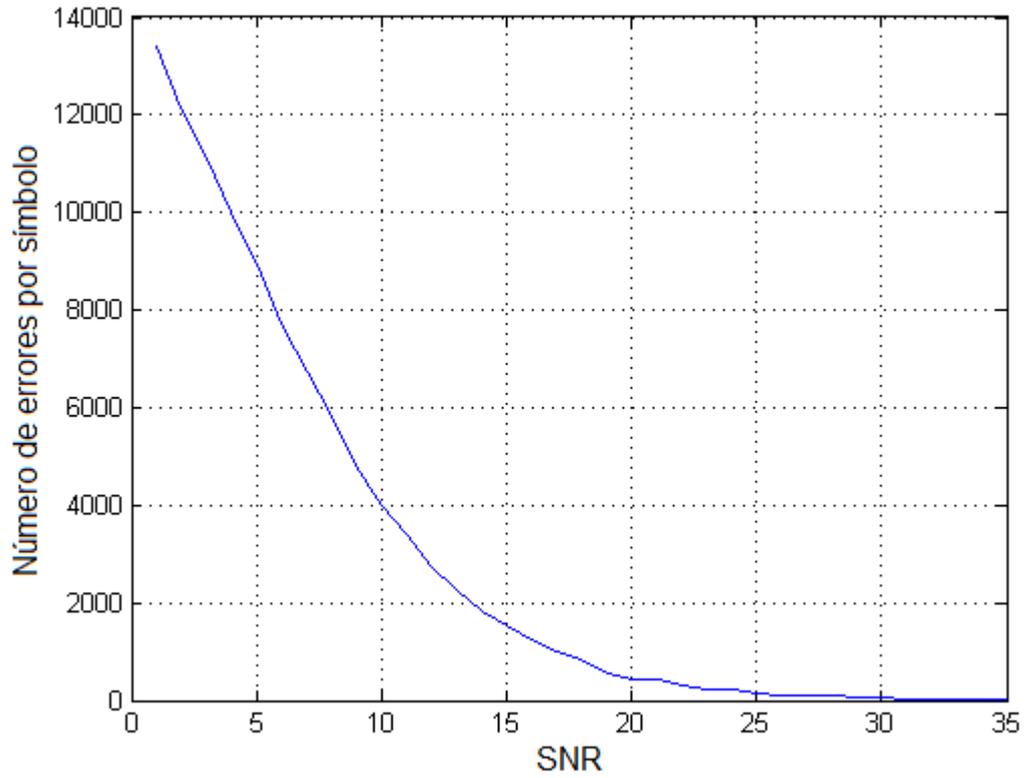


Figura 3. 20: Número de error versus relación señal/ruido para 4-QAM-OFDM.
Elaborado por: Autor

La figura 3.21 muestra la tasa de error del símbolo de trama para la relación señal/ruido.

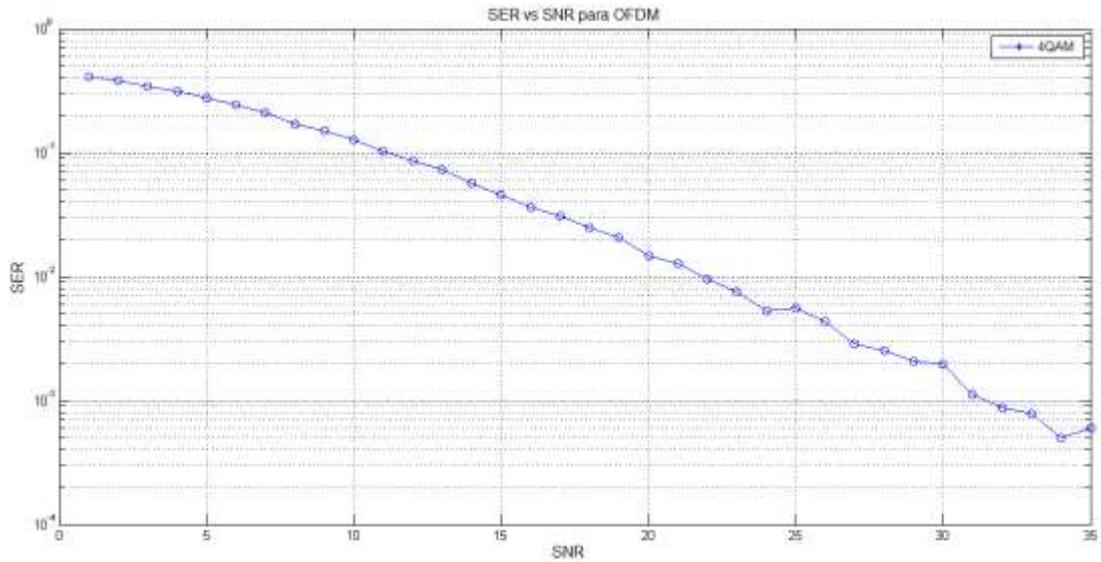


Figura 3. 21: Tasa de error de símbolo versus relación señal/ruido para 4-QAM-OFDM.
Elaborado por: Autor

