



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Análisis y diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena, utilizando tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM

AUTOR:

Ing. Tomalá Merchán, Juana Liseth

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de

MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

22 de noviembre del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Juana Liseth Tomalá Merchán como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

PhD. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, 22 de noviembre del 2022



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Tomalá Merchán, Juana Liseth

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación **“Análisis y diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena, utilizando tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM”** previa a la obtención del Título 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 del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 22 de noviembre del 2022

EL AUTOR

Tomalá Merchán, Juana Liseth



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, Tomalá Merchán, Juana Liseth

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación**, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Análisis y diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena, utilizando tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 22 de noviembre del 2022

EL AUTOR

Tomalá Merchán, Juana Liseth

REPORTE URKUND

URKUND Abrir sesión

Documento	Tesis_Juana Tomalá Merchán.docx (0146707790)
Presentado	2022-10-17 12:01 (-05:00)
Presentado por	fernandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión trabajo de titulación Juana Tomalá Mostrar el mensaje completo 3% de estas 25 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques
	Enlace/nombre de archivo
	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / D4
	https://repositorio.ucstrat.edu.co/bitstream/hand
	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / D4
	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / D4
	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / D4
	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / D4
	Grupo Difusión Científica / D58123979

0 Advertencias. Reiniciar Compartir

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

TEMA: Análisis y diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena, utilizando tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM

AUTOR: Ing. Tomalá Merchán, Juana Liseth

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

TUTOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

4 de octubre del 2022

Dedicatoria

Este trabajo de titulación va dedicado a Dios por regalarnos un nuevo amanecer día a día, porque sin él no soy nada, por su amor infinito, por ser mi refugio, fortaleza y guía.

A mis padres, los seres maravillosos que me regalo la vida, quienes con su amor, ejemplo, guía, apoyo, confianza y consejo me prepararon para la vida.

A mis hermanos, por ser parte importante en mi vida y mis triunfos son de ellos, porque deseo y anhelo que sean mejor yo.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios por su amor incondicional, por seguir regalándome vida para cumplir cada una de mis metas, por ser mi fuerza y guía para no desistir a mis sueños.

A mis padres, quienes han confiado en mí y apoyado siempre, siendo el pilar fundamental en mi vida para lograr cada una de mis metas.

A la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, especialmente a la Facultad Técnica por permitirme ser parte de esta prestigiosa institución.

A mi tutor, M. SC. Edwin Fernando Palacios Meléndez por su apoyo, guía y orientación en el desarrollo de este trabajo de titulación.

Al director y todos los docentes de la Maestría de Telecomunicaciones, gracias totales.

A mis amigos, quienes han estado en las buenas, malas y remalas, quienes me han apoyado y alentado en los momentos más difícil, quienes han estado cuando eh querido desistir y quienes creen y confían en mí, gracias infinitas.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 


MSc. Edwin Fernando Palacios Meléndez
TUTOR

f. 

PhD. Manuel Romero Paz
DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. 

MSc. Luis Córdova Rivadeneira
REVISOR



MSc. Edgar Quezada Calle
REVISOR

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	XIII
ABSTRACT.....	XIV
Capítulo 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	2
1.1 Introducción	2
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Planteamiento y descripción del Problema	4
1.4 Definición del problema	6
1.5 Objeto de Estudio	6
1.5.1 Objetivo General	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	6
1.6 Alcance	6
1.7 Limitaciones.....	6
1.8 Justificación	7
1.9 Hipótesis.....	7
1.10 Metodología de la Investigación	7
Capítulo 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Fundamento de la tecnología RoF.	9
2.2 Sistemas RoF.....	10
2.3 Ventajas de sistemas RoF.....	10
2.4 Beneficios y Limitaciones de los sistemas de radio sobre fibra.....	11
2.5 Arquitectura de los sistemas RoF.....	13
2.6 Expectativa de ROF en Comunicaciones móviles.....	16
2.7 Tecnología RoF en el espectro radioeléctrico.	17
2.8 Radio frecuencia sobre Fibra Multimodo.....	18
2.9 Radio frecuencia sobre Fibra Monomodo.....	18
2.10 Avance y tendencia de los sistemas RoF.....	18
2.11 Sistema ROF y FTTH.....	20
2.12 Tecnología FTTH.	20
2.13 Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM)..	21
2.13.1 Modulaciones multiportadora OFDM	22
2.13.2 Principio básico de OFDM	22

2.14 Tipos de arquitectura de RoF.....	23
2.14.1 Modulación externa en radio frecuencia (RF).....	23
2.14.2 Modulación externa en frecuencia intermedia (IF).....	23
2.14.3 Modulación externa en banda base.....	24
2.14.4 Modulación directa en banda base.....	25
Capítulo 3: DESARROLLO DEL DISEÑO	26
3.1 Ubicación.....	26
3.2 Simulador OptiSystem	27
3.2.1 Características de Software Optisystem	27
3.2.2 Beneficios de Optisystem.....	28
3.2.3 Aplicación de software Optisystem.....	28
3.2.4 Utilitario de OptiSystem.....	28
3.3 Descripción de los dispositivos disponibles en OptiSystem.....	29
3.4 Red óptica pasiva con capacidad de Gigabit (GPON)	30
3.5 Recomendaciones o estándares	31
3.6 Presupuesto óptico	32
Capítulo 4: Simulaciones, pruebas, resultados y análisis.	34
4.1 OLT (Optical Line Termination).....	34
4.2 Simulación de Transmisor OFDM.....	35
4.3 Simulación de Receptor OFDM.	36
4.4 Trayecto de fibra óptica.	37
4.5 ONT	37
4.6 Diseño de sistema RoF con modulación OFDM.	38
4.7 Variaciones de parámetros (Potencia – Distancia)	39
4.8 Resultados de simulación	43
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIÓN.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
GLOSARIO DE TÉRMINOS	51
ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: Estructura de un sistema de comunicación RoF.....	14
Figura 2. 2: Sistema de Radio sobre Fibra	14
Figura 2. 3: Expectativas RoF en Comunicaciones Móviles.	17
Figura 2. 4:Arquitectura de una red FTTH.	21
Figura 2. 5: Modulación Multitrayecto.	22
Figura 2. 6: Modulación externa en radio frecuencia	23
Figura 2. 7: Modulación externa en IF.	24
Figura 2. 8: Modulación externa en Banda Base	25
Figura 2. 9: Modulación directa en banda base	25
Figura 4. 1: OLT (Optical Line Termination).....	34
Figura 4. 2: Transmisor OFDM.	35
Figura 4. 3: Receptor OFDM.....	36
Figura 4. 4: Trayecto de Fibra Óptica	37
Figura 4. 5: ONT.	37
Figura 4. 6: Sistema RoF utilizando modulación OFDM	38
Figura 4. 7: Secuencia binaria de transmisión	39
Figura 4. 8: Señal optica del láser.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Transmisiones de la red GPON	31
Tabla 3.2: Rango de clase G.984.2	31
Tabla 3.3: Valores de pérdidas de splitters	32
Tabla 3.4: Presupuesto óptico (1310nm)	33
Tabla 3.6: Presupuesto óptico (1490nm)	33
Tabla 3.6: Presupuesto óptico (1550nm)	33

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo realizar un análisis y diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena, utilizando tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM. Integrar sistemas inalámbricos y fibra óptica ofrece muchas ventajas, tales como mayor velocidad de transmisión, gran ancho de banda, alta adaptabilidad, seguridad, flexibilidad y movilidad, por tanto, realizar un estudio acerca de la tecnología ROF y modulación OFDM es dar a conocer este sistema híbrido, ya que actualmente en el Ecuador ninguna empresa ha implementado estas infraestructuras de comunicación y esta es una solución a futuro, la misma que puede brindar servicios en lugares apartados de las ciudades. Se realizó el diseño del sistema ROF, el mismo que está compuesto por: OLT, transmisor OFDM, enlace de fibra óptica, receptor OFDM y ONT, este diseño fue realizado en la plataforma Optysistem y se hizo varias modificaciones de parámetros como: potencia de transmisión, distancia del enlace, longitud de onda, atenuación, obteniendo el factor Q y análisis BER, a fin de visualizar resultados fallidos o éxitos.

Palabras clave: ROF, OFDM, RF, ONT, OLT.

ABSTRACT

The present degree work is to carry out an analysis and design of communications infrastructure for the Colonche Parish of the Santa Elena canton, using radio over fiber technologies (RoF) and OFDM modulation. The integration of wireless and fiber optic systems offers many advantages, such as higher transmission speed, high bandwidth, high adaptability, security, flexibility and mobility, so conducting a study on ROF technology and OFDM modulation is to publicize this hybrid system, since currently in Ecuador no company has implemented these communication infrastructures and this is a solution for the future, the same one that can provide service in places far from cities. The design of the ROF system was carried out, which is composed of: OLT, OFDM transmitter, fiber optic link, OFDM receiver and ONT, this design was carried out on the Optysistem platform and several parameter modifications were made such as: transmission power, distance of link, wavelength, attenuation, obtaining of the factor Q and BER analysis, to visualize failed or successful results.

Keywords: ROF, OFDM, RF, ONT, OLT.

Capítulo 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la siguiente sección se detallan la introducción, antecedente, planteamiento y descripción del problema, definición del problema, objetivos, alcance, limitaciones, justificación, hipótesis y metodología de investigación de este proyecto.

1.1 Introducción

Este proyecto de investigación tiene como objetivo realizar un análisis teórico y técnico de los sistemas de radio sobre fibra (RoF), tecnología que permite conectar a sus usuarios finales de manera flexible, ofreciéndoles un gran ancho de banda y así poder garantizar un buen servicio en los sitios que aún carecen de infraestructuras de telecomunicaciones.

Con el avance de las tecnologías, las telecomunicaciones han experimentado desarrollo en el volumen de tráfico de datos debido al incremento de usuarios y demanda de nuevos servicios de mejor calidad, disponibilidad, ancho de banda y velocidad, siendo esta una razón para que las empresas sientan la necesidad de mejorar la capacidad de sus redes de comunicación, ya que las tecnologías actuales se están viendo limitadas y no han desarrollado nuevos productos o estrategias acorde a la demanda, las cuales aumentan rápidamente.

Las redes inalámbricas no ofrecen grandes transmisiones de datos ya que no poseen suficiente ancho de banda, por tal razón se han realizado varios estudios para que transmitan a velocidades de multiGbps, sin embargo, el alto costo de los equipos a utilizar, interferencias, mayor potencia, son algunas de las desventajas de implementación de estas tecnologías. Una solución frente a estos inconvenientes que presentan las redes inalámbricas es la tecnología de radio sobre fibra.

Integrar sistemas inalámbricos y fibra óptica ofrece muchas ventajas, tales como mayor velocidad de transmisión, gran ancho de banda, alta adaptabilidad, seguridad, flexibilidad y movilidad, por tanto, el objetivo de este

estudio es dar a conocer este tipo de tecnologías, ya que actualmente en el Ecuador ninguna empresa ha implementado estas infraestructuras de comunicación y esta es una solución a futuro, la misma que puede brindar servicios en lugares apartados de las ciudades.

Con el propósito de suministrar velocidades de transmisión en comunicaciones inalámbricas de varios gigabits a los consumidores finales de datos móviles, es indispensable el uso eficiente del ancho de banda de radio frecuencia disponible e indagar técnicas de transmisiones inalámbricas que operan en bandas MMW (Millimeter Waves), asimismo, desarrollar diseños de sistemas integrados por medios de comunicaciones ópticas e inalámbricas (Carrillo, 2018).

1.2 Antecedentes

Para la realización de futuras redes integradas de alto rendimiento, redes de acceso y distribución de banda ancha y para satisfacer la creciente demanda de servicios multimedia con una calidad de servicio garantizada, la tecnología RoF surge como la más prometedora, combinando la capacidad de las redes ópticas y la flexibilidad y movilidad de las redes inalámbricas. La reducción de la complejidad en el sitio de la antena, costo de instalación de las redes de acceso, la posibilidad de asignación dinámica de portadoras de radio a diferentes sitios de antena, la transparencia y la escalabilidad son ventajas de la tecnología RoF (Sharma, Singh, & Sharma, 2012).

Las redes ópticas permiten una amplia gama de servicios de comunicación, incluidos los servicios residenciales, empresariales y móviles. La próxima red inalámbrica de quinta generación (5G) aporta a las redes ópticas nuevos requisitos como ancho de banda alto, baja latencia, sincronización precisa y la capacidad de realizar cortes de red. El requisito de un gran ancho de banda está impulsado por aplicaciones inalámbricas emergentes como MIMO (múltiples entradas y salidas múltiples), mientras que los requisitos de baja latencia y sincronización precisa son impulsados principalmente por aplicaciones como la red de acceso de radio en la nube (C-RAN) y multipunto coordinado (CoMP) (Liu, 2019).

Los sistemas de radios sobre fibra y redes FTTH son tecnologías adecuadas para la integración de comunicaciones inalámbricas y fijas, debido al gran ancho de banda que ofrece la fibra óptica y la movilidad que ofrecen las redes inalámbricas. Implementar un sistema ROF en una red troncal ayudaría a cubrir largas distancias, sin embargo, están acopladas para ser utilizadas como medio de transporte y distribución de señales RF de redes inalámbricas hacia una red de tecnologías FTTH. (Escallón-Portilla, Ruíz-Guachetá, & López-Perafán, 2020).

1.3 Planteamiento y descripción del Problema

La brecha digital establece un problema para todas las sociedades existentes en el mundo y representa una barrera que impide el avance de un país, ya que hoy en día el uso de tecnologías de información y comunicación constituye progresos significativos en la población, por lo que viene a representar el desarrollo de una región y un país.

En las encuestas realizadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la brecha digital entre la zona urbana y rural aún es muy amplia. El porcentaje a nivel nacional de hogares conectados a internet es de 14,7%, mientras que en las zonas urbanas es del 15,2% y un bajo incremento del 11,3% en zonas rurales (INEC, 2017).

Implementar infraestructuras de comunicación en las zonas rurales no es una misión fácil, ya que existen diferentes factores como ubicación geográfica, dispersión de las viviendas, bajo número de usuarios, interferencias en la comunicación, altos costos de implementación que complican la instalación de tecnologías en estas zonas.

Las zonas rurales sufren una triple brecha digital: las conexiones de banda ancha, el desarrollo de las capacidades y la utilización. También la falta de ofertas de redes de acceso a Internet de próxima generación, muchas poblaciones rurales carecen de los conocimientos digitales necesarios y la utilización de las tecnologías digitales es menor que en las zonas urbanas,

son estas algunas de las razones por lo que es necesario realizar estudios de factibilidad técnica para proveer servicios en estas zonas.

Las tecnologías inalámbricas son una alternativa de infraestructura para implementar en zonas rurales, sin embargo, estas no tienen la capacidad de grandes transmisiones de datos, ya que poseen bajo ancho de banda, suministran hasta 1Gb. Se han realizado varios estudios para que estas tecnologías transmitan a velocidades de multiGbps, operando en el rango de frecuencias MMW que van desde los 30 y 300 GHz.

El estándar IEEE 802.15.3c opera en la banda de frecuencia de 60 GHz y es aplicable para comunicaciones ópticas de corta distancia como sistemas de interior, donde la mayor velocidad de transmisión de datos se puede alcanzar utilizando una banda de alta frecuencia de los pulsos de solitones ópticos de salida, los cuales podrían generarse y convertirse en códigos lógicos, donde los anchos de banda de estos pulsos son de 5 y 20 MHz, respectivamente. Por tanto, estos tipos de señales se pueden utilizar en sistemas ópticos de interior y enlaces de transmisión utilizando componentes adecuados como transmisor, fibra óptica, amplificador y receptor (Baykas, y otros, 2013).

