



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR, MODALIDAD PRESENCIAL

TEMA:

“DISEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA NG-PON2 PARA LA EMPRESA
CIMTEL EN EL BARRIO MIRAVALLE”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Línea de investigación: Desarrollo, aplicación de software y cibersecurity (seguridad cibernética)

AUTOR:

Steven Alexander Fuertes Arteaga

DIRECTOR:

Ing. Marco Patricio Gordillo Pasquel, MSc.

Ibarra, julio 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004847511		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Fuertes Arteaga Steven Alexander		
DIRECCIÓN:	Isla Fernandina y el Oro		
EMAIL:	safuertes@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062-545564	TELF. MOVIL	0982997736

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“ DISEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA NG-PON2 PARA LA EMPRESA CIMTEL EN EL BARRIO MIRAVALLE “
AUTOR (ES):	Fuertes Arteaga Steven Alexander
FECHA: DD/MM/AAA	29/07/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Telecomunicaciones
DIRECTOR:	Ing. Marco Patricio Gordillo Pasquel, MSc.

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 30 días del mes de julio de 2024.

EL AUTOR:



Steven Alexander Fuertes Arteaga

CI: 1004847511

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, 30 de julio de 2024

MSc. Marco Patricio Gordillo Pasquel

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



Ing. Marco Gordillo Pasquel, MSc.

C.C.: 1002419156

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a mis padres, Flor y Franklin. Desde pequeño, siempre me han apoyado con sus enseñanzas y valores. Gracias por mostrarme, a través de su ejemplo diario, la importancia de la perseverancia y el esfuerzo. Sus sacrificios y su dedicación han sido fundamentales para mi crecimiento personal y académico. Sin su amor y apoyo incondicional, no habría llegado hasta aquí.

Papá, mamá, su amor y confianza me han dado la fuerza para superar cada desafío. Me han enseñado a luchar por mis sueños y a nunca rendirme, incluso cuando las cosas se ponen difíciles. Este logro es tanto suyo como mío, y quiero que sepan cuánto aprecio todo lo que han hecho por mí. Con esta tesis, les agradezco profundamente por su esfuerzo y dedicación, y por ser mi mayor fuente de inspiración.

Steven Fuertes Arteaga

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la salud y la vida, por ser mi guía constante y por darme la fortaleza necesaria para superar los desafíos y alcanzar esta meta.

A mi tutor de tesis, el Ing. Marco Gordillo, le expreso mi más sincero agradecimiento por su apoyo incondicional y su valiosa orientación. Su conocimiento y dedicación no solo han iluminado este proyecto, sino que también han dejado una huella profunda en mi formación académica y personal.

A mi asesor, el Ing. Jaime Michilena, le agradezco sinceramente por su disposición y colaboración en cada etapa del proyecto. Sus consejos y apoyo incondicional han sido cruciales para resolver cualquier inquietud y para el éxito de este trabajo. Su actitud siempre abierta y dispuesta a ayudar ha sido de gran valor.

A los docentes de la carrera quienes, con su pasión por la enseñanza y su dedicación, me han brindado los conocimientos y herramientas necesarios para crecer profesionalmente. Su compromiso han sido el cimiento sobre el cual he podido construir este proyecto.

Finalmente, a mis hermanos y amigos, les doy las gracias por su apoyo y aliento incondicional. Su presencia en mi vida ha sido un pilar de fuerza y motivación, y me han dado el coraje para seguir adelante en los momentos más difíciles. Cada uno de ustedes ha sido una parte importante en este viaje, y estoy profundamente agradecido por su compañía y apoyo.

Steven Fuertes Arteaga

ÍNDICE DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	II
CONSTANCIAS.....	III
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XX
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	1
1.1 Tema	1
1.2 Problema	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 General.....	2
1.3.2 Específicos	2
1.4 Alcance	3
1.5 Justificación	5
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Conceptos de la fibra óptica.....	8
2.1.1 Fibra Óptica	8
2.1.2 El Núcleo	9

2.1.3 El Revestimiento.....	9
2.1.4 El Recubrimiento	9
2.1.5 Tipos de Fibra Óptica.....	9
2.1.6 Tipos de redes Ópticas Pasivas PON	12
2.1.7 Tipos de redes Ópticas Pasivas PON	14
2.2 Tecnología NG-PON2	17
2.2.1 Arquitectura NG-PON2	19
2.2.2 Estándares para NG-PON2 UIT G.989.X.....	20
2.3 Plan de longitudes de onda para NG-PON2	23
2.3.1 Transmisión descendente	23
2.3.2 Transmisión ascendente	23
2.4 Migración a NG-PON2	24
2.5 Beneficios de NG-PON2.....	27
3. CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA RED CON TECNOLOGÍA NG-PON2 .29	
3.1 Fundamentos de red FTTH	29
3.1.1 Arquitectura de red FTTH	29
3.2 Elementos de una red FTTH.....	31
3.2.1 Elementos Activos	31
3.2.2 Red Elementos Pasivos	32
3.3 Demanda de clientes para el diseño	34

3.4 Aspectos importantes para el diseño	36
3.4.1 Ubicación de la red (Zona de Estudio)	36
3.4.2 Especificaciones de la tecnología NG-PON2	37
3.4.3 Niveles de Splitteo en NG-PON2 y Ancho de banda	38
3.4.4 Fibra óptica para el diseño	40
3.4.5 Ubicación de la OLT.....	43
3.5 Red Feeder	43
3.6 Red de Distribución	47
3.7 Red de Dispersión.....	55
3.8 Equipos necesarios para el diseño.....	56
3.8.1 Elementos Activos	56
3.8.2 Elementos Pasivos	70
3.7.2.7 <i>Cable Red Dispersión</i>	84
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	89
4.1 Presupuesto de pérdida óptica y potencia	89
4.1.1 Parámetros físicos de la ODN.....	89
4.1.2 Cálculo del presupuesto de potencia óptico.....	91
4.1.3 Cálculo de pérdida de potencia óptica	92
4.2 Simulación de la red.....	110
4.2.1 Software para la simulación.....	110

4.2.2 Red a simular	110
4.3 Potencia recibida para el cliente más lejano	118
4.4 Potencia recibida para el cliente más cercano.....	119
4.5 Comparativa de los resultados obtenidos.....	119
4.6 Presupuesto económico para la implementación de la red	121
4.7 Flujo de caja.....	121
4.7.1 Egresos del proyecto	122
4.7.2 Ingresos del proyecto	125
4.7.3 Egresos e ingresos totales	127
4.8 Valor Presente Neto (VPN)	128
4.9 Periodo de recuperación de inversión	130
4.10 Análisis final del VPN y del PRI	132
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
CONCLUSIONES	134
RECOMENDACIONES.....	136
BIBLIOGRAFÍA	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Elementos de la fibra óptica: Núcleo, Revestimiento, Cubierta</i>	8
Figura 2 <i>Características de la fibra monomodo</i>	10
Figura 3 <i>Características de la fibra multimodo</i>	11
Figura 4 <i>Arquitectura de una red PON</i>	12
Figura 5 <i>Clasificación de las redes PON según la banda de longitud de onda de operación</i>	14
Figura 6 <i>Arquitectura del sistema NG-PON2 y características de alto nivel</i>	18
Figura 7 <i>Arquitectura de referencia Lógica NG-PON2</i>	20
Figura 8 <i>Arquitectura de referencia para la coexistencia de sistemas PON heredados y NG-PON2</i>	25
Figura 9 <i>Plan de longitudes de onda para la coexistencia entre sistemas PON heredados y NG-PON2</i>	26
Figura 10 <i>Arquitectura de red FTTH</i>	29
Figura 11 <i>Área delimitada en el barrio Miravalle para el diseño de la red de fibra óptica (Mapa Satélite)</i>	36
Figura 12 <i>Ubicación de la OLT (Terminal de Línea Óptica)</i>	43
Figura 13 <i>Red feeder con la distribución de cajas de primer nivel</i>	45
Figura 14 <i>Ubicación de la OLT</i>	46
Figura 15 <i>Ubicación de las cajas NAP de primer nivel</i>	46
Figura 16 <i>Red de distribución con cajas de primer y segundo nivel (Mapa Base)</i> ...	51
Figura 17 <i>Red de distribución con cajas de primer y segundo nivel (Mapa Satélite)</i>	52
Figura 18 <i>Ubicación de las cajas NAP de segundo Nivel</i>	52

Figura 19 <i>OLT Huawei SmartAX MA5800 X7</i>	58
Figura 20 <i>Transceptor óptico Hisense LTW2601-BC+</i>	59
Figura 21 <i>ONU Huawei OptiXstar P812E</i>	63
Figura 22 <i>Transceptor óptico Hisense LTW2601-BC+</i>	64
Figura 23 <i>HyOptic CWDM Mux/Demux</i>	67
Figura 24 <i>ODF DFOP1-24-SC12 para fibra óptica</i>	70
Figura 25 <i>Splitters Ópticos para cajas NAP de primer y segundo nivel</i>	74
Figura 26 <i>Caja NAP de Primer Nivel IP68</i>	74
Figura 27 <i>Caja NAP de Segundo Nivel IP65</i>	77
Figura 28 <i>Roseta óptica con Pigtail y conector SC-APC</i>	87
Figura 29 <i>Diagrama de elementos de la red FTTH (NG-PON2)</i>	93
Figura 30 <i>Primera Distancia del cliente más lejano en el barrio Miravalle entre el OLT y el cliente</i>	95
Figura 31 <i>Segunda Distancia del cliente más lejano en el barrio Miravalle entre el OLT y el cliente</i>	95
Figura 32 <i>Tercer Distancia del cliente más lejano en el barrio Miravalle entre el OLT y el cliente</i>	97
Figura 33 <i>Distancia del cliente más cercano en el barrio Miravalle entre el OLT y el cliente</i>	98
Figura 34 <i>Muestra el logo del software utilizado para la simulación</i>	110
Figura 35 <i>Simulación de la OLT NG-PON2</i>	111
Figura 36 <i>Muestra las frecuencias de salida de la OLT en el analizador de espectro</i>	113
Figura 37 <i>Simulación NAP de Primer Nivel</i>	114

