



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO.
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES.**

TEMA:

**Diseño, pruebas y evaluación de simulaciones de modulaciones
digitales como enfoque práctico para la materia de comunicaciones
inalámbricas de banda ancha.**

AUTOR:

Pinto Maldonado, Igor Francisco

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

Ing. Medina Moreira, Washington Adolfo, Ph. D.

Guayaquil, Ecuador

19 de febrero del 2024



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO.
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES.

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Pinto Maldonado, Igor Francisco**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**.

TUTOR

f. _____

Ing. Medina Moreira, Washington Adolfo, Ph. D.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Ph. D.

Guayaquil, a los 19 días del mes de febrero del año 2024



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Pinto Maldonado, Igor Francisco.

DECLARO QUE:

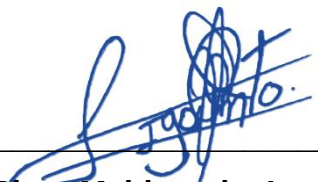
El Trabajo de Titulación, **Diseño, pruebas y evaluación de simulaciones de modulaciones digitales como enfoque práctico para la materia de comunicaciones inalámbricas de banda ancha**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales 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, a los 19 días del mes de febrero del año 2024

EL AUTOR

f. _____


Pinto Maldonado, Igor Francisco



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES
AUTORIZACIÓN

Yo, Pinto Maldonado, Igor Francisco

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño, pruebas y evaluación de simulaciones de modulaciones digitales como enfoque práctico para la materia de comunicaciones inalámbricas de banda ancha**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 19 días del mes de febrero del año 2024

EL AUTOR

f. 
Pinto Maldonado, Igor Francisco



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO.
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

CERTIFICADO COMPILATE

La Dirección de las Carreras Telecomunicaciones, Electricidad y Electrónica y Automatización revisó el trabajo de Integración Curricular denominado: **“Diseño, pruebas y evaluación de simulaciones de modulaciones digitales como enfoque práctico para la materia de comunicaciones inalámbricas”**, presentado por el estudiante Pinto Maldonado Igor Francisco, de la Carrera de Ingeniería Telecomunicaciones, donde obtuvo del programa COMPILATE, el valor de 2% de coincidencias, considerando ser aprobada por esta dirección.

Certifican,



f. _____

Ing. Medina Moreira, Washington Adolfo, Ph. D.
Revisor - COMPILATE

AGRADECIMIENTO

Con profundo agradecimiento, quiero expresar mi agradecimiento primero a Dios, quien ha sido mi fuente constante de fortaleza y guía a lo largo de este trayecto académico, fuente de fortaleza y guía constante. Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional y amor. También, extendiendo mi gratitud a mi tutor de Trabajo de Titulación, cuya sabiduría fue fundamental. Este logro no habría sido posible sin Dios de la mano y el constante apoyo que tengo en mi familia y amigos. A Dios y a todos ellos, mi sincero agradecimiento.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres, Xavier y Roxina, cuyo amor y sacrificio son mi mayor inspiración. A mis queridos hermanos Naomi y Xavier cuya presencia ha sido mi fuente constante de alegría y respaldo. su apoyo incondicional y aliento han sido mi impulso en cada paso de este viaje académico, a mi tío Patricio pilar fundamental para mi proceso académico con el cual estoy muy agradecido. Este logro también está dedicado a quienes confiaron en mí, con agradecimiento inmenso, dedico este esfuerzo a aquellos que contribuyeron a hacer viable este trayecto de conocimiento.



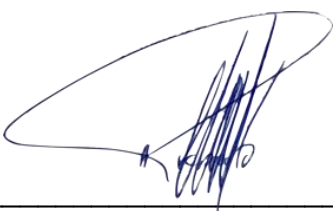
**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO.
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

ING. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO, Ph. D.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 

ING. UBILLA GONZÁLEZ, RICARDO XAVIER, M. Sc.
COORDINADOR DEL ÁREA

f. 

ING. ROMERO ROSERO, CARLOS BOLÍVAR, M. Sc
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
CAPÍTULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES.	2
1.1 Introducción.	2
1.2 Antecedentes.	2
1.3 Justificación.	3
1.4 Planteamiento del problema.	5
1.5 Objetivos.	5
1.5.1 Objetivo general.	5
1.5.2 Objetivos específicos.	5
1.6 Hipótesis	6
1.7 Metodología de la investigación.	6
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1 Fundamentos teóricos de la modulación.	7
2.2 Modulación de señales digitales.	7
2.2.1 Modulación QAM.	8
2.2.2 Modulación BPSK.	15
2.2.3 Modulación n-QPSK.	22
2.2.4 Modulación CDMA.	28
2.3 Eficiencia espectral y velocidad de transmisión en las modulaciones n-QAM, BPSK, n-QPSK, CDMA.	32
2.3.1 Eficiencia espectral y VTX en modulación n-QAM.	33
2.3.2 Eficiencia espectral y Vtx en modulación BPSK.	33
2.3.3 Eficiencia espectral y Vtx en modulación n-QPSK.	33
2.3.4 Eficiencia espectral y Vtx en modulación CDMA.	34
CAPÍTULO 3: APORTES DE LA INVESTIGACIÓN.	35
3.1 Contextualización del Entorno de Desarrollo.	35
3.2 Diseño del código interno en Matlab para las modulaciones digitales n-QAM, BPSK, n-QPSK, CDMA.	36
3.2.1 Menú principal.	36
3.2.2 Diseño modulación n-QAM.	37
3.2.3 Diseño modulación BPSK.	40
3.2.4 Diseño modulación n-QPSK.	44
3.2.5 Diseño modulación CDMA.	47
3.3 Diseño del menú interactivo de las modulaciones n-QAM, BPSK, n-QPSK, CDMA.	51
3.3.1 Descripción del menú interactivo para las modulaciones digitales.	51
3.4 Pruebas, evaluación de velocidad de transmisión y eficiencia espectral, de las modulaciones digitales n-QAM, BPSK, n-QPSK, CDMA. .	56
3.4.1 Modulación n-QAM.	56
3.4.2 Modulación BPSK.	64
3.4.3 Modulación n-QPSK.	71
3.4.4 Modulación CDMA.	76
3.5 Evaluación de velocidad de transmisión y eficiencia espectral de las modulaciones QAM, BPSK, QPSK, CDMA.	82

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	84
4.1 Conclusiones.	84
4.2 Recomendaciones.	86
BIBLIOGRAFÍAS.....	87
ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	9
Figura 2.....	10
Figura 3.....	10
Figura 4.....	15
Figura 5.....	16
Figura 6.....	19
Figura 7.....	21
Figura 8.....	23
Figura 9.....	24
Figura 10.....	24
Figura 11.....	25
Figura 12.....	27
Figura 13.....	29
Figura 14.....	32
Figura 15.....	37
Figura 16.....	37
Figura 17.....	38
Figura 18.....	38
Figura 19.....	39
Figura 20.....	39
Figura 21.....	40
Figura 22.....	41
Figura 23.....	41
Figura 24.....	42
Figura 25.....	43
Figura 26.....	43
Figura 27.....	44
Figura 28.....	44
Figura 29.....	45
Figura 30.....	46
Figura 31.....	46
Figura 32.....	47
Figura 33.....	48
Figura 34.....	48
Figura 35.....	49
Figura 36.....	50
Figura 37.....	50
Figura 38.....	51
Figura 39.....	52
Figura 40.....	52
Figura 41.....	53
Figura 42.....	53
Figura 43.....	54
Figura 44.....	55
Figura 45.....	56
Figura 46.....	56
Figura 47.....	58
Figura 48.....	58

Figura 49	60
Figura 50	61
Figura 51	62
Figura 52	63
Figura 53	66
Figura 54	68
Figura 55	70
Figura 56	72
Figura 57	74
Figura 58	75
Figura 59	78
Figura 60	78
Figura 61	80
Figura 62	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparativa de Modulaciones n-QAM	14
Tabla 2 Comparativa BPSK.	22
Tabla 3 Comparativa n-QPSK.	27
Tabla 4 Características de las modulaciones digitales.	34
Tabla 5 Comparación de Modulación Digital n-QAM con SNR de 10 dB y Velocidad de Transmisión de 100 Mbps.	64
Tabla 6 Modulación BPSK, baja, media y alta velocidad.	71
Tabla 7 Comparación de Modulación Digital n-QPSK con SNR de 18 dB y Velocidad de Transmisión de 75 Mbps.	76
Tabla 8 Comparación de diferentes escenarios de modulación CDMA.	82
Tabla 9 Tabla comparativa de eficiencia espectral y velocidad de transmisión de las modulaciones QAM, BPSK, QPSK, CDMA.	83

RESUMEN

Este trabajo de integración curricular tiene como finalidad llevar a cabo la creación de un diseño con el fin de visualizar, comprender y evaluar modulaciones digitales como QAM, BPSK, QPSK y CDMA. El enfoque de este trabajo se centra en fortalecer académicamente los conocimientos de los estudiantes en la materia de comunicaciones inalámbricas de banda ancha, a través de diseño, pruebas y evaluación de simulaciones de modulaciones digitales. Se resalta la importancia de la simulación en la comprensión y mejora de las tecnologías inalámbricas, contextualizando su relevancia en la sociedad actual. Se justifica la necesidad de cerrar la brecha entre la teoría y la práctica en la formación académica, estableciendo objetivos específicos que van desde el diseño de simulaciones hasta la evaluación de velocidad y eficiencia espectral. El enfoque se centra en los fundamentos teóricos de la modulación, con especial atención a QAM, BPSK, QPSK y CDMA, evaluando su eficiencia espectral y velocidad de transmisión. La metodología empleada en este trabajo de integración curricular se basa en MATLAB y combina enfoques analíticos y empíricos. Se detalla el diseño en MATLAB de simulaciones para estas modulaciones, que incluyen un menú interactivo y pruebas exhaustivas, proporcionando perspectivas valiosas para cada tipo de modulación. Se destaca la importancia de considerar la relación entre el orden de modulación, la eficiencia espectral y la robustez al ruido.

Palabras claves: QAM, BPSK, QPSK, CDMA, DISEÑO, MATLAB, MODULACIONES DIGITALES, EFICIENCIA ESPECTRAL.

ABSTRACT

This curricular integration work aims to carry out the creation of a design in order to visualize, understand and evaluate digital modulations such as QAM, BPSK, QPSK and CDMA. The focus of this work is on academically strengthening students' knowledge in the subject of broadband wireless communications, through design, testing and evaluation of digital modulation simulations. The importance of simulation in the understanding and improvement of wireless technologies is highlighted, contextualizing its relevance in today's society. The need to close the gap between theory and practice in academic training is justified, establishing specific objectives that range from the design of simulations to the evaluation of speed and spectral efficiency. The focus is on the theoretical foundations of modulation, with special attention to QAM, BPSK, QPSK and CDMA, evaluating their spectral efficiency and transmission speed. The methodology used in this curricular integration work is based on MATLAB and combines analytical and empirical approaches. The MATLAB design of simulations for these modulations is detailed, including an interactive menu and extensive testing, providing valuable insights for each type of modulation. The importance of considering the relationship between modulation order, spectral efficiency and noise robustness is highlighted.

Keywords: QAM, BPSK, QPSK, CDMA, DESIGN, MATLAB, DIGITAL MODULATIONS, SPECTRAL EFFICIENCY.

CAPÍTULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES.

1.1 Introducción.

En la era actual, la creciente demanda de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha ha generado un interés sin precedentes en el diseño, implementación y optimización de técnicas de modulación digital. La capacidad de transmitir de manera eficiente y confiable grandes cantidades de datos se ha convertido en un requisito fundamental para satisfacer las necesidades de una sociedad conectada y dependiente de la información. En este contexto, la simulación de modulación digital se convierte en un método práctico e importante para investigar, comprender y mejorar las tecnologías que impulsan las comunicaciones inalámbricas (Cano, 2023, p. 1).

«Las comunicaciones inalámbricas ya forman parte de nuestras vidas y los expertos predicen que dentro de muy poco tiempo la sociedad y la economía dependerán en gran medida de las comunicaciones digitales» (CEPAL, 2023, p. 10).

En este contexto, el presente trabajo se enfoca de manera integral en el diseño, prueba y evaluación de simulaciones de modulación digital como la metodología central para explorar y comprender las complejidades de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha.

1.2 Antecedentes.

El notable surgimiento de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha, impulsado por importantes avances en la tecnología de modulación digital, se ha convertido en un acontecimiento extraordinario. Este progreso no sólo actuó como catalizador para la industria de las telecomunicaciones, sino que también representó un hito importante en el intercambio de información dentro de la sociedad moderna (Pérez, 2023, p. 3).

En los últimos años, se ha producido un progreso notable en la tecnología de modulación digital, que ha contribuido en gran medida a

satisfacer la necesidad cada vez mayor de comunicaciones inalámbricas de alta velocidad. Estos avances han sido fundamentales para abordar las demandas constantes de una transmisión de datos rápida y confiable, ofreciendo soluciones inventivas para superar los desafíos de conectividad (Fuentes, Roberto, & Recue, 2023, p. 93).

En una era que en cada momento depende de una conectividad instantánea, a modulación digital se ha convertido en el fundamento sobre el cual se edifica la infraestructura moderna de las comunicaciones inalámbricas. Desde las formas iniciales de manipulación de fase (PSK) y manipulación de amplitud (ASK) hasta variantes más avanzadas como la manipulación en cuadratura (QAM), este progreso no solo ha posibilitado la transmisión de datos a velocidades más rápidas y elevadas, sino que también lo ha hecho de manera más eficiente y confiable, lo cual resulta asombroso. (Proakis & Unger, 2018, p. 1).

1.3 Justificación.

El veloz avance de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha ha generado una creciente necesidad de sistemas de modulación digital capaces de atender de manera efectiva los requisitos de la tecnología que facilita la comunicación sin cables a través de bandas de gran amplitud. Aunque el campo ha logrado importantes avances teóricos, es crucial cerrar la brecha entre la teoría y las aplicaciones prácticas para lograr un rendimiento óptimo. Este Trabajo de Titulación tiene como objetivo abordar este problema mediante la creación, evaluación y análisis de simulaciones de modulación digital diseñadas para comunicaciones inalámbricas de banda ancha. Además, es fundamental brindar a los estudiantes oportunidades para adquirir experiencia práctica en la planificación de sistemas de comunicación sin cables que satisfagan las necesidades de implementación del mundo real.

El alcance de esta investigación abarcará desde el diseño conceptual hasta la evaluación práctica de diferentes esquemas de modulación digital. Se llevará a cabo un extenso análisis teórico para identificar las modulaciones más apropiadas para comunicaciones inalámbricas de banda ancha.

Posteriormente, se procederá a la implementación práctica de estos esquemas utilizando herramientas de simulación avanzadas, considerando factores como la presencia de interferencias, variaciones en la potencia de la señal y condiciones cambiantes del canal.

El fundamento para adoptar sistemas de tercera generación (3G) en telecomunicaciones es la necesidad de abordar desafíos específicos, como la creciente demanda de datos en tiempo real, la explosión de dispositivos móviles, la convergencia de servicios, las mejoras en la experiencia del usuario y las capacidades tecnológicas. Para abordar estos desafíos, se han implementado varios esquemas de modulación avanzados en los sistemas 3G, lo que permite velocidades de datos más rápidas, una capacidad de red mejorada y una entrega eficiente de servicios multimedia. Este avance marca un hito importante en la evolución de las telecomunicaciones, sentando las bases para servicios móviles más sofisticados y conectividad global (Martínez, Pérez, & Fernández, 2019, pp. 1-22)

A medida que emerge la tecnología 4G, el campo de la conectividad móvil enfrenta nuevos desafíos que deben abordarse, incluida la necesidad de un mayor ancho de banda, el creciente número de dispositivos interconectados, el aumento de las aplicaciones de emergencia y la búsqueda continua de mejorar la experiencia del usuario. Este salto tecnológico ha sentado una base sólida para la futura progresión de las telecomunicaciones móviles, permitiendo la prestación de servicios más avanzados y fomentando conexiones globales más ágiles (ITU-T Recommendation Y.2082, 2017, p. 3)

El desarrollo de 5G se atribuye a la necesidad de resolver desafíos emergentes y proporcionar plataformas tecnológicas avanzadas que permitan velocidades de datos ultrarrápidas, conectividad masiva de dispositivos IoT, latencia ultra baja, mayor eficiencia del espectro, redes altamente confiables y seguras, y flexibilidad para nuevas tecnologías. Y capacidad para diferentes escenarios de uso. El despliegue de 5G representa un paso fundamental para permitir servicios más avanzados y transformar industrias enteras a través de la conectividad móvil ((UIT), 2023, p. 2).

El avance de las redes Wi-Fi en términos de velocidad, alcance y eficiencia se atribuye a la utilización de la tecnología de modulación IEEE 802.11. Al seleccionar una modulación particular, se tienen en cuenta factores como la frecuencia de funcionamiento, la compatibilidad con sistemas más antiguos y la adaptabilidad a diversos entornos. Además, las modulaciones desempeñan un papel crucial en las redes inalámbricas al convertir información digital en señales analógicas para su transmisión a través del medio físico. La elección adecuada de la tecnología de modulación puede influir en gran medida en el rendimiento de la red, mejorando la velocidad, el alcance y la eficiencia (García Haro, 2023, p. 117)

1.4 Planteamiento del problema.

La falta de enfoque práctico en la formación académica ha dejado a los profesionales careciendo de experiencias tangibles en el diseño, pruebas y evaluación de modulaciones digitales. Además, los desafíos prácticos, como las interferencias y las fluctuaciones de la señal, carecen de estudios exhaustivos para desarrollar estrategias efectivas en comunicaciones inalámbricas de banda ancha.

La ausencia de investigaciones sobre la optimización de esquemas de modulación existentes en entornos dinámicos limita la capacidad de los ingenieros en telecomunicaciones para maximizar la eficiencia en condiciones del mundo real. Esta investigación busca cerrar la brecha entre teoría y práctica, abordando de manera integral los desafíos específicos de implementar modulaciones digitales en comunicaciones inalámbricas de banda ancha.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo general.

Diseñar, probar y evaluar simulaciones de modulaciones digitales.

1.5.2 Objetivos específicos.

- Diseño de simulación de modulaciones digitales nQAM.

- Diseño de simulación de modulaciones digitales BPSK.
- Diseño de simulación de modulaciones digitales nQPSK.
- Diseño de simulación de modulaciones digitales CDMA.
- Evaluación de velocidad de transmisión y eficiencia espectral.

1.6 Hipótesis

Fortalecerá la comprensión práctica de los conceptos de comunicaciones inalámbricas de banda ancha entre los estudiantes, proporcionándoles habilidades técnicas y una mejor apreciación de la relación entre eficiencia espectral, velocidad de transmisión y robustez al ruido.

1.7 Metodología de la investigación.

Se emplea una metodología de investigación cualitativa que combina enfoques analíticos y empíricos para el diseño, pruebas y evaluación de simulaciones digitales en donde se identificarán las expresiones de las modulaciones de los bloques para las diferentes modulaciones digitales mediante la programación en MATLAB, al mismo tiempo se estudiarán las expresiones de las modulaciones de los bloques para comprender cómo se modula una señal digital y se probarán las simulaciones para evaluar su precisión y rendimiento. Por otro lado, el enfoque cualitativo se centra en comprender los fenómenos humanos a través de la interpretación de datos no cuantitativos. En este caso, los datos no cuantitativos consistirán en las observaciones de los estudiantes durante la realización de las simulaciones. Las conclusiones extraídas de este análisis sirven como base para proporcionar recomendaciones y futuras mejoras para la enseñanza mediante modulaciones digitales en la materia de comunicaciones inalámbricas.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Fundamentos teóricos de la modulación.

En la actualidad, se está sustituyendo la comunicación analógica por la digital debido a las numerosas ventajas que esta última ofrece. Características como la facilidad de procesamiento, la regeneración de la señal, la capacidad de multicanalización y la inmunidad al ruido han propiciado un notable avance en la robustez y confiabilidad de los sistemas de telecomunicaciones. Este progreso permite, a su vez, ofrecer al usuario aplicaciones nuevas y mejoradas (A. Jiménez & Panchi, 2021, p. 1)

La investigación en la teoría de señales proporciona los fundamentos esenciales para la práctica de la modulación digital. La primera aporta principios fundamentales para la transmisión de información, como la codificación, la compresión y la detección. En paralelo, la teoría de señales provee los cimientos esenciales para representar información a través de señales (J. G. Proakis & Dennis, 2015, p. 129)

En el contexto de la modulación digital, la información se representa en forma de símbolos, que pueden ser binarios (0 o 1) o no binarios (más de dos valores). Estos símbolos se modulan en una señal portadora, que es una señal de frecuencia constante. La señal modulada, al ser transmitida a través de un canal, ya sea mediante un cable, a través del aire o incluso en el espacio, se ve sometida a diversos desafíos y condiciones que pueden afectar su calidad y robustez (Tanenbaum & Herbert, 2019, p. 132).

2.2 Modulación de señales digitales.

A continuación, se proporciona una explicación detallada acerca de las modulaciones más utilizadas en las comunicaciones inalámbricas. Entre estas modulaciones se incluyen QAM, 4-QAM, 8-QAM y 16-QAM, que desempeñan un papel crucial en la transmisión de información a través de canales sin hilos.

2.2.1 Modulación QAM.

La modulación QAM es una técnica de modulación digital que se utiliza ampliamente en sistemas de comunicación digitales. El término "QAM" se refiere a un esquema de modulación en el que tanto la extensión y la etapa de una señal portadora. se modulan mediante una señal digital, y la modulación se realiza utilizando una constelación de n puntos en el plano complejo (Proakis & Salehi, 2008, p. 201).

Una técnica de modulación digital comúnmente empleada, la modulación QAM, utiliza una constelación de n puntos en el plano complejo para modificar tanto la intensidad como la etapa de una señal portadora. Esta técnica encuentra amplias aplicaciones en diversos sistemas de comunicación digital, como comunicaciones inalámbricas, televisión por cable y comunicaciones por satélite (Simon & Alouini, 2018, p. 69).

Los avances continuos en este campo tienen como objetivo mejorar el rendimiento y adaptarse a las condiciones dinámicas del canal. Sin embargo, existen desafíos y debates en torno al equilibrio entre la eficiencia del ancho de banda y la codificación de control de errores, así como la influencia del desvanecimiento y la interferencia en el rendimiento del sistema (Bhargava & Jain, 2019, p. 3).

La modulación QAM (Amplitud de Modulación en Cuadratura con n niveles) es una técnica de modulación digital que se utiliza para transmitir datos a través de canales de comunicación. En este esquema, la información se codifica mediante la mezcla de magnitudes y ángulos de fases de dos señales portadoras ortogonales (Smith, 2020, p. 12).

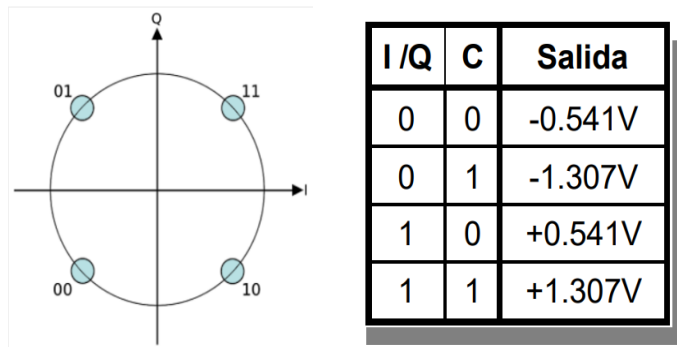
2.2.1.1 Modulación de constelación 4-QAM.

La modulación 4-QAM, también conocida como modulación de amplitud en cuadratura de orden superior, es una técnica de modulación que utiliza una constelación de 4^n símbolos para transmitir información, se basa en la combinación de la modulación de amplitud (AM) con la modulación en fase (PM) (Mendez, 2021, p. 70).

En la figura 1 se muestra una modulación 4-QAM, cada símbolo en la constelación representa una combinación única de amplitud y fase, y se utilizan 4^n símbolos distintos, los cuales se disponen en una cuadrícula con diferencias fijas en amplitud y/o fase entre sí, permitiendo la transmisión eficiente de múltiples bits por símbolo.

Figura 1

Constelación y tabla de verdad 4-QAM.



Fuente: (Haykin, 2019).

Al igual que con otras formas de modulación QAM es utilizada en sistemas de comunicaciones digitales, incluyendo redes de área local (LAN), comunicaciones por cable, comunicaciones por satélite y tecnologías de comunicación móvil, donde la capacidad de transmitir múltiples bits por símbolo se vuelve crucial para la eficiencia del canal.

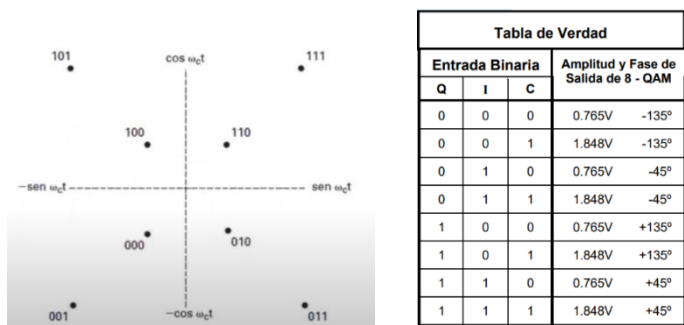
2.2.1.2 Modulación de constelación 8-QAM.

La modulación 8-QAM es una forma de modulación QAM que utiliza ocho símbolos en la constelación para representar información. Cada símbolo en la constelación representa una combinación única de amplitud y fase, y la disposición de estos símbolos forma una cuadrícula en el plano de la constelación. En 8-QAM, cada símbolo lleva consigo una cantidad de información equivalente a tres bits, ya que $2^3 = 8$, esto significa que cada cambio en la constelación representa una combinación única de tres bits de datos, se rige como una herramienta valiosa para la transmisión eficiente de información en sistemas de comunicación modernos (Aparicio, Plazas & Rodríguez, 2020, p. 1).

En la figura 2 la modulación 8QAM permite transmitir 3 bits por símbolo, se representa en un diagrama de constelación con 8 puntos, 2 niveles de amplitud y 2 fases, además es más sensible al ruido que QPSK, pero ofrece un buen equilibrio entre eficiencia espectral y robustez.