Implementar infraestructuras inalámbricas que trabajen en la banda de ondas milimétricas presenta algunas desventajas en cuanto al alto costo de equipos, aumento de radio bases y mayor potencia, por tal razón, las tecnologías de radio sobre fibra ofrecen ventajas para solucionar estos inconvenientes.

La fibra óptica al ser utilizada como medio de transmisión de ondas milimétricas ofrece grandes ventajas frente a otras tecnologías, tales como, mayor ancho de banda, alcance de cobertura, seguridad, flexibilidad y escalabilidad en sus redes de comunicación, además, dependiendo del tipo de fibra óptica que se utilice, las pérdidas de propagación serán entre los 0,2 y 0,5 dB/km y la longitud de onda de operación es baja en comparación con los sistemas inalámbricos y cobre. Por tanto, este estudio pretende investigar la integración de estas dos tecnologías y aprovechar las ventajas que ofrecen.

1.4 Definición del problema

Falta de infraestructuras de comunicación en zonas rurales de la provincia de Santa Elena y el país, por tanto, es necesario realizar estudios teóricos y técnicos para proveer servicios en estas zonas.

1.5 Objeto de Estudio

Tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM.

1.5.1 Objetivo General

Realizar un análisis y diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena, utilizando tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de las tecnologías de radio sobre fibra (RoF).
- Analizar ventajas, desventajas y limitaciones de las tecnologías RoF.
- Caracterizar fundamentos teóricos de convergencia de tecnologías RoF.
- Diseñar modelos de simulación de sistemas de radio sobre fibra (RoF), utilizando la herramienta OptiSystem.

1.6 Alcance

El presente estudio explorará la tecnología de radio sobre fibra, con el fin de demostrar la factibilidad de integrar medios cableados e inalámbricos y que esta tecnología puede llegar hasta lugares apartados de las ciudades.

Considerando las ventajas, desventajas y limitaciones de la tecnología RoF se realiza un diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena.

1.7 Limitaciones

En este proyecto de investigación están presente limitaciones, tales como:

- Escasez bibliográfica sobre diseños e implementación de tecnologías RoF.

- Estadísticas de operatividad de tecnologías RoF frente a otras tecnologías de comunicación.
- En el país no existen empresas que proveen servicios mediante tecnologías RoF.

1.8 Justificación

Con el avance de las tecnologías, las telecomunicaciones han experimentado grandes desarrollos y a la vez este crecimiento de integrar nuevos equipos móviles y terminales se ha visto limitado, saturando el espectro radioeléctrico, por tanto, existen aplicaciones que requieren de grandes anchos de banda pero sin verse afectadas por factores de interferencias en las comunicaciones, siendo necesario incorporar tecnologías que transmitan a velocidades de multiGbps, operando en el rango de frecuencias extremadamente altas, entre 30 y 300 GHz, como son Ondas Milimétricas para prever las demanda de servicios futuros, ya que los sistemas de comunicación inalámbricas actual no serán capaz de soportar servicios en las redes 5G, es por tal razón, que se realiza un análisis teórico y técnico de la integración de redes inalámbricas y cableadas, siendo esta una solución frente a los inconvenientes.

1.9 Hipótesis

El análisis y diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena, utilizando tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM, permitirá demostrar la factibilidad de integrar redes inalámbricas y cableadas.

1.10 Metodología de la Investigación

Este proyecto de investigación es exploratorio porque se realizará un estudio teoría y técnico de la integración de redes ópticas e inalámbricas. Además, se aplicará técnicas de investigación documental, realizando búsquedas en artículos, tesis, libros, con el fin de obtener información que permitan demostrar la viabilidad de las tecnologías RoF, además de conocer la situación actual de esta tecnología en el país y el mundo.

Es también una investigación descriptiva, porque permite analizar, diseñar y evaluar la tecnología de radio sobre fibra y demostrar la factibilidad de integrarlas, siendo esta una tecnología que puede llegar hasta lugares apartados de las ciudades.

Finalmente, el diseño de este proyecto de investigación es Pre – Experimental debido a que no se alteran las variables de estudio, es decir solo se observan los acontecimientos y se procede a realizar el análisis.

Capítulo 2: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detallarán la información recolectada e investigada acerca de los sistemas RoF, tecnologías FTTH, Modulación OFDM, etc.

2.1 Fundamento de la tecnología RoF.

En las técnicas y parámetros principales en las telecomunicaciones determinan que un enlace de comunicación óptica es superior a un enlace de comunicación inalámbrica. Si bien es cierto, el primer parámetro en el rango de la línea de telecomunicación medido en unidades de longitud de onda es, donde la fibra óptica tiene una atenuación de 0.2 dB por kilómetro, en comparación con una conexión inalámbrica, que la atenuación de la señal es mayor y aumenta con la frecuencia. El segundo parámetro es la capacidad de conexión que evalúa la cantidad de información transmitida en una trama de tiempo, es decir, las propiedades de banda ancha de la fibra que la transforman en un medio de ancho de banda ilimitado.

Los sistemas RoF utilizan señales de radiofrecuencia para transmitir a través de conexiones de fibra óptica, aprovechando las ventajas que ofrecen, como son: la baja atenuación, alto ancho de banda, además que en una línea de fibra se puede transmitir señales de radiofrecuencia, microondas o incluso ondas milimétricas.

La técnica más sencilla para distribuir ópticamente una señal de radio frecuencia es modular directamente la intensidad de la fuente de diodo láser con la señal de radio frecuencia y utilizar la detección directa en el fotodiodo para recibir la señal de radio frecuencia. Para la transmisión de señales de mayor frecuencia como las ondas milimétricas, la modulación de intensidad no es posible modulando directamente la corriente del diodo láser debido al ancho de banda limitado del mismo. Afortunadamente, existe otra opción para la modulación de intensidad en la que el diodo láser opera en modo de onda continua y luego se usa un modulador externo, como el modulador de electroabsorción o el modulador Mach-Zehnder para modular la intensidad de

la luz. Después de la modulación de intensidad con la señal de RF real, tiene lugar la transmisión a través del trayecto de fibra óptica. Finalmente, en el extremo de la fibra el fotodiodo receptor extrae la señal de radiofrecuencia por detección directa (Carrillo, 2018).

2.2 Sistemas RoF

Los sistemas de radio sobre fibra establecen una técnica en que las señales RF modulan una portadora óptica y son transportadas a través de conexiones de fibra óptica. Operan en la banda de frecuencia extremadamente alta, entre 30 y 300 GHz, con ancho de banda aproximado de 7 GHz.

La convergencia de los sistemas inalámbricos y ópticos nos permite aprovechar las ventajas de ambos, como son: baja atenuación, alta movilidad de los accesos inalámbricos, gran ancho de banda, bajas pérdidas de propagación, bajo consumo de potencia y la inmunidad al ruido e interferencia eléctrica de la fibra óptica. Esta integración eficiente de estos sistemas de comunicación es una técnica prometedora para suministrar servicios de acceso inalámbrico de banda ancha, incluyendo soluciones en redes de acceso, extensión de la cobertura y la capacidad en las redes de radio.

2.3 Ventajas de sistemas RoF

Los sistemas de radios sobre fibra, quienes hacen que la luz de un láser sea modulada por una señal de radio frecuencia y luego transmitida sobre un tramo de fibra óptica y detectada por un conversor óptico a eléctrico. Estas señales de radio frecuencia son filtradas y transmitidas inalámbricamente desde la antena a las estaciones móviles, además de caracterizarse por tener elementos del espacio libre y fibra óptica, ofrecen principales ventajas, tales como:

- Menor atenuación de la fibra óptica con valores típicos de atenuación alrededor de 0.2 dB/km, habilitando la distribución de BS dentro de rangos hasta de 40 km sin amplificación (Varghese, Mohammed, & Lajos, 2015).

- Mayores anchos de banda donde la multiplexación óptica soporta escenarios multiusuario para incrementar el desempeño de un enlace de fibra óptica. Los esquemas de multiplexación para sistemas RoF son la Multiplexación Sub-Portadora (Sub-Carrier Multiplexing – SCM), y multiplexación por división de longitud de onda (Wavelength Division Multiplexing – WDM) (Varghese, Mohammed, & Lajos, 2015).
- Tecnología costo-efectiva usando celdas pequeñas en sitio tomando ventaja de la menor complejidad debido a las funcionalidades de la red de acceso a Radio (Radio Access Network –RAN) en la Oficina Central (CO), adicionalmente, esta arquitectura centralizada soporta la asignación flexible de recursos en la red de transporte óptico (Monteiro, y otros, 2015).
- Habilita la implementación de esquemas de comunicación inalámbricos de múltiple entrada múltiple salida (Multiple-Input Multiple-output-MIMO) que mejoran el rendimiento aún bajo condiciones de interferencia, desvanecimiento y multi-trayecto (Fernandez, Torres, Cardenas, & Gonzalez, 2019).
- Eficiencia en potencia mejorada reduciendo el nivel de potencia transmitida, y por tanto, disminuyendo las pérdidas de trayecto usando sitios de celda pequeños (Fernandez, Torres, Cardenas, & Gonzalez, 2019).
- Fácil implementación y mantenimiento.

2.4 Beneficios y Limitaciones de los sistemas de radio sobre fibra

Los sistemas RoF ofrecen algunos beneficios al utilizar la fibra óptica como medio de transmisión, ya que entre sus ventajas presentan baja pérdida de atenuación y gran ancho de banda. Además, por ser un sistema centralizado, es decir, permite realizar una conversión de frecuencia, modulaciones y multiplexaciones, cambios que solo son efectuados en una estación central. Esto hace que las RAU (Remote Antenna Units) sean más sencillas y ligeras, y se puede utilizar una única estación central para servir a varias RAU. Además, es posible tener varias estaciones centrales ubicadas en el mismo

sitio central, siendo su implementación y mantenimiento más sencillo, lo que implicaría una reducción de costos operativos.

Además, dado que las RAU son simples, habrá un consumo reducido de energía, lo que es beneficioso en situaciones en las que las RAU se encuentran en lugares remotos no alimentados por la red eléctrica. Tener RAU más ligeras también es importante en escenarios de aplicaciones específicas como el despliegue de RoF en aviones (Seal, Bhutani, & Sangeetha, 2017).

Los sistemas de radio sobre fibra tienen la ventaja de ser inmune a las interferencias electromagnéticas, sin embargo, al ser una red que combina señal óptica y modulación analógicas se convierte en un sistema de transmisión analógica, siendo esta una desventaja (Caytan, y otros, 2018).

Concentrar el equipo de alta frecuencia en la Oficina Central es otra ventaja importante de la tecnología RoF, ya que permiten que los equipos adicionales sean instalados en otro lugar, debido a la facilidad de transporte, poco consumo de potencia, pequeño y peso liviano (Milosavljevic, Kourtessis, Gliwan, & Senior, 2009).

En los sistemas de radios sobre fibra puede haber presencia de ruido, las principales fuentes que pueden ocasionar la presencia de este factor son: sonido causado por la intensidad relativa (RIN) del láser, sonido producido por fase del láser, el sonido de disparo del fotodiodo, el sonido térmico del amplificador de radio frecuencia y la radiodifusión espontánea amplificada (ASE) del amplificador óptico. Este fenómeno o deformación aparece de los cambios causado por el láser, moduladores y efecto de dispersión causado por la fibra óptica (Díaz Ortega, 2019).

Entre las limitaciones basadas en los sistemas RoF están las fibras monomodo las mismas que limitan la longitud del enlace de fibra y también aumentan el ruido de fase de la portadora de radio frecuencia. En cambio, en las fibras multimodo modelan varios límites disponibles para enlaces, ancho de banda y distancia.

La fibra óptica presenta limitaciones, tales como:

- Su material es muy frágil para la manipulación, especialmente durante su instalación.
- El costo de los dispositivos es elevado.
- Se requiere de personal técnico especializado para realizar reparaciones de empalmes, ya que son complejas.
- Por la materia prima utilizada en su construcción no admite flujo de energía por su núcleo.

2.5 Arquitectura de los sistemas RoF

Los sistemas RoF están considerados para trabajar en la banda de frecuencia EHF y ancho de banda de operación aproximado es de 7GHz. Esta tecnología proporciona una buena sinergia entre radio frecuencia y fibra óptica, siendo diseñados para obtener un eficiente promedio entre los dos sistemas.

Desarrollar sistemas que utilicen medios ópticos para transmitir señales milimétricas, presentan una serie de inconvenientes debido al elevado costo de los dispositivos electrónicos que se deben utilizar. Transmitir señales milimétricas requiere de mayor potencia en el transmisor y las pérdidas de esta señal en medios inalámbricos serán más elevadas, por tantos inconvenientes en su implementación. Por tal razón, los sistemas RoF es una alternativa para solucionar los inconvenientes que se presenten al transmitir señales milimétricas.

En la figura 2.1, arquitectura del sistema RoF, se observa que en la estación de control se produce el procesamiento de señal (codificación, multiplexación, generación y modulación de radio frecuencia) y esto hace que la estación base tenga menor costo y sea más eficiente. Además, RoF es la tecnología que transporta su señal de radio en una portadora óptica sin cambiar su formato de modulación, facilitando beneficios en reducción de costos y simplificación de los puntos de acceso.

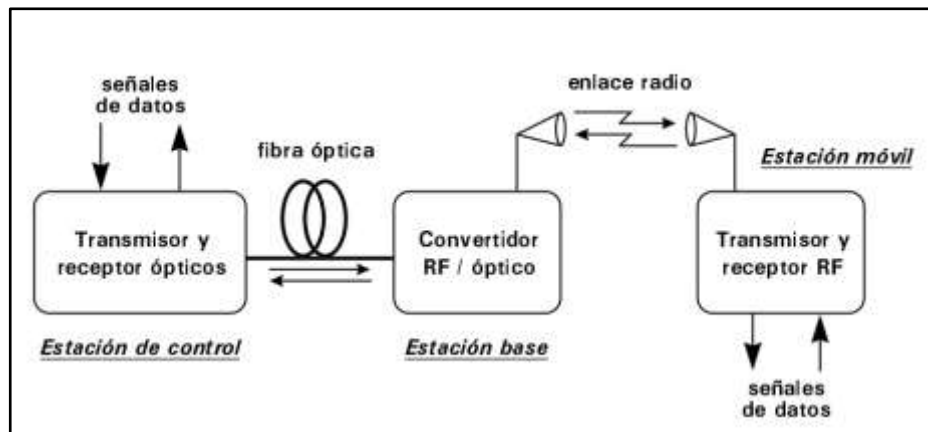


Figura 2. 1: Estructura de un sistema de comunicación RoF
Fuente: (Pascual, 2000)

Transmitir señales de radio a través de fibra óptica en los sistemas RoF, se realiza directamente hasta la estación base (BS) y si existen varias estaciones bases se utiliza un dispositivo pasivo, llamado splitter, el mismo que dividirá la señal a las BS, tal como se muestra en la figura 2.2.

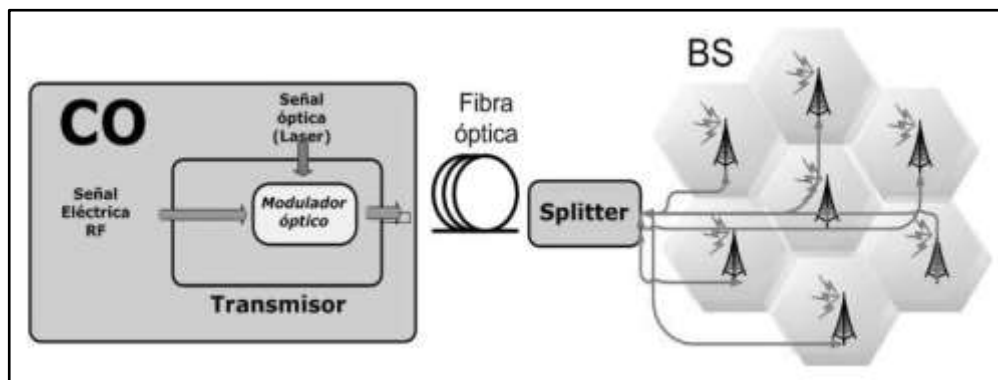


Figura 2. 2: Sistema de Radio sobre Fibra
Fuente: (Torres, Imbett, Durán, & González, 2011)

El sistema RoF está conformado por: Transmisor óptico, canal de transporte óptico, estaciones bases y receptores móviles o fijos (Escallón, Ruíz, & López, 2019).