3.3.1. Modulación 16-QAM

La modulación 16-QAM tiene 4 bits en cada símbolo, el número total de bits a transmitir es 64000, el tamaño de FFT es 64, el prefijo cíclico es 10. En la tabla 3.5 se muestran los parámetros de simulación de la modulación 16-QAM.

Tabla 3. 5: Parámetros de simulación 16-QAM.

16-QAM	
M	16
Ingresar datos binarios	64000
No. de símbolos	16000
FFT. Longitud	64
Prefijo Cíclico	10
No. de marcos	250
Tamaño del marco	64

Elaborado por: Autor

La modulación 16-QAM tiene una red rectangular de 16 puntos como se muestra en la figura 3.22. Los puntos de constelación de señal 16-QAM tienen un mejor espaciado en comparación con 16-PSK.

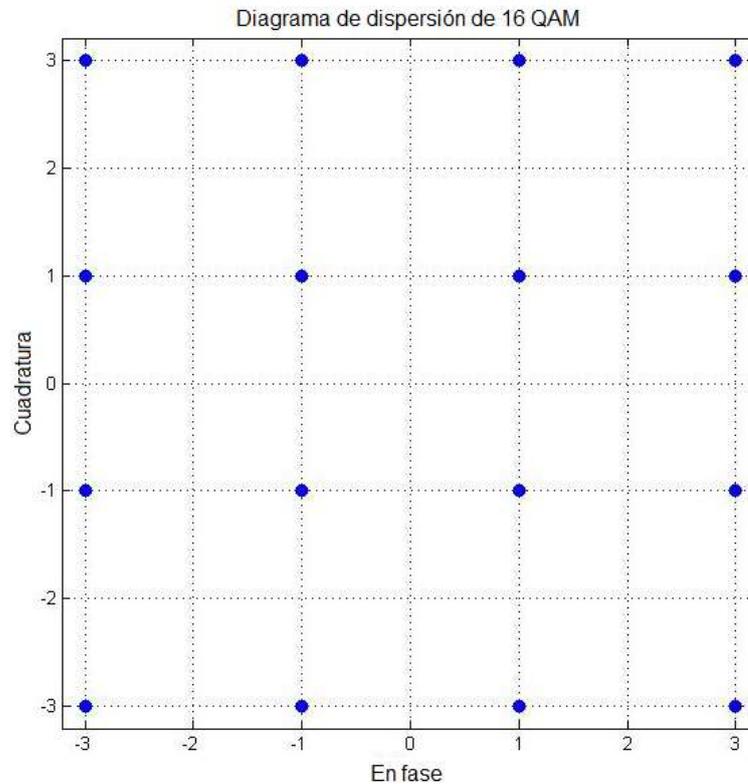


Figura 3. 22: muestra si hay datos de error presentes en los primeros 100 datos recibidos.