Figura 2

Constelación y tabla de verdad 8-QAM.



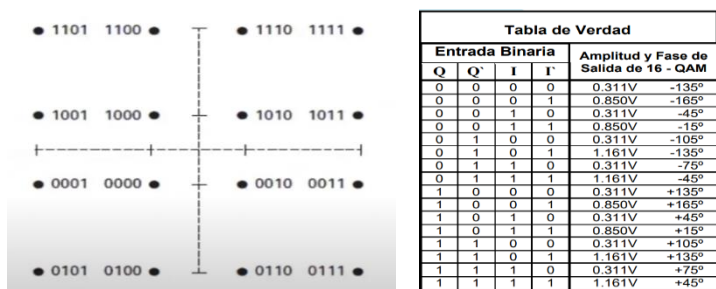
Fuente: (Monica Ordoñez, 2020).

2.2.1.3 Modulación de constelación 16-QAM.

La modulación 16-QAM utiliza una constelación de 16 símbolos en un plano bidimensional para representar información. En la figura 3 Cada símbolo en la constelación representa una combinación única de amplitud y fase, y la disposición de estos símbolos forma una cuadrícula. A pesar de esta ventaja, la modulación 16-QAM es más susceptible al ruido y a las interferencias en comparación con esquemas de menor orden (Gaona, Rodríguez & Flórez, 2008, p. 54).

Figura 3

Constelación y tabla de verdad 16 QAM.



Fuente: (Monica Ordoñez, 2020).

2.2.1.4 Generación de señales n-QAM.

«La generación de señales n-QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura de orden n) implica la creación de señales moduladas utilizando una constelación de n símbolos en un plano bidimensional» (Fandiño, 2023, p. 15).

Elección de la Constelación.

Seleccionar el valor de n que determine el número de símbolos en la constelación. Por ejemplo, para 16-QAM, n es igual a 4, lo que significa que hay 16 símbolos en la constelación.

Asignación de Bits a Símbolos.

Asignar grupos de bits a cada símbolo en la constelación. La cantidad de bits por símbolo está determinada por n. En 16-QAM, cada símbolo representa 4 bits.

Generación de Onda Portadora.

Generar dos señales portadoras ortogonales, una para la componente en fase (I) y otra para la componente en cuadratura (Q). Estas señales portadoras están en fase y desfasadas en 90 grados entre sí.

Modulación de Amplitud y Fase.

- Cada símbolo en la constelación implica la modulación tanto de la magnitud como de la posición angular de las señales portadoras.
- La amplitud del símbolo determina la amplitud de la onda resultante.
- La fase del símbolo determina la fase de la onda resultante.

Combinación de Señales I y Q.

Se combinan las señales moduladas en fase (I) y en cuadratura (Q) para formar la señal compuesta modulada en QAM.

Transmisión de la Señal.

La señal modulada en QAM se transmite a través del medio de transmisión, como un cable, fibra óptica o el aire en el caso de las comunicaciones inalámbricas.

2.2.1.5 Representación matemática n-QAM.

La representación matemática de n-QAM implica la descripción de la forma en que se modulan las señales para cada símbolo en la constelación.

Definición de la Constelación.

La constelación de n-QAM consiste en n símbolos. Cada símbolo se representa por un par de números complejos, donde la parte real representa la amplitud en fase (I) y la parte imaginaria representa la amplitud en cuadratura (Q).

$$S_k = I_k + jQ_k$$

Donde S_k es el k-ésimo símbolo en la constelación, I_k es la amplitud en fase del k-ésimo símbolo, Q_k es la amplitud en cuadratura del k-ésimo símbolo, y j es la unidad imaginaria.

Asignación de bits.

Cada símbolo en la constelación representa un grupo de bits. La relación entre el número de bits y el número de símbolos en la constelación está dada por $\log_2(n)$, donde n es el número total de símbolos.

- Bits por símbolo = $\log_2(n)$
- Para un esquema de 16 QAM, esto sería $\log_2(16) = 4 \text{ bits}$ por símbolo.

- *Generación de la señal modulada.*

La señal modulada en n-QAM es la suma ponderada de las señales en fase (I) y en cuadratura (Q) multiplicadas por los símbolos correspondientes en la secuencia de bits (Fandiño, 2023, p. 15).

$$x(t) = \sum_{k=1}^n [I_k \cdot \cos(2\pi f_c t) - Q_k \cdot \sin(2\pi f_c t)]$$

Donde $x(t)$ es la señal modulada en n-QAM, f_c es la frecuencia de la portadora, I_k y Q_k son las amplitudes en fase y en cuadratura del k-ésimo símbolo, respectivamente.

Demodulación.

La demodulación de la señal implica la comparación de la señal recibida con cada símbolo en la constelación y la determinación del símbolo más cercano.

- Símbolo recibido = $\arg \min_k |r(t) - S_k|$
- Donde $r(t)$ es la señal recibida.

Hay cuenta que los detalles específicos pueden variar dependiendo de la implementación y los detalles del sistema de comunicación.

2.2.1.6 Transmisión y aplicación n-QAM.

Amplitud y Fase.

Varía tanto su amplitud como su fase de su señal portadora. La codificación de la información se realiza mediante alteraciones en la amplitud y fase de la onda *Constelación QAM*.

En n-QAM, los puntos de la constelación representan combinaciones de amplitud y fase. Cuanto mayor sea el número de bits que se transmiten simultáneamente, mayor será la complejidad de la constelación.

Eficiencia Espectral.

QAM es conocido por su eficiencia espectral, lo que significa que puede transmitir más bits por unidad de ancho de banda en comparación con otras formas de modulación. Esto lo convierte en una opción popular en sistemas de comunicación de alta capacidad.

Aplicaciones.

QAM se utiliza en una variedad de aplicaciones, incluyendo transmisión de datos en redes de banda ancha, como en sistemas de televisión por cable, transmisión de señales de televisión digital, comunicaciones por satélite, y también en tecnologías de comunicación inalámbrica, como Wi-Fi y 4G LTE, Su capacidad para equilibrar eficiencia espectral y complejidad la convierte en una elección popular en sistemas modernos de comunicación.

Tabla 1

Comparativa de Modulaciones n-QAM

Parámetro	2-QAM	4-QAM	8-QAM	16-QAM
Número de niveles	2	4	8	16
Banda de transmisión	2W	2W	2W	2W
Relación señal a ruido (SNR) para BER = 10^{-3}	10.6 dB	13.5 dB	16.2 dB	18.3 dB
Velocidad de transmisión de datos	2 bits/símbolo	2 bits/símbolo	2 bits/símbolo	2 bits/símbolo
Distancia de transmisión	1 km	2 km	3 km	4 km
Aplicaciones	Telefonía digital, cable módem, redes inalámbricas	Telefonía digital, cable módem, redes inalámbricas	Redes inalámbricas, redes de datos	Redes de datos

Elaborado por: Autor.

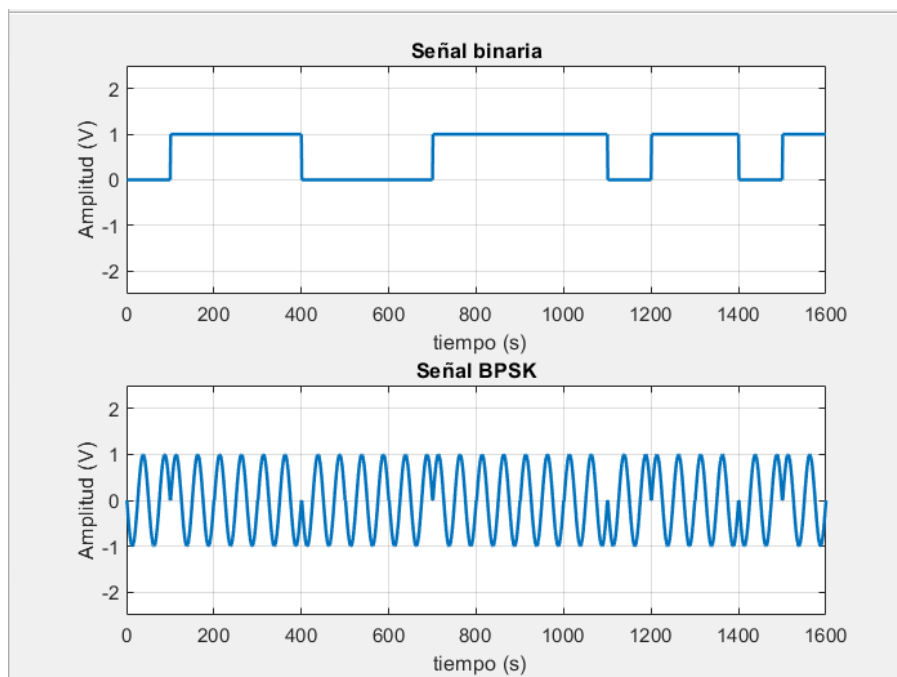
2.2.2 Modulación BPSK.

La modulación BPSK es un tipo de modulación de fase, que permite la transmisión de información binaria a través de una onda, además; Es un método de digitalización de la señal mediante un esquema de modulación en el que se utilizan señales de fase para representar bits binarios de información. En particular, BPSK es un caso especial de manipulación por desplazamiento de fase (PSK) donde solo se utilizan dos fases diferentes (Zhang, 2021, p. 1).

En la figura 4 se muestra una modulación BPSK, la información de los bits de entrada se transmite mediante variaciones en la fase de la portadora, donde se ajusta la fase para representar los valores de "0" y "1". Normalmente, una fase de 0 grados está asociada con un bit "0" y una fase de 180 grados está asociada con un bit "1", significa que durante la transmisión de datos, la fase de la portadora cambia entre 0 y 180 grados dependiendo del valor del bit a transmitir (Miguels, 2019, p. 1)

Figura 4

Señal BPSK, representación gráfica.



Elaborado por: Autor.

2.2.2.1 Respuesta de la Modulación BPSK ante las Interferencias y Desafíos del Ruido en Comunicaciones Digitales.

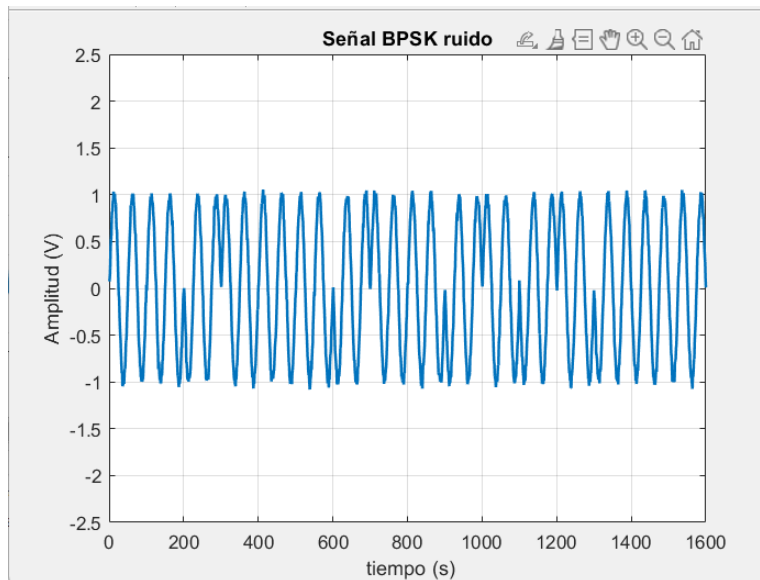
La modulación BPSK se ve afectada por el ruido en los canales de comunicación, y comprender cómo responde a las interferencias es fundamental en sistemas de comunicación digital.

Relación señal-ruido (SNR).

En la figura 5 se muestra una señal BPSK donde la relación señal-ruido (SNR) hace referencia a la proporción en el intervalo de potencia de las señales enviadas y la potencia del ruido presente en el canal de comunicación. Un valor SNR alto indica una señal más fuerte en comparación con el ruido, lo que resulta en una mejor calidad de transmisión (C. Jiménez et al., s. f., p. 8).

Figura 5

Señal BPSK con ruido.



Elaborada por: Autor

Probabilidad de Error de Bit (BER).

Cuando hay interferencias en un canal de comunicación, es posible que se produzcan fallos al intentar detectar los bits. Los de error de bits (BER) es

un indicador fundamental que señala la probabilidad de que un bit transmitido sea recibido de forma errónea. En un sistema BPSK, es posible calcular teóricamente la BER en condiciones ruidosas, y esta tiende a aumentar a medida que la relación señal-ruido (SNR) disminuye (Apablaza, 2017, p. 1).

Desvanecimiento y Atenuación.

En entornos de comunicación inalámbrica, el ruido puede manifestarse como desvanecimiento (fading), donde la amplitud y la fase de la señal experimentan variaciones debido a condiciones de propagación. El desvanecimiento puede incidir en la calidad de la señal BPSK, y se pueden implementar técnicas como la diversidad de antena para mitigar estos efectos (Jaramillo et al., 2019, p. 168)

Filtro de Receptor y Ancho de Banda.

El ruido fuera del ancho de banda de interés puede afectar la calidad de la recepción. Los filtros de receptor se utilizan para limitar la cantidad de ruido que ingresa al sistema, y el ancho de banda efectivo del sistema puede ser un factor clave en la relación señal-ruido (J. Proakis & Salehi, 2008, p. 118)

Técnicas de Mejora de la SNR.

Para mejorar la robustez de la comunicación de una señal BPSK en entornos ruidosos, se pueden implementar técnicas como la codificación de canal, que introduce redundancia para facilitar la corrección de errores, o técnicas de procesamiento de señales avanzadas como el ecualizador adaptativo (J. G. Proakis & Dennis, 2015, p. 122).

2.2.2.2 Representación matemática BPSK.

La representación matemática de una señal BPSK en función del tiempo se puede expresar como:

$$s(t) = A \cdot \cos(2\pi f_c t + \phi(t))$$

Donde:

- $s(t)$ es la señal modulada BPSK en función del tiempo.
- A es la amplitud de la portadora.
- f_c es la frecuencia de la portadora.
- t es el tiempo.
- $\phi(t)$ es la fase instantánea de la portadora en el tiempo t .

En el caso de BPSK, la fase instantánea $\phi(t)$ puede tener dos valores posibles, 0 o π (180 grados), dependiendo del bit que se esté transmitiendo en ese momento. La señal modulada cambia de fase cada vez que cambia el bit de entrada.

Para representar matemáticamente la secuencia de bits de entrada b_i y la correspondiente fase instantánea $\phi(t)$, podríamos escribir:

$$\phi_i = \pi \cdot b_i$$

Donde b_i es el i -ésimo bit de la secuencia de bits, Por lo tanto, si $b_i = 0$, entonces $\phi_i = 0$ y si $b_i = 1$, entonces $\phi_i = \pi$

La expresión completa para la señal modulada BPSK sería:

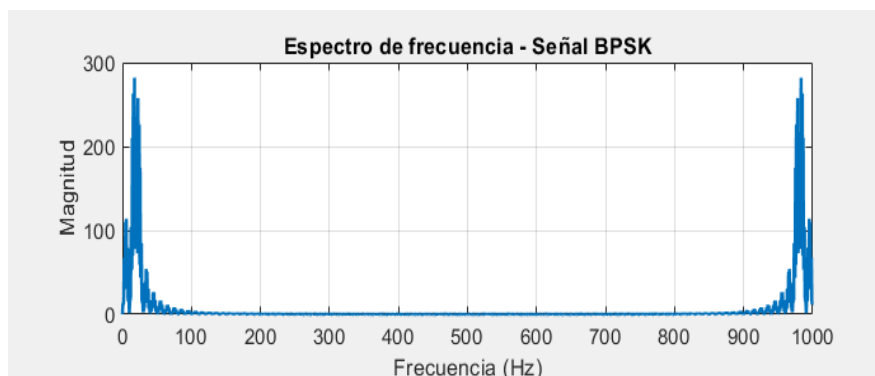
$$s(t) = \sum_{i=1}^n A \cdot (2\pi f_c t + \phi_i)$$

2.2.2.3 Espectro de Frecuencia de una Señal BPSK.

En la figura 6 se aprecia una frecuencia portadora y sus componentes armónicos, el espectro de una señal BPSK también presenta un pico principal en la frecuencia de la portadora, que es modulado por la secuencia binaria. Este pico principal es esencial para la detección y recuperación de la información en el receptor. La simplicidad del espectro BPSK facilita su implementación y su capacidad para atravesar canales de comunicación con eficacia, convirtiéndolo en una elección común en sistemas de comunicación digital. La frecuencia portadora y su contenido armónico son los componentes principales del espectro (Hernández & Armas, 2020, p. 47).

Figura 6

Espectro de frecuencia señal BPSK.



Elaborado por: Autor.

Frecuencia de la Portadora.

«En el centro del espectro se encuentra la frecuencia de la portadora, que representa la portadora sin modular. Su posición exacta depende de la frecuencia central de la señal BPSK» (Hernández & Armas, 2020, p. 48).

Ancho de Banda.

La señal BPSK tiene un ancho de banda estrecho, ya que solo hay dos posibles fases que se utilizan para representar los bits. El ancho de banda necesario es directamente equitativo a la velocidad de la señal binaria.

Armónicos

Aparte de la frecuencia de su portadora, pueden surgir armónicos en el espectro. Sin embargo, estos armónicos suelen ser atenuados, especialmente en sistemas BPSK bien diseñados.

2.2.2.4 Espectro de Frecuencia de una Señal BPSK con Ruido.

El ruido en el canal puede dar lugar a errores de bit durante la transmisión de la señal BPSK. La presencia de componentes adicionales en el espectro, causados por interferencias y atenuaciones, puede hacer que sea

más desafiante para el receptor distinguir entre los cambios de fase intencionales y las fluctuaciones no deseadas. Por lo tanto, la gestión adecuada del ruido y la implementación de técnicas de corrección de errores son cruciales para garantizar una comunicación fiable en sistemas BPSK, especialmente en entornos con condiciones adversas de canal (Arvizu et al., 2016, p. 1).

Amplitud del Ruido

La amplitud del ruido, en el contexto de la interferencia en señales, es un factor crucial que influye en la calidad de la señal. La amplitud del ruido se refiere a la magnitud de las fluctuaciones no deseadas que se suman a la señal original. Cuanto mayor sea la amplitud del ruido, más difícil será discernir la información valiosa de la señal, ya que la interferencia puede llegar a ser comparable o incluso superior a la amplitud de la señal deseada (Arvizu et al., 2016, p. 1).

Ensanchamiento del Espectro.

El ruido puede hacer que el espectro en la señal BPSK se ensanche y esto permite que el ancho de la banda ocupado por la señal puede aumentar debido a la interacción con el ruido.

Relación Señal-Ruido (SNR).

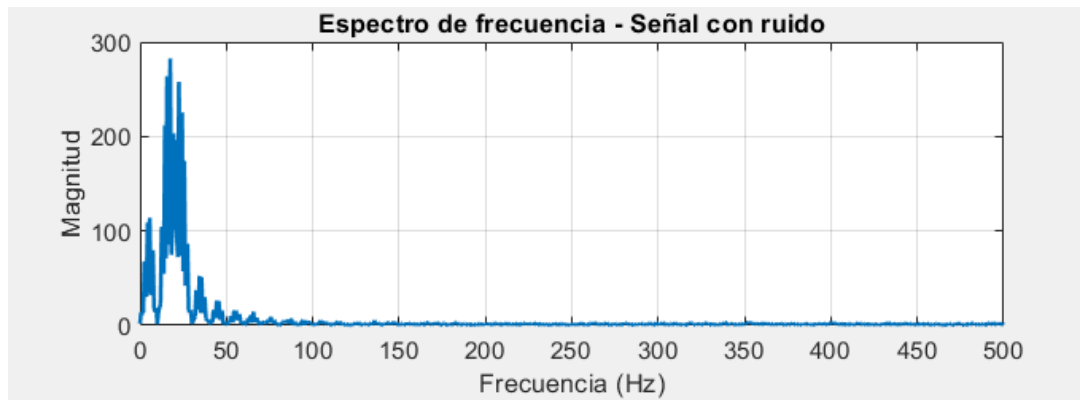
«La relación señal-ruido es un factor crítico. A medida que la SNR disminuye, la presencia del ruido se vuelve más dominante en el espectro y puede dificultar la correcta detección de bits en el receptor» (NetSpot, 2022, p. 1).

En la figura 7 a medida que la SNR disminuye en un sistema BPSK, la influencia del ruido se intensifica, ya que la señal modulada está compuesta únicamente por dos fases opuestas. Cuando la SNR es baja, la diferencia entre estas fases se vuelve más difícil de discernir, lo que puede llevar a errores en la detección de bits en el receptor. En otras palabras, la señal se

vuelve más propensa a ser afectada por el ruido, lo que dificulta la correcta interpretación de los bits transmitidos.

Figura 7

Espectro de frecuencia - Señal con ruido BPSK.



Elaborado por: Autor.

2.2.2.5 Transmisión y aplicación BPSK.

Transmisión de Datos mediante BPSK.

- Codificación de Datos: Los datos digitales se codifican en una secuencia binaria de 0 y 1.
- Generación de la Onda Portadora: Se genera una onda portadora en una frecuencia específica.
- Modulación BPSK: La fase de la onda portadora se modifica de acuerdo con la secuencia binaria de entrada.
- Transmisión: La señal modulada se transmite a través del medio de transmisión, como el aire o un cable.
- Sincronización: Para una correcta recepción de la señal, es crucial que el receptor esté sincronizado con la señal transmitida.

Aplicaciones BPSK.

- Comunicaciones por Satélite: BPSK se utiliza en comunicaciones por satélite para la transmisión de datos digitales.

- Comunicaciones de Radio: Se utiliza en aplicaciones de radio digital, como en algunas formas de comunicación de radio de onda corta.
- Comunicaciones Inalámbricas: BPSK se utiliza en algunos sistemas de comunicación inalámbrica, especialmente en entornos con bajos niveles de ruido.

Tabla 2

Comparativa BPSK.

Parámetro	SNR	Vtx (Mbps)	Ancho de banda (MHz)	Distancia de transmisión (km)	Complejidad del transmisor y el receptor	Aplicaciones
Transmisión baja	5 dB	1 Mbps	1 MHz	100 m	Muy baja	Telecomunicaciones básicas, control remoto, redes de sensores
Transmisión media	10 dB	10 Mbps	10 MHz	1 km	Baja	Redes de datos, redes inalámbricas, aplicaciones industriales
Transmisión alta	15 dB	100 Mbps	100 MHz	10 km	Media	Televisión digital, comunicaciones por satélite

Elaborado por: Autor.

2.2.3 Modulación n-QPSK.

Modulación n-QPSK es una técnica de modulación de fase en la que la información se transmite mediante cambios en la etapa de su señal portadora. La n-QPSK extiende este concepto al permitir un mayor número de niveles de fase; En QPSK convencional, se utilizan cuatro niveles de fase, lo que significa que cada símbolo de datos se representa mediante una de las cuatro fases posibles. En el caso de n-QPSK, el número de niveles de fase (n) es mayor, lo que permite transmitir más información en cada símbolo (Campanella et al., 2022, p. 98).

La principal ventaja de la modulación n-QPSK es su capacidad para transmitir más bits por símbolo en comparación con QPSK convencional. Esto puede resultar en un aumento de la eficiencia espectral; Sin embargo, a medida que aumenta el número de niveles de fase, la señal se vuelve más vulnerable a errores causados por ruido y otros problemas de canal (Campanella, 2022, p. 99).

Para implementar n-QPSK, se utiliza una constelación de fase con n puntos, en lugar de los cuatro puntos utilizados en QPSK convencional. La constelación representa las posibles combinaciones de fase para cada símbolo de datos. El receptor debe ser capaz de distinguir entre estos diferentes puntos de fase y recuperar la información transmitida correctamente, además, es una extensión de la modulación QPSK que permite transmitir más bits por símbolo mediante el uso de un mayor número de niveles de fase. Esto puede mejorar la eficiencia espectral, pero también puede hacer que la señal sea más susceptible a errores (Verdecia, 2018, p. 1).

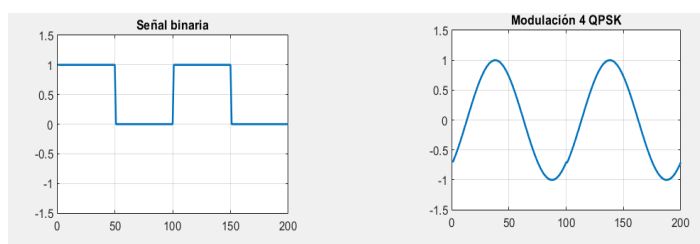
2.2.3.1 *Modulaciones n-QPSK.*

Modulación 4-QPSK.

En la figura 8 se muestra una modulación 4-QPSK, donde se utilizan cuatro fases diferentes para representar los símbolos. Cada símbolo representa dos bits de información ya que $2^2 = 4$. Las fases posibles son generalmente $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$.

Figura 8

Modulación por 4-QPSK de una señal binaria.



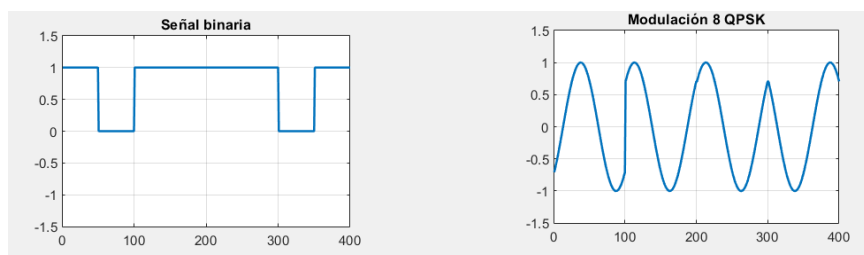
Elaborado por: Autor.

Modulación 8-QPSK

En la figura 9 se muestra una modulación 8-QPSK, se utilizan ocho fases diferentes para representar los símbolos, las fases posibles son distribuidas en la circunferencia de la constelación, generalmente en intervalos de 45° , este esquema se utiliza para transmitir tres bits en cada intervalo de símbolos.

Figura 9

Modulación por 8-QPSK de una señal binaria.