Estación de control

Una estación de control se encarga de alimentar todas las estaciones de base dentro de una región transmitiendo señales ópticas por fibra que contienen los datos deseados y las portadoras de frecuencias requeridas. En la línea de transmisión óptica es necesario amplificar las señales para compensar las pérdidas de los divisores de potencia y, por ello, se puede incluir los

amplificadores ópticos fibrados dopados de erbio (Erbium-doped fiber amplifier, EDFA). Cada estación de base da servicio a todas las estaciones móviles dentro de su célula vía una transmisión inalámbrica. En realidad, este tipo de arquitectura se puede utilizar tanto para aplicaciones que requieren movilidad como para aplicaciones de acceso fijo (Campuzano, 2004).

Enlace óptico

En el enlace óptico, se encuentran los efectos no lineales de la fibra óptica, los mismos que se dividen en dos categorías: Dispersión estimulada y el Efecto Kerr, esto se debe a los cambios en el índice refractivo con la potencia óptica. La dispersión estimulada es responsable de la pérdida o ganancia de la intensidad, mientras que el índice refractivo no lineal es el responsable del desplazamiento de fase de la señal óptica. Otra diferencia entre la dispersión estimulada y el efecto Kerr es que la dispersión estimulada tiene niveles de potencia de umbral en los cuales los efectos no lineales se manifiestan en la fibra, mientras que en el efecto Kerr no se tiene dichos niveles de potencia. Para reducir la dispersión de la señal óptica en la fibra, se pueden utilizar dos tipos diferentes de fibra por separado, una para la subida y otra para la bajada (Lee, 2000).

Estación base

El sistema de estaciones base es responsable de garantizar todo lo relacionado con el correcto funcionamiento de la señal de radio. Es su responsabilidad lograr que el sistema de conmutación se abstraiga de los problemas relacionados con la atención al móvil. El sistema de estaciones base consiste en una colección de transmisores conocidos como transceptores de Estación Base (BTS, Base Transceiver Stations), o simplemente estaciones base. Cada BTS es el centro de una celda y emite señales de radio a los móviles cercanos, del mismo modo que es capaz de escuchar sus respuestas. A pesar de su capacidad dual, muchos autores se refieren simplemente a las BTS como transmisores (OJEDIS & MOROCHO, 2019).

La función que realizan las estaciones bases es efectuar la transformación opto-eléctrica, por ende, no genera inconvenientes al momento de elegir se tipo de modulación y protocolo.

Trasmisor óptico

El transmisor óptico es el encargado de generar ondas ópticas milimétricas, siendo estas las responsables de transportar las señales de radio frecuencia hacia la estación base. Aprovechando la generación de señales y configuración de la estación, disminuyen costos y el desempeño de las redes de acceso ópticas basadas en sistemas RoF. Sin embargo, la generación de las ondas ópticas milimétricas a frecuencias por encima de los 40 GHz supone un desafío mayor ya que esto se encuentra limitado por la respuesta de frecuencia que tienen los moduladores ópticos, por ejemplo el modulador externo Mach- Zehnder, el cual posee buena respuesta por debajo de 40 GHz, por lo tanto es de gran interés en la comunidad científica, un método para la generación de señales ópticas cuya respuesta a frecuencias mayores sea mejor y el costo de los equipos más barato (Escallón-Portilla, Ruíz-Guachetá, & López-Perafán, 2020).

2.6 Expectativa de ROF en Comunicaciones móviles.

RoF en comunicaciones móviles podría tener una estructura integrada entre comunicación móvil interior y comunicación móvil exterior, tal como se muestra en la Figura 2.3, sin embargo, este sistema puede cambiar su topología en el futuro. Por ejemplo, una RBS se puede conectar a otra RBS central utilizando la topología BUS. Al usar esta topología, el costo del sistema se reduce al ahorrar en el cable óptico aplicado en el sistema.

Según estudios realizados de los sistemas ROF, se menciona que, al utilizar una repetidora en un sistema ROF, se podrá tener aproximadamente 300 BTS de un sistema de comunicación celular, las mismas que son multiplexadas por DWDM y utilizan fibra óptica monomodo como medio de transmisión hacia la CBS. Como se puede visualizar en la Figura 2.3, se utiliza un conjunto de

antenas en las radios bases para así poder recibir las señales de radio frecuencia, las mismas que son parte de un ITS (Carrillo, 2018).

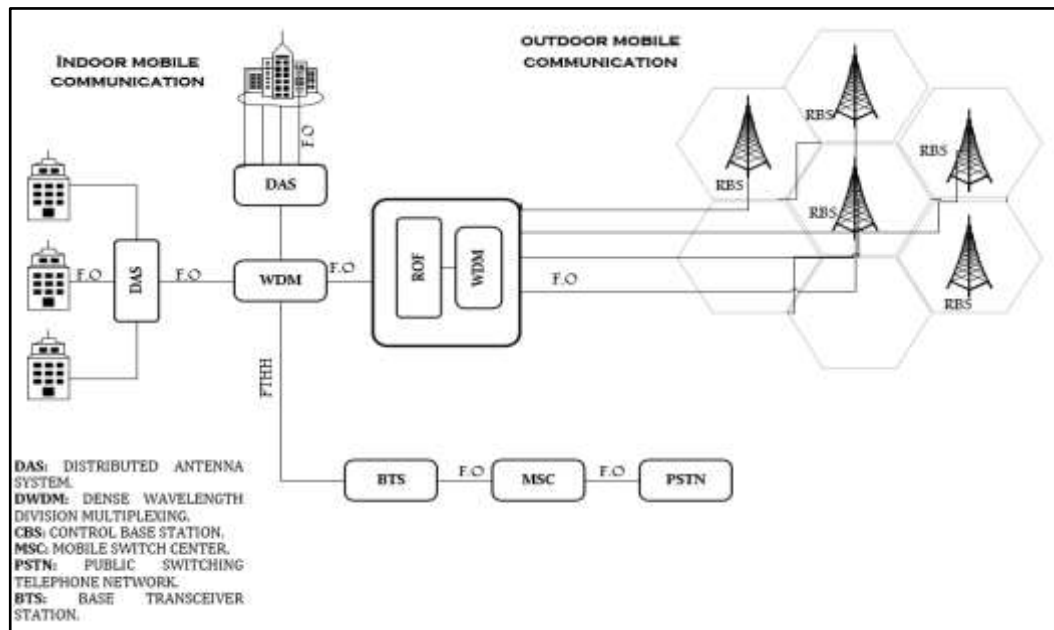


Figura 2. 3: Expectativas RoF en Comunicaciones Móviles.
Fuente: (Abdolee R. , Ngah, Vakilian, & Rahman, 2007)

Mediante el uso del repetidor RoF, la fibra óptica pre-existente, que llega hasta la casa (FTTH), se puede utilizar para aplicaciones móviles. Uno de los componentes de la Figura 2.3 es el sistema de antenas distribuidas (DAS) que se utiliza para la comunicación en interiores. DAS aprovecha los conmutadores ópticos que tienen muchas ventajas en comparación con los conmutadores RF. El alto nivel de aislamiento y la muy baja intermodulación son las ventajas más significativas (Abdolee, Ngah, Vakilian, & Rahman, 2007).

2.7 Tecnología RoF en el espectro radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico está asignado en frecuencias que establece la ITU ((International Telecommunications Union), es decir, las señales de radiofrecuencia tienen un rango entre los 3Hz y los 300 GHz, mientras que las señales de microondas tienen un rango de frecuencia de 300 MHz y los 30GHz.

2.8 Radio frecuencia sobre Fibra Multimodo.

La fibra óptica multimodo (MMF) es un medio de transmisión utilizada en comunicaciones de corta distancias y tiene características tales como:

- Predominante en backbones de edificios o campus.
- Alta eficiencia de acople (90%).
- Utiliza técnicas simples de acople.
- Bajo ancho de banda (típicamente 500 MHz a 1300 nm) debido a dispersión modal.
- Bajo costo de instalación combinado con una baja complejidad.

2.9 Radio frecuencia sobre Fibra Monomodo.

La fibra óptica monomodo es el medio de transmisión que dispone de un modo de propagación, de tal forma que solo tiene una longitud de onda de luz. Este cable de fibra tiene características, tales como:

- El pequeño diámetro del núcleo descarta la dispersión causada por múltiples modos y se logra menor atenuación.
- Se logran mayores distancias que con fibras multimodo (las cuales no son convenientes para distancias mayores a 15 km).
- Ancho de banda en el rango de los GHz.
- El diámetro del núcleo más pequeño hace más difícil el acople de la luz hacia el núcleo.
- Las tolerancias de los conectores y de los empalmes son más demandantes.

2.10 Avance y tendencia de los sistemas RoF.

En la actualidad, las redes inalámbricas y cableadas están siendo saturadas por la gran demanda de usuarios finales, los mismos que requieren elevadas velocidades de transmisión. Una solución prometedora es la integración de los sistemas RoF y FTTH (Fiber to the Home), que soportan requerimientos de las redes de acceso, además que su operación en la generación y transmisión de información a altas velocidades sea simple y confiable. El mundo de las telecomunicaciones ha tenido avances significativos, sin

embargo, la integración de redes inalámbricas y fibra óptica son redes de próxima generación, estos sistemas tienen como finalidad brindar servicios de gran ancho de banda a un bajo precio (Lin, y otros, 2007).

Basado en investigaciones realizada se dice que, uno de los grandes desafíos de los sistemas RoF es poder tener entre sus elementos que conforman su infraestructura, las unidades de antenas remotas (RAU, Remote Antenna Units), estos elementos permiten cubrir múltiples bandas, distribuyendo la señal de manera simple. Bajo este contexto se podría realizar implementaciones con gran ancho de banda y así proveer de forma eficiente a los consumidores finales. Una ventaja adicional que ofrece esta tecnología es permitir modificar la capacidad asignada, esto se podría realizar considerando parámetros de densidad de tráfico y demanda de clientes (Mitchell, 2009).

El gran ancho de banda que ofrecen las fibras ópticas, aportan otros beneficios aparte de la alta capacidad para transmitir señales microondas, es decir, estos medios ópticos procesan las señales a altas velocidades de transmisión, siendo esto una dificultad para los sistemas electrónicos, un claro ejemplo son las filtraciones de señales de las comunicaciones inalámbricas con ondas milimétricas, ya que convierten la señal eléctrica en señal óptica y realizan el filtrado usando componente ópticos basados en redes de Bragg en fibra óptica (FBG, Fiber Bragg Grating) o el interferómetro Mach Zender (MZI, Mach Zender Interferometer). Sin embargo, una de las desventajas de transmitir señales de ondas milimétricas sobre medios óptico son los problemas de atenuaciones, esto provoca que se degrade la señal, este fenómeno es conocido como dispersión cromática, ya que causa la interferencia inter-símbolos (ISI, InterSymbol Interference), debido al ensanchamiento temporal de los pulsos en el receptor (Granada, Zuluaga, Guerrero, & Díaz, 2010).

Los sistemas de comunicación inalámbricos de ondas milimétricas de ancho de banda por encima de los 10 GHz fácilmente podrían proveer servicios con

tasas de transmisión de multi-Gbps, inclusive empleando configuraciones de modulaciones simples tales como ASK o QPSK.

Estos sistemas son apuntados como una potencial opción no solo para el acceso óptico sino también para futuras redes de retorno (backhauling) móviles, debido a que evitarían el cuello de botella que presentarían las futuras redes LTE (Long Term Evolution), que alcanzarían velocidades de 1 Gbps (Stohr, 2011).

2.11 Sistema ROF y FTTH

RoF y FTTH son dos tecnologías sólidas para convertirse en redes de acceso inalámbrico y fijo por el gran ancho de banda que estas soportan. Pese a que los sistemas RoF cubren largas distancias por su infraestructura de red troncal, el mayor punto de atracción radica en la evolución de este sistema en el que permite que las señales de comunicaciones inalámbricas sean transmitidas atrás de infraestructuras de red FTTH.

La atenuación o pérdida de la señal en el espacio libre del rango de frecuencia de microondas puede llegar a ser mayor de 10dB/Km, sin embargo, en la fibra óptica estándar monomodo en banda de frecuencia libre con la que se transporte, su atenuación es de 0.2dB/Km, además de sumarle el gran ancho de banda que ofrece este medio de transmisión, establecen importantes razones atractivas de los sistemas de radio sobre fibra. Frente a todos los beneficios que ofrecen las tecnologías RoF para ser una solución a futuro, también se deben considerar los desafíos, es decir, como poder transmitir señales de comunicaciones inalámbricas y señales ópticas utilizando el valor de una sola ventana óptica, la misma que será transportada sobre un solo canal de fibra (Muñoz, Puerto, Cely, & Suárez, 2015).

2.12 Tecnología FTTH.

La tecnología de telecomunicaciones FTTH está basada en la utilización de fibra óptica para ofrecer servicios Triple Play. Brindar servicio de comunicación al usuario final a través de esta tecnología se necesita de una

o dos fibras ópticas dedicadas para cada cliente, es decir, se puede realizar un enlace punto a punto empleando topología estrella o la conexión de una red PON que utiliza una distribución arborescente. En la figura 2.4 se puede visualizar la arquitectura de una red FTTH.

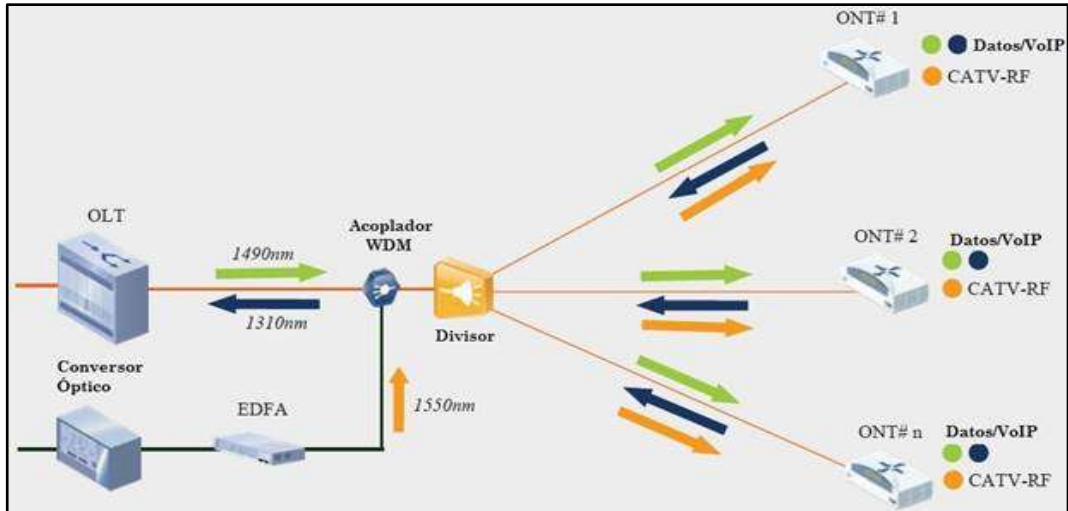


Figura 2. 4:Arquitectura de una red FTTH.
Fuente: (Lattanzi & Graf, 2008).

2.13 Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM).

