



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Diseño e implementación de esquemas de modulación QAM-OFDM
para sistemas de comunicación RoF utilizando OptiSystem**

AUTOR:

Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie

Componente práctico del examen complejo previo a la obtención del
Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, 8 de diciembre del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Ing. **Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, 8 de diciembre del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie**

DECLARÓ QUE:

El componente práctico del examen complejo “**Diseño e implementación de esquemas de modulación QAM-OFDM para sistemas de comunicación RoF utilizando OptiSystem**”, 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 componente práctico del examen complejo del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 8 de diciembre del 2020

EL AUTOR

Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Componente práctico del examen complejo de Maestría titulado: **“Diseño e implementación de esquemas de modulación QAM-OFDM para sistemas de comunicación RoF utilizando OptiSystem”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 8 de diciembre del 2020

EL AUTOR

Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie

REPORTE DE URKUND

URKUND Lista de fuentes Bloques Fernando Palacios Meléndez (edwin_palacios)

Documento	Geomayra_Carriel_MET2020.docx (D86641763)
Presentado	2020-11-25 11:55 (-05:00)
Presentado por	fernandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión TT MET Geomayra Carriel Mostrar el mensaje completo 1% de estas 22 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

Categoría	Enlace/nombre de archivo	
+	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/33...	<input type="checkbox"/>
+	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/33...	<input type="checkbox"/>
+	ALBAN_Titulacion.docx	<input checked="" type="checkbox"/>
+	Jorge_Ortega_TT_2018.docx	<input type="checkbox"/>
+	Giler_Titulacion_2019.docx	<input checked="" type="checkbox"/>
+	Tesis Raul Sardiñas Fernandez.pdf	<input checked="" type="checkbox"/>

Fuentes alternativas

Reiniciar Exportar Compartir

1 Advertencias

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

TEMA: Diseño e implementación de esquemas de
modulación QAM-OFDM para sistemas de comunicación

RoF utilizando OptiSystem

AUTOR: Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie

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

TUTOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

31 de octubre del 2020

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a Dios, a mis padres, a mi esposo y de manera muy especial a mi hijo Gael que es el motor que me impulsa a seguir día a día para alcanzar todas mis metas.

Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida ya que sin él no hay motivación, a mi familia por ser promotora de mis sueños, gracias a mis amigos por confiar en mis expectativas y brindarme todo su apoyo, lo cual ha permitido culminar con éxitos esta meta de posgrado (M. Sc.).

De igual manera mis agradecimientos a mis formadores personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro, gracias por la enseñanza y su amistad brindada.

Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie



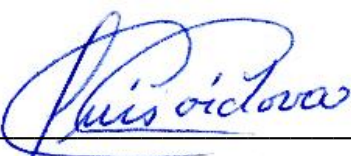
**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
TUTOR

f. 

M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
REVISOR

f. 

M. Sc. ZAMORA CEDEÑO, NESTOR ARMANDO
REVISOR

f. 

M. Sc. ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas	XIV
Resumen	XV
Abstract	XVI
Keywords:.....	XVI
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.	17
1.1. Introducción.....	17
1.2. Antecedentes.	18
1.3. Definición del problema	19
1.4. Justificación del problema a investigar.	19
1.5. Objetivos	19
1.6. Hipótesis.....	20
1.7. Metodología de investigación.	20
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.	22
2.1. Breve descripción de radio sobre fibra (RoF).....	22
2.2. Necesidad de radio sobre sistemas de fibra.	23
2.3. Transporte óptico y deficiencias en enlaces de RoF.....	25
2.4. Superar la dispersión cromática de las fibras.	27
2.5. Diseño de enlace de radio sobre fibra.	29
2.6. Modulación de radiofrecuencia en el sistema de enlace óptico.....	30
2.6.1. Modulación en amplitud (AM) óptica.....	31
2.6.2. Modulación de intensidad (IM).....	34
2.6.3. Modulador externo.....	36
2.7. Principales ventajas de la radio sobre la fibra.....	37
2.8. Limitaciones de la tecnología de radio sobre fibra.	38
Capítulo 3: Diseño del entorno de simulación y análisis de resultados.	39
3.1. Visión general del capítulo.....	39
3.2. Entornos de simulación de comunicaciones ópticas (OptiSystem).	39

3.2.1.	Aplicaciones del entorno OptiSystem.	40
3.2.2.	Herramientas de análisis en el entorno OptiSystem.	40
3.3.	Implementación del sistema RoF usando QAM-OFDM.....	41
3.4.	Diseño del transmisor	42
3.4.1.	Transmisor de radiofrecuencia (RF).	42
3.4.2.	Transmisor óptico.	44
3.5.	Diseño de enlace de transmisión óptica	44
3.6.	Diseño del receptor.	45
3.6.1.	Receptor óptico.	45
3.6.2.	Receptor de RF.	46
3.7.	Resultados de la simulación del sistema RoF con 4QAM-OFDM. .	46
3.7.1.	Resultados de la simulación del modelo de transmisor.	47
3.7.2.	Resultados de la simulación del modelo de receptor.	49
3.8.	Resultados de la simulación del sistema RoF con 16QAM-OFDM.	50
3.8.1.	Resultados de la simulación del modelo de transmisor para 512 subportadoras.....	50
3.8.2.	Resultados de la simulación del modelo de receptor para 512 subportadoras.....	53
3.8.3.	Resultados de la simulación para subportadoras 128, 256 y 1024.	56
3.9.	Resultados de la simulación del sistema RoF 64QAM-OFDM.	58
3.9.1.	Resultados de la simulación del modelo de transmisor.	58
3.9.2.	Resultados de la simulación del modelo de receptor.	60
Conclusiones		63
Recomendaciones		64
Bibliografía.....		65

Índice de Figuras

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Diagrama de un sistema de comunicaciones de radio sobre fibra (RoF).	22
Figura 2. 2: Esquemático de los componentes de una red de sensores inalámbricos.	24
Figura 2. 3: Esquemático de los componentes de una red de sensores inalámbricos.	26
Figura 2. 4: Potencia de RF normalizada en función de la (a) longitud y (b) modulación de frecuencia.	28
Figura 2. 5: Esquemático de la arquitectura RoF utilizando modulación externa.	31
Figura 2. 6: Método de banda base para la modulación en amplitud (AM)...	32
Figura 2. 7: Modulación para la transmisión de video en AM.	33
Figura 2. 8: Modulación para la transmisión de video en RF.....	33
Figura 2. 9: Modulación para la transmisión de video en VSB-AM.....	34
Figura 2. 10: Diagrama de bloques del sistema óptico mediante el método de modulación directa.....	35
Figura 2. 11: Diagrama de bloques del sistema óptico mediante el método de modulación externa.	36

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Ventana principal del entorno de simulación OptiSystem.....	40
Figura 3. 2: Diagramas de constelaciones para diferentes esquemas de modulación de amplitud en cuadratura a) 4-QAM, b) 16-QAM y c) 64-QAM.	42
Figura 3. 3: Diseño del sistema de transmisión RoF con QAM-OFDM utilizando el entorno de simulación OptiSystem.	43
Figura 3. 4: Diseño del sistema de transmisión óptica utilizando el entorno de simulación OptiSystem.	44

Figura 3. 5: Diseño del enlace de transmisión óptica utilizando el entorno de simulación OptiSystem.	45
Figura 3. 6: Diseño del sistema de recepción óptico a RoF utilizando el entorno de simulación OptiSystem.	46
Figura 3. 7: Diseño del sistema de recepción RoF utilizando el entorno de simulación OptiSystem.	46
Figura 3. 8: Señal original para el sistema 4QAM.	47
Figura 3. 9: Diagrama de constelación del codificador 4QAM.	47
Figura 3. 11: Señal modulada OFDM en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.	48
Figura 3. 11: Señal óptica después del modulador Mach-Zehnder.	48
Figura 3. 12: Señal óptica en la fibra en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.	49
Figura 3. 13: Señal óptica en la fibra en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.	49
Figura 3. 14: Señal óptica en la fibra en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.	50
Figura 3. 15: Señal original para el sistema 16QAM-OFDM.	51
Figura 3. 16: Diagrama de constelación del codificador 16QAM.	51
Figura 3. 17: Señal OFDM filtrada por el filtro pasa bajo (LP).	52
Figura 3. 18: Señal OFDM en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.	52
Figura 3. 19: Señal óptica modulada en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.	53
Figura 3. 20: Señal óptica recibida en PD.	53
Figura 3. 21: Señal óptica recibida en PD.	54
Figura 3. 22: Señal de RF después del filtro pasa banda (BPF).	54
Figura 3. 23: Diagrama final de la constelación del decodificador 16QAM.	55
Figura 3. 24: Análisis BER a) BER mínima, b) Patrón BER.	55
Figura 3. 25: Señal óptica modulada para codificación 16QAM con (a) 128 subportadoras, (b) 256 subportadoras, y (c) 1024 subportadoras.	56
Figura 3. 26: Diagrama de constelación final para codificación 16QAM con (a) 128 subportadoras, (b) 256 subportadoras, y (c) 1024 subportadoras.	57

Figura 3. 27: BER mínima para codificación 16QAM con (a) 128 subportadoras, (b) 256 subportadoras, y (c) 1024 subportadoras.....	58
Figura 3. 28: Diagrama de constelación del codificador 64QAM.	59
Figura 3. 29: Señal OFDM en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia. ...	59
Figura 3. 30: Señal láser con frecuencia central de 193,1 THz.	60
Figura 3. 31: Señal óptica modulada en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.....	60
Figura 3. 32: Señal recibida después de la DP. a) Dominio del tiempo, b) Dominio de la frecuencia.	61
Figura 3. 33: Diagrama de constelación del decodificador final 64QAM.....	61
Figura 3. 34: Diagrama de constelación del decodificador final 64QAM.....	62

Índice de Tablas

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Entidades de la RSI con sus parámetros de simulación.	43
--	----

Resumen

El presente trabajo consiste en realizar el diseño e implementación de un sistema de comunicación de radio sobre fibra (RoF) mediante tres escenarios de simulación de los esquemas de modulación de amplitud en cuadratura (QAM) combinada con la multiplexación de división de frecuencias ortogonales (OFDM) utilizando el entorno OptiSystem. Para llegar a cumplir con el objetivo principal del presente trabajo, se tuvo que analizar diferentes entornos de simulación robustos, tales como, MatLab/Simulink, LabVIEW, Opnet Modeler, OMNeT ++ y OptiSystem. Este último fue elegido como el más idóneo al momento de diseñar un sistema óptico híbrido y por su entorno gráfico muy amigable para implementar redes ópticas. Previo al diseño del sistema de comunicación RoF se describió los fundamentos teóricos de estos sistemas. Para el diseño del sistema de comunicación RoF se utilizaron tres esquemas de modulación óptico QAM (4QAM, 16QAM y 64QAM) con la variación de subportadoras y combinadas con el sistema OFDM en el acceso inalámbrico.

Palabras claves: RADIO, FIBRA, COMUNICACIONES, MODULACIÓN, MULTIPLEXACIÓN, SIMULACIÓN

Abstract

The present work consists of carrying out the design and implementation of a radio communication system over fiber (RoF) through three simulation scenarios of quadrature amplitude modulation (QAM) schemes combined with orthogonal frequency division multiplexing (OFDM).) using the OptiSystem environment. In order to meet the main objective of this work, different robust simulation environments had to be analyzed, such as MatLab / Simulink, LabVIEW, Opnet Modeler, OMNeT ++ and OptiSystem. The latter was chosen as the most suitable when designing a hybrid optical system and for its very user-friendly graphical environment to implement optical networks. Before designing the RoF communication system, the theoretical foundations of these systems were described. For the design of the RoF communication system, three QAM optical modulation schemes (4QAM, 16QAM and 64QAM) were used with the variation of subcarriers and combined with the OFDM system in wireless access.

Keywords: RADIO, FIBER, COMMUNICATIONS, MODULATION, MULTIPLEXING, SIMULATION

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

El sistema inalámbrico de fibra une el mundo inalámbrico y óptico que cubre la generación fotónica de señal inalámbrica, métodos de transporte y despliegue de red, etc. En esta sección, se describe brevemente las tecnologías de transmisión de capa física relacionadas, incluida la transmisión y distribución de radio analógica/digital, la arquitectura de redes ópticas pasivas (Passive Optical Networks, PON) emergentes para la futura tecnología inalámbrica, sistemas de antenas convergentes y distribuida basado en tecnología de radio sobre fibra (Radio-over-Fiber, RoF) (Chen et al., 2009).

El resultado de la velocidad de transmisión de datos de alta velocidad y la capacidad de la red ha sido desafiado recientemente tanto en la comunicación alámbrica como inalámbrica debido a la alta demanda de acceso a la red y soporte móvil del usuario. El autor Fernando, (2014) propuso un diseño de sistema para soportar velocidades de datos de alta velocidad y capacidad de red para aplicaciones en tiempo real. Incluso aunque los resultados de la simulación se han adoptado en la mayoría de los esquemas de diseño, proporcionar servicios de banda ancha para comunicaciones multimedia y movilidades ubicuas sigue siendo un desafío para los sistemas de comunicación inalámbrica. (Cheng et al., 2017)

Por lo tanto, la capacidad actual de la red debe mejorarse para satisfacer la gran demanda de servicios de banda ancha por parte de los usuarios. Recientemente, se han propuesto varias soluciones para mejorar las capacidades de las redes, pero la alta velocidad de datos y los servicios de banda ancha solo se pueden lograr mediante una modulación multiportadora.

Se propuso el uso de radio sobre fibra con ondas milimétricas para resolver el área local y los problemas de congestión espectral con componentes de bajo costo y reducir el consumo de energía. Las técnicas

de integración de radiofrecuencia y portadora óptica han proporcionado un gran ancho de banda y permiten el consumo de energía en el sistema.

Según Rashidi et al., (2017) recientemente, se han llevado a cabo varios estudios con respecto al marco de RoF y una gran parte de ellos se centran predominantemente en la estructura de la arquitectura, la era de la señal de RF o la reducción de la diafonía. Dado que la seguridad es uno de los índices de rendimiento más importantes de un sistema, es una seriedad y una esencialidad asombrosas para mejorar la seguridad del sistema RoF. (Ibrahim et al., 2016)

El despliegue masivo de terminales móviles de nueva generación (tabletas, teléfonos inteligentes) genera un rápido crecimiento del tráfico en las redes radio-móviles. Proporcionar enlaces inalámbricos ubicuos de alta capacidad a usuarios móviles sigue siendo hoy en día un desafío tecnológico y económico. Según el estado de la tecnología, la forma más eficiente de incrementar la capacidad de las redes radio-móviles consiste en reducir drásticamente el tamaño de cada celda. Este enfoque tiene un fuerte impacto económico para los operadores de telefonía móvil. (Haddad & Gagnaire, 2014)

Las técnicas de radio sobre fibra (RoF) se consideran hoy en día como una solución muy prometedora a este problema. Consisten en desacoplar físicamente el equipo de procesamiento de señales de radio de los sitios de las antenas a una o varias ubicaciones remotas en la parte superior del backhaul móvil donde se pueden colocar los controladores de radio. Entonces es posible crear granjas de estaciones base móviles remotas para las cuales dispositivos costosos como osciladores de radiofrecuencia (RF) se pueden combinar entre múltiples celdas. (Haddad & Gagnaire, 2014)

1.2. Antecedentes.

A medida que se integran las comunicaciones inalámbricas y ópticas, la tecnología de radio sobre fibra (RoF) ha despertado un gran interés en ser considerada como la solución poderosa para las futuras redes de acceso

inalámbrico de alta velocidad. Al utilizar una fibra para conectar la estación central (CS) con varias estaciones base simplificadas (BS) remotas, puede aumentar considerablemente la capacidad, la cobertura y la movilidad de la red y, además, servir a los usuarios finales tanto fijos como móviles (Hsueh et al., 2011). La radio sobre fibra (RoF) combinada con la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) es una técnica que facilita las altas velocidades de datos y la transmisión de larga distancia (Venkatrao & Bhanu Prashanth, 2016).

1.3. Definición del problema

Cuando se proponen proyectos en el que se realiza el diseño y análisis de un sistema de comunicación de radio sobre fibra mediante pruebas experimentales de campo, resulta casi imposible realizarlos en las empresas de telecomunicaciones debido a la confidencialidad laboral. Por este motivo, surge la necesidad de utilizar el entorno de simulación OptiSystem para modelar el diseño de sistema de comunicación y analizar su comportamiento mediante la implementación de esquemas de modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

1.4. Justificación del problema a investigar.

El sistema de radio sobre fibra (RoF) es una red de banda ancha unificada que admite tecnologías ópticas e inalámbricas. En comparación con el enlace óptico analógico RoF, el sistema digital RoF muestra una serie de ventajas y, por lo tanto, se ha estudiado ampliamente en varios trabajos de investigación. Para mejorar la velocidad de datos para la red de acceso óptico-inalámbrico de próxima generación, el uso de señales de modulación de amplitud en cuadratura (QAM) de alto orden para RoF digital es necesario y también recomendado por el estándar IEEE 802.11ac.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General:

Realizar el diseño e implementación de esquemas de modulación de amplitud en cuadratura y multiplexación por división de frecuencias

ortogonales (QAM-OFDM) para sistemas de comunicación de radio sobre fibra (RoF) utilizando el entorno de simulación OptiSystem.

1.5.2. Objetivos específicos:

- ✓ Describir los fundamentos teóricos de los sistemas de comunicaciones de radio sobre fibra.
- ✓ Diseñar el sistema de comunicación de RoF utilizando tres esquemas de modulación QAM-OFDM sobre el entorno de simulación OptiSystem.
- ✓ Evaluar resultados obtenidos de los tres esquemas de modulación del sistema de comunicación de RoF.