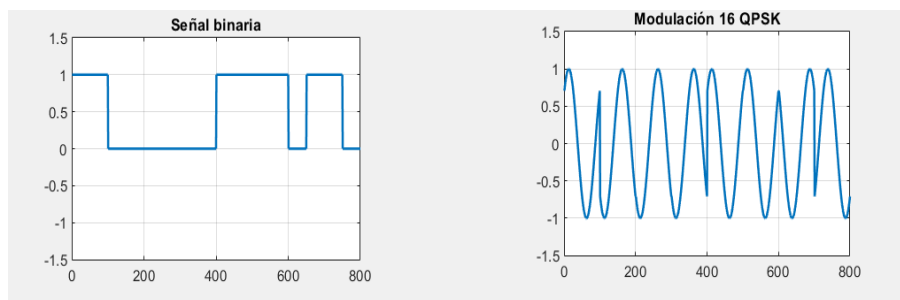
Elaborado por: Autor.

Modulación 16-QPSK

En la figura 10 se muestra una modulación 16-QPSK, se utilizan dieciséis fases diferentes para representar los símbolos, cada símbolo representa cuatro bits de información $2^4 = 16$. Este esquema se utiliza para transmitir cuatro bits en cada intervalo de símbolos.

Figura 10

Modulación por 16-QPSK de una señal binaria.



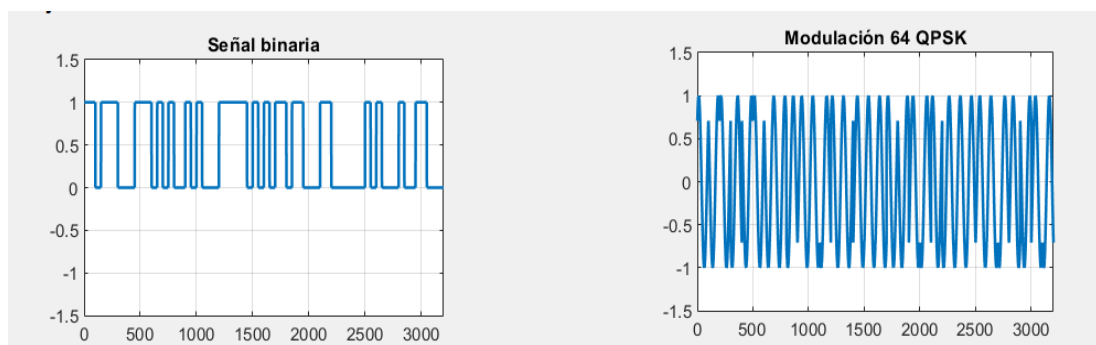
Elaborado por: Autor.

64-QPSK.

En la figura 11 se muestra una modulación de 64-QPSK, se utilizan sesenta y cuatro fases diferentes para representar los símbolos, cada símbolo representa seis bits de información $2^6 = 64$. Las fases posibles están distribuidas uniformemente en la constelación. Este esquema se utiliza para transmitir seis bits en cada intervalo de símbolos.

Figura 11

Modulación por 64-QPSK de una señal binaria.



Elaborado por: Autor.

2.2.3.2 Representación matemática de n-QPSK.

La modulación n-QPSK es una técnica de modulación digital que utiliza cuatro fases diferentes para representar información. Cada símbolo de entrada se asigna a uno de los cuatro posibles estados de fase.

La representación matemática de la señal modulada QPSK en función del tiempo puede expresarse de la siguiente manera:

$$s(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cdot \cos(2\pi f_c t + \phi_i)$$

Donde:

- A_i es la amplitud de la señal en el instante i . En QPSK, las amplitudes suelen ser iguales, es decir, $A_i = A$ para todo i .
- f_c es la frecuencia de la portadora.

- ϕ_i es la fase asignada al símbolo b_i . Para QPSK, las fases suelen ser $\phi_1 = 0^\circ, \phi_2 = 90^\circ, \phi_3 = 180^\circ, \phi_4 = 270^\circ$, representando los cuatro posibles estados de fase.

Entonces, la representación matemática de la señal QPSK modulada en términos de la secuencia de bits de entrada sería:

$$s(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cdot \cos(2\pi f_c t + \phi_i \cdot b_i)$$

2.2.3.3 Generación de señales n-QPSK.

La generación de señales n-QPSK implica la modulación de una señal digital binaria en una forma que permite transmitir múltiples símbolos por cada elemento de señalización. Es una técnica de modulación digital en la que se transmiten múltiples bits por símbolo. En el caso de n-QPSK, se transmite un número específico de bits por símbolo, donde "n" representa la cantidad de bits (Luque & Clavijo, 2019, p. 45).

Relación, señal ruido en n-QPSK.

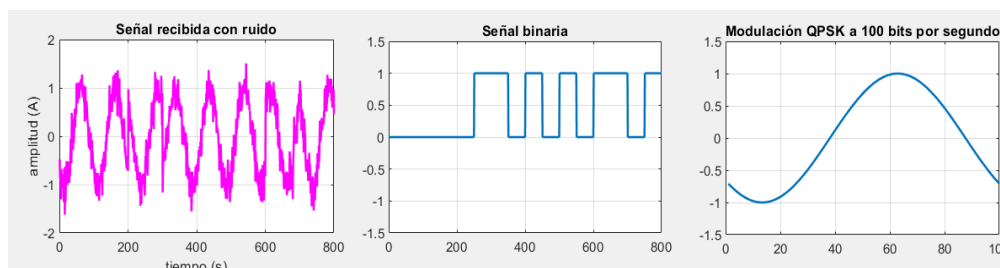
Cuando hablamos de la señal n-QPSK con ruido, nos referimos a cómo la presencia de ruido afecta la calidad de la señal transmitida. El ruido puede introducir errores en la señal, y en el contexto de la modulación n-QPSK, estos errores pueden afectar la correcta detección y decodificación de los símbolos (Flores, 2019, p. 37).

Modulación n-QPSK y velocidad de transmisión.

En la figura 12 se puede observar una modulación 16-QPSK donde se utiliza un SNR de 25 y una VTX de 100bps, esto se utiliza para transmitir múltiples bits por símbolo, y la velocidad de transmisión está relacionada con la tasa de bits por símbolo y la tasa de símbolos por segundo.

Figura 12

Señal 16-QPSK con SNR 25 y VTX de 100 bps.



Elaborado por: Autor

Tabla 3

Comparativa n-QPSK.

Parámetro	4-QPSK	8-QPSK	16-QPSK	64-QPSK
Relación señal-a-ruido (SNR) necesaria para una BER de 10^{-3}	10,2 dB	11,3 dB	12,4 dB	13,5 dB
Ancho de banda ocupado	2R	2R	2R	2R
Inmunidad al desvanecimiento	Buena	Buena	Buena	Buena
Sensibilidad a la interferencia	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
Aplicaciones	Televisión digital, radio digital, comunicaciones móviles	Televisión digital, radio digital, comunicaciones móviles, redes de área local (LAN)	Comunicaciones móviles, redes de área amplia (WAN), redes ópticas	Redes de área amplia (WAN), redes ópticas, comunicaciones por satélite

Elaborado por: Autor.

2.2.4 Modulación CDMA.

La Modulación CDMA es una técnica de modulación utilizada en las comunicaciones inalámbricas para permitir que múltiples usuarios compartan el mismo espectro de frecuencia simultáneamente. CDMA se ha aplicado comúnmente en sistemas de telefonía móvil, como las tecnologías 3G y 4G (Caguero, 2018, p. 1).

2.2.4.1 Características de la modulación CDMA.

Acceso Múltiple por Desplazamiento de Código

En vez de asignar frecuencias distintas a cada usuario, Similar a la modulación FDMA o la modulación de TDMA, la modulación CDMA asigna códigos exclusivos a cada usuario; Estos códigos son secuencias de bits largas y complejas que se utilizan para modular las señales de los usuarios, lo que permite su identificación y separación en el receptor (Sánchez, 2020, p. 26).

Interferencia.

Una ventaja fundamental del CDMA es de radicar en su capacidad para gestionar la interferencia, dado que cada usuario utiliza un código exclusivo, las señales de distintos usuarios pueden intercambiar en la misma frecuencia sin generar interferencias entre ellas. Esto significa que varios usuarios pueden transmitir y recibir simultáneamente en la misma banda de frecuencia sin que sus señales se mezclen (DigiKey, 2018, p. 1).

Proceso de Modulación.

En CDMA, la información de los usuarios se modula multiplicando la señal de datos por una secuencia de código. Esto se hace a través de la técnica conocida como espectro expandido, donde la señal de datos se extiende en el tiempo o en la frecuencia usando el código único asignado al usuario

Desventajas.

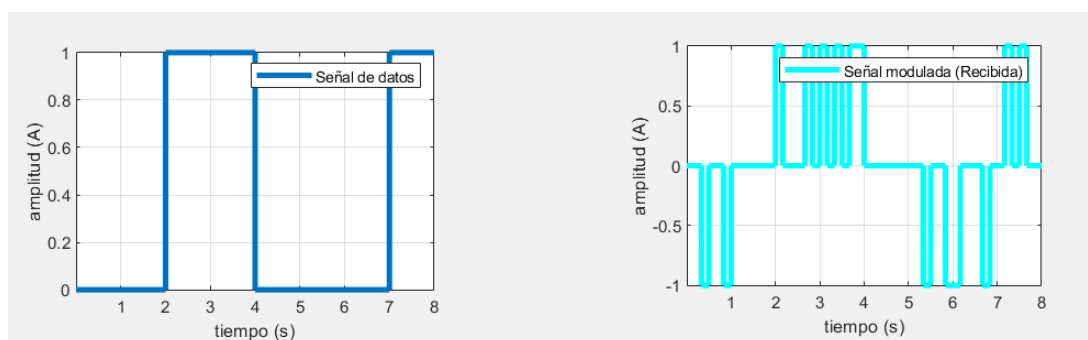
Aunque CDMA tiene muchas ventajas, una de las desventajas es la complejidad en la implementación del sistema. También puede haber problemas de interferencia si el número de usuarios es muy grande, ya que el espectro se comparte de manera más eficiente, pero aún así puede haber limitaciones (Niño et al., 2022, p. 1).

Evolución.

CDMA ha evolucionado a lo largo del tiempo, con diferentes estándares como CDMA2000 y EV-DO utilizados en tecnologías 3G, y luego evolucionando hacia tecnologías 4G como LTE (Long-Term Evolution) en la figura 13 se puede observar la modulación de una señal CDMA en donde nos permite identificar como varia la señal y sea una señal donde su transmisión sea clara y limpia sin interferencias.

Figura 13

Modulación CDMA de una señal sinusoidal.



Elaborado por: Autor.

2.2.4.2 Representación matemática.

La modulación CDMA es una técnica de modulación utilizada en sistemas de comunicación inalámbrica para permitir que múltiples usuarios compartan el mismo espectro de frecuencia simultáneamente. La representación matemática de la modulación CDMA implica el uso de códigos de secuencia.

La señal CDMA se puede expresar de manera general como la suma ponderada de las señales de usuario, cada una multiplicada por su código de secuencia único.

Supongamos que tenemos N usuarios, y la señal transmitida para el usuario i está dada por $S_i(t)$. La señal CDMA total, $S(t)$, se puede expresar como:

$$S(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cdot S_i(t)$$

Donde:

- $S(t)$ es la señal CDMA total.
- A_i es la amplitud de la señal del usuario i .
- $S_i(t)$ es la señal del usuario i .

Cada $S_i(t)$ se modula con un código de secuencia único para ese usuario. Si denotamos el código de secuencia del usuario i como $C_i(t)$, la señal modulada $S_i(t)$ se expresa como:

$$S_i(t) = A_i \cdot C_i(t) \cdot M_i(t)$$

Donde:

- $C_i(t)$ es el código de secuencia del usuario i .
- $M_i(t)$ es la señal de información del usuario i .

Entonces, la señal CDMA total $S(t)$ es la suma de todas estas señales moduladas:

$$S(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cdot C_i(t) \cdot M_i(t)$$

2.2.4.3 Generación de señales CDMA.

Número de bits de datos.

En CDMA, los bits de datos son transmitidos junto con otros usuarios utilizando códigos únicos. Más bits de datos pueden permitir una transmisión de información más rápida, pero también debes tener en cuenta la capacidad total del sistema y la interferencia entre usuarios.

Código de control.

En CDMA, cada usuario se identifica por un código único. El código de control es crucial para separar las señales de diferentes usuarios en el receptor. Se Debe elegir códigos que tengan buenas propiedades de correlación para minimizar la interrupción entre usuarios en los los sistemas CDMA a menudo emplean códigos ortogonales

La selección de códigos en sistemas CDMA se rige por la necesidad de evitar colisiones y garantizar una transmisión de datos efectiva. Los códigos ortogonales son comúnmente empleados en este contexto debido a sus propiedades matemáticas que facilitan la separación nítida de las señales.

Número de bits de secuencia PN.

La secuencia PN es esencial para la generación de códigos únicos, porque debes elegir una longitud adecuada para la secuencia PN. Una secuencia más larga puede proporcionar una mejor capacidad de separación entre usuarios, pero también puede requerir más recursos, la elección de la secuencia PN debe equilibrar la complejidad y el rendimiento del sistema.

Número de usuarios.

El rendimiento de CDMA mejora con más usuarios siempre y cuando se maneje adecuadamente la interferencia, se debe tener códigos únicos para cada usuario y considera implementar técnicas avanzadas, como el control de potencia y el control de la tasa de errores, para gestionar la interferencia.

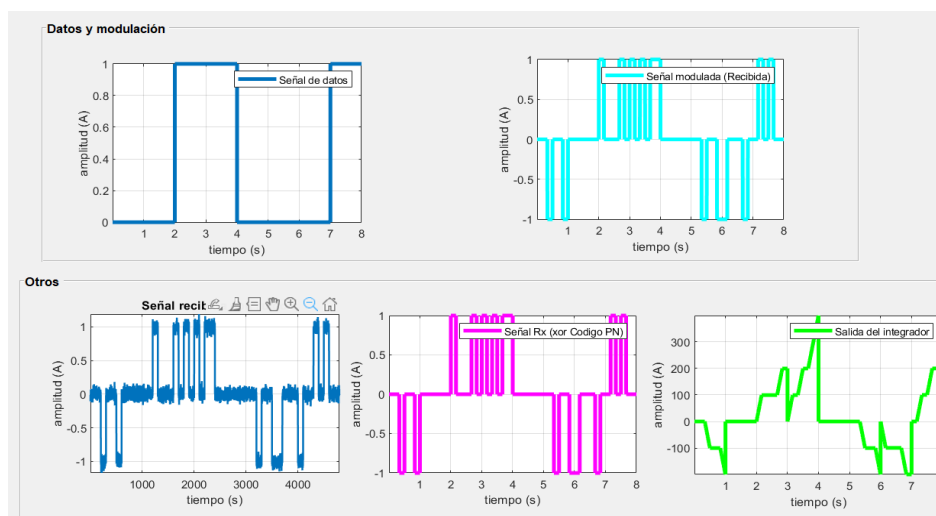
Ruido en CDMA.

En CDMA, el ruido se refiere a interferencias y perturbaciones que afectan las señales transmitidas debido al uso compartido del espectro por múltiples usuarios. La presencia de ruido, como la Interferencia Múltiple de acceso, puede impactar la calidad de la señal y la capacidad del sistema para discriminar entre usuarios, siendo fundamental gestionar este ruido para mantener un rendimiento efectivo en la comunicación CDMA.

En una figura 14 se observa una señal CDMA donde se observa una señal binaria la cual es donde parte la información luego esta es modulada, no se observan mucho ruido en la señal y se puede observar que la señal tiene varias variables donde se deduce que es una señal limpia sin interferencias.

Figura 14

Modulación CDMA.



Elaborado por: Autor.

2.3 Eficiencia espectral y velocidad de transmisión en las modulaciones n-QAM, BPSK, n-QPSK, CDMA.

La eficiencia espectral y la velocidad de transmisión son aspectos clave porque impactan directamente en la capacidad, rendimiento y eficiencia general de los sistemas de comunicación, contribuyendo a una mejor

utilización de recursos y a la satisfacción de las demandas crecientes de los usuarios (García et al., 2018, p. 1).

2.3.1 Eficiencia espectral y VTX en modulación n-QAM.

- **Eficiencia Espectral:** La cantidad de información transmitida por unidad de ancho de banda ocupado en sistemas QAM. La QAM permite enviar múltiples bits por símbolo, mejorando la eficiencia espectral en comparación con modulaciones más simples.
- **Velocidad de Transmisión:** La cantidad de bits transmitidos por segundo. En QAM, la velocidad de transmisión está directamente relacionada con el número de amplitudes y fases utilizadas, permitiendo una transmisión más rápida.

2.3.2 Eficiencia espectral y Vtx en modulación BPSK.

- **Eficiencia Espectral:** Indica cómo BPSK utiliza el espectro de frecuencia. La eficiencia espectral en BPSK se relaciona directamente con la relación de señal a ruido y la distancia entre los puntos de fase.
- **Velocidad de Transmisión:** Indica la cantidad de información que se puede enviar por unidad de tiempo en sistemas BPSK. BPSK generalmente tiene una velocidad de transmisión más baja en comparación con modulaciones más complejas.

2.3.3 Eficiencia espectral y Vtx en modulación n-QPSK.

- **Eficiencia Espectral:** Es la relación entre la tasa de bits y el ancho de banda utilizado en sistemas QPSK. QPSK logra mayor eficiencia al enviar dos bits por cada símbolo, aumentando la velocidad de transmisión sin necesidad de expandir el ancho de banda.
- **Velocidad de Transmisión:** La cantidad de bits transmitidos por segundo en sistemas QPSK, esto nos indica que al aumentar la

velocidad de transmisión implica transmitir más símbolos por segundo, lo que puede aumentar la complejidad del sistema.

2.3.4 Eficiencia espectral y V_{tx} en modulación CDMA.

- **Eficiencia Espectral:** La capacidad de CDMA para permitir múltiples usuarios compartir la misma capacidad de banda sin interferencias significativas.
- **Velocidad de Transmisión:** CDMA puede soportar velocidades de transmisión más altas al permitir que múltiples usuarios compartan simultáneamente el espectro de frecuencia.

Tabla 4

Características de las modulaciones digitales.

Modulación	Eficiencia espectral	Velocidad de transmisión	SNR	DSB	Complejidad del sistema	Frecuencia de aplicación
n-QAM	$\log_2(n)$ bits/s/Hz	n bits/s	Necesaria para una buena tolerancia al ruido No es tan necesaria	Necesaria para una buena eficiencia espectral No es tan necesaria	Alta	Redes de cable, redes de fibra óptica, redes inalámbricas
BPSK	1 bit/s/Hz	1 bit/s	como para n-QAM	como para n-QAM	Baja	Redes de cable, redes inalámbricas de baja velocidad
n-QPSK	$2 \log_2(n)$ bits/s/Hz	2n bits/s	Necesaria para una buena tolerancia al ruido No es tan necesaria	Necesaria para una buena eficiencia espectral No es tan necesaria	Media	Redes de cable, redes inalámbricas de alta velocidad
CDMA	Variable	Variable	como para n-QAM	como para n-QAM	Media a alta	Redes inalámbricas, redes móviles

Elaborado por: Autor.

CAPÍTULO 3:

APORTES DE LA INVESTIGACIÓN.

En este capítulo, se aborda el diseño e implementación de simulaciones de modulaciones digitales mediante el código desarrollado en MATLAB, respaldado por un menú interactivo para la selección y ejecución de diversas simulaciones. Se destacan las modulaciones n-QAM, BPSK, n-QPSK y CDMA como foco principal, cada una representando distintos escenarios de comunicaciones inalámbricas.

El enfoque se centra en destacar las modulaciones n-QAM, BPSK, n-QPSK y CDMA, cada una de las cuales representa un escenario único dentro del vasto espectro de comunicaciones inalámbricas. Este capítulo no solo busca presentar la implementación técnica de las simulaciones, sino también analizar la relevancia y el impacto de estas modulaciones en situaciones específicas de comunicación inalámbrica. A medida que exploramos los detalles del código y la funcionalidad del menú interactivo, se revela una conexión directa entre la teoría y la aplicación práctica, marcando un avance significativo en la comprensión y aplicación de las modulaciones digitales en un contexto real.

3.1 Contextualización del Entorno de Desarrollo.

En el desarrollo de simulaciones digitales para este trabajo de titulación, se eligió MATLAB de manera estratégica debido a su robustez, flexibilidad y habilidades distintivas en operaciones matriciales y análisis numérico. Esta elección no fue arbitraria, ya que MATLAB destaca en el manejo eficiente de datos y provee herramientas especializadas esenciales para la simulación precisa de sistemas de comunicación complejos.

La elección de MATLAB va más allá de una preferencia superficial; se arraiga en su capacidad única para simular sistemas de comunicación complejos de manera efectiva. La plataforma proporciona funciones especializadas y paquetes que simplifican la implementación de algoritmos y

facilitan la representación visual de resultados, creando así un ecosistema propicio para la exploración detallada de las modulaciones digitales.

La plataforma sirve como un medio confiable y poderoso para traducir la teoría de modulaciones digitales en simulaciones tangibles y aplicables, allanando el camino para explorar nuevas fronteras en el vasto campo de las comunicaciones inalámbricas.

3.2 Diseño del código interno en Matlab para las modulaciones digitales n-QAM, BPSK, n-QPSK, CDMA.

3.2.1 Menú principal.

En la figura 15 se representa un menú de modulación digital en MATLAB, en la figura 16 se muestra un diagrama de flujo con respecto al menú principal, donde, el código se ejecuta en un bucle infinito (`while true`), lo que significa que se ejecutará repetidamente hasta que se le indique que se detenga.

En cada iteración del bucle, el código limpia la pantalla (`clc`) donde se despliega una lista de opciones de menú. Las opciones disponibles son:

1. N-QAM
2. BPSK
3. N-QPSK
4. CDMA
5. Salir

El usuario puede seleccionar una opción ingresando, señalando la modulación que desee realizar. Si el usuario señala una modulación válida, el código ejecutará la función correspondiente. Si el usuario ingresa una modulación inválida, el código mostrará un mensaje de error.

La función `input()` se utiliza para leer la entrada del usuario. La función devuelve una cadena de caracteres, que se almacena en la variable `opción`.

A continuación, se muestra una descripción más detallada de cada una de las funciones utilizadas en el código:

- `clc()`: Limpia la pantalla.
- `disp()`: Muestra un mensaje en la pantalla.
- `input()`: Lee la entrada del usuario.

Figura 15

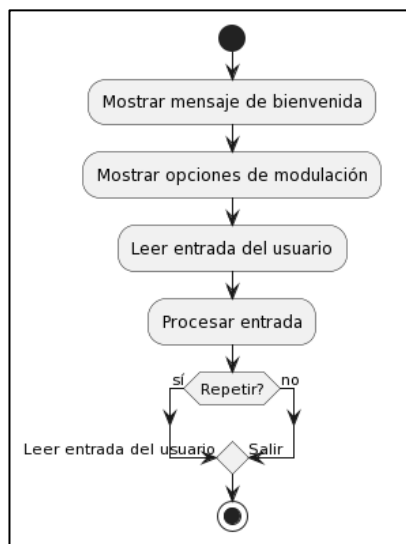
Menú principal.

```
Command Window
*****Bienvenido*****
*****Modulación digital****
Menu Principal
1. N-QAM
2. BPSK
3. N-QPSK
4. CDMA
5. Salir
fx Seleccione una opción: |
```

Elaborado por: Autor.

Figura 16

Diagrama de flujo del menú principal.



Elaborado por: Autor.

3.2.2 Diseño modulación n-QAM.

En la figura 17 se solicita al usuario que ingrese el valor de n. Si el valor ingresado es válido, se procede a generar los siguientes datos:

- La matriz de constelación, que es una matriz cuadrada con n símbolos en cada fila y columna.
- La señal modulada, que se genera a partir de la matriz de constelación y los datos a transmitir.
- La señal con ruido, que se genera a partir de la señal modulada y un valor de SNR especificado por el usuario.
- El error de bit de la señal modulada, que se calcula a partir de la señal con ruido y la matriz de constelación.

Figura 17

Ingreso de valor n -QAM.

```
Command Window
Modulación n-QAM
Opciones disponibles:2,4,8,16,64,256,1024,4096
fx Ingrese una opción: 8
```

Elaborado por: Autor.

En la figura 18 se solicita al usuario que ingrese el valor de la velocidad de transmisión y de SNR.

Figura 18

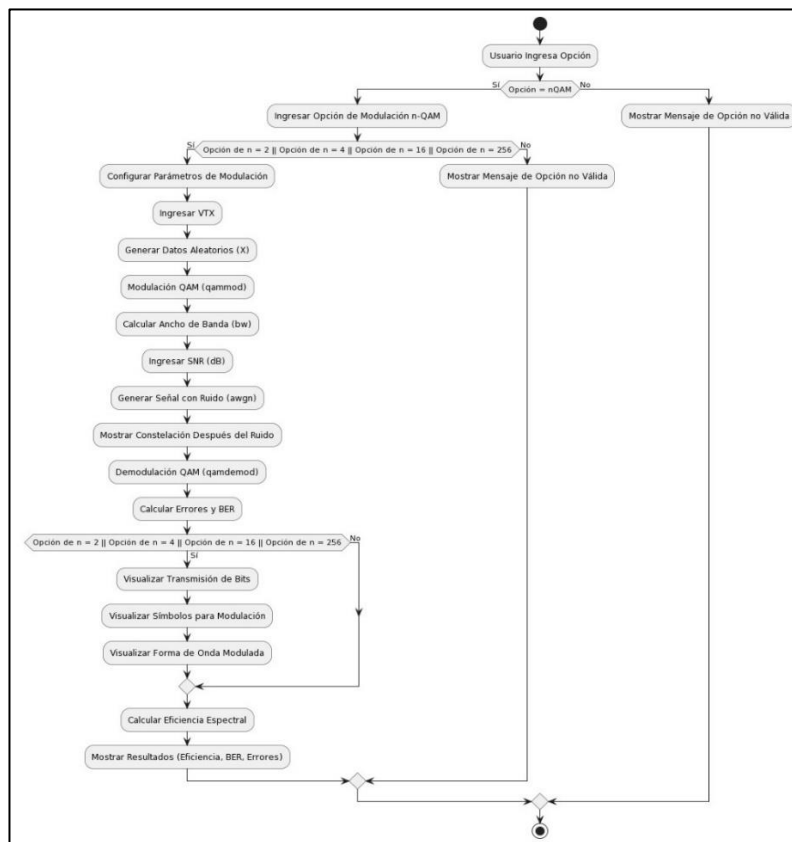
Ingreso de valor V_{TX} y SNR modulación n -QAM.

```
Command Window
Digite la velocidad de tx:
valor: 125
Digite el valor de SNR:
fx Valor: 20|
```

Elaborado por: Autor.