OFDM es una técnica de transmisión también conocida como modulación por multitono, la misma que es utilizada en guías ópticas o metálicas. Esta técnica permite transmitir a altas tasas binarias, entre las ventajas que ofrece esta modulación, destacan la robustez antes las dificultades que originan la propagación multitrayecto, uso eficiente del espectro radioeléctrico, sencillez para realizar la modulación y demodulación IFFT y FFT (Inverse Fast Fourier Transform y Fast Fourier Transform), flexibilidad y adaptación a redes de comunicación que ofrecen gran ancho de banda ya que realizan el proceso de ecualización en el dominio de frecuencia, además son adaptables a sistemas MIMO.

En OFDM el principio principal es la división del espectro radioeléctrico disponible en diferentes subcanales, en el cual la información esta modulada en múltiples portadoras, cada una de estas en diferentes frecuencias, tal como instituye la modulación por división de frecuencia, con la diferencia que esta técnica tiene ondas portadoras ortogonales.

2.13.1 Modulaciones multiportadora OFDM

Las modulaciones multiportadoras tienen como principio principal, dividir un canal de banda ancha en canales de banda estrecha ortogonales, denominándolas subportadoras y repartiendo el flujo de bits en dichos canales. Una de las ventajas que ofrecen las modulaciones multiportadoras es la robustez frente a las interferencias intersimbólicas (ISI), las mismas que están presente en las comunicaciones de banda ancha con multitrayecto, conforme se muestra en la figura 2.5.

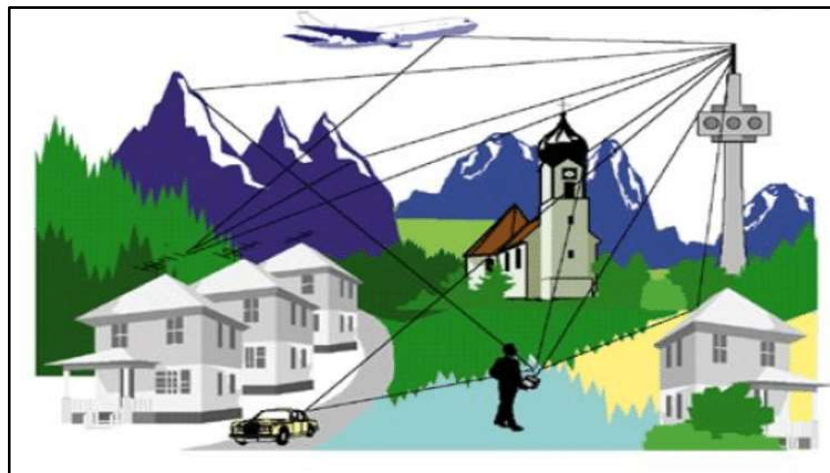


Figura 2. 5: Modulación Multitrayecto.

Fuente: (Escallón-Portilla, Ruíz-Guachetá, & López-Perafán, 2020).

Integrar sistemas RoF y OFDM es un elemento importante para el avance de nuevos servicios inalámbricos, ampliando y optimizando la cobertura de la red a un costo efectivo.

2.13.2 Principio básico de OFDM

OFDM es una técnica de modulación multiportadora que no solo es utilizada en comunicaciones inalámbricas sino también en sistemas de transmisión guiados, utilizando el término DMT (Discrete MultiTone). La diferencia que existe entre las modulaciones de multitono discreto y multiplexación por división de frecuencia ortogonal es que estas modulaciones multiportadora utilizan modulaciones acopladas a las subportadoras, sin embargo, en las modulaciones por multiplexación por división de frecuencia ortogonal, tienen la ventaja de que las subportadoras son moduladas de igual forma.

2.14 Tipos de arquitectura de RoF.

En los diferentes estudios realizados sobre sistemas de radio sobre fibra, presentan diferentes tipos de arquitecturas, tales como:

2.14.1 Modulación externa en radio frecuencia (RF).

Según estudios realizados, la modulación de una señal RF formada en la estación de control, la misma que modula la portadora óptica del láser por medio del modulador óptico externo (EOM). En seguida, en cada BS se recupera la señal modulada al utilizar un fotodetector con el cual la señal original de radio frecuencia es recuperada y posteriormente la señal es transmitida inalámbricamente con una antena y de la misma forma como la recupera la transmite directamente a los móviles a través de la antena. Esta configuración de la señal posee la gran ventaja de tener un diseño sumamente simple de BS. Sin embargo, es susceptible a la dispersión cromática, es decir, al cambio que experimenta el índice de refracción de la fibra respecto a la longitud de onda ya que el índice disminuye a medida que aumenta la longitud de onda, lo que limita la distancia de transmisión (RODRÍGUEZ, 2020).

En la figura 2.6, se puede visualizar la configuración con EOM, modulando una señal de radio frecuencia.

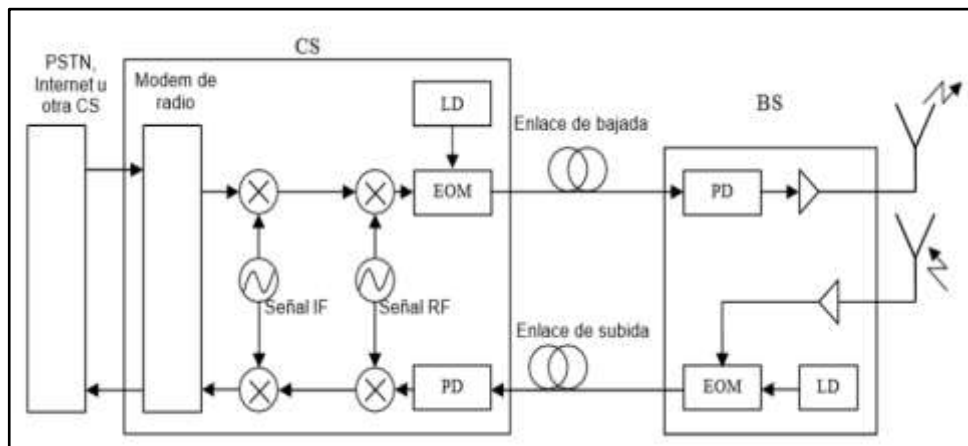


Figura 2. 6: Modulación externa en radio frecuencia
Fuente: (Escallón & Ruiz, 2018).

2.14.2 Modulación externa en frecuencia intermedia (IF).

La modulación externa en IF genera la señal modula en la estación de control de la IF y transmitida a las BS por el EOM, es decir, cada BS la señal modulada

se recupera de igual forma con el fotodetector y se debe convertir a RF para poder enviar la señal a los móviles vía antena. Lo que cambia en este esquema es que la dispersión cromática aparecida en la configuración anterior se ve disminuida, pero necesita de ciertos elementos físicos electrónicos en las estaciones base tal como un oscilador local para lograr la reconversión de IF a RF (Escallón & Ruiz, 2018). En la figura 2.7, se puede visualizar la configuración con EOM, modulando una señal IF.

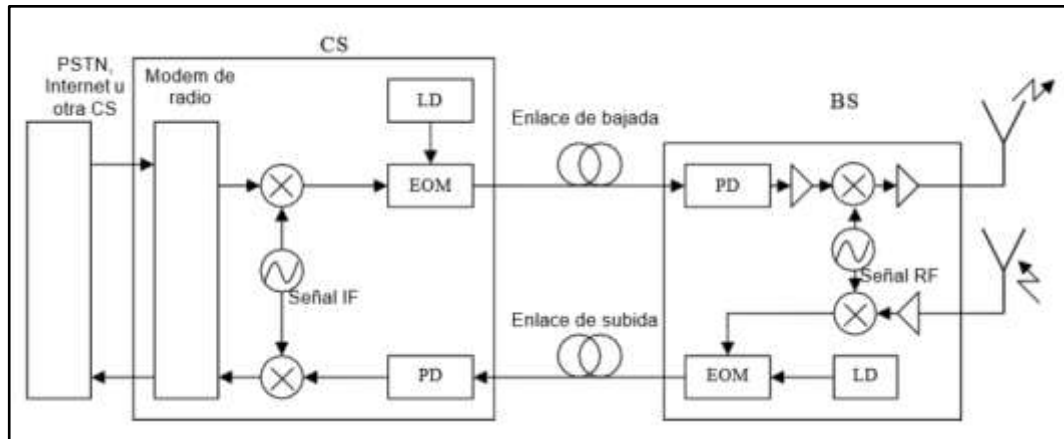


Figura 2. 7: Modulación externa en IF.
Fuente: (Escallón & Ruiz, 2018)

2.14.3 Modulación externa en banda base.

Esta modulación es similar a las 2 anteriores, pero tiene un nuevo cambio respecto a la señal modulada que arroja la CS. Esto es que es transmitida por el EOM en una frecuencia en banda base, por lo tanto, en el lado de las BS la señal modulada se recupera con el fotodetector y debe ser convertida a RF ya sea directamente o pasando por IF y ya podrá ser transmitida a los móviles. En esta transmisión en banda base los efectos de la dispersión cromática ni siquiera se notan, pero la configuración en la BS es más compleja pues al no existir una subportadora de frecuencia, no hay otra alternativa que recurrir a multicanalización por división de tiempo y por división de código, como se observa en la figura 2.8 (Escallón & Ruiz, 2018).

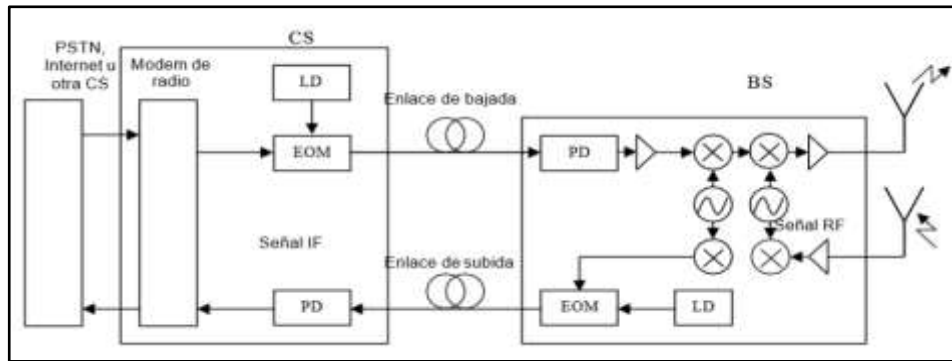


Figura 2. 8: Modulación externa en Banda Base
Fuente: (Escallón & Ruiz, 2018).

2.14.4 Modulación directa en banda base.

En la modulación directa en banda base, la señal modulada es generada por la CS en banda base o IF y es transmitida a las estaciones base realizando una modulación directa del láser. Después, en cada BS la señal modulada se recupera detectando la señal óptica modulada con el fotodetector, y el reconvertida a la banda RF y así transmitir a los móviles esto es práctico para frecuencias relativamente bajas, menores a 10 GHz, como se visualiza en la figura 2.9 (Ng'oma, y otros, 2009).

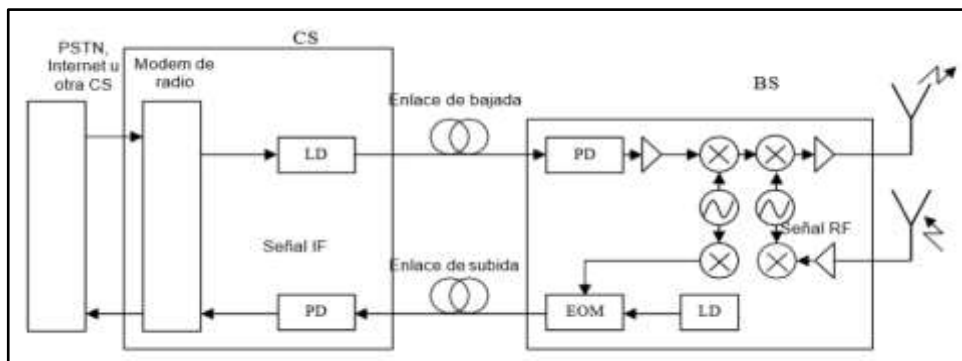


Figura 2. 9: Modulación directa en banda base
Fuente: (Escallón & Ruiz, 2018).

Cuando se reduce la banda de frecuencia utilizada para generar la señal modulada, el ancho de banda requerido para esta modulación óptica se reduce en gran manera. Esto puede llegar a ser importante cuando la tecnología llaga a ser combinada con multicanalización por división de longitud de onda densa (DWDM). Pero el hacer esto incrementa la cantidad de equipo en las BS por la necesidad de conversión a RF (Escallón & Ruiz, 2018).

Capítulo 3: DESARROLLO DEL DISEÑO

Los sistemas ROF utilizan la fibra óptica como medio para transportar señales directamente hasta una BS, estas señales de radio pueden ser VHF, UHF, microondas, inclusive ondas milimétricas. Las ventajas de utilizar fibra óptica son por sus bajas pérdidas, las mismas que son inferiores a 0,25 dB/Km para una longitud de 1550 nm, permitiendo alcanzar grandes distancias, además es inmune a interferencias electromagnéticas y su ancho de banda de transmisión únicamente es limitado por la dispersión cromática.

OFDM es una tecnología utilizada en los sistemas inalámbricos, la misma que mejora la eficiencia espectral en dichos sistemas, siendo una técnica adaptada tanto para sistemas cableados, difusión o inalámbricos. En sistemas de comunicación óptico esta técnica es eficaz en la transmisión óptica ya que divide el flujo de datos de altas velocidades en una serie de flujos de baja velocidad, transmitiéndose simultáneamente a través de subportadoras de banda estrecha que se encuentran relacionadas armónicamente.

Se han realizado varios estudios sobre los sistemas de radio sobre fibra para aplicaciones de 60GHz, especialmente en temas relacionados a largo plazo, tales como la conversión ascendente de frecuencia óptica para la generación de señales de ondas milimétricas y de alta velocidad de los moduladores Mach-Zehnder. Con esta tecnología la señal óptica transmitida va a experimentar pérdida baja de 0.2 dB/Km si la ventana de comunicación estándar utiliza fibra monomodo SMF en un rango de longitud de onda de 1530 – 1560nm (AMAGUA & MOGRO, 2013).

3.1 Ubicación

La Comuna “MANANTIAL DE COLONCHE” se encuentra ubicada al norte de la provincia y cantón Santa Elena, la misma que fue constituida el 12 de mayo de 1936 como comuna, mediante acuerdo ministerial No. 185 del 22 de febrero de 1938, esta parroquia está conformada por cuatro sectores: Las Palmitas, Las Lomas y Manantial zona 1 y 2. El número aproximado de su

población es de 31.322 habitantes, lo que arroja una densidad bruta de 27,5 hab/km².

Colonche, pese a ser una de las parroquias más grande de la provincia de Santa Elena, carece de infraestructuras tecnológicas, sistemas de alcantarillado, cuenta con servicios básicos estables, en muchas ocasiones sufren de cortes de servicios, actualmente solo el 10% de su población cuenta con servicio de internet, siendo esta una herramienta muy importante, sufriendo de carencias de servicios.

La mayoría de su población se dedica a la agricultura, ganadería, industria manufacturera, comercio, pesca, turismo, siendo fundamental el uso de nuevas tecnologías y servicios básicos, mejoraría su calidad de vida.

3.2 Simulador OptiSystem

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará el software de simulación OptiSystem, esta, es una herramienta que permite realizar simulaciones de diseño de fibra óptica, así también, planificar, efectuar pruebas de ensayo y error, crear enlaces ópticos, siendo un software que tiene una interfaz similar a la de Simulink – Matlab.