Elaborado por: Autor

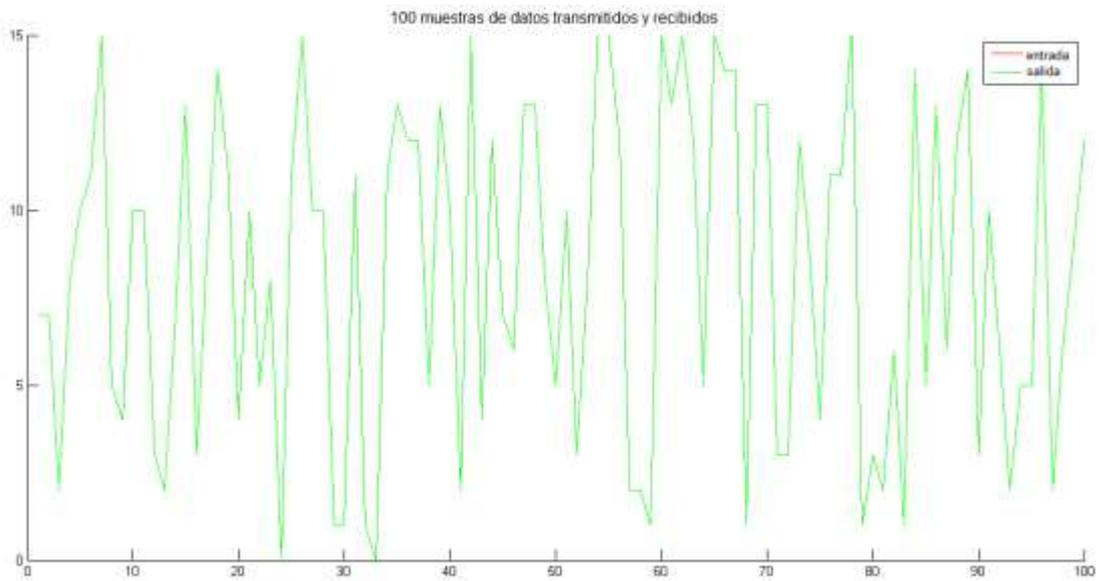


Figura 3. 23: Trazado de señal de entrada y salida para visualizar errores
Elaborado por: Autor

La figura 3.24 muestra el número de errores en la relación señal/ruido respectivo.

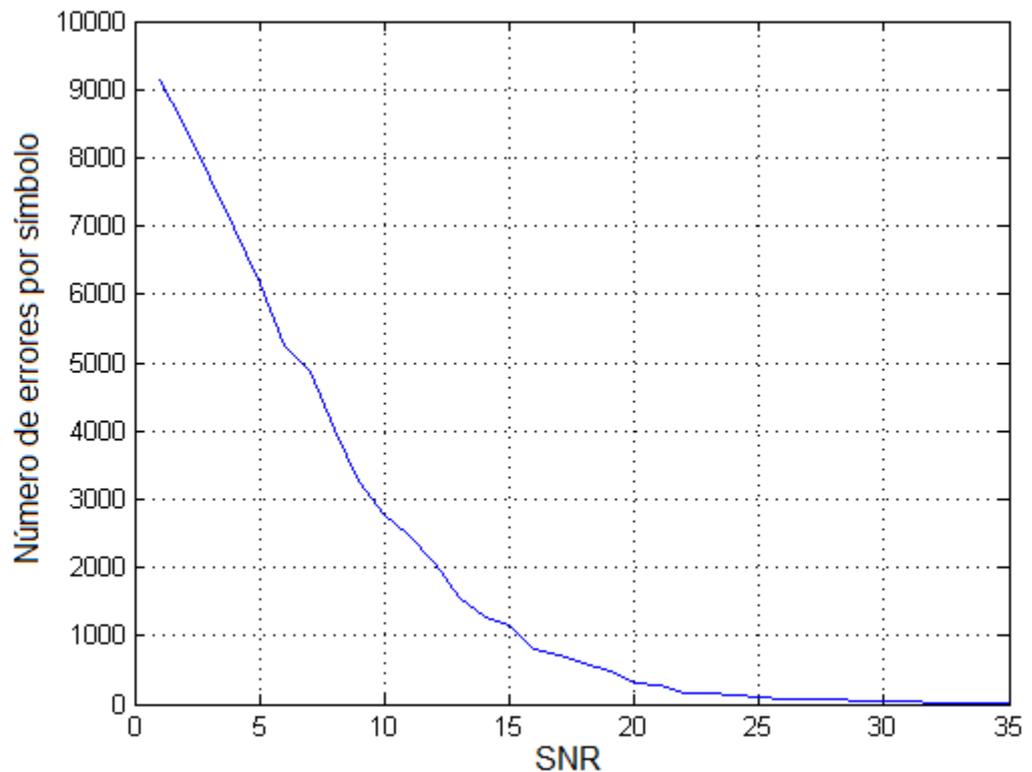


Figura 3. 24: Número de errores en la relación señal / ruido respectivo.
Elaborado por: Autor

La figura 3.25 muestra la tasa de error de símbolo para la relación señal / ruido correspondiente.