Figura 38 <i>Simulación NAP de Segundo Nivel</i>	115
Figura 39 <i>Simulación de la ONT correspondiente al cliente.....</i>	115
Figura 40 <i>Diagrama de Arquitectura de la red NG-PON2</i>	116
Figura 41 <i>Medida de la potencia óptica en dBm en la salida del emisor óptico en la simulación</i>	117
Figura 42 <i>Resultados de la simulación - Potencia óptica del cliente lejano</i>	118
Figura 43 <i>Resultados de la simulación - Potencia óptica del cliente cercano</i>	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Plan de longitudes de onda NG-PON2</i>	24
Tabla 2 <i>Especificaciones de la tecnología NG-PON2 a considerar diseño de la red</i>	37
Tabla 3 <i>Ancho de Banda por cliente con la tecnología NG-PON2 (Primer Nivel de Splitter)</i>	39
Tabla 4 <i>Ancho de Banda por cliente con la tecnología NG-PON2 (Segundo Nivel de Splitter)</i>	40
Tabla 5 <i>Tipos de fibra para la red NG-PON2</i>	42
Tabla 6 <i>Comparativa de equipos OLTs disponibles para el diseño</i>	57
Tabla 7 <i>Características del transceptor óptico Hisense LTF627X SFP+</i>	60
Tabla 8 <i>Costos para la OLT de la red diseñada</i>	61
Tabla 9 <i>Comparativa de equipos ONT disponibles para el diseño</i>	62
Tabla 10 <i>Características y especificaciones ONT Huawei OptiXstar P812E</i>	65
Tabla 11 <i>Costos relacionados para la ONT/ONU</i>	66
Tabla 12 <i>Características y especificaciones del HyOptic CWDM Mux/Demux</i>	68
Tabla 13 <i>Costos para el equipo multiplexor</i>	69
Tabla 14 <i>Características y especificaciones del ODF DFOP1-24-SC12</i>	71
Tabla 15 <i>Costos para el ODF</i>	72
Tabla 16 <i>Especificaciones Caja NAP IP68</i>	75
Tabla 17 <i>Costos para la caja NAP de primer nivel</i>	75
Tabla 18 <i>Especificaciones Caja NAP IP65</i>	77
Tabla 19 <i>Costos para la caja NAP de segundo nivel</i>	78
Tabla 20 <i>Especificaciones fibra óptica red feeder</i>	80

Tabla 21	<i>Costo de la fibra óptica para la red feeder de la red diseñada</i>	81
Tabla 22	<i>Especificaciones fibra óptica red de distribución</i>	82
Tabla 23	<i>Costo de la fibra óptica para la red de distribución de la red diseñada</i>	83
Tabla 24	<i>Especificaciones fibra óptica red de dispersión</i>	85
Tabla 25	<i>Costo de la fibra óptica para la red de dispersión de la red diseñada</i>	86
Tabla 26	<i>Costo de la fibra óptica para la red de distribución de la red diseñada</i>	88
Tabla 27	<i>Clases de pérdida del trayecto óptico ODN (clases ODN)</i>	90
Tabla 28	<i>Rango de atenuación para empalmes de fibra óptica</i>	100
Tabla 29	<i>Grados de atenuación por conectores de Fibra Óptica</i>	102
Tabla 30	<i>Perdidas por inserción de los divisores ópticos</i>	104
Tabla 31	<i>Comparativa de Potencias Ópticas Teóricas y Simuladas en la Entrada del Receptor Óptico para Clientes Lejanos y Cercanos</i>	119
Tabla 32	<i>Egresos totales de equipos activos en la red NG-PON2</i>	122
Tabla 33	<i>Egresos totales de equipos pasivos en la red NG-PON2</i>	123
Tabla 34	<i>Egresos totales respecto al personal de técnicos operativos de la empresa</i>	124
Tabla 35	<i>Egresos totales con respecto a la movilización</i>	124
Tabla 36	<i>Egresos totales de operación y manteniendo de la red</i>	125
Tabla 37	<i>Ingresos totales por prestación de servicio</i>	126
Tabla 38	<i>Egresos e ingresos totales por año</i>	128

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1)	35
Ecuación (2)	38
Ecuación (3)	39
Ecuación (4)	45
Ecuación (5)	45
Ecuación (6)	48
Ecuación (7)	49
Ecuación (8)	49
Ecuación (9)	49
Ecuación (10)	49
Ecuación (11)	50
Ecuación (12)	50
Ecuación (13)	50
Ecuación (14)	50
Ecuación (15)	56
Ecuación (16)	92
Ecuación (17)	92
Ecuación (18)	99
Ecuación (19)	100
Ecuación (20)	101
Ecuación (21)	102
Ecuación (22)	103

Ecuación (23)	105
Ecuación (24)	106
Ecuación (25)	107
Ecuación (26)	107
Ecuación (27)	108
Ecuación (28)	108
Ecuación (29)	109
Ecuación (30)	109
Ecuación (31)	129
Ecuación (32)	130
Ecuación (33)	131
Ecuación (34)	131
Ecuación (35)	132
Ecuación (36)	132

RESUMEN

El presente trabajo titulado "Diseño de una red con tecnología NG-PON2 para la empresa CIMTEL en el barrio Miravalle" aborda la necesidad de actualizar y modernizar la infraestructura de telecomunicaciones de CIMTEL para satisfacer la creciente demanda de servicios de alta velocidad y fiabilidad. El objetivo principal es diseñar una red óptica pasiva de nueva generación (NG-PON2) que cumpla con las recomendaciones de la norma ITU-T G.989.2. Esta propuesta tiene como finalidad expandir y mejorar los servicios de CIMTEL en el barrio Miravalle, proporcionando una infraestructura optimizada que permita ofrecer un servicio más eficiente y de mayor calidad a sus habitantes.

La metodología adoptada incluye el diseño detallado de una red FTTH (Fiber To The Home) con una arquitectura en cascada, que facilita una distribución eficiente del ancho de banda y asegura una cobertura adecuada para todos los usuarios. Se llevó a cabo una selección minuciosa de componentes activos y pasivos, garantizando la incorporación de equipos y materiales que cumplan con los estándares de calidad y rendimiento requeridos para una red NG-PON2. Un análisis exhaustivo del presupuesto de potencia óptica fue esencial para evaluar las pérdidas ópticas a lo largo de la red, desde el OLT (Optical Line Terminal) hasta los usuarios finales.

El rendimiento de la red fue simulado utilizando el software OptiSystem, permitiendo la evaluación de diversos escenarios y condiciones operativas. Se consideraron las pérdidas ópticas para usuarios situados a distintas distancias de la OLT, lo que facilitó ajustes en el diseño para maximizar el rendimiento y la fiabilidad. Los resultados confirmaron que el diseño propuesto no

solo cumple con los requisitos técnicos, sino que también establece una base sólida para futuras expansiones y mejoras.

Además, se realizó un análisis de viabilidad económica mediante un estudio de flujo de caja, que corroboró la rentabilidad del proyecto y la obtención de beneficios para CIMTEL. Este análisis asegura que la inversión en la red NG-PON2 es económicamente viable y favorable a largo plazo.

En conclusión, el diseño y la evaluación de la red NG-PON2 para CIMTEL en el barrio Miravalle representan una solución moderna y eficaz para los desafíos actuales en telecomunicaciones en la región. La implementación de esta red permitirá a CIMTEL ofrecer servicios de alta calidad a sus usuarios finales, con una infraestructura preparada para enfrentar futuros avances y demandas en el ámbito de las telecomunicaciones.

Palabras clave: NG-PON2, FTTH, arquitectura en cascada, diseño de red, potencia óptica, simulación OptiSystem, viabilidad económica.

ABSTRACT

The present work titled "Design of a network with NG-PON2 technology for the CIMTEL company in the Miravalle neighborhood" focuses on the need to update and modernize CIMTEL's telecommunications infrastructure to meet the growing demand for high-speed and reliable services. The primary objective is to design a next-generation passive optical network (NG-PON2) in accordance with ITU-T G.989.2 recommendations. This design aims to expand and enhance CIMTEL's services in the Miravalle neighborhood, providing an optimized infrastructure that enables more efficient and higher-quality service for its residents.

The adopted methodology includes a detailed design of a Fiber To The Home (FTTH) network with a cascading architecture, which facilitates efficient bandwidth distribution and ensures adequate coverage for all users. A thorough selection of both active and passive components was carried out, ensuring that the equipment and materials meet the required quality and performance standards for an NG-PON2 network. An in-depth optical power budget analysis was essential to assess optical losses throughout the network, from the Optical Line Terminal (OLT) to end-users.

The network's performance was simulated using OptiSystem software, allowing the evaluation of various scenarios and operating conditions. Optical losses for users at different distances from the OLT were considered, enabling design adjustments to maximize performance and reliability. The results confirmed that the proposed design not only meets technical requirements but also provides a robust foundation for future expansions and improvements.

Additionally, an economic viability analysis was conducted through a cash flow study, which confirmed the project's profitability and the potential for financial gains for CIMTEL. This

analysis ensures that the investment in the NG-PON2 network is economically viable and beneficial in the long term.

In conclusion, the design and evaluation of the NG-PON2 network for CIMTEL in the Miravalle neighborhood offer a modern and effective solution to current telecommunications challenges in the area. The implementation of this network will enable CIMTEL to deliver high-quality services to its end-users, with an infrastructure prepared to address future advancements and demands in the field of telecommunications.

Keywords: NG-PON2, FTTH, cascading architecture, network design, optical power budget, OptiSystem simulation, economic viability.

LISTA DE SIGLAS

En este documento se usan las siguientes abreviaturas/siglas:

NG-PON2: Next Generation Passive Optical Network 2

OLT: Optical Line Terminal

ONT: Optical Network Terminal

ODN: Optical Distribution Network

WDM: Wavelength Division Multiplexing

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing

TDM: Time Division Multiplexing

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

TWDM: Time Wavelength Division Multiplexing

CT: Channel Terminal

WM: Wavelength Multiplexer

CG: Channel Group

P2P: Point to Point

PLOAM: Performance Linking Operational Administration and Maintenance

CEx: Coexistence Element

FTTH: Fiber to the Home

FDH: Fiber Distribution Hub

NAP: Network Access Point

1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

En este capítulo se presentan las generalidades principales del proyecto. Se aborda el planteamiento del problema, se define el objetivo general y los objetivos específicos a desarrollar, se establece el alcance y se justifica el trabajo de titulación.

1.1 Tema

DISEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA NG-PON2 PARA LA EMPRESA CIMTEL EN EL BARRIO MIRAVALLE.

1.2 Problema

La empresa CIMTEL es un proveedor de servicios de internet ubicado en la provincia de Imbabura (cantón Ibarra) brinda servicios a la comunidad en el norte del país para las provincias de Imbabura y Carchi cubriendo zonas urbanas y rurales siempre garantizando el compromiso con el usuario.