3.2.1 Características de Software Optisystem

OptiSystem es una herramienta que nos ayuda a realizar diseños, pruebas y optimización práctica de enlaces ópticos, es decir, tiene un conjunto de componentes como: analizadores de prueba BER, analizadores de diagramas de ojo, visores ópticos de dominio del tiempo, medidores de potencia, analizador de espectro electromagnético y filtros, entre otros. Las características principales del simulador OptiSystem son:

- Permite proyectar y simular enlaces ópticos de amplio espectro de redes de largo trayecto.
- Posee una librería que tiene diversos componentes y en ellos se puede introducir parámetros que pueden ser medidos en dispositivos reales.

- Posee herramientas de análisis, tales como: diagrama de ojo, constelación, BER, Q- Factor, etc.

3.2.2 Beneficios de Optisystem.

El software OptiSystem ofrece beneficios tales como:

- Permitir establecer prototipos de bajo costo, considerando el rendimiento del sistema.
- Ofrece una interfaz gráfica accesible para el consumidor.
- Permite elaborar diseños básicos y compleos.

3.2.3 Aplicación de software Optisystem

El software OptiSystem permite diseñar y simular sistemas ópticos de corto y largo alcance, facilitando el análisis de estos enlaces, tales como, redes LAN y MAN. Existen varios usos de la herramienta OptiSystem, siendo estos:

- Simulaciones de enlaces ópticos.
- Simulación de sistemas ROF.
- Simulaciones de modulaciones tales como: OFDM, QAM, DPSK, PM-QPSK, etc.
- Diseño de redes FTTH, GPON, WDM.
- Evaluación y análisis de la Tasa de Error Binaria BER en un sistema.
- Simulacion de ondas solitarias o silitones.
- Simulación de amplificadores, receptores y transmisores.

3.2.4 Utilitario de OptiSystem.

El software OptiSystem cuenta con una amplia biblioteca de elementos activos y pasivos de aproximadamente 300 dispositivos, los mismos que nos ayudan para simular los enlaces ópticos, sistemas ROF, diseños de redes FTTH, etc.

Entre los elementos más utilizados se tienen:

- Amplificador
- Filtros.
- Generadores de pulso.
- Moduladores.
- Atenuadores.

- Fotodetectores.
- Láser.
- Instrumentos virtuales.
- Fibra óptica.
- Transmisores, receptores.

3.3 Descripción de los dispositivos disponibles en OptiSystem

- **CW Laser (Continuous Wave laser):** La fuente óptica común en un simulador, es conocida como láser de onda continua, este dispositivo emite una línea de transmisión con valores de longitudes de ondas que van entre 334 y 529nm. Una de las características de este dispositivo es ocupar poco ancho de banda y su relación señal/ruido ser muy elevada, además que el haz de luz que trasmite es constante en el tiempo, esto permite que la comunicación sea a largas distancias sin verse afectada la propagación de la señal.
- **Modulación electroóptica:** Los mecanismos de modulación óptica se basan en modificar varios parámetros de las señales de los sistemas de comunicaciones ópticas ajustándose a la señal eléctrica, este ajuste de parámetros es realizado de forma cuantitativa, es decir, entre más alto es el valor del índice de modulación, la modificación de los parámetros de la señal moduladora sobre la señal modulada será mayor. La señal óptica generada por un láser se puede modular de forma directa mediante la variación de la corriente inyectada al dispositivo, o externamente, haciendo pasar el haz de luz emitido a través de un elemento controlable que cambia la amplitud y la fase de la luz (Muñoz Ortiz, Cely Mancipe, Puerto Leguizamón, & Suárez Fajardo, 2015).
- **Modulador tipo Mach-Zehnder (MZ):** Estos dispositivos son apropiados para ser utilizados en enlaces ópticos de largas distancias, los mismos que operan en la segunda y tercera ventana óptica. Se emplean estos dispositivos para modular CW laser, generando señales digitales que son transmitidas a través medios ópticos.

- **Generador de pulso NRZ:** Este dispositivo crea una señal eléctrica codificada sin retorno a cero, la misma que depende de una señal digital de entrada.
- **Instrumentos de visualización:** Estos dispositivos nos ayudan a visualizar y analizar las simulaciones o diseños, sean estas pruebas BER, diagramas de ojos, osciloscopios, visores ópticos, medidor de potencia, filtros, etc.
- **Librería de transmisores:** OptiSystem nos ofrecen una librería de transmisores donde se pueden encontrar fuentes ópticas, generadores de pulsos de señales ópticas y eléctricas, moduladores, codificadores, etc.
- **Librería de receptores:** En esta sección se encuentran dispositivos básicos y necesarios para diseñar o simular receptores ópticos, entre los dispositivos que se encuentran en la librería de receptores se tienen: fotodetectores PIN y APD, demoduladores, decodificadores, analizadores de umbral, ecualizadores electrónicos, dispositivos de procesamiento de señales digitales, etc.
- **Fibra óptica:** OptiSystem nos permite simular redes de comunicaciones ópticas, ya que nos ofrecer componentes de fibra óptica monomodo, multimodo y bidireccional. Además, que, utilizando fibra óptica bidireccional, OptiSystem nos permite crear y medir los efectos de dispersión de Rayleigh, Brillouin y Raman.

3.4 Red óptica pasiva con capacidad de Gigabit (GPON)

Las redes GPON actualmente se encuentran reguladas por el estándar ITU-T G.984, es decir posee seguridad en su red a nivel de protocolos y su ancho de banda aumenta en la transmisión. Esta norma está definida por clase A, B, C y de esto dependerá su margen de pérdidas, teniendo atenuaciones entre 2-20dB, 10-25dB, 15-30dB. Una arquitectura básica de estas redes está formada por OLT, la misma que se encuentra en el ISP, nivel de splitteo ubicado en el punto de la red y una ONT que es el usuario final. La transmisión de las redes GPON son de capacidades altas tanto en download y upload, la

ONT envía información a la OLT en diferentes tiempos y así evitar colisiones de datos. (Cedillo & Nieto, 2019).

En la tabla 3.1 se detallan las capacidades de transmisiones de la red GPON:

Tabla 3.1: Transmisiones de la red GPON

			Download	Upload
IEEE	802.3ah	EPON	1.25 Gbps	1.25 Gbps
IEEE	802.3av	10G-EPON	10 Gbps	10 Gbps
ITU-T	G.984	G-PON	2.5 Gbps	1.25 Gbps
ITU-T	G.987	XG-PON	10 Gbps	2.5 Gbps
Next Generation PON				40 Gbps

Fuente: (UIT-T, 2022).

3.5 Recomendaciones o estándares

Las redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabit están determinadas por las series de estándares G.984.1 a G.984.7 de la ITU-T. La serie de normas G.984 define: Características generales de G-PON (G.984.1), Especificaciones de capa PMD (G.984.2), Especificaciones de capa TC (G.984.3), Especificaciones OMCI (G.984.4), Banda de longitudes de onda de ampliación (G.984.5), Extensión de alcance (G.984.6) y Largo Alcance (G.984.7) (UIT-T, 2022).

La norma G.984 la componen varias clases definidas en el rango de atenuación como se detalla en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Rango de clase G.984.2

Estándar	CLASE	MINIMO (dB)	MAXIMO (dB)
G.984.2	A	5	20
	B	10	25
	B+	13	28
	C	15	30
	C+	17	32

Fuente: (UIT-T, 2022).

SPLITTER: Los divisores ópticos o splitters son elementos fundamentales en una red GPON, ya que estos dispositivos permiten dividir la señal óptica de entrada en 2 o más salidas. Por lo tanto, es importante tomar en consideración el valor de atenuación dependiendo al número de salidas que se utilizan en el diseño. En la tabla 3.3 se detallan los valores de pérdidas de los splitters, según la norma ANSI/TIA 568.3 en el rango 1260-1360 nm & 1480-1625 nm.

Tabla 3.3: Valores de pérdidas de splitters

Splitter	Pérdidas Máximas
1:2	3.9 dB
1:4	7.3 dB
1:8	10.7 dB
1:16	14.1 dB
1:32	17.5 dB
2:4	7.7 dB
2:8	11.2 dB
2:16	14.7 dB
2:32	18.2 dB

Fuente: (EIA/TIA, 2016)

Atenuación: Las ventanas de transmisión de la fibra óptica se define como atenuación (dB/Km), este fenómeno hace que la potencia disminuya en función a la propagación de la señal óptica. En los sistemas de fibra óptica se utiliza las longitudes de ondas en lugar de utilizar frecuencia, por tal razón se define la longitud de onda 1310nm, la misma que tiene una atenuación de 0.35dB/Km, en cambio la longitud 1490nm su atenuación es de 0.30dB/Km y la ventana de transmisión 1550nm tiene una atenuación de 0.25dB/Km.

3.6 Presupuesto óptico

El índice de atenuación en un enlace de fibra óptica es conocido como el presupuesto óptico, este el valor que afectaría directamente el diseño de la red de distribución óptica (ODN) en la transmisión entre OLT y ONT. Para realizar el cálculo de presupuesto óptico se utiliza los valores de pérdidas asignados por las normas ITU, considerando todos los elementos, por tal razón se emplea la siguiente formula:

$$\begin{aligned}
 \textit{Atenuación total} = & \textit{Atenuación de Splitter} + \left(\textit{Atenuación} \frac{\textit{Fibra}}{\textit{Km}} * \right. \\
 & \left. \textit{Distancia} \right) + (\textit{At. empalme} * N) + (\textit{At. Conector} * N)
 \end{aligned}$$

En la tabla 3.4 se detalla el presupuesto óptico utilizando una longitud de onda de 1310nm y 8Km de distancia.

Tabla 3.4: Presupuesto óptico (1310nm)

Elementos de la red	Cantidad	Pérdida (dB)	Total de pérdida
Conector ITU671 (0.5dB)	2	0,5	1
Fusion splices ITU751(0.1dB)	7	0,1	0,7
Splitter de 1 a 8	2	10,7	21,4
Longitud de onda	8	0,35	2,8
TOTAL, dB			25,9

Fuente: Autor

Como se visualizó en la tabla 3.4 se tiene un presupuesto óptico de 25.9 dB, es decir una clase B+ de la normativa G.984.2

Ejemplo 2, presupuesto óptico donde se asignó la longitud de onda de 1490 nm, siendo su atenuación de 0.30 dB/Km y se calculó para una distancia de 10 Km, tal como se detalla en la tabla 3.5

Tabla 3.5: Presupuesto óptico (1490nm)

Elementos de la red	Cantidad	Pérdida (dB)	Total de pérdida
Conector ITU671 (0.5dB)	2	0,5	1
Fusion splices ITU751(0.1dB)	7	0,1	0,7
Splitter de 1 a 8	2	10,7	21,4
Longitud de onda	10	0,3	3
TOTAL, dB			26,1

Fuente: Autor

Ejemplo 3, presupuesto óptico donde se asignó la longitud de onda de 1550 nm, la misma que tiene una atenuación de 0.25 dB/Km y se calculó para una distancia de 10Km, tal como se detalla en la tabla 3.6

Tabla 3.6: Presupuesto óptico (1550nm)

Elementos de la red	Cantidad	Pérdida (dB)	Total de pérdida
Conector ITU671 (0.5dB)	2	0,5	1
Fusion splices ITU751(0.1dB)	7	0,1	0,7
Splitter de 1 a 8	2	10,7	21,4
Longitud de onda	10	0,25	2,5
TOTAL, dB			25,6

Fuente: Autor

Capítulo 4: Simulaciones, pruebas, resultados y análisis.

El objetivo de este proyecto es realizar un análisis y diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena, utilizando tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM. Este diseño de comunicación ROF consta de: OLT, Transmisor OFDM, Receptor OFDM, enlace de Fibra Óptica y una ONT.

4.1 OLT (Optical Line Termination).

En esta sección se simuló una OLT, el mismo que nos servirá para enviar la señal principal a varios usuarios finales, este dispositivo está compuesto por un Generador Binario, el mismo que tiene asignado una tasa de bit de 1Gb/s, este generador binario se conecta a un codificador de pulso NRZ, para transformar la señal digital en una señal eléctrica, es decir los datos binarios que se transmiten, serán representados por un valor de voltaje CC.

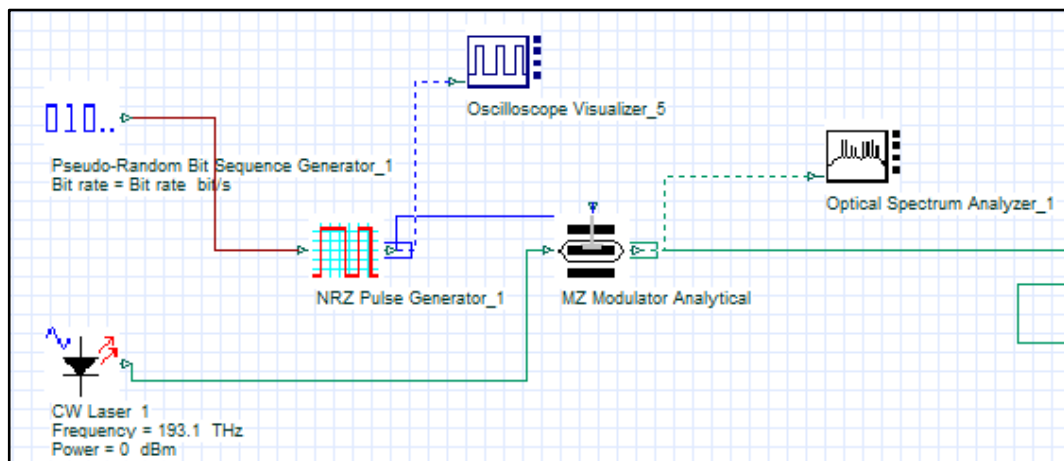


Figura 4. 1: OLT (Optical Line Termination).

Elaborado por: El Autor.

En la figura 4.1 se puede evidenciar que se agregó a esta simulación un CW Laser, este dispositivo es el que transmitirá un haz de luz constante en el tiempo, esto permitirá que la comunicación sea a largas distancias sin verse afectada la propagación de la señal. La señal óptica generada por el láser se puede modular transmitiendo corriente al dispositivo, esto hará que el haz de luz difundido cambie su amplitud y fase, por esa razón se enlaza la señal

óptica generada por el láser y la señal eléctrica al modulador óptico externo Match-Zehnder, el mismo que transmite a largas distancias en medios ópticos.

4.2 Simulación de Transmisor OFDM.

OFDM es la modulación empleada como la solución de problemas de interferencias causados por canales dispersivos, esta modulación es muy utilizada en los sistemas de comunicaciones. Su funcionalidad es dividir el flujo de datos de altas velocidades en múltiples flujos de menor velocidad, los mismos que son transmitidos por subportadoras en el mismo tiempo. Se procedió a crear el módulo transmisor OFDM, el mismo que procesará la señal de datos hasta que llega al canal de transmisión óptico. La funcionalidad de este módulo de transmisión OFDM es realizar la codificación y modulación a nivel eléctrico. En este transmisor, la señal de datos es creada por el generador de secuencia de bits, estos datos de entradas son modulados por QAM.