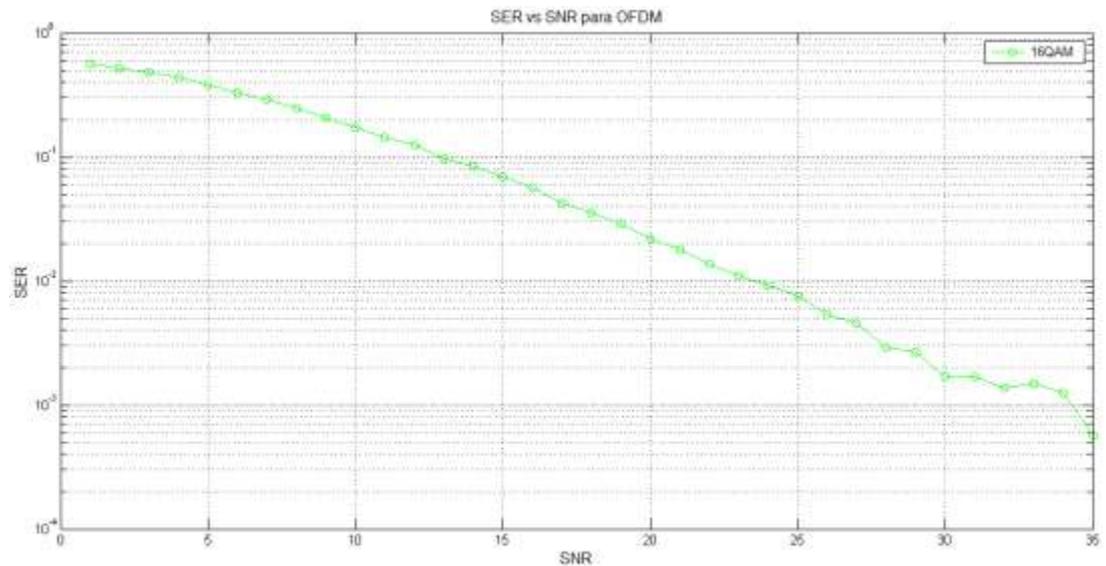


Figura 3. 25: Tasa de error de símbolo Vs Relación señal / ruido para 16QAM-ofdm
Elaborado por: Autor

3.3.2. Modulación 32 QAM

La modulación 32-QAM tiene 32 puntos de constelación en red rectangular, el número total de bits a transmitir es 64000, el tamaño de FFT es 64, el prefijo cíclico es 10. La tabla 3.6 muestra los parámetros de simulación de la modulación 32-QAM.

Tabla 3. 6: parámetros de simulación 32-QAM

32QAM	
M	32
Ingresar datos binarios	64000
No. de símbolos	12800
FFT. Longitud	64
Prefijo Cíclico	10
No. de marcos	200
Tamaño del marco	64

Elaborado por: Autor

La figura 3.26 muestra la constelación de la señal de modulación 32-QAM. La distancia entre el punto de constelación es mayor en comparación con 32-PSK, lo que reduce el número de errores del receptor.

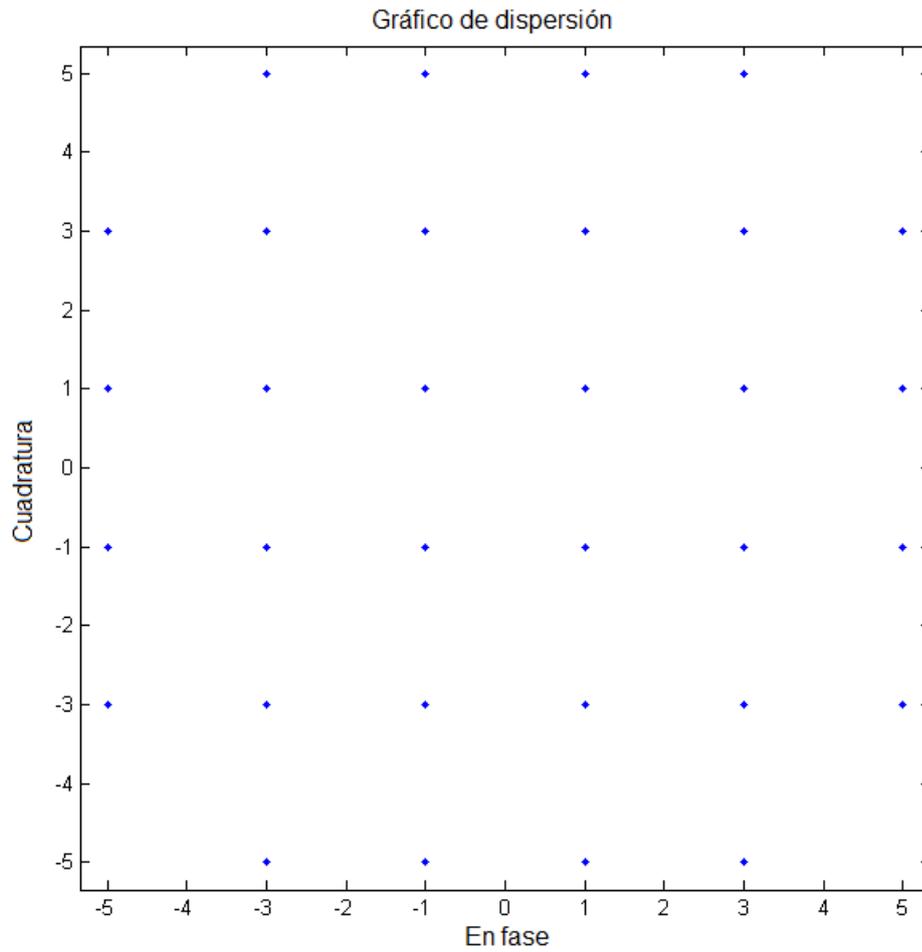


Figura 3. 26: Constelación de 32 QAM
Elaborado por: Autor

La figura 3.27 muestra si hay datos de error presentes en los primeros 100 datos recibidos.