El barrio Miravalle es un sector urbano en la ciudad de Ibarra, ubicado en una zona demográfica de constante crecimiento en los últimos años, según (INEC, 2022) En el barrio Miravalle, el número de habitantes aumentó. En el censo del 2010, el barrio tenía una población de 11.480 personas. En el censo del 2022, esa cifra aumentó a 13.955 personas, lo que representa un crecimiento del 22,2%, por tanto, ha generado una demanda creciente de servicios de telecomunicaciones debido al aumento de usuarios y ancho de banda para transmitir video de alta resolución y aplicaciones en tiempo real. Según (Cope, 2021) con el aumento de popularidad del contenido de alta resolución, como videos en 4K y 8K, así como el uso de aplicaciones de realidad virtual y realidad aumentada, ha generado una mayor demanda de ancho de banda por parte de los usuarios comparado hace 10 años. Los servicios de Internet actuales de CIMTEL en

el barrio Miravalle ofrecen planes de 10 Mbps de forma inalámbrica y unos pocos clientes con fibra óptica con planes de 20 Mbps. Sin embargo, no pueden satisfacer las necesidades de los clientes en esta era de contenido de alta resolución.

Según lo analizado la empresa CIMTEL no tiene la capacidad necesaria para cubrir la demanda de contenido de alta resolución comúnmente utilizados en tecnologías emergentes, por tanto, las demandas actuales y futuras por parte de los usuarios requieren que CIMTEL incremente la capacidad para satisfacer la calidad de los servicios de internet. Para cubrir esta demanda la empresa CIMTEL necesita actualizar su actual infraestructura y así expandirse en el sector del barrio Miravalle que en la actualidad la mayoría de los usuarios utilizan el medio inalámbrico en frecuencias de banda libre (ISM). Una alternativa escalable que cumple con los requerimientos de las demandas de capacidad que satisfagan los servicios con contenido en alta resolución y streaming es la fibra óptica y en el caso específico de la red de acceso o última milla la tecnología NG-PON2 se presenta como una solución viable que ofrece altas velocidades de conexión según la expectativa de los requerimientos.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Realizar el diseño de una red NG-PON2 personalizada para la empresa CIMTEL en el barrio Miravalle que satisfagan los requerimientos de capacidad para reproducir contenido de alta resolución, realidad virtual, realidad aumentada y aplicaciones en tiempo real.

1.3.2 Específicos

- Analizar información sobre la recomendación ITU-T G989 para comprender su funcionamiento orientado a redes de fibra óptica hacia el hogar (FTTH) y su coexistencia con tecnologías predecesoras.
- Desarrollar un diseño de una red con tecnología NG-PON2 específicamente adaptada a las necesidades de la empresa CIMTEL en la zona urbana de alto crecimiento, considerando la topología de la red, la capacidad de escalabilidad y la coexistencia con tecnologías existentes.
- Realizar pruebas de la red diseñada mediante software de simulación.
- Analizar los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas de la red.

1.4 Alcance

El presente proyecto tiene como finalidad realizar una propuesta de diseño de una red de fibra óptica (FTTH) con tecnología NG-PON2 para la empresa CIMTEL en el barrio Miravalle, para lo cual se seguirá la metodología en cascada dividiendo el trabajo en 4 fases secuenciales para cumplir su total desarrollo.

1. Fase de Investigación (Análisis):

En esta fase inicial, el proyecto se concentrará en llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre la tecnología de red óptica pasiva de próxima generación en su segunda versión (NG-PON2). El objetivo principal es comprender a la tecnología, incluyendo sus estándares de referencia como el ITU-T G.989 y sus versiones G.989.2 y G.989.3, su estructura y ventajas. Además, se analizarán las necesidades con un enfoque en el barrio Miravalle. Esto implica considerar el crecimiento demográfico en la zona (datos del INEC) y la creciente demanda de servicios de Internet, así como la infraestructura actual de la empresa CIMTEL (datos de la empresa) en el barrio Miravalle de la ciudad de Ibarra.

2. Fase de Diseño:

En la fase de diseño, una vez se conoce la teoría de la tecnología, el proyecto se enfocará en el diseño específico de la red NG-PON2 para satisfacer las necesidades de la empresa CIMTEL en el Barrio Miravalle. Se desarrollará un diseño detallado que incluirá la topología de la red, la selección de componentes y la consideración de la escalabilidad para adaptarse al crecimiento demográfico. El diseño también tendrá en cuenta la coexistencia con tecnologías preexistentes en el barrio Miravalle lo que asegurará una migración eficiente a la nueva tecnología NG-PON2.

3. Fase de Pruebas:

En esta fase, una vez se obtiene el diseño de la red, se realizará a través de una demostración experimental mediante el uso de software de simulación, como es orientado a redes (FTTH) se destacará su arquitectura en cascada con dos niveles de splitters, dividida en tres partes esenciales: Red Feeder, Red de Distribución y Red de Dispersión. Esta configuración específica permite optimizar el rendimiento y la eficiencia de la red, asegurando una distribución efectiva de la señal a través de los niveles correspondientes. Se considerarán límites de diseño y características específicas de la red en el barrio Miravalle.

4. Fase de Resultados:

En la fase de resultados, se indicará los resultados obtenidos y la influencia de factores cruciales, tales como la potencia de transmisión, la longitud del enlace óptico y la separación entre canales en un sistema NG-PON2. La diversidad de estos resultados refleja la sensibilidad de la red a condiciones variables y ofrece una comprensión detallada de su rendimiento bajo distintas configuraciones.

Adicional, se realizará un presupuesto para una posible implementación y determinar la factibilidad del proyecto con un análisis financiero con indicadores de rentabilidad. Finalmente, el proyecto culminará con conclusiones y recomendaciones además de las lecciones aprendidas.

1.5 Justificación

CIMTEL tiene la visión estratégica de ser un líder destacado en el sector de las telecomunicaciones en el país, se propone proporcionar a los usuarios velocidades de Internet excepcionales, superando las expectativas y satisfaciendo las crecientes demandas de aplicaciones y servicios de alta intensidad de ancho de banda. Este enfoque no solo busca elevar la satisfacción del cliente, sino también fortalecer la retención a largo plazo al ofrecer servicios de Internet más confiables y avanzados tecnológicamente.

Como organización empresarial modelo en el sector de las telecomunicaciones, CIMTEL aspira a destacarse por sus altos niveles de efectividad y calidad. Conformada por un equipo apasionado por el servicio y comprometido con el respeto a los clientes, la empresa busca generar una experiencia integral que trascienda las expectativas convencionales. Esta orientación hacia la excelencia no solo mejora la percepción de CIMTEL en el mercado, sino que también contribuye a consolidar una reputación basada en la confiabilidad y la innovación (CIMTEL, 2021).

En la era digital actual, el acceso a servicios de Internet de alta calidad es esencial para la vida cotidiana, la educación, el trabajo y el entretenimiento del usuario. Según un informe de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, 2022), el aumento del consumo de video, la expansión de las aplicaciones de realidad aumentada y virtual, y el desarrollo de la Internet de las Cosas (IoT) están impulsando la demanda de ancho de banda, entonces se requiere una infraestructura de red avanzada que pueda ofrecer velocidades y capacidad de transmisión

excepcionales. La Arcotel ha desarrollado un plan de desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones para Ecuador. Este plan tiene como objetivo aumentar la cobertura y la capacidad de las redes de telecomunicaciones en el país. En el marco de este plan, la Arcotel ha otorgado licencias a varios operadores de telecomunicaciones para la construcción de redes de fibra óptica en todo el país. Estas redes de fibra óptica proporcionarán el ancho de banda necesario para satisfacer la creciente demanda de servicios de Internet de alta calidad. Según las proyecciones de la Arcotel, el número de usuarios de Internet en Ecuador alcanzará los 10 millones en 2025. Para satisfacer esta demanda, la Arcotel estima que se necesitarán inversiones por valor de \$1.000 millones en infraestructura de telecomunicaciones en los próximos años (ARCOTEL, 2022).

Entonces para que CIMTEL sea competitivo en el mercado de servicios de Internet, es fundamental adaptarse a las necesidades cambiantes de los usuarios y ofrecer servicios de alta calidad. Por lo tanto, la actualización de la infraestructura tecnológica y la implementación de NG-PON2 se presentan como una alternativa escalable para mantener la competitividad y la sostenibilidad de la empresa CIMTEL en el largo plazo.

La adopción de NG-PON2 representa una innovación tecnológica en el campo de las telecomunicaciones. Esta tecnología ofrece capacidades avanzadas de transmisión de datos, resistencia a interferencias y la posibilidad de coexistir con tecnologías predecesoras, lo que la convierte en una elección estratégica para la empresa CIMTEL. Al abordar la problemática de la calidad de los servicios de Internet en una ubicación específica y proponer soluciones mediante NG-PON2, este proyecto no solo beneficiará al proveedor de servicios en cuestión, sino que también contribuirá al avance del conocimiento en el campo de las redes de acceso óptico. La

experiencia y resultados obtenidos pueden servir como referencia para otros proyectos similares y fomentar el desarrollo de infraestructuras de red más avanzadas a nivel nacional.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se explica los conceptos básicos fundamentales sobre la fibra óptica, proporcionando una comprensión sólida de los principios y características esenciales de esta tecnología de transmisión de datos. Posteriormente, se explorará en detalle la tecnología NG-PON2, abordando sus aspectos clave conforme a la recomendación ITU-T G.989 y otros estándares relevantes. Esta revisión permitirá al lector adquirir un conocimiento profundo sobre los fundamentos de NG-PON2, incluyendo su estructura, beneficios, así como las arquitecturas de coexistencia con tecnologías predecesoras.

2.1 Conceptos de la fibra óptica

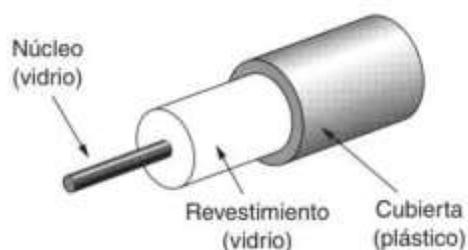
En este apartado, se especifica la fibra óptica, un medio de transmisión crucial en las redes de comunicación modernas.

2.1.1 Fibra Óptica

La fibra óptica se constituye de hilos flexibles de vidrio o plástico, a través de los cuales se transmite información mediante pulsos de luz. La clave de su eficacia radica en la habilidad de transmitir señales a través de largas distancias con mínima pérdida de intensidad.(Castillo, 2019). Para comprender su funcionamiento se indica en la Figura 1 los elementos fundamentales.

Figura 1

Elementos de la fibra óptica: Núcleo, Revestimiento, Cubierta



Fuente: (Ordoñez Adrián, 2015)

2.1.2 El Núcleo

El núcleo, componente central de la fibra, facilita la transmisión de la luz. Su composición, ya sea de vidrio o plástico, y su diámetro son factores determinantes en la velocidad y capacidad de transmisión de datos. En el contexto de NG-PON2, la elección del tipo de núcleo es crucial para optimizar el rendimiento de la red.