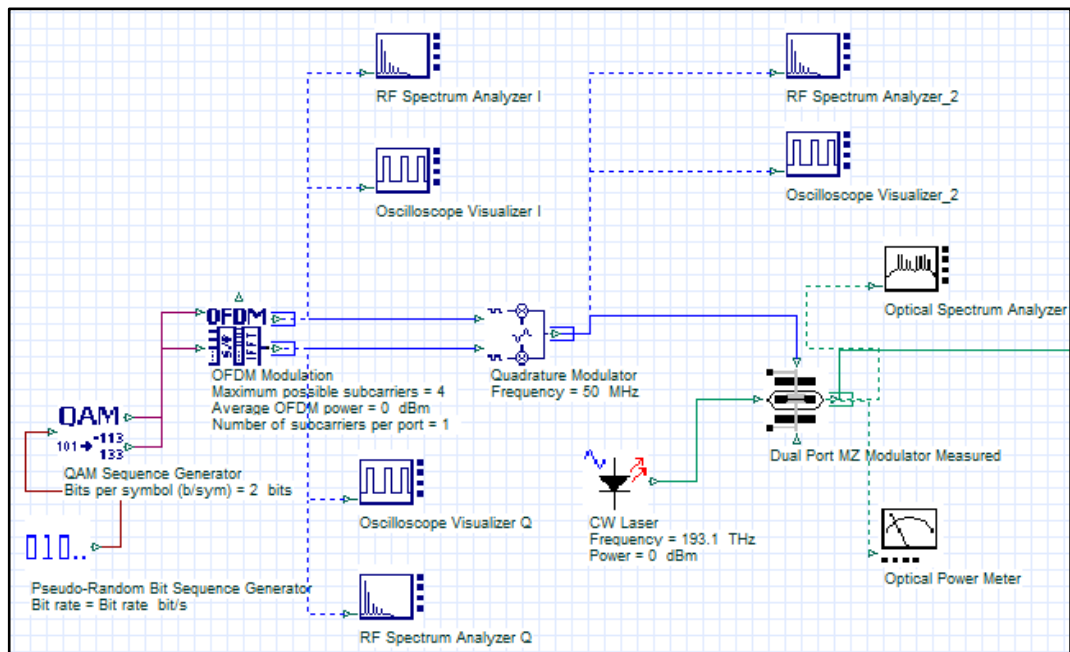


Figura 4. 2: Transmisor OFDM.

Elaborado por: El Autor.

La Modulación de amplitud y cuadratura (QAM) nos permite alcanzar mayor eficiencia de ancho de ambas, esta técnica es utilizada para transportar dos señales independientes mediante modulación, sean estas amplitud o fase de una señal portadora. Por lo general son señales de onda seno y coseno que se encuentran desfasadas 90° y son moduladas independientemente y

transmitidas con la misma frecuencia de la portadora. En la figura 4.2 se puede visualizar el transmisor OFDM el mismo que está compuesto de: Generador de bits, este generador se conecta a un generador de secuencia QAM asignadas a 4 subportadoras definidas en el modulador OFDM y pasa por radio frecuencias antes de ingresar al modulador óptico, además se le incluyó un láser con frecuencia de operación en 193,1 THz, conectado al modulador óptico externo Mach-Zehnder.

4.3 Simulación de Receptor OFDM.

El módulo receptor OFDM es el que se encargará de realizar la recuperación de la señal RF, es decir, el procesamiento complementario de transmitir, amplificar, filtrar y recuperar las ondas portadoras OFDM, mediante estos procedimientos se podrá entregar datos a los consumidores finales.

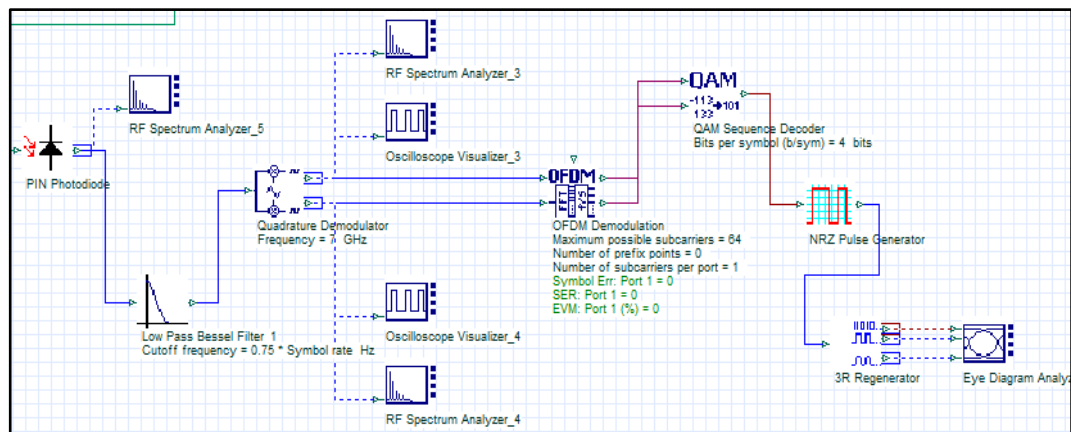


Figura 4. 3: Receptor OFDM.

Elaborado por: El Autor.

En el diseño del receptor OFDM se utilizó un Fotodetector PIN, el mismo que servirá para convertir la señal óptica a señal eléctrica, este dispositivo se caracteriza por el alto voltaje de ruptura, almacenamiento de portador y baja capacitancia, además, trabajan con longitudes de onda entre 600 y 900 nm. Se conecta el fotodetector a un filtro pasa bajo para eliminar el ruido que se genera con bajas frecuencias, además de eliminar las señales que sobrepasan la frecuencia de corte, obteniendo un sistema con rendimiento óptico. A este diseño también se integró un modulador en cuadratura, este dispositivo es utilizado para convertir la señal a alta frecuencia de RF. El modulador de cuadratura es conectado al demodulador OFDM y este a él

demodulador QAM y así transmitir las 4 salidas moduladas, además que se recuperaría la señal OFDM original y así poder analizar la atenuación y alteraciones que presenta con respecto a la señal original. El receptor actúa como un demodulador que traslada cada portadora a DC, integrando la señal resultante para recuperar su señal original. En la figura 4.3 se puede visualizar el receptor OFDM.

4.4 Trayecto de fibra óptica.

Para el enlace de transmisión se ha empleado Fibra óptica monomodo (SMF), siendo este el medio de transmisión ideal para alcanzar largas distancias sin perjudicar la señal, en este diseño se ha configurado una distancia de 8Km y atenuación por defecto de 0.2db/km, además de conectarle a un amplificador óptico, tal como se visualiza en la figura 4.4.

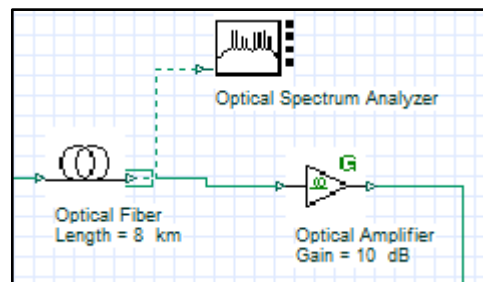


Figura 4. 4: Trayecto de Fibra Óptica

Elaborado por: El Autor.

4.5 ONT

Para la simulación de un usuario final, se diseñó una ONT, la misma que está compuesta de un atenuador óptico, filtros, un fotodetector y regenerador, como se puede visualizar en la figura 4.5.

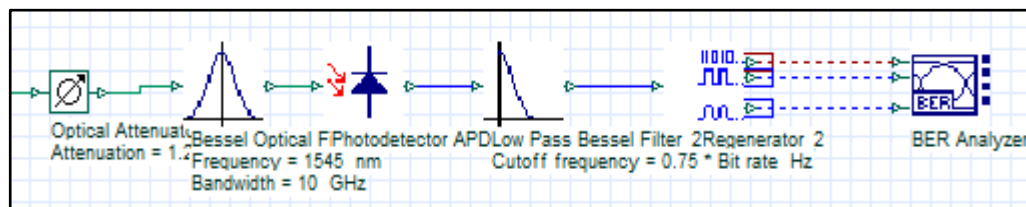


Figura 4. 5: ONT.

Elaborado por: El Autor.

4.6 Diseño de sistema RoF con modulación OFDM.

La función principal de las tecnologías de radios sobre fibra implica utilizar medios ópticos para distribuir señales de radiofrecuencias, es decir, estas tecnologías emplean las comunicaciones inalámbricas como medio de transmisión de altas tasas de datos con baja pérdida y un gran ancho de banda proporcionado por la fibra óptica. Por tal razón, el objetivo principal de este proyecto fue la creación de un sistema de radio sobre fibra utilizando modulación OFDM para la comuna Colonche, siendo esta una de muchas zonas rurales del país que aún carecen de tecnologías, teniendo como principales problemas: la distancia, escasas de infraestructuras cercanas, ubicación, por tanto, integrar comunicaciones inalámbricas y fibra óptica, es una solución para llegar a zonas donde los medios cableados no han podido ingresar.

En la figura 4.6 se puede visualizar el sistema RoF creado, el mismo que está compuesto por: Transmisor (OLT), Trasmisor OFDM, estos se conectan al medio de transmisión óptica a través de un combinar 2X1, el trayecto de transmisión, conformado por la fibra óptica y un amplificador se conectan al receptor (ONT) y receptor OFDM a través de combinator 1x2. Adicional, se colocó visualizadores, los mismos que sirven para realizar el análisis y resultados del diseño.

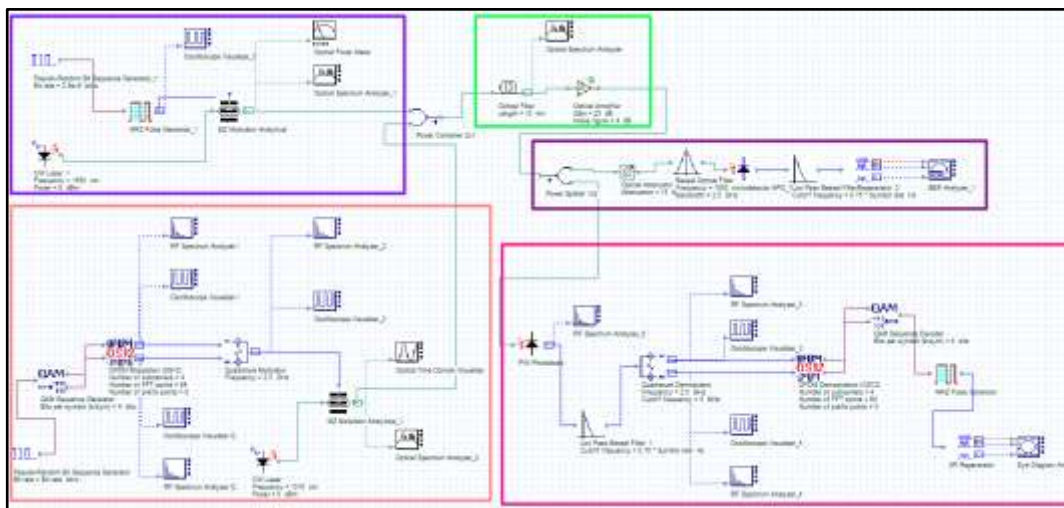


Figura 4. 6: Sistema RoF utilizando modulación OFDM

Elaborado por: El Autor.

4.7 Variaciones de parámetros (Potencia – Distancia)

En esta sección se procedió a realizar varias modificaciones de los parámetros de distancia y potencia de transmisión, a fin de obtener el factor Q y valor BER para determinar cuál sería la mejor tasa de transmisión, sin tener pérdidas de datos, interferencias o errores en el envío de los bits.

En la figura 4.7 se puede visualizar la secuencia binaria de transmisión, así también la señal óptica del láser, la misma que se visualiza en la figura 4.8.

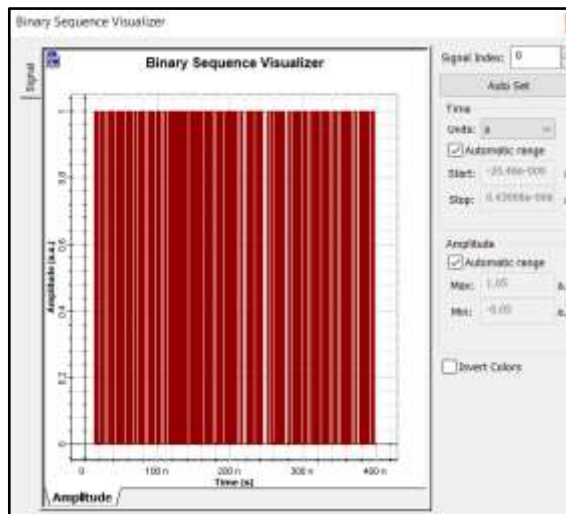


Figura 4. 7: Secuencia binaria de transmisión

Elaborado por: El Autor.

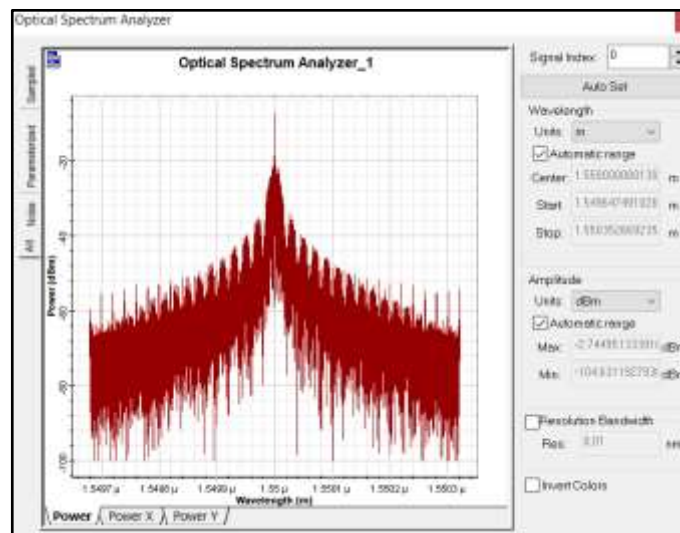


Figura 4. 8: Señal óptica del láser

Elaborado por: El Autor.

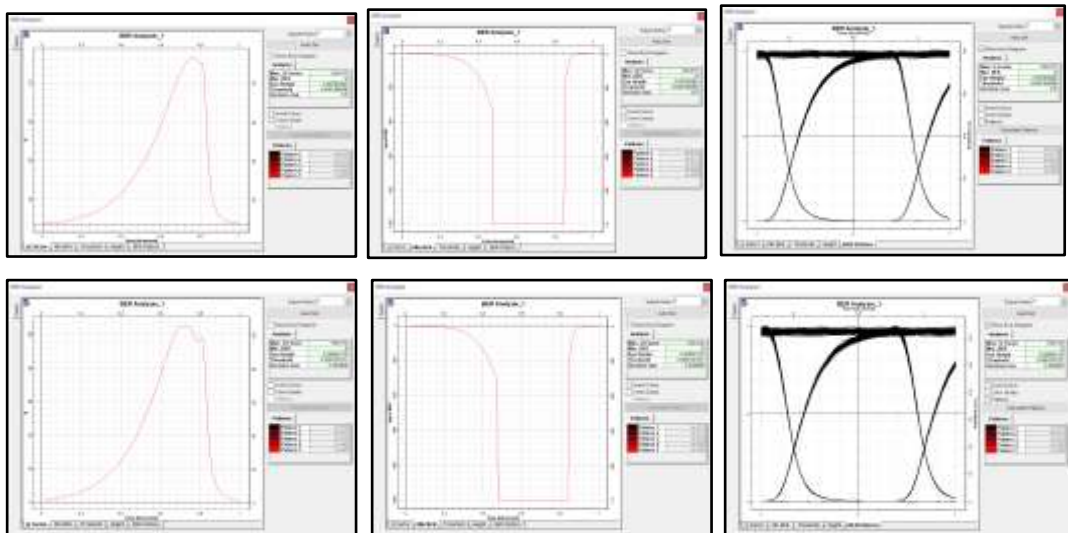
BER o tasa de error de bit es un parámetro que nos sirve para obtener un promedio de los errores ocurridos durante la transmisión, es decir, se relaciona el valor de bit erróneos recibidos con el número de bit transmitidos. En esta prueba se utilizó una frecuencia de 1550 nm, potencia de 3 dBm para un enlace óptico de distancia de 5,10,15,20,25,30 y 35 Km, obteniendo los resultados detallados en la tabla 4.1.

