



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Implementación de escenarios de simulación en sistemas de  
comunicación por satélite utilizando técnicas de modulación PSK**

AUTOR:

Barco Vargas, Henry Fabián

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de  
**MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

16 de Mayo del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Barco Vargas, Henry Fabián** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

---

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

---

Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, a los 16 días del mes de Mayo del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Barco Vargas, Henry Fabián**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación "**Implementación de escenarios de simulación en sistemas de comunicación por satélite utilizando técnicas de modulación PSK**", previa a la obtención del grado Académico de **Magíster 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 científico del trabajo de titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 16 días del mes de Mayo del año 2018

EL AUTOR

---

Barco Vargas, Henry Fabián



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Barco Vargas, Henry Fabián**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación de Maestría titulado: **“Implementación de escenarios de simulación en sistemas de comunicación por satélite utilizando técnicas de modulación PSK”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 días del mes de Mayo del año 2018

EL AUTOR

---

Barco Vargas, Henry Fabián

# REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, a document summary is provided: 'Documento: TT\_Barcos\_MET.docx (D37404616)', 'Presentado: 2018-04-10 06:42 (-05:00)', 'Presentado por: fernandopm23@hotmail.com', 'Recibido: edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com', and 'Mensaje: 2da Revisión de Henry Barco. Mostrar el mensaje completo. 0% de estas 24 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.' On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) panel is visible, showing a table with columns for 'Categoría' and 'Enlace/nombre de archivo'. The table lists several sources, including 'Tesis Adrian Sig Tu Toral.docx' and various DOI and repository URLs. Below the table, there are buttons for 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'. A yellow warning box at the bottom right indicates '1 Advertencias'.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN  
TELECOMUNICACIONES

TEMA: Implementación de escenarios de simulación en  
sistemas de comunicación por satélite utilizando  
técnicas de modulación PSK

AUTOR: Barco Vargas, Henry Fabián

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado  
Académico de Magíster en Telecomunicaciones

TUTOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar este trabajo y esfuerzo logrado a mis seres queridos que día a día comparten conmigo los beneficios y adversidades que nos brinda la vida.

A mis padres (Wilson Barco y Teresa Vargas) porque sin duda alguna son los únicos que siempre estarán allí apoyándome sea cual sea la situación por la cual este pasando.

A mi esposa Mónica Ponce que es aquella que vive el día a día conmigo compartiendo los buenos y malos momentos pero siempre juntos.

A mí mismo porque para mí fue un reto meterme a esta gran aventura y poder demostrarme una vez más que todo lo que se hace con esfuerzo y dedicación al final del camino trae sus recompensas.

Un agradecimiento especial al resto de mi familia hermanos, suegros, cuñados, etc., que me brindaron su apoyo ya sea de una u otra forma empujándome a culminar este proyecto.

## **Agradecimientos**

Primeramente quisiera dar gracias a la vida por brindarme la salud necesaria para poder cumplir la realización de mi tema de tesis.

A la Universidad Católica Santiago de Guayaquil por el conocimiento repartido por todos sus docentes en las aulas clases durante estos dos largos años de aprendizaje.

A esa gran inversión que es la biblioteca virtual de la cual nos beneficiamos muchísimos los maestrantes y que me ayudo sin duda en la realización de mi tema de tesis.

Quisiera agradecer también a mi tutor de tesis el MSc. Edwin Palacios por todas las dudas aclaradas y la guía que fue durante la realización de mi trabajo de tesis.

A nuestro Director de Maestría MSc. Manuel Romero que siempre nos ayudó en estos años de la maestría con sus consejos, su aporte, sobre todo a mí con su paciencia al esperarme para poder completar el financiamiento de mis estudios.

A mis compañeros y demás personas que estuvieron ahí para ayudarme a la realización de mi trabajo final. (Javier Coello, David Villalva, Antonio Castillo y demás compañeros).



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**

TUTOR

f. \_\_\_\_\_

**ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS**

DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. \_\_\_\_\_

**BOHORQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO**

REVISOR

f. \_\_\_\_\_

**CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO**

REVISOR

## ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras .....	XI
Índice de Tablas.....	XIV
Resumen.....	XV
Abstract .....	XVI
Capítulo 1: Generalidad del trabajo complejo.....	17
1.1.  Introducción.....	17
1.2.  Antecedentes .....	18
1.3.  Definición del problema a investigar.....	19
1.4.  Justificación del problema. ....	20
1.5.  Objetivos de la investigación.....	20
1.5.1.  Objetivo General.....	20
1.5.2.  Objetivos específicos.....	20
1.6.  Hipótesis de la investigación. ....	20
1.7.  Metodología de la investigación utilizada.....	20
Capítulo 2: Fundamentos teóricos. ....	22
2.1.  Introducción de sistemas de comunicación digital. ....	22
2.2.  Técnicas de modulación digital .....	23
2.2.1.  Modulación BPSK.....	23
2.2.1.1.  Definiciones de la señal BPSK. ....	25
2.2.1.2.  Análisis del ancho de banda.....	26
2.2.1.3.  Tasa de error de bits (BER).....	26
2.2.2.  Modulación QPSK. ....	27
2.2.2.1.  Definiciones de señal QPSK.....	29
2.2.2.2.  Análisis del ancho de banda.....	30
2.2.2.3.  Tasa de error de bits (BER).....	31
2.3.  Historia de las comunicaciones por satélite.....	32
2.4.  Espectro de frecuencias en comunicaciones por satélite.....	35
2.5.  Bloque básico de sistemas de comunicación por satélite .....	35

Capítulo 3: Simulación y evaluación de resultados.....	37
3.1. Descripción del modelado de la comunicación satelital. ....	37
3.2. Diseño de la simulación comparativa de técnicas de modulación en comunicaciones por satélite. ....	38
3.2.1. Bloque del transmisor satelital. ....	38
3.2.2. Bloque de la línea de transmisión.....	39
3.2.3. Bloque receptor de la estación terrena. ....	39
3.3. Evaluación del rendimiento del sistema. ....	41
3.4. Resultados obtenidos del sistema utilizando ruido de fase y amplificador lineal. ....	42
3.4.1. Resultados para la modulación 8-PSK. ....	42
3.4.2. Resultados para la modulación 16-PSK. ....	43
3.4.3. Resultados para la modulación 32-PSK. ....	45
3.4.4. Resultados para la modulación QPSK.....	47
3.4.5. Resultados para la modulación OQPSK.....	49
3.5. Resultados obtenidos del sistema utilizando un alto nivel de ruido de fase y amplificador lineal.....	51
3.5.1. Resultados para la modulación 8-PSK. ....	51
3.5.2. Resultados para las modulaciones 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK.....	53
3.6. Resultados obtenidos del sistema utilizando un alto nivel de ruido de fase y amplificador no lineal. ....	55
3.6.1. Resultados para la modulación 8-PSK. ....	55
3.5.3. Resultados para las modulaciones 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK.....	57
3.7. Análisis de resultados obtenidos.....	59
Conclusiones .....	63
Recomendaciones .....	64
Bibliografía.....	65

## Índice de Figuras

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Diagrama de bloques del transmisor con modulación por desplazamiento de fase binaria. ....	23
Figura 2. 2: Visualización de las señales de entrada y salida en el Tx BPSK. ....	24
Figura 2. 3: Representaciones gráficas de los diagramas de (a) fase y (b) constelaciones, y (c) tabla de verdad para la modulación digital BPSK.....	24
Figura 2. 4: Representación gráfica en el diagrama de constelación para BPSK. ....	26
Figura 2. 5: Diagrama de bloques del transmisor con modulación por desplazamiento de fase cuaternaria. ....	27
Figura 2. 6: Generación de señales QPSK a partir de dos señales BPSK. .	28
Figura 2. 7: Representaciones gráficas de los diagramas de (a) fase y (b) constelaciones, y (c) tabla de verdad para la modulación digital QPSK. ....	29
Figura 2. 8: Diagrama de bloques para examinar el ancho de banda.....	30
Figura 2. 9: Bosquejo de la idea utilizar las comunicaciones por satélite. ...	32
Figura 2. 10: Primer satélite de comunicaciones Sputnik. ....	32
Figura 2. 11: Esquema de la comunicación satelital con una estación terrena. ....	36

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: Diagrama de bloques del sistema de transmisión satelital. ....	39
Figura 3. 2: Diagrama de bloques de la línea de transmisión. ....	39
Figura 3. 3: Diagrama de bloques de la estación terrena .....	40
Figura 3. 4: Diagrama de constelación para el transmisor 8-PSK.....	42
Figura 3. 5: Diagrama de constelación para el receptor 8-PSK .....	43
Figura 3. 6: Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 8-PSK. ....	43
Figura 3. 7: Diagrama de constelación para el transmisor 16-PSK.....	44
Figura 3. 8: Diagrama de constelación para el receptor 16-PSK .....	44

Figura 3. 9: Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 16-PSK. .....	45
Figura 3. 10: Diagrama de constelación para el transmisor 32-PSK.....	45
Figura 3. 11: Diagrama de constelación para el receptor 32-PSK .....	46
Figura 3. 12: Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 32- PSK.....	46
Figura 3. 13: Diagrama de constelación para el transmisor QPSK .....	47
Figura 3. 14: Diagrama de constelación para el receptor QPSK.....	48
Figura 3. 15: Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación QPSK. .....	48
Figura 3. 16: Diagrama de constelación para el transmisor OQPSK .....	49
Figura 3. 17: Diagrama de constelación para el receptor OQPSK.....	50
Figura 3. 15: Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación QPSK. .....	50
Figura 3. 19: Diagrama de constelación para el transmisor 8-PSK que utiliza ruido de fase alto. ....	52
Figura 3. 20: Diagrama de constelación para el receptor 8-PSK que utiliza ruido de fase alto y un amplificador lineal. ....	52
Figura 3. 21: Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 8-PSK utilizando ruido de fase alto y un amplificador lineal. ....	53
Figura 3. 22: Diagrama de constelación para el receptor 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK. ....	54
Figura 3. 23: Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 16- PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK utilizando ruido de fase alto y un amplificador lineal. ....	55
Figura 3. 24: Diagrama de constelación para el receptor 8-PSK que utiliza ruido de fase alto y un amplificador no lineal. ....	56
Figura 3. 25: Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 8-PSK utilizando ruido de fase alto y un amplificador no lineal. ....	56
Figura 3. 26: Diagrama de constelación para el receptor 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK. ....	57

Figura 3. 27: Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK utilizando ruido de fase alto y un amplificador no lineal. ....	58
Figura 3. 28: Comparación del rendimiento de un sistema que utiliza un ruido de fase y un amplificador de potencia lineal .....	60
Figura 3. 29: Comparación del rendimiento de un sistema que utiliza un nivel alto de ruido de fase y un amplificador de potencia lineal.....	61
Figura 3. 30: Comparación del rendimiento de un sistema que utiliza un nivel alto de ruido de fase y un amplificador de potencia no lineal.....	62

## Índice de Tablas

### Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Relación de entrada/salida en la modulación BPSK. ....	24
Tabla 2. 2: Relación de entrada/salida en la modulación QPSK. ....	28
Tabla 2. 3: Frecuencias utilizadas en las comunicaciones satelitales. ....	35

### Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación del sistema de comunicación satelital. .....	38
Tabla 3. 2: Características del sistema satelital. ....	41
Tabla 3. 3: Valores BER para el modelado del sistema sin ruido. ....	51
Tabla 3. 4: Valores BER para el modelado del sistema con ruido de fase alto y amplificación lineal. ....	54
Tabla 3. 5: Valores BER para el modelado del sistema con ruido de fase alto y amplificación no lineal. ....	58

## Resumen

El desarrollo del presente documento del examen complejo denominado Implementación de escenarios de simulación en sistemas de comunicación por satélite utilizando técnicas de modulación por desplazamiento de fase (PSK). En el primer capítulo, se describen las generalidades del presente proyecto de titulación, tales como, antecedentes del problema a investigar, definición del problema de investigación, justificación, objetivos (generales y específicos), hipótesis y los tipos de metodologías de investigación. En el segundo capítulo, se describen las bases fundamentales de las técnicas de modulación por desplazamiento de fase y de los sistemas de comunicación por satélite. En el tercer capítulo, se realiza el diseño y evaluación de los resultados obtenidos de los escenarios de simulación del modelado de un sistema de comunicación por satélite empleando las técnicas de modulación PSK a través de la plataforma Simulink de Matlab aprovechando el uso de la herramienta Bertool se determina el comportamiento del sistema de red modelado.

**Palabras clave:**Modulación, transmisor, receptor, satélite, PSK, M-PSK

## **Abstract**

The development of the present document of the complex examination called Implementation of simulation scenarios in satellite communication systems using phase shift modulation (PSK) techniques. In the first chapter, the generalities of the present titling project are described, such as, antecedents of the problem to be investigated, definition of the research problem, justification, objectives (general and specific), hypothesis and the types of research methodologies. In the second chapter, the fundamental bases of the techniques of modulation by phase displacement and satellite communication systems are described. In the third chapter, the design and evaluation of the results of the simulation scenarios modeling a system of satellite communication is performed using modulation techniques PSK through the Simulink platform of Matlab taking advantage of the use of Bertool tool the behavior of the modeled network system is determined.

**Keywords:** Modulation, transmitter, receiver, satellite, PSK, M-PSK

## Capítulo 1: Generalidad del trabajo complejo.

### 1.1. Introducción.

Durante los últimos 50 años o más, los satélites se han utilizado para proporcionar una variedad de servicios de voz, datos, navegación y video. Las comunicaciones por satélite están mejor adaptadas para algunos servicios que para otros. Cuando se utiliza para entregar servicios de video, se puede transmitir una sola señal de video a millones de ubicaciones y no se requiere capacidad satelital adicional a medida que se agregan más clientes. Con el tráfico bidireccional interactivo, como los servicios de voz y datos de banda ancha, surgen complicaciones debido a las limitaciones innatas a los sistemas de comunicación por satélite. Estas complicaciones incluyen lo siguiente:

- **Alta latencia:** los satélites más comunes utilizados para la entrega de servicios de banda ancha fijos, los satélites geoestacionarios, se encuentran a más de 22000 millas por encima del ecuador. Debido a esta distancia de la tierra, las aplicaciones de voz y banda ancha tienen una latencia que excede los estándares de la industria y es más de 20 veces la latencia de las comunicaciones fijas típicas.
- **Limitaciones de capacidad:** la banda ancha satelital utiliza una cantidad limitada de espectro compartido por todos los usuarios de satélites. A medida que se agregan más clientes o si los clientes existentes comienzan a utilizar más capacidad, el agotamiento de la capacidad del satélite puede convertirse en un problema importante.
- **Impactos ambientales:** las comunicaciones por satélite no son confiables bajo ciertas condiciones ambientales. Las frecuencias utilizadas por los sistemas de satélite son susceptibles a interrupciones durante las condiciones de lluvia intensa, hielo o nieve. Además, se producen cortes de luz solar dos veces al año durante muchos días seguidos, y cada uno puede durar 15 minutos o más.

De acuerdo a (Y. Wang & Guo, 2017) En los últimos años, las comunicaciones confiables en entornos de alta movilidad han atraído considerables atenciones. Las comunicaciones actuales están diseñadas

principalmente para entornos de movilidad baja y media, y serán limitadas en entornos de alta movilidad.

Mientras que Valenta, Davies, Ayllon, Seyfarth, & Angeletti, (2018) indican que los servicios de comunicaciones por satélite están evolucionando para satisfacer las crecientes demandas de altas tasas de datos, capacidad y disponibilidad en un área flexible. Para dar cabida a la demanda, están surgiendo sistemas satelitales de banda Ka con antenas activas de haces múltiples. En la actualidad, los conceptos de antena de haces múltiples radiales directas pueden ofrecer una cobertura punto a punto o haz de luz múltiple al emplear una gran cantidad de elementos radiantes activos que pueden dirigir cientos de haces múltiples hacia zonas geográficas dedicadas.

Proporcionar un medio de comunicación global y confiable, al tiempo que habilita las puertas de enlace locales o las reemplaza juntas si es necesario, ha captado la atención de grupos que trabajan en ubicaciones remotas, posicionando la comunicación satelital como un jugador fundamental en redes robustas en escenarios de múltiples vehículos.(Guerra, Ferreira, Costa, Nodar-López, & Aguado Agelet, 2018)

## **1.2. Antecedentes**

En la búsqueda de trabajos relacionados al empleo de las comunicaciones por satélites, se encontraron trabajos de publicados en revistas, congresos y tesis. A continuación, se describen brevemente los trabajos que utilizan en sus investigaciones a las comunicaciones satelitales:

- El trabajo publicado por Zhen et al., (2018) abordó el diseño y detección del preámbulo de acceso aleatorio(*Random Access, RA*) para sistemas móviles de comunicación por satélite. De acuerdo con las características del entorno satelital, presentaron un nuevo método de diseño de preámbulo basado en una estructura de preámbulo universal y los nuevos principios de selección de parámetros. Mediante el uso del preámbulo propuesto, también investigaron un enfoque de detección de temporización rápido y eficaz a partir de los

aspectos de cálculo del perfil de retardo de potencia (*PowerDelayProfile, PDP*), búsqueda de picos y estimación de avance de tiempo (*Time Advance, TA*).

- El trabajo publicado por X. Wang & Qi, (2017) abordó el desarrollo del algoritmo para modelar el canal MIMO de doble polarización en comunicaciones terrestres móviles por satélite. Investigaron exhaustivamente casi todos los factores, incluida la correlación temporal y de polarización, sin línea de vista (*Line-Of-Sight, LOS*) sombreado, efecto multitrayecto, discriminación por polarización cruzada (*Cross-Polar Discrimination, XPD*) de antenas, acoplamiento de polarización cruzada (*Cross-Polar Coupling, XPC*) de entornos, ángulo de elevación, entornos de usuario y cambio de frecuencia Doppler. Los resultados de simulación demostraron que, en comparación con el sistema SISO LMS, el sistema MIMO LMS logró una mejora significativa al medir con una capacidad de corte del 1%.
- El trabajo publicado por (Bo et al., 2017) abordó el cálculo de la señal primaria en sistemas de comunicación por satélite cognitivo. La radio cognitiva (*Cognitive Radio, CR*) fue propuesta para mejorar la eficiencia espectral y satisfacer crecientes demandas de mayores velocidades de datos en comunicaciones móviles y satelitales. Propusieron un algoritmo de estimación ciega para que un usuario secundario calcule los parámetros de transmisión de la señal primaria en un sistema de superposición OFDM, utilizando solo el componente de transformada rápida de Fourier (FFT) disponible del usuario secundario. El algoritmo no requiere ningún conocimiento a priori de la señal primaria o del ruido ambiental. Los resultados de la simulación mostraron que el algoritmo supera a los métodos existentes de estimación ciega, especialmente en regiones con baja relación señal-ruido (SNR).

