

Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA
COORDINACIÓN DE POSGRADO



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MAESTRÍA EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION CON MENCION EN
GESTION Y ADMINISTRACION DE TI.**

TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE:
MÁSTER EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION MENCION GESTION Y
ADMINISITRACION DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN.

TEMA:

**“DISEÑO, SIMULACION Y ANALISIS DE COSTOS DE IMPLEMENTACION DE UNA
RED DE FRONTHAUL OPTICO PARA PROVEER SERVICIOS DE TELEFONIA
CELULAR 5G EN LA CIUDAD DE QUITO”**

JOSE ANTONIO GUTIERREZ PALLO

DIRECTOR:

DR. GERMÁN ARÉVALO B, PhD.

Quito – 2024

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	6
INTRODUCCION	6
JUSTIFICACION	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
OBJETIVOS.....	8
OBJETIVO GENERAL.....	8
OBJETIVOS ESPECIFICOS	8
CAPITULO II	10
FUNDAMENTACION TEORICA	10
ANTECEDENTES	10
MARCO TEORICO	11
RED 5G Y SU EVOLUCION.....	11
CARACTERISTICAS DE 5G	12
5G EN EL ECUADOR	12
OPORTUNIDADES 5G EN EL ECUADOR	14
DESAFIOS E INCONVENIENTES DE LA TECNOLOGIA 5G	14
BANDAS DE FRECUENCIA Y OPERADORAS.....	15
FIBRA ÓPTICA EN REDES 5G	17
FRONTHAUL 5G.....	17
EVOLUCIÓN DEL FRONTHAUL 5G	18
TECNOLOGÍAS DE FRONTHAUL DE FIBRA ÓPTICA	19
RED 50 GPON	21
CAPITULO III	23
DISEÑO, SIMULACION Y ANALISIS DE LA RED FRONTHAUL	23
DISEÑO DE RED FRONTHAUL.....	23
SIMULACION DE LA RED FRONTHAUL	24
RED FRONTHAUL 5 km	24
RED FRONTHAUL 10 km	28
RED FRONTHAUL 15 km	32
CAPITULO IV	36
ANALISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
RESULTADOS.....	36
CONCLUSIONES	36
REFERENCIAS.....	38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tecnología 5G; Fuente: DPL News.....	11
Figura 2 Servicios de la tecnología 5G; Fuente: MT Center	13
Figura 3 Bandas de frecuencia; Fuente: CID	15
Figura 4 Redes cRAN (Cloud Radio Access Network); Fuente: MICM	17
Figura 5 Fibra Oscura; Fuente: FiberMall.....	19
Figura 6 WDM Pasiva; Fuente: HTF	20
Figura 7 Red WDM- PON; Fuente: FiberMall	20
Figura 8 Red fronthaul 50GPON; Fuente: Optisystem.	24
Figura 9 Diagrama del ojo de la señal recibida con una potencia de recepción de -23.929 dBm; Fuente: Optisystem	25
Figura 10 BER vs Potencia recibida en longitud de 5 km; Fuente: El Autor.....	26
Figura 11 Atenuación vs BER en longitud de 5km; Fuente: El Autor	26
Figura 12 Espectro de frecuencias de la señal transmitida en la red 50 GPON; Fuente: Optisystem	27
Figura 13 Espectro de frecuencias de la señal recibida en RRH con longitud de 5 km; Fuente: Optisystem	28
Figura 14 Diagrama del ojo de la señal recibida con una potencia de recepción de -22.741 dBm; Fuente: Optisystem	28
Figura 15 BER vs Potencia recibida en longitud de 10 km; Fuente: El Autor.....	29
Figura 16 Atenuación vs BER en longitud de 10km; Fuente: El Autor	30
Figura 17 Espectro de frecuencias de la señal transmitida en la red 50GPON a la longitud de 10 km; Fuente: Optisystem	31
Figura 18 Espectro de frecuencias de la señal recibida en RRH con longitud de 10 km; Fuente: Optisystem	31
Figura 19 Diagrama del ojo de la señal recibida con una potencia de recepción de -23.553 dBm; Fuente: Optisystem	32
Figura 20 BER vs Potencia recibida en longitud de 10 km; Fuente: El Autor.....	33
Figura 21 Atenuación vs BER en longitud de 15km; Fuente: El Autor	34
Figura 22 Espectro de frecuencias de la señal transmitida en la red 50GPON a la longitud de 15 km; Fuente: Optisystem	34
Figura 23 Espectro de frecuencias de la señal recibida en RRH con longitud de 15 km; Fuente: Optisystem	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de la tecnología 5G.....	12
Tabla 2 Frecuencias de las operadoras en el país.	16
Tabla 3 Características generales de red 50GPON	22
Tabla 4 Medición de red fronthaul a 5km de longitud.....	25
Tabla 5 Medición de red fronthaul a 10km de longitud.....	29
Tabla 6 Mediciones de la red fronthaul a 15 km de longitud.....	33

DISEÑO, SIMULACION Y ANALISIS DE COSTOS DE IMPLEMENTACION DE UNA RED DE FRONTHAUL OPTICO PARA PROVEER SERVICIOS DE TELEFONIA CELULAR 5G EN LA CIUDAD DE QUITO

Autor: José Antonio Gutiérrez Pallo

Director -Tutor: Germán Vicente Arévalo Bermeo, PhD.

Fecha: 17-03-2025

RESUMEN

La presente tesis aborda el diseño, simulación y análisis de costos para la implementación de una red de fronthaul óptico en la ciudad de Quito, con el objetivo de proveer servicios de telefonía celular 5G. La expansión y modernización de las redes de telecomunicaciones, especialmente con la tecnología 5G, son cruciales para satisfacer la creciente demanda de conectividad y servicios avanzados. La red de fronthaul óptico, esencial en la arquitectura 5G, permite la transmisión de grandes volúmenes de datos con alta velocidad y baja latencia, mejorando significativamente la experiencia del usuario.

En el contexto específico de Quito, la implementación de esta red presenta desafíos únicos debido a la topografía urbana, el crecimiento poblacional y las necesidades del mercado local. Este estudio se enfoca en el diseño detallado de la infraestructura, la simulación de su desempeño en diferentes condiciones y el análisis exhaustivo de los costos, buscando optimizar la implementación de la red y asegurar su viabilidad económica.

La justificación de este tema radica en la necesidad de actualizar la infraestructura de comunicaciones de Quito para alinearse con los estándares globales y posicionar a la ciudad como un actor clave en la transformación digital. La implementación de la red de fronthaul óptico contribuirá a mejorar la calidad del servicio, ofreciendo velocidades de

conexión más rápidas, menor latencia y mayor capacidad para soportar aplicaciones avanzadas como el IoT y la realidad virtual.

El planteamiento del problema se centra en los desafíos críticos que implica el diseño óptimo, la simulación precisa del rendimiento y el análisis de costos de la red de fronthaul óptico en Quito. Es imperativo investigar y comprender a fondo estos aspectos para desarrollar estrategias eficaces que aseguren el éxito de la transición hacia la telefonía celular 5G en la ciudad.

Palabras claves: Red GPON, Red fronthaul, tecnología 5G, latencia, alta velocidad.

DISEÑO, SIMULACION Y ANALISIS DE COSTOS DE IMPLEMENTACION DE UNA RED DE FRONTHAUL OPTICO PARA PROVEER SERVICIOS DE TELEFONIA CELULAR 5G EN LA CIUDAD DE QUITO

Autor: José Antonio Gutiérrez Pallo

Director -Tutor: Germán Vicente Arévalo Bermeo, PhD.

Fecha: 17-03-2025

ABSTRACT

This thesis addresses the design, simulation and cost analysis for the implementation of an optical fronthaul network in the city of Quito, with the objective of providing 5G cellular telephony services. The expansion and modernization of telecommunication networks, especially with 5G technology, are crucial to meet the growing demand for connectivity and advanced services. The optical fronthaul network, essential in the 5G architecture, enables the transmission of large volumes of data with high speed and low latency, significantly improving the user experience.

In the specific context of Quito, the implementation of this network presents unique challenges due to urban topography, population growth and local market needs. This study focuses on the detailed design of the infrastructure, the simulation of its performance under different conditions and the exhaustive cost analysis, seeking to optimize the implementation of the network and ensure its economic viability.

The rationale for this topic lies in the need to upgrade Quito's communications infrastructure to align with global standards and position the city as a key player in the digital transformation. The implementation of the optical fronthaul network will contribute to improve the quality of service, offering faster connection speeds, lower latency and greater capacity to support advanced applications such as IoT and virtual reality.

The problem statement focuses on the critical challenges involved in the optimal design, accurate performance simulation and cost analysis of the optical fronthaul network in Quito. It is imperative to thoroughly investigate and understand these aspects in order to develop effective strategies to ensure the success of the transition to 5G cellular in the city.

Keyword: GPON network, fronthaul network, 5G technology, latency, high speed.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud entera a Dios por permitirme culminar una etapa más, por brindarme la salud y sabiduría necesaria para seguir cosechando objetivos.

Agradezco profundamente a mis padres, José Gutiérrez y Rosario Pallo, por su inquebrantable sacrificio y esfuerzo día a día para que uno pueda cumplir varios objetivos y a su vez por nunca desmayar a mi lado a pesar de los obstáculos que nos propone la vida.

A mi hermana, Diana, le agradezco por ser la primera en lograr un objetivo como este ya que en muchas cosas de la vida es un ejemplo de seguir adelante.

Agradezco a mi esposa, Jahel Chiscueth, por siempre estar en mi caminar tomados de la mano superando cualquier obstáculo y adversidad, por darme las fuerzas necesarias para nunca desmayar.