1.6. Hipótesis

El modelado de un sistema de comunicación de RoF propuesto contribuirá a que futuras investigaciones empleen entornos de simulaciones robustos, tales como, OptiSystem, MatLab/Simulink, LabVIEW, Opnet Modeler, OMNeT ++, entre otros. Las métricas que se analizan en los resultados obtenidos permitirá comprobar que el esquema de modulación QAM-OFDM tiene mejor rendimiento y menor retardo que los otros dos esquemas diseñados.

1.7. Metodología de investigación.

¿Qué es la investigación? Es una búsqueda de conocimiento, una búsqueda científica y sistemática de información significativa sobre un tema específico, una investigación cuidadosa a través de la búsqueda de nuevos hechos en cualquier rama del conocimiento, un viaje de descubrimiento, y así sucesivamente.

Cuando lo desconocido nos confronta, nuestro instinto heredado de curiosidad (curiosidad) nos hace sondear para lograr la comprensión completa de lo desconocido. El método que empleamos para sondear y obtener el conocimiento de lo desconocido se puede llamar investigación. La investigación es definir y redefinir problemas, formular hipótesis o soluciones sugeridas; recopilar, organizar y evaluar datos; hacer deducciones y sacar

conclusiones; y finalmente probar las conclusiones cuidadosamente para determinar si se ajustan a la hipótesis formulada.

El presente trabajo emplea una investigación empírica, ya que se basa únicamente en el experimento o la observación, a menudo sin tener en cuenta el sistema y la teoría. Es una investigación basada en datos (generados por el entorno de simulación), que llega a conclusiones que pueden ser verificadas por observación o experimentación. En una investigación de este tipo, es necesario conocer los hechos de primera mano, en su fuente, y hacer ciertas cosas de manera activa para estimular la producción de la información deseada. En tal investigación, el investigador primero debe proporcionarse a sí mismo una hipótesis de trabajo o adivinar los resultados probables. Luego trabaja para obtener suficientes hechos (datos) para probar o refutar su hipótesis.

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.

2.1. Breve descripción de radio sobre fibra (RoF).

La creciente demanda de mayor capacidad y velocidades de transmisión más altas para adaptarse a aplicaciones multimedia y en tiempo real con uso intensivo de datos es unánime en los entornos de acceso inalámbrico fijo y celular. Esto ejerce mucha presión sobre red troncal (backbone) de microondas tradicional de las redes inalámbricas, que eventualmente no podrá hacer frente al tráfico total y prohibirá el crecimiento de redes de acceso inalámbrico de banda ancha verdaderamente.

Una red troncal de fibra óptica con sus características de baja pérdida y gran ancho de banda es una alternativa ideal para reemplazar la red troncal de microondas para el transporte de tráfico agregado de alto rendimiento futuro desde todas las estaciones base de antenas remotas.

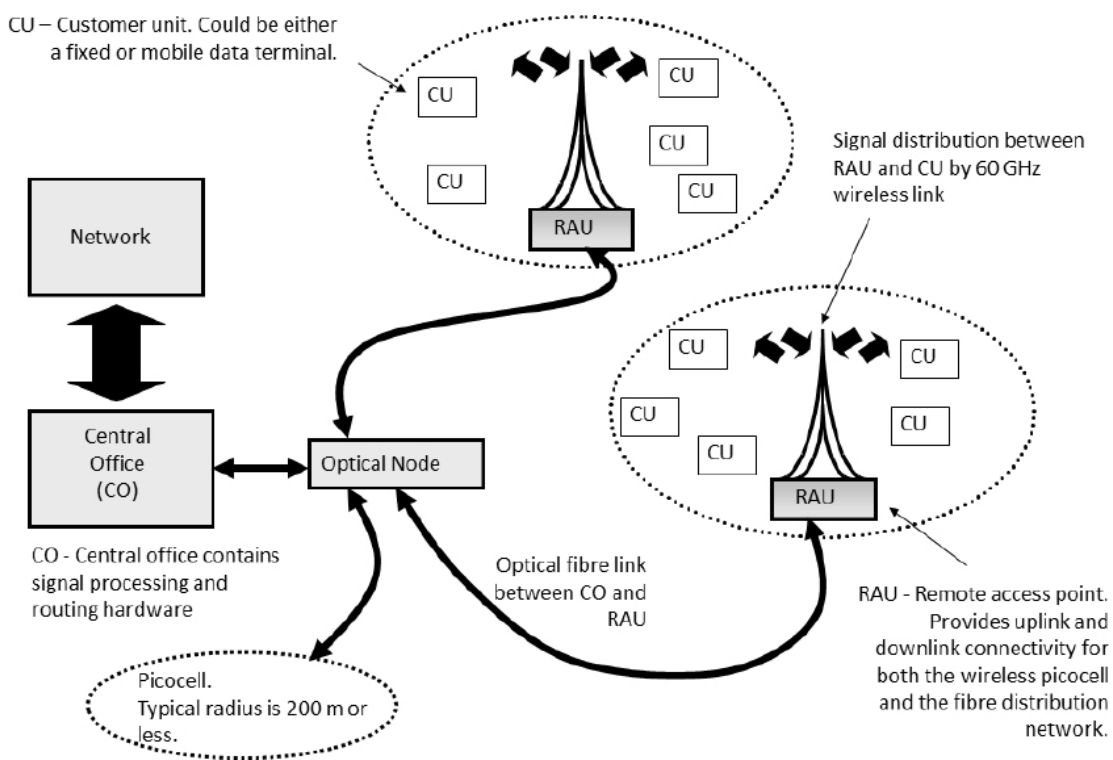


Figura 2. 1: Diagrama de un sistema de comunicaciones de radio sobre fibra (RoF).

Fuente: (Iezekiel, 2016)

Estas redes híbridas inalámbricas de fibra para acceso inalámbrico fijo o sistemas de radio sobre fibra (Radio-over-Fiber, RoF) se han buscado activamente para proporcionar un ancho de banda ultra alto para

conectividad sin ataduras. En la figura 2.1 se muestra una red RoF típica que comprende una cabecera óptica u oficina central (*Central Office, CO*) que actúa como puerta de entrada a la red troncal óptica metropolitana mientras da servicio a una gran cantidad de estaciones base (*Base Station, BS*) de antena y puntos de acceso remoto (*Remote Access Point, RAU*) o llamados también nodos remotos (*Remote Node, RN*) que son ampliamente distribuidos. (Lim, Nirmalathas, Bakaul, et al., 2009)

Una estrategia para lograr un control centralizado en las redes RoF es distribuir ópticamente las señales de radio en las frecuencias de la portadora de radio, reduciendo así la complejidad de las antenas en una BS al mover la mayor parte de la inteligencia del hardware a la CO. Aunque este enfoque es simple y rentable, a menudo exige enlaces ópticos analógicos altamente lineales con suficiente ganancia de enlace.

La demanda se vuelve más estricta para las señales inalámbricas que operan a frecuencias más altas. Por lo tanto, la implementación de la red híbrida RoF no es sencilla y se deben considerar los problemas relacionados con el transporte de señales inalámbricas, las degradaciones de la señal, la optimización del rendimiento y la integración con la infraestructura existente. En este trabajo se revisan los esquemas y estrategias para realizar un enlace de RoF de alto rendimiento.

2.2. Necesidad de radio sobre sistemas de fibra.

Para los futuros requisitos previos de los servicios multimedia y la banda ancha sobre medios inalámbricos, se necesitan algunas características distintivas, como la reducción del tamaño de la celda para acomodar a más usuarios y operar en las bandas de frecuencia de ondas milimétricas (mm-wave) para superar la obstrucción espectral.

Tal sistema (véase la figura 2.2) requeriría un gran número de BS's para cubrir una gran área de cobertura geográfica y la BS también debería ser rentable, entonces solo tal sistema tendría éxito en el mercado.

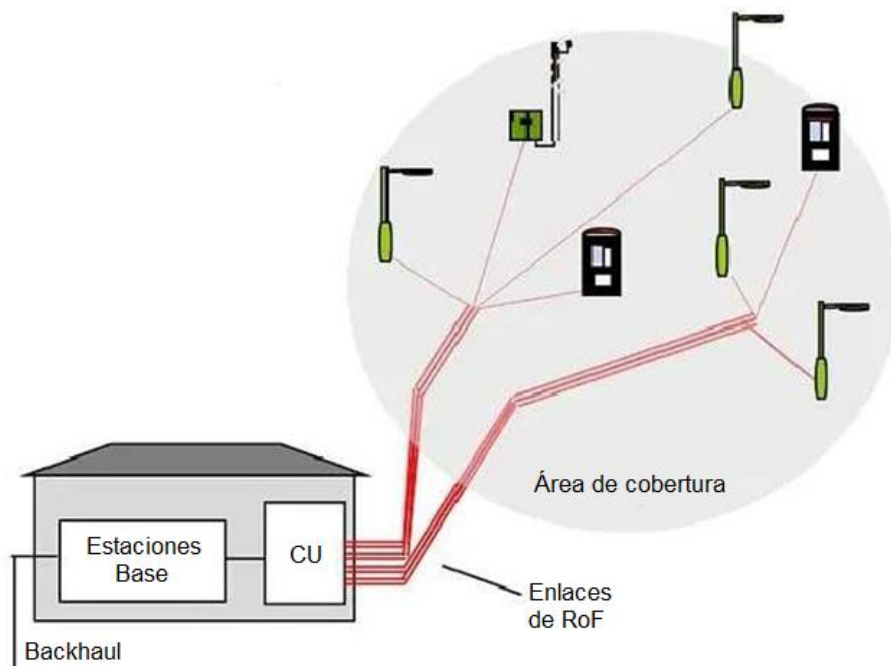


Figura 2. 2: Esquemático de los componentes de una red de sensores inalámbricos.
Fuente: (Iezekiel, 2016)

En un mercado tan competitivo, esta necesidad ha llevado a la evolución de la arquitectura del sistema donde las funciones de microondas tales como procesamiento de señales, enrutamiento de señales, traspaso, modulación, establecimiento de protocolos y asignación de frecuencias, entre otras, se realizan en la estación de control (Control Station, CS) central en lugar de estación remota o estación base (BS).

Este tipo de disposición centralizada permite colocar equipos complejos, sensibles y costosos en un entorno más seguro y compartirlos entre varias BS o varias RS (Estaciones Remotas). Ahora surge la pregunta de cómo vincular la estación central (CS) con la BS. En este tipo de red de radio, el empleo de fibra óptica es la opción más adecuada para el enlace de una CS con una BS, ya que la fibra tiene un costo más económico, tiene bajas pérdidas, es inmune a la intermodulación electromagnética (EMI) y proporciona un amplio ancho de banda.

Al mantener las BS lo más simples posible y al compartir los recursos proporcionados por la CS entre varias BS, se puede minimizar efectivamente el costo de toda la red y, por lo tanto, el costo de mantenimiento. La

modulación de subportadoras de RF en una portadora óptica a través de una fibra se conoce como tecnología de radio sobre fibra (RoF). Por lo general, la red RoF consta de CS o unidad central (CU), donde se realizan funciones como conmutación, enrutamiento, control de acceso al medio (MAC) y gestión de frecuencia, mientras que en las BS se realizan funciones como ópticas a eléctricas y viceversa.

2.3. Transporte óptico y deficiencias en enlaces de RoF.

El esquema más simple para transportar señales inalámbricas a través de una red de fibra óptica es transportar directamente las señales inalámbricas a través de fibra sin ningún procesamiento de frecuencia. En esta configuración, las señales inalámbricas se modulan externa o directamente en la portadora óptica siempre que el modulador externo o la fuente óptica tenga un ancho de banda igual o mayor que la frecuencia de la portadora inalámbrica. Las señales inalámbricas moduladas ópticamente se transportarán a través de un enlace fotónico analógico.

Este enfoque conduce a un diseño de estación base simple que solo requiere conversión óptica a eléctrica y amplificación de RF mientras permite el control y la gestión centralizada de las señales inalámbricas. Sin embargo, a medida que aumenta la frecuencia de la portadora inalámbrica, el requisito de fuentes ópticas de alta velocidad, moduladores y fotodetectores puede representar una limitación de costos para el enlace general. Además, el impacto de la dispersión cromática de la fibra en las señales inalámbricas transportadas se vuelve más pronunciado con el aumento de la frecuencia de la portadora inalámbrica.

En contraste con el transporte de señales inalámbricas a la frecuencia inalámbrica a través de fibra, las señales inalámbricas también se pueden transportar digitalmente a través de fibra. En este enfoque, la información inalámbrica se transporta como datos de banda base a través de fibra y los datos de banda base se convierten a la frecuencia de la portadora inalámbrica en la antena de una BS. El transporte digital de la señal

inalámbrica mejora ópticamente, el rendimiento de intermodulación y mejora el rango dinámico del enlace.

Además, dado que, para la mayoría de los estándares inalámbricos, la banda de información inalámbrica es solo una fracción de la frecuencia de la portadora inalámbrica, este esquema tiene la ventaja de utilizar interfaces optoelectrónicas de baja velocidad y hardware digital equilibrado. Sin embargo, este esquema depende de la interfaz aérea que requiere que la BS procese minuciosamente las señales inalámbricas antes de enviar la información de la banda base de vuelta a la CO. Por lo tanto, necesita el alojamiento de hardware adicional dentro de la antena en la BS para realizar estas tareas que aumentarán la complejidad de la BS drásticamente.

Al comparar estos sistemas de transporte, en última instancia, existe un compromiso entre las complejidades del diseño de la antena en la BS y el rango dinámico del enlace de RoF. En un enlace fotónico analógico, las señales inalámbricas experimentan una serie de deterioros de señal inevitables en los enlaces de RoF, tal como se muestra en la figura 2.3. Estos deterioros surgen como resultado de las características no lineales del proceso de conversión optoelectrónica que conduce para aumentar la distorsión de intermodulación y reducir el rango dinámico.

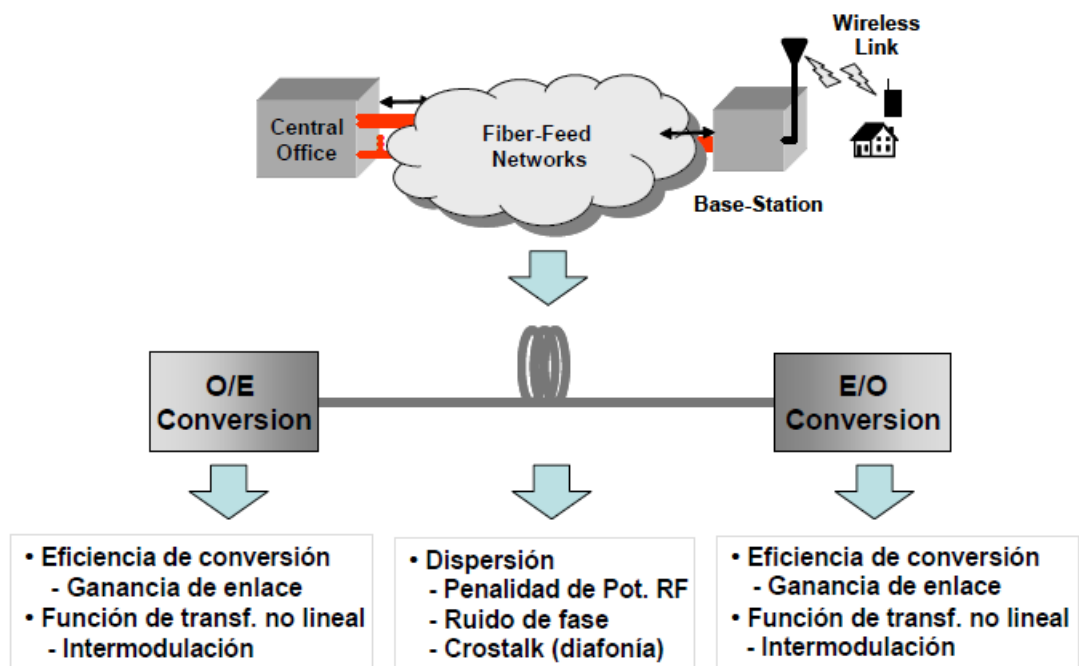


Figura 2. 3: Esquemático de los componentes de una red de sensores inalámbricos.

Fuente: (Lim, Nirmalathas, Yang, et al., 2009; Pipatsart et al., 2012)

El estudio ha demostrado que la no linealidad del interfaz óptico limita el rango dinámico general del sistema. En consecuencia, para minimizar los efectos no lineales de la conversión optoelectrónica, la amplitud de las señales de excitación tiene que reducirse en gran medida, lo que conduce a una baja eficiencia de conversión y a una ganancia de enlace reducida. Otro deterioro que conduce a la degradación del rendimiento es el impacto de la dispersión cromática de las fibras. Se han propuesto y demostrado una serie de estrategias diferentes para superar estas deficiencias.

2.4. Superar la dispersión cromática de las fibras.

Cuando las señales inalámbricas se modulan en intensidad en una portadora óptica, dará como resultado un formato de modulación óptica de doble banda lateral con portadora (ODSB) donde las bandas laterales se ubican en la frecuencia de la portadora inalámbrica a cada lado de la portadora óptica. Cuando la señal modulada ópticamente se propaga a lo largo de una fibra dispersiva, las dos bandas laterales experimentarán una cantidad diferente de desplazamiento de fase en relación con la portadora óptica.

Tras la detección en el fotodetector, el proceso de ley cuadrática genera dos componentes de latido en la frecuencia inalámbrica. La potencia de RF recibida de la señal inalámbrica varía según la diferencia de fase relativa entre los dos componentes de tiempo. La variación de la potencia de RF depende del parámetro de dispersión de la fibra, la distancia de transmisión y también la frecuencia de la portadora inalámbrica, según se rige por la siguiente ecuación:

$$P_{RF} = \cos^2 \left[\pi c L D \left(\frac{f_{RF}}{f_0} \right)^2 \right]$$

donde,

D representa el parámetro de dispersión de la fibra en $\frac{ps}{ns \cdot km}$,

c es la velocidad de la luz en el vacío (3×10^8),

L es la longitud de transmisión de la fibra,

f_{RF} representa la frecuencia de la portadora inalámbrica y

f_0 es la frecuencia central de la portadora óptica.