Figura 19

Diagrama de flujo del diseño de modulación n-QAM.

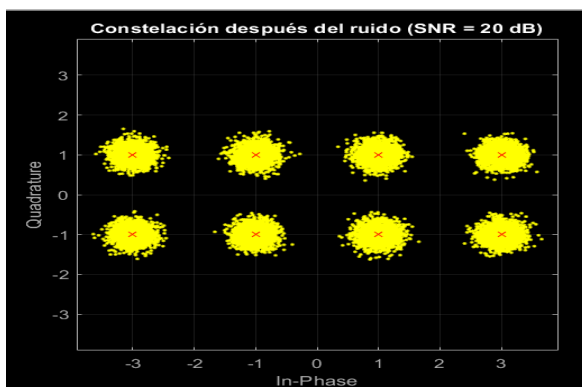


Elaborado por: Autor.

En la figura 20 se muestra la matriz constelación de la señal modulada, después de la adición de ruido. una vez ingresado los datos solicitados.

Figura 20

Constelación 8 QAM.



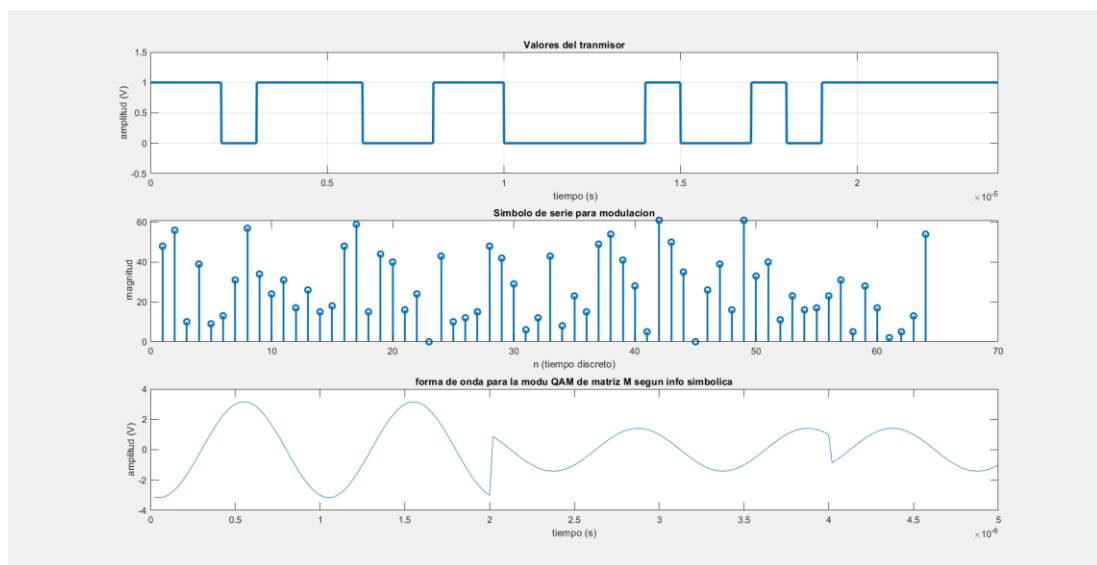
Elaborado por: Autor.

En la figura 21 se muestran tres gráficas donde:

- La primera gráfica: La primera gráfica muestra la señal modulada en el dominio del tiempo. La gráfica se genera utilizando la función plot() de MATLAB.
- La segunda gráfica: La segunda gráfica muestra la matriz de símbolos correspondiente a la señal modulada. La gráfica se genera utilizando la función stem() de MATLAB.
- La tercera gráfica: La tercera gráfica muestra la señal modulada en el dominio de la frecuencia. La gráfica se genera utilizando la función fft() de MATLAB.

Figura 21

Gráficas de modulación n-QAM.



Elaborado por: Autor.

3.2.3 Diseño modulación BPSK.

En la figura 22 se solicita al usuario que ingrese los siguientes datos:

- La velocidad de transmisión de datos, en bits por segundo.
- El valor de SNR, en decibelios.

Figura 22

Ingreso de datos VTX y SNR.

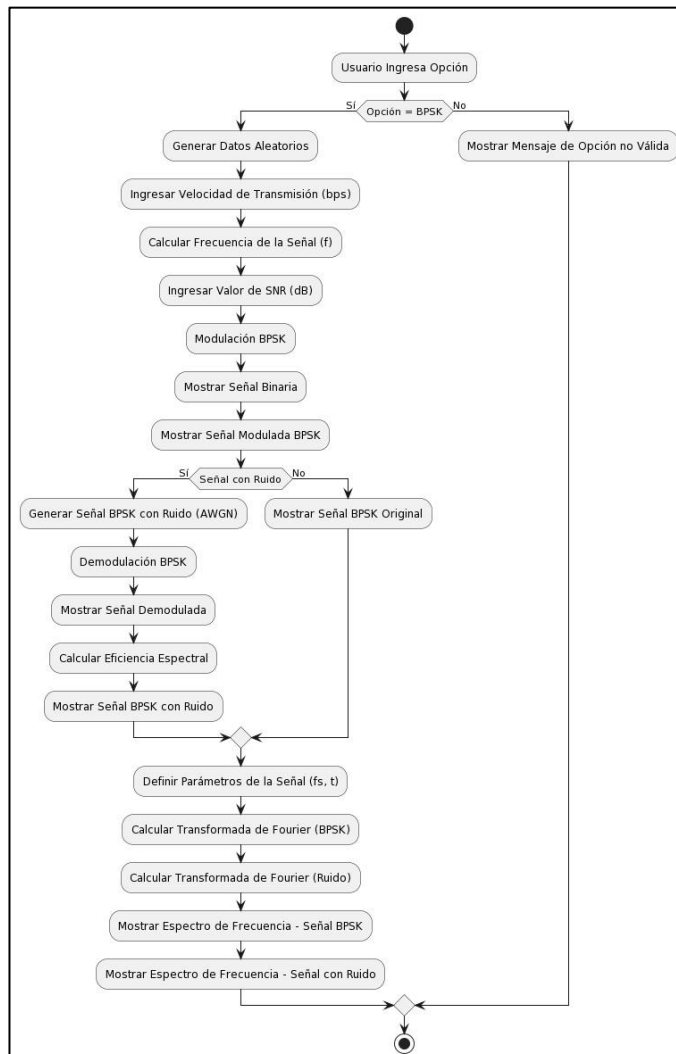
```

Command Window
Modulación BPSK
Digite la velocidad de tx:
Valor (bps): 70
Digite el valor de SNR:
fx Valor: 9
    
```

Elaborado por: Autor.

Figura 23

Diagrama de flujo del diseño de modulación BPSK.

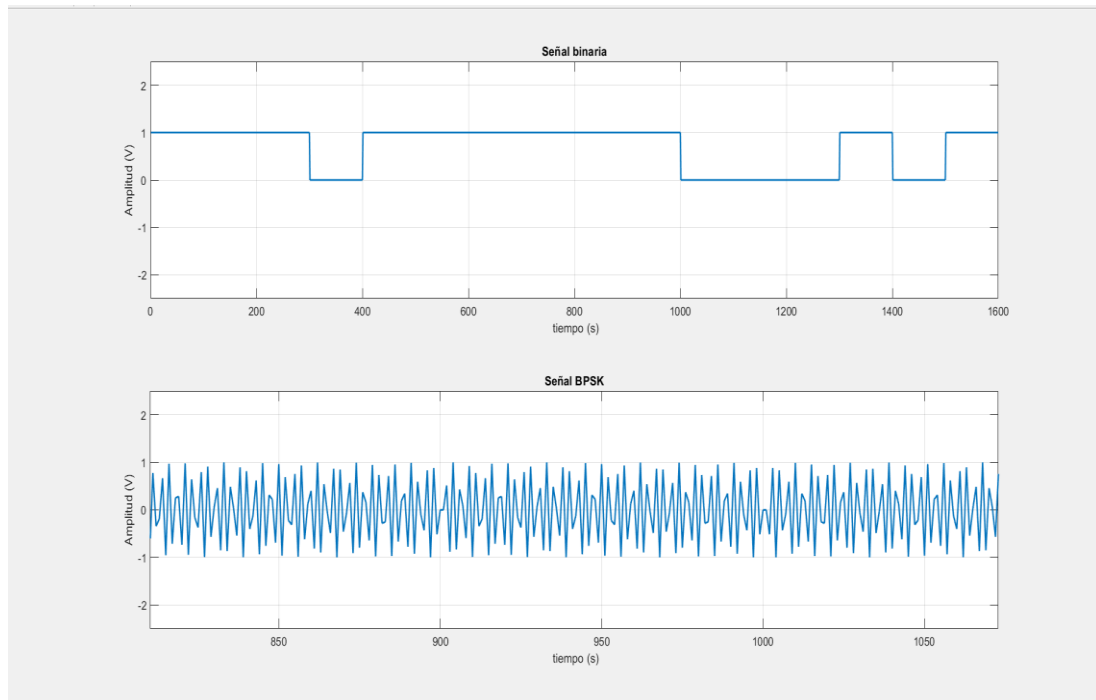


Elaborado por: Autor.

En la figura 24 se muestra dos gráficos de ondas, uno de una señal binaria y otro de una señal BPSK.

Figura 24

Señal binaria y señal BPSK.



Elaborado por: Autor.

La figura 25 ofrece una visión integral de cómo la presencia de ruido afecta la señal BPSK, introduciendo fluctuaciones que pueden dificultar la correcta interpretación de la información en el receptor. Este escenario ilustra la importancia de considerar y gestionar el ruido en sistemas de comunicación, ya que impacta directamente en la calidad y confiabilidad de la transmisión de datos. En la práctica, comprender la apariencia de la señal BPSK con ruido es esencial para diseñar estrategias eficaces de detección y corrección de errores en entornos de comunicación digital.

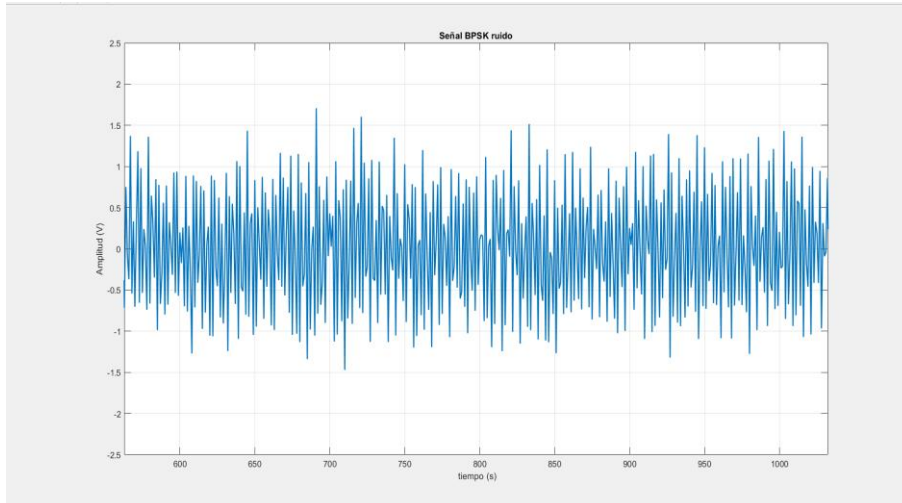
El proceso de adición de ruido se puede describir de la siguiente manera:

Para cada muestra de la señal BPSK:

- Se genera una muestra de ruido aditivo blanco gaussiano.
- Se suma la muestra de ruido a la muestra de la señal BPSK.

Figura 25

Señal BPSK con ruido.

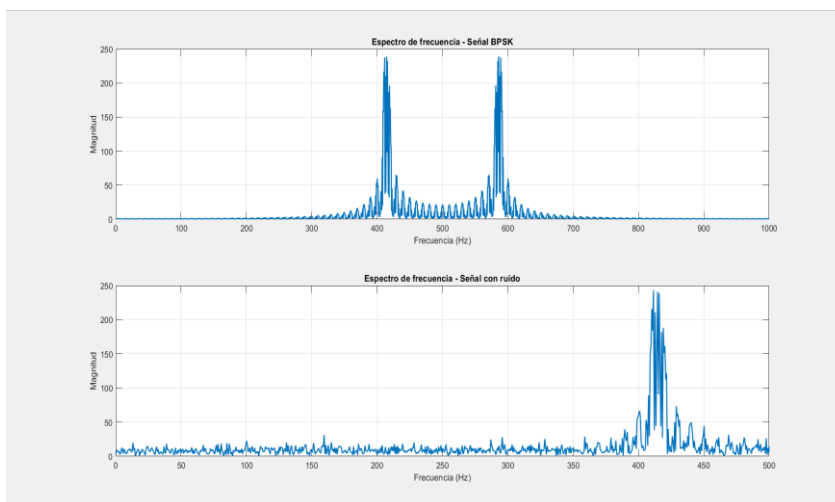


Elaborado por: Autor.

En la figura 26 se muestra una gráfica del espectro de frecuencia de la señal BPSK y la señal BPSK con ruido. La gráfica se genera utilizando la función `fft()` de MATLAB.

Figura 26

Espectro de frecuencia señal BPSK y señal con ruido.



Elaborado por: Autor.

3.2.4 Diseño modulación n-QPSK.

En la figura 27 el código comienza por solicitar al usuario que ingrese el número de bits por símbolo, que debe ser un número entre 2 y 4096 y el valor de SNR.

Figura 27

Ingreso de valores para modulación QPSK.

```
Command Window
Modulación QPSK
Opciones disponibles:2,4,8,16,64,256,1024,4096
Ingrese una opción: 16
Digite el valor SNR:
Valor: 15
```

Elaborado por: Autor.

En la figura 28 muestra el resultado de la eficiencia espectral y solicita al usuario que se ingrese un valor para la velocidad de transmisión.

Figura 28

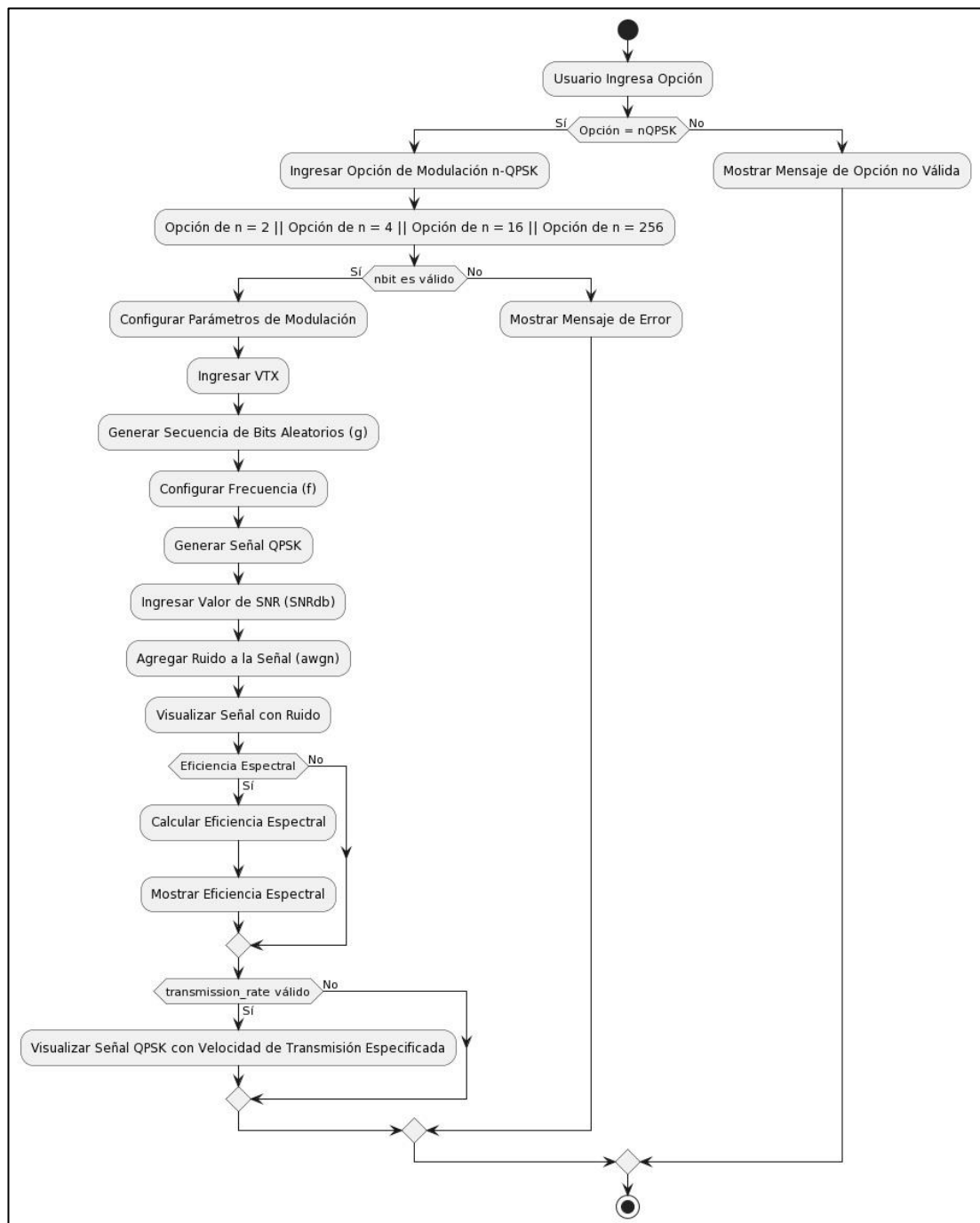
Ingreso de valor Vtx para modulación QPSK.

```
Command Window
Modulación QPSK
Opciones disponibles:2,4,8,16,64,256,1024,4096
Ingrese una opción: 16
Digite el valor SNR:
Valor: 15
Eficiencia Espectral (considerando SNR): 1 bits/s/Hz
Ingrese la velocidad de transmisión (hasta 800bps):
fx Valor: 88
```

Elaborado por: Autor.

Figura 29

Diagrama de flujo del diseño de modulación n-QPSK.

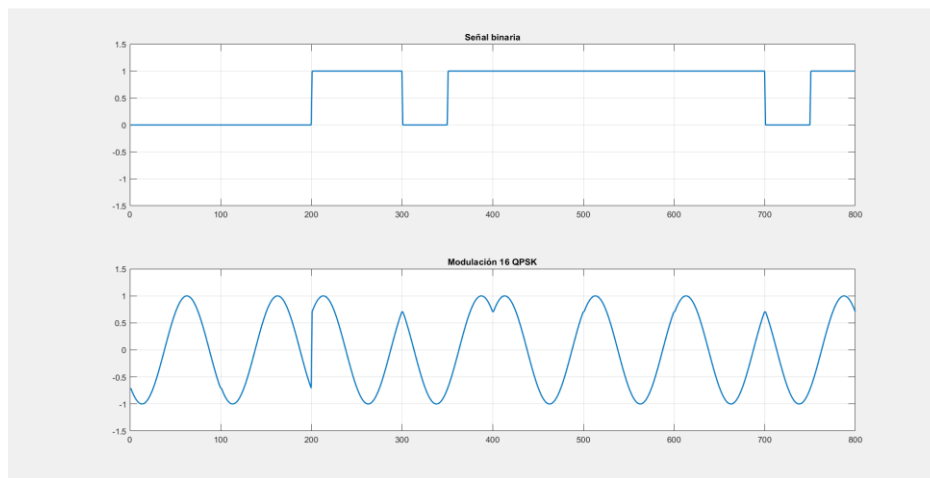


Elaborado por: Autor.

En la figura 30 se muestra las dos señales en el dominio del tiempo. La señal binaria se muestra como una serie de pulsos rectangulares, mientras que la señal modulada 16-QAM se muestra como una serie de formas de onda sinusoidales.

Figura 30

Señales QPSK en el dominio del tiempo.



Elaborado por: Autor.

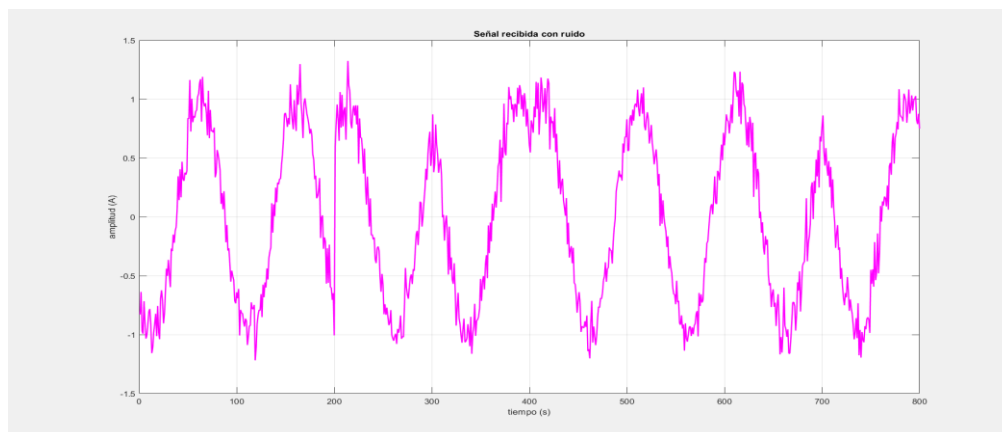
En la figura 31 se genera la señal QPSK con ruido. La señal QPSK con ruido se genera a partir de la señal QPSK y una señal de ruido aditivo blanco gaussiano; La gráfica se genera utilizando la función plot() de MATLAB.

Para cada muestra de la señal QPSK:

- Se genera una muestra de ruido aditivo blanco gaussiano.
- Se suma la muestra de ruido a la muestra de la señal QPSK.

Figura 31

Señal QPSK con ruido.

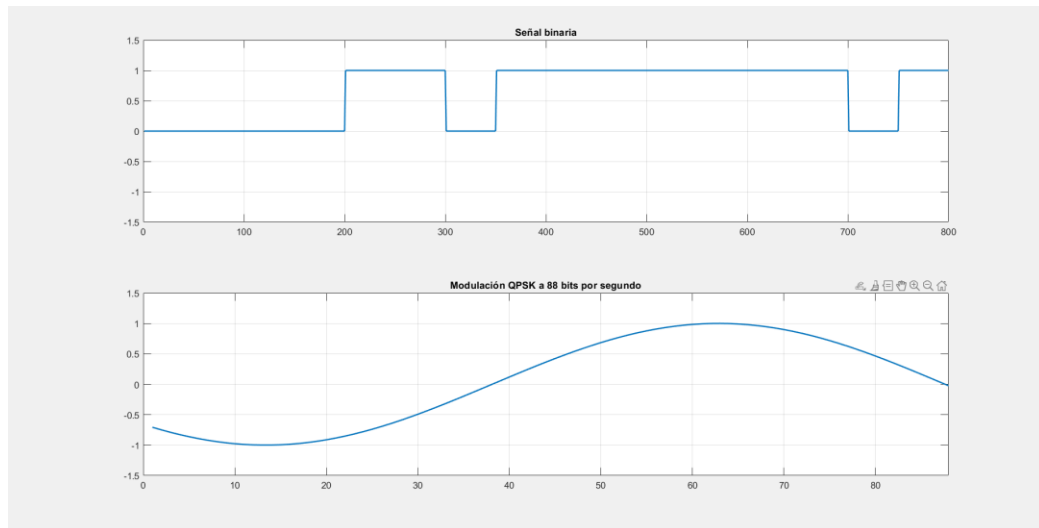


Elaborado por: Autor.

En la figura 32 se muestra una gráfica de la señal QPSK considerando la velocidad de transmisión de datos. La gráfica se genera utilizando la función `plot()` de MATLAB.

Figura 32

Modulación QPSK.



Elaborado por: Autor.

3.2.5 Diseño modulación CDMA.

En la figura 33 el código comienza por solicitar al usuario que ingrese los siguientes parámetros:

- Número de bits de datos (b): El número de bits de datos que se transmiten en cada símbolo. Configurar adecuadamente este valor es esencial para definir la cantidad de información que se puede transportar en cada unidad de transmisión, lo que afecta directamente la eficiencia del sistema.
- Código control (CC): Este parámetro es esencial para dirigir la atención del sistema a un usuario específico dentro del entorno de comunicación. La correcta identificación del usuario contribuye a la efectividad y precisión de la demodulación.
- Número de bits de secuencia PN en un bit de datos (x): El número de bits de secuencia PN que se utilizan para generar cada símbolo. La

secuencia PN es crucial en sistemas de comunicación para introducir diversidad y evitar patrones predecibles que puedan ser susceptibles a interferencias o intentos no autorizados de acceso.

- Número de usuarios (n): El número de usuarios que comparten el mismo canal. Configurar correctamente este parámetro es vital para asegurar una gestión eficiente del canal, ya que afecta la capacidad y la asignación de recursos en el sistema.

Figura 33

Ingreso de datos CDMA.

```
Command Window
Modulación CDMA
Número de Bits de datos (Ejm: 8)=8
Código control (Ejm: 1)=2
Número de bits de secuencia PN en un bit de datos (Ejm: 2)=4
fx Número de usuarios (Ejm: 1)=6
```

Elaborado por: Autor.

En la figura 34 el código comienza por solicitar al usuario que ingrese el valor de SNR y la velocidad de transmisión.