2.1.3 El Revestimiento

El revestimiento, también conocido como *cladding*, rodea el núcleo y posee propiedades reflectantes. Su función primordial es prevenir la pérdida de luz al mantenerla confinada dentro del núcleo. Este componente es esencial para garantizar la eficiencia de la transmisión a largas distancias, un aspecto vital en las redes ópticas de alta velocidad como NG-PON2.

2.1.4 El Recubrimiento

El recubrimiento exterior provee una capa protectora a la fibra, ofreciendo resistencia contra daños físicos y ambientales. Este componente asegura la integridad física de la fibra óptica, siendo especialmente relevante en aplicaciones exteriores y entornos desafiantes.

2.1.5 Tipos de Fibra Óptica

En la clasificación de la fibra óptica, se destacan dos tipos principales: monomodo y multimodo. La elección entre ellos depende de las necesidades específicas de la red y su implementación. (Vargas, n.d.)

2.1.5.1 Fibra Monomodo

Se distingue por su potencial para el transporte eficiente de información, con un extenso ancho banda de alrededor de 100 GHz/km. Aunque ofrece flujos considerables, su implementación se torna más compleja. La designación "monomodo" se origina en su capacidad para transmitir únicamente los rayos que siguen la trayectoria central de la fibra. Su diámetro de núcleo, aproximadamente de 5 a 8 μm , se mantiene en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transporta. Existen variantes, como las fibras monomodo de índice escalonado, donde el material del núcleo presenta un índice de refracción notoriamente diferente al de la cubierta. Aunque estas fibras ofrecen flujos elevados, gestionarlas delicadamente y superar las dificultades de conexión aún representa un desafío, ver Figura 2.

Figura 2

Características de la fibra monomodo



Fuente: (Vargas, n.d.)

2.1.5.2 Fibra Multimodo

Permite la circulación de haces de luz por más de un modo o camino, admitiendo más de mil modos de propagación de luz. Este tipo de fibra encuentra su aplicación comúnmente en distancias cortas, generalmente inferiores a 1 km, destacándose por su diseño sencillo y coste económico. Su alcance máximo se sitúa alrededor de los 2 km, utilizando diodos láser de baja intensidad. El núcleo de una fibra multimodo presenta un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud que el revestimiento. Gracias a su mayor dimensión de núcleo, la fibra multimodo facilita la conexión y muestra una mayor tolerancia a componentes de menor precisión, ver Figura 3. (Vargas, n.d.)

Figura 3

Características de la fibra multimodo



Fuente: (Vargas, n.d.)

2.1.6 Tipos de redes Ópticas Pasivas PON

La Red Óptica Pasiva (PON) constituye una infraestructura de comunicación basada en fibra óptica, adoptando una topología punto a multipunto y haciendo uso de splitters ópticos para dirigir datos desde un solo punto de transmisión hacia diversos puntos finales de usuario. En el contexto de esta red, el término "pasiva" hace referencia a la carencia de alimentación eléctrica en la fibra y los componentes divisores y combinadores.

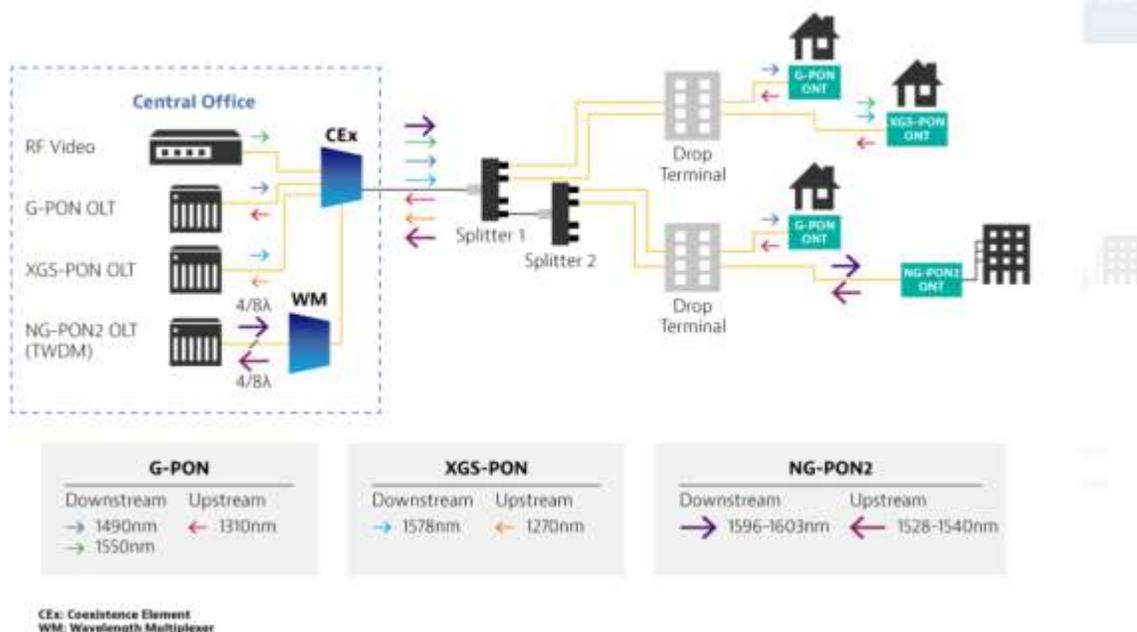
En contraste con una red óptica activa, donde se requiere suministro eléctrico en varios puntos, la PON solo demanda energía en los puntos de envío y recepción. Este enfoque contribuye significativamente a la eficiencia operativa, reduciendo los costos asociados. Las redes ópticas pasivas permiten la transmisión simultánea de señales en direcciones ascendente y descendente, conectando eficientemente los puntos finales de usuario.

2.1.6.1 Arquitectura de las Redes PON

Como se muestra en la Figura 4, la arquitectura de las redes PON se caracteriza por adoptar un enfoque punto a multipunto (P2MP), haciendo uso de splitters ópticos para la división de la señal descendente proveniente de un único Terminal de Línea Óptica (*OLT: Optical Line Terminal*) en diversas trayectorias descendentes que se dirigen hacia los usuarios finales en su terminal de red óptico (*ONT: Optical Network Terminal*). Posteriormente, estos mismos splitters consolidan las diversas rutas ascendentes provenientes de los usuarios finales hasta el OLT. (VIAVI, 2021)

Figura 4

Arquitectura de una red PON



Fuente: (VIAVI, 2021)

Esta elección de arquitectura punto a multipunto se fundamenta en sus ventajas inherentes, tales como el aprovechamiento compartido de la fibra óptica y una eficiencia eléctrica notablemente baja. La normalización de esta arquitectura tuvo lugar en 1998 mediante la especificación G.983.1 de ATM-PON, aunque en la actualidad, la norma G.984 del ITU-T para redes G-PON ha reemplazado la antigua norma ATM, dado que el modo de transferencia asíncrona (ATM) ha quedado obsoleto.

El punto de inicio de una red PON se sitúa en el Terminal de Línea Óptica (OLT) en la ubicación central del proveedor de servicios, comúnmente conocida como la oficina central o local, y a veces como cabecera. Desde aquí, el cable alimentador de fibra óptica, junto con la fibra de respaldo si se emplea, se dirige hacia un splitter pasivo. Las fibras de distribución conectan este splitter a un Terminal de Acometida, ubicado en diferentes puntos como distribuidores en la vía pública, alojamientos resistentes instalados en fosas,

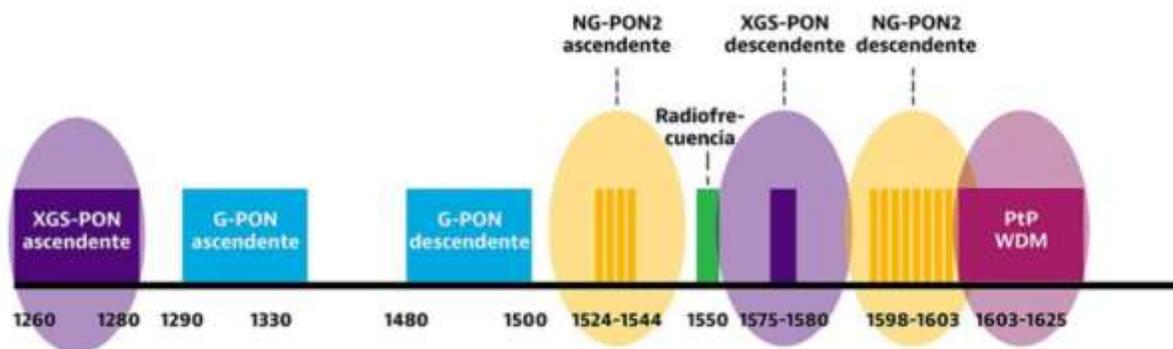
postes o incluso en áreas cercanas a edificios. Estas fibras de acometida establecen la conexión final, enlazando un puerto del Terminal de Acometida con un ONT del usuario final. En ciertos escenarios, se implementa una arquitectura de splitter en cascada, utilizando más de un splitter en serie.