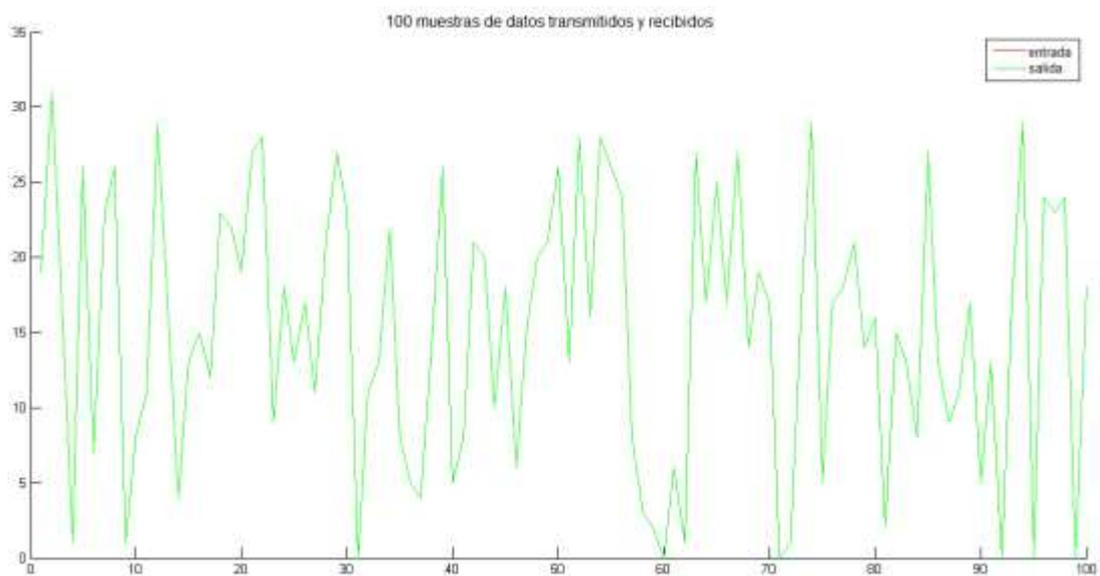


Figura 3. 27: Trazado de señal de entrada y salida para visualizar errores
Elaborado por: Autor

La figura 3.28 muestra el número de errores en la relación señal / ruido respectivo.

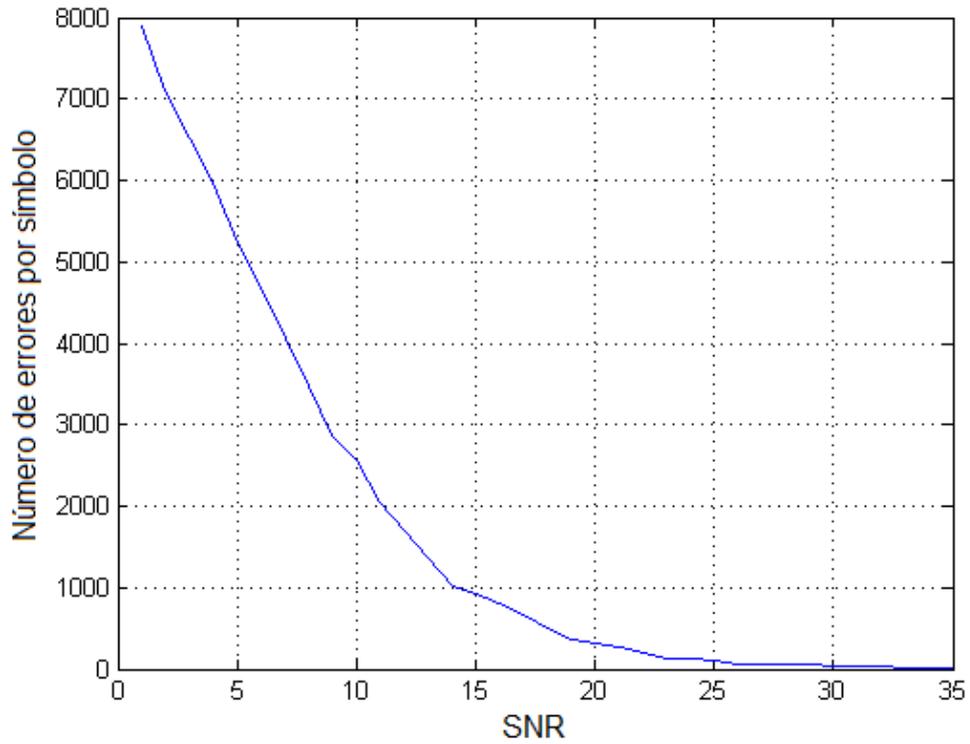


Figura 3. 28: Número de error versus relación señal/ruido para la modulación 32-QAM-OFDM.
Elaborado por: Autor