Figura 34

Ingreso de valor SNR y Vtx de CDMA.

```
Command Window
Datos
0      0      0      1      0      1      1      1

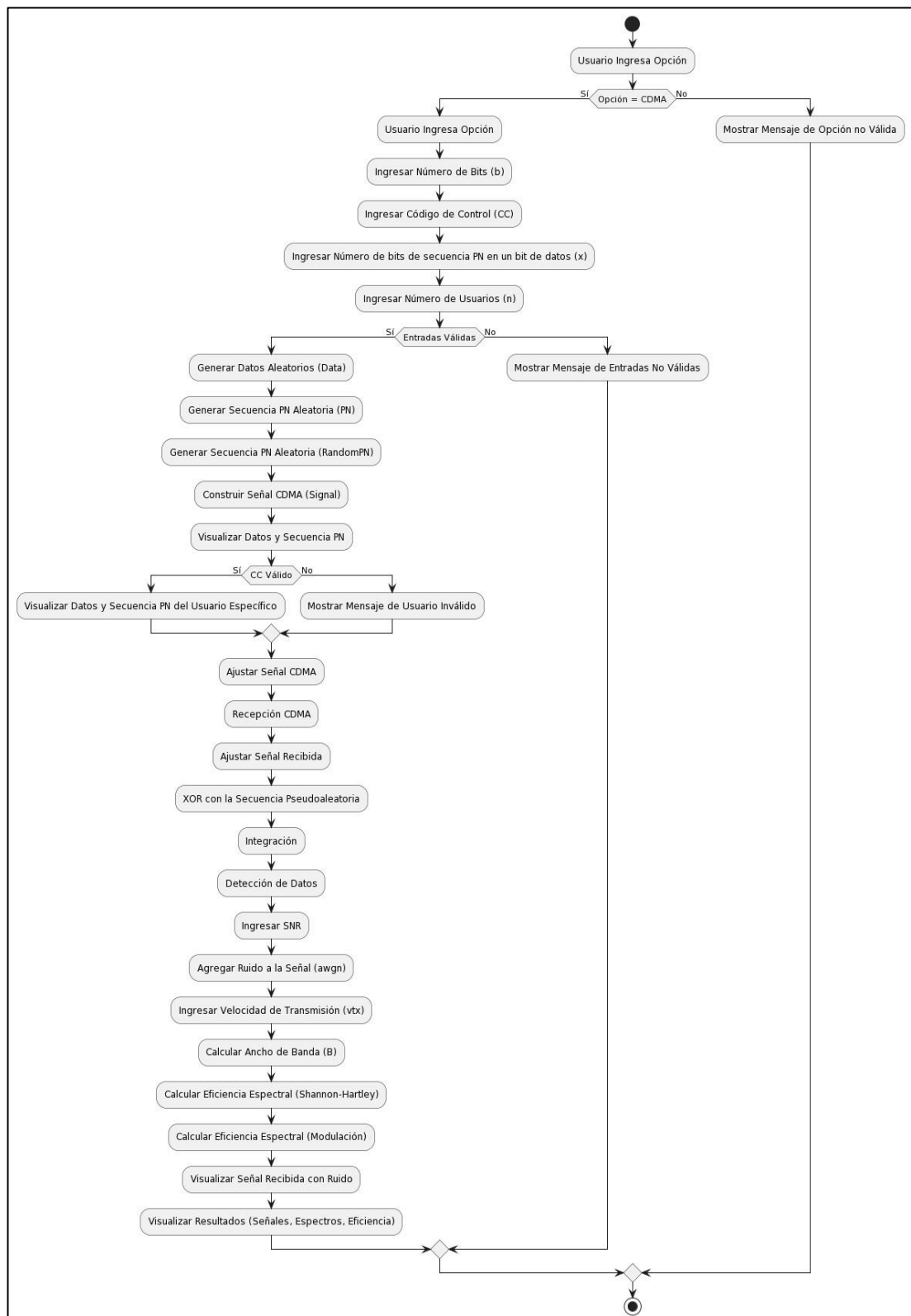
Secuencia PN
0      0      1      1

Ingrese el valor SNR:
Valor: 20
Ingrese la velocidad de transmision
fx Valor: 100
```

Elaborado por: Autor.

Figura 35

Diagrama de flujo del diseño de modulación CDMA.

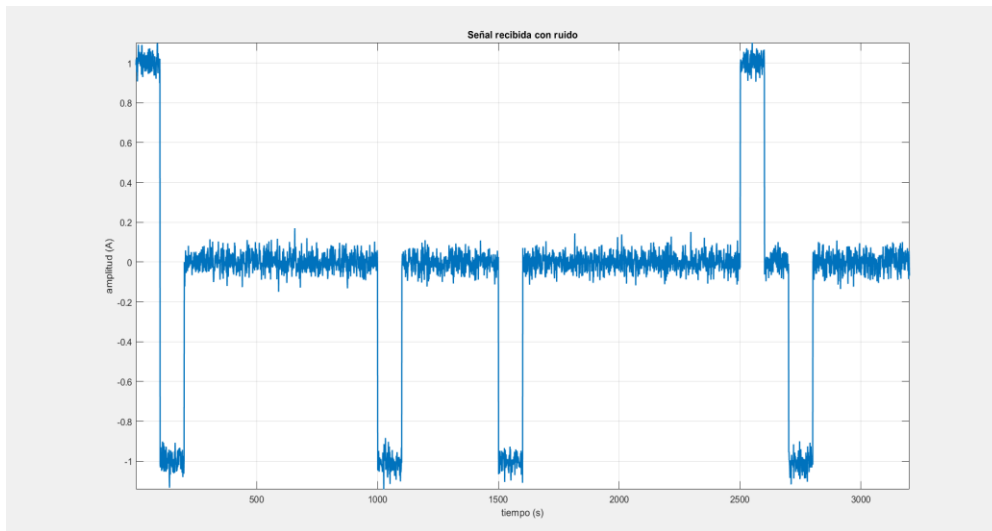


Elaborado por: Autor.

En la figura 36 se muestra la señal CDMA con ruido.

Figura 36

Señal CDMA con ruido.

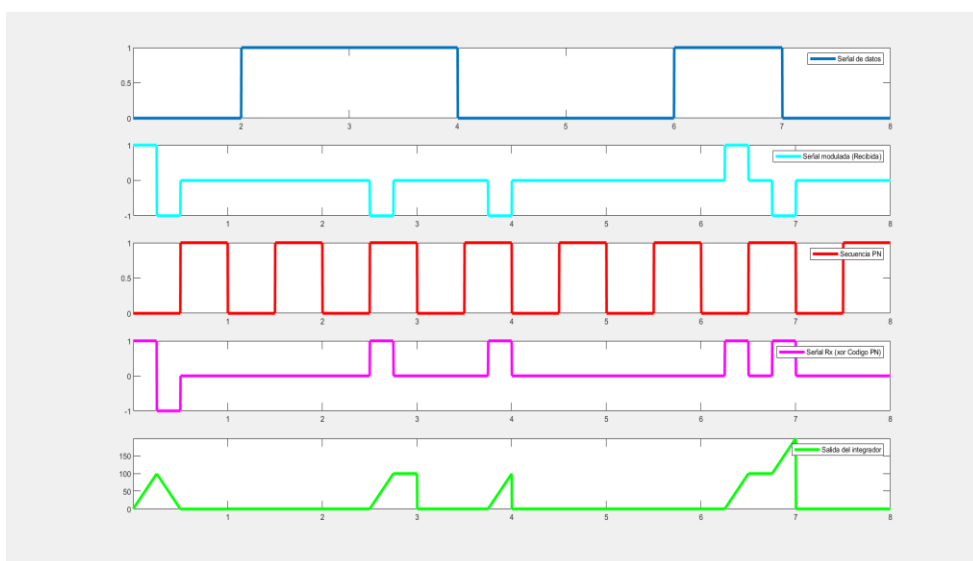


Elaborado por: Autor.

En la figura 37 observamos un ejemplo de la modulación de CDMA, con los datos ingresados en las figuras 30 y 31.

Figura 37

Modulación CDMA.



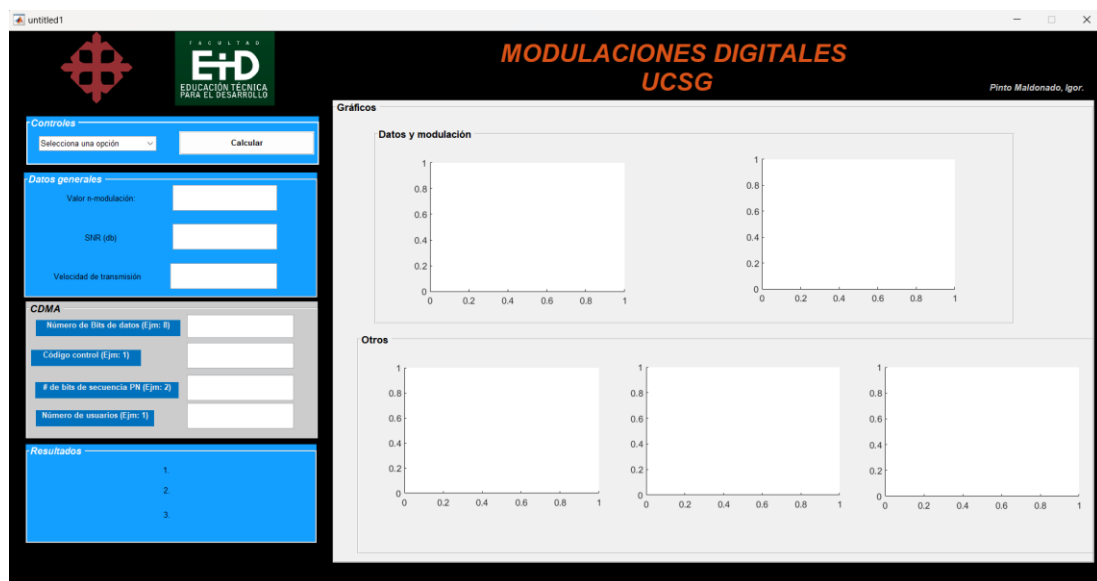
Elaborado por: Autor.

3.3 Diseño del menú interactivo de las modulaciones n-QAM, BPSK, n-QPSK, CDMA.

En la figura 38 se muestra el diseño realizado en MATLAB GUIDE para modulaciones digitales el cual es un menú interactivo donde permite generar diferentes tipos de modulaciones digitales, como n-QAM, BPSK, n-QPSK y CDMA.

Figura 38

Menú interactivo para las modulaciones digitales.



Elaborado por: Autor.

El menú interactivo consta de dos partes principales, una parte central y una parte de gráficos. La parte central es donde se realizan los cálculos para generar la modulación. La parte de gráficos se utiliza para visualizar la forma de onda de la señal modulada.

3.3.1 Descripción del menú interactivo para las modulaciones digitales.

En la figura 39 se muestra un pequeño menú que permite seleccionar el tipo de modulación que se desea generar.

Figura 39

Selección de modulación.

untitled1

FACULTAD
E+D
EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO

Controles

Selecciona una opción ▼

- n-QAM
- BPSK
- n-QPSK
- CDMA

Calcular

Elaborado por: Autor

En la figura 40 se muestra un cuadro de texto que permite ingresar el valor del índice de modulación.

Figura 40

Ingreso n - modulación.

untitled1

FACULTAD
E+D
EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO

Controles

Selecciona una opción ▼

Calcular

Datos generales

Valor n-modulación:

SNR (db)

Velocidad de transmisión

Elaborado por: Autor.

En la figura 41 se muestra un cuadro de texto que permite ingresar el valor del ruido de señal a relación (SNR).

Figura 41

Ingreso valor SNR.

The screenshot shows a web application window titled 'untitled1'. It features a dark header with a red logo on the left and a green logo on the right that reads 'FACULTAD E+D EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO'. Below the header, there are two main sections: 'Controles' and 'Datos generales'. The 'Controles' section contains a dropdown menu labeled 'Selecciona una opción' and a 'Calcular' button. The 'Datos generales' section contains three input fields: 'Valor n-modulación:', 'SNR (db)', and 'Velocidad de transmisión'. The 'SNR (db)' input field is highlighted with a yellow border, indicating it is the focus of the figure.

Elaborado por: Autor.

En la figura 42 se muestra un cuadro de texto que permite ingresar la velocidad de transmisión.

Figura 42

Ingreso valor de Vtx.

This screenshot is identical to the one in Figure 41, showing the same web application window. However, in this figure, the 'Velocidad de transmisión' input field in the 'Datos generales' section is highlighted with a yellow border, indicating it is the focus of the figure.

Elaborado por: Autor.

En la figura 43 se muestra un botón llamado “calcular” el cual su función es que una vez que se ha seleccionado el tipo de modulación, ingresado los valores del índice de modulación, el valor del SNR y la velocidad de transmisión, la herramienta calculará la modulación y mostrará la forma de onda de la señal modulada en la parte de gráficos.

Figura 43

Botón "calcular"



Elaborado por: Autor.

3.3.1.1 Parámetros de la modulación CDMA.

En la figura 44 se muestra:

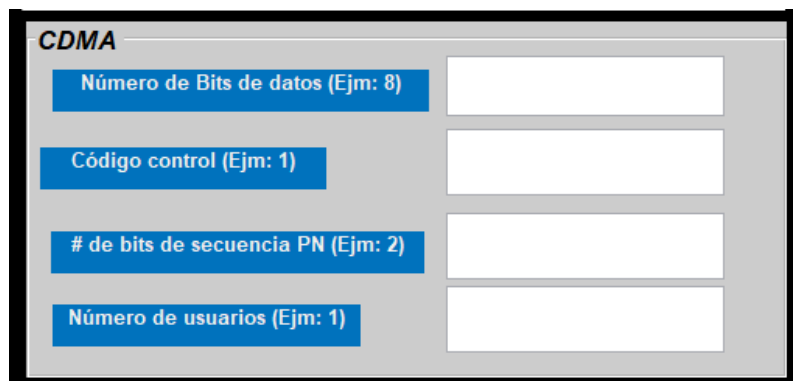
- **Número de bits de datos:** Este campo especifica el número de bits de datos que se van a transmitir.
- **Código de control:** Este campo especifica el código de control que se va a utilizar para la detección de errores.

- **Número de bits de secuencia PN:** Este campo especifica el número de bits de la secuencia PN que se va a utilizar para la separación de usuarios.
- **Número de usuarios:** Este campo especifica el número de usuarios que van a utilizar la misma señal portadora.

Los valores de estos campos determinan las características de la señal modulada CDMA. Por ejemplo, el número de bits de datos determina la cantidad de datos que se pueden transmitir por cada símbolo. El código de control determina la tasa de error de bit de la señal modulada. El número de bits de secuencia PN determina la capacidad de separación de usuarios de la señal modulada. El número de usuarios determina el número de usuarios que pueden compartir la misma señal portadora.

Figura 44

Submenú CDMA.



The image shows a software interface titled "CDMA". It contains four rows of input fields, each with a blue label box on the left and a white text box on the right:

- Label: "Número de Bits de datos (Ejm: 8)"
- Label: "Código control (Ejm: 1)"
- Label: "# de bits de secuencia PN (Ejm: 2)"
- Label: "Número de usuarios (Ejm: 1)"

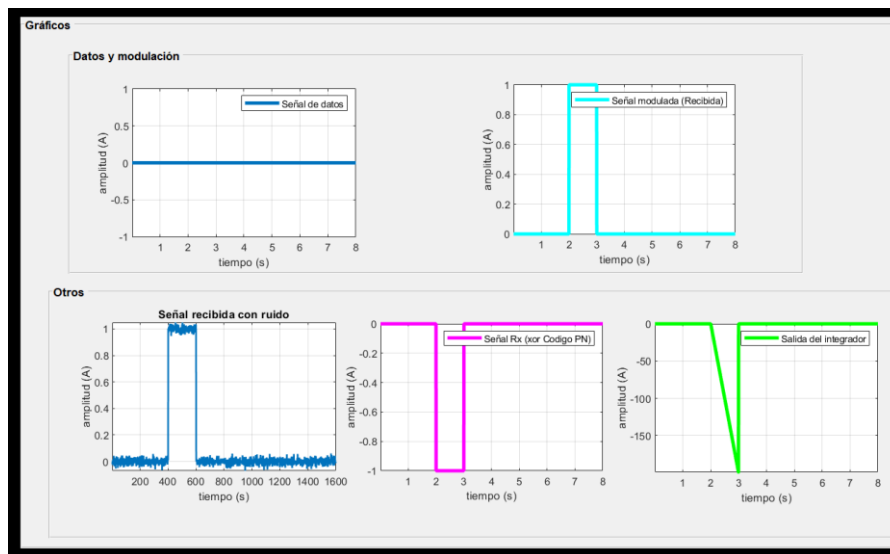
Elaborado por: Autor.

3.3.1.2 **Gráfica de los datos de modulación.**

En la figura 45 se muestra un panel el cual es una herramienta útil para comprender cómo funcionan las diferentes modulaciones digitales. También puede ser utilizado para analizar la calidad de las señales moduladas.

Figura 45

Panel de gráfica de modulaciones.

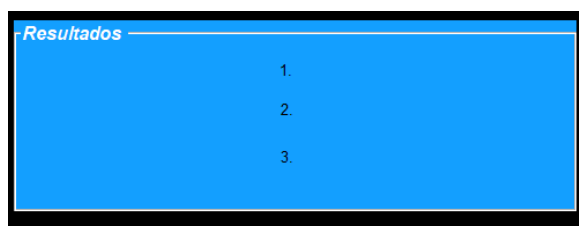


Elaborado por: Autor.

En la figura 46 se muestra un cuadro donde se observará los resultados obtenidos con respecto a la eficiencia espectral y otros datos adicionales.

Figura 46

Cuadro de resultados.



Elaborado por: Autor.

3.4 Pruebas, evaluación de velocidad de transmisión y eficiencia espectral, de las modulaciones digitales n-QAM, BPSK, n-QPSK, CDMA.

3.4.1 Modulación n-QAM.

En esta prueba de modulación digital n-QAM se lleva a cabo con el propósito de explorar las complejidades de la transmisión de datos en sistemas inalámbricos.

Los parámetros específicos para esta simulación incluyeron la elección de un determinado orden de modulación "n" y la configuración del esquema de constelación. Se ajustaron variables como la relación señal-ruido (SNR) para evaluar el rendimiento del sistema en condiciones diversas. La implementación del código en MATLAB abordó la generación de símbolos n-QAM, la adición de ruido simulado y el proceso de demodulación.

Se simulará la modulación digital QAM de orden n, con $n = 2, 4, 8$ y 16 . Para ello, se utilizará un valor de SNR de 10 dB y un valor de transmisión de 100 Mbps.

En las diferentes modulaciones, se simulará la modulación QAM para diferentes valores de n. Esto permitirá observar cómo la capacidad de transmisión de la señal modulada varía en función del orden de la modulación.

En particular, se espera que la capacidad de transmisión aumente a medida que aumenta el orden de la modulación. Esto se debe a que la modulación QAM de orden n permite transmitir más bits por símbolo.

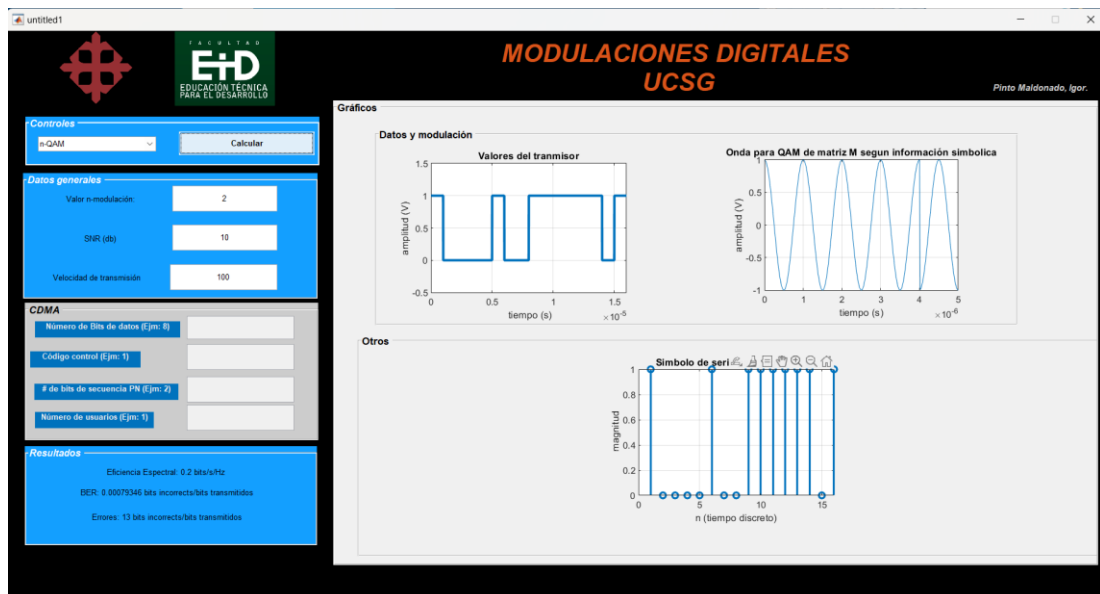
3.4.1.1 *Modulación 2 QAM.*

En la figura 47 se observa que la señal recibida es muy similar a la señal transmitida. La diferencia entre las dos señales es muy pequeña, lo que indica que el SNR es suficientemente alto para que la señal se pueda recuperar sin mucha pérdida de información.

Esto se confirma por el hecho de que la velocidad de transmisión es de 100 Mbps, que es una velocidad muy alta. Si el SNR no fuera lo suficientemente alto, la señal recibida sería más ruidosa y la velocidad de transmisión tendría que ser más baja.

Figura 47

Modulación 2 QAM.

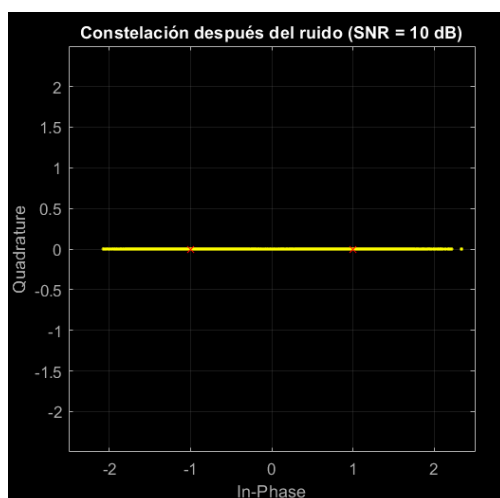


Elaborado por: Autor.

En la figura 48 se muestra un diagrama de constelación 2 QAM con una relación señal-ruido (SNR) de 10 y una velocidad de transmisión de 100. La constelación 2 QAM es un tipo de modulación digital que utiliza dos puntos en una cuadrícula para representar cuatro símbolos diferentes.

Figura 48

Constelación 2 QAM.



Elaborado por: Autor.

*Evaluación de eficiencia espectral y velocidad de transmisión
de la señal 2 QAM.*

La eficiencia espectral obtenida para la modulación 2 QAM con SNR de 10 y velocidad de transmisión de 100 es de 0.2 bits/s/Hz. Este valor es relativamente bajo en comparación con otros tipos de modulación.

El SNR de 10 dB es relativamente bajo, por lo que es de esperar que la eficiencia espectral sea baja. A medida que el SNR aumenta, la eficiencia espectral también aumenta. Por ejemplo, con un SNR de 20 dB, la eficiencia espectral sería de aproximadamente 0.3 bits/s/Hz.

La velocidad de transmisión de 100 es relativamente alta. Esto significa que se pueden transmitir muchos datos en un período de tiempo corto. Sin embargo, la velocidad de transmisión también puede afectar la eficiencia espectral. En general, a medida que la velocidad de transmisión aumenta, la eficiencia espectral disminuye.

3.4.1.2 *Modulación 4 QAM.*

En la figura 46 se muestra una señal digital donde se representa como una serie de símbolos. Cada símbolo tiene una amplitud y una fase específica.

La amplitud de la señal representa el valor del símbolo, mientras que la fase de la señal representa la información adicional que se desea transmitir.

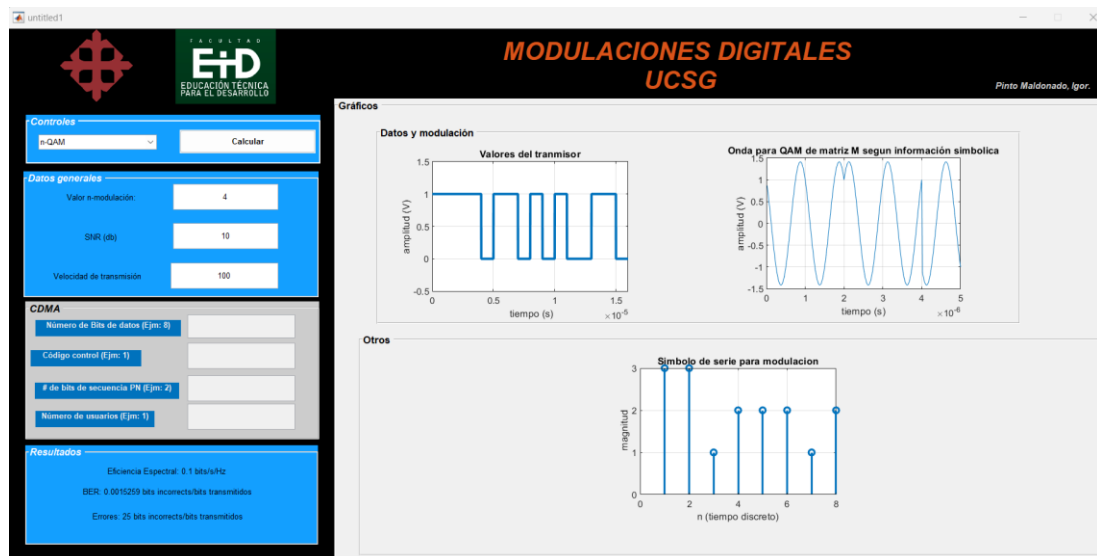
En la figura 49 se observa lo siguiente:

- El gráfico superior muestra los valores de la señal modulada en el tiempo.
- El gráfico inferior muestra los valores de la señal modulada en el plano complejo.
- El gráfico superior muestra que la señal modulada es una onda sinusoidal que varía de amplitud y fase según los símbolos que se transmiten.

- El gráfico inferior muestra que la señal modulada se puede representar como un punto en el plano complejo. La ubicación de este punto indica tanto la magnitud como la fase de la señal modulada.

Figura 49

Modulación 4 QAM.