Para poder cuantificar la severidad de la penalización (véase la figura 2.4) se debe calcular la potencia de RF normalizada recibida y graficada como una función de la distancia de transmisión de fibra (L) para señales ODSB con frecuencias de modulación de 12 GHz, 37 GHz y 60 GHz, respectivamente, en base a la ecuación de P_{RF} anterior. De los resultados se puede ver que la potencia de RF varía de manera periódica con una supresión de potencia completa que se produce a frecuencias de modulación específicas y el impacto de la dispersión cromática de la fibra se vuelve más severo al aumentar la frecuencia de modulación.

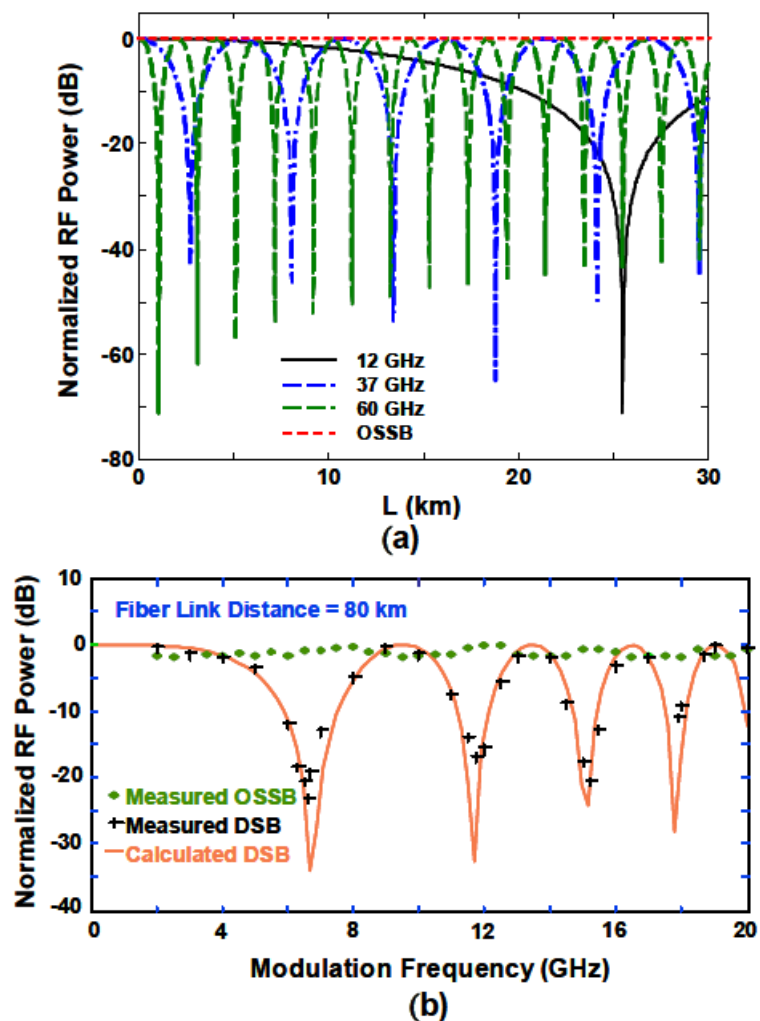


Figura 2. 4: Potencia de RF normalizada en función de la (a) longitud y (b) modulación de frecuencia.

Fuente: (Lim, Nirmalathas, Yang, et al., 2009)

Se han propuesto y demostrado varias técnicas para superar los efectos de dispersión en tales sistemas. Estas técnicas incluyen el esquema

de modulación óptica de banda lateral única con portadora (OSSB+C), técnica de supresión de portadora óptica, filtrado externo, usando rejillas de fibra chirped, no linealidades de las fibras, y el uso de la conjugación de fases.

En la figura 3.4 (b) se muestra la potencia de RF recibida normalizada medida y calculada en función de la frecuencia de modulación para la transmisión a más de 80 km de fibra monomodo. También se grafican los resultados medidos cuando se implementó la modulación OSSB + C, lo que indica claramente la mitigación del desvanecimiento de potencia inducido por la dispersión. La figura 2.4 (b) también muestra los resultados calculados para OSSB + C que mitiga el efecto de desvanecimiento de potencia de RF debido a la dispersión cromática de la fibra.

2.5. Diseño de enlace de radio sobre fibra.

Hay varios factores específicos para el diseño de un enlace RoF que se tienen en cuenta al diseñar un sistema real. El sistema real depende de la geografía y la carga de tráfico en esa ubicación geográfica en particular.

- a. **Frecuencia de portadora:** esto decidiría el tipo de componentes optoelectrónicos que se incorporarán al sistema. Además, una frecuencia más alta admite un ancho de banda más alto, pero esto aumentaría la dispersión en la fibra.
- b. **Ancho de banda del canal de radio:** Esto a su vez depende de la frecuencia de la portadora y del número asignado de usuarios. El CNR decidiría el ancho de banda permitido.
- c. **Número de canales:** el ruido transmitido máximo permitido y los requisitos de estabilidad deciden el número de canales para una estación remota en particular.
- d. **Formato de modulación:** como se discutió anteriormente, los esquemas de modulación simples son simples de diseñar y económicos, pero espectralmente ineficaces. Por lo tanto, si la predicción del mercado es un alto crecimiento del tráfico, los esquemas complejos que pueden acomodar a muchos usuarios resultarían económicos a largo plazo.

- e. **Costo:** es otro criterio importante para el despliegue de sistemas prácticos, depende de los beneficios a corto y largo plazo.
- f. **Distancia:** la operatividad es otro parámetro para considerar para la longitud de la fibra, las potencias operativas de los diodos láser y por tanto las velocidades de transmisión de datos.
- g. **Hibridez:** es la combinación de usuarios por cable e inalámbricos sería importante si la red de alimentación óptica está preparada para el futuro.

Básicamente, para un escenario dado, el equipo de ingeniería decide la carga de tráfico prevista. Luego se dividiría entre varias celdas geográficas más pequeñas. Luego, se calculan los parámetros específicos del enlace y siempre se asigna un margen adicional para garantizar la confiabilidad en caso de una interrupción. Después de este proceso, los componentes más adecuados y económicos se instalan y prueban para las especificaciones diseñadas, si no coinciden, el enlace se rediseñará.

2.6. Modulación de radiofrecuencia en el sistema de enlace óptico.

En la presente sección se presentan los métodos principales de uso de radiofrecuencia y portadora óptica mediante los cuales se describe la tecnología de radio sobre fibra con el objetivo de realizar los sistemas de comunicación inalámbrica y mejorar la capacidad de la red.

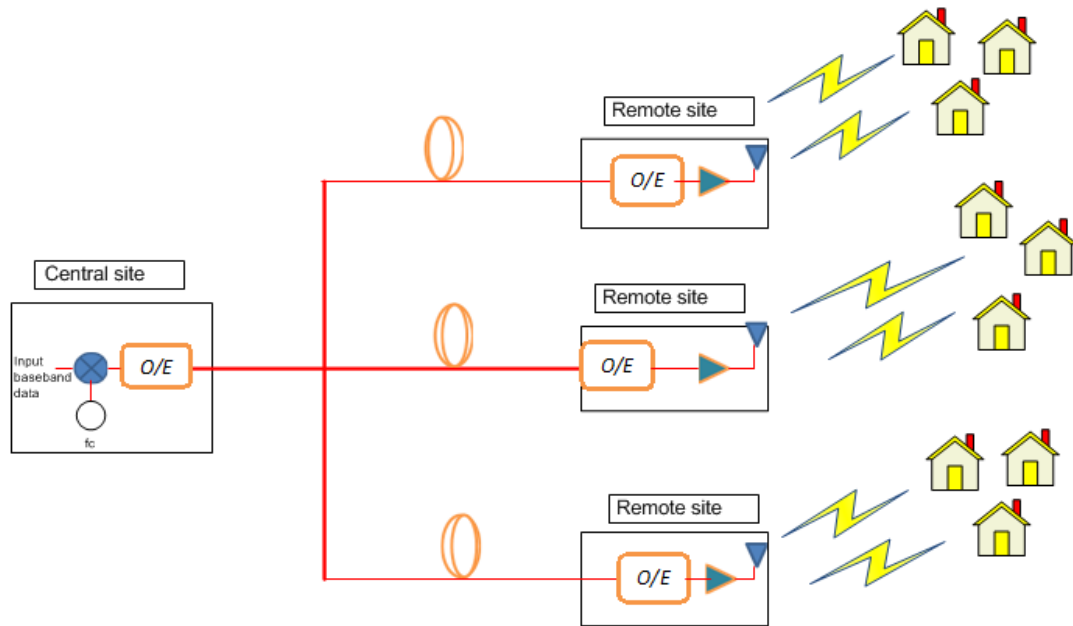


Figura 2. 5: Esquemático de la arquitectura RoF utilizando modulación externa.
Fuente: (Rashidi et al., 2017)

La figura 2.5 muestra que la señal de RF se modula en el sitio central y se combina con láser de onda continua (CW) mediante un modulador Mach-Zehnder (MZM) externo, que convierte la señal en óptica con transmisión directa a través de la fibra a las BS. En la BS, la señal es detectada por el fotodetector (PD) sin necesidad de traducción de frecuencia en la BS remota.

El transporte de fibra por radiofrecuencia tiene la ventaja de realizar diseños simples de estación base con beneficios adicionales de control centralizado, independientemente de la interfaz aérea y que también permite la operación de múltiples bandas inalámbricas.

2.6.1. Modulación en amplitud (AM) óptica.

La modulación AM óptica proporciona los mismos esquemas de modulación que la modulación de frecuencia. Este método simple a menudo requiere equipos de hardware de muy bajo costo. Por lo tanto; se tienen dos técnicas de modulación de amplitud, que consisten en banda base y portadora de radiofrecuencia. Los métodos de banda base utilizan la modulación directa de la señal de entrada con los datos de información de salida.

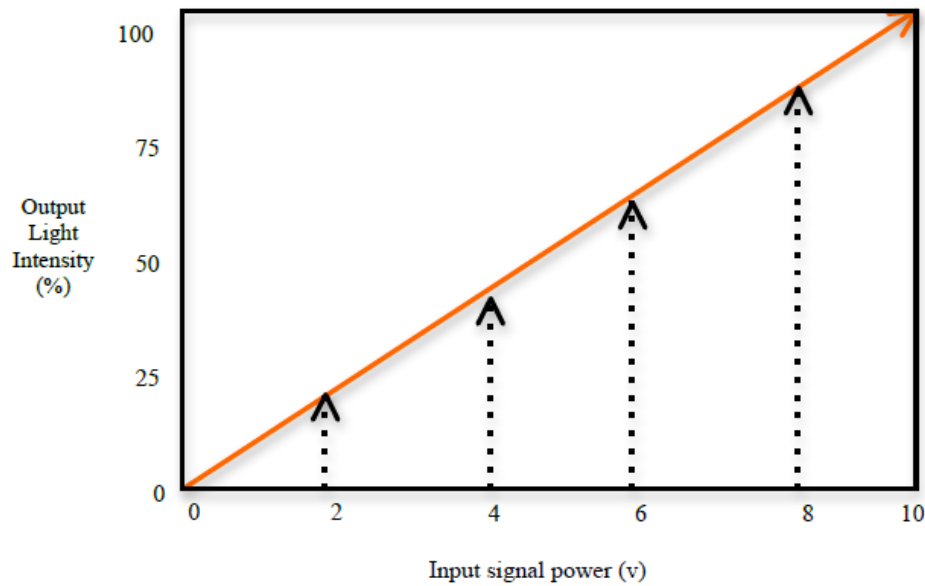


Figura 2. 6: Método de banda base para la modulación en amplitud (AM).
Elaborado por: Autor.

Por lo tanto, la portadora de RF se puede emplear para la modulación AM utilizando la frecuencia superior de los datos de información procesados. Este método puede variar debido a la amplitud de los datos de información que se codifican en el sistema. Este método se utiliza en sistemas ópticos en los que la magnitud de la potencia de entrada se convierte directamente en una intensidad de luz correspondiente, tal como se muestra en la figura 2.6.

Este método ha sido adaptado para transmitir información de señales utilizando ondas de señales de radio, esto asegura la superposición de la señal transmitida a la portadora de radiofrecuencia. Entonces, durante la fase de transmisión, la frecuencia de la onda portadora puede ser estable, pero la amplitud puede variar de acuerdo con la señal de entrada.

Para transmitir los datos de información utilizando el método de modulación de amplitud en la transmisión del sistema de fibra óptica, debe haber un efecto de compensación para el balance de pérdidas del enlace óptico. Por lo tanto, este problema se puede resolver de dos formas. En primer lugar, el uso de la propiedad de ventaja de la entrada de forma de onda. En el caso de la transmisión de video, el pulso de sincronización es

una variante que se utiliza para distinguir la pérdida óptica del nivel de la señal.

Este método permite interpretar el nivel de la señal de forma autónoma respecto a la pérdida óptica. Para evitar este problema, se podría enviar un tono a alta frecuencia por encima y por debajo de los datos de información de frecuencia codificados. En el presente trabajo complejo, se ha estudiado tres métodos de modulación para la transmisión de video, tales como Modulación de Amplitud, Radiofrecuencia y Modulación de Amplitud de Banda Lateral Residual (Vestigial SideBand Amplitude Modulation, VSB-AM).

En las figuras 2.7, 2.8 y 2.9 se muestran las diferencias entre los esquemas de modulación en los que la modulación de amplitud de banda base ocupa la codificación digital del ancho de banda requerido. La modulación AM suele tener dos métodos principales, por ejemplo, en el caso de distorsión de la señal; el sistema requería dispositivos lineales para evitar el problema durante la propagación de la longitud de onda.

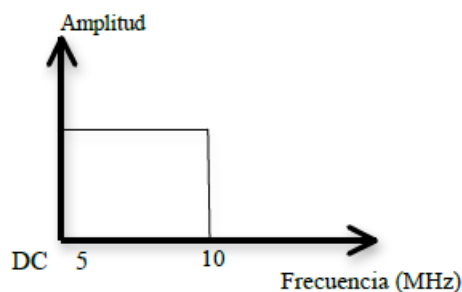


Figura 2. 7: Modulación para la transmisión de video en AM.
Elaborado por: Autor.

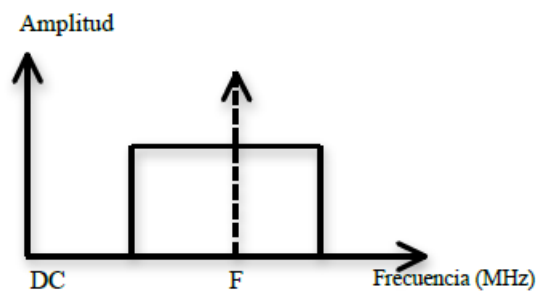


Figura 2. 8: Modulación para la transmisión de video en RF.
Elaborado por: Autor.

En segundo lugar, la intensidad de la luz puede variar proporcionalmente a la señal codificada, lo que da como resultado la diferencia entre las variaciones de señal previstas necesarias y la pérdida de señal óptica que podría ocurrir en la propia fibra. En este caso, el receptor no puede reconocer el cambio entre los niveles de señal debido a la pérdida cromática de la fibra. Sin embargo, durante el enlace de transmisión, el uso del control automático de ganancia puede compensar y controlar las pérdidas de señales en un esquema de modulación de amplitud.

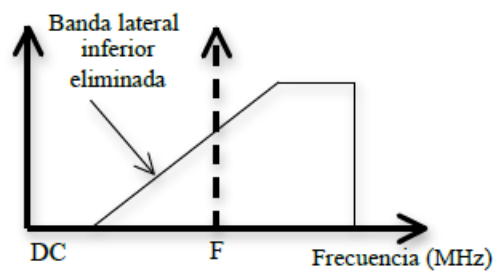


Figura 2. 9: Modulación para la transmisión de video en VSB-AM.
Elaborado por: Autor.

2.6.2. Modulación de intensidad (IM).

La modulación de intensidad se puede introducir en el sistema tanto como la señal eléctrica modula el espectro óptico. Entonces, en el receptor, la demodulación es el resultado de la señal obtenida a través de la detección directa de la portadora óptica y la conversión mediante un fotodetector.

En el esquema de modulación de intensidad (IM), el resultado de la fuente de energía puede ser proporcional a la intensidad de los datos de información lanzados. En el caso del sistema RoF, el espectro eléctrico se procesa sobre el enlace cuando la luz se modula directamente en onda continua antes de la conversión descendente de frecuencia. En la etapa de investigación se encuentra que utilizan los famosos métodos de esquema de modulación óptica.

Los láseres proporcionan un espectro óptico uniforme en onda continua (*Continuos Wave, CW*) para modular la portadora de radiofrecuencia antes del proceso de modulación utilizando un modulador Mach Zehnder (*Mach-Zehnder Modulator, MZM*) externo para combinar el espectro óptico y las

señales eléctricas antes de la transmisión a través del sistema de fibra monomodo.

Entonces, después de procesar las señales a través del enlace de fibra, la modulación directa es utilizada por fotodiodo, lo que significa que el espectro de fotocorriente es una información de datos duplicada de la señal modulada en el receptor, en la transmisión de fibra óptica el método de modulación puede ser directo o indirecto, lo que significa el uso de láser o modulador externo.

Se prefiere la modulación directa cuando el espectro eléctrico está modulado por el espectro óptico. Además, durante el proceso de transmisión se suele utilizar los esquemas de modulación para garantizar la seguridad de los datos de la información mediante el uso de ambos métodos de modulación directa o externa. En el caso de la modulación directa, el láser produce una onda continua para modular las señales eléctricas y se transmite por el enlace óptico, así como decodifica al receptor, el segundo método es la modulación externa que se caracteriza por utilizar un modulador óptico para modular la luz y espectro de señales eléctricas en el rango de frecuencia, respectivamente, tal como se muestra en la figura 2.10.