2.1.7 Tipos de redes Ópticas Pasivas PON

Con la aparición en la década de los 90, la tecnología PON ha experimentado una evolución constante como se indica en la Figura 5 la cronología de tecnologías, dando lugar a distintas series de tecnologías en las redes PON. Sus estándares iniciales para las redes ópticas pasivas, APON y BPON, han ido cediendo gradualmente ante las ventajas de rendimiento general y capacidad de ancho de banda ofrecidas por las versiones más recientes. (VIAVI, 2021)

Figura 5

Clasificación de las redes PON según la banda de longitud de onda de operación



Fuente: (VIAVI, 2021)

2.1.7.1 APON (Redes ópticas Pasivas Avanzadas)

Las Redes Ópticas Pasivas Avanzadas, o APON, fueron los estándares originales de las redes ópticas pasivas que sentaron las bases para el desarrollo

ulterior de las tecnologías PON. Introducidas en la década de los 90, las redes APON empleaban una topología de punto a multipunto y utilizaban splitters ópticos para dirigir datos desde un único punto de transmisión hacia varios puntos finales de usuario. Este enfoque "pasivo" se caracteriza por la ausencia de alimentación eléctrica en la fibra y los componentes divisores y combinadores. A medida que evolucionaron las tecnologías, APON dejó paso progresivamente a nuevas generaciones de PON, como G-PON y sus sucesores, debido a las de banda. (VIAVI, 2021)

2.1.7.2 BPON (Redes ópticas Pasivas de Banda Ancha)

Otro de los estándares originales, conocido como Redes Ópticas Pasivas de Banda Ancha, o BPON, coexistió con APON en la fase inicial del desarrollo de las tecnologías PON. Al igual que APON, BPON utilizaba topología punto a multipunto y dispositivos como splitters ópticos para transmitir datos a múltiples usuarios. La designación "pasiva" hace referencia a la carencia de alimentación eléctrica sea de la fibra o de componentes divisores y combinadores. Sin embargo, a medida que surgieron tecnologías más avanzadas, como G-PON y sus variantes, BPON fue gradualmente reemplazado debido a las mejoras sustanciales en rendimiento y ancho de banda que ofrecían las nuevas generaciones de redes PON. (VIAVI, 2021)

2.1.7.3 G-PON (Redes PON con capacidad Gigabit)

Este tipo de red PON con capacidad Gigabit, o G-PON, son están bajo la referencia de la ITU-T y destacan por su flexibilidad en el manejo de diferentes tipos de tráfico, incluyendo aplicaciones Triple-Play para voz, Internet y

televisión. Para su funcionamiento como se indica en la figura 5, requiere de un canal de subida y uno de bajada a diferente longitud de onda. Utilizan protocolos basados en IP y emplean un método de encapsulación genérico capaz de empaquetar diversos tipos de datos, como IP, Ethernet y Voz sobre IP. Una red con tecnología G-PON se ha convertido en el estándar de facto, abarcando distancias de 20 a 40 km con fibra monomodo, utilizando longitudes de onda específicas y velocidades de transmisión de 2.4 Gbps para enlace de bajada y 1.2 Gbps para un enlace de subida.

2.1.7.4 EPON (Red PON Ethernet)

El estándar IEEE introduce la Red PON Ethernet, o E-PON, diseñada para ofrecer compatibilidad sin fisuras con dispositivos Ethernet. No requiere encapsulación adicional ni protocolos de conversión para conectarse a redes basadas en Ethernet. Con velocidades simétricas de hasta 1.25 Gbps en ambas direcciones, las redes E-PON cubren distancias de 20 a 40 km, utilizando longitudes de onda similares a las de G-PON. En 2020, se enmendó el estándar para admitir redes E-PON de 25 Gbps y 50 Gbps.

2.1.7.5 10G-EPON (Red PON Ethernet de 10 Gigabits)

El estándar 10G-EPON eleva las velocidades a 10 Gbps simétricos, utilizando longitudes de onda diferentes a las de E-PON. Operando con longitudes de onda específicas, permite la coexistencia con redes E-PON, facilitando actualizaciones de servicios y aumentos de capacidad en la misma red PON.

2.1.7.6 XG(S) PON (Redes PON de 10 Gigabits)

El tipo de red de 10 Gbps de la red G-PON, denominada XG-PON, soporta velocidades de descarga de hasta 10 Gbps y de subida de 2.5 Gbps.

Posteriormente, la actualización a XGS-PON mejora estas capacidades, ofreciendo 10 Gbps simétricos tanto en la subida como en la bajada. Aunque ambas tecnologías mantienen el mismo formato de datos y utilizan la misma fibra física que G-PON, incorporan modificaciones en las longitudes de onda para asegurar su coexistencia.

2.1.7.7 NG-PON2 (Red PON de Próxima Generación)

En la cúspide de la evolución, la red NG-PON2 utiliza multiplexación densa por longitud de onda (*DWDM: Dense Wave Length Division Multiplexing*) para ofrecer servicios simétricos de 40 Gbps. Como se muestra en la figura 5, NG-PON2 emplea diversas longitudes de onda para la transmisión bidireccional. Las redes NG-PON2 utilizan longitudes de onda distintas, permitiendo la coexistencia con G-PON y XG(S) PON en una misma red PON.

2.2 Tecnología NG-PON2

NG-PON2, o Red de Acceso Óptico de Próxima Generación 2, es una tecnología de red de fibra óptica que ofrece una capacidad de 40 Gbit/s al explotar múltiples longitudes de onda a un espaciado de canal de multiplexación por división densa de longitud de onda (DWDM) y tecnología de transceptor sintonizable en las terminales de abonado (ONT). Antes de su estandarización, se consideraron varias opciones tecnológicas, incluida la multiplexación por división de tiempo (*TDM: Time Division Multiplexing*), la multiplexación por división de longitud de onda (WDM), la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (*OFDM:*

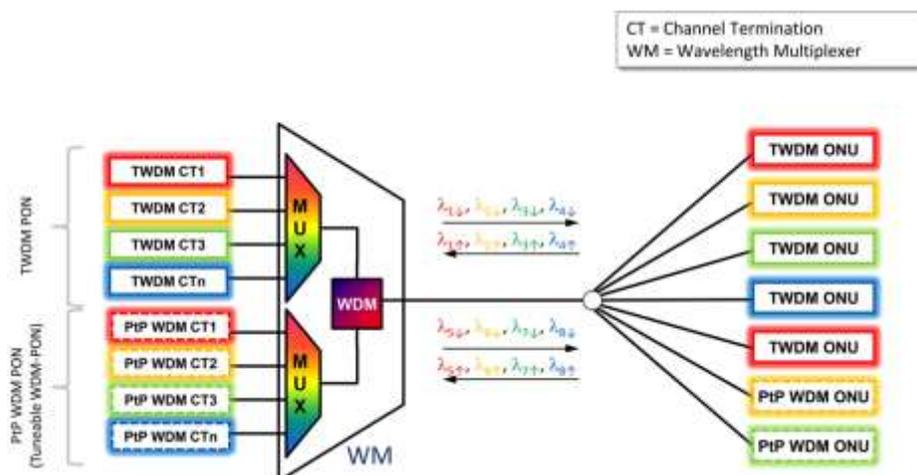
Orthogonal Frequency Division Multiplexing) y la multiplexación por división de tiempo y longitud de onda (TWDM). (Nesset, 2015)

Tras realizar un análisis y una comparación, se seleccionó TWDM-PON como la solución primaria para NG-PON2, con la adición opcional de canales superpuestos de multiplexación por división de longitud de onda punto a punto (PtP WDM) para ofrecer enlaces dedicados de alta capacidad y baja latencia para algunos servicios en la misma red que los servicios residenciales. (Nesset, 2015)

La Multiplexación por División de Tiempo y Longitud de Onda (*TWDM: Time Wave Length Division Multiplexing*) se posiciona como la solución principal para NG-PON2, dado que se muestra altamente compatible con las aplicaciones residenciales de gran volumen. La implementación base de TWDM-PON utiliza cuatro canales λ (longitud de onda) bidireccionales, espaciados con DWDM, cada uno con una tasa de línea de 10 Gbit/s en sentido descendente y 2.5 Gbit/s en sentido ascendente (ver Figura 6). Esto da como resultado una capacidad agregada de 40 Gbit/s en transmisión descendente y 10 Gbit/s en transmisión ascendente.

Figura 6

Arquitectura del sistema NG-PON2 y características de alto nivel



Fuente: (Neset, 2015)

Con este enfoque, se logra un extenso reúso de los desarrollos de XG-PON1, además de aprovechar el dominio de longitud de onda (λ) para permitir un incremento de la capacidad. Para facilitar las ONUs sin color, se requieren transmisores y receptores λ -sintonizables. Un desafío clave para TWDM-PON es realizar los componentes sintonizables subyacentes a bajo costo y controlar y gestionar precisamente el dominio de longitud de onda.

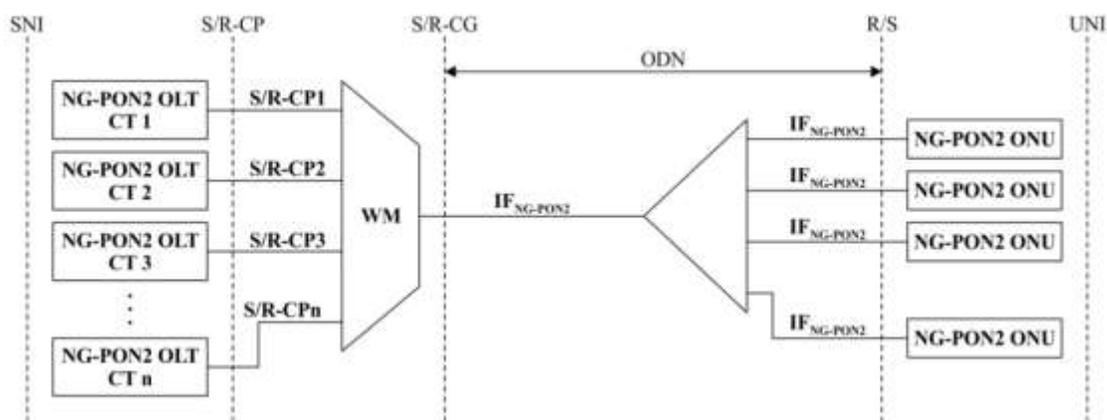
2.2.1 Arquitectura NG-PON2

La arquitectura lógica de NG-PON2 (ver Figura 7), como se describe en la Recomendación ITU-T G.989.1 (2013)/Amd.1 (08/2015), se representa mediante un sistema PON de longitud de onda múltiple, donde la OLT se conceptualiza con múltiples terminaciones de canal (CT: Channel Terminal) conectadas a través de un multiplexor de longitud de onda (WM: Wavelength Multiplexer). En este contexto, el punto de referencia S/R-CG indica la ubicación donde la OLT transmite y recibe conjuntos de pares de longitud de onda, conocidos como canales de grupo (CG: Channel Group), en las direcciones ascendentes y descendentes hacia y desde las ONUs. La infraestructura asociada a la Optical Distribution Network (ODN) se

extiende desde la salida del WM (punto de referencia S/R-CG) hasta la entrada de la Optical Network Unit (ONU) (punto de referencia R/S). Este diseño refleja la esencia conceptual de la OLT en NG-PON2, destacando la importancia de las terminaciones de canal junto con el multiplexor de longitud de onda para una eficiente transmisión de datos a través de la red óptica pasiva. (UIT-T, 2015)

Figura 7

Arquitectura de referencia Lógica NG-PON2



Fuente: (UIT-T, 2015b)

2.2.2 Estándares para NG-PON2 UIT G.989.X

El estándar ITU-T G.989, publicado en octubre de 2015, se refiere a las “Redes Ópticas Pasivas de 40 Gigabits (NG-PON2): Definiciones, Abreviaturas y Acrónimos”. Este estándar establece las definiciones comunes, acrónimos, abreviaturas y convenciones utilizadas en la serie de recomendaciones ITU-T G.989. Entre los temas abordados se encuentran conceptos de acceso óptico, puntos de referencia del sistema PON de múltiples longitudes de onda, parámetros de potencia óptica y pérdida, sensibilidad y sobrecarga, asignación de ancho de banda, entre otros. Además, define

términos como red PON, OLT, ONU, ONT, T-CONT, Alloc-ID, y otros relacionados con sistemas PON de próxima generación. El estándar también aborda aspectos técnicos como la tolerancia al *crossstalk*, la pérdida óptica en el camino, la penalización del camino óptico, entre otros. Este estándar es parte de las recomendaciones de la Serie G de la ITU-T, que se enfoca en sistemas de transmisión y medios digitales, y está destinado a estandarizar las telecomunicaciones a nivel mundial. (UIT-T, 2015b)

2.2.2.1 Recomendación UIT-T G.989.1

Detalla la guía de implementación de NG-PON2, proporcionando ejemplos específicos de servicios, interfaces de red de usuario (UNI) e interfaces de nodo de servicio (SNI) requeridos por los operadores de red. Se destaca su coherencia con las Recomendaciones de la serie ITU T G.987.x, asegurando la continuidad y compatibilidad con estándares previos. NG-PON2 se presenta como un sistema altamente versátil, con capacidades multiplexadas por división de tiempo y longitud de onda (TWDM), así como una capacidad punto a punto (P2P). Permite la implementación de varios estilos de Optical Line Terminal (OLT), como chasis único, múltiples chasis, tarjetas de línea integradas multicanales y tarjetas de línea enchufables con crecimiento progresivo.