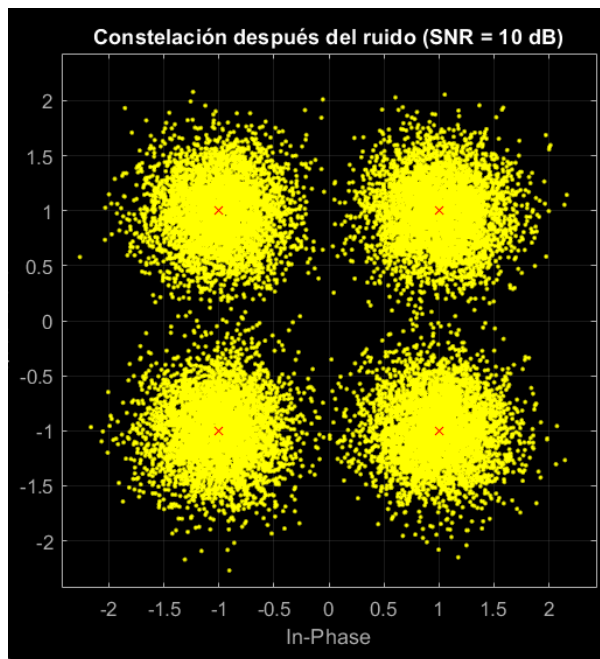
Elaborado por: Autor.

En la figura 50 se muestra un diagrama de constelación muestra que los símbolos de la señal modulada están rodeados por un cierto nivel de ruido. Este ruido puede causar que los símbolos se confundan entre sí; En este caso, la SNR es de 10 dB. Esto significa que la señal es 10 veces más fuerte que el ruido. Sin embargo, todavía hay algo de ruido presente, lo que puede causar que los símbolos se confundan entre sí.

La cantidad de confusión que se produce depende de la distribución del ruido. Si el ruido está bien distribuido, es menos probable que los símbolos se confundan. Sin embargo, si el ruido está mal distribuido, es más probable que los símbolos se confundan.

Figura 50

Constelación 4 QAM.



Elaborado por: Autor.

*Evaluación de eficiencia espectral y velocidad de transmisión
de la señal 4 QAM.*

La eficiencia espectral obtenida para la modulación 4 QAM con SNR de 10 y velocidad de transmisión de 100 es de 0.1 bits/s/Hz. Este valor es relativamente bajo en comparación con otros tipos de modulación, como la 64 QAM, que puede alcanzar eficiencias espectrales de hasta 12 bits/s/Hz. Sin embargo, la modulación 4 QAM es más robusta al ruido que la 2 QAM, por lo que es una buena opción para aplicaciones donde la calidad de la señal es importante.

Una velocidad de transmisión de 100 es bastante rápida, lo que significa que puedes enviar un montón de datos en muy poco tiempo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta velocidad también puede influir en la eficiencia espectral. En resumen, a medida que aumenta la velocidad de transmisión, la eficiencia espectral tiende a disminuir.

3.4.1.3 Modulación 8 QAM.

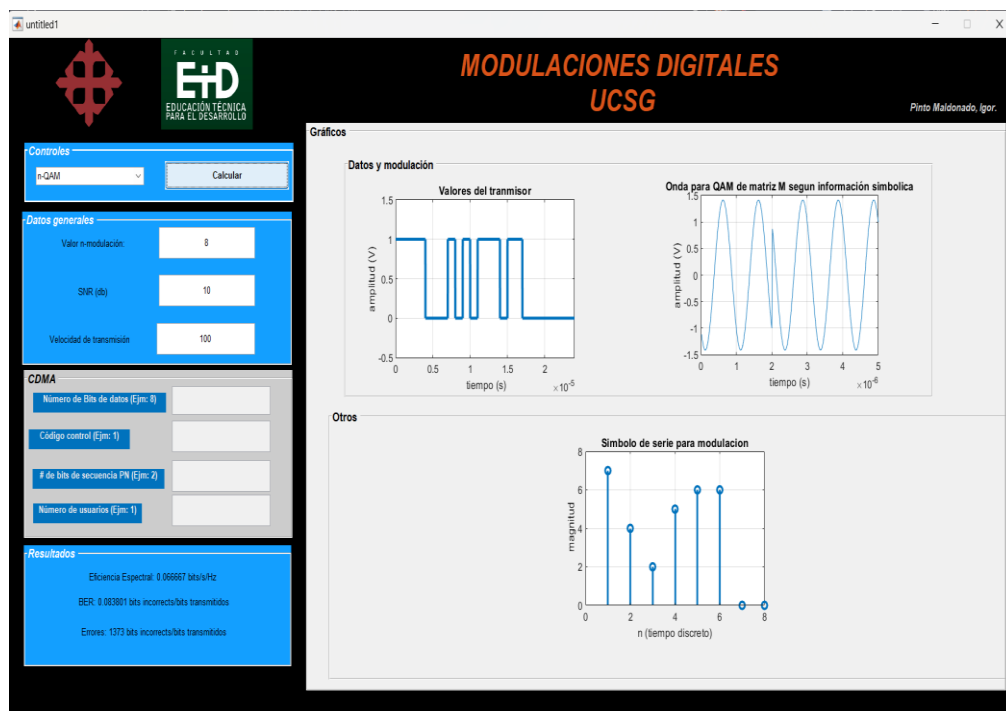
En la figura 51 se muestra que los símbolos de la señal modulada están bien separados entre sí. Esto significa que la señal modulada es relativamente resistente a las interferencias, sin embargo, hay un cierto nivel de ruido presente en la señal.

La cantidad de confusión que se produce depende de la distribución del ruido, si el ruido está bien distribuido, es menos probable que los símbolos se confundan. Sin embargo, si el ruido está mal distribuido, es más probable que los símbolos se confundan.

En general, la figura 51 muestra que la señal modulada es relativamente resistente a las interferencias. Sin embargo, todavía hay un cierto nivel de ruido presente, lo que puede causar que los símbolos se confundan entre sí.

Figura 51

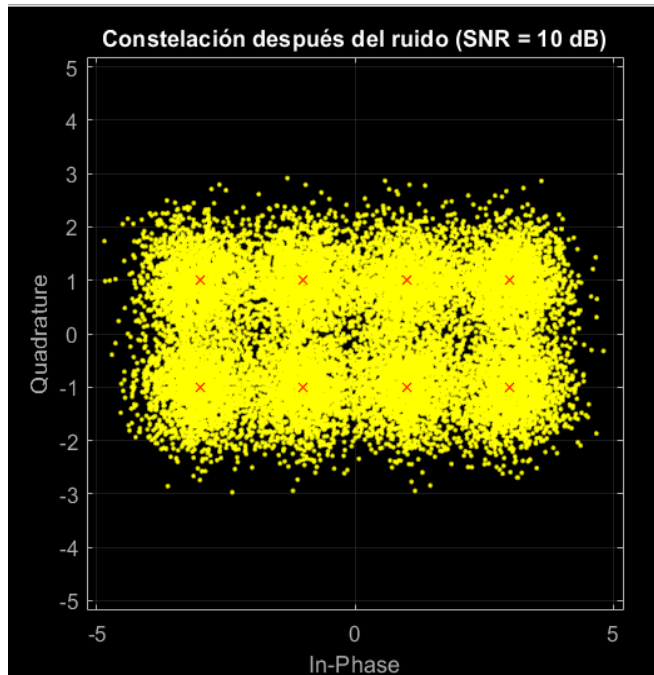
Modulación 8 QAM.



Elaborado por: Autor.

Figura 52

Constelación 8 QAM.



Elaborado por: Autor.

Evaluación de eficiencia espectral y velocidad de transmisión de la señal 8 QAM.

La eficiencia espectral obtenida para la modulación 8 QAM con SNR de 10 y velocidad de transmisión de 100 es de 0.066667 bits/s/Hz. Este valor es relativamente bajo en comparación con otros tipos de modulación, como la 64 QAM, que puede alcanzar eficiencias espectrales de hasta 12 bits/s/Hz. Sin embargo, la modulación 8 QAM es más robusta al ruido que la 2 QAM o la 4 QAM, por lo que es una buena opción para aplicaciones donde la calidad de la señal es importante.

La velocidad de transmisión de 100 es bastante elevada, lo que implica la posibilidad de enviar una gran cantidad de datos en un lapso breve. No obstante, es importante señalar que esta velocidad también puede incidir en la eficiencia espectral. En términos generales, conforme la velocidad de transmisión aumenta, se observa una reducción en la eficiencia espectral.

Tabla 5

Comparación de Modulación Digital n-QAM con SNR de 10 dB y Velocidad de Transmisión de 100 Mbps.

Parámetro	2-QAM	4-QAM	8-QAM
Nivel de QAM (n)	2	4	8
Bits por símbolo	1	2	3
Número de símbolos	2	4	8
Vtx	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps
SNR	10	10	10
Eficiencia Espectral	0.2	0.1	0.66667
Tolerancia al Ruido	Baja	Moderada	Alta
Complejidad	Baja	Moderada	Alta
Aplicaciones	Comunicaciones punto a punto	WLAN, WiMAX	Redes ópticas

Elaborado por: Autor.

3.4.2 Modulación BPSK.

Se realizará simulación de modulación BPSK con el fin de examinar las dinámicas esenciales de la transmisión de datos en la modulación BPSK.

Durante estas simulaciones, se tomaron decisiones respecto a parámetros específicos, como el valor de transmisión, el valor de SNR los cuales van a evaluar el rendimiento del sistema en diversas condiciones de transmisión.

En la simulación de BPSK, se amplió el alcance del estudio al incorporar la variación de velocidades de transmisión, explorando tres niveles distintos: baja, media y alta. Esta práctica permitirá evaluar el desempeño del sistema BPSK bajo condiciones diversas, reflejando escenarios realistas que

abarcan desde entornos de transmisión de baja velocidad hasta aquellos que demandan una tasa de transmisión elevada. La modificación de la V_{tx} es crucial para entender cómo se comporta la modulación BPSK en distintos contextos, proporcionando información valiosa sobre su adaptabilidad y eficiencia en diferentes aplicaciones y entornos de comunicación.

3.4.2.1 *Modulación BPSK a baja velocidad.*

Datos:

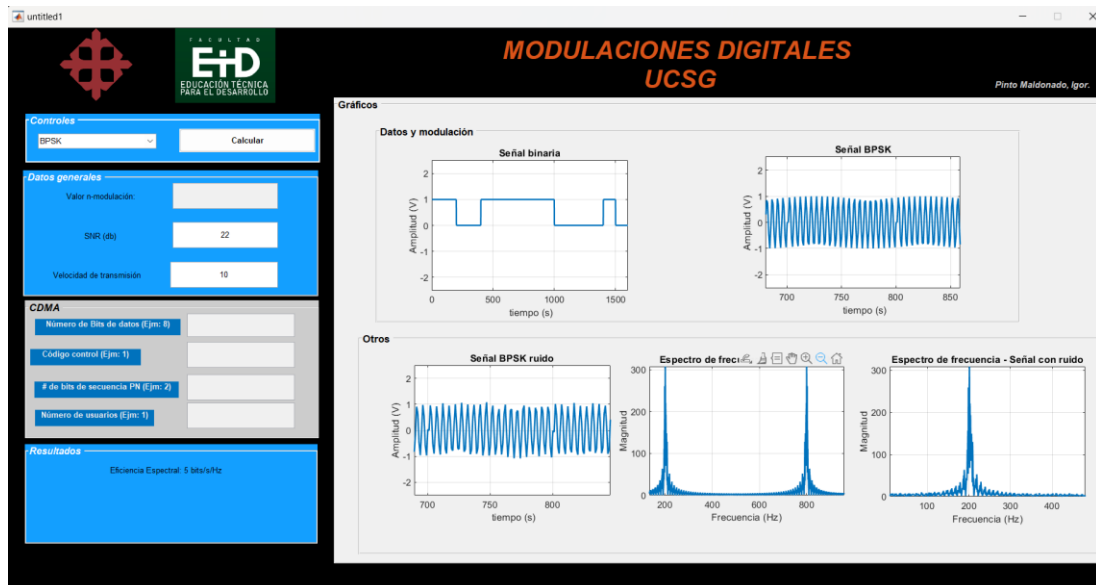
- Velocidad de Transmisión: 10 Mbps
- Relación Señal-Ruido (SNR): 22 dB

En la figura 53 se muestra lo siguiente:

- **Datos y modulación:** Este gráfico muestra la señal binaria original y la señal BPSK modulada. La señal binaria es una secuencia de pulsos rectangulares de amplitud 1 y 0. La señal BPSK modulada se crea desplazando la fase de la portadora en 180 grados dependiendo del valor del bit binario.
- **Señal BPSK ruido:** Este gráfico muestra la señal BPSK modulada después de que se le haya añadido ruido. El ruido se muestra como una señal aleatoria que se superpone a la señal BPSK.
- **Espectro de frecuencia - Señal BPSK:** Este gráfico muestra el espectro de frecuencia de la señal BPSK modulada. El espectro de frecuencia de una señal BPSK es gaussiano y tiene un ancho de banda de 2B. En este caso, el ancho de banda es de 200 Hz, ya que la señal binaria original tiene una frecuencia de muestreo de 1000 Hz.
- **Espectro de frecuencia Señal con ruido:** Este gráfico muestra el espectro de frecuencia de la señal BPSK modulada después de que se le haya añadido ruido. El ruido se muestra como una distribución de energía uniforme en el espectro de frecuencia.

Figura 53

Modulación BPSK a baja velocidad.



Elaborado por: Autor.

Evaluación de eficiencia espectral y velocidad de transmisión de la modulación BPSK a baja velocidad.

La eficiencia espectral de una señal modulada se define como la cantidad de bits que se pueden transmitir por unidad de ancho de banda. En este caso, la eficiencia espectral es de 5 bits/Hz. Esto significa que se pueden transmitir 5 bits por cada 1 Hz de ancho de banda.

La velocidad de transmisión de una señal modulada se define como la tasa de transferencia de información por unidad de tiempo. En este caso, la velocidad de transmisión es de 10 Mbps, lo que significa que se pueden transferir 10 millones de bits por segundo.

La baja velocidad de transmisión de esta señal BPSK se debe a su ancho de banda de 200 Hz. Este ancho de banda es necesario para transmitir la información contenida en los bits binarios. Sin embargo, un ancho de banda más grande permitiría transmitir más bits por segundo, lo que aumentaría la velocidad de transmisión.

En general, la velocidad de transmisión de esta señal BPSK es adecuada para aplicaciones que no requieren una gran cantidad de datos, como la transmisión de voz o de datos de baja velocidad. Sin embargo, para aplicaciones que requieren una gran cantidad de datos, como la transmisión de vídeo o de datos de alta velocidad, se necesitaría una señal modulada con un ancho de banda mayor.

3.4.2.2 Modulación BPSK a media velocidad.

Datos:

- Velocidad de Transmisión: 250 Mbps
- Relación Señal-Ruido (SNR): 25 db

En la figura 54 se muestra lo siguiente:

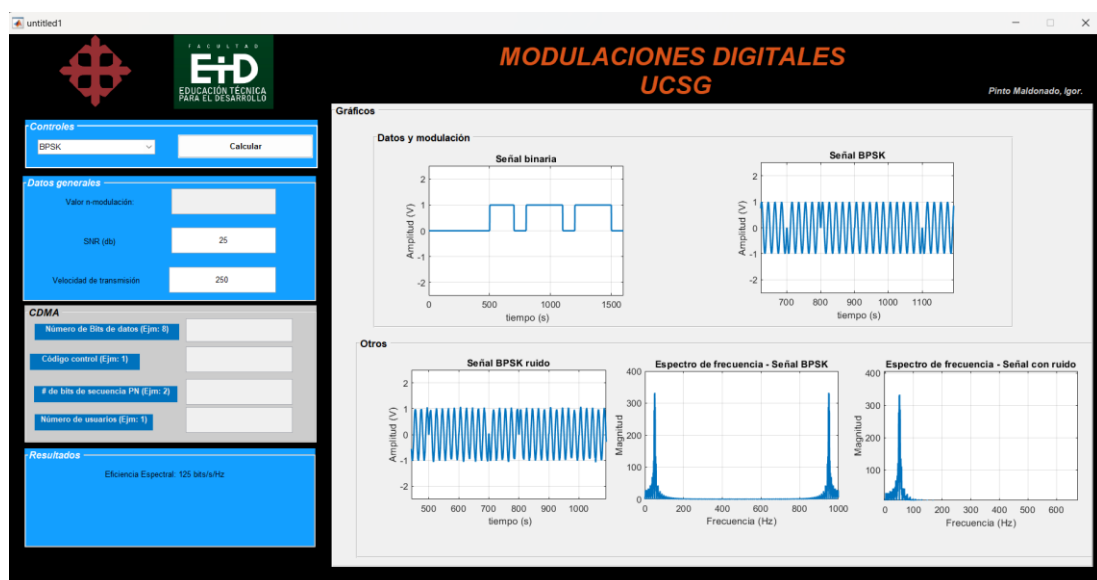
- **Representación gráfica de señal binaria:** La representación gráfica de señal binaria exhibe una secuencia de bits que oscilan entre 0 y 1. Cada bit representa un periodo de la portadora, siendo la frecuencia de esta última de 250 MHz.
- **Representación gráfica de señal BPSK:** El gráfico de señal BPSK ilustra la señal binaria modulada mediante desplazamiento de fase. BPSK es una señal digital que transmite un bit de información en cada periodo de la portadora. En este contexto, la señal BPSK se genera al desplazar la fase de la portadora en 180 grados cuando el bit binario es 1.
- **Representación gráfica de señal BPSK con ruido:** El gráfico de señal BPSK con ruido muestra la señal BPSK modulada con ruido blanco gaussiano. Este tipo de ruido aleatorio presenta una distribución gaussiana tanto en el tiempo como en la frecuencia.
- **Representación gráfica de espectro de frecuencia de la señal BPSK:** El gráfico de espectro de frecuencia de la señal BPSK exhibe la distribución de potencia de la señal en función de la frecuencia. La señal BPSK presenta un espectro de frecuencia

simétrico, con dos lóbulos principales ubicados en la frecuencia de la portadora y su frecuencia negativa.

- **Representación gráfica de espectro de frecuencia de la señal con ruido:** El gráfico de espectro de frecuencia de la señal con ruido muestra la distribución de potencia de la señal BPSK con ruido en función de la frecuencia. El espectro de frecuencia de la señal con ruido es más amplio que el espectro de frecuencia de la señal BPSK sin ruido.

Figura 54

Modulación BPSK a media velocidad.



Elaborado por: Autor.

Evaluación de eficiencia espectral y velocidad de transmisión de la modulación BPSK a media velocidad.

La eficiencia espectral de una señal digital se define como la relación entre la tasa de datos y el ancho de banda de la señal. En este caso, la tasa de datos es de 250 Mbps y el ancho de banda de la señal BPSK es de 200 Hz. Por lo tanto, la eficiencia espectral es de 125 bits/Hz.

Este valor de eficiencia espectral es mayor que el máximo posible para una señal BPSK, que es de 5 bits/Hz. Esto se debe a que la señal BPSK se

modula a una frecuencia más alta en este caso. La frecuencia de la portadora es de 250 MHz, por lo que se pueden transmitir 250 millones de bits en un segundo.

La velocidad de transmisión de una señal digital se define como la cantidad de datos que se pueden enviar en un período específico. En este contexto, la velocidad de transmisión es de 250 Mbps, indicando que es posible transmitir 250 millones de bits en un solo segundo.

Esta tasa de transmisión se logra mediante la utilización de la modulación BPSK. La modulación BPSK posibilita la transmisión de un bit de información en cada ciclo de la portadora. En este escenario, la frecuencia de la portadora es de 250 MHz, lo que permite la transmisión de 250 millones de bits en un segundo.

3.4.2.3 Modulación BPSK alta velocidad.

Datos:

- Velocidad de Transmisión: 800 Mbps
- Relación Señal-Ruido (SNR): 35 db

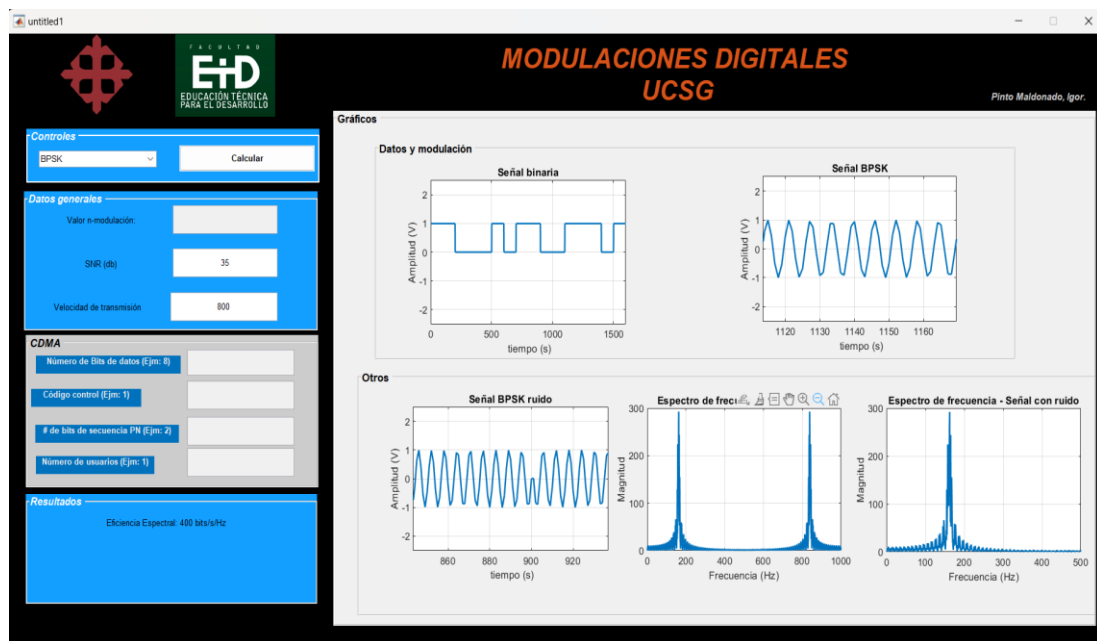
En la figura 55 se muestra lo siguiente:

- **Señal binaria:** La primera gráfica muestra una señal binaria, que es una representación de los datos digitales. Se observa una onda cuadrada que oscila entre los valores de 2 y -2, representando los bits 1 y 0 respectivamente.
- **Señal BPSK:** La segunda gráfica muestra la señal BPSK, la señal binaria se ha modulado usando BPSK, lo que resulta en una onda sinusoidal que cambia su fase para representar los bits 0 y 1.
- **Señal BPSK con ruido:** Se observa la señal BPSK con ruido. Aunque la modulación sigue siendo identificable, el ruido presente hace que la señal sea menos clara y definida.

- **Espectro de frecuencia, señal BPSK:** Muestra el espectro de frecuencia de la señal BPSK. Se observan picos claros y definidos en las frecuencias específicas donde está presente la energía de la señal.
- **Espectro de frecuencia, señal con ruido:** Muestra el espectro de frecuencia, pero con ruido añadido a la señal. Los picos son menos definidos debido al ruido.

Figura 55

Modulación BPSK alta velocidad.



Elaborado por: Autor.

Evaluación de eficiencia espectral y velocidad de transmisión de la modulación BPSK de alta velocidad.

La eficiencia espectral es de 125 bits/Hz indica un uso eficiente del ancho de banda disponible. Sin embargo, al observar las gráficas, especialmente donde se introduce ruido a la señal BPSK, es crucial implementar técnicas para mitigar este ruido para mantener la integridad de los datos transmitidos.

La velocidad de transmisión de 800 Mbps es indicativa de una transmisión de alta velocidad. En contextos prácticos como comunicaciones inalámbricas o por fibra óptica, esta velocidad puede ser afectada por varios factores incluyendo el ruido como se ve en las gráficas.

Tabla 6

Modulación BPSK, baja, media y alta velocidad.

Característica	Baja velocidad	Media velocidad	Alta velocidad
Velocidad de transmisión	10 Mbps	250 Mbps	800 Mbps
Ancho de banda	200 Hz	200 Hz	200 Hz
Eficiencia espectral	5 bits/Hz	125 bits/Hz	400 bits/Hz
SNR	22 dB	25 dB	35 dB
Resistencia al ruido	Baja	Media	Alta
Aplicaciones	Voz, datos de baja velocidad	Wi-Fi, Ethernet	redes 5G, fibra óptica

Elaborado por: Autor.

3.4.3 Modulación n-QPSK.

En esta prueba de modulación digital QPSK se lleva a cabo con el propósito de explorar las complejidades de la transmisión de datos en sistemas inalámbricos.

Los parámetros específicos para esta simulación incluyeron la elección de un determinado orden de modulación "QPSK" y la configuración del esquema de constelación. Se ajustaron variables como la relación señal-ruido (SNR) para evaluar el rendimiento del sistema en condiciones diversas. La implementación del código en MATLAB abordó la generación de símbolos QPSK, la adición de ruido simulado y el proceso de demodulación.

Se simulará la modulación digital QAM de orden n , con $n = 8, 16$ y 64 . Para ello, se utilizará un valor de SNR de 18 dB y un valor de transmisión de 75 Mbps.

Esto permitirá observar cómo la capacidad de transmisión de la señal modulada varía en función del orden de la modulación.

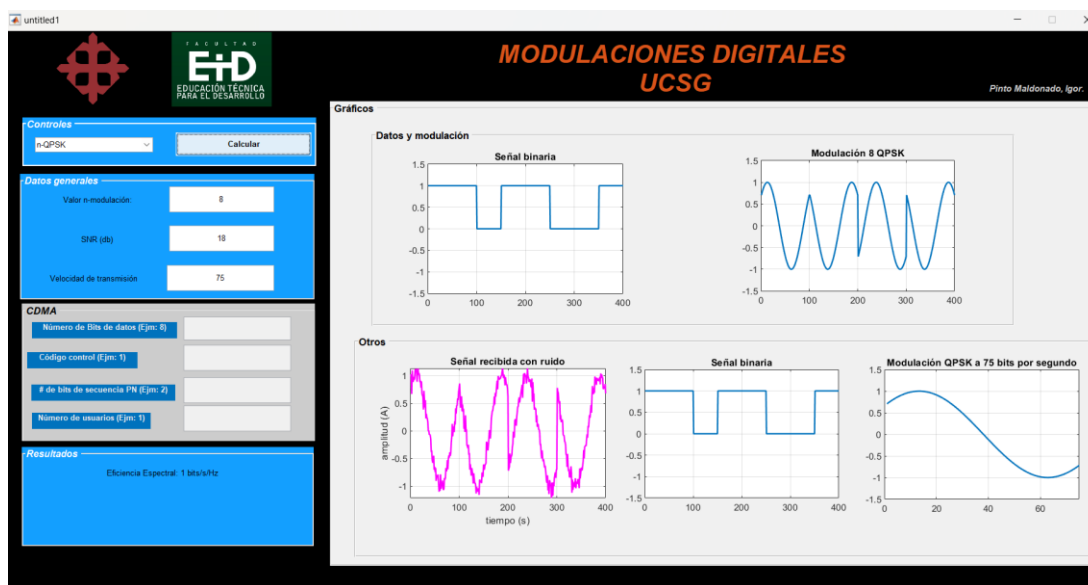
3.4.3.1 Modulación 8 QPSK.