La figura 3.29 muestra la tasa de error de símbolos con respecto a la relación señal/ruido correspondiente.

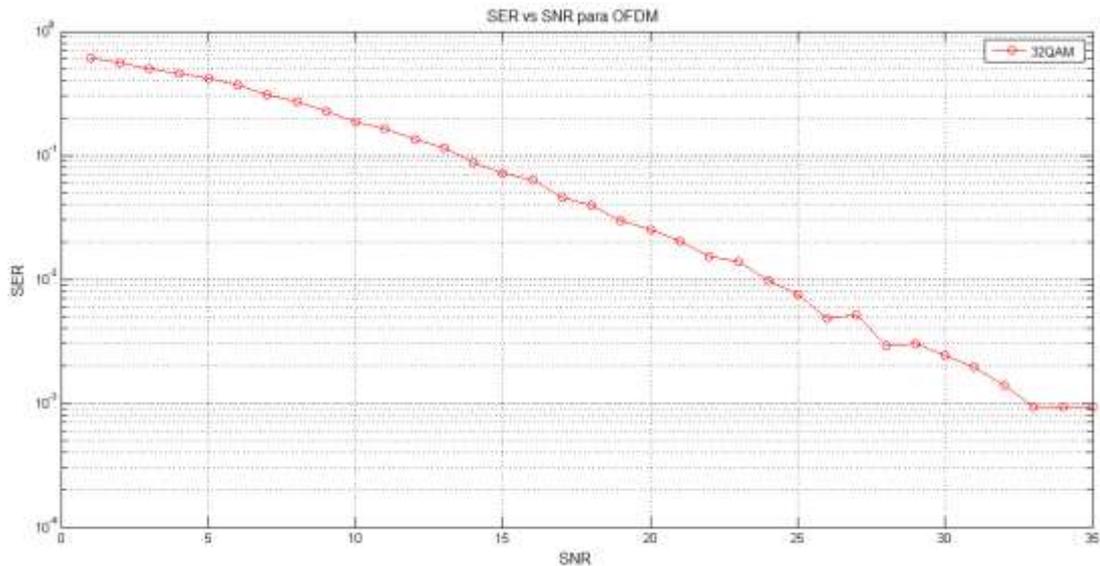


Figura 3. 29: Tasa de error de símbolo versus relación señal/ruido para la modulación 32-QAM-OFDM.
Elaborado por: Autor

La figura 3.30 muestra la tasa de error de símbolo (SER) para una relación señal/ruido (SNR) diferente para las modulaciones 4-QAM, 16-QAM y 32-QAM en el canal AWGN.