### **1.3. Definición del problema a investigar.**

Necesidad de realizar escenarios de simulación en el modelado de comunicaciones satelitales utilizando las técnicas de modulación por desplazamiento de fase.

#### **1.4. Justificación del problema.**

El modelado de sistemas de comunicaciones digitales permite la evaluación del rendimiento o de nuevas propuestas de algoritmos que mejoren la calidad de transmisión en comunicaciones satelitales a través de la implementación de escenarios de simulación en sistemas de comunicación por satélite utilizando técnicas de modulación PSK

#### **1.5. Objetivos de la investigación.**

##### **1.5.1. Objetivo General.**

Realizar la implementación de escenarios de simulación en sistemas de comunicación por satélite utilizando técnicas de modulación PSK

##### **1.5.2. Objetivos específicos.**

1. Describir los fundamentos teóricos de los sistemas de modulación digital por desplazamiento de fase y las bases teóricas de la comunicación por satélite.
2. Desarrollar escenarios de simulación de una estación terrena para el modelado de la comunicación por satélite con diferentes parámetros.
3. Analizar los resultados obtenidos de los escenarios de simulación de un sistema de comunicación por satélite con varios ordenes de la modulación por desplazamiento de fase.

#### **1.6. Hipótesis de la investigación.**

El propósito de la implementación de escenarios de simulación en sistemas de comunicación por satélite utilizando técnicas de modulación PSK permitirá ver el comportamiento del sistema utilizando diversos parámetros que incidan en la transmisión de datos.

#### **1.7. Metodología de la investigación utilizada.**

Existen diversas formas de investigación a través de las cuales podemos clasificarlo en diferentes categorías.

- a) Sobre la base de la naturaleza de la información: se puede clasificar la investigación en dos tipos:

- i) Investigación cualitativa: cuando la información se presenta en forma de datos cualitativos.
  - ii) Investigación cuantitativa: cuando la información se presenta en forma de datos cuantitativos.
- b) Sobre la base de la utilidad del contenido o la naturaleza del tema de investigación: se puede categorizar la investigación en dos categorías, que son:
  - i) Investigación básica, fundamental, pura o teórica: su utilidad es universal.
  - ii) Investigación experimental o aplicada: su utilidad es limitada.
- c) Sobre la base del enfoque de la investigación: se puede clasificar la investigación en dos categorías diferentes:
  - i) Investigación longitudinal: ejemplos de esta categoría son históricos, estudios de caso e investigación genética.
  - ii) Investigación transversal: ejemplos de esta categoría son Experimental y Survey Research.
- d) Sobre la base del método de investigación: se puede clasificar una investigación en cinco categorías diferentes.
  - i) Investigación filosófica: es de naturaleza puramente cualitativa y nos centramos en la visión de los demás sobre el contenido de la investigación.
  - ii) Investigación histórica: es de naturaleza tanto cualitativa como cuantitativa y trata de eventos pasados.
  - iii) Investigación de encuestas: se trata de eventos actuales y es de naturaleza cuantitativa. Se puede subdividir en; tipo de investigación discrecional, correlacional y exploratoria.
  - iv) Investigación experimental: esta es de naturaleza puramente cuantitativa y trata sobre eventos futuros.
  - v) Investigación de caso-estudio: se trata de eventos inusuales. Puede ser de naturaleza cualitativa y cuantitativa dependiendo del contenido.

## **Capítulo 2: Fundamentos teóricos.**

Aquí se describen los fundamentos teóricos de las técnicas de modulaciones digitales y de las comunicaciones por satélites.

### **2.1. Introducción de sistemas de comunicación digital.**

Los sistemas de comunicación digital constan de tres partes: información (banda base), entorno de transmisión y operador. La información puede ser digital o analógica. La señal analógica es una señal continua con valores máximos y mínimos. Por ejemplo, la amplitud de la señal de audio es una señal analógica que varía dentro de un cierto rango. La señal digital es una forma muestreada y redimensionada de las señales analógicas. Una vez que la señal analógica se muestrea y cambia de tamaño, cada nivel se convierte en un número binario.

El propósito de los sistemas de comunicación es garantizar que la señal de mensaje proveniente de una fuente de información se transmita de forma que el usuario objetivo pueda entender. Con este fin, el sistema de transmisión convierte el mensaje de señalización en una forma adecuada para la transmisión a través del canal de comunicación. Esta conversión se llama modulación.

Con la modulación, la señal de información se transmite en la señal de la portadora para la transmisión a las distancias adicionales. En general, las señales sinusoidales de alta frecuencia se usan como señales de portadora. Las características de la señal portadora, como la amplitud, la frecuencia y la fase, varían según el tipo de modulación realizada. Si el cambio de los parámetros de la portadora según la señal de entrada analógica es continuo, esta técnica de modulación se llama modulación analógica. Si el cambio es discreto, se llama modulación digital.

Pero el presente trabajo de examen complejo consiste en describir las técnicas de modulaciones digitales.

## 2.2. Técnicas de modulación digital

En la sección de técnicas de modulación digital, se examinan las técnicas de modulación digital o numérica y se establecen antecedentes teóricos y se hacen algunas inferencias.

### 2.2.1. Modulación BPSK.

La modulación por desplazamiento de fase binaria (BinaryPhaseShiftKeying, BPSK), es la forma más simple de la modulación por desplazamiento de fase (PSK), llamada simplemente BPSK, que es un esquema de modulación donde  $2^N=M$ . Por ejemplo,  $M=2$ , si  $N=1$ , es decir, cuando la señal de entrada digital varía entre 1 y 0, la fase de salida del portador se desliza entre los dos ángulos de  $180^\circ$ . El diagrama de bloques del transmisor BPSK se muestra en la figura 2.1.(Tomasi, 2010)

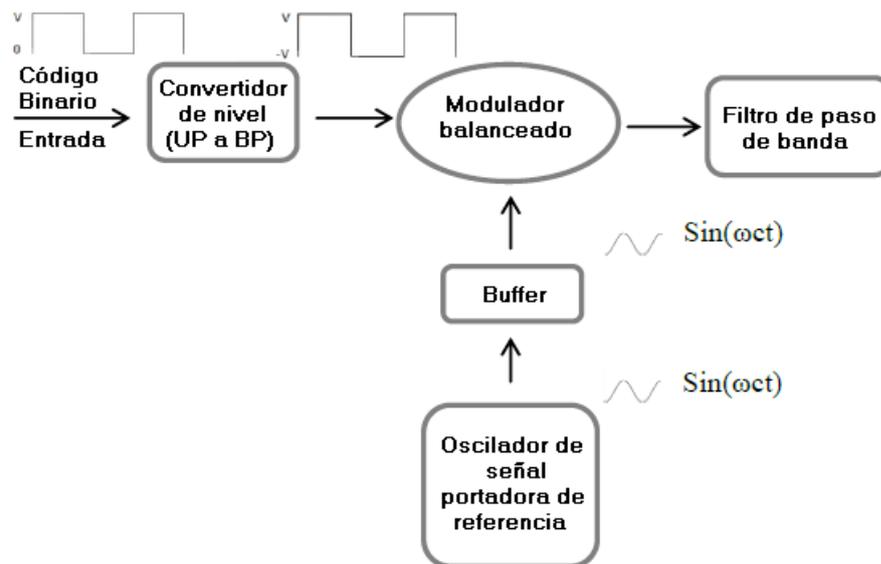


Figura 2. 1:Diagrama de bloques del transmisor con modulación por desplazamiento de fase binaria.

Fuente: (Tomasi, 2010)

Elaborado por: Autor.

En la figura 2.2 se muestran las señales de entrada y salida de la modulación BPSK. La entrada digital lógica "1" produce señales analógicas en un ángulo de fase de  $0^\circ$  en la salida y un ángulo de fase de  $180^\circ$  en la salida si la entrada digital lógica es "0". La señal de entrada varía entre "1" y "0", mientras que la señal de salida varía entre " $0^\circ$ " y " $180^\circ$ ". La modulación BPSK se usa en la comunicación digital, tal como se indica en la tabla 2.1.

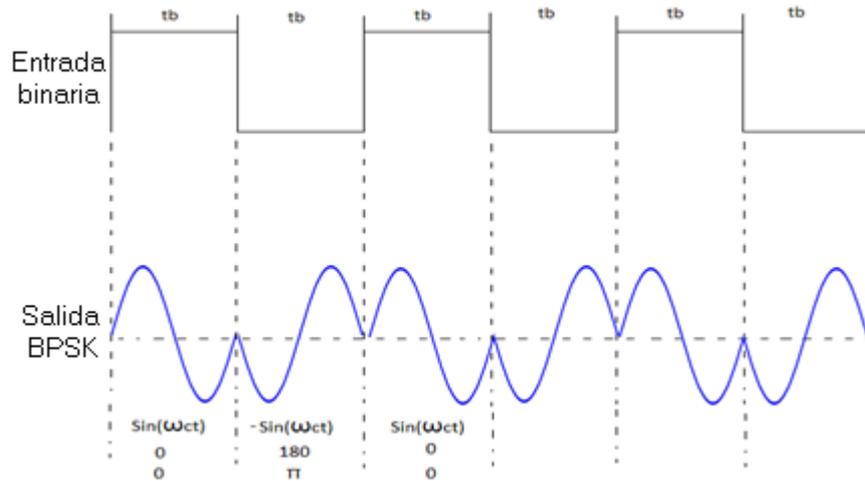


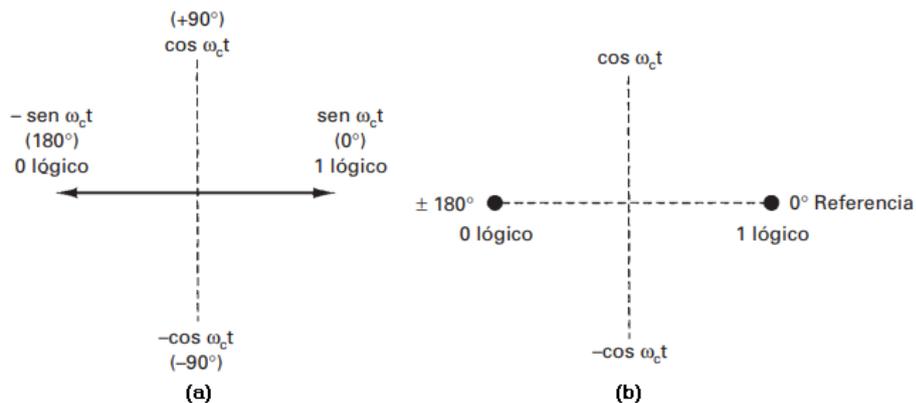
Figura 2. 2: Visualización de las señales de entrada y salida en el Tx BPSK.  
 Fuente: (Tomasi, 2010)  
 Elaborado por: Autor.

Tabla 2. 1: Relación de entrada/salida en la modulación BPSK.

Entrada	Salida
Binaria "0"	-1
Binaria "1"	+1

Elaborado por: Autor

En la figura 2.3 se muestran los diagramas de fase y constelaciones, y la tabla de verdad para la modulación BPSK.



Entrada binaria	Fase de salida
"0" lógico	180°
"1" lógico	0°

(c)

Figura 2. 3: Representaciones gráficas de los diagramas de (a) fase y (b) constelaciones, y (c) tabla de verdad para la modulación digital BPSK.

Fuente: (Tomasi, 2010)  
 Elaborado por: Autor

### 2.2.1.1. Definiciones de la señal BPSK.

En la modulación BPSK, los datos del sistema binario están representados por dos señales en diferentes fases. En general, estas fases son 0 y  $\pi$ . Es por eso por lo que la señal se ve menos afectada por el ruido. Al mismo tiempo, estas señales tienen la misma frecuencia y la misma energía.

$$S_i(t) = \cos(2\pi f_c t + \theta_i) \theta_i = \begin{cases} 0 & b_i = 0 \\ \pi & b_i = 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$S_i(t) = X_i(t) \cos(2\pi f_c t) X_i(t) = \begin{cases} +1 & b_i = 0 \\ -1 & b_i = 1 \end{cases} \quad (2)$$

En las ecuaciones (1) y (2),  $b_i$  denota la entrada del código binario y  $S_i$  denota la señal de entrada del operador. A continuación, la ecuación (3) nos da la fórmula general para la modulación digital BPSK:

$$S_n(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[2\pi f_c t + \pi(1 - n)] \quad (3)$$

Para la modulación BPSK, se obtienen dos ecuaciones diferentes reemplazando para  $n=0$  y  $n=1$  respectivamente en la ecuación (3), que son:

$$S_0(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad (4)$$

$$S_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad (5)$$

$$E_b = \frac{V^2 T_b}{2} \quad (6)$$

Donde,

$V$ , es la amplitud de la señal de entrada del código del sistema binario,

$T_b$ , es el período de la señal de entrada del código del sistema binario,

$E_b$ , es la energía de la señal de entrada del código del sistema binario,

$f_c$ , es la frecuencia de la señal portadora

Para la modulación BPSK, el diagrama de constelaciones se representa por la fórmula en la ecuación (7) y su representación gráfica se muestra en la figura 2.4

$$\varphi(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad (7)$$

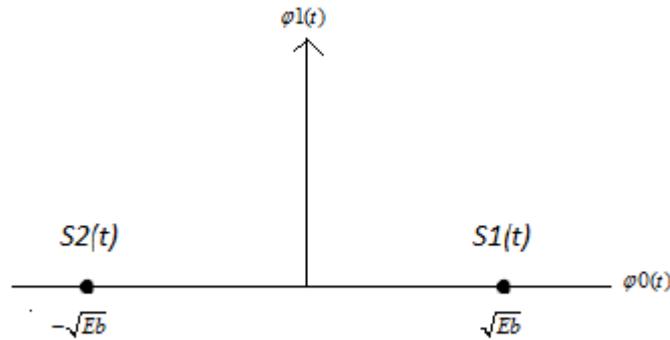


Figura 2. 4: Representación gráfica en el diagrama de constelación para BPSK.  
Fuente: (Kumar & Kumari, 2016)  
Elaborado por: Autor

### 2.2.1.2. Análisis del ancho de banda.

Si la siguiente ecuación (8) se resuelve mediante fórmulas trigonométricas inversas, se observa que el ancho de banda es el mismo que el ancho de banda del prólogo.

$$BPSK_{salida} = [\sin(2\pi f_a t)][\sin(2\pi f_c t)] \quad (8)$$

Donde,

$f_a$ , es la frecuencia fundamental máxima de la entrada del código del sistema binario (Hz),

$f_c$ , es la frecuencia de portadora referencial

### 2.2.1.3. Tasa de error de bits (BER).

La tasa de error de bits (*Bits Error Rate, BER*) de la señal BPSK en un canal AWGN puede calcularse como se indica en la ecuación (9):

$$P_b = Q \sqrt{\frac{2E_b}{N_o}} \quad \text{o} \quad P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \right) \quad (9)$$

### 2.2.2. Modulación QPSK.

La modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (*Quadrature Phase ShiftKeying, QPSK*). QPSK es el formato de modulación digital en el que los valores de  $N=2$ ,  $M= 4$  en la fórmula  $2^N = M$  en el sistema de codificación M-aria. QPSK proporciona 4 salidas diferentes para una sola frecuencia de portadora. Para generar estas 4 fases de salida diferentes, se deben crear 4 estados de entrada diferentes. Para que el modulador QPSK tenga 4 combinaciones de entrada diferentes, la señal de entrada del modulador QPSK debe ser un sistema binario digital.

Hay 4 estados diferentes, "00,01,10,11" con dos bits para ingresar. La entrada de datos del sistema binario a QPSK se llama "dibit" y se procesa en dos grupos de bits. En el modulador, cada código dibit genera una de las cuatro fases de salida posibles ( $+45^\circ$ ,  $+135^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $-135^\circ$ ). Cada uno de los dibits de dos bits está sincronizado con el modulador. Los dos bits de entrada causan un cambio de fase en la salida. El diagrama de bloques del modulador QPSK se muestra en la figura 2.5.

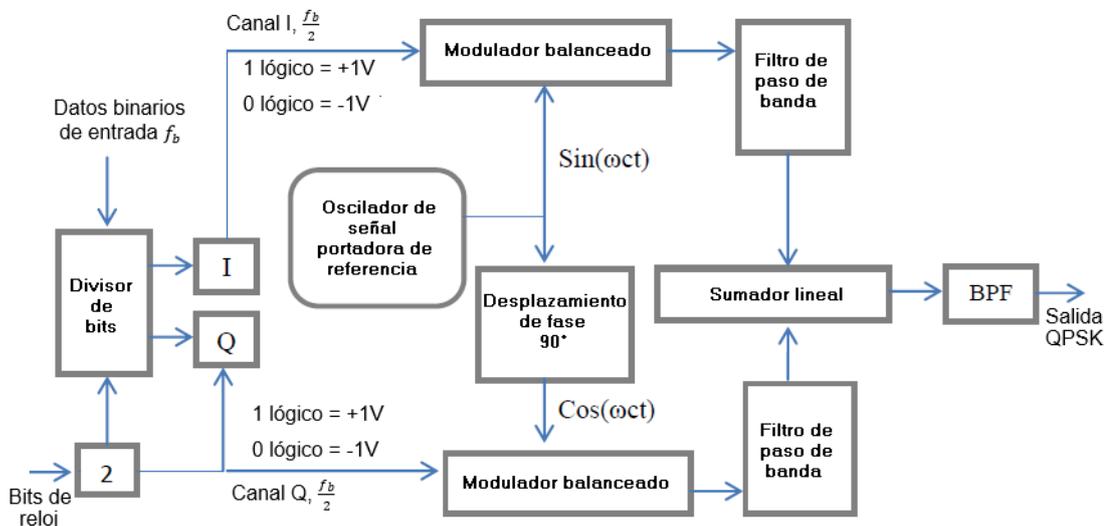


Figura 2. 5:Diagrama de bloques del transmisor con modulación por desplazamiento de fase cuaternaria.