En el contexto de las aplicaciones y servicios de la Optical Network Unit (ONU), NG-PON2 busca establecerse como una red de acceso de servicio completo, respaldando una diversidad considerable de ONU en una única PON. Esta versatilidad incluye el soporte para ONU heredadas como GPON y XG PON, así como ONU TWDM (con ráfaga sintonizable óptica de modo continuo) y P2P

ONU (con óptica de modo continuo sintonizable), convirtiéndolo en una solución integral para diversas implementaciones PON. (UIT-T, 2020)

2.2.2.2 Recomendación UIT-T G.989.2

Detalla los requisitos y especificaciones de la capa física para la capa PMD (Physical Media Dependent). Esta recomendación abarca sistemas con velocidades de línea nominales tanto de bajada como de subida, especificando el PMD diseñado para operar de manera bidireccional sobre un solo hilo de fibra óptica monomodo. Las longitudes de onda de bajada se encuentran en la banda L, mientras que las de subida están en la banda C. La recomendación establece una cuadrícula de canales en estas bandas, implementada físicamente en el dispositivo multiplexor de longitud de onda (WM), y define la red de distribución óptica (ODN: *Optical Distribution Network*) que comprende fibras, divisores y conectores ópticos pasivos. (UIT-T, 2021)

2.2.2.4 Recomendación UIT-T G.989.3

Se centra en el formato de trama y el método de control de acceso a los medios, incorporando funciones comunes presentes en generaciones anteriores de PON. Introduce nuevos mensajes (*PLOAM: Performance Linking Operational Administration and Maintenance*) para gestionar la configuración y operación del sistema multicanal, además de describir la compatibilidad con múltiples TWDM PON OLT compartiendo el mismo ODN. También presenta nuevas estrategias de protección de longitud de onda. Con respecto al comportamiento de la ONU, la recomendación proporciona detalles precisos, dejando aspectos específicos del comportamiento del Optical Line Terminal (OLT) al implementador. Este enfoque

facilita la prueba de conformidad de la ONU con las especificaciones, permitiendo la interoperabilidad de ONU de diferentes proveedores en una sola PON. Se respalda este proceso con programas de pruebas organizados por el Broadband Forum (BBF). (UIT-T, 2023)

2.3 Plan de longitudes de onda para NG-PON2

El plan de longitudes de onda para NG-PON2 se basa en la recomendación ITU-T G.989.2. Este plan define el uso de las longitudes de onda en el espectro óptico para los canales de transmisión descendente y ascendente en una red NG-PON2.

2.3.1 Transmisión descendente

La transmisión descendente en NG-PON2 utiliza longitudes de onda de 1550 nm para transportar datos a una velocidad de 10 Gbps por canal. El número de canales descendentes que se utilizan en una red NG-PON2 depende de la capacidad de la red. Una red NG-PON2 estándar utiliza cuatro canales descendentes, lo que proporciona un ancho de banda de 40 Gbps.

2.3.2 Transmisión ascendente

La transmisión ascendente en NG-PON2 utiliza longitudes de onda de 1490 nm para transportar datos a una velocidad de 1 Gbps por canal. El número de canales ascendentes que se utilizan en una red NG-PON2 depende de la capacidad de la red. Una red NG-PON2 estándar utiliza dos canales ascendentes, lo que proporciona un ancho de banda de 2 Gbps.

El plan de longitudes de onda de NG-PON2 permite la utilización de longitudes de onda adicionales para la transmisión descendente y ascendente. Esto puede utilizarse para aumentar la capacidad de la red o para proporcionar servicios específicos, como la transmisión de vídeo en 4K o 8K.

La tabla 1 muestra las longitudes de onda utilizadas por NG-PON2 para la transmisión de datos en sentido descendente y ascendente en las arquitecturas TWDM PON y PtP WDM PON. Estas longitudes de onda están diseñadas para permitir la coexistencia con sistemas PON existentes, como GPON, XG-PON y video RF.

Tabla 1

Plan de longitudes de onda NG-PON2

Sistemas	PON	TWDM PON		PtP WDM PON	
		Descendente	Ascendente	Ascendente/Descendente	
XG-PON, GPON y Video RF	1596 nm	1603 nm	Banda Ancha:	Espectro	Extendido:
			1524 nm – 1544 nm	1524 nm – 1625 nm	
			Banda Reducida:	Espectro Expandido:	
			1528 nm – 1540 nm	1603 nm - 1625 nm	
			Banda Estrecha:		
			1532 nm – 1540 nm		

Fuente: (Mario et al., 2018)

2.4 Migración a NG-PON2

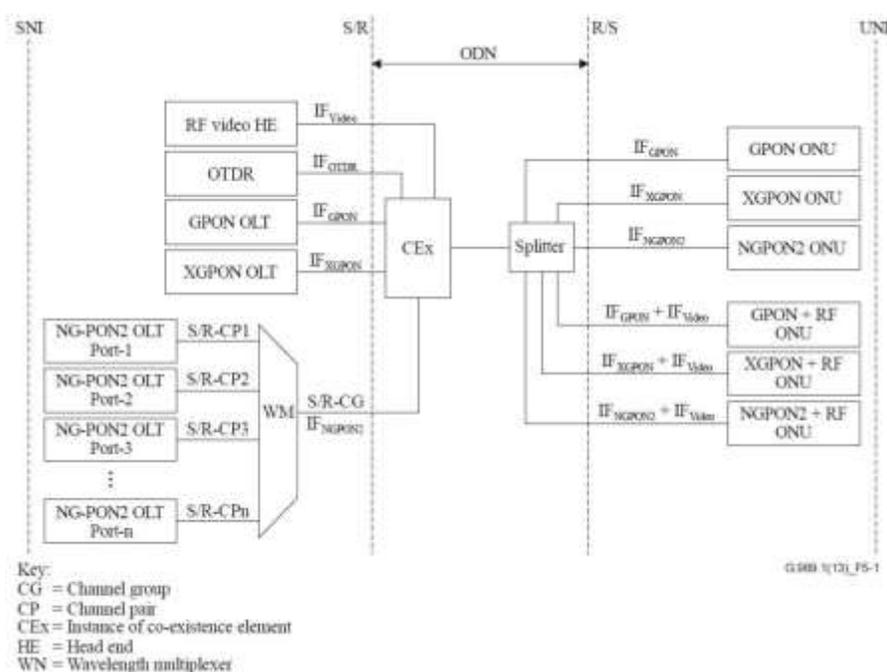
La migración hacia NG-PON2, se torna imperativa debido a la congestión experimentada por tecnologías establecidas como GPON, XG-PON y EPON frente a la creciente demanda de ancho de banda por parte de los usuarios de servicios de telecomunicaciones. Estas tecnologías, ampliamente desplegadas a nivel mundial, se ven limitadas en su capacidad, impulsando así la adopción de NG-PON2 como una solución más eficiente que ofrece mayor capacidad para atender a un mayor número de abonados. Sin embargo, para lograr una transición exitosa, NG-PON2 debe asegurar la continuidad operativa de la infraestructura heredada, especialmente en la

(ODN: *Optical Distribution Network*), garantizando una migración sin contratiempos tanto para los operadores del sistema como para los usuarios finales. La coexistencia armoniosa entre NG-PON2 y las tecnologías preexistentes se presenta como un requisito fundamental para asegurar una migración efectiva y eficiente en el panorama de las redes de acceso óptico.

Como NG-PON2, debe asegurar una coexistencia efectiva con los sistemas PON heredados para minimizar las interrupciones en el servicio al cliente. Esta coexistencia es esencial para que los clientes no experimenten cortes prolongados durante los cambios y reconfiguraciones del sistema. Para lograr una migración sin problemas, NG-PON2 debe reutilizar la infraestructura ODN existente y operar en el espectro no utilizado por otros estándares ópticos. La Figura 8 muestra una arquitectura de referencia que destaca los puntos de referencia S/R y R/S, consistentes con sistemas como GPON y XG-PON.