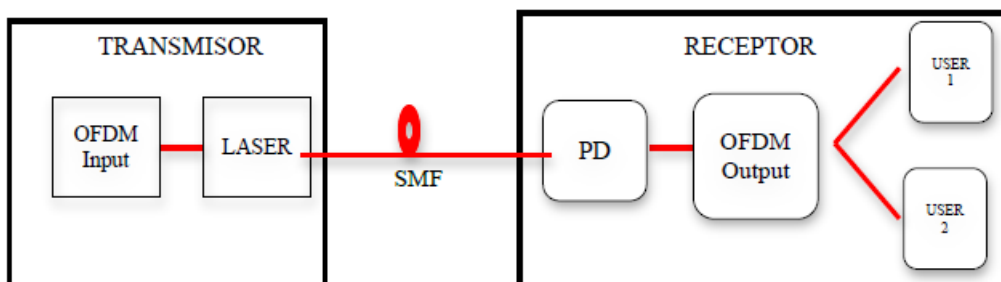


Figura 2. 10: Diagrama de bloques del sistema óptico mediante el método de modulación directa.

Fuente: (Hussien & Ali, 2020)

Elaborado por: Autor.

El método de modulación directa se utiliza principalmente para distribuir señales de radiofrecuencia debido a la intensidad de la fuente de luz modulada directamente por señales de radiofrecuencia. Básicamente, los escenarios se basan en la detección de la señal transmitida y la conversión descendente de frecuencia al sistema de antenas remotas.

2.6.3. Modulador externo.

La modulación externa es la diferencia de la intensidad de la luz como se ilustra arriba. Para este caso, el láser solo puede proporcionar una onda continua, tal como se muestra en la figura 2.11.

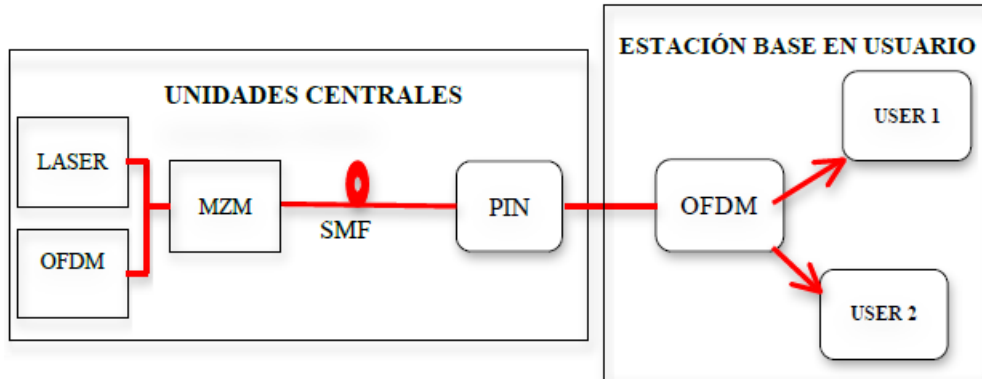


Figura 2. 11: Diagrama de bloques del sistema óptico mediante el método de modulación externa.

Fuente: (Hussien & Ali, 2020)

Elaborado por: Autor.

En la mayor parte de la configuración del sistema, los moduladores ópticos se utilizan de forma subsiguiente. El método de modulación óptica directa se utiliza principalmente para la distribución de señales, especialmente para sistemas de antenas remotas. Los usos del componente láser óptico en onda continua aseguran la fracción excesiva de pulsos de datos de información sobre el sistema.

Este caso, puede permitir la utilización de dispersión de la conexión de fibra con un modulador externo para realizar y mejorar la linealidad de la señal lograda. En la mayoría de los sistemas, el modulador óptico externo puede manejar un ancho de banda real de hasta 40 GHz de información de datos y una tasa de bits de 10 Gbps, para sistemas de fibra óptica de larga distancia. En una situación real, la modulación externa no se utiliza para componentes de alto costo que los métodos de modulación directa. La modulación externa enfrenta un desafío de no-aprendizaje dinámico, que requería la compensación de la dispersión.

En redes ópticas, la modulación externa se basa en la integración del espectro de la señal eléctrica junto con la portadora óptica antes de la transmisión. Estos métodos se utilizan para realizar una gran capacidad del sistema de red evitando la distorsión de los canales del enlace de fibra óptica. La modulación externa consiste en utilizar un modulador óptico como el Mach-Zehnder utilizado para el enfoque en los escenarios de simulación del presente examen complejo.

2.7. Principales ventajas de la radio sobre la fibra.

La radio sobre fibra proporciona muchas ventajas para ambos tipos de sistemas de comunicaciones, ya que permite consumir energía a un equipo de bajo costo y ubicar toda la información de procesamiento en la estación central. Este método puede simplificar la transmisión del sistema por las unidades de antenas remotas para proporcionar una mejor solución de cobertura y acceso a la red. La combinación de puntos de acceso de antenas remotas, especialmente para sistemas de red heterogéneos, puede proporcionar fácilmente una mejor ubicación de recursos y experiencias de usuario.

El sistema de radio sobre fibra proporciona muchos más beneficios como:

- ✚ La tecnología utiliza baja potencia de radiofrecuencia para unidades de antena remotas con el objetivo de aumentar la eficiencia del espectro.
- ✚ El sistema RoF es resistente a las interferencias electromagnéticas y al desvanecimiento por trayectos múltiples.
- ✚ El aumento de rendimiento de alta capacidad del sistema debido al uso de enlace de fibra óptica para procesar información de datos de gigabits.
- ✚ RoF permite múltiples posibilidades para ampliar más información de datos en un solo modo de fibra, como aplicaciones de radiodifusión multimedia y de banda ancha.
- ✚ Sobre el enlace RoF, el problema de la línea de visión es el soporte debido a la mejora del rendimiento y también es capaz de reducir los efectos de desvanecimiento por trayectos múltiples en el sistema. Por

lo tanto, esto también puede proporcionar un mejor acceso por radio al usuario.

- ✚ El enlace óptico puede proporcionar 0.2dB / Km de atenuación de señal, lo cual es aceptable, en comparación con el enlace de transmisión inalámbrica que hace que el sistema sea complicado y rentable requerido durante la implementación.
- ✚ La tecnología de radio sobre fibra también admite la transmisión del sistema de transporte inteligente, especialmente para el sistema de comunicación móvil, mediante el cual las técnicas de vehículo a vehículo permiten que dos vehículos compartan datos y comuniquen la información durante el procesamiento de alta velocidad. Recientemente, la mayoría de los proveedores de red eligieron esta tecnología porque puede respaldar la confiabilidad de la red incluso en condiciones climáticas de banda, así como en zonas inaccesibles.

2.8. Limitaciones de la tecnología de radio sobre fibra.

La tecnología de radio sobre fibra incluye dos métodos de modulación, como la detección analógica y digital; Actualmente la modulación analógica se utiliza más para sistemas de comunicación inalámbricos cuando la fuente de ruido de la señal es analógica en enlaces de fibra óptica que incluyen láseres relacionados con el ruido en la ciudad, que introducen la dispersión sobre el enlace de transmisión.

Por lo general, la dispersión cromática en la transmisión de fibra monomodo (SMF) puede generar la correlación de fase, que puede aumentar el espectro de la portadora de radiofrecuencia [7]. El componente de fibra multimodo limita severamente los anchos de banda disponibles y la distancia entre la portadora y la frecuencia. En el caso de la distribución WLAN y UMTS, la señal transmitida debe ser digital utilizando la señal integral de varios niveles, como los métodos de modulación de amplitud en cuadratura o la técnica OFDM.

Capítulo 3: Diseño del entorno de simulación y análisis de resultados.

3.1. Visión general del capítulo.

Este capítulo presenta los resultados de la simulación del sistema OOFDM-RoF. El sistema RoF será diseñado en el entorno de simulación OptiSystem. En este sistema, la técnica de modulación OFDM de modulación de amplitud en cuadratura (QAM) se incorpora en el sistema RoF. Este sistema se puede utilizar tanto para transmisión de corta distancia como de larga distancia a una velocidad de datos muy alta. Esto mejora la flexibilidad del sistema y proporciona una cobertura muy amplia. En este capítulo se describirá un software OptiSystem, se presentará y discutirá una breve descripción y explicación de la teoría básica sobre la técnica QAM. El modelo del sistema OFDM-RoF será explicado y discutido, el sistema 4QAM OFDM, 16QAM OFDM, 64QAM OFDM será explicado y descrito por todos los resultados de simulación para todas las partes del sistema.

3.2. Entornos de simulación de comunicaciones ópticas (OptiSystem).

OptiSystem es un paquete completo de diseño de software que permite a los usuarios planificar, probar y simular enlaces ópticos en la capa de transmisión de las redes ópticas modernas. El entorno de diseño profesional de OptiSystem (véase la figura 3.1) puede simular tecnologías de redes ópticas pasivas (PON) emergentes, así como las diversas técnicas de acceso múltiple por división de código óptico (OCDMA) para arquitecturas OCDMA-PON y multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM). El robusto entorno de simulación permite a los usuarios planificar, probar y simular enlaces ópticos en la capa física de una variedad de redes ópticas pasivas.

Al ser un simulador a nivel de sistema basado en el modelado realista de sistemas de comunicación de fibra óptica, este posee un nuevo y poderoso entorno de simulación y una definición verdaderamente jerárquica de componentes y sistemas. Una sólida interfaz gráfica de usuario controla el diseño de componentes ópticos y la lista de redes, los modelos de

componentes y los gráficos de presentación. Una extensa biblioteca de componentes activos y pasivos incluye parámetros realistas que dependen de la longitud de onda. Los barridos de parámetros permiten al usuario investigar el efecto de especificaciones de dispositivos particulares en el rendimiento del sistema.

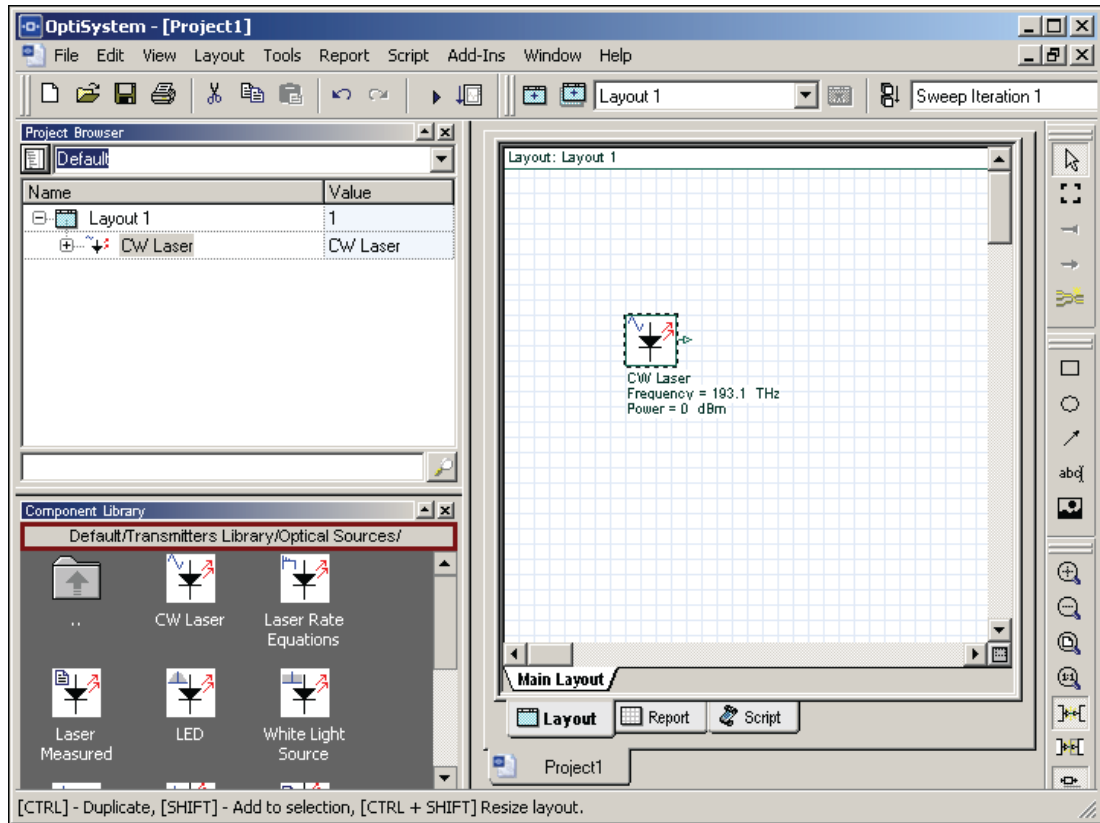


Figura 3. 1: Ventana principal del entorno de simulación OptiSystem.
Elaborado por: Autor.

3.2.1. Aplicaciones del entorno OptiSystem.

La plataforma de simulación OptiSystem permite a los usuarios simular/diseñar:

- ✓ Redes ópticas de próxima generación
- ✓ Redes ópticas actuales
- ✓ Redes de anillo SONET / SDH
- ✓ Amplificadores, receptores, transmisores

3.2.2. Herramientas de análisis en el entorno OptiSystem.

A continuación, se presentan las herramientas de análisis disponibles:

- ✓ Diagramas de ojos, BER, Q-Factor, Señal de chirrido.

- ✓ Estado de polarización, diagramas de constelación.
- ✓ Potencia de señal, ganancia, figura de ruido, OSNR
- ✓ Monitores de datos, generación de informes

3.3. Implementación del sistema RoF usando QAM-OFDM.

En esta sección se utiliza la generación y decodificación de señales OFDM utilizando la técnica de modulación de amplitud en cuadratura (QAM), y se utilizan los esquemas de modulación 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM. La técnica QAM es un esquema de modulación tanto analógico como digital, es decir, que transmite dos señales de mensaje analógicas, o dos flujos de bits digitales, cambiando (modulando) las amplitudes de dos ondas portadoras, utilizando el esquema de modulación (digital) por desplazamiento de amplitud (ASK) o el esquema de modulación (analógica) de amplitud AM.

Las dos ondas portadoras, generalmente sinusoides, están desfasadas entre sí en 90° y, por lo tanto, se denominan portadoras en cuadratura o componentes en cuadratura. Las ondas moduladas se suman y la forma de onda resultante es una combinación de PSK y ASK, o (en el caso analógico) de modulación de fase (PM) y AM.

En el caso de QAM digital, se utiliza un número finito de al menos dos fases y al menos dos amplitudes. Los moduladores PSK a menudo se diseñan utilizando el principio QAM, pero no se consideran QAM ya que la amplitud de la señal portadora modulada es constante. La figura 3.2 muestra los diagramas de constelación que muestran las diferentes posiciones de los estados dentro de diferentes formas de QAM, desde 4QAM, 16QAM y 64QAM. A medida que aumenta el orden de la modulación.

Se utilizan tres formas de QAM para codificar y generar la señal OFDM, que son 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM. Para cada forma de QAM-OFDM, se cambia el número de subportadoras para lograr el aumento en la capacidad del sistema con el mejor valor de tasa de error de bit (BER).

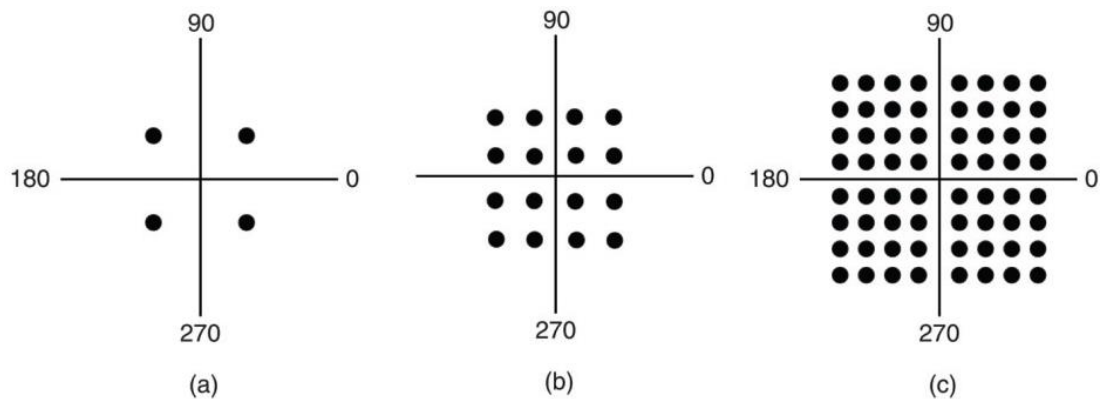


Figura 3. 2: Diagramas de constelaciones para diferentes esquemas de modulación de amplitud en cuadratura a) 4-QAM, b) 16-QAM y c) 64-QAM.

Fuente: (Triakha et al., 2013)

Elaborado por: Autor.

En primer lugar, en el sistema 4-QAM-OFDM, la subportadora 512 se utiliza para lograr un valor de BER de cero, luego en el sistema 16-QAM-OFDM los cambios en el número de subportadoras comenzaron de 128 subportadoras a 256 a 512 a 1024 subportadoras con BER de cero, luego en el sistema 64-QAM-OFDM las subportadoras 512 y 1024 se utilizan para obtener el mejor valor de BER, estas simulaciones nos permite mostrar cómo se puede incrementar la capacidad con un valor muy pequeño de BER, el sistema 16-QAM-OFDM se explicará y discutirá con más detalles.

3.4. Diseño del transmisor

En el sistema RoF con multiplexación por división de frecuencias ortogonales óptico (OOFDM), el modelo del transmisor consta de dos partes, la primera es el transmisor de radiofrecuencia (RF) y la segunda es el transmisor óptico. En la siguiente subsección, esas partes se discutirán y explicarán.