Fuente: (Tomasi, 2010)

Elaborado por: Autor.

En el transmisor QPSK, se envía una señal de entrada de 2 bits al separador de bits. Estos dos bits se transmiten en serie a la entrada, y luego se transmiten en paralelo a la salida. Uno de los bits se dirige al canal I y el

otro al canal Q. El canal I modula el bit en el canal de acuerdo con la fase del oscilador de referencia. En este momento, el canal Q también modula la portadora mediante una rotación de 90° de la fase en forma cuadrática con la portadora de referencia de bits en el canal. El proceso de dividir un bit en canales I y Q se asemeja a la función del modulador BPSK. Un modulador QPSK puede formarse mediante la conexión paralela de dos moduladores BPSK. La figura 2.6 muestra las señales de entrada y salida de la modulación QPSK.

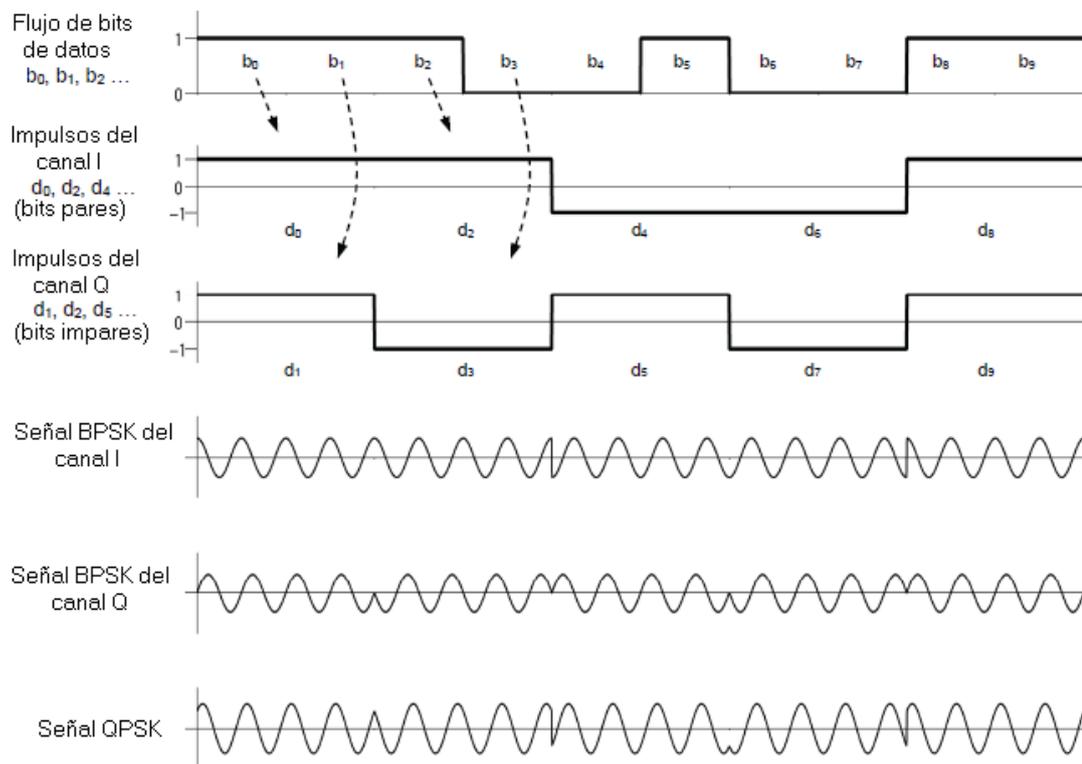


Figura 2. 6: Generación de señales QPSK a partir de dos señales BPSK.  
 Fuente: (Lab-Volt Itée, 2007)

En la tabla 2.2 se muestra la relación de entrada/salida de la modulación QPSK.

Tabla 2. 2: Relación de entrada/salida en la modulación QPSK.

Entrada	Salida QPSK
00	$\frac{(-1-j)}{\sqrt{2}} = 225^\circ$
01	$\frac{(-1+j)}{\sqrt{2}} = 315^\circ$
10	$\frac{(1-j)}{\sqrt{2}} = 135^\circ$
11	$\frac{(1+j)}{\sqrt{2}} = 45^\circ$

Fuente: (Umesharaddy & Sujatha, 2015)

En la figura 2.7 se muestran los diagramas de fase y de constelaciones y su respectiva tabla de verdad.

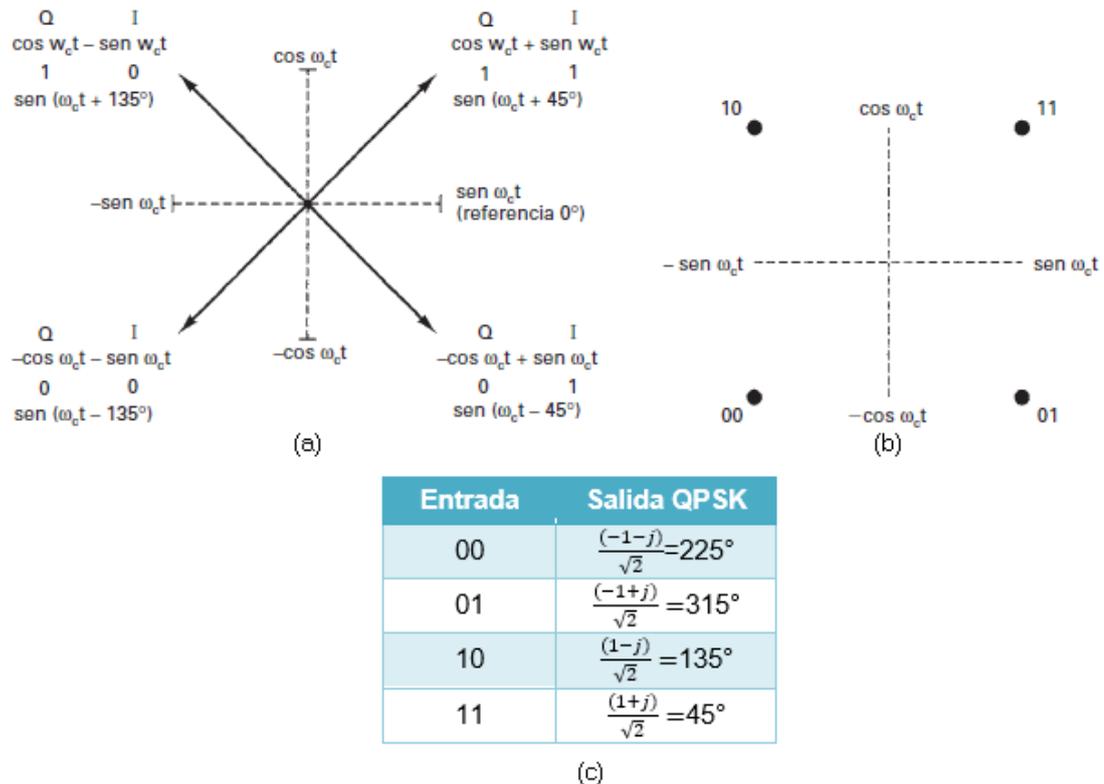


Figura 2. 7: Representaciones gráficas de los diagramas de (a) fase y (b) constelaciones, y (c) tabla de verdad para la modulación digital QPSK.

Fuente: (Tomasi, 2010; Umesharaddy & Sujatha, 2015)

Elaborado por: Autor

### 2.2.2.1. Definiciones de señal QPSK

A continuación, se expresa la forma general de la ecuación del símbolo de la modulación QPSK:

$$S_n(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos \left[ 2\pi f_c t + (2n - 1) \frac{\pi}{4} \right], \quad n = 0, 1, 2, 3 \quad (10)$$

Para los diagramas de constelaciones bidimensionales, la ecuación (10) logra las siguientes ecuaciones (11) que representa a la función que se utiliza para la composición de la fase de la señal, y (12) también es una función de componente cuadrático de la señal.

$$\varphi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi f_c t) \quad (11)$$

$$\varphi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(2\pi f_c t) \quad (12)$$

Con estas funciones, podemos determinar los puntos en el diagrama de constelaciones que se observan en la figura 2.7 (a), y estos puntos son los siguientes:

$$\left( \pm \sqrt{\frac{E_s}{2}}, \pm \sqrt{\frac{E_s}{2}} \right) \quad (13)$$

El factor 1/2 aquí indica que la potencia total se distribuye por igual entre los dos operadores.

#### 2.2.2.2. Análisis del ancho de banda.

En la figura 2.8 se muestra el diagrama de bloques que se utiliza para examinar el ancho de banda.

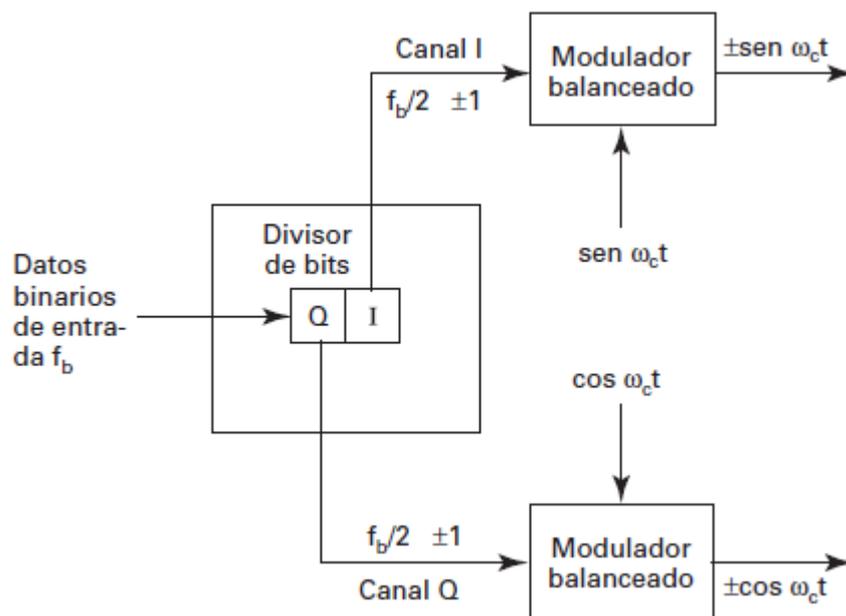


Figura 2. 8: Diagrama de bloques para examinar el ancho de banda.

Fuente: (Tomasi, 2010; Umesharaddy & Sujatha, 2015)

De acuerdo a Tomasi, (2010) la salida en los moduladores balanceados se expresan de la siguiente manera:

$$Salida = [\sin(\omega_a t)][\sin(\omega_c t)] \quad (14)$$

Donde, las expresiones de la fase moduladora y fase de portadora no modulada respectivamente son:

$$\begin{aligned}\omega_a t &= 2\pi \frac{f_b}{4} t \\ \omega_c t &= 2\pi f_c t\end{aligned}$$

Por lo tanto,

$$\begin{aligned}Salida &= \left[ \sin \left( 2\pi \frac{f_b}{4} t \right) \right] [\sin(2\pi f_c t)] \\ &= \frac{1}{2} \cos \left[ 2\pi \left( f_c - \frac{f_b}{4} \right) t \right] - \frac{1}{2} \cos \left[ 2\pi \left( f_c + \frac{f_b}{4} \right) t \right]\end{aligned}\quad (15)$$

Para lo cual el espectro de frecuencias en la salida va desde  $f_c + \frac{f_b}{4}$  hasta  $f_c - \frac{f_b}{4}$ , y el ancho de banda mínimo, es:

$$f_N = \left( f_c + \frac{f_b}{4} \right) - \left( f_c - \frac{f_b}{4} \right) = \frac{f_b}{2}\quad (16)$$

### 2.2.2.3. Tasa de error de bits (BER).

En la sección 2.2.1.3 la tasa de errores de bits para la modulación BPSK de acuerdo con la ecuación (9)  $P_b = Q \sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}$ , mientras que para la modulación QPSK la BER se define por la ecuación (17):

$$P_s = 1 - (1 - P_b)^2\quad (17)$$

Si  $P_b$  de la ecuación (9) se sustituye en la ecuación (17),  $P_s$  quedaría:

$$P_s = 2Q \left( \sqrt{\frac{2E_s}{N_o}} \right) - Q^2 \left( \frac{2E_s}{N_o} \right)\quad (18)$$

Si la relación señal/ruido es demasiado alta, entonces la BER es aproximadamente igual a:

$$P_s \approx 2Q \left( \sqrt{\frac{2E_s}{N_o}} \right)\quad (19)$$

### 2.3. Historia de las comunicaciones por satélite.

La idea de utilizar las comunicaciones satelitales fue presentada por primera vez en mayo de 1945 por el famoso científico inglés y escritor de ciencia ficción Arthur C. Clarke. La figura 2.9 muestra el bosquejo principal de la visión de Clarke. La investigación realizada en comunicación por satélite dio sus frutos en el año 1957, y Sputnik se convirtió en el primer satélite en ser enviado al espacio. Después de esta fecha, varios desarrollos han comenzado a confirmar que las ideas de Arthur C. Clarke en 1945, publicadas en la revista "Wireless World", no eran simples ilusiones.



Figura 2. 9: Bosquejo de la idea utilizar las comunicaciones por satélite.  
Fuente: (Palmquist, 2000)

Con la aceleración del satélite Sputnik (véase la figura 2.10), se idearon muchas aplicaciones para fines militares en los años siguientes, donde las órbitas eran fijas, y donde las líneas terrestres no se pueden alcanzar en la tierra, como continuación de los sistemas de cable intercontinentales y en áreas civiles como radiodifusión de televisión o radio. El objetivo de los sistemas de comunicación inalámbricos de alta frecuencia; para comunicarse entre dos puntos que pueden verse físicamente entre sí.

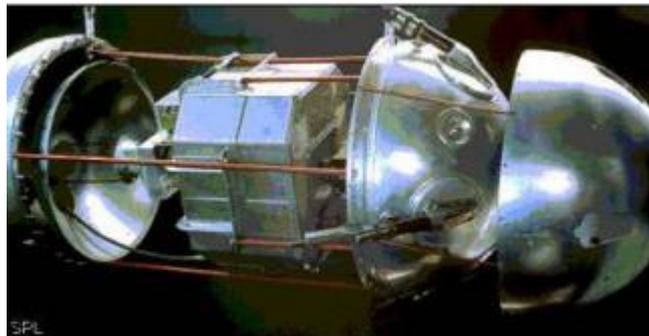


Figura 2. 10: Primer satélite de comunicaciones Sputnik.  
Fuente: (Jaramillo M., 2013)

Para la comunicación hay una necesidad de dos puntos que se enfrentan uno al otro o un tercer punto que puede ver estos dos puntos. Arthur C. Clarke señaló que este tercer punto podría ser un satélite ubicado a cierta altura desde el suelo, en la órbita derecha y completando un círculo completo en 24 horas. Porque la tierra es una estructura circular, edificios, montañas, etc. La barrera física evita que los dos puntos de los que hablamos se vean directamente.

La idea del primer satélite artificial lanzado por SPUTNIK-1 produjo sus frutos. Con el lanzamiento de SPUTNIK-1 en 1957, la conveniencia y los beneficios económicos provocados por la comunicación satelital atrajeron especialmente la atención. El segundo gran paso en los estudios espaciales como resultado de las actividades de investigación y desarrollo fue tomado en 1969 por el primer hombre que pisó la luna. De hecho, el primer satélite activo (Explorer-1) fue orbitado por la NASA en 1958 como parte del proyecto SCORE. En este sentido, los primeros satélites enviados al mundo se utilizaron con fines militares y se convirtieron en pioneros de los satélites comerciales.

Hasta 1964, AT & T tenía dos telescopios, dos RELAY y dos satélites SYNCOM trabajando en la órbita media (aproximadamente 5,600 km). A principios de la década de 1960, el uso de datos era inadecuado, ya que los satélites no eran muy confiables. Sin embargo, el uso de datos con satélites triaxiales fijos (no giratorios) en 1963 comenzó a ser muy atractivo.

En abril de 1965, se lanzó el primer satélite de la empresa COMSAT, denominado EARLYBIRD, desde la base de Cabo Cañaveral en los Estados Unidos. Como resultado, la era de las comunicaciones satelitales mundiales también había iniciado. Aunque el satélite es un producto estadounidense, la asociación se ha resuelto por completo. Las estaciones terrestres en países como Inglaterra, Francia y Alemania ya estaban listas cuando se lanzó el satélite. Con la participación de 19 naciones de esta asociación internacional, el 20 de agosto de 1964 surgió una nueva organización bajo el nombre de Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite

*(International TELEcommunications SATellite Organization, INTELSAT)*, la cual es la organización satelital más grande y completa para la provisión de servicio satelital global.

En la actualidad, INTELSAT es la compañía de comunicaciones más grande con 141 estados miembros. No solo los países miembros, sino también todas las comunidades y empresas del mundo, se benefician de los servicios de datos/audio, video e innovaciones que ofrece INTELSAT.

Los países europeos establecieron la Red Europea de Comunicación por Satélite (EUTELSAT) en 1977 con el propósito de comunicación de voz, imágenes y datos. La organización que geográficamente puede convertirse en miembro de un país del continente europeo se limita a Europa, Medio Oriente y África del Norte. Con 39 miembros en la actualidad, EUTELSAT ofrece servicios especiales de telecomunicaciones, radio y televisión entre 7 satélites y países europeos. En febrero de 1976, para el Comando de la Marina de los EE. UU., se lanzó los satélites MARISAT, incluido el uso móvil.