Expreso mi más sincero agradecimiento al Dr. Germán Arévalo B., mi director de tesis, por su valioso apoyo y aportes que fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo el amor y cariño a todas las personas que fueron participes y estuvieron en todo momento desde que se tomó la decisión de seguir un Masterado.

En primer lugar, dedico este trabajo a mi hija Aitana que cuando crezca pueda tener un gran ejemplo de superación y que todo lo que uno se propone se puede cumplir.

En segundo lugar, dedico este trabajo a mi familia, mi esposa las cuales estuvieron de inicio a fin, brindándome ese apoyo incondicional.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCION

En el contexto actual, la expansión y modernización de las redes de telecomunicaciones son fundamentales para satisfacer la creciente demanda de conectividad y servicios avanzados. La implementación de redes 5G representa una revolución en el ámbito de las telecomunicaciones, ofreciendo velocidades de transmisión de datos significativamente superiores, una latencia reducida y una capacidad de conexión masiva que puede transformar numerosos aspectos de la vida urbana y empresarial. En este marco, el diseño, simulación y análisis de costos para la implementación de una red de fronthaul óptico para proveer servicios de telefonía celular 5G se convierte en una tarea crucial para garantizar un despliegue eficiente y económico.

La red de fronthaul óptico es una infraestructura clave en la arquitectura de redes 5G, ya que proporciona la conexión entre las estaciones base y el núcleo de la red, permitiendo la transmisión de grandes volúmenes de datos con alta velocidad y baja latencia. Este componente es esencial para aprovechar al máximo las capacidades de 5G y ofrecer una experiencia de usuario óptima.

En la ciudad de Quito, la implementación de una red de fronthaul óptico plantea desafíos y oportunidades específicos. La topografía urbana, el crecimiento poblacional y las necesidades particulares del mercado local son factores que deben considerarse en el diseño de la red. Además, la simulación de diferentes escenarios y el análisis de costos asociados son pasos cruciales para asegurar que el proyecto sea viable desde el punto de vista técnico y económico.

Este estudio se enfoca en el diseño detallado de la infraestructura de fronthaul óptico, la simulación de su desempeño en diferentes condiciones y el análisis exhaustivo de los costos involucrados en su implementación en Quito. El objetivo es proporcionar

una visión integral que permita a los operadores de telecomunicaciones planificar y ejecutar la expansión de redes 5G de manera eficiente y efectiva, maximizando los beneficios para la comunidad y optimizando los recursos invertidos.

JUSTIFICACION

La elección de este tema se fundamenta en diversas razones estratégicas y tecnológicas que subraya la importancia de la implementación de una red frounhaul óptico para servicios de telefonía celular 5G en la ciudad de Quito.

La implementación de la tecnología 5G representa un avance significativo en las comunicaciones móviles ofreciendo velocidades de conexión más rápidas, menor latencia y mayor capacidad para soportar aplicaciones avanzadas como el IoT (INTERNET DE LAS COSAS) y la realidad virtual con ello la creciente demanda de conectividad y la ploriferación de dispositivos inteligentes requieren una infraestructura de red capaz de manejar grandes volúmenes de datos de manera eficiente. La red de frounhaul optico es crucial para satisfacer esta demanda y proporcionar una experiencia de usuario óptima.

La implementación de una red de frounhaul óptico contirbuira directamente a mejorar la calidad del servicio, ofreciendo velocidades de descarga y carga más rápidas, así como una mayor confiabilidad de la conexión.

Este tema no solo aborda la necesidad imperante de actualizar la infraestructura de comunicaciones en Quito para alinearse con los estandares globales, sino que también posiciona la ciudad como un actor clave en la revolución tecnológica y la trnasformación digital.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el contexto de la evolución de las tecnologías de comunicación, la implementación exitosa de servicios de telefonía celular 5G en entornos urbanos como la ciudad de Quito requiere una infraestructura de red avanzada y eficiente. La elección de la tecnología de fronthaul óptico emerge como una solución clave para soportar las demandas de velocidad, capacidad y baja latencia impuestas por la tecnología 5G. Sin embargo, el diseño óptimo, la simulación precisa del rendimiento y el análisis exhaustivo de los costos asociados con la implementación de esta red en Quito representan desafíos críticos que necesita ser abordados para garantizar el éxito de la transición hacia la telefonía celular 5G en la ciudad. Por lo tanto, es imperativo investigar y comprender a fondo estos aspectos para desarrollar estrategias eficaces que optimicen la implementación de la red de fronthaul óptico y aseguren su viabilidad económica en el contexto específico de Quito.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar, simular y analizar los costos de implementación de una red de fronthaul óptico con el fin de evaluar su impacto en la eficiencia y viabilidad económica para la provisión de servicios de telefonía celular 5G en la ciudad de Quito.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un análisis detallado de los requerimientos de la red fronthaul óptico para soportar la implementación de servicios de telefonía celular 5G en la ciudad de Quito.
- Diseñar una topología de red de fronthaul óptico que optimice la cobertura, capacidad y eficiencia en función de las características geográficas y demográficas específicas de Quito.

- Analizar los costos asociados con la implementación de la red fronthaul óptico, incluyendo la infraestructura física, equipos necesarios y costos operativos a corto y largo plazo.
- Realizar el estado de arte de las tecnologías fronthaul óptico aplicadas a la red 5G.

CAPITULO II

FUNDAMENTACION TEORICA

ANTECEDENTES

La tecnología 4G ha demostrado ser altamente eficiente en la transmisión y recepción de datos y voz, logrando velocidades considerablemente más altas que sus predecesoras. Se calcula que 4G supera las capacidades de conectividad de 2G y 3G en un rango de 5 a 10 veces. Con velocidades que llegan a 100 Mbps en descarga y 50 Mbps en carga, 4G emplea de manera fundamental la tecnología IP avanzada (Constain Prado, 2019).

Despliegue Global de Redes 5G:

Alrededor del mundo, numerosas ciudades y naciones están adoptando las redes 5G para responder a la creciente demanda de conectividad y optimizar las comunicaciones móviles. Metrópolis como Seúl, Tokio y Nueva York han obtenido ventajas importantes al ser pioneras en la implementación de esta tecnología. Su experiencia en entornos urbanos ha demostrado mejoras considerables en la eficiencia de la comunicación, facilitando la creación de ciudades inteligentes con servicios avanzados y una mejor calidad de vida para sus habitantes. Estudios previos han analizado la rentabilidad y el retorno de inversión asociados con el despliegue de redes 5G, enfatizando la importancia de evaluar minuciosamente los costos y beneficios a largo plazo para tomar decisiones acertadas, un punto importante que ha tomado este desarrollo es:

- Desarrollo de Infraestructura de Telecomunicaciones:

El desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones a nivel nacional e internacional proporcionan una base de conocimientos para abordar los desafíos

técnicos, económicos y regulatorios asociados con la implementación de tecnologías de última generación.

En conjunto, estos antecedentes proporcionan una base sólida para abordar el diseño, simulación y análisis de costos de una red de fronthaul óptico para servicios de telefonía celular 5G en Quito, permitiendo aprender de experiencias pasadas y aplicar las mejores prácticas en el contexto específico de la ciudad.

MARCO TEORICO

RED 5G Y SU EVOLUCION

La red 5G tiene la capacidad de manejar altas tasas de tráfico de datos, esta tecnología que cada vez va teniendo fuerza y evolución en las telecomunicaciones a nivel mundial soportará comunicaciones de una red LAN y red WAN de amplia área, tomando en cuenta características sumamente importantes como son latencia y velocidad.



Figura 1 Tecnología 5G; Fuente: DPL News

La tecnología 5G está diseñada para fusionar redes móviles, grandes volúmenes de datos (big data), el Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube, lo que impulsará la creación de una amplia gama de nuevas aplicaciones a medida que se expanda su implementación. 5G facilitará la conexión de diversos dispositivos inteligentes, incluyendo vehículos autónomos, dispositivos portátiles, servicios de telemedicina y el IoT. En particular, la combinación de telemedicina y 5G ofrecerá una

plataforma de salud móvil con ventajas como la movilidad integrada y una conectividad avanzada, permitiendo a los profesionales de la salud monitorear a sus pacientes en cualquier momento y lugar (Edwin Moreira, 2022).

CARACTERISTICAS DE 5G

Las principales características de la tecnología 5G pueden resumirse en más velocidad, más interconexiones y menor latencia, las cuales son detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 1 Características de la tecnología 5G

VELOCIDAD	10 Gbps
LATENCIA	De 4 a 1 ms
INTERCONEXION	Mas de 100 billones de dispositivos
ANCHO DE BANDA	700 MHz y 3,5 GHz
CONSUMO ENERGETICO	90% menos que la tecnología 4G
TECNOLOGIA EMPLEADA	Massive MIMO

El 5G permite más conexiones que el 4G y el 3G; una red 5G debe poder admitir un millón de dispositivos conectados en un kilómetro cuadrado. Esto permitirá el incremento en el uso de dispositivos IoT, no solo a nivel doméstico, sino también industrial. La latencia es menor en la conexión 5G; de los 200 milisegundos de retraso en el 4G, pasamos a un milisegundo, un aspecto clave para el uso de coches autónomos o la transmisión en tiempo real de datos e información (Atico, 2024).

5G EN EL ECUADOR

En Ecuador, la alta demanda de conectividad, evidenciada por los beneficios de la tecnología móvil, impulsa a las industrias a requerir mayor capacidad, seguridad y menor latencia. Sin embargo, el país enfrenta desafíos debido a sus bajos niveles de adopción tecnológica y capacidad de innovación, lo que podría limitar el

aprovechamiento del potencial de 5G. A pesar de esto, se considera que 5G, junto con la Inteligencia Artificial y la computación en la nube, son fundamentales para que Ecuador se posicione en la Cuarta Revolución Industrial(Martin, 2020).