Figura 8

Arquitectura de referencia para la coexistencia de sistemas PON heredados y NG-PON2



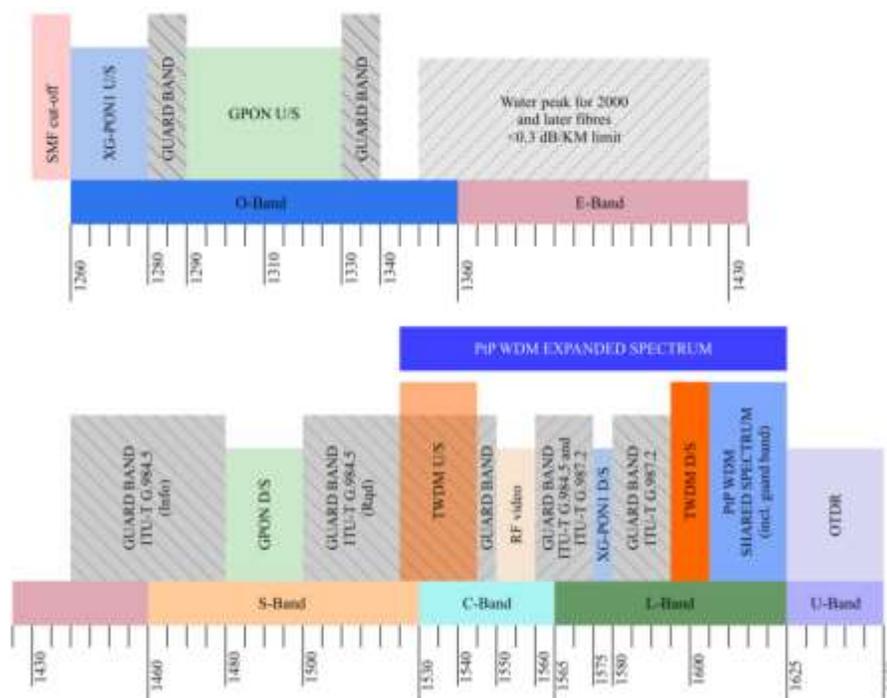
Fuente: (UIT-T, 2020)

Con el propósito de asegurar la compatibilidad entre los sistemas de nueva generación y sus versiones previas, se considera una estrategia potencial que implica la reutilización de los divisores ópticos de las redes de distribución óptica existentes (ODN) y la incorporación de un Elemento de Coexistencia (CEX, Coexistence Element). Este componente bidireccional facilita la conexión de diversos sistemas PON en una ODN compartida. El CE puede adoptar la forma de un multiplexor o un splitter extra. El multiplexor WDM1r realiza la multiplexación de las longitudes de onda de varias tecnologías sobre la ODN compartida, proporcionando un rendimiento mejorado al reducir las pérdidas por inserción. En contraste, al utilizar un splitter, se requieren filtros en la salida de la Terminal de Línea Óptica (OLT) para lograr la multiplexación de longitudes de onda. La arquitectura preferida para la coexistencia de NG-PON2 con PON heredados generalmente se basa en la implementación del WDM1r, estableciendo así una red híbrida que colabora con los divisores ópticos existentes en las ODN.

En cuanto a la coexistencia entre los sistemas PON heredados y NG-PON2, es crucial abordar la asignación específica del espectro óptico adecuado para cada tecnología usada, evitando así la interferencia de longitudes de onda sobre una única ODN. La ITU-T ha establecido un plan estandarizado de longitudes de onda compartidas, delineado en la Figura 9, para facilitar la coexistencia y la transición hacia redes de mayor capacidad. (UIT-T, 2021)

Figura 9

Plan de longitudes de onda para la coexistencia entre sistemas PON heredados y NG-PON2



Fuente: (UIT-T, 2021)

2.5 Beneficios de NG-PON2

NG-PON2, como la próxima generación de tecnología de redes de acceso óptico pasivo (PON), presenta una serie de ventajas y beneficios que la hacen una opción atractiva para los operadores de red.

Mayor velocidad de conexión: NG-PON2 ofrece una velocidad de conexión significativamente mayor en comparación con las tecnologías PON anteriores, permitiendo una transferencia de datos más rápida y eficiente para los usuarios finales. Esta mayor velocidad mejora la experiencia del usuario al descargar archivos, transmitir contenido multimedia en alta definición y realizar videoconferencias sin interrupciones.

Capacidad de ancho de banda mejorada: Con una capacidad de fibra de hasta 40 Gbit/s, NG-PON2 proporciona una capacidad de ancho de banda significativamente mejorada, lo que permite a los usuarios finales acceder y utilizar una amplia gama de

servicios y aplicaciones en línea simultáneamente, sin experimentar degradación en el rendimiento de la red.

Menor latencia: NG-PON2 reduce la latencia de red, lo que se traduce en tiempos de respuesta más rápidos para las aplicaciones y servicios en línea. Esto es especialmente beneficioso para aplicaciones sensibles a la latencia, como los juegos en línea, las videoconferencias en tiempo real y las transmisiones de contenido en vivo, mejorando así la calidad de experiencia del usuario.

Mayor confiabilidad: NG-PON2 ofrece una mayor confiabilidad en comparación con las tecnologías PON anteriores, lo que se traduce en una conectividad más estable y consistente para los usuarios finales. La mejora en la confiabilidad garantiza una experiencia de usuario sin interrupciones y contribuye a la satisfacción del cliente a largo plazo.

Compatibilidad con tecnologías existentes: NG-PON2 está diseñado para coexistir con tecnologías PON heredadas, como GPON y XG-PON, lo que facilita la migración suave de las infraestructuras existentes hacia NG-PON2. Esto permite a los usuarios finales beneficiarse de las mejoras tecnológicas sin interrumpir los servicios existentes.

3. CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA RED CON TECNOLOGÍA NG-PON2

En este capítulo, se realizará el diseño de la red NG-PON2 para la empresa CIMTEL en el barrio Miravalle. Previo al diseño, se explicará la arquitectura de una red FTTH, para comprender los elementos que la conforman. Se identificará la topología de la red, se seleccionarán los componentes y se planificará la distribución de la fibra óptica.

3.1 Fundamentos de red FTTH

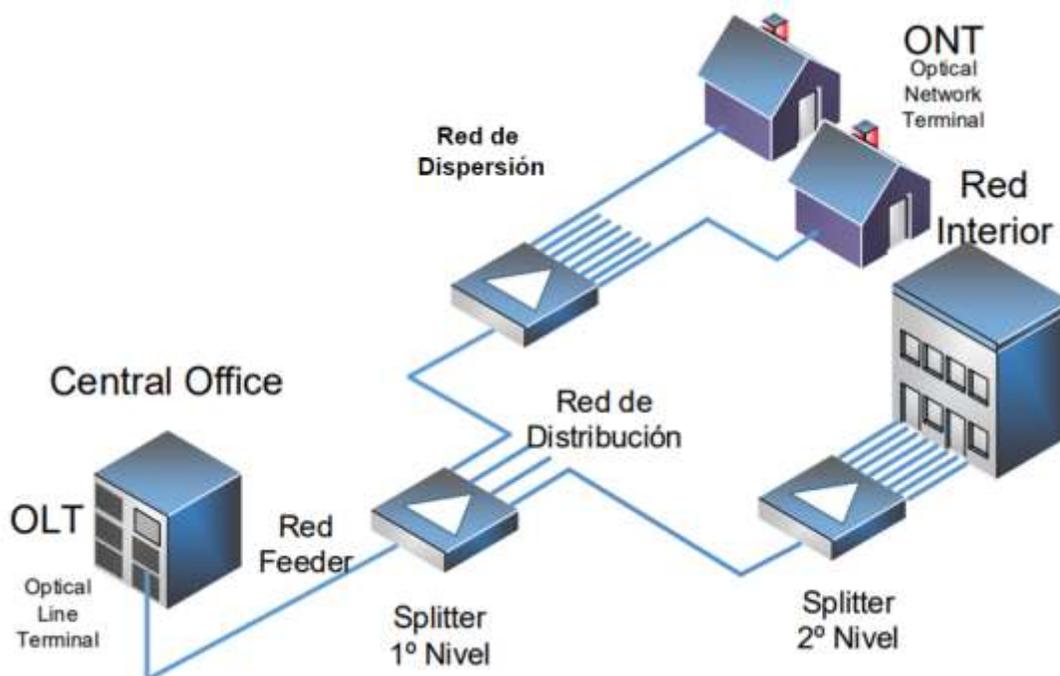
El estudio de los fundamentos de una red (*FTTH: Fiber to the Home*) representa un pilar fundamental en la comprensión de su arquitectura y elementos constitutivos previas para el diseño. Se analizará los componentes esenciales que conforman una red FTTH, destacando su importancia en la entrega de servicios de conectividad de alta velocidad y confiabilidad a los usuarios finales.

3.1.1 Arquitectura de red FTTH

La arquitectura de red FTTH es una infraestructura fundamental en la implementación de servicios de banda ancha de alta velocidad y confiabilidad. Esta tecnología, que se ha convertido en un estándar en la industria de las telecomunicaciones, comprende tres elementos clave: la red feeder, la red de distribución y la red de dispersión. En la figura 10 se indica como está compuesta la arquitectura FTTH indicando el proceso desde el origen con la OLT hasta el destino donde el cliente la ONT.

Figura 10

Arquitectura de red FTTH



Fuente: (López Pastor, 2015) Nota: Editado por el autor

A continuación, se analizará cada uno de estos elementos por separado para comprender mejor su función dentro de la infraestructura de red FTTH:

3.1.1.1 Red Feeder

La red feeder es la porción inicial de la infraestructura FTTH, que se extiende desde la Terminal de Línea Óptica (OLT) hasta los splitters ópticos. En esta etapa, se despliega una red primaria de fibra óptica que lleva la señal desde la central del proveedor de servicios hacia los puntos de distribución de fibra (*FDH: Fiber Distribution Hub*), donde se alojan los splitters ópticos. Estos splitters dividen la señal óptica en múltiples caminos para su distribución posterior a través de la red de distribución.

3.1.1.2 Red de Distribución

La red de distribución constituye la siguiente etapa de la arquitectura FTTH, abarcando desde los splitters hasta los Puntos de Acceso de Red (*NAP: Network Access Point*). Desde los FDH, donde se encuentran los splitters, se despliega la red de distribución para iluminar cada NAP. Esta red asegura una distribución eficiente de la señal óptica hacia los usuarios finales, permitiendo la conexión de los clientes a la red óptica a través de puntos de acceso estratégicamente ubicados en el área de servicio.

3.1.1.3 Red de Dispersión

La red de dispersión es la última etapa de la arquitectura FTTH, encargada de conectar cada NAP con la Terminal de Red Óptica (ONT) de cada usuario final. A través de esta red, se establece la comunicación directa entre los Puntos de Acceso de Red y las ONT de los usuarios, permitiendo la entrega de servicios de alta velocidad y confiabilidad en el acceso a internet. La red de dispersión garantiza una conexión directa y eficiente entre la infraestructura de red y los dispositivos de usuario, facilitando una experiencia óptima para los clientes finales.

3.2 Elementos de una red FTTH

La arquitectura de red FTTH para la implementación de la red de fibra óptica en el presente proyecto se compone de elementos activos y pasivos. Los elementos activos se ubican al inicio y al final de la red pasiva óptica, mientras que los elementos pasivos conforman el trayecto de la fibra óptica.

3.2.1 Elementos Activos

- **OLT (Terminal de Línea Óptica):**

La OLT es un dispositivo clave en una red FTTH, ubicado en la central del proveedor de servicios. Funciona como el punto central de la red y es responsable de gestionar y controlar el tráfico de datos. La OLT se comunica con las ONUs/ONTs ubicadas en los hogares de los usuarios, así como con otros dispositivos de red para asegurar una transmisión eficiente de datos.