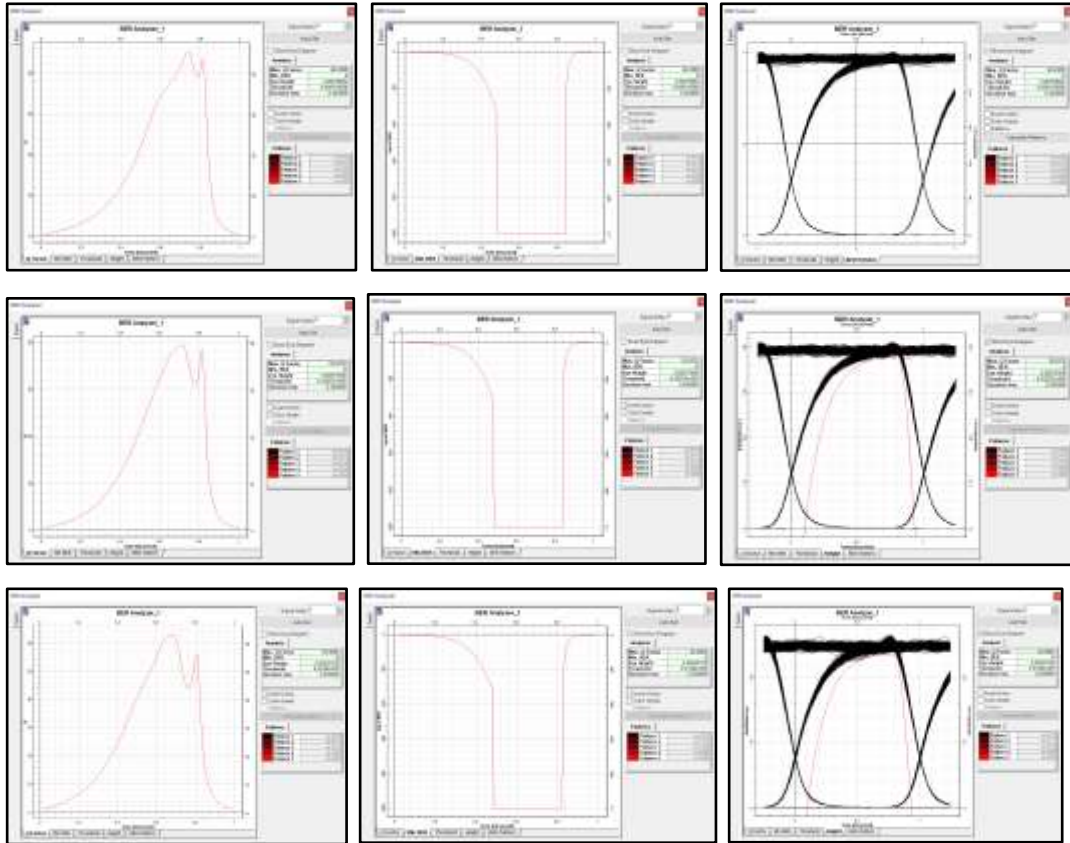
Tabla 4.1: Resultado de simulación (3dBm)

FRECUENCIA (nm)	POTENCIA (dBm)	DISTANCIA (KM)	FACTOR Q MAX	FACTOR MIN BER	EYES HEIGHT
1550	3	5	153,565	0	0,00967215
		10	129,917	0	0,00765583
		15	105,314	0	0,00605174
		20	90,4568	0	0,00478824
		25	78,5372	0	0,00377938
		30	68,3713	0	0,00298173
		35	62,884	0	0,00235778

Fuente: Autor

Con la potencia de 3dbm no se tendrá problemas al momento de transmitir la tasa de datos, ya que se obtuvo un valor de BER de 0, el mismo que indica que no existirán errores o fallas, así también por el factor Q obtenido en la distancia de 5Km, este sería el mejor enlace para realizar la transmisión de datos.





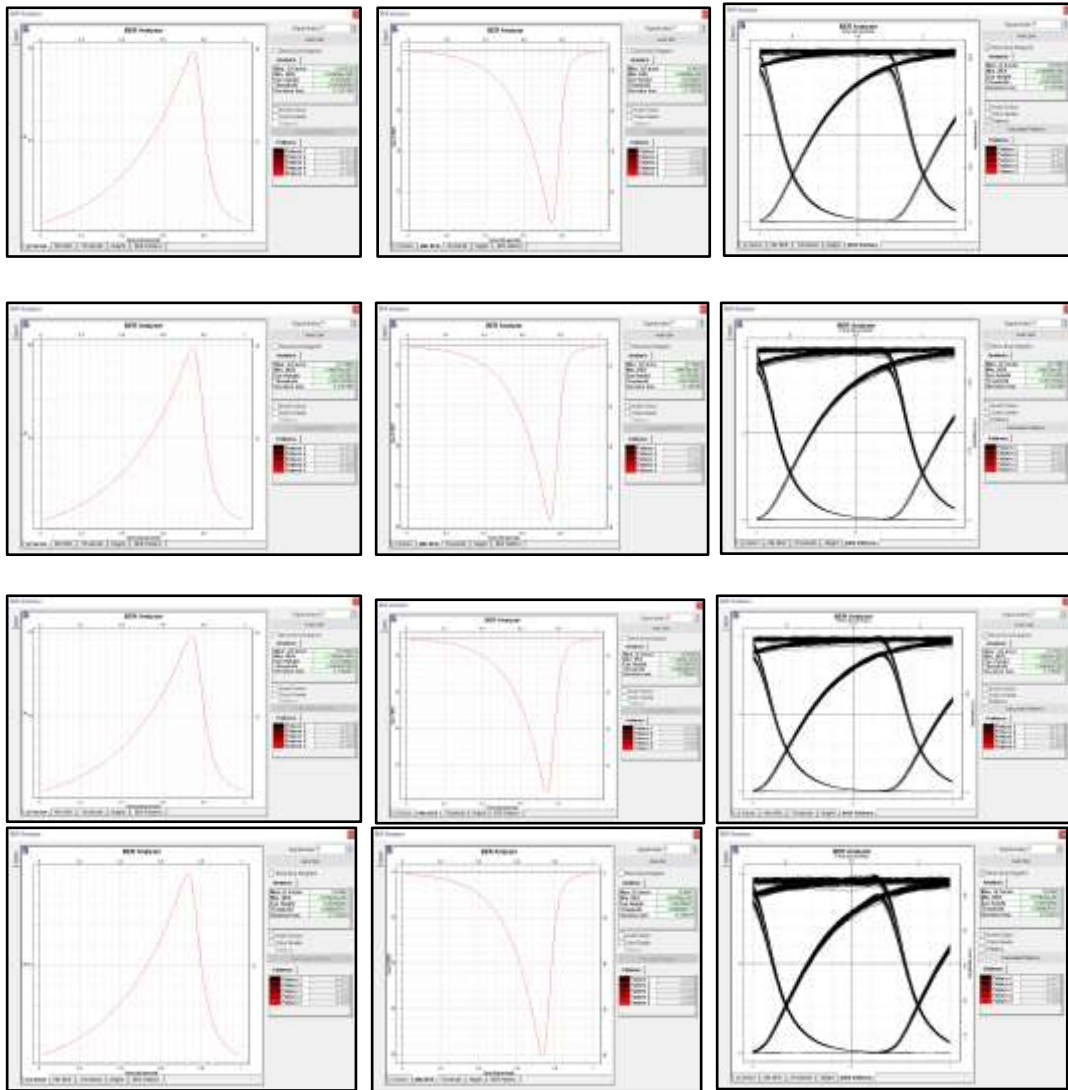
PRUEBA 2: Se utilizó una potencia de 8dBm para un enlace con distancia de 5,10,15,20,25,30 y 35Km, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 4.2: Resultado de simulación (8dBm)

FRECUENCIA (nm)	POTENCIA (dBm)	DISTANCIA (KM)	FACTOR Q MAX	FACTOR MIN BER	EYES HEIGHT
1550	8	5	19,6216	2,94808e-086	0,0249307
		10	19,7882	1,99079e-087	0,0197952
		15	19,3054	1,44804e-083	0,0156803
		20	19,5542	1,28848e-085	0,0124833
		25	19,3916	2,71879e-084	0,00990375
		30	18,9947	5,67645e-081	0,00782947
		35	18,7586	5,01017e-079	0,00621657

Fuente: Autor

Como se puede observar en la tabla 4.2, se utilizó una potencia de 8dBm obteniendo como resultados diferencias mínima al variar la distancia del enlace.



PRUEBA 3: En esta sección se realizó análisis utilizando potencias de 10dBm y 18dBm, obteniendo resultados similares, por tanto, no es necesario el aumento de la potencia. Los resultados obtenidos se detallan en las tablas 4.3 y 4.4.

Tabla 4.3: Resultado de simulación (10dBm)

FRECUENCIA (nm)	POTENCIA (dBm)	DISTANCIA (KM)	FACTOR Q MAX	FACTOR MIN BER	EYES HEIGHT
1550	10	5	19,8846	1,60269e-088	0,03955468
		10	19,7454	2,60178e-087	0,0314409
		15	19,3192	1,1088e-083	0,0248544
		20	19,5412	1,46261e-085	0,019784
		25	19,1717	1,90054e-082	0,0156597
		30	19,1641	2,22104e-082	0,0124294
		35	19,2236	7,064e-083	0,0098739

Fuente: Autor

Tabla 4.4: Resultado de simulación (10dBm)

FRECUENCIA (nm)	POTENCIA (dBm)	DISTANCIA (KM)	FACTOR Q MAX	FACTOR MIN BER	EYES HEIGHT
1550	18	5	20,0338	8,23193e-090	0,250008
		10	19,7278	3,64302e-087	0,19811
		15	19,8674	2,31558e-088	0,157427
		20	19,6498	1,81147e-086	0,124667
		25	19,3462	6,58238e-084	0,0988779
		30	19,0397	2,44534e-081	0,00784358
		35	18,8982	3,58092e-080	0,0622623

Fuente: Autor

4.8 Resultados de simulación

En el diseño realizado del sistema de radio sobre fibra utilizando modulación OFDM se realizaron varias pruebas ajustando parámetros de potencia y distancia, a fin de determinar cual sería el mejor enlace sin tener tasas de error que ocasionen problemas al transmitir los datos.

Como se puede visualizar en la tabla 4.5 se realizó el análisis con distancias de 5,10,15,20,25,30 y 35 Km y potencias de transmisión de 3,8,10 y 18dBm. Utilizando estas 4 variaciones de potencia se puede observar que los resultados obtenidos en Factor Q, los cambios son mínimos, es decir al variar la potencia en el sistema no hay grandes cambios de afectación al transmitir los datos. Aplicando una potencia de 3dBm sería el mejor enlace a utilizar, ya que no se tendría interferencias ni errores al transmitir.

Tabla 4.5: Resultado de simulación (10dBm)

DISTANCIA	3dBm		8dBm		10dBm		18dBm	
	FACTOR Q MAX	FACTOR MIN BER	FACTOR Q MAX	FACTOR MIN VER	FACTOR Q MAX	FACTOR MIN VER	FACTOR Q MAX	FACTOR MIN VER
5	153,565	0	19,6216	2,95E-86	19,8846	1,60E-88	20,0338	8,23E-90
10	129,917	0	19,7882	1,99E-87	19,7454	2,60E-87	19,7278	3,64E-87
15	105,314	0	19,3054	1,45E-83	19,3192	1,11E-83	19,8674	2,32E-88
20	90,4568	0	19,5542	1,29E-85	19,5412	1,46E-85	19,6498	1,81E-86
25	78,5372	0	19,3916	2,72E-84	19,1717	1,90E-82	19,3462	6,58E-84
30	68,3713	0	18,9947	5,68E-81	19,1641	2,22E-82	19,0397	2,45E-81
35	62,884	0	18,7586	5,01E-79	19,2236	7,06E-83	18,8982	3,58E-80

Fuente: Autor

CONCLUSIONES

- El avance continuo de las telecomunicaciones ha obligado e innovado a realizar estudios de nuevas tecnologías, siendo una de ellas las tecnologías de radios por fibras (ROF). Realizar estudios sobre esta tecnología, conlleva a tener una solución futura para aquellas zonas donde hasta ahora ha sido difícil implementar infraestructuras, por sus elevados costo, distancias y cantidad de población.
- Las comunicaciones ROF nos ofrecen un sinnúmero de ventajas, sin embargo, esto no es objeto para descartar, desconocer o creer que una tecnología carece de desventajas y limitaciones, por tal razón es fundamental la investigación y análisis de estos factores, a fin de garantizar una toma de decisión o conocer las dificultades que se presentarían o se deben evitar al implementar un sistema de comunicación.
- La integración de comunicaciones inalámbricas y fibra óptica es una tendencia que conlleva fácilmente a distribuir señales de radiofrecuencia a través de fibra óptica, siendo estas comunicaciones de gran capacidad, versatilidad y escalabilidad, beneficiando así aquellos sectores que aún carecen de tecnologías, por tal razón fue de mucha importancia la realización de investigación de conceptos teóricos de todo lo referente a los sistemas ROF y así determinar la viabilidad de implementación.
- Realizar el diseño de un sistema de radio sobre fibra utilizando la herramienta Optysystem nos ayudó a analizar y determinar cual sería nuestro mejor enlace sin tener pérdidas, interferencias, fallas o tasas de error elevadas al momento de transmitir datos.

RECOMENDACIÓN

Es muy importante y recomendable utilizar herramientas de simulación, en este caso, simulador OptiSystem al momento de realizar un enlace, ya que se pueden obtener valores que ayudarán a evitar factores negativos que pueden presentarse en una red de comunicación.

Realizar investigaciones de comunicaciones híbridas utilizando las diferentes técnicas de modulación, análisis de costo – beneficio, a fin de dar a conocer futuras soluciones, especialmente para las zonas rurales del país, ya que aún carecen de servicios de comunicación porque los ISP que ofrecen tecnologías cableadas no llegan por el alto costo que implicaría implementar las infraestructuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdolee, R., Ngah, R., Vakilian, V., & Rahman, T. (2007). Application of radio-over-fiber (ROF) in mobile communication. Asia-Pacific: IEEE.
- Abdolee, R., Ngah, R., Vakilian, V., & Rahman, T. A. (2007). Application of Radio-Over-Fiber (ROF) in mobile communication. Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics.
- AMAGUA, N., & MOGRO, N. (2013). Análisis y simulación de un enlace de radio sobre fibra óptica (ROF) A 60GHZ. QUITO: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- Baykas, T., Sum, C., Lan, Z., Wang, J., Rahman, M., Harada, H., & Kato, S. (2013). IEEE 802.15 . 3c : el primer estándar inalámbrico IEEE para velocidades de datos superiores a 1 Gb / s. IEEE, 7.
- Campuzano, G. (2004). Transferencia. Obtenido de <https://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferencia/67/67-III.03.html>
- Carrillo, A. P. (2018). Diseño de un sistema de radio sobre fibra óptica para ondas milimétricas en redes móviles 5G. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Carrillo, A. P. (2018). Diseño de un sistema de radio sobre fibra óptica para ondas milimétricas en redes móviles 5G. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Carrillo, A. P. (2018). Diseño de un sistema de radio sobre fibra óptica para ondas milimétricas en redes móviles 5G. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- Caytan, O., Bogaert, L., Li, H., Van Kerrebrouck, J., Lemey, S., Torfs, G., . . . Rogier, H. (2018). Passive Opto-Antenna as Downlink Remote Antenna Unit for Radio Frequency Over Fiber. IEEE.
- Cedillo, D., & Nieto, A. A. (2019). Análisis para la optimización del presupuesto óptico sobre última milla, mediante pruebas dentro de la red GPON de CNT en la ciudad de Azogues. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Chen, L., Wen, S., Li, Y., He, J., Wen, H., Shao, Y., . . . Pi, Y. (2007). Optical Front-Ends to Generate Optical Millimeter-Wave Signal in Radio-Over-Fiber Systems With Different Architectures. Revista de tecnología de ondas de luz.
- Díaz Ortega, J. A. (2019). Análisis de rendimiento de la técnica de multiplexación OFDM para sistemas RoF utilizando OptiSystem. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago De Guayaquil.
- EIA/TIA. (2016). ANSI/TIA 568.3. EIA/TIA.
- Escallón, A., & Ruiz, V. (2018). Evaluación del desempeño a nivel físico de un sistema FTTH-GPON para servicios quad play al integrar un módulo RoF. Universidad del Cauca.
- Escallón, P. A., Ruíz, G., & López, P. (2019). Evaluación del desempeño físico de un sistema FTTH-GPON para servicios Quad Play después de la incorporación de un módulo RoF. Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Escallón-Portilla, A. F., Ruíz-Guachetá, V. H., & López-Perafán, J. G. (2020). Evaluación del desempeño físico de un sistema FTTH-GPON para servicios Quad Play después de la incorporación de un módulo RoF.
- Fernandez, E. A., Torres, J. J., Cardenas, A., & Gonzalez, N. G. (2019). Análisis del Impacto de la Conversión Analógica a Digital en el

Desempeño de la Conversión Analógica a Digital en el Desempeño de Sistemas RoF Digitalizado. Colombia: Inge CUC.