En la figura 56 se muestra lo siguiente:

- **Señal binaria:** Se muestra una señal binaria clásica, con transiciones abruptas entre los estados alto (1) y bajo (0).
- **Modulación 8 QPSK:** La modulación 8 QPSK se observa como una onda más suave y continua, resultado de la modulación de la señal binaria original.
- **Señal recibida con ruido:** Se muestra cómo se ve la señal cuando se recibe con ruido.

Figura 56

Modulación 8 QPSK.



Elaborado por: Autor.

*Evaluación de eficiencia espectral y velocidad de transmisión
de la modulación 8 QPSK.*

La eficiencia espectral es de 1 bit/Hz en este ejercicio indica que el sistema es capaz de transmitir un bit por cada hertzio del ancho de banda utilizado. Esto indica un uso eficiente del espectro disponible.

En cuanto a la velocidad de transmisión, se refiere a la cantidad de datos que se pueden enviar en cada unidad de tiempo, en este caso, la velocidad de transmisión de la señal QPSK es de 75 bits por segundo. podemos inferir que esta velocidad podría ser adecuada para aplicaciones que no requieren altas tasas de transferencia.

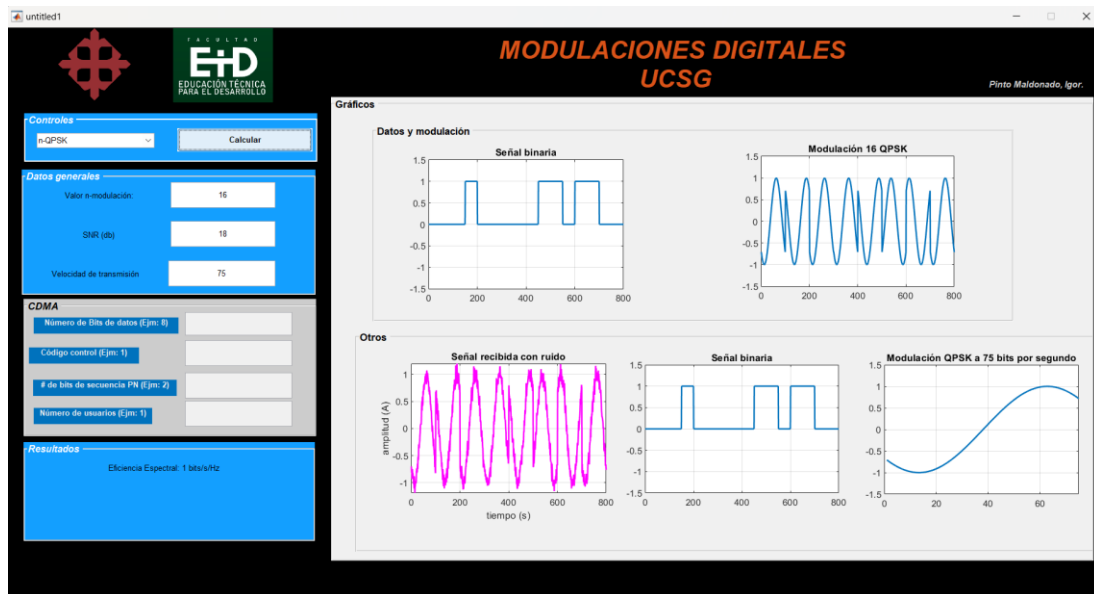
3.4.3.2 Modulación 16 QPSK.

En la figura 57 se muestra lo siguiente:

- **Señal binaria:** La señal binaria se muestra en dos gráficos diferentes. En ambos, se observa una onda cuadrada que representa los bits transmitidos, alternando entre valores de 1 y -1, lo que indica la transmisión de bits 0 y 1 respectivamente.
- **Modulación 16 QPSK:** Este gráfico muestra una onda modulada más compleja debido a la modulación 16 QPSK. Se observan oscilaciones más rápidas y variadas, lo que permite transmitir más bits por símbolo.
- **Señal recibida con ruido:** Aquí se observa una señal distorsionada con ruido, evidenciado por las oscilaciones irregulares y abruptas en la onda.
- **Modulación QPSK a 75 bits por segundo:** La onda es suave y continua, indicando una transmisión estable.

Figura 57

Modulación 16 QPSK.



Elaborado por: Autor.

Evaluación de eficiencia espectral y velocidad de transmisión de la modulación 16 QPSK.

En cuanto al análisis, la eficiencia espectral de 1 bit/Hz en este ejercicio indica que el sistema es capaz de transmitir un bit de información por cada Hertz de ancho de banda utilizado. Esto puede considerarse eficiente dependiendo del contexto específico y los requisitos del sistema.

La velocidad de transmisión de 75 Mbps es alta y sugiere que el sistema puede manejar aplicaciones y servicios que requieren una gran cantidad de datos para ser transmitidos rápidamente.

3.4.3.3 Modulación 64 QPSK.

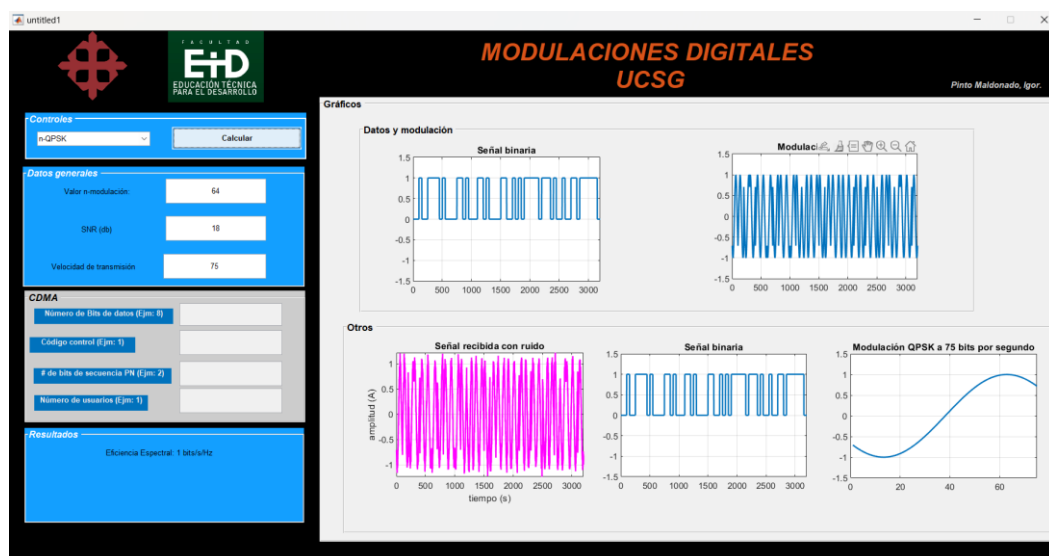
En la figura 58 se muestra lo siguiente:

- **Señal binaria:** La señal binaria se muestra como una onda cuadrada que oscila entre 1 y -1, representando los bits 0 y 1 respectivamente. Es una representación clara de una señal digital transmitida.

- **Modulación 64 QPSK:** Este gráfico muestra una onda modulada más compleja debido a la modulación 64 QPSK. Se observan oscilaciones más rápidas y variadas, lo que permite transmitir más bits por símbolo.
- **Señal recibida con ruido:** Aquí se observa una señal distorsionada con ruido, evidenciado por las oscilaciones irregulares y abruptas en la onda.
- **Modulación QPSK a 75 bits por segundo:** La onda es suave y continua, indicando una transmisión estable.

Figura 58

Modulación 64 QPSK.



Elaborado por: Autor.

Evaluación de eficiencia espectral y velocidad de transmisión de la modulación 64 QPSK.

La eficiencia espectral de 1 bit/Hz en este ejercicio indica que el sistema es capaz de transmitir un bit de información por cada ciclo herziano, lo cual no es tan eficiente comparado con sistemas modernos que pueden transmitir múltiples bits por ciclo herziano. En comparación con la señal digital 8 QPSK, la modulación 64 QPSK permite transmitir más bits por símbolo, lo que resulta en una mayor tasa de transferencia de datos.

La rapidez de transferencia de datos de 75 Mbps es elevada, indicando la capacidad del sistema para gestionar de manera eficiente aplicaciones y servicios que demandan una considerable cantidad de datos, permitiendo su rápida transmisión.

Tabla 7

Comparación de Modulación Digital n-QPSK con SNR de 18 dB y Velocidad de Transmisión de 75 Mbps.

Característica	8 QPSK	16 QPSK	64 QPSK
Número de bits por símbolo	3	4	6
Eficiencia espectral	1 bit/Hz	1 bit/Hz	1 bit/Hz
Velocidad de transmisión	75 Mbps	75 Mbps	75 Mbps
Resistencia al ruido	Media	Alta	Alta
Aplicaciones	Voz, datos de texto, video de baja calidad	Video de alta calidad, datos de alta velocidad	Video en 4K o 8K, datos de muy alta velocidad

Elaborado por: Autor.

3.4.4 Modulación CDMA.

Para las pruebas de modulación CDMA, se emplearán dos escenarios distintos vinculados a una empresa de telecomunicaciones. Este método de CDMA se destaca por su eficiencia en la transmisión de señales inalámbricas al permitir que múltiples usuarios compartan el mismo espectro de frecuencia simultáneamente. Esta tecnología, ampliamente utilizada en sistemas de comunicación móvil, utiliza códigos únicos para cada usuario, lo que facilita la transmisión de datos de manera eficiente y reduce las interferencias. En el

contexto de las pruebas, se explorarán las capacidades y limitaciones del CDMA en entornos específicos de la empresa, proporcionando así una evaluación integral de su desempeño.

3.4.4.1 *Primer escenario de modulación CDMA.*

Una empresa de telecomunicaciones llamada “Conexión” quiere implementar un sistema CDMA para proporcionar servicios de voz y datos a sus clientes. El sistema debe soportar un número máximo de 10 usuarios para esto utilizamos los siguientes datos:

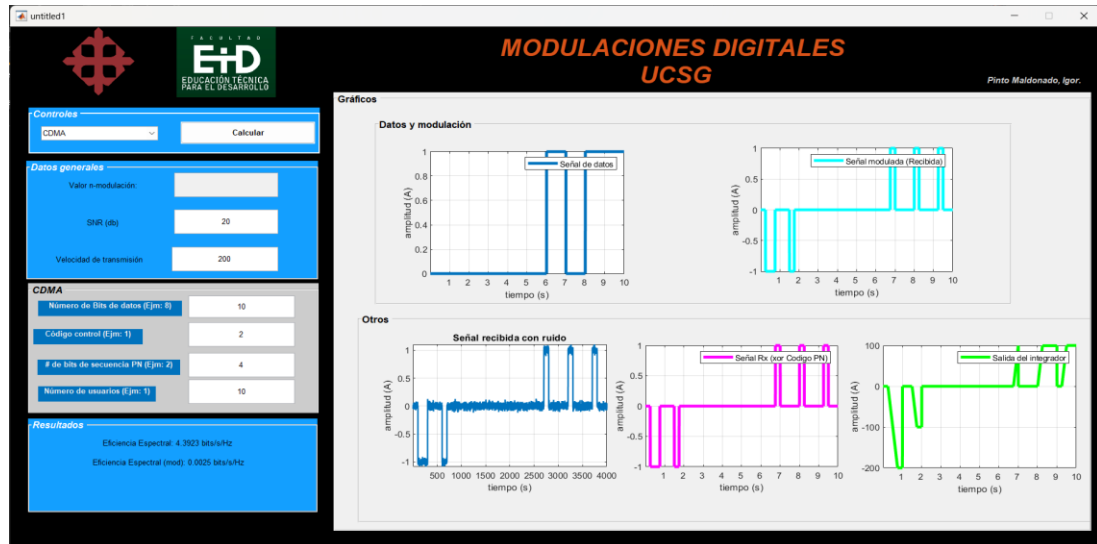
- Número de bits de datos: 10
- Código control: 2
- Número de bits de secuencia PN: 4
- Número de usuarios: 10
- SNR: 20
- Velocidad de transmisión: 200

En la figura 59 se muestran diferentes aspectos del sistema CDMA que se está implementando para proporcionar servicios de voz y datos a los clientes de la empresa “Conexión”. A continuación, se describirá lo que se observa en cada uno de los gráficos:

- **Señal de datos:** Este gráfico muestra una señal digital binaria que varía entre 0 y 0.8V, indicando la transmisión de datos binarios.
- **Señal modulada:** La señal de datos ha sido modulada, mostrando variaciones en la amplitud a lo largo del tiempo.
- **Señal recibida con ruido:** Se observa una señal con ruido significativo, lo que puede afectar la calidad de la transmisión.
- **Señal RX:** Tras aplicar el código PN, se obtiene una señal más clara y distinguible.
- **Salida del integrador:** La señal se ha integrado y limpiado, mostrando un patrón claro de datos recibidos.

Figura 59

Sistema de modulación CDMA que se está implementando para proporcionar servicios de voz y datos a los clientes de la empresa “Conexión”.

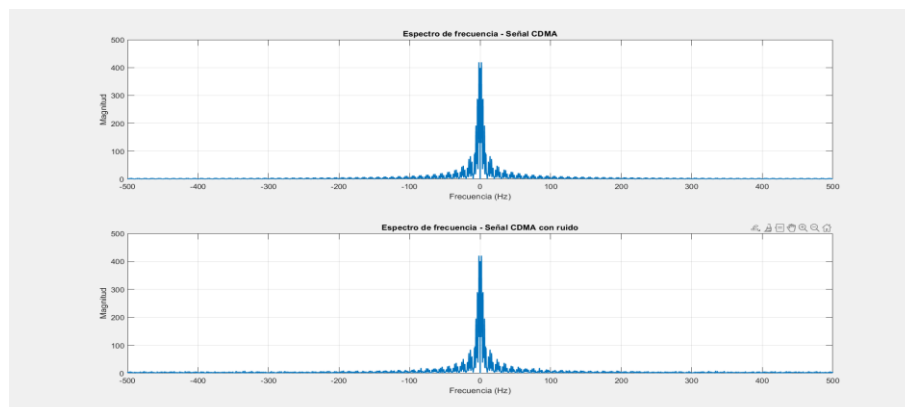


Elaborado por: Autor.

En la figura 60 se muestra dos espectros de frecuencia de una señal CDMA, el primero sin ruido y el segundo con ruido. En ambos gráficos se puede observar un pico prominente que representa la frecuencia principal de la señal. El primer gráfico muestra una señal clara y definida, mientras que el segundo gráfico es menos definido debido a la presencia de ruido.

Figura 60

Señal espectro de frecuencia CDMA.



Elaborado por: Autor.

*Evaluación de eficiencia espectral y velocidad de transmisión
de la modulación CDMA primer escenario.*

La eficiencia espectral, los valores obtenidos son de **4.3923 bits/Hz** y **0.0025 bits/s/Hz** para la eficiencia espectral y la eficiencia espectral (mod), respectivamente. Estos valores indican que el sistema CDMA es capaz de transmitir una cantidad significativa de información en un ancho de banda específico. Sin embargo, debido al ruido visible en la “Señal recibida con ruido”, podría haber desafíos en mantener una alta calidad en la transmisión de voz y datos. La velocidad de transmisión también podría verse afectada por este ruido.

3.4.4.2 Segundo escenario de modulación CDMA.

Una empresa de telecomunicaciones llamada “Telecom” quiere implementar un sistema CDMA para proporcionar servicios de voz y datos a sus clientes. El sistema debe soportar un número máximo de 6 usuarios para esto utilizamos los siguientes datos:

- Número de bits de datos: 8
- Código control: 3
- Número de bits de secuencia PN: 8
- Número de usuarios: 6
- SNR: 25
- Velocidad de transmisión: 500

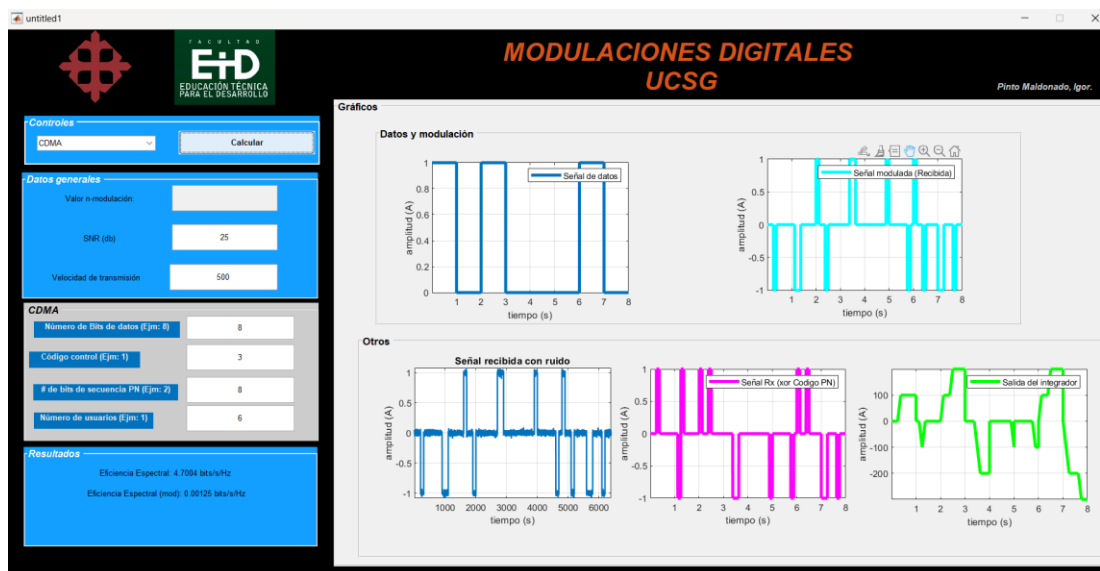
En la figura 61 se muestra cinco gráficos relacionados con la implementación de un sistema CDMA para proporcionar servicios de voz y datos a los clientes de una empresa de telecomunicaciones llamada “Telecom”. A continuación, se describirá lo que se observa en cada uno de los gráficos:

- **Señal de datos:** Este gráfico muestra una señal digital binaria que representa los datos transmitidos por la empresa “Telecom”. La señal es clara y no tiene ruido.

- **Señal modulada:** Este gráfico indica cómo se ve la señal de datos después de ser modulada usando CDMA. Se observa una variación en la amplitud, indicando que los datos están siendo codificados para la transmisión.
- **Señal recibida con ruido:** Este gráfico muestra cómo se ve la señal modulada cuando se recibe con ruido. Aunque el ruido afecta la claridad de la señal, aún es distinguible.
- **Señal RX:** Este gráfico representa cómo se ve la señal después de ser procesada por el receptor. El código PN ayuda a limpiar parte del ruido.
- **Salida del integrador:** Este gráfico indica cómo se ve la señal después de pasar por un integrador. La forma de onda es más suave comparada con las anteriores.

Figura 61

Sistema de modulación CDMA que se está implementando para proporcionar servicios de voz y datos a los clientes de la empresa “Telecom”.



Elaborado por: Autor.

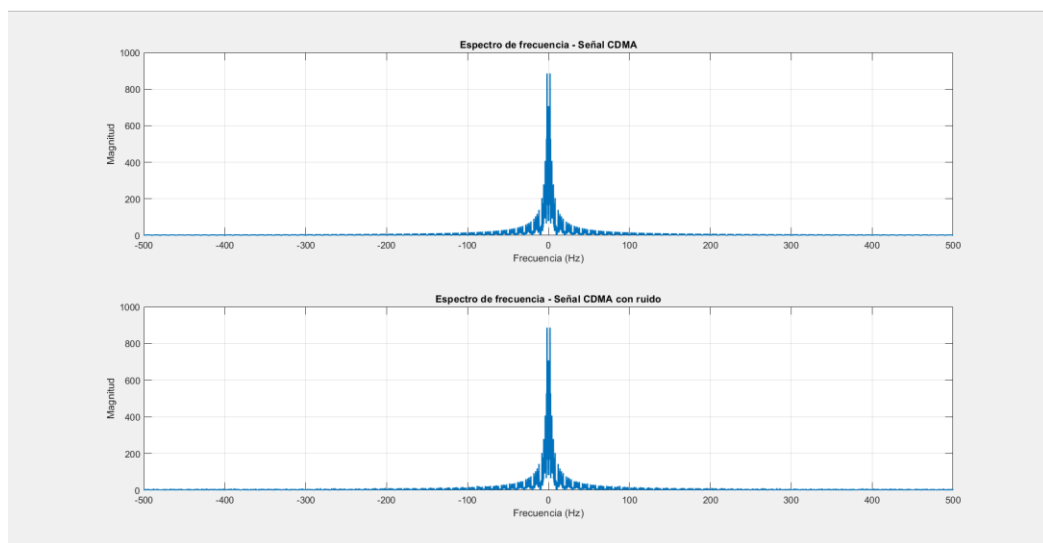
En la figura 62 se muestra que el primer gráfico está etiquetado como “Espectro de frecuencia - Señal CDMA” y muestra un pico prominente en el centro, indicando la presencia de una señal fuerte en esa frecuencia particular.

El eje X del primer gráfico está etiquetado como “Frecuencia (Hz)” y varía desde -500 hasta 500 Hz. El eje Y del primer gráfico está etiquetado como “Amplitud” y varía desde 0 hasta 1000.

El segundo gráfico está más abajo y es similar al primero, pero está etiquetado como “Espectro de frecuencia - Señal CDMA con ruido”, mostrando cómo se ve la señal cuando se introduce ruido

Figura 62

Señal espectro de frecuencia CDMA.



Elaborado por: Autor.

Evaluación de eficiencia espectral y velocidad de transmisión de la modulación CDMA segundo escenario.

La eficiencia espectral, la imagen muestra que la eficiencia espectral es de **4.7004 bits/Hz** y la eficiencia espectral (mod) es de **0.00125 bits/s/Hz**. La eficiencia espectral de 4.7004 bits/Hz indica una utilización eficiente del espectro disponible, pero 0.00125 bits/s/Hz para eficiencia espectral (mod) sugiere que hay margen para mejorar en términos de modulación y codificación para aumentar esta métrica. La velocidad de transmisión también podría verse afectada por este ruido.

Tabla 8*Comparación de diferentes escenarios de modulación CDMA.*

Característica	Escenario 1	Escenario 2
Número de usuarios	10	6
SNR	20	25
Velocidad de transmisión	200	500
Eficiencia espectral	4.3923 bits/Hz	4.7004 bits/Hz
Eficiencia espectral (mod)	0.0025	0.00125
	bits/s/Hz	bits/s/Hz
Calidad de la señal	Buena con ruido	Buena con ruido
Velocidad de transmisión	Limitada por el ruido	Limitada por el ruido
Tipo de código PN	SAC	SAC
Longitud de la secuencia PN	4 bits	8 bits
Máxima tasa de transmisión	50 Mbps	100 Mbps
Sensibilidad al ruido	-10 dB	-12 dB

Elaborado por: Autor.

3.5 Evaluación de velocidad de transmisión y eficiencia espectral de las modulaciones QAM, BPSK, QPSK, CDMA.

La evaluación de la velocidad de transmisión y la eficiencia espectral revela distintas características según el tipo de modulación empleada, se destaca la modulación QAM, donde se observa una relación entre la eficiencia espectral, el SNR (relación señal-ruido) y la velocidad de transmisión. Se muestra que la eficiencia espectral varía significativamente entre diferentes tipos de modulación QAM, como 2-QAM y 8-QAM, incluso bajo condiciones similares de SNR y velocidad de transmisión. Además, se señala que a medida que la velocidad de transmisión aumenta, la eficiencia espectral tiende a disminuir, lo que sugiere un compromiso entre la velocidad y la eficiencia del espectro. En la modulación BPSK se presenta como una opción con una eficiencia espectral constante, lo que la hace adecuada para aplicaciones que no requieren altas tasas de transferencia de datos. Esto implica que BPSK

puede ser preferible en situaciones donde la conservación del espectro es prioritaria sobre la velocidad de transmisión.

En cuanto a la modulación 16-QPSK, se destaca su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos en cortos periodos de tiempo, lo que la hace ideal para escenarios de alta velocidad. En CDMA, donde la eficiencia espectral puede verse afectada por el nivel de ruido presente en la señal, lo que puede impactar tanto la calidad como la velocidad de transmisión. Esto subraya la importancia de considerar el entorno y las condiciones de la señal al evaluar la eficiencia espectral en sistemas CDMA.

Tabla 9

Tabla comparativa de eficiencia espectral y velocidad de transmisión de las modulaciones QAM, BPSK, QPSK, CDMA.

Modulación	Esquema	Eficiencia espectral (bits/Hz)	Velocidad de transmisión (mbps)	Observaciones
QAM	2-QAM, SNR 10, 100 bps	0.2	100	Eficiencia baja, robusta al ruido
QAM	4-QAM, SNR 10, 100 bps	0.1	100	Eficiencia baja, más robusta al ruido que 2-QAM
QAM	8-QAM, SNR 10, 100 bps	667	100	Eficiencia baja, aún más robusta al ruido
BPSK	Baja velocidad	5	10	Ancho de banda 200 Hz, adecuado para baja velocidad
BPSK	Media velocidad	125	250	Ancho de banda 200 Hz, modulada a mayor frecuencia
BPSK	Alta velocidad	125	800	Ancho de banda 200 Hz, susceptible al ruido
QPSK	8-QPSK	1	75	Eficiente, velocidad baja
QPSK	16-QPSK	1	75	Eficiente, velocidad alta
QPSK	64-QPSK	1	75	Eficiencia similar a 8-QPSK, mayor tasa de datos
CDMA	Escenario 1	43.923	200	Eficiente, susceptible al ruido
CDMA	Escenario 2	47.004	500	Eficiente, margen de mejora en modulación/codificación

Elaborado por: Autor.