Con la llegada de 5G, el sector del entretenimiento, turismo y eventos vislumbra la implementación de aplicaciones en tiempo real, como el reconocimiento facial en grandes concentraciones de personas, lo que demanda una latencia muy baja. Por otro lado, la industria del transporte y la logística espera optimizar las operaciones portuarias mediante la conectividad 5G, mejorando la seguridad, el monitoreo, la automatización de grúas y la logística, y logrando una reducción en los tiempos de tránsito (Edwin Moreira, 2022).

En la Seguridad Pública se destaca que existe tecnología móvil implementada en ciertas zonas de Ecuador (Guayaquil y Manta), pero no se percibe aún el beneficio de la interconectividad entre los distintos sistemas de monitoreo y seguridad, por lo que la investigación recomienda incentivar a los desarrolladores de sistemas a conectar lo que aún no está conectado, es decir, darle paso a la IoT, conectando semáforos, ambulancia, bomberos, medios de transporte y más (Edwin Moreira, 2022).



Figura 2 Servicios de la tecnología 5G; Fuente: MT Center

Se espera que la industria automotriz reciba un impulso gubernamental para su modernización, y la tecnología 5G jugará un papel crucial en la optimización de diversos servicios. Esto incluye mejoras en el mantenimiento de vehículos, la simplificación del pago de peajes a través de una cuenta única, el monitoreo del comportamiento de conducción, la sincronización con semáforos para mejorar el flujo de tráfico, la prevención de congestiones, el aumento de la seguridad vial, la promoción de la conducción preventiva y la provisión de alertas sobre el estado del pavimento, entre otras aplicaciones.

OPORTUNIDADES 5G EN EL ECUADOR

La tecnología 5G se considera un catalizador de la nueva revolución industrial, al fomentar la hiperconectividad y la integración del Internet de las Cosas en la vida diaria. Según Marco García, director de Cuentas Integradas de Huawei, 5G redefine por completo el concepto de telecomunicaciones, superando las capacidades de generaciones anteriores como 3G y 4G, que se limitaban a la comunicación entre personas. Esta nueva generación permite conectar no solo a individuos, sino también a industrias y ciudades, impulsando el verdadero desarrollo de la sociedad digital (Oportunidades y desafíos de la Tecnología 5G en Ecuador, 2024).

DESAFIOS E INCONVENIENTES DE LA TECNOLOGIA 5G

Los elevados costos de operación e instalación de la tecnología 5G, son las principales causas para que se demore de 5 a 6 años en operar en las principales ciudades de América Latina, el 5G necesita una cantidad mayor de células, por lo tanto, consumiría entre dos o tres veces más de energía, esto, aumenta el costo de operación y el usuario no está dispuesto a pagar más por una velocidad mayor (COMERCIO, 2019).

Entonces las operadoras tienen el reto de cómo monetizar el 5G, tal vez sea brindando servicios adicionales ya no solo telefonía celular y datos. Así, el 5G pasaría a dar sus servicios principalmente a las empresas y no tanto a usuarios finales, para tener una buena rentabilidad (COMERCIO, 2019).

BANDAS DE FRECUENCIA Y OPERADORAS.

Los rangos de frecuencia entre los 800 MHz - 1900 MHz, son utilizadas actualmente en Ecuador para las tecnologías 1G, 2G, 3G y 4G, mientras que las bandas entre 3 GHz - 6 GHz y la de 700 MHz que era utilizada para 5G están en proceso de regularización. El ministro de Telecomunicaciones indicó: “En el 2020 se licitará la banda de 3,5 GHz que permita a la 5G desarrollarse en el país” (Cid, 2018).

La disputa por estas frecuencias se da tanto por las bandas altas como por las bajas, ya que las bandas altas (de MHz a GHz) sirven para; a más ancho de banda más dispositivos conectados a una misma antena, mientras las 7 bandas bajas (KHz y pocos MHz) sirven para cubrir mayores distancias por antena (Cid, 2018).



Figura 3 Bandas de frecuencia; Fuente: CID

En la tabla 2 se evidencia como las operadoras tienen sus bandas de frecuencia para operar y dar servicio de la tecnología que más sobresalta en el Ecuador que es la 4G LTE.

Las operadoras en Ecuador ya cuentan con concesiones hasta el 2023 en ciertas bandas que en otros países se están subastando, y otras bandas que no son destinadas para SMA en nuestro país (Jorge García, 2017).

Tabla 2 Frecuencias de las operadoras en el país.

OPERADORAS	FRECUENCIA DE TRABAJO
CLARO	1700/2100 MHz (Banda 4)
MOVISTAR- TUENTI	1900 MHz (Banda 2)
CNT	1700/2100 MHz (Banda 4) o 700 MHz (Banda 28)

Las principales operadoras de telecomunicaciones ya están realizando pruebas para la implementación de la tecnología 5G. Según Marco García, director de Cuentas Integradas de Huawei en Ecuador, se anticipa que la red comercial 5G estará disponible en el país a finales de 2024 o en el primer semestre de 2025. El despliegue de 5G es crucial, ya que puede catalizar el desarrollo de tecnologías como la computación en la nube y la inteligencia artificial. Ecuador, que enfrenta desafíos como la informalidad y el desempleo, debe priorizar la adopción de esta tecnología y capacitar a los jóvenes para aprovechar al máximo sus beneficios (Hora L. , 2024).

Ecuador se encuentra rezagado en la implementación de redes 5G en comparación con otros países de la región como Brasil, Chile, México y Colombia, que ya han desplegado esta tecnología. Dado que el Estado es responsable de la implementación de la red 5G, debe llevar a cabo la licitación de las bandas del nuevo espectro, ya que las frecuencias más cortas son esenciales para lograr una mayor velocidad en la red 5G. Aunque la tecnología 5G ofrece beneficios significativos, como el control de bases de datos, la mejora del acceso a la tecnología para los estudiantes y el impulso del comercio electrónico, la Unión Internacional de Telecomunicaciones

(UIT) advierte que los países de América Latina requerirán una inversión considerable de capital para promover esta tecnología (Hora, 2023).

FIBRA ÓPTICA EN REDES 5G

5G se distingue de LTE al integrar todos los elementos de la red y adaptarse a múltiples aplicaciones, desde banda ancha móvil avanzado hasta latencia mínima. La fibra óptica, con sus características de alto ancho de banda, baja pérdida de señal, inmunidad a interferencias y baja latencia, es esencial para 5G. Las mejoras en la multiplexación permiten aumentar la capacidad de la fibra óptica. En consecuencia, la implementación de 5G estimulará el desarrollo y la ampliación de las redes de fibra óptica (Solutions, 2022).

FRONTHAUL 5G

Fronthaul se define como la conexión basada en fibra en la infraestructura RAN entre la unidad de banda base (BBU) y la unidad de radio remota (RRH). Fronthaul se originó con las redes LTE cuando los operadores primero acercaron sus radios a las antenas. Este nuevo enlace se estableció para complementar la conexión de backhaul entre la BBU y el núcleo de la red central (HTF, 2022).

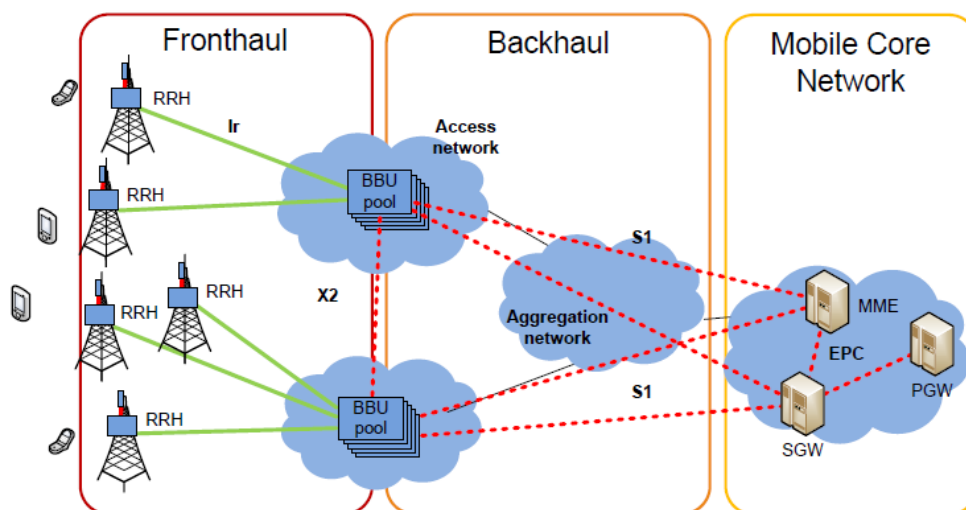


Figura 4 Redes cRAN (Cloud Radio Access Network); Fuente: MICM

Una red que transporta los datos entre RRH y BBU ubicadas centralmente se denomina red de fronthaul. En las redes de acceso de radio centralizadas (CRAN), los RRH y las BBU están separadas. Las BBU están colocadas y centralizadas, lo que permite la utilización y gestión de recursos de radio complejos. Las BBU se pueden virtualizar y operar como un software que se ejecuta en la infraestructura de TI estándar: servidores, memorias, almacenamientos, etc. El C-RAN ofrece ventajas tecnológicas y económicas.