3.4.1. Transmisor de radiofrecuencia (RF).

El transmisor de RF consta de cuatro bloques; la figura 3.3 muestra todos los bloques del sistema de transmisor de RF de la siguiente manera: El primer bloque es un generador de números pseudoaleatorios que permite generar una secuencia de bits de 0 y 1 con igual probabilidad. En esta simulación, la secuencia de longitud es de 16384 bits con formato de codificación de no retorno a cero (Non Return-to-Zero, NRZ). El segundo

bloque es el generador de secuencias QAM, que consiste en generar los bits por símbolo para todas las formas de QAM que se utilizaron en la simulación (4-QAM, 16-QAM y 64-QAM) del presente examen complejo. El tercer bloque es el sistema de bloques de modulación OFDM, que consta de parámetros importantes como el número de subportadoras (ya tratado en el capítulo 2) y el filtrado pasa bajo con factor de reducción (es decir, un parámetro que gobierna el ancho de banda ocupado por el pulso y la velocidad en que las colas del pulso decaen y su rango varía de 0 a 1) es igual a 0,2.

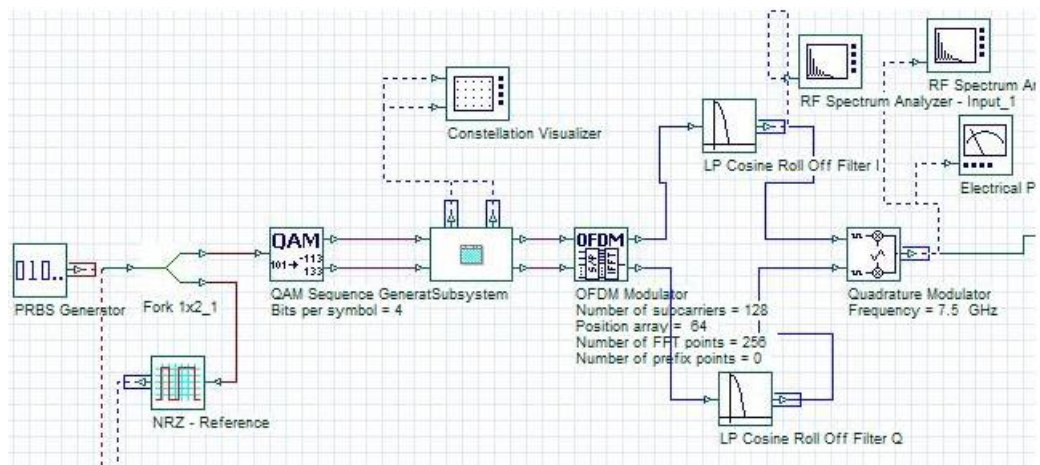


Figura 3. 3: Diseño del sistema de transmisión RoF con QAM-OFDM utilizando el entorno de simulación OptiSystem.

Elaborado por: Autor.

Finalmente, el modulador en cuadratura, que se usa para convertir la señal a alta frecuencia de RF, en este sistema la frecuencia de 7.5 GHz se usa para diferentes aplicaciones en estas bandas de frecuencias. La configuración de parámetros globales que se utiliza en esta simulación se muestra en la tabla 3.1 a continuación:

Tabla 3. 1: Entidades de la RSI con sus parámetros de simulación.

Parámetros	Cantidades
Velocidad de bits (Gbps)	10
Ventana de tiempo (us)	1.6384
Frecuencia de muestreo (GHz)	40
Longitud de secuencia (bits)	16384
Muestra por bits	4
Número de muestras	65536

Elaborado por: Autor.

3.4.2. Transmisor óptico.

La función del transmisor óptico es convertir la señal eléctrica en forma óptica y lanzar la señal óptica resultante a la fibra óptica y también se puede llamar convertidor RF a óptico (*RF-to-Optical, RTO*). El transmisor óptico consta de los siguientes componentes, fuente de emisión óptica, generador de impulsos eléctricos y modulador óptico, tal como se muestra en la figura 3.4.

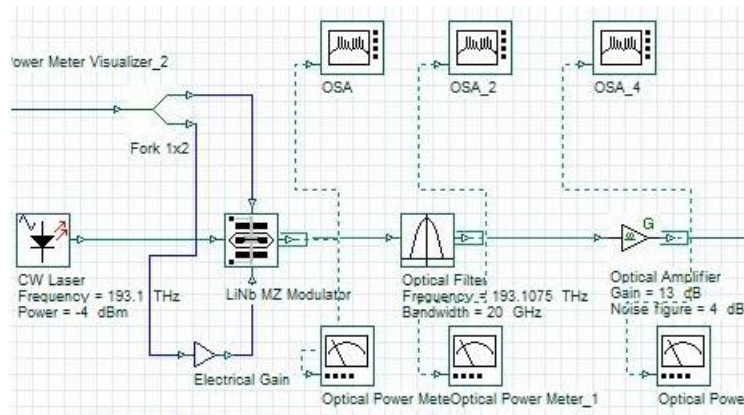


Figura 3. 4: Diseño del sistema de transmisión óptica utilizando el entorno de simulación OptiSystem.
Elaborado por: Autor.

La potencia inyectada es un parámetro de diseño importante, ya que indica cuánta pérdida de fibra se puede tolerar, que es -4 dBm con un ancho de línea de 0.5 MHz en una ventana de 1550 nm (193.1 THz) en esta simulación, luego la señal de luz que fue generada por láser y los símbolos OFDM modulados con un modulador óptico, que se utiliza en esta simulación es LiNb MZM (ver capítulo 4) después de que la señal óptica modulada se filtra mediante un filtro óptico en la misma ventana a una frecuencia de 193,1 THz con un ancho de banda de 20 GHz, luego para mantener la señal fuerte, el amplificador óptico se utiliza con una ganancia de 13 dBm.

3.5. Diseño de enlace de transmisión óptica

El enlace de transmisión óptica se muestra en la figura 3.5 está compuesto por fibra óptica con una longitud de 50 km y una atenuación de 0.2 dB / km, que funcionan como medio de transmisión, amplificador óptico

para amplificar las señales débiles y la señal óptica con la misma ventana de láser, esto El enlace de transmisión se repite dos veces.

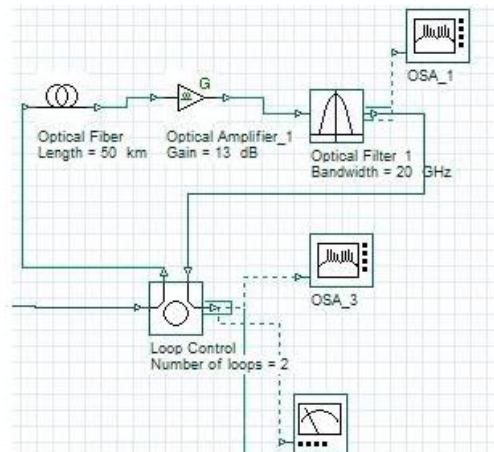


Figura 3. 5: Diseño del enlace de transmisión óptica utilizando el entorno de simulación OptiSystem.
Elaborado por: Autor.

3.6. Diseño del receptor.

El modelo de receptor de este sistema RoF con OOFDM consta de dos partes, la primera es un receptor óptico y la segunda es un receptor de RF.

3.6.1. Receptor óptico.

El receptor óptico consta de dos bloques, tal como se muestra en la figura 3.6 y también se denomina convertidor descendente óptico a RF (Optical-to-RF, OTR). Cuando la señal óptica enviada desde el láser al receptor por fibra se recibe el primer bloque la señal es fotodetectada, es decir, que es un detector positivo intrínseco negativo con responsividad 1 A/W. La segunda parte es el filtro de paso de banda, que se utiliza para eliminar el ruido que se agrega de la fibra, este filtro tiene una frecuencia de la señal de RF de 7.5 GHz y un ancho de banda de la mitad de la tasa de bits.

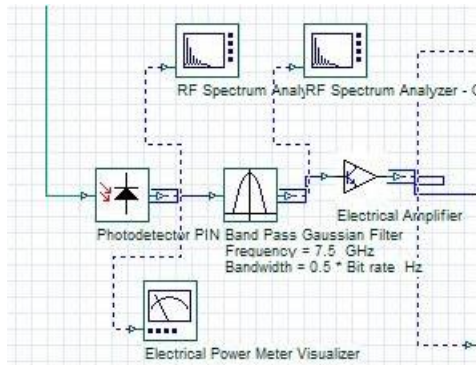


Figura 3. 6: Diseño del sistema de recepción óptico a RoF utilizando el entorno de simulación OptiSystem.

Elaborado por: Autor.

3.6.2. Receptor de RF.

En la figura 3.7 se muestra el receptor de RF, después de que la señal óptica se convierta en señal eléctrica y se elimine todo el ruido, la señal se demodulará a la misma frecuencia de RF que se moduló, luego la señal se demodulará con el demodulador OFDM para extraer los símbolos y luego decodificado para obtener los bits originales.

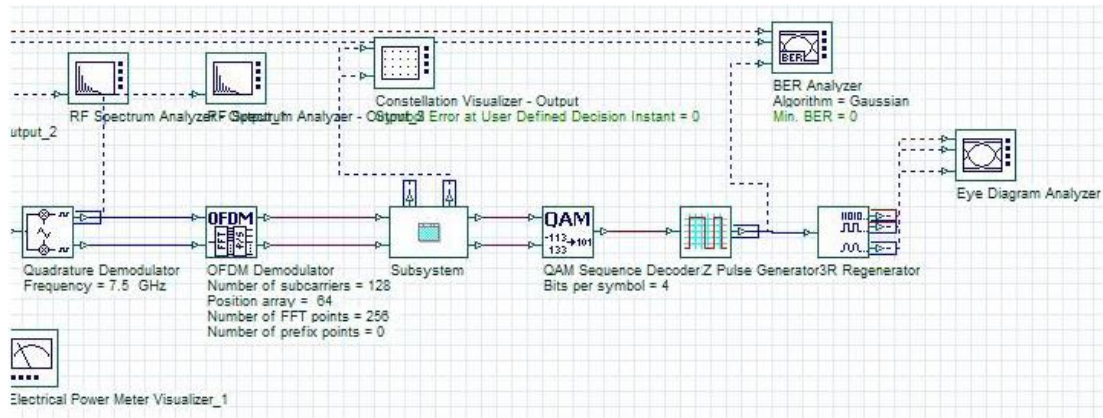


Figura 3. 7: Diseño del sistema de recepción RoF utilizando el entorno de simulación OptiSystem.

Elaborado por: Autor.

3.7. Resultados de la simulación del sistema RoF con 4QAM-OFDM.

En el sistema RoF con esquema 4QAM-OFDM, el generador de bits generará una secuencia de 0's y 1's de señal en forma de codificación de línea de NRZ con 16384 bits, luego esos bits codificados con el decodificador 4QAM, que usará 2 bits por símbolo. Todas las figuras siguientes (de la figura 3.8 a la figura 3.14) describen los resultados de las simulaciones y que describen en las siguientes subsecciones.

3.7.1. Resultados de la simulación del modelo de transmisor.

El resultado para la parte del transmisor que está en el dominio eléctrico, de frecuencia y óptico se muestran en las figuras 3.8 a 3.12, es decir, que las gráficas de los resultados obtenidos nos muestran la señal original, el diagrama de constelación para la salida del codificador 4QAM, la señal de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM) en el dominio de tiempo y frecuencia, la señal después del modulador Mach-Zehnder (Modulator Mach-Zehnder, MZM) y la señal óptica en el tiempo y dominio óptico en medios de enlace de fibra.

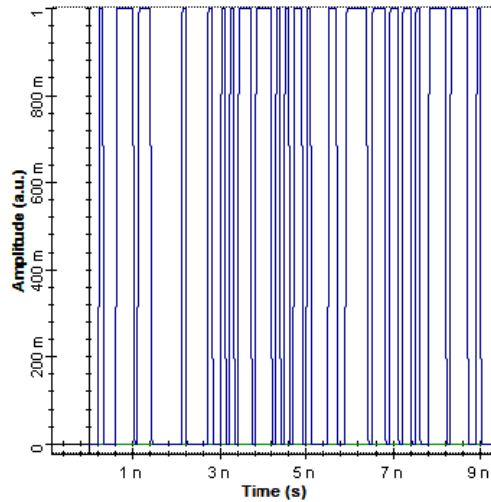


Figura 3. 8: Señal original para el sistema 4QAM.

Elaborado por: Autor.

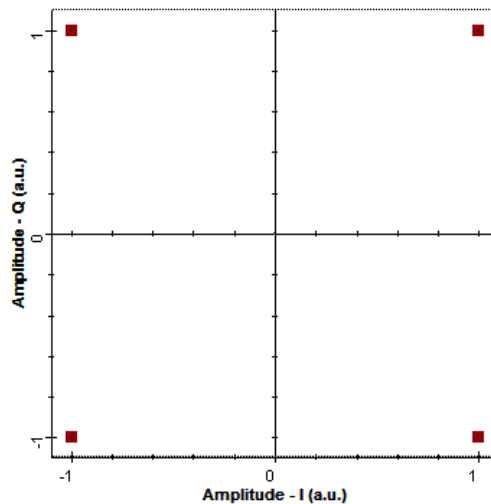


Figura 3. 9: Diagrama de constelación del codificador 4QAM.

Elaborado por: Autor.

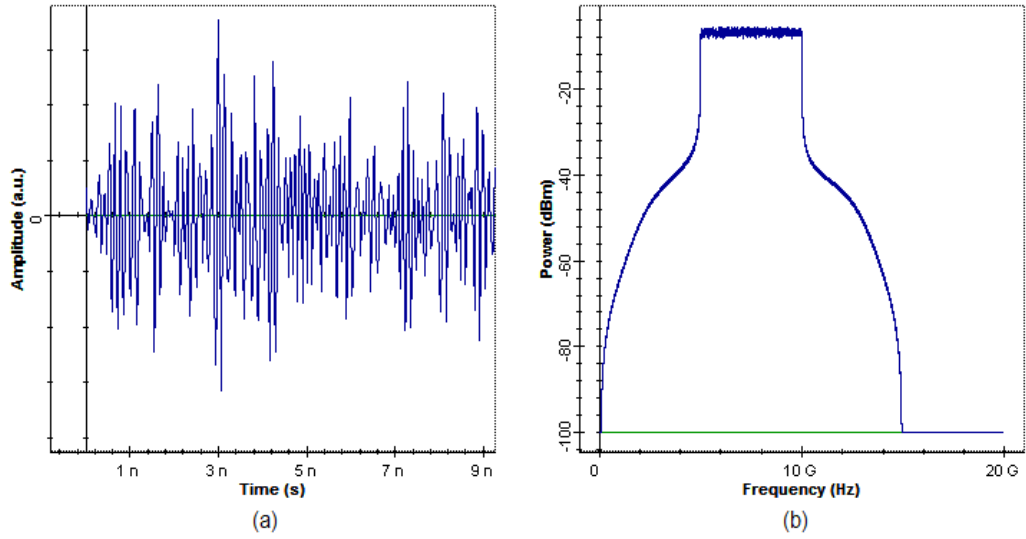


Figura 3. 10: Señal modulada OFDM en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.
Elaborado por: Autor.

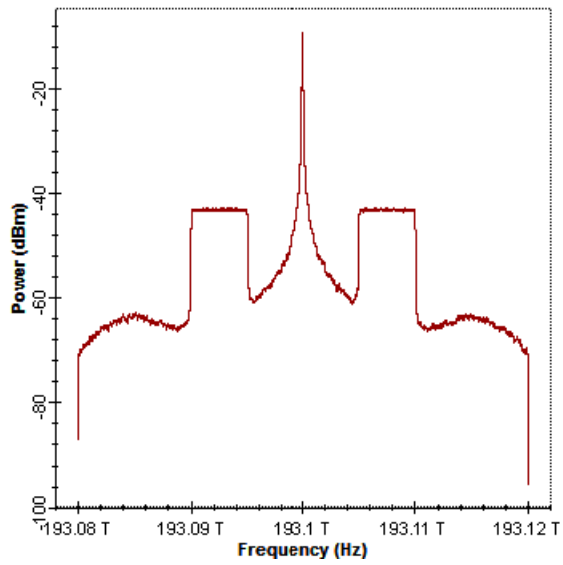


Figura 3. 11: Señal óptica después del modulador Mach-Zehnder.
Elaborado por: Autor.

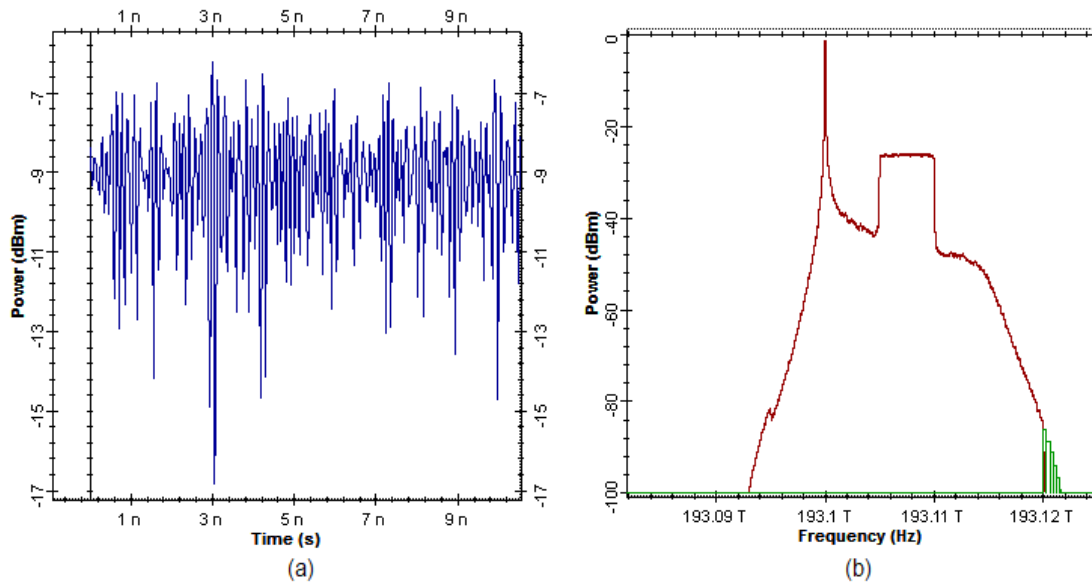


Figura 3. 12: Señal óptica en la fibra en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.
Elaborado por: Autor.