En 1979, INMARSAT, la Organización Marítima Internacional de las Naciones Unidas, estableció una nueva generación de satélites y servicios de comunicaciones móviles en más de 50 estaciones terrestres costeras instaladas en 35 países. INMARSAT es un consorcio internacional de satélites que brinda servicios por teléfono, télex, datos y fax a las industrias marítima, de la industria aeronáutica, marítima y terrestre. INMARSAT; brinda servicio de teléfono, télex, datos, fax, internet, correo electrónico, mensajes de texto y llamadas de emergencia (SOS) a terminales móviles, vehículos marítimos y aéreos.

En los años 1980-1990, también hubo una gran distancia en la tecnología satelital, en línea con la competencia y los desarrollos tecnológicos. Entre ellos se encuentran los satélites meteorológicos, las estaciones espaciales, los satélites de telecomunicaciones pasivos y activos, el uso del sistema GPS, los transbordadores espaciales, los telescopios espaciales, los satélites científicos y los satélites de evaluación de datos.

## 2.4. Espectro de frecuencias en comunicaciones por satélite.

En los sistemas de comunicación por satélite, generalmente se utilizan 4 bandas de frecuencia principales. Estos son las bandas S, C, X, Ku, Kc y K, respectivamente. Para las transmisiones por satélite se utilizan diferentes frecuencias tanto para enlaces Uplink (ascendentes) y Downlink (descendentes), para lo cual las frecuencias de funcionamiento y las áreas de uso se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3: Frecuencias utilizadas en las comunicaciones satelitales.

Frecuencias	Bandas	Frecuencia Uplink	Frecuencia Downlink
2.50 GHz – 2.70 GHz	S	2.70 GHz	2.50 GHz
3.40 GHz – 6.425 GHz	C	6 GHz	4 GHz
7.25 GHz – 8.40 GHz	X	8.4 GHz	7.25 GHz
10.95 GHz – 14.50 GHz	Ku	14 GHz	11 GHz
17.70 GHz – 21.20 GHz	Kc	21 GHz	18 GHz
27.50 GHz – 31.00 GHz	K	31 GHz	27.50 GHz

Fuente: (Arteaga P. & Cruz L., 2013)

## 2.5. Bloque básico de sistemas de comunicación por satélite

El sistema de comunicación por satélite incluye uno o más enlaces de satélites. Cada uno de estos enlaces consiste en un par de estaciones terrenas y un satélite, tal como se muestra en la figura 2.11. Cada uno de estos enlaces consta de una estación terrena transmisora (enlace ascendente) que envía la señal de microondas al satélite, un enlace descendente del receptor que recibe esta señal del satélite y un sistema de satélite con la frecuencia y potencia apropiadas.

Las señales de microondas se atenúan debido a las pérdidas en la trayectoria atmosférica de satélites y estaciones terrestres debido a que la órbita del satélite está a 36000 km de la tierra. En las comunicaciones por satélite, existe la necesidad de utilizar antenas y señales de microondas de alta potencia para que las estaciones en tierra lleguen a los satélites con suficiente potencia. Al mismo tiempo, las estaciones terrestres todavía usan

antenas parabólicas de gran apertura para captar señales débiles del satélite.

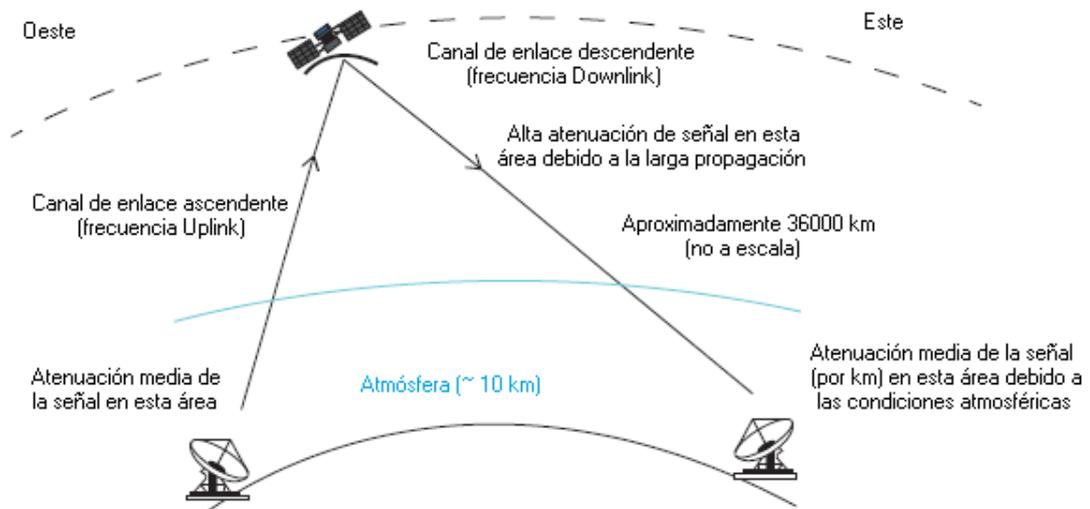


Figura 2. 11: Esquema de la comunicación satelital con una estación terrena.

Fuente: (Jaramillo M., 2013)

Las antenas; deben ser de bajo ruido y lóbulo lateral bajo para evitar el ruido térmico excesivo o la interferencia de otros sistemas de microondas. Se necesita de un amplificador de bajo ruido para amplificar una señal muy débil del satélite. En los circuitos de comunicación por satélite, la relación señal a ruido ( $C/N$ ) debe estar en un nivel aceptable de acuerdo con los criterios de la UIT en calidad de comunicación.

La capa del transmisor consiste en una unidad de conversión ascendente que convierte la señal modulada que viene de la capa del modulador a una frecuencia adecuada para el entorno de transmisión, y las unidades de amplificador de potencia que proporcionan energía para la salida del satélite.

### **Capítulo 3: Simulación y evaluación de resultados.**

Aquí se desarrolla el modelado de simulación del sistema de comunicaciones satelitales a través de las ecuaciones de enlaces y empleando técnicas de modulación digital utilizando el software MatLab/Simulink.

#### **3.1. Descripción del modelado de la comunicación satelital.**

El propósito del presente trabajo es investigar el efecto de diferentes técnicas de modulación en el rendimiento de la comunicación por satélite a través del modelo de simulación de comunicación de la estación terrena satelital. El satélite considerado para ser modelado se conformó con una observación del sitio. Los parámetros para el satélite se muestran en la tabla 3.1. Para el modelado del satélite se diseña en tres partes, que incluye la línea de transmisión y estaciones terrenas. El modelado requiere del programa Simulink de MatLab.

La sección del satélite se modela utilizando el bloque transmisor de banda X proporcionado por la comunicación de telemetría del satélite. En el bloque del transmisor, se modelan el generador de señal, el modulador, el amplificador de potencia y la ganancia de la antena.

Cuando se modela la línea de transmisión, se agregan errores como pérdida de espacio vacío y cambio de fase.

La estación terrena se modela como un bloque receptor en el modelo. El borrado del receptor se modela por el ruido del sistema, el ruido de fase, el desfase de fase y frecuencia, y el demodulador.

Comparando la entrada del modulador y la salida del demodulador entre sí, los rendimientos de BER se comparan con las diferentes técnicas de modulación.

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación del sistema de comunicación satelital.

Parámetros	Valor
Altura de la órbita	686 km
Inclinación orbital	98°
Frecuencia de la banda X	8320 MHz
Potencia de la banda X	7 W
Ancho de banda de la banda X	40 MHz

Elaborado por: Autor.

### **3.2. Diseño de la simulación comparativa de técnicas de modulación en comunicaciones por satélite.**

A continuación, se describen los bloques de simulación del sistema de comunicación satelital.

#### **3.2.1. Bloque del transmisor satelital.**

En este estudio, el modelado se realizó usando el bloque transmisor de banda X en el satélite. El bloque transmisor, cuenta con las siguientes secciones:

- Generador entero aleatorio.
- Modulador de banda base.
- Filtro transmisor del coseno de carga modulada.
- Amplificador de alta potencia (HPA).
- Bloque de ganancia de la antena.

Se genera un generador de datos aleatorios con un generador de enteros aleatorios. Los datos generados llegan al bloque modulador y corresponden con el conjunto de modulación según el tipo de modulación utilizado. El filtro de coseno elevado toma muestras y da forma a la señal modulada utilizando el método de configuración del impulso coseno elevado de raíz cuadrada. La señal conformada es elevada por el amplificador de potencia de onda ambulante. Finalmente, la señal a transmitir se agrega a la ganancia de la antena y se envía a la línea de transmisión. La figura 3.1 muestra el modelado del bloque del transmisor satelital.

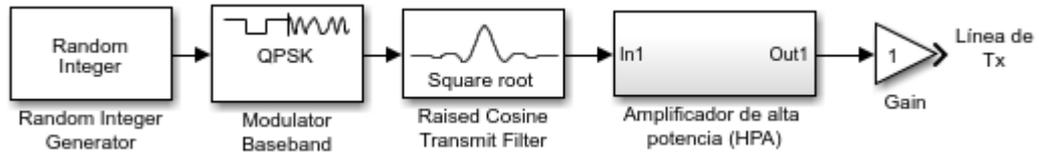


Figura 3. 1:Diagrama de bloques del sistema de transmisión satelital.  
Elaborado por: Autor.

### 3.2.2. Bloque de la línea de transmisión.

En este modelo, se utilizó una distancia de 686 km de altura desde la tierra hasta el satélite. En la línea de transmisión, la señal se está debilitando según la distancia. Esta atenuación en la señal se calcula mediante el bloque de pérdida de espacio de espacio. Además, fase / frecuencia de fase y errores de desplazamiento Doppler

Esta atenuación en la señal se calcula mediante el bloque de pérdida de espacio de la cavidad. Además, se simulan los bloques de desplazamiento de fase y frecuencia de las fallas de desplazamiento de fase y Doppler. El modelo del diagrama de bloque para la línea de transmisión se muestra en la figura 3.2

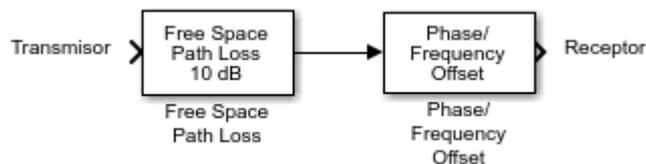


Figura 3. 2:Diagrama de bloques de la línea de transmisión.  
Elaborado por: Autor.

### 3.2.3. Bloque receptor de la estación terrena.

El bloque receptor de la estación base se modela utilizando los siguientes elementos de bloque:

- Componente de ruido térmico del receptor.
- Ganancia de la antena receptora.
- Ruido de fase.
- Eliminador de desequilibrio I/Q.
- Solución de problemas de componentes de CC.
- Control automático de ganancia de los canales I y Q
- Desplazamiento de fase/frecuencia

- Filtro receptor de coseno cargado
- Demodulador de banda base

La señal de la línea de transmisión está sujeta a varios ruidos en el lado del receptor. En este estudio, el sistema se modela con ruido gaussiano blanco (AWGN) con un ruido de temperatura efectivo. El bloque de antena de recepción produce la ganancia de una antena parabólica ubicada en la estación terrena y mide 6 m de diámetro.

El bloque de ruido de fase da lugar a distorsiones causadas por el ruido de recorte de fase. En el bloque de eliminación de desequilibrio I/Q, se modela el desequilibrio de la señal del desplazamiento de CC, la amplitud o la fase. El bloque de eliminación de componentes de CC proporciona compensación de CC.

El control automático de ganancia de los canales I y Q realiza un control de ganancia automático de las señales de los mencionados canales juntos o por separado. El bloque de compensación de fase/frecuencia es el bloque donde se gira la señal para corregir las fallas de fase y Doppler en la línea de transmisión. Después de corregir las fallas, la señal llega al filtro de coseno elevado y se aplica un filtro correspondiente a la señal modulada utilizando el mismo método de configuración de impulso de coseno elevado de raíz cuadrada. Luego, llega al bloque demodulador y el valor de datos emparejados en el plano del clúster es el mismo que antes de la modulación. El modelo de bloque de la estación terrena se muestra en la figura 3.3

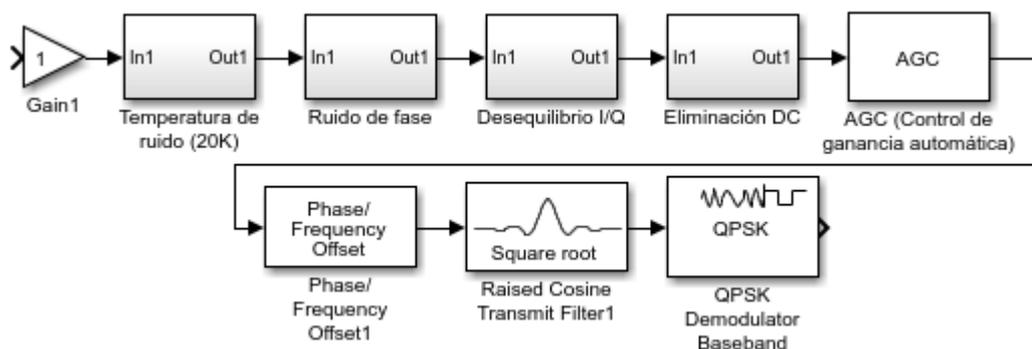


Figura 3. 3:Diagrama de bloques de la estación terrena  
Elaborado por: Autoruente:

### 3.3. Evaluación del rendimiento del sistema.

El presente estudio fue realizado principalmente del modelo de un sistema de comunicación por satélite. Las propiedades del sistema utilizadas en el modelado se muestran en la tabla 3.2. Se realizó una comparativa del rendimiento de las técnicas de modulación digital 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK en el modelado propuesto y finalmente se examinan los resultados. La salida del modulador y las salidas del demodulador se dan usando las gráficas del espectro de la señal del transceptor. Además, para cada técnica de modulación, se proporciona el emparejamiento de agregación en el lado del transmisor y el lado del receptor. La evaluación del rendimiento se realizó mirando los valores de la siguiente expresión:

$$\frac{E_b}{N_o} - BER$$

Tabla 3. 2: Características del sistema satelital.

Parámetros	Valor
Altura del satélite	686 km
Frecuencia	8320 MHz
Diametro de la antena del Tx	0.05 m
Diametro de la antena del Rx	6 m
Temperatura de ruido	290 K
Nivel de retiro del amplificador de potencia	30 dB
Corrección de fase	No
Error de Doppler	No
Ruido de fase	-100 dBc/Hz a 100 Hz
Desequilibrio I/Q	No
Pérdida de espacio en el trayecto	167

Elaborado por: Autor.

### 3.4. Resultados obtenidos del sistema utilizando ruido de fase y amplificador lineal.

En esta sección se examinan los resultados obtenidos del modelado tomando el parámetro de ruido de fase especificado en la tabla 3.2 a un nivel insignificante, tal como, -100 dBc/Hz. A continuación, se muestran los valores obtenidos para las diferentes técnicas de modulación digital, tales como, 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK.

#### 3.4.1. Resultados para la modulación 8-PSK.

Los resultados obtenidos para la técnica de modulación 8-PSK en las condiciones especificadas en la tabla 3.2 se dan a continuación. En la modulación 8-PSK, los bits de datos se combinan para que cada símbolo esté representado por 3 bits en el diagrama de constelaciones. La figura 3.4 muestra el diagrama de constelaciones donde se formaron 8 puntos con componentes de canales de amplitud I y Q y  $45^\circ$  entre ellos.

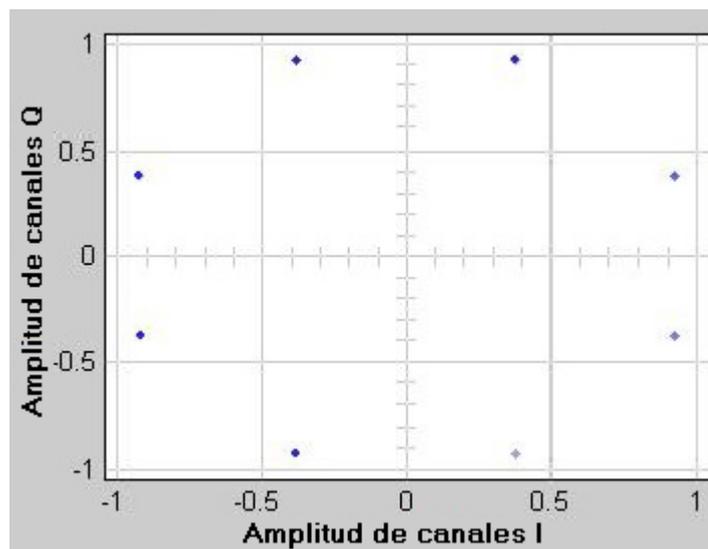


Figura 3. 4:Diagrama de constelación para el transmisor 8-PSK  
Elaborado por: Autor

Mientras, que, en el lado del receptor, la señal recibida se combina de la misma manera en la suma al cuadrado. Dado que el ruido del sistema se descuida en el modelo del sistema, se supone que la dispersión alrededor de los puntos está nivelada, tal como se muestra en la figura 3.5.

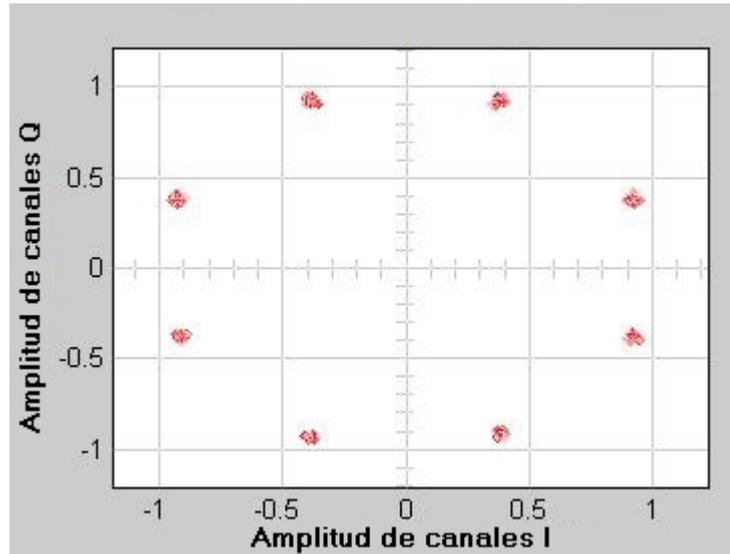


Figura 3. 5:Diagrama de constelación para el receptor 8-PSK  
Elaborado por: Autor

La figura 3.6 muestra el espectro de potencia en verde para el transmisor y en azul indica el espectro de potencia del receptor. Los diagramas de espectro de potencia del receptor y transmisor se han superpuesto (gráfica verde) ya que las fallas del sistema debido al ruido de fase y al amplificador de alta potencia son insignificantes.