En CRAN, los RRH pueden simplificarse y toda manipulación de datos como el manejo de protocolos y el procesamiento de señales, la modulación de datos puede tener lugar en la ubicación central de BBU. El ancho de banda muy alto requerido por la Interfaz de radio pública común (CPRI), cuando se usa para aplicaciones de 5G fronthauling y C-RAN ha llevado a la propuesta de soluciones de fronthauling móvil de próxima generación. Una arquitectura de transporte frontal de próxima generación muy efectiva, que proporciona ahorros de ancho de banda muy altos en comparación con CPRI, es el uso de la radio asistida por procesamiento de señal digital (DSP) sobre la agregación de canales de fibra (Cabrera, 2021).

EVOLUCIÓN DEL FRONTHAUL 5G

El nuevo enlace introducido entre la BBU y la RRH se denomina fronthaul, en oposición al backhaul, que conecta las BBU con la red móvil central. La tecnología más común que se emplea para comunicar información de radiofrecuencia a través del fronthaul de fibra óptica es el protocolo de la interfaz de radio pública común (CPRI). La CPRI ofrece un protocolo de transporte específico diseñado concretamente para transportar formas de onda de radio entre la RRH y la BBU. Las tramas de la CPRI se amplían con el incremento del ancho de banda del canal de radio y el número de elementos de la antena. La CPRI no resulta muy eficaz en la multiplexación estadística y no es capaz de adaptarse a las exigencias de la tecnología 5G, especialmente en lo que respecta a los incrementos de banda ancha mayores y la tecnología MIMO masiva.

El ancho de banda y las antenas que se requieren en un entorno 5G dispararían los requisitos de banda ancha de la CPRI por encima de los 100 Gbps (Solutions, 2022).

TECNOLOGÍAS DE FRONTHAUL DE FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica se convertirá en el medio principal de las redes fronthaul. Si aplicamos el análisis evolutivo sobre el fronthaul y la tecnología 5G, podemos caracterizar los requisitos de una red fronthaul de fibra óptica. Se puede planificar e implementar una serie de tecnologías y topologías de red fronthaul en base a un entendimiento adecuado de los requisitos de una red específica. Algunas de las diversas soluciones de red fronthaul que se ha planificado e implementado son las siguientes:

- **Fibra oscura:** La fibra oscura es una solución de punto a punto con la que los proveedores de servicios con exceso de capacidad de fibra óptica pueden ofrecer la solución de fronthaul más sencilla. Esta solución puede ser la más fácil de instalar, ya que solo son necesarias una inspección y una certificación de la fibra óptica básicas (Solutions, 2022).

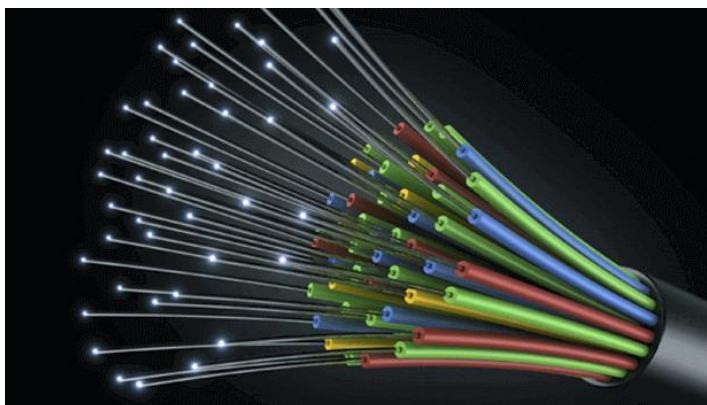


Figura 5 Fibra Oscura; Fuente: FiberMall

- **WDM pasiva** se transmiten diversas señales de datos a través de una sola red de fibra oscura en distintos canales de longitud de onda. Los transceptores de color se conectan directamente al conmutador

Ethernet y la señal de salida se conecta entonces directamente al multiplexor y al revés (Solutions, 2022).

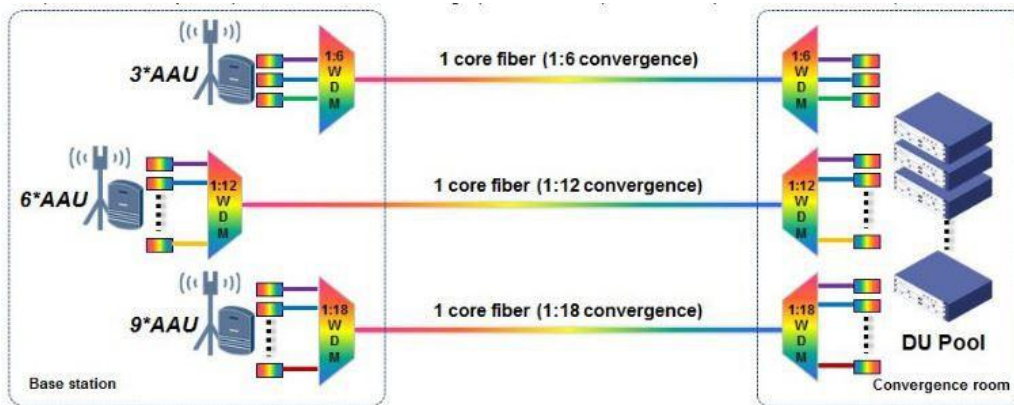


Figura 6 WDM Pasiva; Fuente: HTF

- **La red WDM-PON** es una tecnología de red de acceso. Crea una arquitectura de punto a punto lógica basada en longitudes de onda a partir de una topología de fibra óptica física de punto a multipunto. La red WDM-PON se considera una posible tecnología para redes de acceso convergentes que transportan datos de redes residenciales, comerciales y fronthaul/ midhaul para redes inalámbricas (Solutions, 2022).

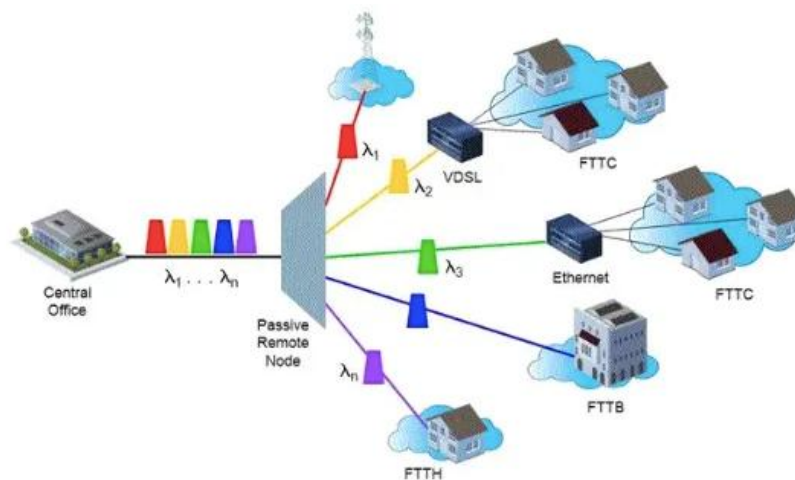


Figura 7 Red WDM- PON; Fuente: FiberMall

RED 50 GPON

La tecnología 50GPON, definida en la norma ITU-T G.9804, ofrece una velocidad de conexión cinco veces superior a la de la tecnología 10GPON. Esto se traduce en una velocidad de descarga de 50 Gbps en una sola longitud de onda, con la flexibilidad de elegir velocidades de carga de 12,5 Gbps, 25 Gbps o 50 Gbps.

50G PON mantiene la estructura de red punto a multipunto (P2MP) y permite cubrir distancias de hasta 20 kilómetros, con la capacidad de dividir la señal hasta en 256 conexiones. Esto posibilita proporcionar anchos de banda que oscilan entre 10 Gbps y 50 Gbps. 50G PON representa un avance significativo en la velocidad y capacidad de las redes de fibra óptica, permitiendo conexiones más rápidas y una mayor cobertura (Fangbin, 2023)

50G PON utiliza transmisión bidireccional de fibra única, empleando el modo de transmisión en el flujo descendente y TDMA en el flujo ascendente para la comunicación punto a multipunto entre OLT y ONU. Las tecnologías clave abarcan la selección de longitud de onda, codificación de línea, velocidad de línea, FEC, TC común y componentes de capa PHY (Fangbin, 2023).

La tecnología PON 50G determinista destaca por su gran capacidad para aumentar el ancho de banda según las necesidades, y se adapta a diferentes velocidades de acceso, lo que permite un control preciso del flujo de datos. Además, garantiza una alta fiabilidad al ser compatible con aplicaciones que requieren un funcionamiento constante y sin fallos, incluyendo sistemas de protección para los enlaces de subida Ethernet (tipo B/C) y sistemas de protección puerto a puerto a nivel PON. Gracias a la utilización de una tecnología de canalización rígida de baja latencia de extremo a extremo, la PON 50G determinista es capaz de implementar un

aislamiento de servicio avanzado y establecer canales de comunicación con baja latencia y mínima variación en el tiempo de transmisión. (Fangbin, 2023).

Tabla 3 Características generales de red 50GPON

Distancia de la fibra	Para aplicaciones inalámbricas se tiene un límite de 0km a 15 km. Y coberturas máximas de 60km
Distancia máxima de la fibra diferencial	Como variante 20 km.
Retardo máximo de transferencia de la señal	Voz e internet: inferior a 1.5ms Video: inferior a 2ms

CAPITULO III

DISEÑO, SIMULACION Y ANALISIS DE LA RED FRONTHAUL

En el diseño y simulación de la red fronthaul se procede mediante el software Optisystem (Optical communication system design software) es un paquete de simulación de sistemas de comunicaciones ópticas que permite diseñar, probar y optimizar prácticamente cualquier tipo de enlace óptico en la capa física de un amplio espectro de redes ópticas, desde sistemas analógicos de difusión de vídeo hasta redes troncales intercontinentales (Inc, 2025).