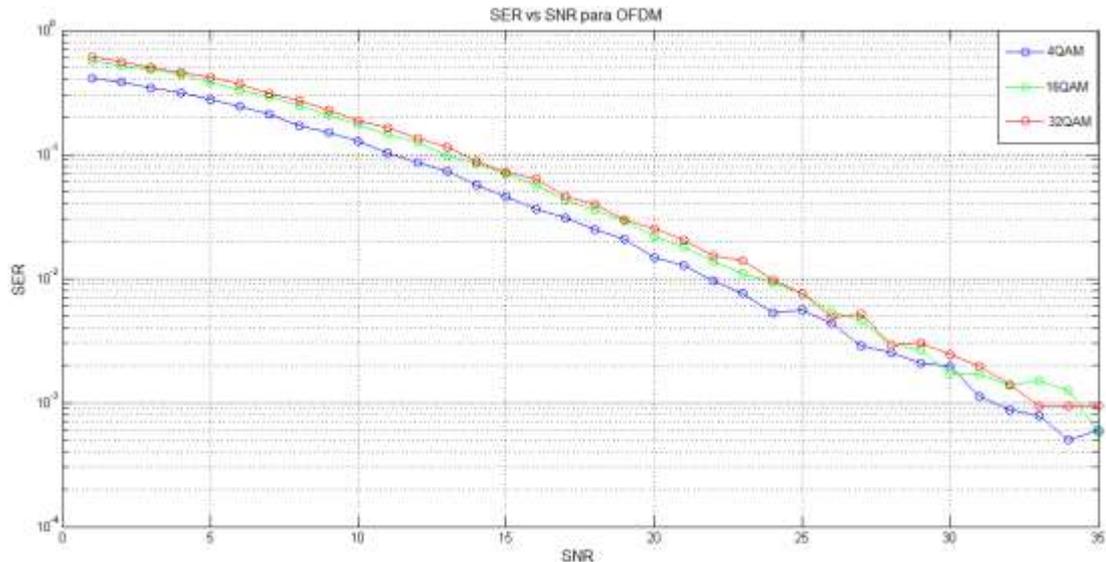


Figura 3. 30: SER Vs SNR para QAM-OFDM
Elaborado por: Autor

3.4. Comparación entre M-PSK y M-QAM

En el sistema M-PSK, QPSK se utiliza ampliamente en la práctica porque tiene un buen equilibrio entre la potencia y el uso del ancho de banda. Si M es mayor que 4, entonces el consumo de energía y la complejidad del modulador y demodulador aumenta]. De la figura 3.31, se puede ver que, para un mayor valor de M, la probabilidad de error aumenta, pero tiene una tasa de datos más alta, la tasa de error de símbolo se puede controlar aumentando la relación señal/ruido.

El ancho de banda y la eficiencia espectral de M-PSK y M-QAM son similares, ya que la constelación de señal de M-PSK es circular y el espacio entre los puntos de constelación es pequeño en comparación con M-QAM que tiene una constelación de señal rectangular. El sistema M-QAM funciona bien en canales AWGN en comparación con M-PSK a valores M más altos. La figura 3.31 muestra cómo funcionan los sistemas M-PSK y M-QAM en el canal AWGN.

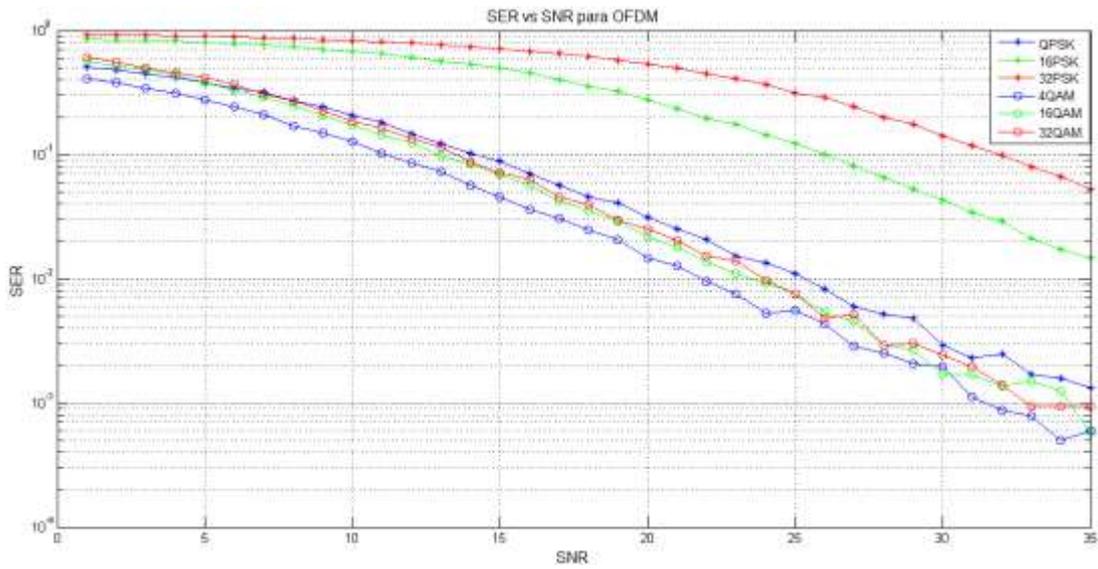


Figura 3. 31: SER Vs SNR para M-PSK-OFDM Vs M-QAM-OFDM
Elaborado por: Autor

Conclusiones

En este componente práctico del examen complejo, se diseñó e investigó el rendimiento del sistema OFDM utilizando las modulaciones de desplazamiento de fase (M-PSK) y de amplitud en cuadratura (M-QAM). Para comparar las diferentes eficiencias de las técnicas de modulación, es importante calcular la tasa de error de bits (BER) a diferentes relaciones de señal a ruido (SNR).

También, se pudo observar que a partir de los resultados que tenían más errores en el lado del receptor cuando se utilizaban modulaciones más altas porque los símbolos están ubicados cerca del diagrama de constelación, y esto se podía reducir los errores al aumentar la relación señal a ruido (SNR).