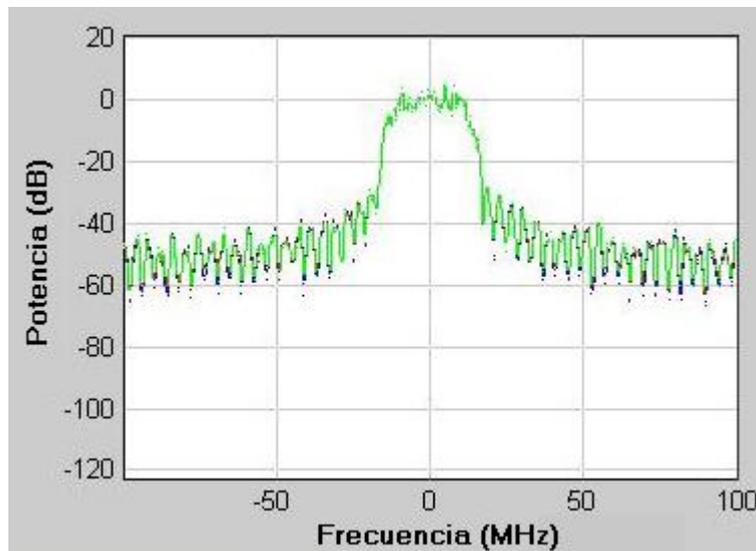


Figura 3. 6:Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 8-PSK.  
Elaborado por: Autor

### 3.4.2. Resultados para la modulación 16-PSK.

Los resultados obtenidos para la técnica de modulación 16-PSK en las condiciones especificadas en la tabla 3.2 se dan a continuación. En la modulación 16-PSK, cada símbolo está representado por 4 bits en el

diagrama de constelación de fusión de datos. En el diagrama de constelaciones que se muestra en la figura 3.7, los canales I y Q tienen 16 puntos con ángulos de  $22.5^\circ$  entre ellos.

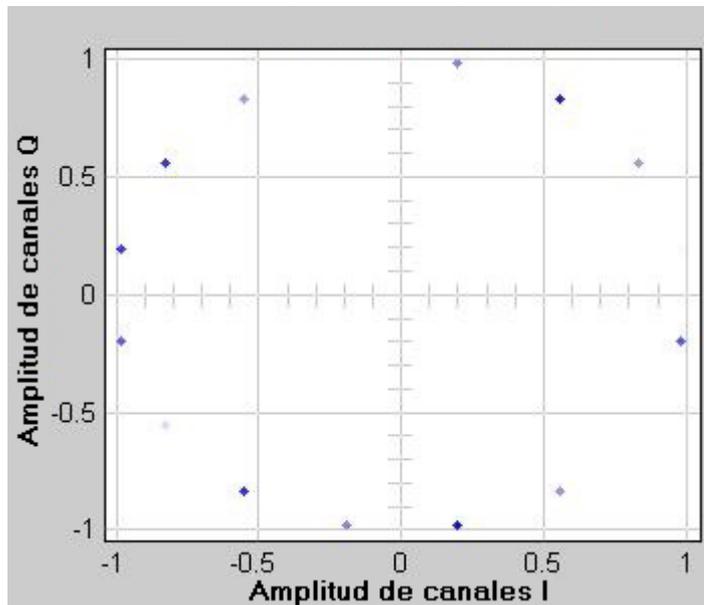


Figura 3. 7:Diagrama de constelación para el transmisor 16-PSK  
Elaborado por: Autor

En el diagrama de constelación en el lado del receptor, hay 16 coincidencias de los puntos en el diagrama de constelación del transmisor (véase la figura 3.8). Dado que el ruido del sistema se descuida en el modelo del sistema, es aceptable distribuirlo alrededor de los puntos.

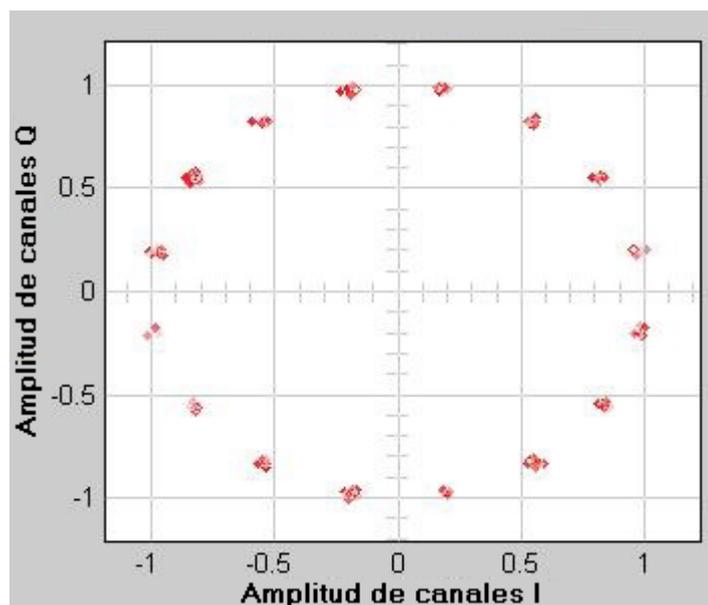


Figura 3. 8:Diagrama de constelación para el receptor 16-PSK  
Elaborado por: Autor

En la figura 3.9, el espectro de potencia del transmisor en verde y el del receptor en azul. Los diagramas de espectro de potencia del receptor y transmisor se han superpuesto (gráfico verde) ya que las fallas del sistema debido al ruido de fase y al amplificador de alta potencia son insignificantes, tal como ocurrió con la modulación 8-PSK.

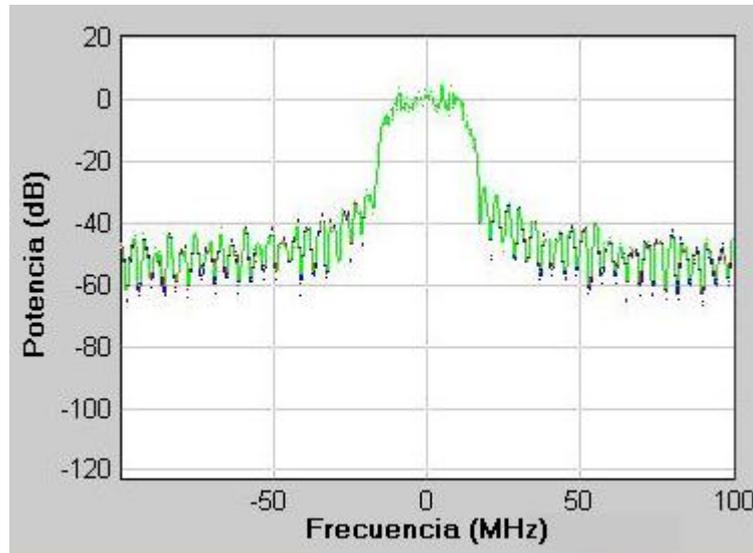


Figura 3. 9:Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 16-PSK.  
Elaborado por: Autor

### 3.4.3. Resultados para la modulación 32-PSK.

En la modulación 32-PSK, cada símbolo está representado por 5 bits en el diagrama de constelaciones de flujo de datos.

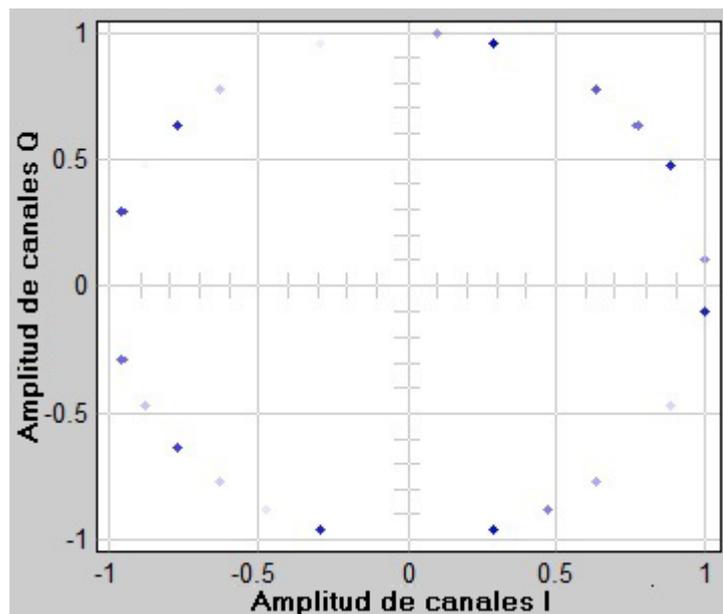


Figura 3. 10:Diagrama de constelación para el transmisor 32-PSK  
Elaborado por: Autor

En la figura 3.10 se muestran los canales I y Q que tienen 32 puntos con una separación de  $11.25^\circ$  entre ellos. La figura 3.11 muestra el diagrama de constelaciones en el lado del receptor, en el cual existen 32 coincidentes de los puntos en el diagrama de constelación del transmisor. En el modelado del presente sistema, el ruido de fase se descuida y la dispersión alrededor de los puntos se considera aceptable.

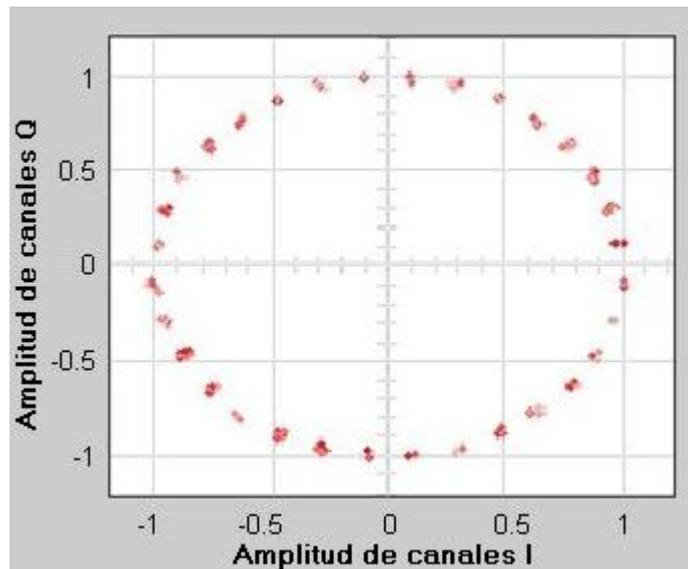


Figura 3. 11:Diagrama de constelación para el receptor 32-PSK  
Elaborado por: Autor

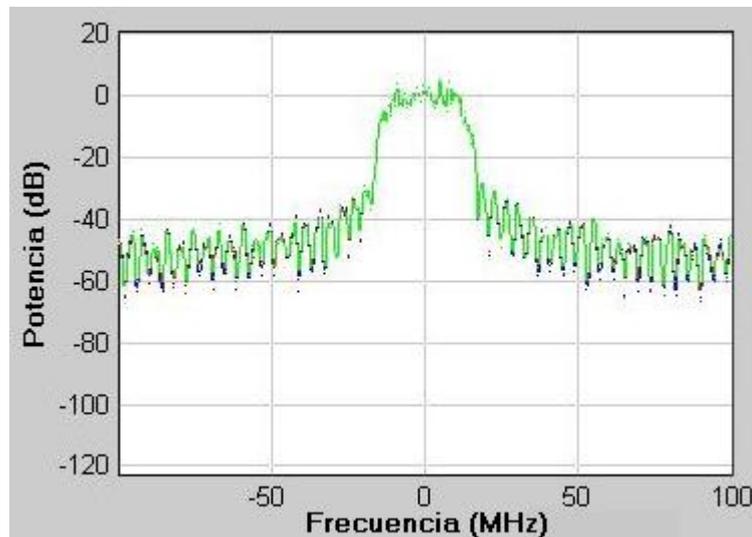


Figura 3. 12:Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 32-PSK.  
Elaborado por: Autor

Mientras que, la figura 3.12 muestra el espectro de potencia del transmisor en verde y el espectro de potencia del receptor en azul. Los gráficos del espectro del receptor y de la potencia de transmisión se han

superpuesto (gráfico verde) ya que las fallas del sistema debido al ruido de fase y al amplificador de alta potencia son insignificantes, tal como ocurrió con las modulaciones 8-PSK y 16-PSK.

#### 3.4.4. Resultados para la modulación QPSK.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la técnica de modulación QPSK según las especificaciones en la tabla 3.2. En la modulación QPSK, cada símbolo está representado por 2 bits en el diagrama de constelaciones de flujo de datos. La figura 3.13 muestra 4 puntos en los canales I y Q con una separación de  $180^\circ$  entre ellos.

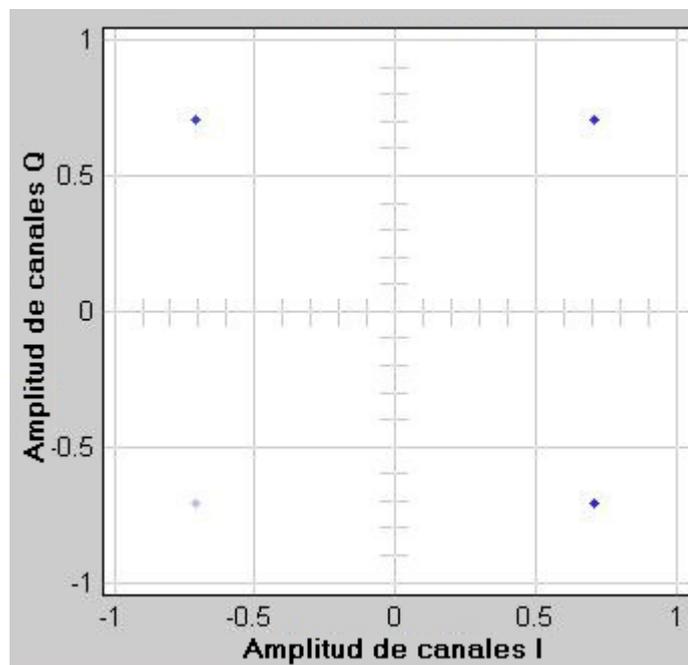


Figura 3. 13:Diagrama de constelación para el transmisor QPSK  
Elaborado por: Autor

La figura 3.14 muestra el diagrama de constelaciones del lado de recepción, existen hay 4 puntos coincidentes según la coincidencia mostrada en el lado del transmisor. Se acepta la distorsión alrededor de los puntos porque se omite el ruido de fase en el modelado del sistema.

La figura 3.15 muestra el espectro de potencias del transmisor indicado por color verde, y del espectro de potencia del receptor indicado por color azul. Los gráficos del espectro de potencias del receptor y transmisor se han superpuesto (gráfico verde) ya que las fallas del sistema debido al

ruido de fase y al amplificador de alta potencia son insignificantes, de manera análoga a las modulaciones 8, 16 y 32-PSK.

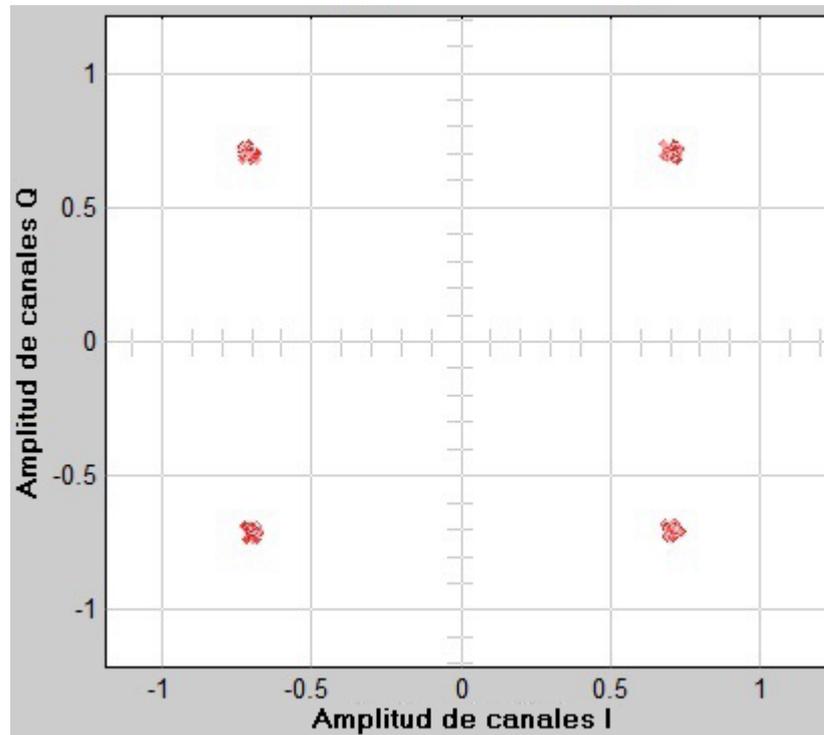


Figura 3. 14:Diagrama de constelación para el receptor QPSK  
Elaborado por: Autor

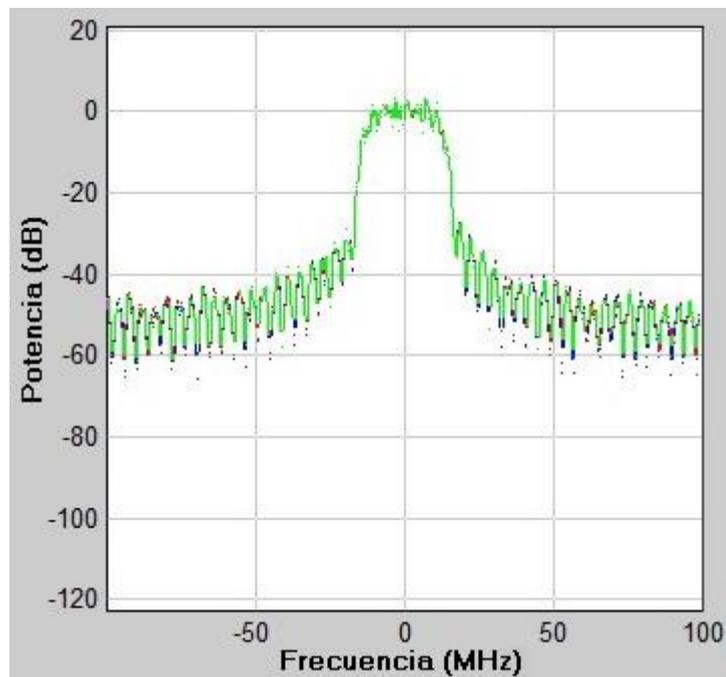


Figura 3. 15:Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación QPSK.  
Elaborado por: Autor

### 3.4.5. Resultados para la modulación OQPSK.

Esta sección muestra los resultados obtenidos del sistema utilizando la técnica de modulación OQPSK. Las figuras 3.13 y 3.16 son idénticas y representan a los diagramas de constelaciones de las modulaciones OQPSK y QPSK. De la figura 3.16 se muestran los canales I y Q, donde se observan 4 puntos separados  $180^\circ$  entre sí.