Optisystem posee un potente entorno de simulación y una definición verdaderamente jerárquica de componentes y sistemas. Sus capacidades pueden ampliarse fácilmente añadiendo componentes de usuario e interfaces sin fisuras con una serie de herramientas ampliamente utilizadas (Inc, 2025).

DISEÑO DE RED FRONTHAUL

En la red fronthaul se diseña en la parte de la OLT (Optical Line Terminal) con una red 50GPON, la red 50GPON está conformada por dos transmisores que trabajan a 25Gb/s que al final se juntan por medio de un multiplexor obteniendo en su salida una transmisión de 50 Gb/s correspondiente a la red, con el objetivo de tener una red de última generación y evaluar esta nueva tecnología para realizar la inmersión al mundo comercial, en el medio se procede a usar una fibra óptica G652.D en conjunto con un módulo de fibra óptica de compensación, un atenuador óptico para simular pérdidas presentes típicamente en una red de fibra óptica. Para ingresar en nuestra señal a RRH (Remote Radio Head), se usa una fibra óptica de 500 metros, en el RRH se usa un filtro óptico Gaussiano, todo esto esta detallado y se puede visualizar en la

figura 8.

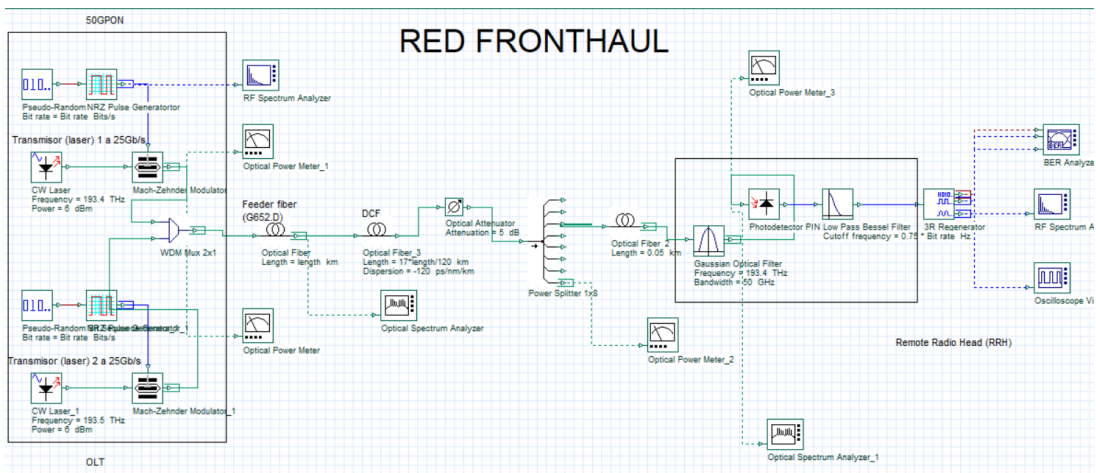


Figura 8 Red fronthaul 50GPON; Fuente: Optisystem.

SIMULACION DE LA RED FRONTHAUL

Para la simulación de la red se realiza toma de datos con diferentes longitudes de fibra óptica y atenuación el cual nos permita que en la potencia recibida en RRH sea un valor óptimo para la transferencia de la señal por medio de la fibra óptica.

En este caso se trabaja con longitudes de 5, 10 y 15 km de fibra óptica, en la parte atenuación se tiene valores desde los 0db hasta los 6db aproximadamente que la señal logra su estabilidad y potencia requerida para el buen desempeño de la red fronthaul.

RED FRONTHAUL 5 km

Para la medición con una longitud de 5 km, en ello se obtiene 7 toma de datos, se obtiene un BER estable con una atenuación de 5.5 dB, en esta medición tenemos una potencia recibida de -23.929 dBm.

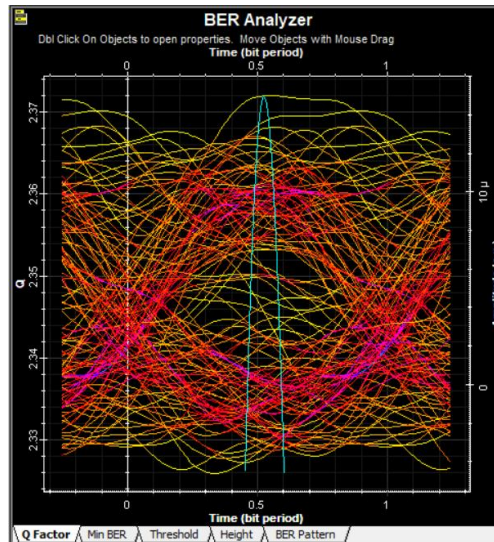


Figura 9 Diagrama del ojo de la señal recibida con una potencia de recepción de -23.929 dBm; Fuente: Optisystem

En la tabla 4 podemos observar todas las mediciones que se realizan en el programa de simulación, si se aumenta 1 dB en atenuación en potencia recibida obtendremos 1dBm se tiene una relación direccional, mientras que nuestro bit error rate (BER) va aumentando conforme la atenuación sube logrando una estabilidad a la toma de datos con 5.5 dB.

Tabla 4 Medición de red fronthaul a 5km de longitud

Potencia Recibida (dBm)	BER	Atenuación (dB)
-18,429	2,27E-14	0
-19,429	4,26E-10	1
-20,429	3,38E-07	2
-21,429	2,96E-05	3
-22,429	5,81E-04	4
-23,429	4,24E-03	5
-23,929	8,84E-03	5,5

En la figura 10 tenemos una relación entre la potencia recibida y el BER, se observa la tendencia, en el rango entre 4dB a 6dB se observa que la señal logra una estabilización y se obtiene un mejor rendimiento.

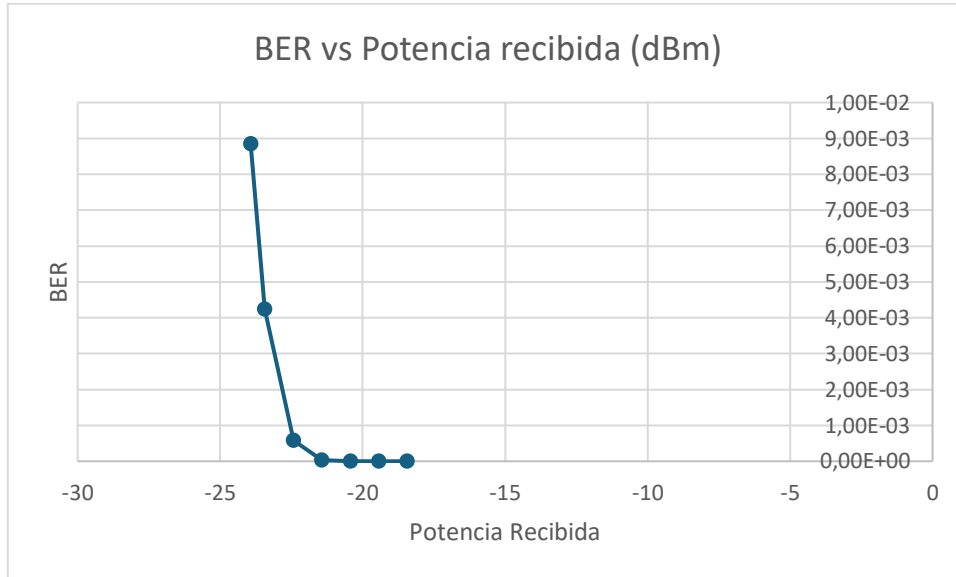


Figura 10 BER vs Potencia recibida en longitud de 5 km; Fuente: El Autor

En la figura 11 tenemos una relación entre la atenuación y el BER, se puede observar la tendencia que en el rango entre 4dB a 6dB ya se estabiliza la señal y se obtiene un mejor rendimiento.

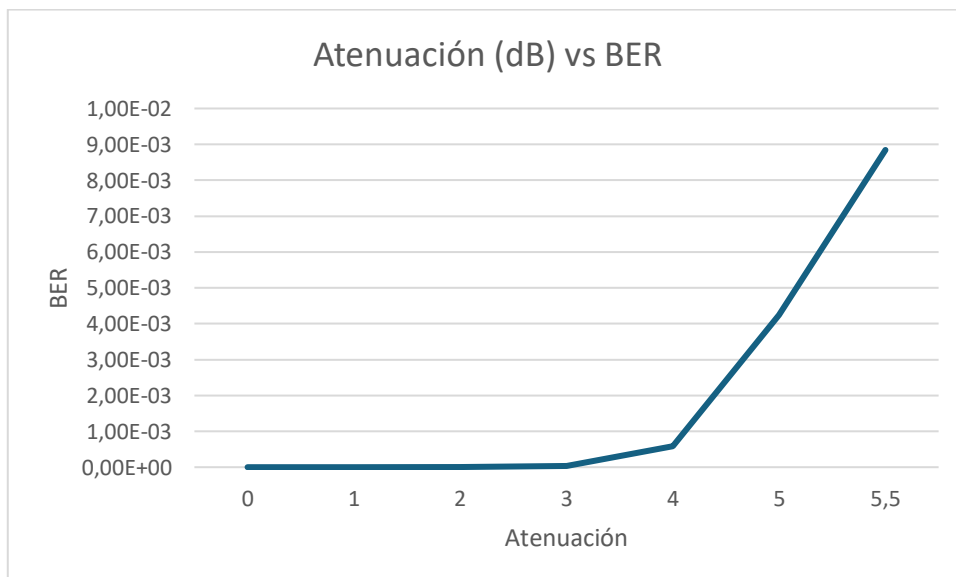


Figura 11 Atenuación vs BER en longitud de 5km; Fuente: El Autor

La señal que emite la red 50GPON, esta señal de entrada que se puede observar en la figura 12 con su espectro de frecuencias obtendremos en todo momento sin importar cual sea la longitud de trabajo siempre será la misma señal la cual trabaja a 193.5 THz y con una potencia de transmisión de 5.586 dBm.