3.7.2. Resultados de la simulación del modelo de receptor.

El resultado para la parte del receptor que está en el dominio eléctrico, de frecuencia y óptico se muestran en las figuras 3.13 y 3.14, es decir, que estos resultados muestran la señal recibida y el diagrama de constelación de salida en el dominio del tiempo y frecuencia, respectivamente.

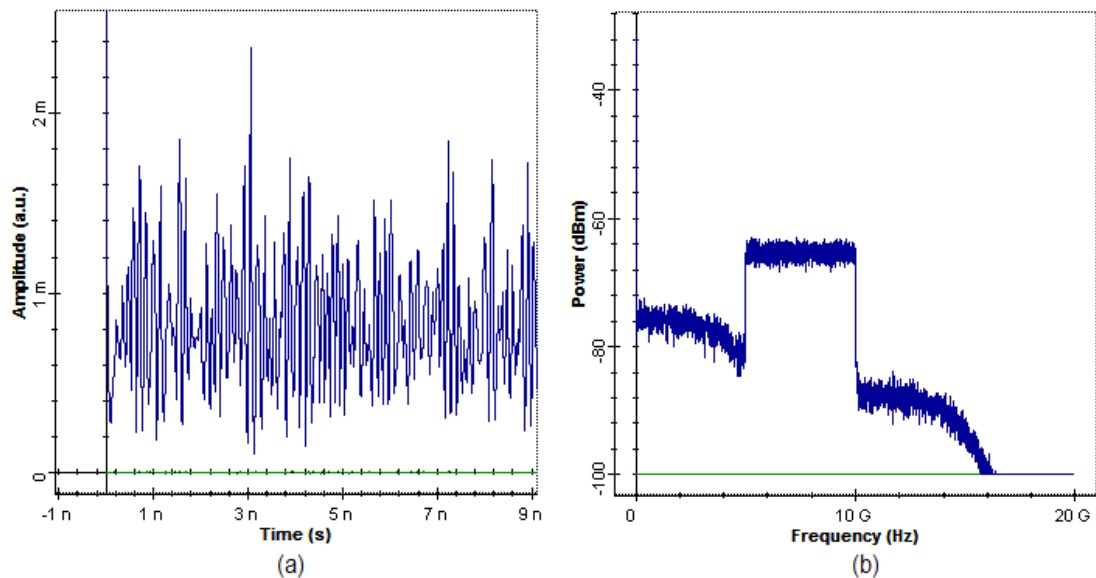


Figura 3. 13: Señal óptica en la fibra en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.
Elaborado por: Autor.

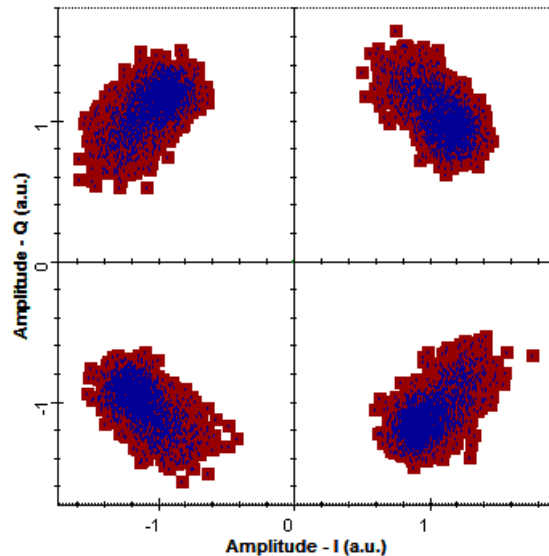


Figura 3. 14: Señal óptica en la fibra en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.
Elaborado por: Autor.

3.8. Resultados de la simulación del sistema RoF con 16QAM-OFDM.

En el sistema RoF con esquema 16QAM-OFDM, el generador de bits generará una secuencia de 0's y 1's de señal en forma de codificación de línea de NRZ con 16384 bits, luego esos bits codificados con el decodificador 16QAM, que utiliza 4 bits por símbolo. Todas las figuras a continuación (de la figura 3.15 a la figura 3.24) describen los resultados de las simulaciones para la señal OFDM de 512 subportadoras, pero otro número diferente de subportadoras 128, 256 y 1024 subportadoras se muestran como comparación (véase las figuras 3.25 a 3.31), de modo que 512 subportadoras el sistema RoF-OFDM se discutirá con más detalles en las dos subsecciones siguientes.

3.8.1. Resultados de la simulación del modelo de transmisor para 512 subportadoras.

En las figuras 3.15 y 3.16 se muestra la señal de codificación de NRZ original y el diagrama de constelación de señales codificadas 16QAM. Por ejemplo, en el diagrama de constelaciones de 16QAM muestra los 4 bits por símbolo para generar la señal OFDM.

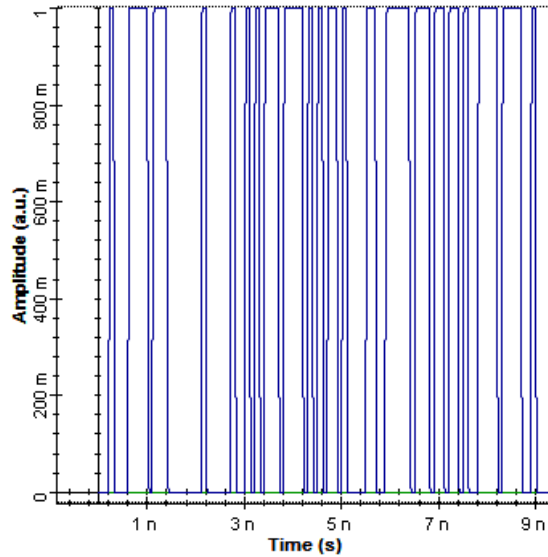


Figura 3. 15: Señal original para el sistema 16QAM-OFDM.
Elaborado por: Autor.

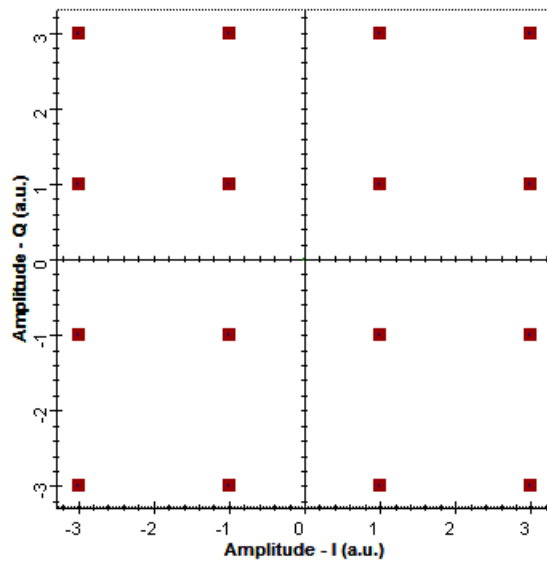


Figura 3. 16: Diagrama de constelación del codificador 16QAM.
Elaborado por: Autor.

Una vez generada la señal OFDM, está será modulada mediante un modulador en cuadratura. Antes de la modulación, la señal OFDM se filtra por caída de coseno de paso bajo (LP) para lograr la frecuencia de RF de 7,5 GHz, tal como se muestra en la figura 3.17.

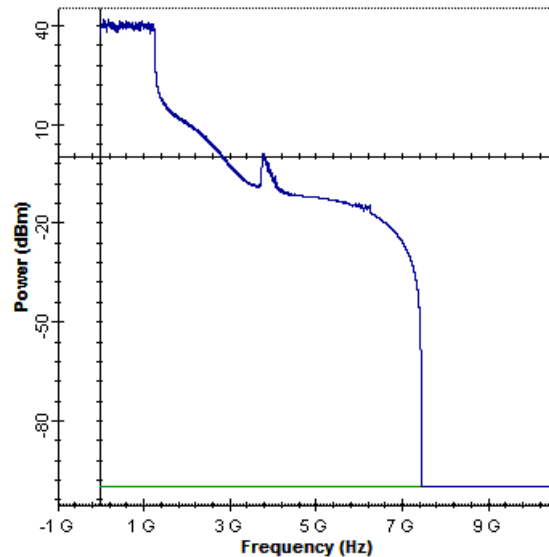


Figura 3. 17: Señal OFDM filtrada por el filtro pasa bajo (LP).
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.18 se muestra la señal modulada en el dominio de tiempo y frecuencia. La potencia de la señal OFDM modulada es igual a -6 dBm y el ancho de banda de 15 GHz y la parte principal de la señal OFDM es de 3 GHz desde dos lados del centro de frecuencia.

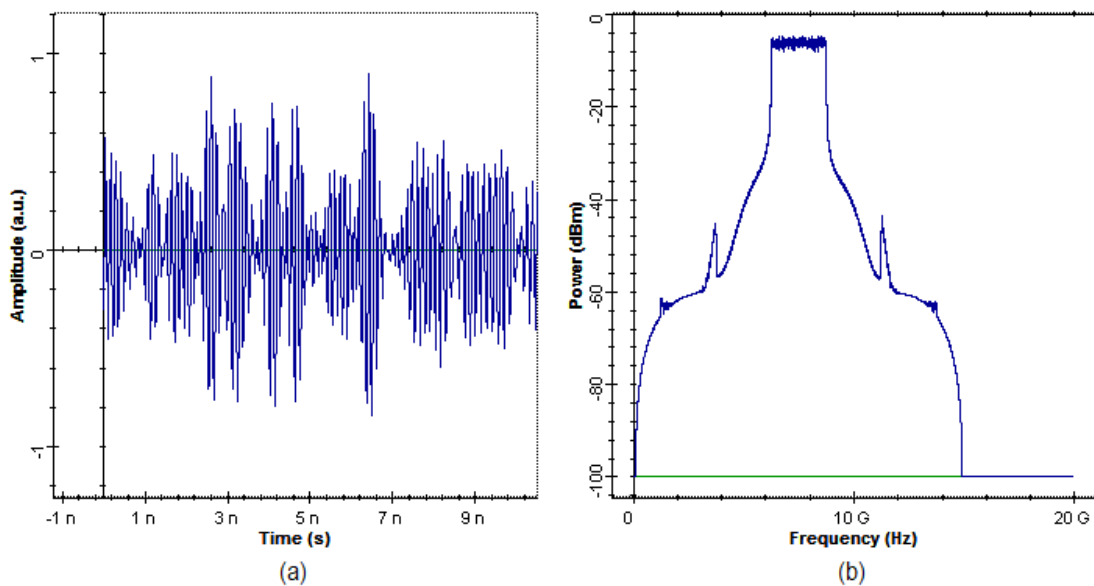


Figura 3. 18: Señal OFDM en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.
Elaborado por: Autor.

La siguiente operación es convertir la señal RF OFDM a señal óptica en una ventana de 1550 nm (193,1 THz) utilizando un modulador externo MZM con un valor de potencia pequeño de -8 dBm, la señal resultante en el dominio de tiempo y frecuencia se muestra en la figura 3.19.

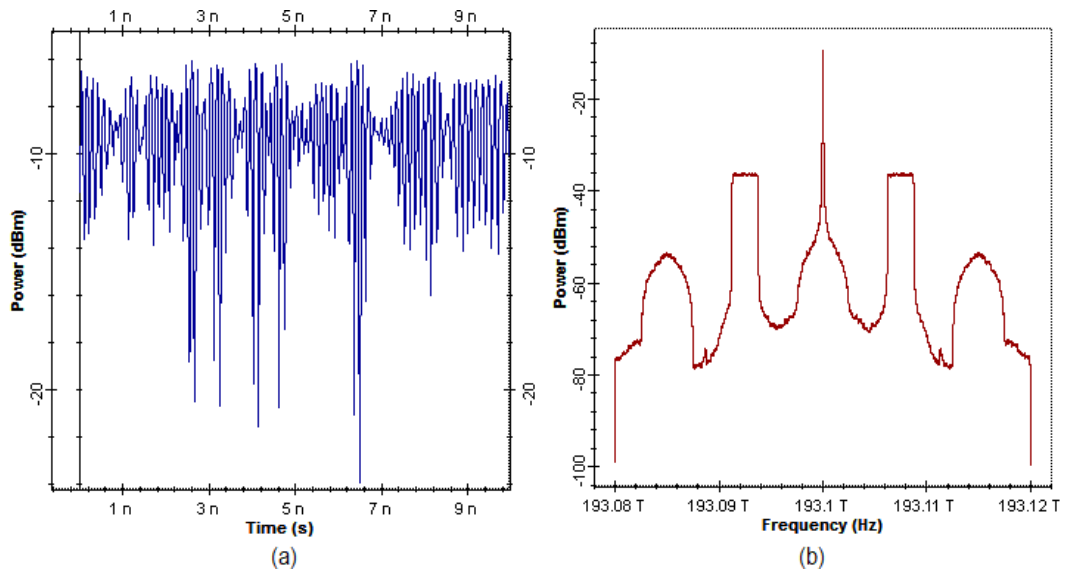


Figura 3. 19: Señal óptica modulada en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.
Elaborado por: Autor.

Después de que la señal se transmite a través de la fibra para ser recibida en el extremo de la fibra después de dos bucles de 100 km de longitud de fibra, la señal óptica recibida en PD se muestra en la figura 3.20, es de 8 dBm y esta potencia tan alta de la señal óptica recibida se debe al amplificador óptico en el enlace de fibra.

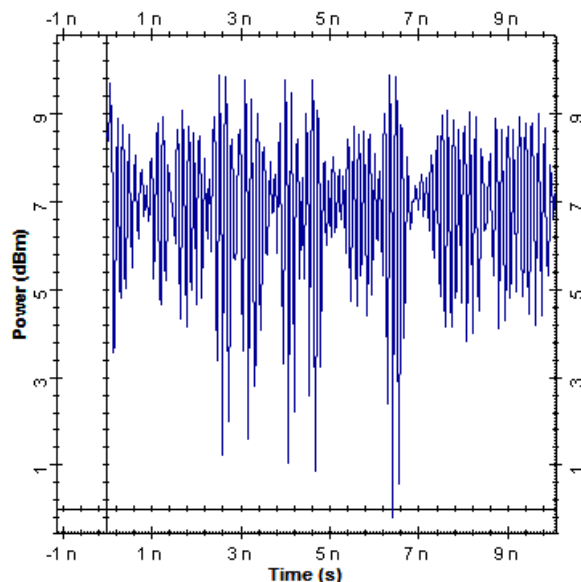


Figura 3. 20: Señal óptica recibida en PD.
Elaborado por: Autor.

3.8.2. Resultados de la simulación del modelo de receptor para 512 subportadoras

En el lado del receptor, hay dos partes para analizar la señal óptica recibida. La primera parte es el receptor óptico que consta de PD, en la

figura 3.21 se muestra la señal de RF después de convertida de forma óptica, que está en el dominio del tiempo y la frecuencia. La potencia de la señal de RF es igual a -50 dBm con ruido lateral.

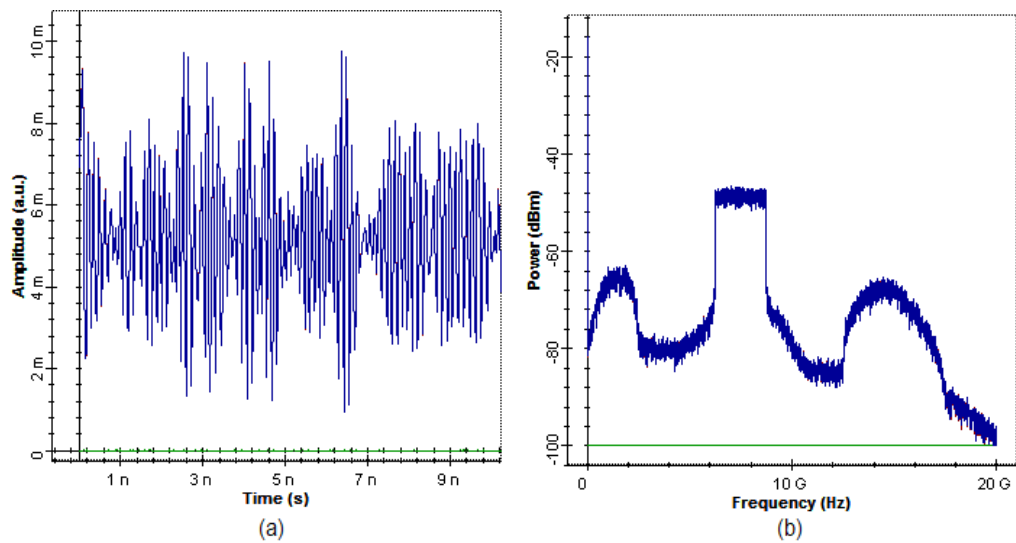


Figura 3. 21: Señal óptica recibida en PD.
Elaborado por: Autor.

Para obtener la señal OFDM base sin ruido lateral para lograr la mejor BER, se utiliza el filtro de paso de banda (BPF). La señal resultante después de BPF con un ancho de banda de 3 GHz desde dos lados de la frecuencia central a 7,5 GHz se muestra en la figura 3.22.

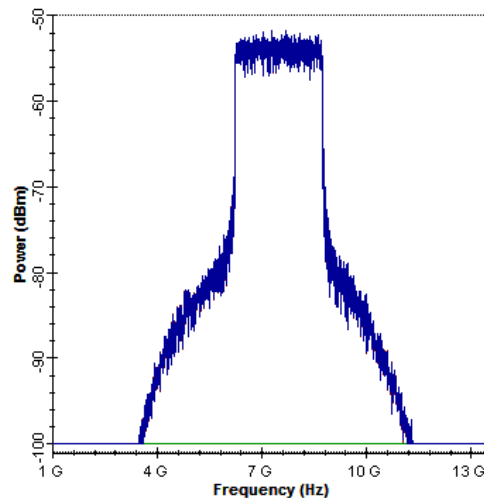


Figura 3. 22: Señal de RF después del filtro pasa banda (BPF).
Elaborado por: Autor.