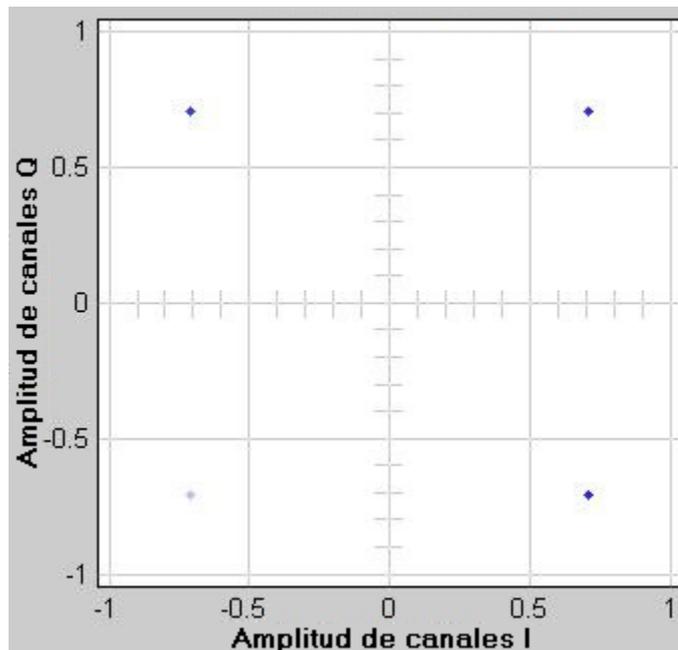


Figura 3. 16:Diagrama de constelación para el transmisor OQPSK  
Elaborado por: Autor

En el diagrama de constelaciones del lado receptor, hay 4 puntos coincidentes que coinciden con el diagrama de constelaciones del transmisor, tal como se muestra en la figura 5.17. En el modelado del sistema, el ruido de fase se descuida y la dispersión alrededor de los puntos se considera aceptable.

La Figura 5.18 muestra el espectro de potencia de transmisión mostrado en verde y azul que muestra el espectro de potencia del receptor. Los gráficos del espectro del receptor y de la potencia de transmisión se han superpuesto (gráfico verde) ya que las fallas del sistema debido al ruido de fase y al amplificador de alta potencia son insignificantes.

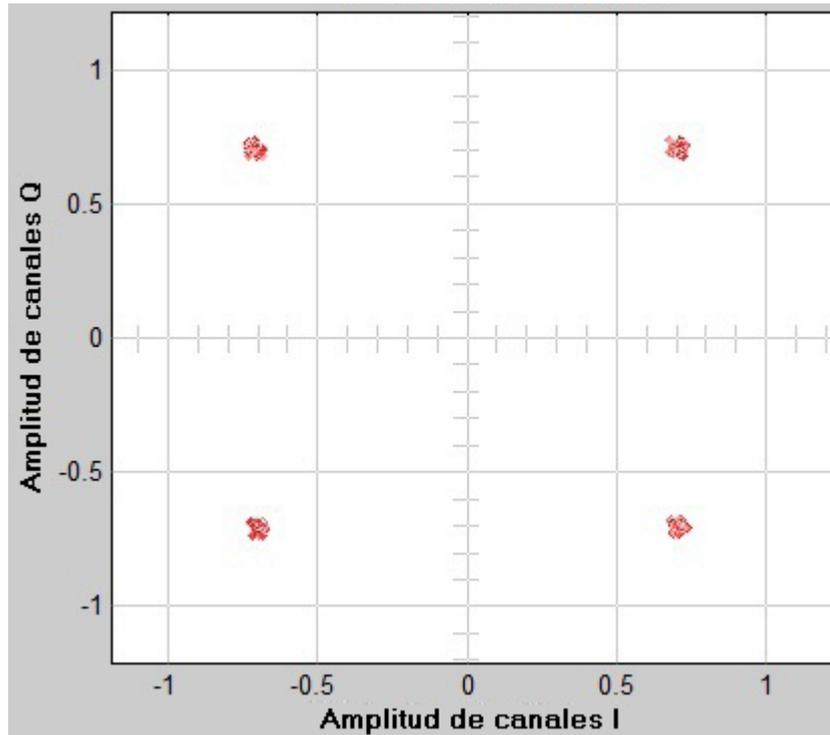


Figura 3. 17:Diagrama de constelación para el receptor OQPSK  
Elaborado por: Autor

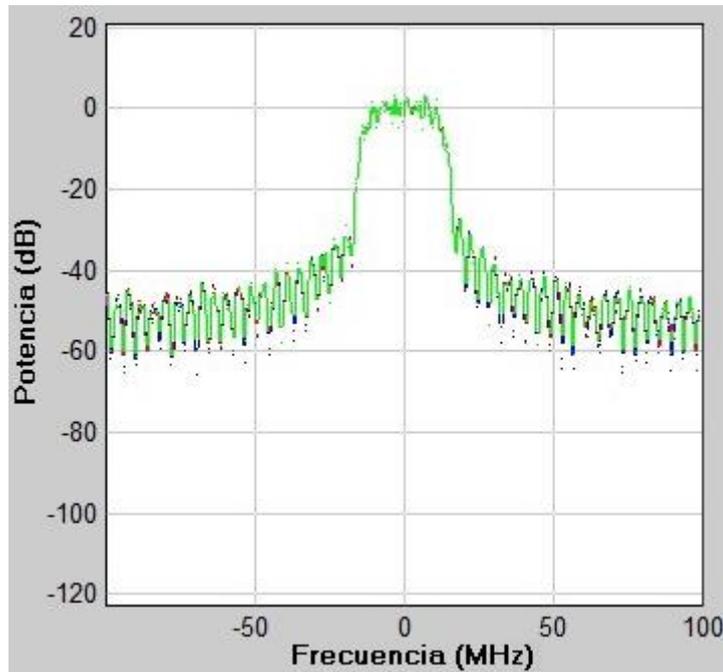


Figura 3. 18:Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación QPSK.  
Elaborado por: Autor

El modelado del sistema se realizó para 50000 símbolos. El valor de la tasa de errores de bits (BER) se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3. 3: Valores BER para el modelado del sistema sin ruido.

Técnicas de modulación	BER
8-PSK	3E-4
16-PSK	3E-4
32-PSK	3E-4
QPSK	2E-4
OQPSK	2E-4

Elaborado por: Autor.

### 3.5. Resultados obtenidos del sistema utilizando un alto nivel de ruido de fase y amplificador lineal.

A continuación, se examinan los resultados obtenidos del presente modelado considerando el parámetro de ruido de fase mencionado en la tabla 3.2, que para este caso el nivel alto es igual a -48 dBc/Hz. De manera similar a la sección 3.4, se van a examinar los valores obtenidos para las siguientes modulaciones: 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK.

#### 3.5.1. Resultados para la modulación 8-PSK.

Las figuras 3.19 y 3.20 muestran los diagramas de constelaciones de transmisión y recepción que fueron obtenidos cuando el ruido de fase modelado en el lado del receptor se seleccionó en un nivel muy alto. Existe una tendencia del sistema a dispersarse en los puntos de la constelación cuando hay un ruido de fase alto, tal como se muestra en la figura 3.20. Cuando la intensidad de ruido de fase seleccionada aumenta aún más, los puntos del diagrama de constelaciones vistos en el lado del receptor estarán completamente dispersos.

El espectro de potencia del transmisor que se muestra en rojo y el espectro de potencia del receptor que se muestra en azul, tal como se muestra en la figura 3.21. Dado que se utiliza ruido de alta frecuencia en el sistema, existe una diferencia de aproximadamente 20 dBm entre los niveles de potencia en la salida del receptor y la salida del transmisor.

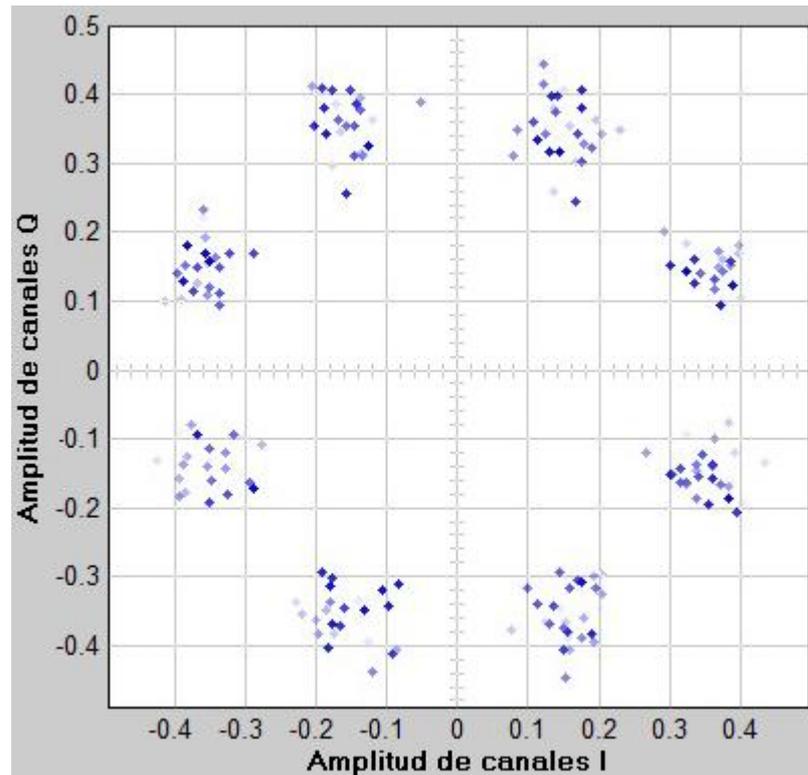


Figura 3. 19: Diagrama de constelación para el transmisor 8-PSK que utiliza ruido de fase alto.

Elaborado por: Autor

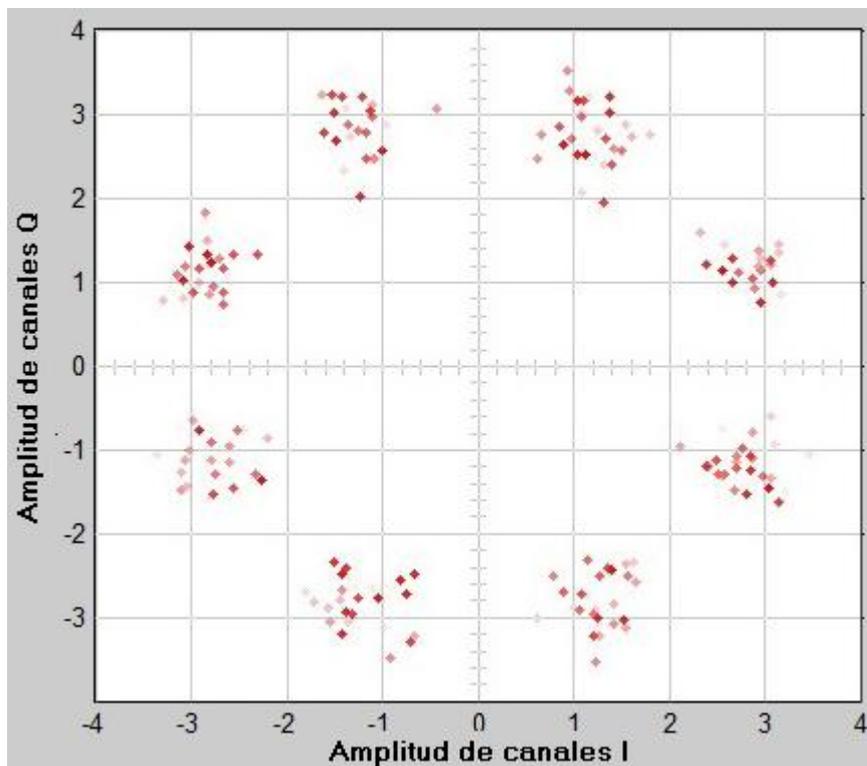


Figura 3. 20: Diagrama de constelación para el receptor 8-PSK que utiliza ruido de fase alto y un amplificador lineal.

Elaborado por: Autor

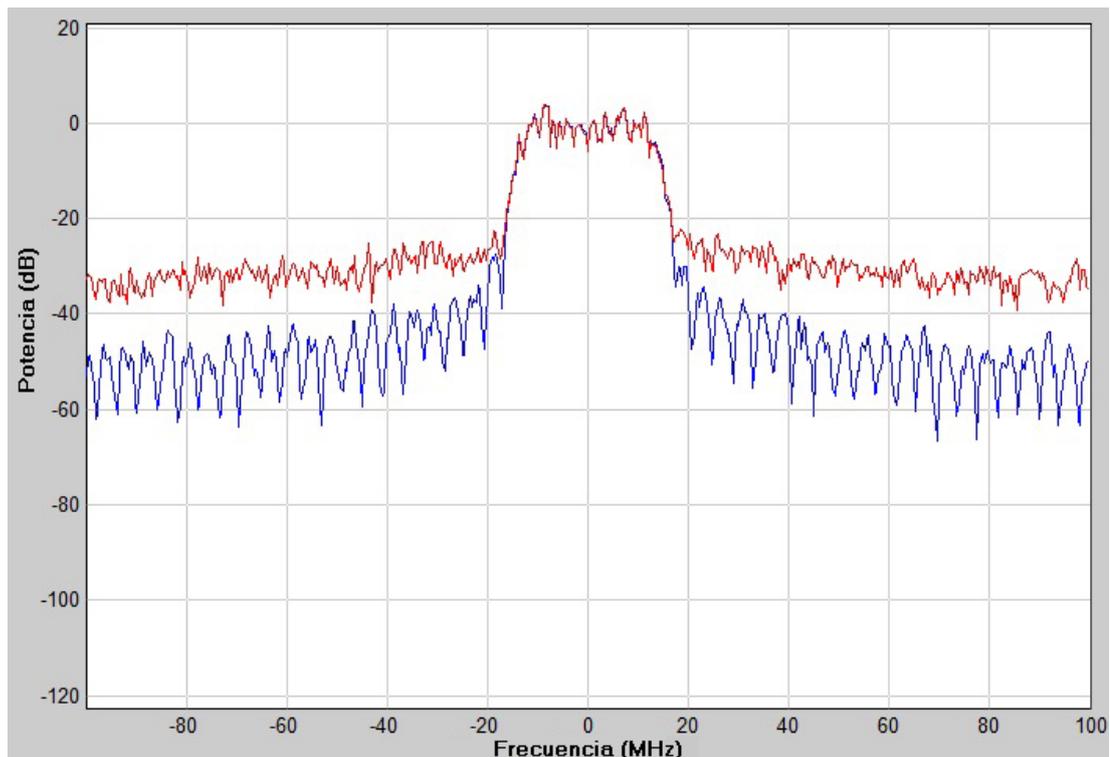


Figura 3. 21:Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 8-PSK utilizando ruido de fase alto y un amplificador lineal.

Elaborado por: Autor

### 3.5.2. Resultados para las modulaciones 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK.

Cuando se agrega al sistema modelado un ruido de fase alto, el diagrama de constelaciones de recepción (ver figura 3.20), existe una dispersión en los puntos de agrupamiento para las modulaciones 16-PSK, 32 PSK, QPSK y OQPSK, tal como se muestra en figura 3.22.

La representación del espectro de potencias entre el receptor y el transmisor se muestra en la figura 3.23 para las técnicas de modulación 16-PSK, 32-PSK, QPSK, OQPSK. El espectro de potencia del transmisor gráfico que se muestra en rojo y el gráfico que se muestra en azul indican el espectro de potencia del receptor. Como se ve en esta figura 3.23, la diferencia es de aproximadamente 20 dBm en la salida del transmisor y del receptor en las gráficas de las modulaciones 16-PSK, 32-PSK, QPSK, esta diferencia es superior a 20 dBm para la modulación OQPSK.