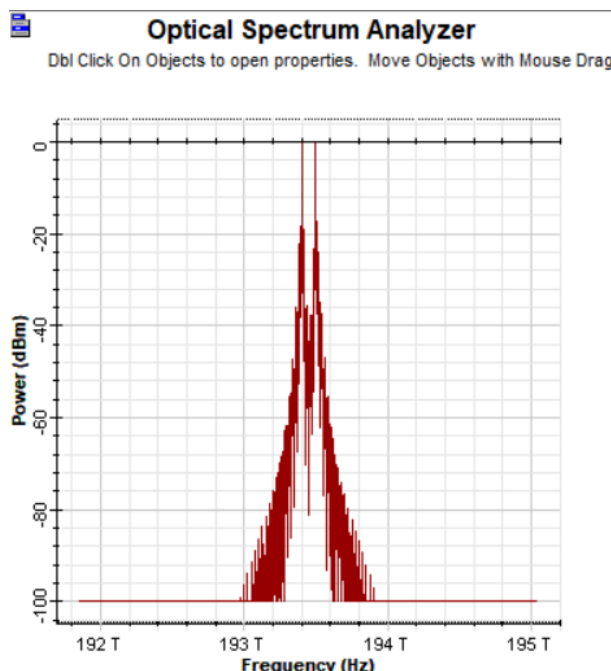


Figura 12 Espectro de frecuencias de la señal transmitida en la red 50 GPON; Fuente: Optisystem

Mientras que la señal que obtenemos en el sistema RRH se la puede visualizar en la figura 13 con su espectro de frecuencias, en esta figura se puede observar que con la atenuación de 5.5dB la interferencia al sistema es mínimo.

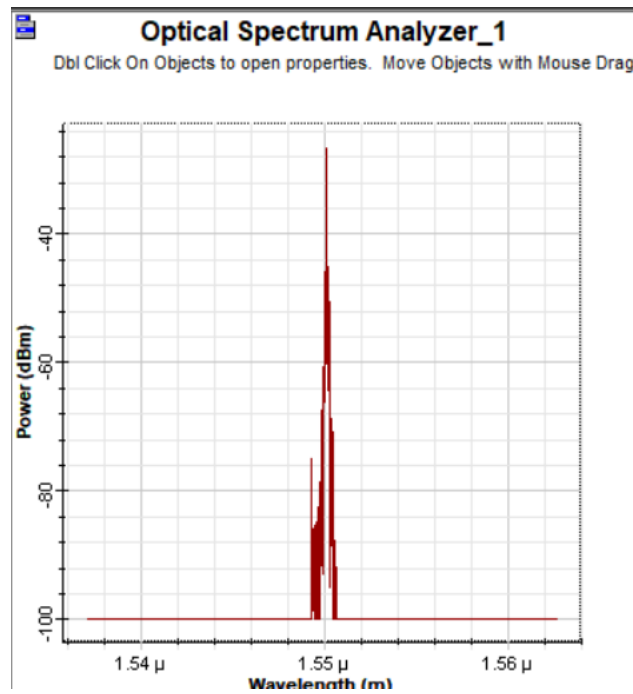


Figura 13 Espectro de frecuencias de la señal recibida en RRH con longitud de 5 km; Fuente: Optisystem

RED FRONTHAUL 10 km

Para la medición con una longitud de 10 km, en ello se obtiene 4 toma de datos, se obtiene un BER estable con una atenuación de 3 dB, en esta medición tenemos una potencia recibida de -22.741 dBm.

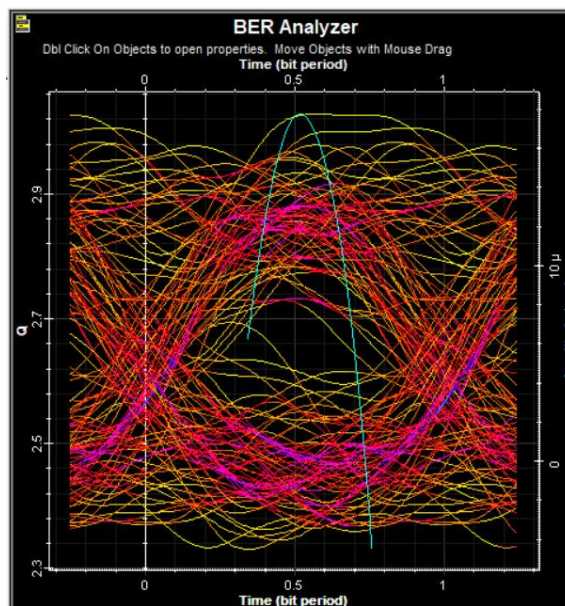


Figura 14 Diagrama del ojo de la señal recibida con una potencia de recepción de -22.741 dBm; Fuente: Optisystem

En la tabla 5 podemos observar todas las mediciones que se realizan en el programa de simulación, si se aumenta 1 dB en atenuación en potencia recibida obtendremos 1dBm se tiene una relación direccional, mientras que nuestro bit error rate (BER) va aumentando conforme la atenuación sube logrando una estabilidad a la toma de datos con 3 dB.

Tabla 5 Medición de red fronthaul a 10km de longitud

Potencia Recibida (dBm)	BER	Atenuación (dB)
-19,741	5,78E-09	0
-20,741	1,89E-06	1
-21,741	9,18E-05	2
-22,741	1,23E-03	3

En la figura 15 tenemos una relación entre la potencia recibida y el BER, se observa la tendencia, en el rango entre 2dB a 4dB se observa que la señal logra una estabilización y se obtiene un mejor rendimiento.

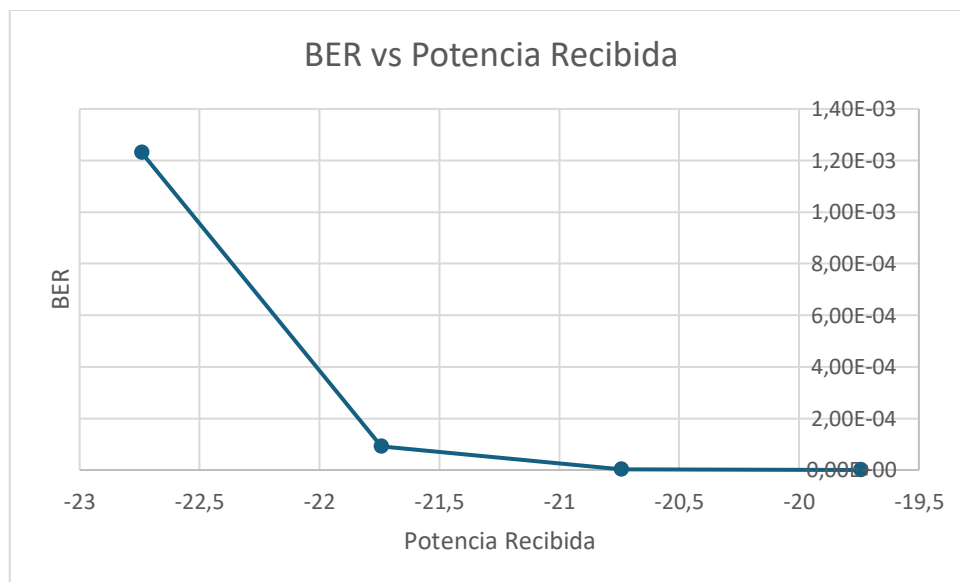


Figura 15 BER vs Potencia recibida en longitud de 10 km; Fuente: El Autor

En la figura 16 se tiene una relación entre la atenuación y el BER, se puede observar la tendencia que en el rango entre 2dB a 4dB ya se estabiliza la señal y se obtiene un mejor rendimiento.

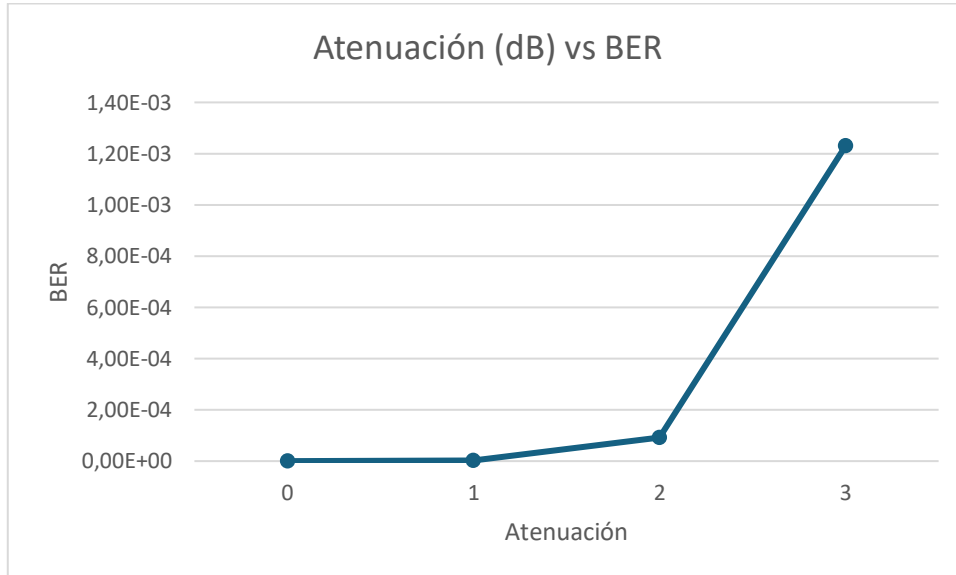


Figura 16 Atenuación vs BER en longitud de 10km; Fuente: El Autor

La señal que emite la red 50GPON, esta señal de entrada que se puede observar en la figura 17 con su espectro de frecuencias obtendremos en todo momento sin importar cual sea la longitud de trabajo siempre será la misma señal la cual trabaja a 193.5 THz y con una potencia de transmisión de 5.586 dBm.