A partir de los resultados obtenidos, se puede que la modulación M-QAM de orden superior ofrece un mejor rendimiento en canales de ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) que la modulación M-PSK de orden superior.

Recomendaciones.

A continuación, se presentan dos recomendaciones de futuros trabajos que se pueden desarrollar a partir de OFDM:

1.- Comparación del rendimiento de OFDM y OFDM filtrada (f_{OFDM}) para sistemas MIMO considerando la comunicación 5G.

2.- Diseño e implementación de la transmisión de señal OFDM para la comunicación de luz visible.

Bibliografía.

- Allteinco. (2019). *Diagrama de bloques de un sistema de comunicación*. Contenido relacionado a la materia telecomunicaciones. <https://sites.google.com/site/allteinco/unidad-1-introduccion-a-las-telecomunicaciones/1-1-diagrama-de-bloques-de-un-sistema-de-comunicación>
- Borkar, N. J., & Bormane, Dattatray. S. (2012). BER performance of OFDM system with adaptive modulation. *2012 IEEE International Conference on Complex Systems (ICCS)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ICoCS.2012.6458547>
- Candotti, K. M., & Mavares, D. T. (2012). Entorno de simulación para sistemas de comunicaciones inalámbricos de alta capacidad usando MATLAB. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 16(64), 212–217.
- Gómez Mero, F. J. (2016). *Desarrollo de simulaciones de modulaciones digitales MPSK y QAM través de canales con ruido blanco gaussiano aditivo utilizando el software Matlab/Simulink*. [Trabajo de Titulación, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/5460>
- Marques, A. G., Gonzalez, A. B. R., Rojo-Alvarez, J. L., Requena-Carrion, J., & Ramos, J. (2010). Optimizing Average Performance of OFDM Systems Using Limited-Rate Feedback. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 9(10), 3130–3143. <https://doi.org/10.1109/TWC.2010.082710.091328>
- Reyes Cabello, J. (2017). *La (re) evolución de los sistemas de transmisión de contenidos aplicados a la producción de televisión. El modelo LIVE!* [Info:eu-repo/semantics/doctoralThesis, Universidad Complutense de Madrid]. <https://eprints.ucm.es/41947/>
- Vacacela Morales, J. Á. (2018). *Implementación de un sistema SDR para modulación analógica y digital de señales AM, FM y M-PSK utilizando*

MatLab. [Trabajo de Titulación, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10952>

Zaier, A., & Bouallegue, R. (2011). A full performance analysis of channel estimation methods for time varying OFDM systems. *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics*, 1(2), 1–20.

Zhang, Z., Sun, Y., Wang, D., Xie, W., Liu, J., Kuang, Y., Ou, H., Wang, Q., Lai, Q., Wang, H. Y., Xu, B., & Liu, Z. (2017). Modeling and Research of Noise Characteristics for Low Voltage Power Line Channel in OFDM Communication System. *2017 9th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*, 116–120. <https://doi.org/10.1109/IHMSC.2017.33>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **GUAYAMABE UBILLA, JOSELYN MARÍA** con C.C: # 093106702-9 autor del Trabajo de examen complexiva: **Implementación del sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales utilizando esquemas de modulación digital de orden superior**, previo a la obtención del título de **INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 6 de marzo del 2020

f. _____

Nombre: GUAYAMABE UBILLA, JOSELYN MARÍA

C.C: 093106702-9

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Implementación del sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales utilizando esquemas de modulación digital de orden superior.		
AUTOR(ES)	Guayamabe Ubilla, Joselyn María		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	6 de marzo del 2020	No. DE PÁGINAS:	40
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de comunicación, Sistemas de Comunicaciones		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Modulación, Frecuencia, Fase, OFDM, Cuadratura, Multiplexación.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>En el presente documento se presenta la información relacionada al componente práctico del examen complejo y que trata la implementación del sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales, o también llamado OFDM utilizando varios esquemas de modulación digital de orden superior, tales como la modulación por desplazamiento de fase, o conocida como PSK, con diferentes niveles. También se incluye la modulación por amplitud de cuadratura, o conocida QAM, con diferentes niveles. Primero se realiza una breve introducción de las comunicaciones y el uso de OFDM como esquema de transmisión multiportadora. Se plantea tanto el objetivo general y objetivos específicos con los que se desarrolló el componente práctico. Después, se realiza la caracterización teórica de los sistemas de comunicaciones, los esquemas de modulación digital y la multiplexación OFDM. Finalmente, se desarrollan los diferentes escenarios de simulación del sistema OFDM ya sean para modulaciones M-PSK y M-QAM sobre el programa MatLab.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-93534196	E-mail: joseline.96@outlook.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			