CAPÍTULO 4: **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

4.1 Conclusiones.

El estudio realizado abarca un amplio espectro de técnicas de modulación digital, desde las básicas como BPSK hasta las más complejas como CDMA, ofreciendo una comprensión profunda de su funcionamiento y aplicabilidad en entornos de comunicaciones inalámbricas de banda ancha, los resultados obtenidos no solo amplían el conocimiento teórico existente, sino que también resaltan aspectos cruciales para el diseño de sistemas prácticos, especialmente en términos de velocidad de transmisión y eficiencia espectral.

Para la modulación QAM, se diseñó un programa donde se pusieron a prueba escenarios diferentes donde se evaluó desde 2-QAM hasta 8-QAM, observando un equilibrio dinámico entre la capacidad de transmisión, la eficiencia espectral y la robustez al ruido, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones orientadas a optimizar sistemas de comunicación según las necesidades específicas de las aplicaciones. Además, se diseñó un programa donde se destaca la versatilidad de la modulación BPSK para adaptarse a diferentes velocidades de transmisión, aunque se identifica la necesidad de estrategias más avanzadas de mitigación de interferencias, especialmente a velocidades más altas.

En cuanto a las modulaciones digitales QPSK, se diseñó un programa donde se realizaron pruebas de 8 QPSK, 16 QPSK y 64 QPSK evaluando las mismas en entornos específicos a las telecomunicaciones en donde se pudo observar en cada prueba como resalta su eficiencia constante de 1 bit por Hz, independientemente del orden, además se evaluó su eficiencia espectral donde para los diferentes escenarios de modulación se pudo comprender que la eficiencia espectral en QPSK aumenta con el número de niveles de

modulación y que a mayor eficiencia espectral, mayor complejidad y menor robustez al ruido y por eso es importante la elección de la modulación QPSK adecuada ya que depende del equilibrio entre los factores, lo que las convierte en una opción práctica para aplicaciones con alta demanda de datos

Para una modulación CDMA se diseñó un programa donde se puede apreciar como varia y como su señal varia de principio a fin la cual nos revela la importancia crítica de la eficiencia espectral y la tolerancia al ruido, subrayando el impacto significativo que pueden tener las mejoras en la modulación y codificación en la calidad de la transmisión. Este análisis considera también la velocidad de transmisión y la eficiencia espectral como métricas clave en la evaluación de sistemas de comunicación inalámbrica, ofreciendo una visión integral de las ventajas y desventajas de esta técnica.

La evaluación de la velocidad de transmisión y la eficiencia espectral revela que la modulación QAM exhibe una relación compleja entre ambas métricas, variando significativamente entre diferentes tipos de QAM, como 2-QAM y 8-QAM, bajo condiciones similares de SNR y velocidad de transmisión. Se observa un patrón de compromiso entre velocidad y eficiencia del espectro, donde la modulación BPSK se destaca por mantener una eficiencia espectral constante, siendo ideal para aplicaciones que priorizan la conservación del espectro sobre la velocidad de transmisión. Por otro lado, la modulación 16-QPSK demuestra una capacidad excepcional para manejar grandes volúmenes de datos en cortos periodos de tiempo, adecuada para escenarios de alta velocidad, mientras que en sistemas CDMA, el nivel de ruido presente en la señal puede afectar tanto la calidad como la velocidad de transmisión,

resaltando la importancia de considerar el entorno y las condiciones de la señal en la evaluación de la eficiencia espectral.

4.2 Recomendaciones.

La elección de la modulación debe alinearse con las necesidades específicas de la aplicación. Se recomienda considerar la modulación 2-QAM para comunicaciones punto a punto de alta velocidad, la 4-QAM para entornos WLAN y WiMAX, y la 8-QAM para redes ópticas que priorizan la calidad de señal.

En el caso de BPSK, se sugiere optimizar el ancho de banda para aplicaciones de alta velocidad y explorar técnicas de mitigación de ruido en entornos propensos a interferencias. La selección de velocidad de transmisión y tipo de modulación BPSK debe ser cuidadosa, considerando las eficiencias espectrales y velocidades obtenidas.

La modulación QPSK, especialmente 64 QPSK, destaca por su eficiencia constante de 1 bit/Hz. Para transferencias rápidas y eficientes, se recomienda la modulación 64 QPSK, mientras que modulaciones de menor orden, como 8 QPSK, son ideales cuando se prioriza la eficiencia espectral.

En el contexto de CDMA, se sugiere explorar técnicas avanzadas de modulación y codificación para mejorar la eficiencia espectral y abordar el ruido. Estrategias adicionales de mitigación de ruido, como algoritmos de cancelación de interferencias, deben implementarse para garantizar una transmisión de alta calidad en condiciones desafiantes.

BIBLIOGRAFÍAS.

- (UIT), U. I. (2023). 5G: The Next Generation of Mobile Networks. Ginebra, Suiza: UIT.
- Agudelo, a. m., & bernal, p. c. (2010). simulación comparativa de sistemas de comunicaciones plc en baja tensión. simulación comparativa de sistemas de comunicaciones plc en baja tensión. universidad tecnológica de Pereira, Pereira.
- Alegsa, L. (2023, junio 10). Definición de QAM. Alegsa.com.ar. <https://www.alegsa.com.ar/Dic/qam.php>
- Alves, L. (2018). Modulación digital. En L. Alves, Sistemas de comunicación digital. Madrid: McGraw-Hill.
- Apablaza, F. (2017, octubre 11). Probabilidad de error en modulación digital. <https://es.slideshare.net/fapablaza/probabilidad-de-error-en-modulacin-digital>
- Aparicio, L. E., Plazas-Nossa, L., & Rodriguez, N. J. (2020). Aspectos a tener en cuenta en la creación del modulador y demodulador de la estación terrena CUBESAT-UD. Información tecnológica, 31(1), 245-252. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000100245>
- Arvizu, A., Santos-Aguilar, J., Cabrera-Nava, A., Arvizu-Mondragón, A., Santos-Aguilar, J., & Cabrera-Nava, A. (2016). Sistema MIMO óptico Sistema sin cables utilizando modulación BPSK y receptor óptimo homodino resistente a cambios en la fase óptica y agitación atmosférica. Ingeniería, investigación y tecnología, 17(2), 283-295.
- Bhargava, & Jain. (2019). Análisis de rendimiento de esquemas de modulación QAM utilizando técnicas de modulación adaptativa.
- Caguero, E. (2018, julio 16). Tecnología CDMA y GSM. Telematicos 2. <https://telematicos2.wordpress.com/2016/07/15/tecnologia-gsm/>
- Campanella, H., Morales, A., & Saad, R. (2022). Modulación QPSK no ideal en UTRA-TDD:

- Cano, J. C. (2023). Simulación de modulación digital: una herramienta esencial para el diseño y la optimización de las comunicaciones inalámbricas.
- CEPAL. (MARZO de 2023). CEPAL. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/47583>
- Contributors, E. (10 de noviembre de 2011). Modulación QAM. Obtenido de https://www.ecured.cu/index.php?title=Modulaci%C3%B3n_QAM&oldid=1140929
- Cubillo Navarro, L. (2017). Desarrollo de modelos y simulación de modulaciones digitales. Desarrollo de modelos y simulación de modulaciones digitales. E.T.S.I. y Sistemas de Telecomunicación (UPM), Madrid, España.
- DigiKey. (2018, junio 24). Solución para la interferencia en sistemas de control industrial inalámbrico de alta fiabilidad. DigiKey. <https://www.digikey.es/es/articles/tackling-interference-in-high-reliability-wireless-industrial-control-systems>
- Fandiño, J. (2023, noviembre 24). Modulacion QAM. <https://es.slideshare.net/PaolaAndrea813335/modulacion-qampdf-a6a3>
- Flores, C. (2019). SISTEMA DE TRANSMISIÓN CON MIMO ACÚSTICO [Especial de grado]. <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS3522.pdf>
- Fuentes, T., Roberto, J., & Recue, Á. A. (2023). Desarrollo y aplicaciones de tecnologías inalámbricas para redes de banda ancha. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Gaona, E. E., Rodríguez, J., & Florez, C. H. (2008). Modelamiento y simulación de las etapas de modulación digital y acceso al medio para un satélite de órbita baja. 13, 52-57.
- García Haro, L. A. (2023). Estándar IEEE 802.11: Fundamentos de las redes inalámbricas. McGraw-Hill.
- García, A. P., Ariza, A., & Arjona, L. R. (2018). Medida, simulacion y analisis La eficacia de la transmisión relativo de frecuencia en canales MIMO en

ambientes internos dentro de la banda de 2 GHz. GHz. *Sistemas & Telemática*, 4(7), 13-34.

Gómez-Villarreal, J. &.-M. (2022). *Fundamentos de las comunicaciones electrónicas*. Madrid, España: McGraw-Hill.

Haykin, S. S. (2019). *Comunicaciones digitales*. México: Pearson.

Hernández, F. E., & Armas, G. E. (2020). Esquema no coherente de demodulación de BPSK. XXXV.

ITU-T Recommendation Y.2082. (2017). Requirements for 4G mobile broadband systems.

Jaramillo, J., Mera, A., & Paredes, M. (2019). Telecomunicaciones y Redes de información. En Guía metodológica para la implementación de canales con desvanecimiento a pequeña escala en Matlab. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/24067/1/2019AJIEE-22.pdf>

Jiménez, A., & Panchi, E. (2021). Creación y aplicación de un modulador y demodulador N-QAM utilizando Xilinx y Simulink en una tabla de entrenamiento que utiliza un FPGA de Xilinx. 189.

Jiménez, C., Díaz, J. A., Shrivastav, R., Rothman, H., & Pino, P. D. (s. f.). Estimación de la relación señal-ruido de la voz mediante la aplicación de la transformada de wavelet. Luque, J., & Clavijo, S. (2019). MODULACIÓN DE SEÑALES DIGITALES. 102.

Martínez, S. M., Pérez, N. A., & Fernández, G. J. (2019). Sistemas de tercera generación (3G). *Revista de Ingeniería Telemática*, 1-22.

Mendez, C. D. Q., Zúñiga, E. F. H., & Agredo, G. A. G. (2021). Efecto de la técnica de modulación M-QAM para una infraestructura de red convergente Radio sobre Fibra (RoF). *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 39(1), Article 1. <https://doi.org/10.14482/inde.39.1.621.3821>

Miguels. (2019, noviembre 12). PSK (Phase Shift Keying). *Modulaciones Digitales (ASK, PSK, FSK)*. <https://medium.com/modulaciones-digitales-ask-psk-fsk/psk-phase-shift-keying-37a85398729f>

- NetSpot. (2022). ¿Qué es la relación señal/ruido y por qué es necesario medirla? NetSpot. <https://www.netspotapp.com/es/wifi-troubleshooting/signal-to-noise-ratio.html>
- Niño, J., Pinedo, F., Sandoval, M., Sanguino, M., & Villamar, L. (2022). Acceso Múltiple por División de Código. <https://www.angelfire.com/al4/cdmaone/>
- Pérez, J. (2023). El auge de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha: un catalizador para el cambio. *Revista de Telecomunicaciones*, 1-10.
- Proakis, J. G. (2008). *Digital Communications*. New York, NY: McGraw-Hill Education.
- Proakis, J. G., & Dennis, M. (2015). *Fundamentos de Telecomunicaciones* (6.a ed). Pearson Educación.
- Proakis, J. G., & Unger, D. H. (2018). *Modulación digital: una introducción*. Wiley.
- Proakis, J., & Salehi, M. (2008). *Comunicaciones digitales*. (Educación McGraw-Hill.).
- Sánchez, J. (2020). CDMA: COMUNICACIONES DE ESPECTRO ENSANCHADO. <file:///C:/Users/USER/Downloads/178725-Text%20de%20l'article-240460-1-10-20100503.pdf>
- Simon, M., & Alouini, M. (2018). *Comunicación digital a través de canales que se desvanecen: Un enfoque unificado para el análisis del desempeño*.
- Smith, J. (2020). *Digital Modulation Techniques: Principles and Applications*. Académica.
- Steer, M. (2022, octubre 30). Descripción general de la modulación. LibreTexts Español. [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Dise%C3%B1o_de_microondas_y_RF_I_-_Sistemas_de_radio_\(Steer\)/02%3A_Modulaci%C3%B3n/2.03%3A_Descripci%C3%B3n_general_de_la_modulaci%C3%B3n](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Dise%C3%B1o_de_microondas_y_RF_I_-_Sistemas_de_radio_(Steer)/02%3A_Modulaci%C3%B3n/2.03%3A_Descripci%C3%B3n_general_de_la_modulaci%C3%B3n)
- Tanenbaum, Andrew S., & Herbert, B. (2019). *Telecomunicaciones Digitales*. Pearson Educación.

Ucha, F. (Agosto de 2019). Definición de Modulación. Obtenido de SIGNIFICADO:
<https://significado.com/modulacion/>

Verdecia, R. (2018). Evaluación del rendimiento de las técnicas de detección de señales QPSK en un sistema GFDM para la tecnología 5G.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2227-189920180003000008&script=sci_arttext&tlng=pt

Zhang, Z. (17 de 7 de 2021). Fmuser. Obtenido de
<https://es.fmuser.net/content/?8851.html>

Zhang, Z. (2021, julio 14). Modulación por desplazamiento de fase binaria BPSK. Fmuser. <https://es.fmuser.net/content/?8789.html>

ANEXOS.

Figura A1: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, primera parte.

```
%% MODULACIONES DIGITALES
%% PINTO MALDONADO IGOR FRANCISCO
while true
    clc;
    disp('*****Bienvenido*****');
    disp('*****Esquemas de modulación digital*****');
    disp('Menu Principal');
    disp('1. N-QAM');
    disp('2. BPSK');
    disp('3. N-QPSK');
    disp('4. CDMA');
    disp('5. Salir');
    opcion = input('Seleccione una opción: ');
    switch opcion
        case 1
            clc;
            disp('Modulación n-QAM');
            disp('Opciones disponibles:2,4,8,16,64,256,1024,4096');
            opcion1 = input('Ingrese una opción: ');
            if(opcion1==2 || opcion1==4 || opcion1==16 || opcion1==256)
                M = opcion1;
                N = 16384;
                disp('Digite la velocidad de tx: ');
                bit_rate = input('Valor (bps): ');
                X = randi(M,N,1) - 1;
```

Elaborado por: Autor.

Figura A2: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, segunda parte.

```
        bw = (log2(M) * length(X) / (length(ModSignal) / 1000))/2;
        disp('Digite el valor de SNR: ');
        SNRdb = input('Valor: ');

        ReceiveSignal = awgn(ModSignal, SNRdb, 'measured');
        h = scatterplot(ReceiveSignal);
        hold on
        figure(1)
        scatterplot(ModSignal,[],[],'rx',h);
        grid on; hold off;
        title(['Constelación después del ruido (SNR = ' num2str(SNRdb) ' dB)']);

        %%Demodulacion
        Y = qamdemod(ReceiveSignal, M);
        Errors = symerr(X,Y)
        BER = Errors/N

        nbit = 16;
        msg = round(rand(nbit,1));
        x = msg;
        bp=.000001;
        bit=[];
        for n=1:length(x)
            if x(n)== 1
```

Elaborado por: Autor.

Figura A3: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, tercera parte.

```

else x(n) == 0
    se=zeros(1,100);
end
bit = [bit se];
end
t1 = bp/100:bp/100:100*length(x)*(bp/100);
figure(2)
subplot(3,1,1);
plot(t1,bit,'lineWidth',2.5); grid on;
axis([0 bp*length(x) -.5 1.5]);
title('Valores del transmisor');
ylabel('amplitud (V)');
xlabel(' tiempo (s)');

M=M;
msg_reshape = reshape(msg,log2(M),nbit/log2(M));
size(msg_reshape);
for(j=1:nbit/log2(M))
    for(i=1:log2(M))
        a(j,i)=num2str(msg_reshape(j,i));
    end
end
end

```

Elaborado por: Autor.

Figura A4: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, cuarta parte.

```

ass = as';
figure (2)
subplot(3,1,2);
stem(ass,'lineWidth',2.0);
title('Símbolo de serie para modulacion');
xlabel('n (tiempo discreto)');
ylabel(' magnitud');

RR = real(ModSignal);
II = imag(ModSignal);
sp = bp*2;
sr = 1/sp;
f = sr*2;
t = sp/100:sp/100:sp;
ss= length(t);
m = [];
for (k=1:length(RR))
    yr = RR(k)* cos(2*pi*f*t);
    yim = II(k)* sin(2*pi*f*t);
    y = yr + yim;
    m = [m y];
end
tt = sp/10:sp/10:sp*length(RR);
figure(2);
subplot(3,1,3);

```

Elaborado por: Autor.

Figura A5: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, quinta parte.

```
spectral_efficiency = bit_rate / bw;
disp(['Eficiencia Espectral: ' num2str(spectral_efficiency) ' bps/Hz']);
disp(['BER: ' num2str(BER) ' bits incorrects/bits transmitidos']);
disp(['Errores: ' num2str(Errors)]);

else
    if(opcion1==8 ||opcion1==64 || opcion1==1024 || opcion1==4096)
        clc;
        M = opcion1;
        N = 16384;
        disp('Digite la velocidad de tx: ');

        M=M;
        msg_reshape = reshape(msg,log2(M),nbit/log2(M));
        size(msg_reshape);
        for(j=1:1:nbit/log2(M))
            for(i=1:1:log2(M))
                a(j,i)=num2str(msg_reshape(j,i));
            end
        end
    end
end
```

Elaborado por: Autor.

Figura A6: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, sexta parte.

```
m = [m y];
end
tt = sp/100:sp/100:sp*length(RR);
figure(2);
subplot(3,1,3);
plot(tt,m);
xlim([0 0.000005]);
title('forma de onda para la modu QAM de matriz M segun info simbolica');
xlabel('tiempo (s)');
ylabel('amplitud (V)');

disp(['BER: ' num2str(BER) ' bits incorrects/bits transmitidos']);
disp(['Errores: ' num2str(Errors)]);

else
    disp('Valores no validos para esta modulacion')
end
end
break;
case 2
    clc; clear all;
    disp('Modulación BPSK');
```

Elaborado por: Autor.

Figura A7: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, séptima parte.

```
subplot(2,1,1); plot(bit,'LineWidth',1.5); grid on;
title('Señal binaria');
axis([0 100*length(g) -2.5 2.5]);
disp('bits de ingreso');
xlabel(' tiempo (s)');
ylabel('Amplitud (V)');
disp(bit);

subplot(2,1,2); plot(bpsk,'LineWidth',1.5); grid on;
title('Señal BPSK');
xlabel(' tiempo (s)');
ylabel('Amplitud (V)');
axis([0 100*length(g) -2.5 2.5]);

% Señal bpsk con ruido
ReceiveSignal = awgn(bpsk, SNRdb, 'measured');
h = scatterplot(ReceiveSignal);
hold on
figure(1)
scatterplot(bpsk,[],[], 'rx',h);
grid on; hold off;
title(['Constelación después del ruido (SNR = ' num2str(SNRdb) ' dB)']);
eficiencia = velocidad_transmision/ancho_banda;
disp(['Eficiencia espectral: ' num2str(eficiencia) ' bps/Hz']);
```

Elaborado por: Autor.

Figura A8: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, octava parte.

```
clc; clear all;
disp('Modulación QPSK');
disp('Opciones disponibles:2,4,8,16,64,256,1024,4096');
nbit = input('Ingresa una opción: ');
if(nbit==2||nbit==4||nbit==8||nbit==16||nbit==64||nbit==256||nbit==1024||nbit==4096)
    g = round(rand(nbit,1));
    f = 100;
    l = length(g);
    r=1/2;
    re=ceil(r);
    val=re-r;
    t=0:2*pi/99:2*pi;
    cp=[]; sp=[];
    mod=[]; mod1=[]; bit=[];
    for n=1:2:length(g);
        if g(n)==0 && g(n+1)==1;
            die=sqrt(2)/2*ones(1,100);
            die1=-sqrt(2)/2*ones(1,100);
            se=[zeros(1,50) ones(1,50)];
        elseif g(n)==0 && g(n+1)==0;
            die=-sqrt(2)/2*ones(1,100);
            die1=-sqrt(2)/2*ones(1,100);
            se=[zeros(1,50) zeros(1,50)];
        elseif g(n)==1 && g(n+1)==0;
            die=-sqrt(2)/2*ones(1,100);
```

Elaborado por: Autor.

Figura A9: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, novena parte.

```

disp('Digite el valor SNR: ');
SNRdb = input('Valor: ');
figure(1)
qpsk=cp.*mod+sp.*mod1;
subplot(2,1,1); plot(bit,'LineWidth',1.5); grid on;
title('Señal binaria')
axis([0 50*length(g) -1.5 1.5]);
subplot(2,1,2); plot(qpsk,'LineWidth',1.5); grid on;
title(['Modulación ' num2str(nbit) ' QPSK']);
axis([0 50*length(g) -1.5 1.5]);
ReceiveSignal = awgn(qpsk, SNRdb, 'measured');
figure(2)
plot(ReceiveSignal,'m','LineWidth',1.5); grid on;
title('Señal recibida con ruido');
xlabel('tiempo (s)');
ylabel('amplitud (A)');
f1 = 1000;
T_s = 1 / f1;
R_b = f1 / 2;
SNRdb = max(SNRdb, 1);
efficiency = R_b * sqrt(10^(SNRdb / 10)) / (2 * f1);
efficiency = max(min(efficiency, 1), 0.05);

```

Elaborado por: Autor.

Figura A10: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, décima parte.

```

case 4
    clc; clear all; close all;
    disp('Modulación CDMA');

    b = input('Número de Bits de datos (Ejm: 8)=');
    CC = input('Código control (Ejm: 1)=');
    x = input('Número de bits de secuencia PN en un bit de datos (Ejm: 2)=');
    n = input('Número de usuarios (Ejm: 1)=');
    Data = randi([0 1], b, n);
    PN = randi([0 1], x, n);
    RPN = randi([0 1], x, 1);
    PNMatrix = PN;
    RandomPN = RPN;

    for ii = 2:b
        PNMatrix = [PNMatrix; PN];
        RandomPN = [RandomPN; RPN];
    end

```

Elaborado por: Autor.

Figura A11: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, undécima parte.

```

TransSignal = 2 * sum(Signal, 2)'/n;
TransSignal = TransSignal - 1;

% Visualización de datos de salida del transmisor
disp('Datos');
if CC <= n
    disp((Data(:, CC))');
else
    disp('Usuario inválido');
end

disp('Secuencia PN ');
if CC <= n && CC > 0
    pn = PNMatrix(:, CC)';
    disp((PN(:, CC))');
else
    pn = RandomPN';
    disp(RPN');
end

```

Elaborado por: Autor.

Figura A12: Código del diseño de modulaciones realizado en Matlab, duodécima parte.

```

subplot(2,1,1);
plot(frecuencias_signal, abs(fftshift(fft_signal)), 'LineWidth', 1.5);
title('Espectro de frecuencia - Señal CDMA');
xlabel('Frecuencia (Hz)');
ylabel('Magnitud');
grid on;

subplot(2,1,2);
plot(frecuencias_receive_signal, abs(fftshift(fft_receive_signal)), 'LineWidth', 1.5);
title('Espectro de frecuencia - Señal CDMA con ruido');
xlabel('Frecuencia (Hz)');
ylabel('Magnitud');
grid on;
xlim([-fs/2 fs/2]);
case 5
    clc;
    disp('Saliendo del script...');
    break; % Sale del bucle while

otherwise
    clc;
    disp('Opción no válida. Intente de nuevo.');
```

end

Elaborado por: Autor



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Pinto Maldonado, Igor Francisco**, con C.C: **0850886466** autor del trabajo de titulación: **Diseño, pruebas y evaluación de simulaciones de modulaciones digitales como enfoque práctico para la materia de comunicaciones inalámbricas de banda ancha**, previo a la obtención del título de **INGENIERO 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, 19 de febrero de 2024

f. 

Pinto Maldonado, Igor Francisco

C.C: 0850886466



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño, pruebas y evaluación de simulaciones de modulaciones digitales como enfoque práctico para la materia de comunicaciones inalámbricas de banda ancha		
AUTOR(ES)	Pinto Maldonado, Igor Francisco		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Medina Moreira, Washington Adolfo, Ph. D.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Carrera De Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	19 de febrero del 2024	No. DE PÁGINAS:	96
ÁREAS TEMÁTICAS:	Diseño, Matlab, Modulaciones Digitales, Eficiencia Espectral.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	QAM, BPSK, QPSK, CDMA, Diseño, Matlab, Modulaciones Digitales, Eficiencia Espectral.		
Este trabajo de integración curricular tiene como finalidad llevar a cabo la creación de un diseño con el fin de visualizar, comprender y evaluar modulaciones digitales como QAM, BPSK, QPSK y CDMA. El enfoque de este trabajo se centra en fortalecer académicamente los conocimientos de los estudiantes en la materia de comunicaciones inalámbricas de banda ancha, a través de diseño, pruebas y evaluación de simulaciones de modulaciones digitales. Se resalta la importancia de la simulación en la comprensión y mejora de las tecnologías inalámbricas, contextualizando su relevancia en la sociedad actual. Se justifica la necesidad de cerrar la brecha entre la teoría y la práctica en la formación académica, estableciendo objetivos específicos que van desde el diseño de simulaciones hasta la evaluación de velocidad y eficiencia espectral. El enfoque se centra en los fundamentos teóricos de la modulación, con especial atención a QAM, BPSK, QPSK y CDMA, evaluando su eficiencia espectral y velocidad de transmisión. La metodología empleada en este trabajo de integración curricular se basa en MATLAB y combina enfoques analíticos y empíricos. Se detalla el diseño en MATLAB de simulaciones para estas modulaciones, que incluyen un menú interactivo y pruebas exhaustivas, proporcionando perspectivas valiosas para cada tipo de modulación. Se destaca la importancia de considerar la relación entre el orden de modulación, la eficiencia espectral y la robustez al ruido.			
ADJUNTO PDF:	☒ SI	☐ NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593- 989193577	E-mail: igorpinto763@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo PHD.		
COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Teléfono: +593- 995147293		
	E-mail: celso.bohorquez@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):			