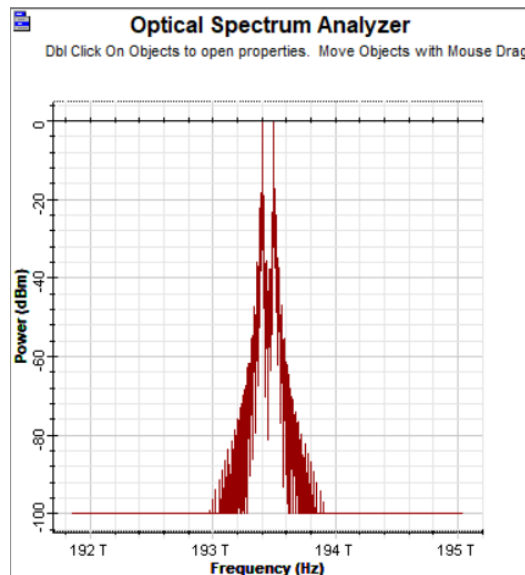


Figura 17 Espectro de frecuencias de la señal transmitida en la red 5G PON a la longitud de 10 km; Fuente: Optisystem

Mientras que la señal que obtenemos en el sistema RRH se la puede visualizar en la figura 18 con su espectro de frecuencias, en esta figura se puede observar que con la atenuación de 3dB la interferencia al sistema es mínimo.

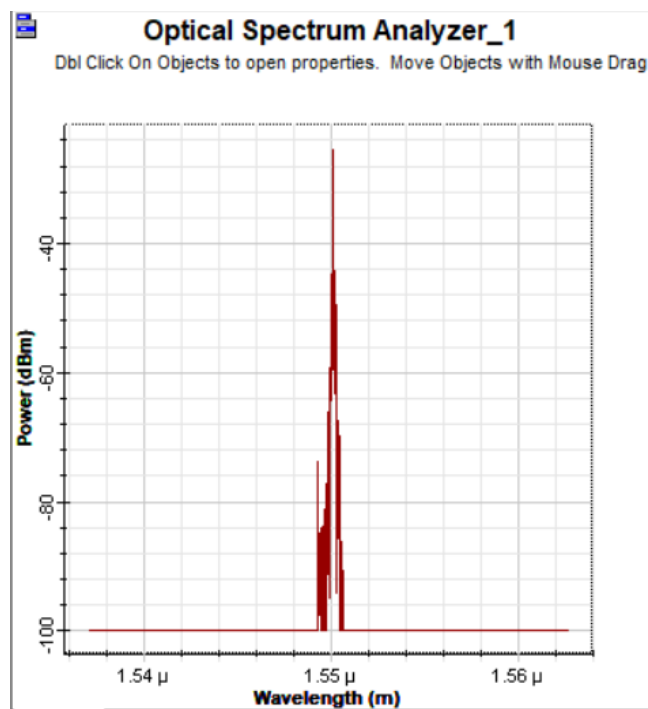


Figura 18 Espectro de frecuencias de la señal recibida en RRH con longitud de 10 km; Fuente: Optisystem

RED FRONTHAUL 15 km

Para la medición con una longitud de 15 km, en ello se obtiene 4 toma de datos, se obtiene un BER estable con una atenuación de 2.5 dB, en esta medición tenemos una potencia recibida de -23.553 dBm.

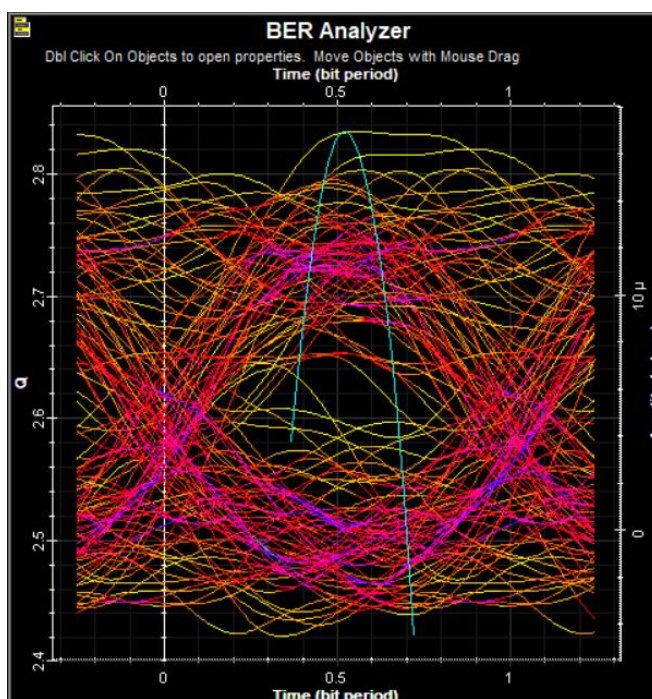


Figura 19 Diagrama del ojo de la señal recibida con una potencia de recepción de -23.553 dBm; Fuente: Optisystem

En la tabla 6 podemos observar todas las mediciones que se realizan en el programa de simulación, si se aumenta 1 dB en atenuación en potencia recibida obtendremos 1dBm de igual forma si se aumenta 0.5 dB en atenuación en potencia recibida se aumenta 0.5 dBm ya que se tiene una relación direccional, mientras que nuestro bit error rate (BER) va aumentando conforme la atenuación sube logrando una estabilidad a la toma de datos con 2.5 dB.

Tabla 6 Mediciones de la red fronthaul a 15 km de longitud

Potencia Recibida (dBm)	BER	Atenuación (dB)
-21,053	7,66E-06	0
-22,053	2,23E-04	1
-23,053	2,29E-03	2
-23.553	5.32E-03	2.5

En la figura 20 tenemos una relación entre la potencia recibida y el BER, se observa la tendencia, en el rango entre 0dB a 2.5dB se observa que la señal logra una estabilización y se obtiene un mejor rendimiento.

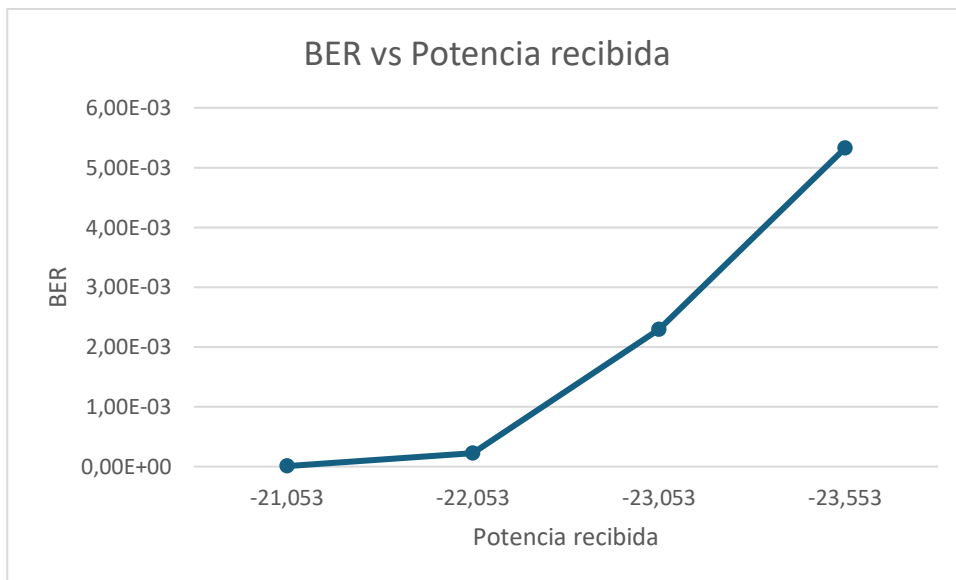


Figura 20 BER vs Potencia recibida en longitud de 10 km; Fuente: El Autor

En la figura 21 se tiene una relación entre la atenuación y el BER, se puede observar la tendencia que en el rango entre 0dB a 2.5dB ya se estabiliza la señal y se obtiene un mejor rendimiento.

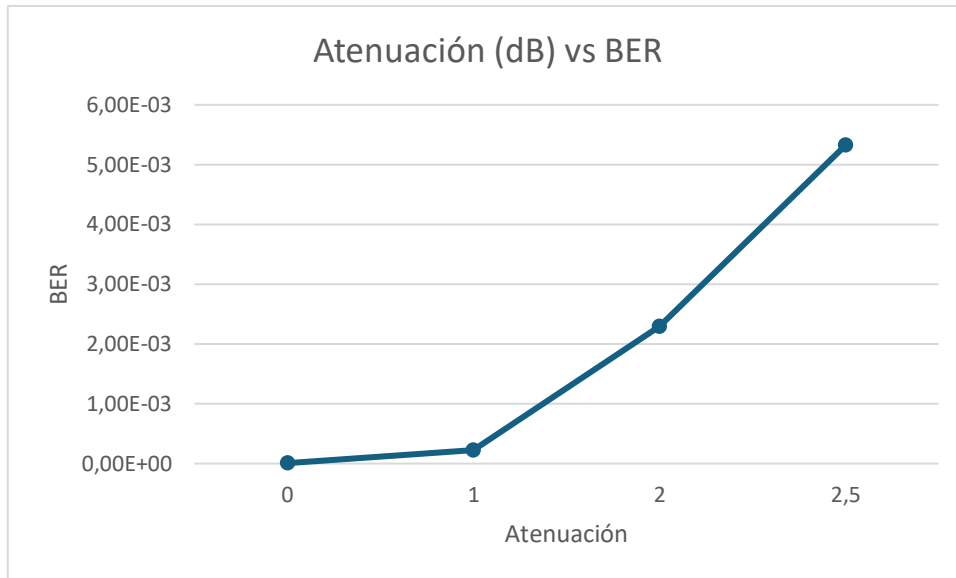


Figura 21 Atenuación vs BER en longitud de 15km; Fuente: El Autor

La señal que emite la red 50GPON, esta señal de entrada que se puede observar en la figura 22 con su espectro de frecuencias obtendremos en todo momento sin importar cual sea la longitud de trabajo siempre será la misma señal la cual trabaja a 193.5 THz y con una potencia de transmisión de 5.586 dBm.