Una vez que se logra la señal RF OFDM clarificada en el demodulador OFDM y se realiza la operación de demodulación, la salida del demodulador se analizará para lograr el valor deseado de BER, el diagrama de

constelación final se muestra en la figura 3.23, y el patrón mínimo de BER y BER se muestran en la figura 3.24.

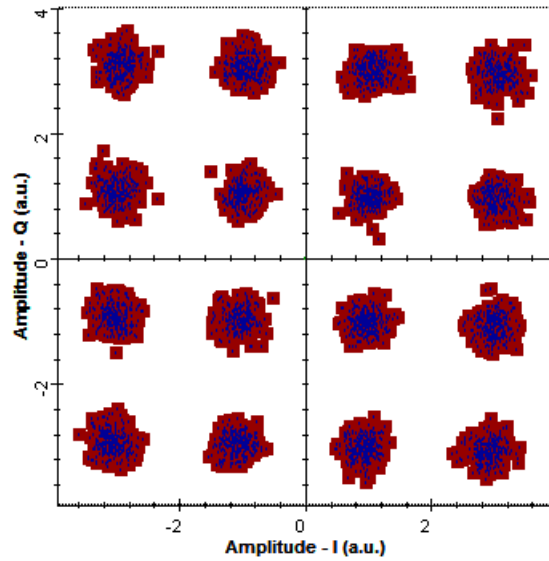


Figura 3. 23: Diagrama final de la constelación del decodificador 16QAM.
Elaborado por: Autor.

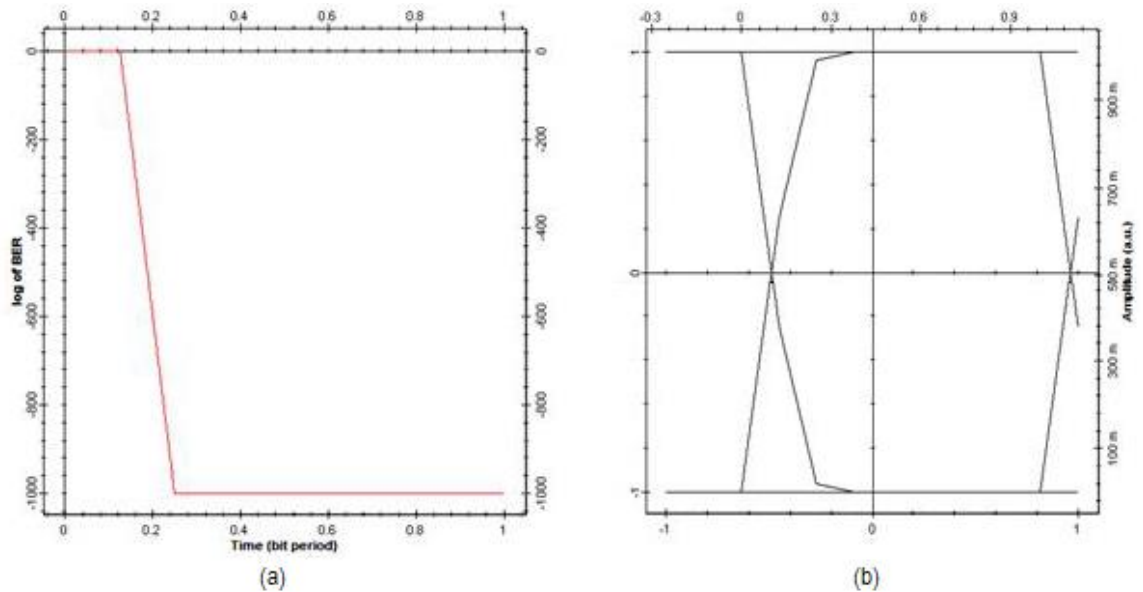


Figura 3. 24: Análisis BER a) BER mínima, b) Patrón BER.
Elaborado por: Autor.

De la figura 3.24 (a) se logra el mejor valor de BER de valor cero, también se logra el diagrama de ojo abierto alto, tal como se muestra en la figura 3.24 (b). Todos estos mejores resultados se logran gracias al uso del filtro de pasa banda (BPF) que eliminan el ruido lateral de la señal OFDM recibida, tal como se muestra en la figura 3.22.

3.8.3. Resultados de la simulación para subportadoras 128, 256 y 1024.

En las figuras 3.25 a 3.29 se muestran los resultados obtenidos para el sistema 16QAM utilizando subportadoras de 128, 256 y 1024, que está en frecuencia eléctrica. Estos resultados muestran la señal después del modulador Mach-Zehnder (MZM) en el dominio de frecuencia, el diagrama de constelación de salida y la BER mínima, respectivamente.

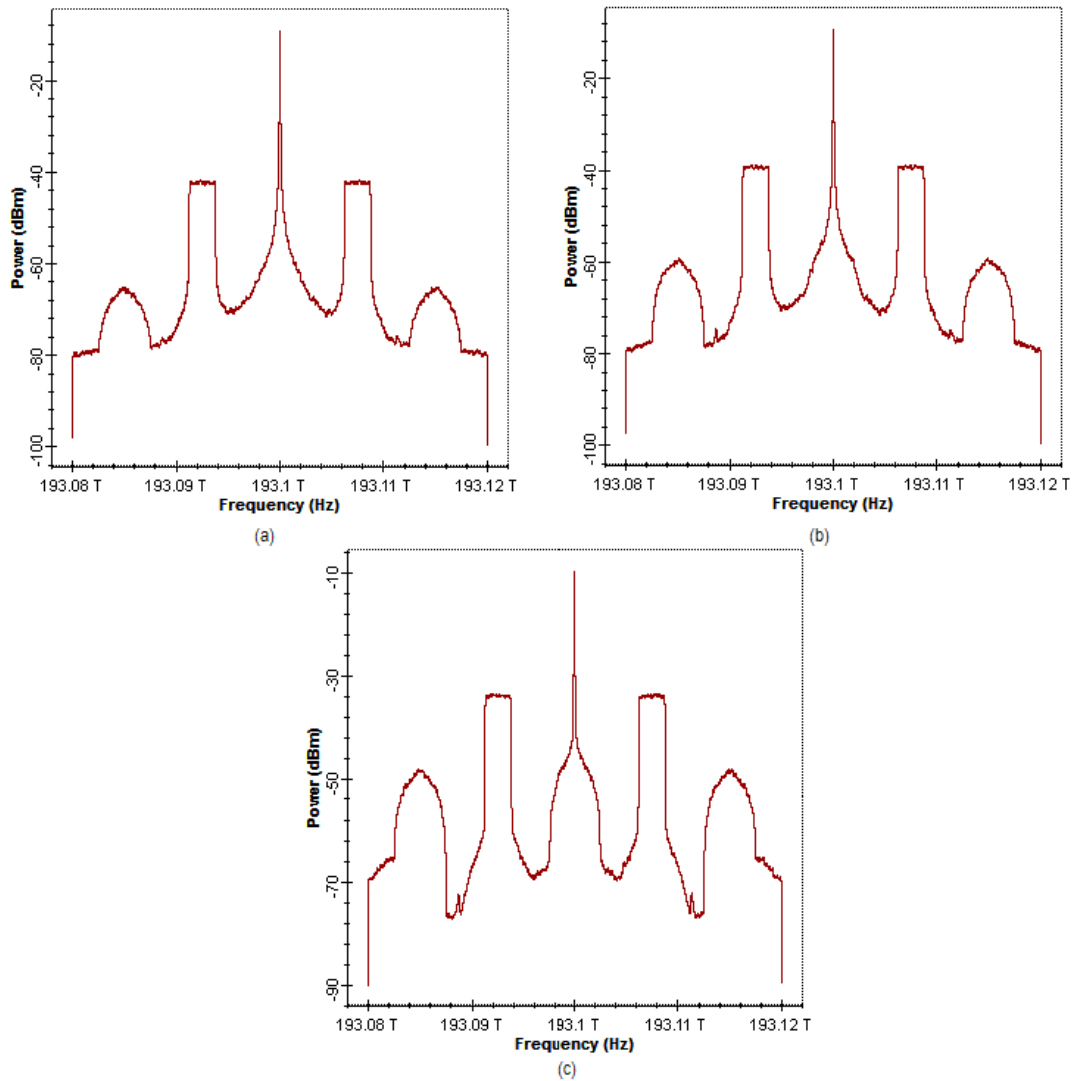


Figura 3. 25: Señal óptica modulada para codificación 16QAM con (a) 128 subportadoras, (b) 256 subportadoras, y (c) 1024 subportadoras.

Elaborado por: Autor.

En la figura 3.26 se muestra el diagrama de constelación final o de resultado en el lado del receptor para todas las formas del esquema QAM que se discutieron anteriormente, el mejor diagrama de constelación es para el sistema 16QAM con 128 y 256 subportadoras.

Sin embargo, el sistema 16QAM con subportadora 1024 tiene un resultado peor, este resultado se observa claramente en la figura 3.27 (c) como resultado de la BER mínima de valor 1.09×10^{-51} , este resultado es debido a los datos cercanos entre sí y luego el porcentaje de error se incrementó, pero este resultado es muy adecuado porque el mejor resultado de BER mínimo es de 10^{-12} .

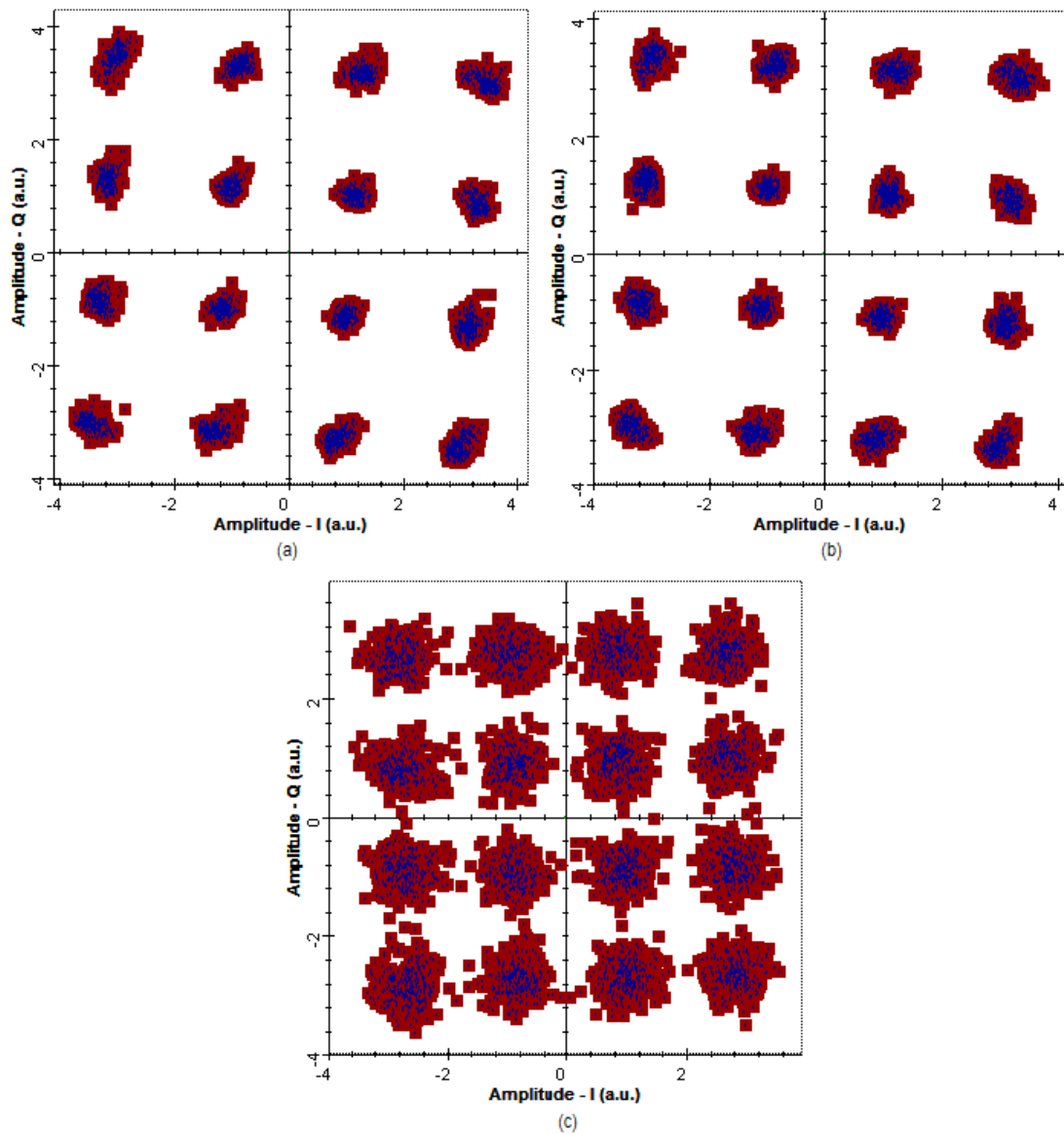


Figura 3. 26: Diagrama de constelación final para codificación 16QAM con (a) 128 subportadoras, (b) 256 subportadoras, y (c) 1024 subportadoras.

Elaborado por: Autor.

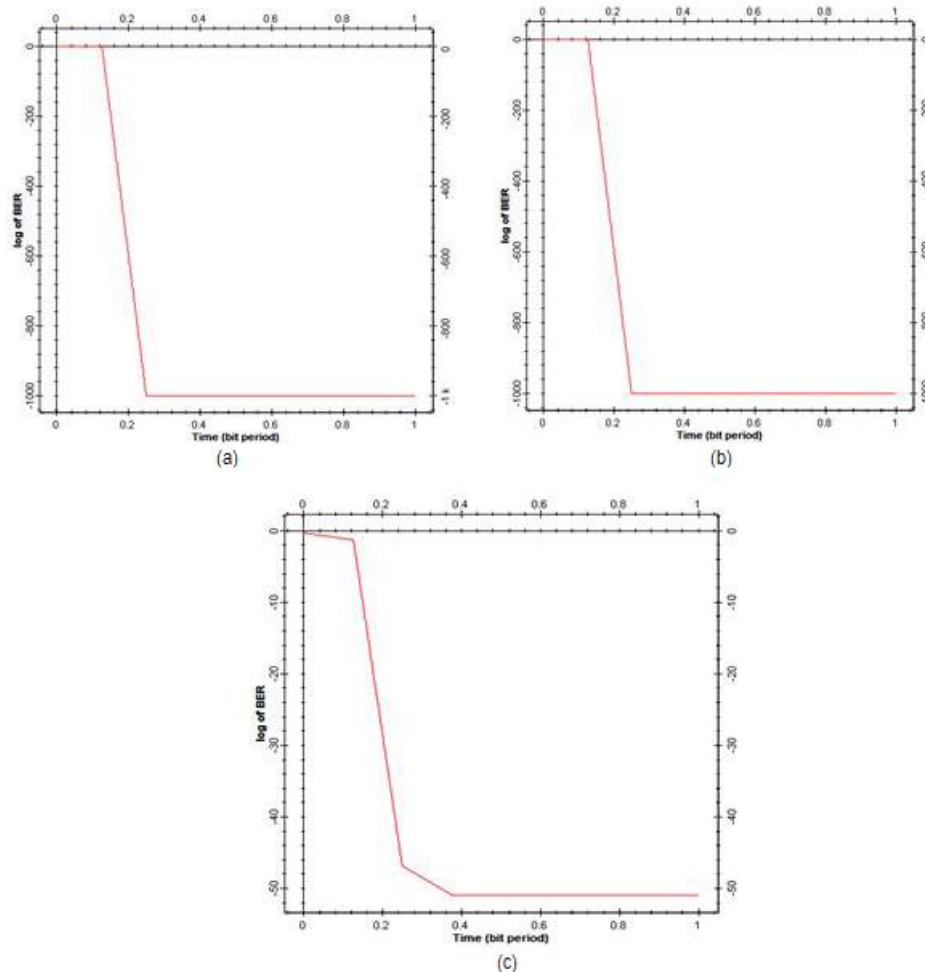


Figura 3. 27: BER mínima para codificación 16QAM con (a) 128 subportadoras, (b) 256 subportadoras, y (c) 1024 subportadoras.

Elaborado por: Autor.

3.9. Resultados de la simulación del sistema RoF 64QAM-OFDM.

En el sistema RoF 64QAM-OFDM, el generador de bits generará una secuencia de 0's y 1's de señal en forma de codificación de línea de NRZ con 16384 bits, luego esos bits codificados por el decodificador 64QAM, que utiliza 6 bits por símbolo con 512 subportadoras. En las figuras 3.28 a 3.34 se describen los resultados obtenidos de las simulaciones.

3.9.1. Resultados de la simulación del modelo de transmisor.

El resultado para la parte del transmisor que está en el dominio eléctrico, de frecuencia y óptico se mostró en las figuras siguientes de la figura 3.28 a la figura 3.31, estos resultados muestran el diagrama de constelación para la salida del codificador 64QAM, la señal OFDM en el

dominio de tiempo y frecuencia, la señal láser, la señal después del modulador MZM.

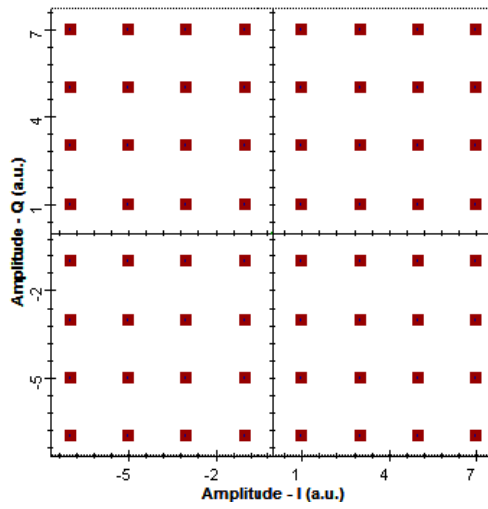


Figura 3. 28: Diagrama de constelación del codificador 64QAM.

Elaborado por: Autor.