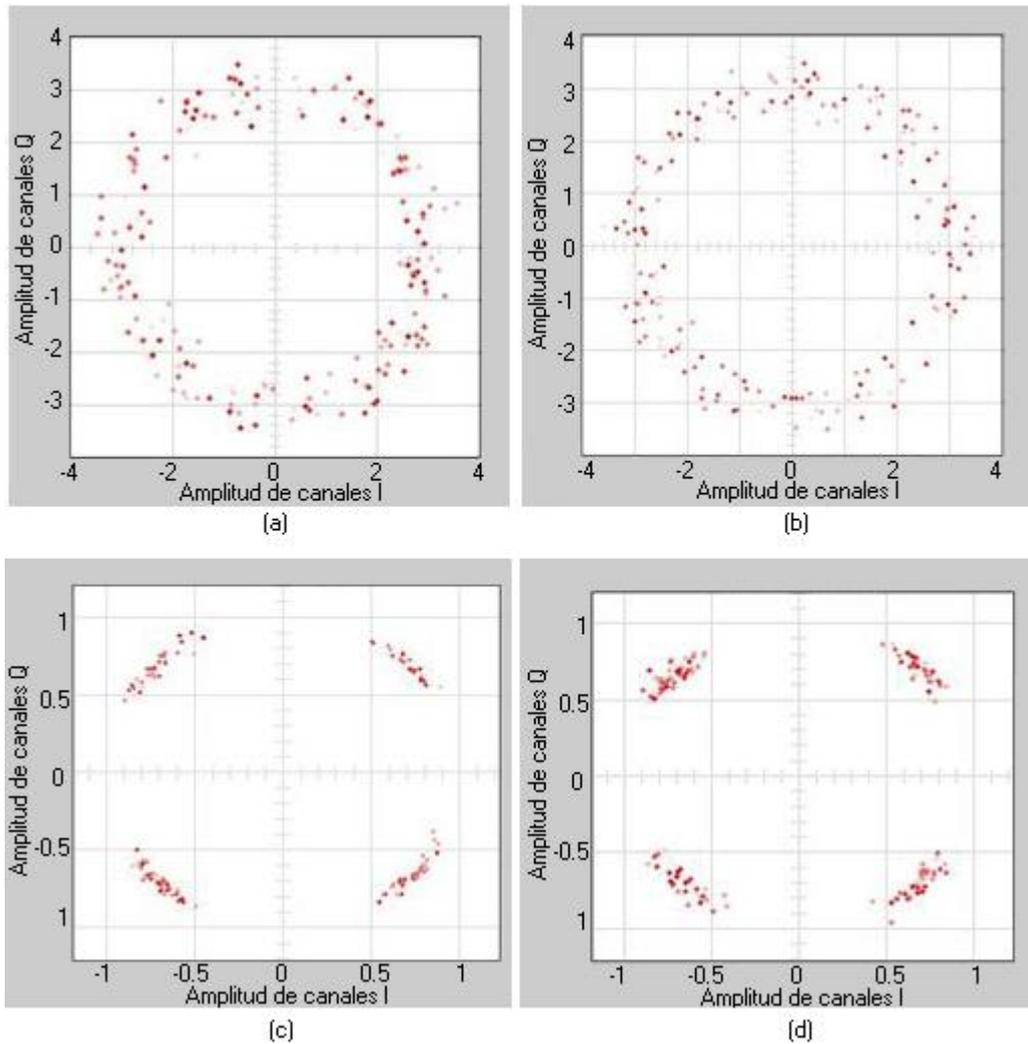


Figura 3. 22: Diagrama de constelación para el receptor 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK.

Elaborado por: Autor

El modelado del sistema se realizó para 50000 símbolos. El valor de BER es el indicado en la Tabla 5.4.

Tabla 3. 4: Valores BER para el modelado del sistema con ruido de fase alto y amplificación lineal.

Técnicas de modulación	BER
8-PSK	3E-4
16-PSK	3E-4
32-PSK	3E-4
QPSK	2E-4
OQPSK	2E-4

Elaborado por: Autor.

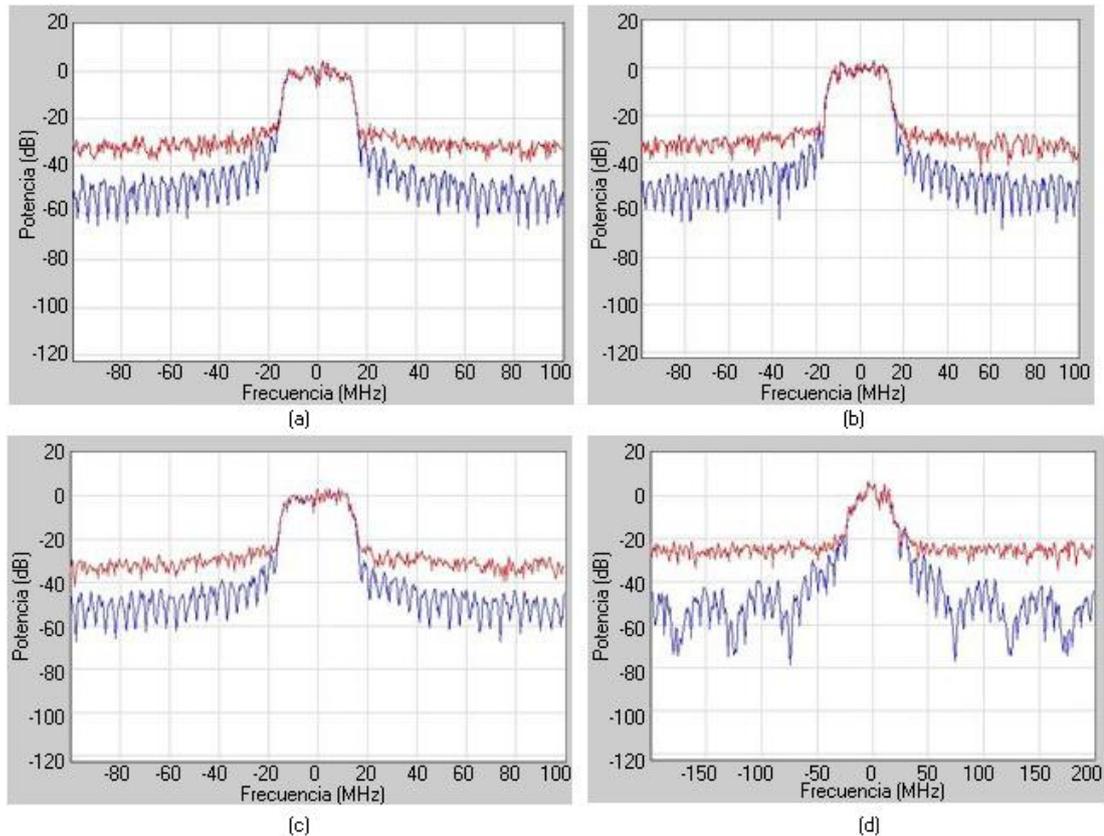


Figura 3. 23:Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK utilizando ruido de fase alto y un amplificador lineal.  
Elaborado por: Autor

### 3.6. Resultados obtenidos del sistema utilizando un alto nivel de ruido de fase y amplificador no lineal.

En el sistema con ruido de fase alto, los resultados obtenidos del modelado al seleccionar la característica no lineal del amplificador utilizado en el lado del receptor se examinan en esta sección. El parámetro de ruido de fase especificado (ver tabla 3.2) se toma como -48 dBc/Hz y el nivel de reducción del amplificador de alta potencia es 1 dB. Los valores obtenidos para 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK se dan a continuación.

#### 3.6.1. Resultados para la modulación 8-PSK.

En esta sección se examina el sistema modelado con un alto nivel de ruido de fase y un amplificador no lineal. A continuación, en la figura 3.24 se muestra el diagrama de constelación del receptor y en la figura 3.25 el espectro de potencias del transmisor-receptor, todos obtenidos para la modulación 8-PSK.

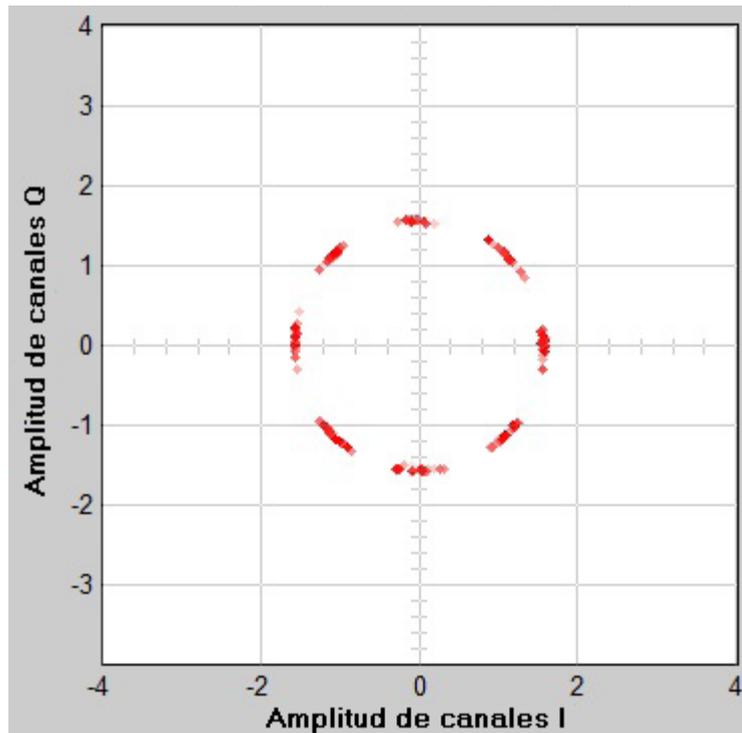


Figura 3. 24:Diagrama de constelación para el receptor 8-PSK que utiliza ruido de fase alto y un amplificador no lineal.  
Elaborado por: Autor

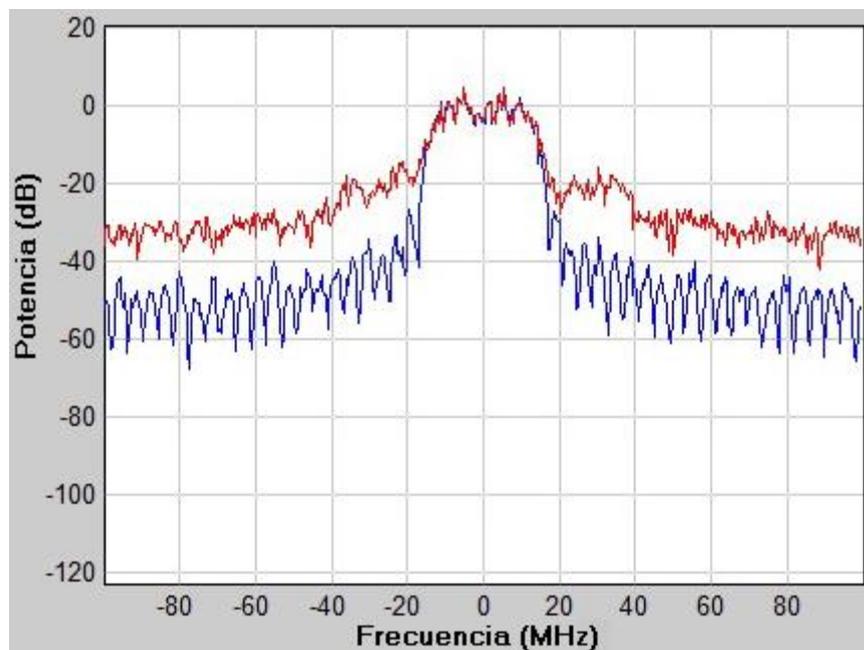


Figura 3. 25:Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 8-PSK utilizando ruido de fase alto y un amplificador no lineal.  
Elaborado por: Autor

### 3.5.3. Resultados para las modulaciones 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK.

Cuando se agrega a un sistema un nivel alto de ruido de fase, hay una dispersión en los puntos de agrupamiento para las modulaciones 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK en los diagramas de constelaciones del receptor 8-PSK tal como se muestra en la figura 3.26.

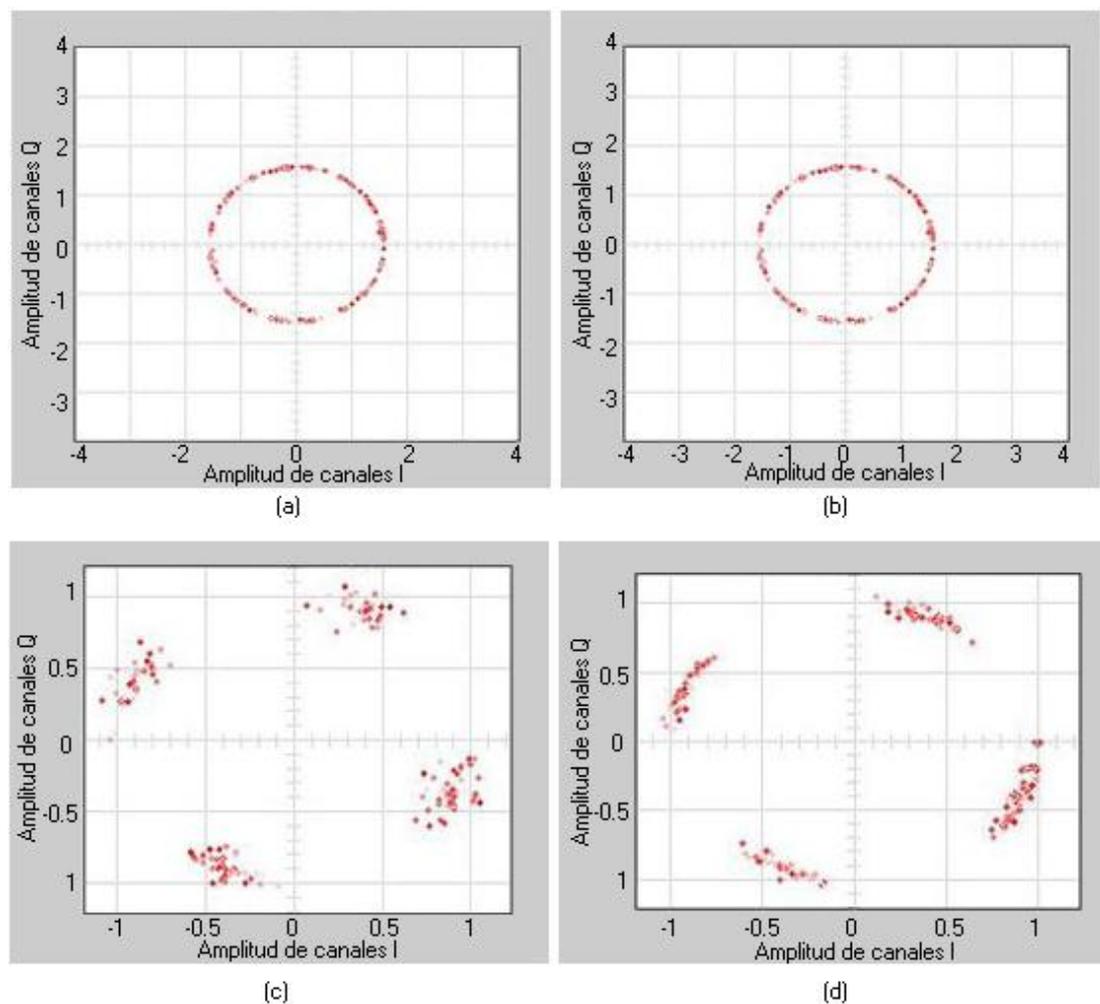


Figura 3. 26:Diagrama de constelación para el receptor 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK.

Elaborado por: Autor

La representación del espectro de potencia entre el receptor y el transmisor se muestran en la figura 3.27 para las modulaciones 16-PSK, 32-PSK, QPSK, OQPSK. El espectro de potencia del transmisor gráfico que se muestra en rojo y el gráfico que se muestra en azul indican el espectro de potencia del receptor. Como se ve en esta figura, la diferencia es de aproximadamente 20 dBm en la salida del transmisor y del receptor en las

gráficas de las modulaciones 16-PSK, 32-PSK, QPSK, esta diferencia es superior a 20 dBm para la modulación OQPSK.

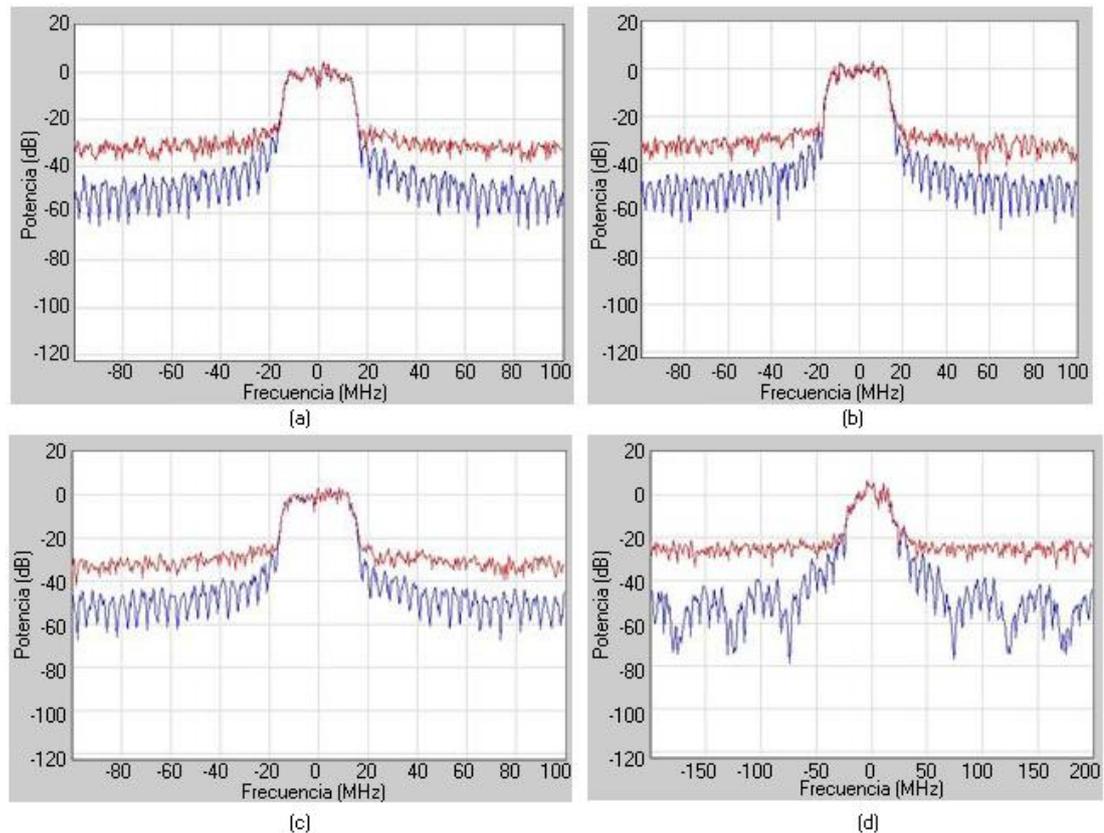


Figura 3. 27: Espectro de potencia del Rx y Tx utilizando modulación 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK utilizando ruido de fase alto y un amplificador no lineal.