Granada, J., Zuluaga, C., Guerrero, N., & Díaz, O. (2010). Compensación de la dispersión cromática usando ecualización LMS. XV Symp. Tratamiento de Señales, Imágenes y Visión Artificial.

Guamialama, D. (2013). Análisis de sistemas de generación y transporte de señales de MMW en sistemas RoF a 60 GHZ. Universidad Politecnica de valencia .

INEC. (2017). Tecnologías de la Información y Comunicación. ENEMDU.

Lattanzi, M., & Graf, A. (2008). Redes FTTx: Conceptos y Aplicaciones. IEEE Communication Society.

Lee, J. (2000). Analysis and characterization of fiber nonlinearities with deterministic and stochastic signal sources. Blacksburg, Virginia : Virginia Polytechnic Institute and State University .

Lin, C.-T., Chen, J., Peng, P.-C., Peng, C.-F., Peng, W.-R., Chiou, B.-S., & Chi, S. (2007). Hybrid Optical Access Network Integrating Fiber-to-the-Home and Radio-Over-Fiber Systems. IEEE Photonics Technology Letters.

Liu, X. (2019). Evolution of Fiber-Optic Transmission and Networking toward the 5G Era. Iscience, 1 - 18.

Manuel Cely, R. M. (2016). Generación de señales para sistemas de radio sobre fibra basados en la combinación eléctrica de componentes de banda base y radiofrecuencia. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería.

- Mario A. Melo López, A. T. (2018). Estudio de factibilidad técnico - económico para la implementación de una red FTTH/GPON en el contexto colombiano para servicios Triple Play. PERSPECTIV@S, 14.
- Milosavljevic, M., Kourtessis, P., Gliwan, A., & Senior, J. M. (2009). Advanced PON topologies with wireless connectivity. International Conference on Transparent Optical Networks.
- Mitchell, J. E. (2009). Radio over fibre networks: Advances and challenges. European Conference on Optical Communication.
- Monteiro, P., Viana, D., da Silva, J., Riscado, D., Drummond, M., SR Oliveira, A., . . . Jesus, P. (2015). Mobile fronthaul RoF transceivers for C-RAN applications. IEEE.
- Muñoz Ortiz, R. O., Cely Mancipe, M. A., Puerto Leguizamón, G. A., & Suárez Fajardo, C. A. (2015). Generación de señales para sistemas radio sobre fibra basados en combinación óptica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería.
- Muñoz, O. R., Puerto, L. G., Cely, M. M., & Suárez, F. . (2015). Generación de señales para sistemas radio sobre fibra basados en combinación óptica. Ingeniería, investigación y tecnología.
- Ng'oma, A., Sauer, M., Annunziata, F., Jiang, W.-J., Lin, C.-T., Chen, J., . . . Chi, S. (2009). Simple Multi-Gbps 60 GHz Radio-over-Fiber Links Employing Optical and Electrical Data Up-Conversion and Feed-Forward Equalization. Conference on Optical Fiber Communication.
- OJEDIS, K., & MOROCHO, J. (2019). Estudio y diseño de un prototipo de bajo costo para emergencias utilizando software defined radio (SDR) y servidor asterisk para aplicaciones en sitios de baja cobertura. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.

- Pascual, F. R. (2000). Estudio de efectos no lineales en dispositivos fotónicos y su aplicación en sistemas radio sobre fibra óptica. Valencia: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.
- Pi, Y., Dong, Z., Chen, L., & Yu, J. (2008). A radio-over-fiber system for simultaneous generation of wired and wireless services. SPIE - The International Society for Optical Engineering.
- RODRÍGUEZ, N. (2020). Simulación de un enlace RoF para la transmisión de imágenes diagnósticas cardio respiratorias de neonatos. Universidad Católica de Colombia.
- Seal, A., Bhutani, S., & Sangeetha, A. (2017). Performance Analysis of Radio over Fiber (RoF) System for Indoor Applications. IEEE.
- Sharma, V., Singh, A., & Sharma, A. K. (2012). Challenges to radio over fiber (RoF) technology and its mitigation. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 338– 342.
- Stohr, A. (2011). 10 Gbit/s wireless transmission using millimeter-wave over optical. Optical Fiber Communication Conference.
- Torres, J., Imbett, C., Durán, G., & González, N. (2011). Hacia la próxima generación de sistemas de Radio sobre Fibra de banda ancha: retos tecnológicos en la banda de las ondas milimétricas. Ingeniería y Desarrollo.
- UIT-T. (09 de 08 de 2022). Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales. Obtenido de ITU-T: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G/es>
- Varghese, A., Mohammed, E.-H., & Lajos, H. (2015). Performance improvement and cost reduction techniques for radio over fiber communications. IEEE Communications Surveys & Tutorials.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

ITS: Sistema de Transporte Inteligente

MMW: Ondas milimétricas.

FDM: Modulación por división de frecuencia

OLT: Terminal Línea óptico.

ONT: Terminal de Nodo óptico.

ODN: Red de distribución óptica.

FTTH: Fibra hasta la casa.

CW: Laser de onda continua.

MZ: Modulador tipo Mach-Zehnder.

RAN: Red de acceso por radio.

SCM: Multiplexación de subportadora.

WDM: Multiplexación por División de Longitud de Onda.

EDFA: Amplificador de fibra dopada con ebrío.

RAU: Unidades de antena remota.

FFT: Transformada Rápida Inversa de Fourier.

ISI: Interferencia entre símbolos.

DAS: Antenas distribuidas.

EOM: Modulador óptico externo.

QAM: Modulación de amplitud y cuadratura.

BER: Tasa de error binario.

NRZ: No Retorno al Cero

NRZI: No Retorno al Cero Invertido

ANEXOS

Items	Unit	Specification
Fibre type (Note 1)	-	[ITU-T G.652]
Attenuation range [ITU-T G.982]	dB	Class A: 5-20 Class B: 10-25 Class C: 15-30
Differential optical path loss	dB	15
Maximum optical path penalty	dB	1 (see Note 5 in Table 2e and f-1)
Maximum logical reach	km	60 (Note 2)
Maximum differential logical reach	km	20
Maximum fibre distance between send/receive (S/R) and receive/send (R/S) points	km	20 (10 as option)
Minimum supported split ratio	-	Restricted by path loss PON with passive splitters (16, 32 or 64 way split)
Bidirectional transmission	-	1-fibre WDM or 2-fibre
Maintenance wavelength	nm	to be defined
NOTE 1 – For future extended reach (> 20 km), the use of different types of fibre is for further study, for a future PMD specification.		
NOTE 2 – This is the maximum distance managed by the higher layers of the system (MAC, TC, Ranging), in view of a future PMD specification.		

Items	Unit	Single fibre			Dual fibre		
OLT transmitter (optical interface O _{td})							
Nominal bit rate	Mbit/s	1 244.16			1 244.16		
Operating wavelength	nm	1 480-1 500			1 260-1 360		
Line code	-	Scrambled NRZ			Scrambled NRZ		
Mask of the transmitter eye diagram	-	Figure 2			Figure 2		
Maximum reflectance of equipment, measured at transmitter wavelength	dB	NA			NA		
Minimum optical return loss (ORL) of ODN at O _{td} and O _{td} (Notes 1 and 2)	dB	more than 32			more than 32		
ODN Class		A	B	C	A	B	C
Mean launched power MIN	dBm	-4	+1	+5	-4	+1	+5
Mean launched power MAX	dBm	+1	+6	+9	+1	+6	+9
Launched optical power without input to the transmitter	dBm	NA			NA		
Extinction ratio	dB	more than 10			more than 10		
Tolerance to the transmitter incident light power	dB	more than -15			more than -15		

FIBRA OPTICA MONOMODO: G652D

PROPIEDADES OPTICAS

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	METODO DE ENSAYO
Tip. /Max. Atenuación fibra individual a 1310 nm (*)	0,32 / 0,35	dB/km	UNE-EN 188000-303 IEC 60793-1-40
Tip. /Max. Atenuación fibra Individual a 1383 nm (*)	0,28 / 0,31	dB/km	
Tip. /Max. Atenuación fibra individual a 1550 nm (*)	0,19 / 0,21	dB/km	
Tip. /Max. Atenuación fibra Individual a 1625 nm (*)	0,20 / 0,24	dB/km	
Uniformidad en la atenuación (Puntos discontinuidad a 1310o 1550nm)	< 0,05	dB	
Longitud de onda de dispersión nula	$1302 < \lambda_0 < 1322$	nm	UNE-EN 188000-309 IEC 60793-1-42
Pendiente de dispersión a λ_0 (S_0)	$\leq 0,092$	ps/nm ² -km	
Dispersión cromática máxima (1285 nm - 1330 nm)	$\leq 3,5$	ps/nm-km	
Dispersión cromática máxima a 1550 nm	$\leq 18,0$	ps/nm-km	
Dispersión cromática máxima a 1625 nm	$\leq 22,0$	ps/nm-km	
Dispersión por modo de polarización (PMD) (*)	$\leq 0,2$	ps/vkm	IEC 60793-1-48
Coefficiente de PMD del enlace (PMD ₀) (**)	$\leq 0,06$	ps/vkm	IEC 60793-1-48
Longitud de onda de corte (fibra cableada)	$\lambda_c < 1260$	nm	UNE-EN 188000-313 IEC 60793-1-44

() Este parámetro está sujeto a cambios una vez la fibra está en el cable.*

PROPIEDADES GEOMETRICAS

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	METODO DE ENSAYO
Diámetro del campo modal a 1310 nm	9,2 ± 0,4	μm	UNE-EN 188000-315 IEC 60793-1-45
Diámetro del campo modal a 1550 nm	10,4 ± 0,5	μm	
Diámetro del revestimiento	125 ± 0,7	μm	IEC 60793-1-20
No-Circularidad del revestimiento	< 1	%	
Error de concentricidad núcleo-revestimiento	< 0,5	μm	
Diámetro del recubrimiento primario (No coloreado)	245 ± 5	μm	IEC 60793-1-21
Error de concentricidad recubrimiento primario- revestimiento	≤ 12	μm	
Ondulación de la fibra ("Fiber Curl")	$\geq 4,0$	m	IEC 60793-1-34

OTRAS PROPIEDADES

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	METODO DE ENSAYO
Resistencia a la tracción ("Proof test")	$\geq 1\%$ (100kpsi / 0,7GPa)	%	IEC 60793-1-30
Índice efectivo de refracción de grupo a 1330 nm	1,467		
Índice efectivo de refracción de grupo a 1550 nm	1,468		
Apertura del recubrimiento (valor de pico)	$1,3 \leq F_p \leq 8,9$	N	IEC 60793-1-32

Table 1 – ITU-T G.657.A attributes							
Fibre attributes							
Attribute	Detail	Value					Unit
Mode field diameter	Wavelength	1 310					nm
	Range of nominal values	8.6-9.2					μm
	Tolerance	± 0.4					μm
Cladding diameter	Nominal	125.0					μm
	Tolerance	± 0.7					μm
Core concentricity error	Maximum	0.5					μm
Cladding non-circularity	Maximum	1.0					%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1 260					nm
Uncabled fibre macrobending loss (Notes 1, 2)		ITU-T G.657.A1		ITU-T G.657.A2			
	Radius	15	10	15	10	7.5	mm
	Number of turns	10	1	10	1	1	
	Max. at 1 550 nm	0.25	0.75	0.03	0.1	0.5	dB
	Max. at 1 625 nm	1.0	1.5	0.1	0.2	1.0	dB
		ITU-T G.657 category A					
Proof stress	Minimum	0.69					GPa
Chromatic dispersion parameter 3-term Sellmeier fitting (1 260nm to 1 460 nm)	$\lambda_{0\text{min}}$	1 300					nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1 324					nm
	$S_{0\text{min}}$	0.073					ps/(nm ² × km)
	$S_{0\text{max}}$	0.092					ps/(nm ² × km)
Linear fitting (1 460 nm to 1 625 nm)	Min. at 1 550 nm	13.3					ps/(nm × km)
	Max. at 1 550 nm	18.6					ps/(nm × km)
	Min. at 1 625 nm	17.2					ps/(nm × km)
	Max. at 1 625 nm	23.7					ps/(nm × km)
Cable attributes							
Attenuation coefficient (Note 3)	Maximum from 1 310 nm to 1 625 nm (Note 4)	0.40					dB/km
	Maximum at 1 383 nm ± 3 nm after hydrogen ageing (Note 5)	0.40					dB/km
	Maximum at 1 530–1 565 nm	0.30					dB/km
PMD coefficient	M	20					cables
	Q	0.01					%
	Maximum PMD _Q	0.20					ps/km ^{1/2}

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Tomalá Merchán, Juana Liseth** C.C: # 0929017796 autor del trabajo de titulación: Análisis y diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena, utilizando tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM, 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, 22 de noviembre del 2022

f. _____

Nombre: **Tomalá Merchán, Juana Liseth**

C.C: 0929017796

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis y diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena, utilizando tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM		
AUTOR(ES)	Tomalá Merchán, Juana Liseth		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; M. Sc. Quezada Calle, Edgar / M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	22 de noviembre del 2022	No. DE PÁGINAS:	53
ÁREAS TEMÁTICAS:	Comunicaciones Ópticas, Comunicaciones Inalámbricas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	ROF, OFDM, RF, ONT, OLT.		
<p>El presente trabajo de titulación tiene como objetivo realizar un análisis y diseño de infraestructura de comunicación para la Parroquia Colonche del cantón Santa Elena, utilizando tecnologías de radio sobre fibra (RoF) y modulación OFDM. Integrar sistemas inalámbricos y fibra óptica ofrece muchas ventajas, tales como mayor velocidad de transmisión, gran ancho de banda, alta adaptabilidad, seguridad, flexibilidad y movilidad, por tanto, realizar un estudio acerca de la tecnología ROF y modulación OFDM es dar a conocer este sistema híbrido, ya que actualmente en el Ecuador ninguna empresa ha implementado estas infraestructuras de comunicación y esta es una solución a futuro, la misma que puede brindar servicios en lugares apartados de las ciudades. Se realizó el diseño del sistema ROF, el mismo que está compuesto por: OLT, transmisor OFDM, enlace de fibra óptica, receptor OFDM y ONT, este diseño fue realizado en la plataforma Optysistem y se hizo varias modificaciones de parámetros como: potencia de transmisión, distancia del enlace, longitud de onda, atenuación, obteniendo el factor Q y análisis BER, a fin de visualizar resultados fallidos o éxitos.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593982551326	E-mail: j.tomalamerchan8@gmail.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):			