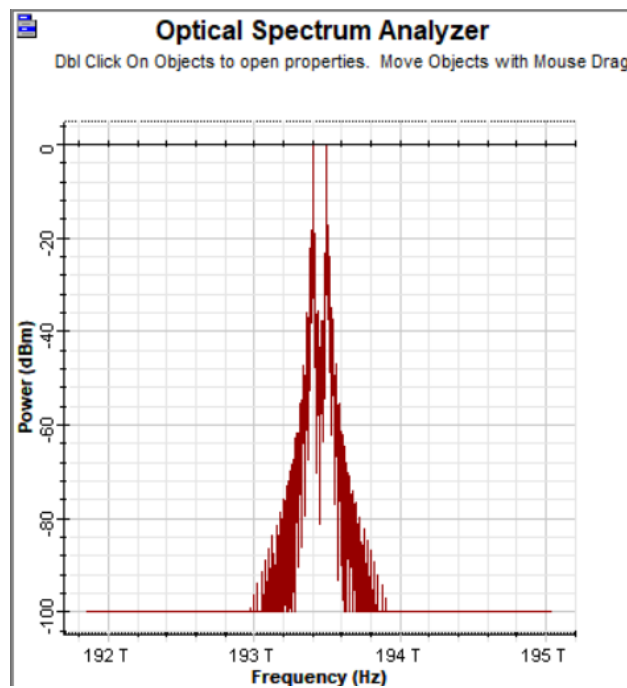


Figura 22 Espectro de frecuencias de la señal transmitida en la red 50GPON a la longitud de 15 km; Fuente: Optisystem

Mientras que la señal que obtenemos en el sistema RRH se la puede visualizar en la figura 23 con su espectro de frecuencias, en esta figura se puede observar que con la atenuación de 2.5dB la interferencia al sistema es mínimo.

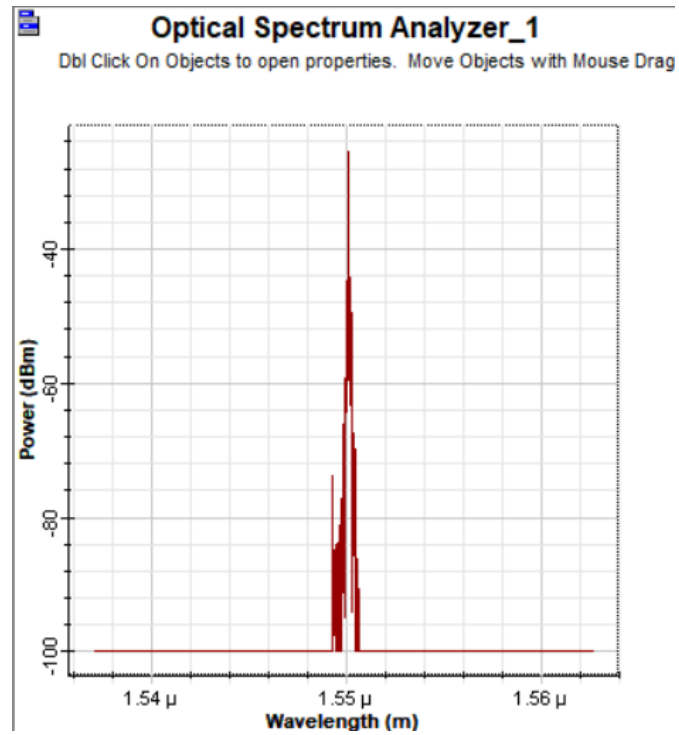


Figura 23 Espectro de frecuencias de la señal recibida en RRH con longitud de 15 km; Fuente: Optisystem

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESULTADOS

- La señal que se transmite tiene una frecuencia de trabajo de 193.5 THz y una potencia transmitida de 5.586 dBm, la cual no va a cambiar es un valor constante para la red, así cambie los valores de atenuación, longitud de fibra óptica. El valor de potencia que se transmite es el mismo.
- La señal recibida en RRH en todas las mediciones y longitudes son iguales con ello podemos evidenciar que si aumentamos la longitud de nuestra fibra óptica y se mejora la atenuación en nuestro atenuador óptico, tendremos siempre una señal sin interferencia externa la cual impida que la red fronthaul trabaje de una forma anómala.
- En las distintas señales recibidas en RRH, se observa que se tiene un pico que ronda los -20dBm y eso se puede corroborar con las tablas de mediciones las cuales se encuentran en esos valores de potencia recibida.
- Nuestra potencia recibida en las distintas mediciones, no tienen una interferencia extenuante para que pueda variar o desenfocar la señal transmitida esto debido a la red de compensación en el medio.

CONCLUSIONES

- La potencia de la señal transmitida (5.586 dBm) y su frecuencia (193.5 THz) se mantienen constantes independientemente de las variaciones en la atenuación o la longitud de la fibra óptica. Esto indica un diseño de red estable y predecible.
- La señal recibida en RRH permanece constante a pesar de los cambios en la longitud de la fibra y la atenuación del atenuador óptico. Esto sugiere que el sistema cuenta con una compensación efectiva de las pérdidas de señal, lo que garantiza una calidad de señal uniforme.

- Las mediciones muestran un pico de potencia recibida alrededor de -20 dBm, lo que se confirma con las tablas de medición. Esta estabilidad en el nivel de potencia recibida es crucial para el funcionamiento adecuado de la red fronthaul.
- La potencia recibida muestra una baja susceptibilidad a interferencias, lo que indica que la red de compensación en el medio está funcionando correctamente. Esto asegura que la señal transmitida no se distorsione ni se desenfoque.
- Al no existir interferencias externas que impidan que la red fronthaul trabaje de forma anómala, se evidencia que, al aumentar la longitud de la fibra óptica, y al mejorar la atenuación del atenuador, siempre se tendrá una señal sin interferencia externa.

REFERENCIAS

- Atico, G. (12 de Septiembre de 2024). *Características de la red 5G y ventajas de esta tecnología*. Obtenido de https://protecciondatos-lopd.com/empresas/tecnologia-5g/#Mayor_ancho_de_banda
- CABRERA, R. F. (2021). *ANALISIS Y ESTUDIO DE UN FRONTHAULING OPTICO PARA REDES 5G*. Quito.
- Cid, M. (29 de julio de 2018). *Para entender el 5G hay que entender el espectro radioeléctrico: qué es, qué usos tiene y quiénes pueden usarlo*. Obtenido de <https://www.xatakamovil.com/conectividad/para-entender-5g-hay-que-entender-espectro-radioelectrico-que-que-usos-tiene-quienes-pueden-usarlo>
- COMERCIO, E. (5 de septiembre de 2019). *COMERCIO*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/tecnologis-5g-obstaculo-implementacion-costos.html>
- EDWIN WELLINGTON MOREIRA SANTOS, Y. L. (2022). *PROPUESTA PARA LA ADOPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA 5G EN EL CANTÓN BOLÍVAR*. CALCETA.
- Fangbin, L. (22 de 11 de 2023). *ZTE: 50 GPON*. Obtenido de https://www-zte-com-cn.translate.goog/global/about/magazine/zte-technologies/2023/6-en/special-topic--turbocharging-fttx-network/6.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- HORA. (16 de enero de 2023). *¿Qué impide que Ecuador tenga tecnología 5G?* Obtenido de <https://www.lahora.com.ec/pais/que-impide-que-ecuador-tenga-tecnologia-5g/>
- HORA, L. (26 de agosto de 2024). *Una red comercial 5G podría comenzar a operar a finales de 2024 o en el primer trimestre de 2025 en Ecuador*. Obtenido de <https://www.lahora.com.ec/pais/una-red-comercial-5g-comenzar-operar-finales-2024-primer-trimestre-2025-ecuador/>
- HTF. (11 de enero de 2022). *Fronthaul 5G Con DWDM*. Obtenido de <https://www.fiber-optical-transceivers.com/info/5g-fronthaul-overview-with-dwdm-72013335.html>
- Inc, O. S. (17 de enero de 2025). *Mathworks*. Obtenido de https://www.mathworks.com/products/connections/product_detail/optisystem.html
- JORGE ENRIQUE GARCÍA CEVALLOS, R. A. (2017). *5G EN EL ECUADOR: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA*. Guayaquil.
- Martin, J. S. (2020). *Impacto en la productividad por el uso de tecnologías 5G en Ecuador*. Ecuador.
- Oportunidades y desafíos de la Tecnología 5G en Ecuador*. (24 de febrero de 2024). Obtenido de https://pulpo.ec/blog/tecnologia/oportunidades-y-desafios-de-la-tecnologia-5g-en-ecuador/?__im-PxHSjOzn=6897151029794960826
- Solutions, V. (2022). *Fibra óptica en redes 5G*. Obtenido de <https://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/fibra-optica-en-redes-5g.pdf>