Elaborado por: Autor

El sistema está hecho para modelar 50000 símbolos. El valor de BER es el indicado en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5: Valores BER para el modelado del sistema con ruido de fase alto y amplificación no lineal.

Técnicas de modulación	BER
8-PSK	1E-3
16-PSK	1E-3
32-PSK	1E-3
QPSK	25E-3
OQPSK	20E-3

Elaborado por: Autor.

### 3.7. Análisis de resultados obtenidos.

En este estudio, se investigó el efecto de las técnicas de modulación 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK, QPSK y OQPSK en el rendimiento del modelado en el que se simuló la comunicación de acuerdo con una observación en tierra. El sistema de transmisión se modeló en tres secciones como satélite, línea de transmisión y estación terrena. Las pérdidas y los ruidos del sistema se tuvieron en cuenta en el modelo utilizado. Para el caso de la pérdida de espacio debido a la pérdida de la altura de la trayectoria y al ruido del sistema se utiliza el ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN).

Primero, no hay ruido de fase en el sistema y se supone que el amplificador de potencia es lineal. Las técnicas de modulación utilizadas se modifican mediante el modelo de simulación de comunicación por satélite y la variación de  $\frac{E_b}{N_o} - BER$  es trazada con la ayuda de MatLab/Simulink y BERtool con los parámetros especificados en la tabla 3.2.

En los primeros resultados del rendimiento del sistema de comunicación modelado, se observó que en las técnicas de modulación M-PSK (8-PSK, 16-PSK y 32-PSK) utilizadas, el aumento del orden de modulación aumentaba la BER para el mismo valor  $\frac{E_b}{N_o}$ . Por lo tanto, se observó que la modulación 8-PSK produce una BER más baja que la modulación 32-PSK. También, se ha observado que tanto las modulaciones QPSK y OQPSK dan aproximadamente el mismo resultado de BER a partir de la modulación rectangular, tal como se muestra en la figura 3.28. En este modelado, las modulaciones QPSK y OQPSK muestran un mejor rendimiento con un valor de BER más bajo.

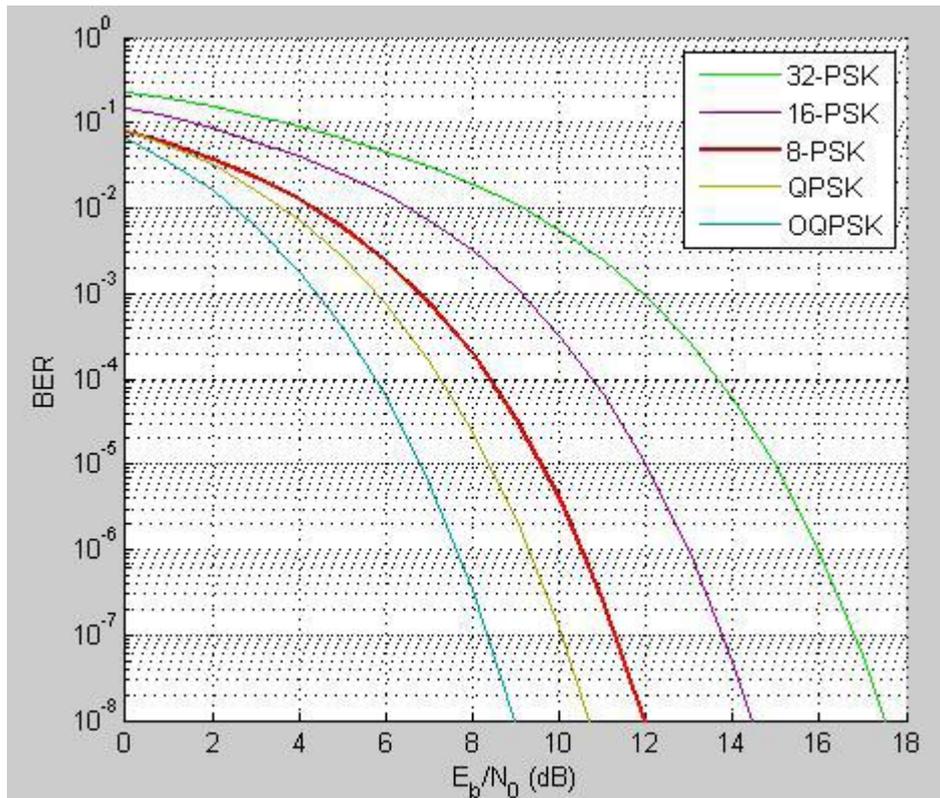


Figura 3. 28: Comparación del rendimiento de un sistema que utiliza un ruido de fase y un amplificador de potencia lineal  
Elaborado por: Autor

En el segundo escenario modelado, se agregó mayor cantidad de ruido de fase al sistema y se supuso que el amplificador de potencia siga siendo lineal. Las técnicas de modulación utilizadas se cambiaron a través del modelo de simulación de comunicación por satélite y el parámetro de ruido de fase especificado en la tabla 3.2 se tomó como -48 dBc/Hz. Mientras que la variación de  $\frac{E_b}{N_o} - BER$  fue trazada con la ayuda de BERtool.

Como en el primer escenario modelado en la comparación del rendimiento, se observó que al cambiar el orden de modulación en las técnicas de modulación M-PSK utilizadas también aumentaba la BER para el mismo valor de  $\frac{E_b}{N_o}$ . Además, se encontró que las modulaciones QPSK y OQPSK proporcionan una BER más baja para las modulaciones rectangulares. Finalmente, se observa en la figura 3.29 que el mejor rendimiento de  $\frac{E_b}{N_o} - BER$  se logró con la modulación OQPSK.

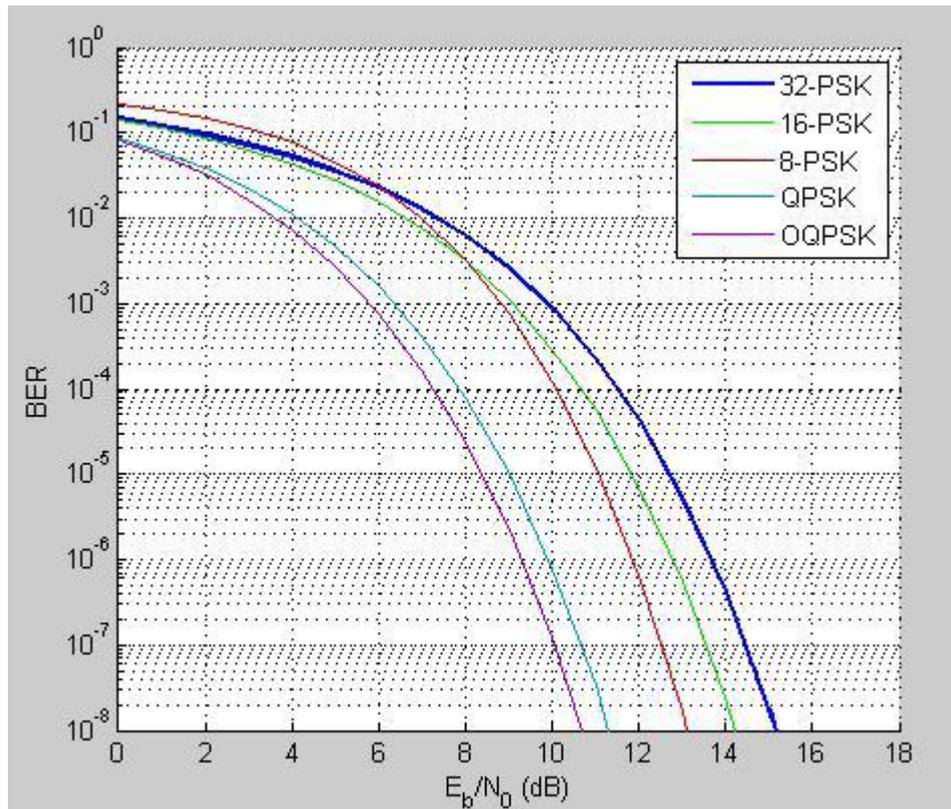


Figura 3. 29: Comparación del rendimiento de un sistema que utiliza un nivel alto de ruido de fase y un amplificador de potencia lineal  
Elaborado por: Autor

En el último modelado, se utilizó un amplificador de potencia no lineal además del ruido de fase añadido al sistema. Las técnicas de modulación utilizadas se cambiaron a través del modelo de simulación de comunicación por satélite y el parámetro de ruido de fase especificado en la tabla 3.2 se tomó como -48 dBc/Hz y el nivel de reducción del amplificador de alta potencia se tomó como 1 dB. La variación de  $\frac{E_b}{N_0} - BER$  fue trazada con la ayuda de BERtool.

En la comparación del rendimiento, se observó que el valor de 0 BER se obtuvo para la relación  $\frac{E_b}{N_0}$  superior a los dos primeros modelos. En las técnicas de modulación M-PSK, se ha visto que el aumento del orden de modulación aumenta la BER para el mismo valor  $\frac{E_b}{N_0}$ . Se encontró que las modulaciones QPSK y OQPSK proporcionan una BER más baja que las

modulaciones en cuadratura. Entonces, el mejor rendimiento  $\frac{E_b}{N_0} - BER$  se logró con la modulación OQPSK, tal como se muestra en la figura 3.30.

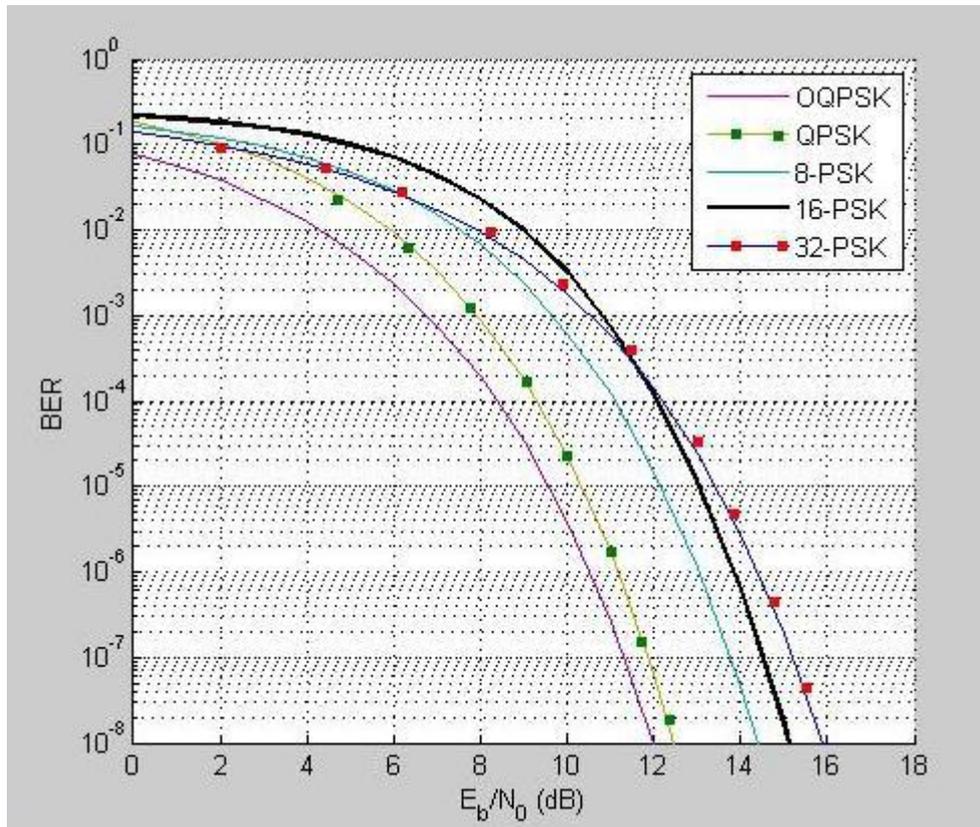


Figura 3. 30: Comparación del rendimiento de un sistema que utiliza un nivel alto de ruido de fase y un amplificador de potencia no lineal  
Elaborado por: Autor

## Conclusiones

El rendimiento de la comunicación en comunicaciones por satélite es muy importante en términos de transmisión de datos sin pérdidas. Al mismo tiempo, la potencia del sistema, la utilización del ancho de banda de comunicación y las técnicas de codificación son otros factores que afectan el rendimiento. Varias técnicas avanzadas de modulación se utilizaron para aumentar la eficiencia del ancho de banda.

El rendimiento del sistema de comunicación se calcula comparando  $E_b/N_0$  y la BER. Se ha observado que las modulaciones QPSK y OQPSK proporcionan una BER menor que las técnicas de modulación 8-PSK, 16 PSK y 32-PSK comparables en las técnicas de modulación avanzadas en comparación con el amplificador lineal de alta potencia. Entre las técnicas 8-PSK, 16-PSK y 32-PSK, la BER aumentó a medida que aumentaba el orden de modulación. Cuando se utilizó en un amplificador no lineal de alta potencia, se encontró que el valor de BER más bajo se alcanzaba en la modulación OQPSK.

También se observa a partir de los resultados obtenidos al agregar el ruido de fase al sistema que la técnica de modulación OQPSK produce una BER más baja que las técnicas de modulación en cuadratura en la comparación del rendimiento. En este caso, se puede decir que la técnica de modulación OQPSK es la técnica de modulación más efectiva que se puede usar especialmente para los efectos disruptivos en el rendimiento de comunicación de la no linealidad de los amplificadores de potencia actuales.

## **Recomendaciones**

De acuerdo con el desarrollo del presente trabajo de examen complejo, se realizan dos recomendaciones de trabajos futuros que se pueden desarrollar a partir del modelado propuesto:

1. Modelado y simulación de sistemas de comunicaciones móviles satelitales utilizando diversas plataformas como Matlab/Simulink, OpnetModeler y Celplanner.
2. Evaluación de degradaciones en tiempo real del canal de banda ancha para diseños de enlaces satelitales robustos

## Bibliografía

- Arteaga P., L. P., & Cruz L., G. (2013). *Unidad móvil satelital para apoyo al instituto de ciencias de la salud* (Proyecto de Tesis). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca Hidalgo. Recuperado a partir de <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/10643>
- Bo, C., Yang, L., Tianyun, W., Fufei, G., Xiaoqing, S., & Qinghua, Y. (2017). Blind estimation of primary signal in cognitive satellite communication systems (pp. 1–3). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICOCN.2017.8121308>
- Guerra, A. G. C., Ferreira, A. S., Costa, M., Nodar-López, D., & Aguado Agelet, F. (2018). Integrating small satellite communication in an autonomous vehicle network: A case for oceanography. *Acta Astronáutica*, 145, 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.01.022>
- Jaramillo M., L. G. (2013). *Transmisión Satelital* (Trabajo de Titulación de Grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Recuperado a partir de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1102>
- Kumar, P., & Kumari, A. (2016). BER Analysis Of BPSK, QPSK, 16-QAM & 64-QAM Based OFDM System Over Rayleigh Fading Channel. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, 11(4), 66–74. <https://doi.org/10.9790/2834-1104036674>
- Lab-Volt Itée. (2007). *Quadrature phase shift keying (QPSK/DQPSK)*. Québec: Lab-Volt.
- Palmquist, F. (2000). *Satellite data communications as acomplement to GSM* (Dissertation). Technische Universität Wien, Austria. Recuperado a partir de <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-93580>

- Tomasi, W. (2010). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson Educación.
- Umesharaddy, & Sujatha, B. K. (2015). Performance improvement of QPSK modem implemented in FPGA (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SMARTSENS.2015.7873621>
- Valenta, V., Davies, I., Ayllon, N., Seyfarth, S., & Angeletti, P. (2018). High-gain GaN doherty power amplifier for Ka-band satellite communications (pp. 29–31). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PAWR.2018.8310059>
- Wang, X., & Qi, C. (2017). Algorithm for modeling dual-polarized MIMO channel in land mobile satellite communications (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WCSP.2017.8170880>
- Wang, Y., & Guo, D. (2017). A Data Recovering Algorithm for LDPC Codes in Highly Mobile Satellite Communications (pp. 925–929). Presentado en 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, China: IEEE Xplore. Recuperado a partir de <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2065/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8322679>
- Zhen, L., Qin, H., Song, B., Ding, R., Du, X., & Guizani, M. (2018). Random Access Preamble Design and Detection for Mobile Satellite Communication Systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 36(2), 280–291. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2018.2804138>



**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, **Barco Vargas, Henry Fabián** con C.C: # 092070928-4 autor del trabajo de titulación: Implementación de escenarios de simulación en sistemas de comunicación por satélite utilizando técnicas de modulación PSK, previo a la obtención del título de **Magister 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, 16 de Mayo de 2018

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Barco Vargas, Henry Fabián**

C.C: 092070928-4



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 TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Implementación de escenarios de simulación en sistemas de comunicación por satélite utilizando técnicas de modulación PSK		
<b>AUTOR(ES)</b>	Barco Vargas, Henry Fabián		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	MSc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; MSc. Bohórquez Escobar, Celso / MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Sistema de Posgrado		
<b>PROGRAMA:</b>	Maestría en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magister en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	16 de Mayo del 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	66
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Teoría de la Comunicación, Procesamiento Digital de Señales, Programación Avanzada.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Modulación, Transmisor, Receptor, Satélite, PSK, M-PSK		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>El desarrollo del presente documento del examen complejo denominado Implementación de escenarios de simulación en sistemas de comunicación por satélite utilizando técnicas de modulación por desplazamiento de fase (PSK). En el primer capítulo, se describen las generalidades del presente proyecto de titulación, tales como, antecedentes del problema a investigar, definición del problema de investigación, justificación, objetivos (general y específicos), hipótesis y los tipos de metodologías de investigación. En el segundo capítulo, se describen las bases fundamentales de las técnicas de modulación por desplazamiento de fase y de los sistemas de comunicación por satélite. En el tercer capítulo, se realiza el diseño y evaluación de los resultados obtenidos de los escenarios de simulación del modelado de un sistema de comunicación por satélite empleando las técnicas de modulación PSK a través de la plataforma Simulink de Matlab aprovechando el uso de la herramienta Bertool se determina el comportamiento del sistema de red modelado.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 0980700305	E-mail:inghenrybarcovargas@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Manuel Romero Paz		
	<b>Teléfono:</b> 0994606932		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec">manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			