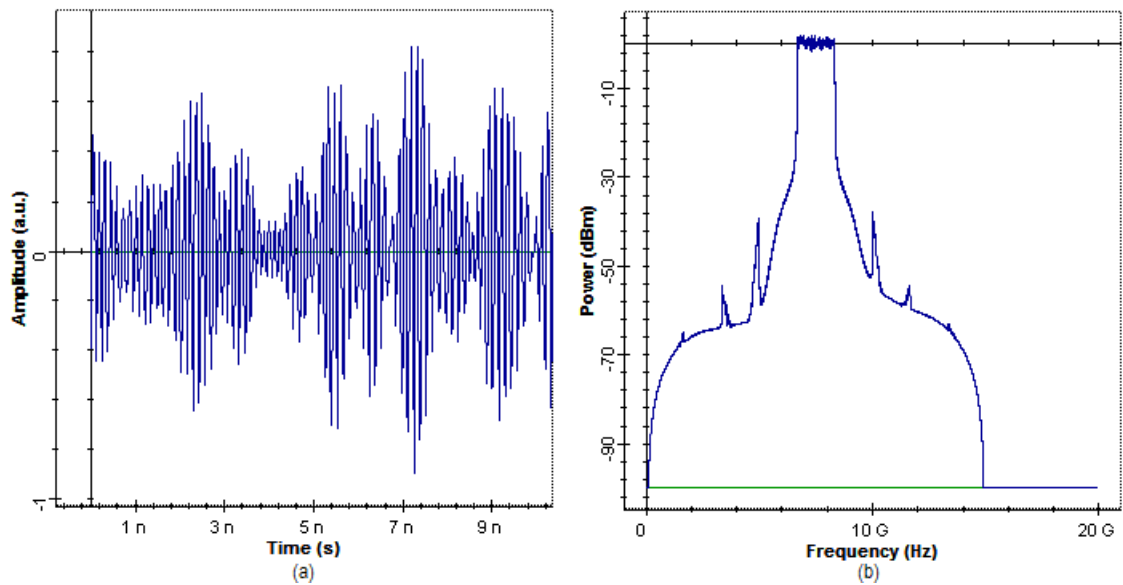


Figura 3. 29: Señal OFDM en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.

Elaborado por: Autor.

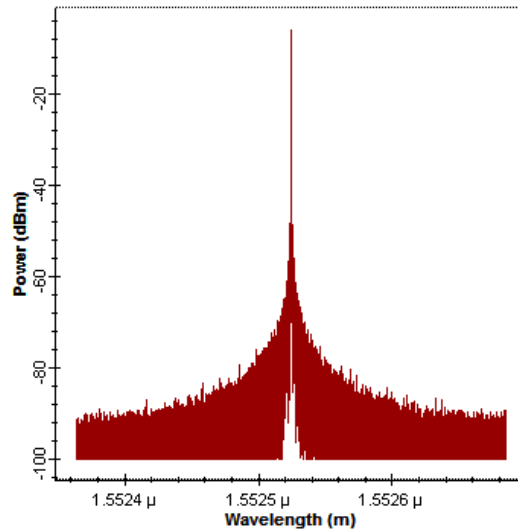


Figura 3. 30: Señal láser con frecuencia central de 193,1 THz.
Elaborado por: Autor.

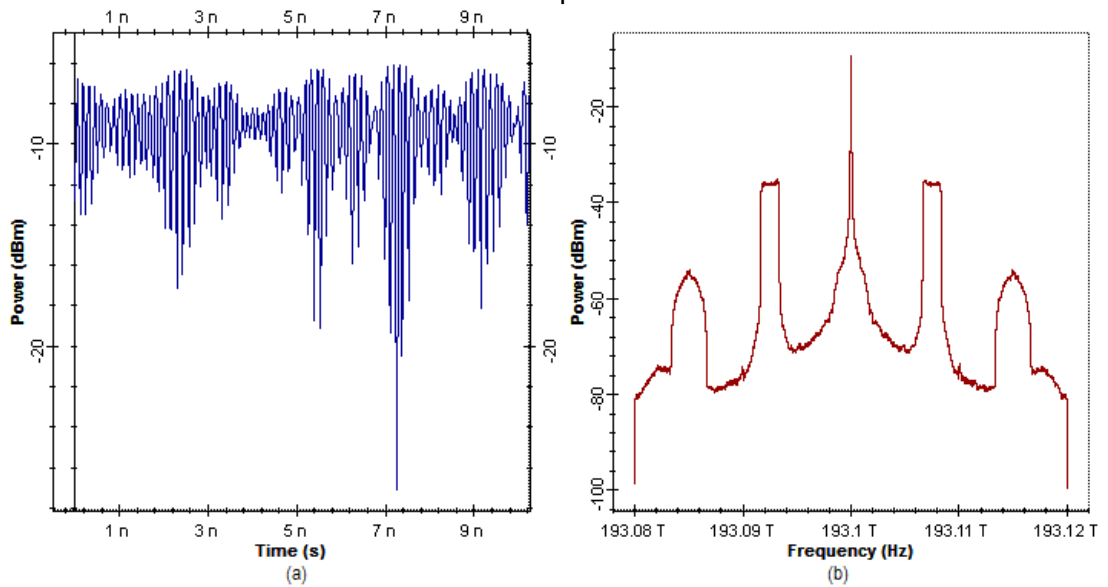


Figura 3. 31: Señal óptica modulada en el dominio del (a) tiempo, y (b) frecuencia.
Elaborado por: Autor.

3.9.2. Resultados de la simulación del modelo de receptor.

El resultado para la parte del receptor que está en el dominio eléctrico, de frecuencia y óptico se muestran en las figuras 3.32, 3.33 y 3.34, estos resultados muestran la señal recibida, el diagrama de constelación de salida y la BER mínima.

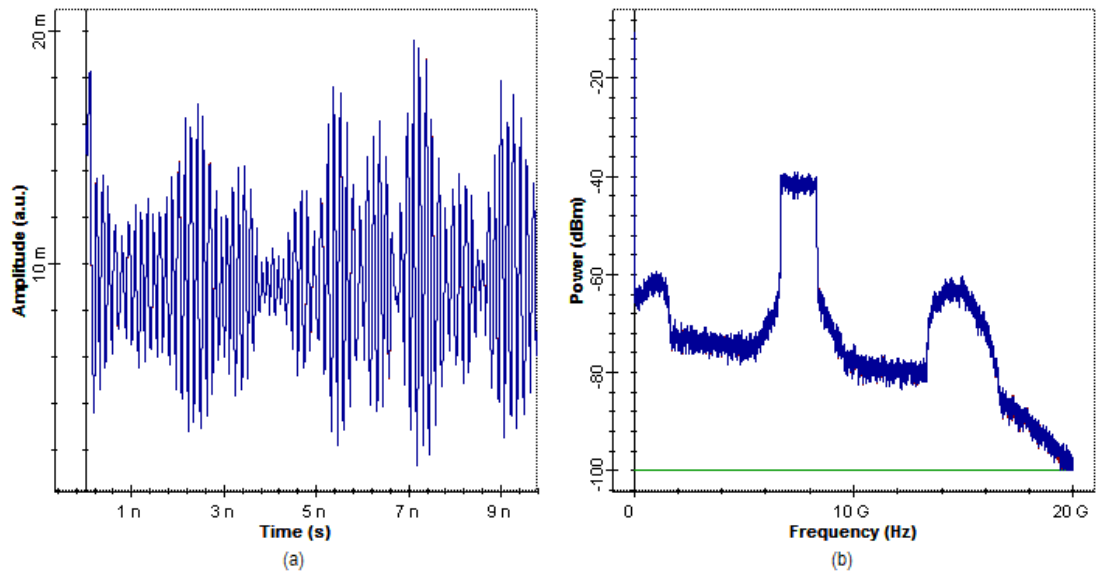


Figura 3. 32: Señal recibida después de la DP. a) Dominio del tiempo, b) Dominio de la frecuencia.

Elaborado por: Autor.

En la figura 3.34 es esquema 64QAM con subportadora de 512 tiene un resultado de BER mínimo de 60.43×10^{-27} y este resultado es muy adecuado porque el mejor resultado de BER es un mínimo de 10^{-12} . En el esquema 64QAM, el BER mínimo se incrementa cuando el número de subportadoras aumenta porque el ancho de banda se congestiona con datos que estarán cerca unos de otros y luego el porcentaje de error se incrementa.

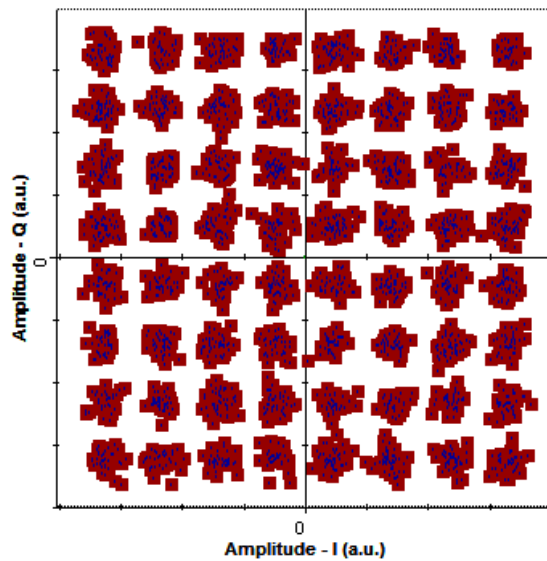


Figura 3. 33: Diagrama de constelación del decodificador final 64QAM.

Elaborado por: Autor.

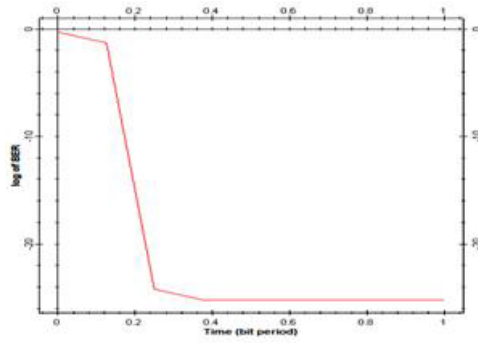


Figura 3. 34: Diagrama de constelación del decodificador final 64QAM.
Elaborado por: Autor.

Conclusiones

1. RoF es una tecnología muy eficaz para la integración de acceso óptico e inalámbrico. Combina los dos medios; fibra óptica y radio, y es una forma de distribuir fácilmente la radiofrecuencia como una señal de banda ancha o de banda base a través de fibra. Utiliza enlaces de fibra óptica analógicos para transmitir y distribuir señales de radio entre una CS y numerosas BS. En este sentido, RoF es una tecnología prometedora para futuros servicios inalámbricos multimedia de banda ancha y alta capacidad.
2. Se utilizó una frecuencia portadora de 7.5 GHz con una velocidad de datos del sistema de 10 Gbps con modulación 4QAM, 16QAM y 64QAM con diferente número de subportadoras, mientras que la longitud de la fibra para el enlace de transmisión fue de 100 Km. Este modelo está diseñado y simulado para lograr el mejor valor de BER (BER mínima es 0) y se verifica en todos los sistemas QAM, pero en 16QAM (1024 subportadoras) y 32QAM (512 subportadoras), muestran un resultado de la BER mínima de 1.09×10^{-51} y 60.43×10^{-27} respectivamente.
3. Los resultados obtenidos fueron causados porque se incrementaron el número de subportadoras con los aumentos del orden de mapeo QAM, el ancho de banda se congestiona con los datos que estarán cerca unos de otros y luego aumentará el porcentaje de error. Aunque eso aumenta la tasa de error de bits (BER) mínimo, pero el resultado es muy adecuado porque el mejor resultado de BER es un mínimo de 10^{-12} .

Recomendaciones

A continuación, se presenta como recomendación dos propuestas para ampliar el presente proyecto:

1. Implementar funciones de codificador y decodificador OFDM en MatLab y OptiSystem para ejecutar las funciones de modulación y demodulación para la señal OFDM en el sistema OFDM óptico.
2. Implementar un sistema RoF con multiplexación OFDM mediante la técnica de combinación de codificación (Trellis y Block) y la modulación de canal para la modulación multinivel.

Bibliografia

- Chen, L., Yu, J. G., Wen, S., Lu, J., Dong, Z., Huang, M., & Chang, G. K. (2009). A Novel Scheme for Seamless Integration of ROF With Centralized Lightwave OFDM-WDM-PON System. *Journal of Lightwave Technology*, 27(14), 2786–2791.
- Cheng, L., Shih, P.-T. (Boris), Ng'oma, A., & Chang, G.-K. (2017). Optimal Synchronization based on Anchor Phase Linear Regression for Self-Interference Cancellation in Software-Defined-Radio Fiber-Wireless Systems. *Optical Fiber Communication Conference (2017)*, Paper W2A.36, W2A.36. <https://doi.org/10.1364/OFC.2017.W2A.36>
- Fernando, X. N. (2014). *Radio over fiber for wireless communications: From fundamentals to advanced topics*. IEEE/Wiley.
- Haddad, A., & Gagnaire, M. (2014). Radio-over-Fiber (RoF) for mobile backhauling: A technical and economic comparison between analog and digitized RoF. *International Conference on Optical Network Design and Modeling*, 132–137.
- Hsueh, Y.-T., Jia, Z., Chien, H.-C., Chowdhury, A., Yu, J., & Chang, G.-K. (2011). Multiband 60-GHz Wireless Over Fiber Access System with High Dispersion Tolerance Using Frequency Tripling Technique. *Journal of Lightwave Technology*, 29(8), 1105–1111. <https://doi.org/10.1109/JLT.2011.2112635>
- Hussien, A. A., & Ali, A. H. (2020). Comprehensive investigation of coherent optical OFDM-RoF employing 16QAM external modulation for long-haul optical communication system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 10(3), 2607–2616.

- Ibrahim, Z., Rashidi, C. B. M., Aljunid, S. A., Rahman, A. K., & Anuar, M. S. (2016). Performance analysis of optical CDMA based on radio over fiber (RoF) technique. *2016 3rd International Conference on Electronic Design (ICED)*, 132–135. <https://doi.org/10.1109/ICED.2016.7804622>
- Iezekiel, S. (2016). *Radio-over-fiber technology and devices for 5G: An overview* (B. B. Dingel & K. Tsukamoto, Eds.; p. 97720A). <https://doi.org/10.1117/12.2214141>
- Lim, C., Nirmalathas, A., Bakaul, M., Lee, K.-L., Novak, D., & Waterhouse, R. (2009). Mitigation strategy for transmission impairments in millimeter-wave radio-over-fiber networks. *Journal of Optical Networking*, 8(2), 201. <https://doi.org/10.1364/JON.8.000201>
- Lim, C., Nirmalathas, A., Yang, Y., Novak, D., & Waterhouse, R. (2009). *Radio-over-fiber systems* (D. Chiaroni, Ed.; p. 76321S). <https://doi.org/10.1117/12.852117>
- Pipatsart, S., Afroozeh, A., Ali, J., & Yupapin, P. P. (2012). Nano Radio and RoF Applications. *Procedia Engineering*, 32, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1230>
- Rashidi, C. B. M., Aljunid, S. A., Aljunid, S. A., Anuar, M. S., & Yaakob, S. (2017). Effective Design for Optical CDMA Based on Radio over Fiber (RoF) Technique. *MATEC Web of Conferences*, 97, 01100. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20179701100>
- Trikha, M., Sharma, N., & Singhal, M. (2013). BER Performance Comparison between QPSK and 4-QAM Modulation Schemes. *International Journal of Electrical and Instrumentation Engineering*, 3(2), 62–66. <https://doi.org/2230-7656>

Venkatrao, P., & Bhanu Prashanth, S. B. (2016). Dispersion compensated coherent optical dual polarization OFDM using QAM. *2016 International Conference on Circuits, Controls, Communications and Computing (I4C)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CIMCA.2016.8053290>

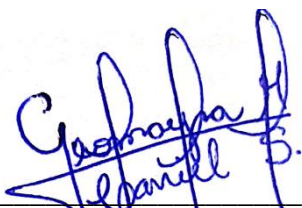
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie** C.C: # 092395116-4 autor del Componente práctico del examen complejo: Diseño e implementación de esquemas de modulación QAM-OFDM para sistemas de comunicación RoF utilizando OptiSystem, 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, 4 de diciembre del 2020

f. 

Nombre: **Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie**

C.C: 092395116-4

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño e implementación de esquemas de modulación QAM-OFDM para sistemas de comunicación RoF utilizando OptiSystem		
AUTOR(ES)	Carriel Sevillano, Geomayra Marjorie		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; M. Sc. Zamora Cedeño, Néstor / M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	Guayaquil, 8 de diciembre del 2020	No. DE PÁGINAS:	65
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de Transmisión Ópticos, Comunicaciones Inalámbricas		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Radio, Fibra, Comunicaciones, Modulación, Multiplexación, Simulación		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El presente trabajo consiste en realizar el diseño e implementación de un sistema de comunicación de radio sobre fibra (RoF) mediante tres escenarios de simulación de los esquemas de modulación de amplitud en cuadratura (QAM) combinada con la multiplexación de división de frecuencias ortogonales (OFDM) utilizando el entorno OptiSystem. Para llegar a cumplir con el objetivo principal del presente trabajo, se tuvo que analizar diferentes entornos de simulación robustos, tales como, MatLab/Simulink, LabVIEW, Opnet Modeler, OMNeT ++ y OptiSystem. Este último fue elegido como el más idóneo al momento de diseñar un sistema óptico híbrido y por su entorno gráfico muy amigable para implementar redes ópticas. Previo al diseño del sistema de comunicación RoF se describió los fundamentos teóricos de estos sistemas. Para el diseño del sistema de comunicación RoF se utilizaron tres esquemas de modulación óptico QAM (4QAM, 16QAM y 64QAM) con la variación de subportadoras y combinadas con el sistema OFDM en el acceso inalámbrico.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0986485826	E-mail: geomayra.carriel@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: 0994606932		
	E-mail: manuel.romero@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):			