- **ONU (Unidad de Red Óptica) - ONT (Terminal de Red Óptica):**

La ONU y la ONT son dispositivos que se encuentran en los hogares de los usuarios finales. La ONU actúa como la interfaz de usuario final y se conecta directamente al equipo del suscriptor, mientras que la ONT convierte la señal óptica en una señal eléctrica por parte del dispositivo del cliente final. Ambos dispositivos permiten la conexión de los usuarios finales a la red FTTH y son esenciales para proporcionar servicios de Internet, televisión y telefonía.

3.2.2 Red Elementos Pasivos

- **ODF (Fibra Distribuidora Óptica):**

El ODF es una caja pasiva que se utiliza para la conexión y distribución de fibras ópticas. Se utiliza para conectar cables de fibra óptica con equipos de comunicaciones, como splitters, rosetas ópticas y otros dispositivos. El ODF permite la administración y el mantenimiento de la red FTTH al proporcionar un punto centralizado para la conexión y el empalme de fibras ópticas.

- **NAPs (Puntos de Acceso de Red) o Mangas de Empalme de Primer y Segundo Nivel:**

Los NAPs o mangas de empalme son elementos pasivos utilizados para distribuir y empalmar las fibras ópticas en la red FTTH. Los NAPs de primer nivel se

encuentran en la etapa inicial de distribución de la red y se utilizan para conectar cables de fibra óptica provenientes de la OLT. Los de segundo nivel se ubican en una etapa posterior y permiten la distribución de la señal óptica a los usuarios finales.

- **Splitters:**

Los splitters son dispositivos pasivos utilizados para dividir una señal óptica en múltiples señales más débiles. Esto permite la conexión de varios usuarios a una única fibra óptica y se utiliza en la etapa de distribución de la red. Los splitters pueden tener diferentes relaciones de división, como 1:4, 1:8, etc., y se seleccionan según las necesidades de capacidad y cobertura de la red FTTH.

- **Roseta Óptica:**

La roseta óptica es un punto de terminación pasivo ubicado en los hogares de los usuarios finales. Permite la conexión final de los dispositivos de usuario a la red FTTH y suele estar equipada con conectores para patch cords o pigtaills. La roseta óptica proporciona una interfaz conveniente y segura para la conexión de dispositivos de usuario, como routers, decodificadores de televisión y teléfonos.

- **Cables de Fibra Óptica, Patch Cords y Pigtaills:**

Estos cables de fibra óptica son los conductores principales de la señal óptica en la red FTTH. Están diseñados para transportar señales de alta velocidad a largas distancias con mínima pérdida de señal. Los patch cords y pigtaills se utilizan para realizar conexiones entre dispositivos y equipos de red, proporcionando una conexión flexible y confiable en la red FTTH. Los patch cords son cables cortos con conectores en ambos extremos, mientras que los pigtaills son cables con un extremo terminado

con un conector y el otro extremo pelado para empalmar con fibras ópticas en el ODF o en otros dispositivos de red.

3.3 Demanda de clientes para el diseño

La empresa CIMTEL busca expandir su servicio de internet en el barrio Miravalle, para ello busca clientes potenciales y se realiza el estudio en base al número de habitantes y viviendas en el barrio. Para determinar la cantidad de posibles clientes para la implementación de una red NG-PON2 en el barrio Miravalle, se realizó un análisis demográfico. Según (INEC, 2022) Ibarra tiene una población total aproximada de 281,000 habitantes, y de acuerdo con Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Ibarra (GAD Municipal de Ibarra, 2022) se cuenta con un total de 138 barrios. Además, teniendo en cuenta que Ibarra está dividida en 5 parroquias, se procedió a calcular el número aproximado de habitantes por parroquia, dividiendo la población total entre el número de parroquias, lo que resultó en aproximadamente 56,200 habitantes por parroquia.

Posteriormente, se enfocó en la parroquia Alpachaca, donde se encuentra el barrio Miravalle. Esta parroquia está compuesta por 20 barrios. Dividiendo la población de la parroquia entre el número de barrios, se calculó que en promedio hay alrededor de 2,810 habitantes por barrio en la parroquia de Alpachaca.

Finalmente, se realizó un análisis específico del barrio Miravalle, donde se determinó que tiene 2,810 habitantes. Luego, para estimar el número de familias en el barrio, se consideró un promedio de 4 personas por familia, lo que arrojó aproximadamente 702 familias en el barrio Miravalle. Estos son los usuarios finales con los que se considerará el diseño de la red NG-PON2, entonces serían 702 clientes.

Entonces, para la demanda de usuarios se inicia con 702 posibles abonados en el barrio Miravalle, obtenidos a través de los cálculos del apartado anterior, el diseño de la red tendrá una proyección de crecimiento de 5 años para el cual se hace uso del factor de crecimiento del 2.88% que es la tasa de crecimiento a nivel cantonal según los datos proporcionado por el INEC.

Para realizar las proyecciones de abonados, se emplea una ecuación matemática específica (Ecuación 1). Esta ecuación, permite determinar el número futuro de abonados en base a una serie de variables. (Ortegón et al., 2005)

$$D = D_o * (1 + i)^n \qquad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

- D = Demanda Final
- Do= Demanda inicial
- i= Índice de crecimiento anual (2.88%)
- n= Proyección (5 años)

$$D = 702 * (1 + 0.0288)^5$$

$$D = 809 \text{ Usuarios}$$

Por ende, la red a diseñar con tecnología NG-PON2 debe tener la capacidad de cubrir la demanda de 809 clientes.

3.4 Aspectos importantes para el diseño

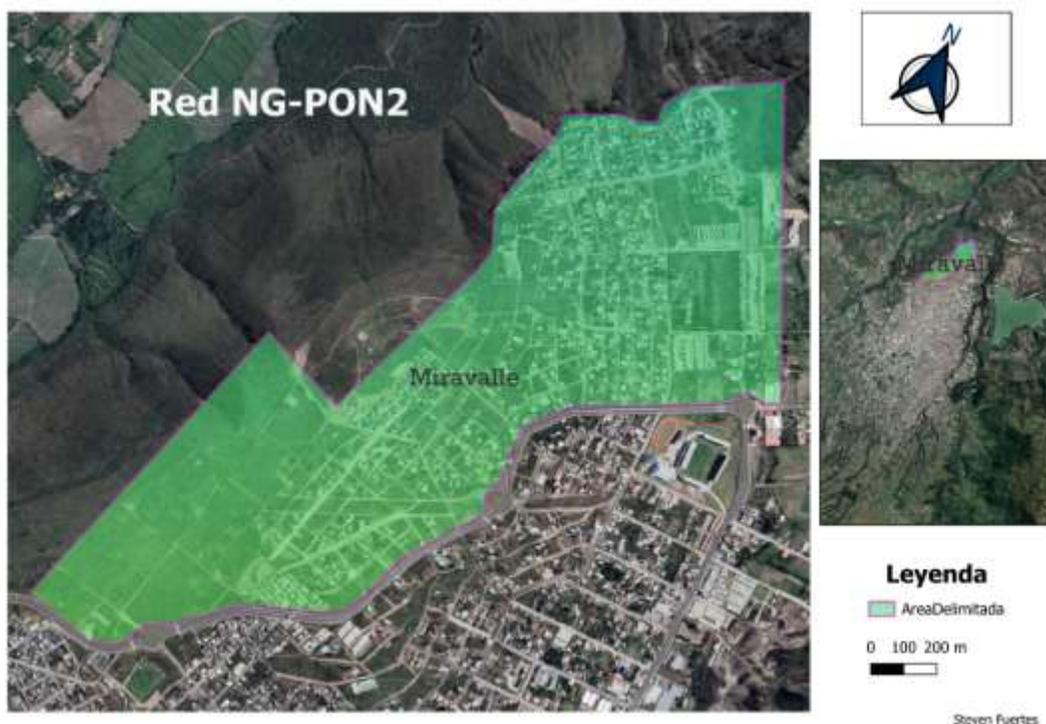
Es fundamental considerar una serie de parámetros clave que influirán en la planificación y ejecución del proyecto. Estos parámetros abarcan desde la ubicación geográfica hasta el número de clientes a ser atendidos, así como otros factores.

3.4.1 Ubicación de la red (Zona de Estudio)

El proyecto se enfoca en el barrio Miravalle de la ciudad de Ibarra, Ecuador. La delimitación del área de estudio se realizó utilizando el software QGIS, tal como se observa en la Figura 11. Esta figura muestra el área exacta donde se implementaría la red de fibra óptica con tecnología NG-PON2.

Figura 11

Área delimitada en el barrio Miravalle para el diseño de la red de fibra óptica (Mapa Satélite)



Fuente: Autoría Propia

3.4.2 Especificaciones de la tecnología NG-PON2

La tecnología NG-PON2, estandarizada por ITU-T G.989 (UIT-T, 2020), representa un avance en el campo de las redes de fibra óptica, ofreciendo un conjunto de especificaciones robustas y avanzadas para el despliegue de redes de próxima generación. En la Tabla 2, se indican las características correspondientes a la tecnología NG-PON2, donde se proporciona una visión general de las características de la tecnología, resaltando su capacidad de velocidad de datos, eficiencia de ancho de banda y alcance óptico. Estas especificaciones fundamentales establecen las bases para el diseño y despliegue exitoso de redes de fibra óptica de alta velocidad y confiabilidad.

Tabla 2

Especificaciones de la tecnología NG-PON2 a considerar diseño de la red

Característica	Valor	Descripción
Velocidad de subida	10 Gbps	Capacidad máxima de carga de datos.
Velocidad de bajada	40 Gbps	Capacidad máxima de descarga de datos.
Nivel de spliteo máximo	1:256	Número máximo de usuarios que pueden compartir una sola fibra óptica.
Longitud de onda de subida	C-band (1575-1580 nm)	Rango de longitud de onda para la transmisión de datos en sentido ascendente.
Longitud de onda de bajada	L-band (1260-1280 nm)	Rango de longitud de onda para la transmisión de datos en sentido descendente.

Longitud de onda central de subida	C-band (1577 nm)	Longitud de onda central para la transmisión de datos en sentido ascendente.
Longitud de onda central de bajada	L-band (1270 nm)	Longitud de onda central para la transmisión de datos en sentido descendente.
Distancia máxima de transmisión	60 km	Alcance máximo de la red óptica.
Estándar	ITU-T G.989	Estándar internacional que define la tecnología NG-PON2.

Fuente: (UIT-T, 2020)

3.4.3 Niveles de Splitteo en NG-PON2 y Ancho de banda

Una de las características clave de NG-PON2 es su mayor capacidad de splitteo, que permite dividir la señal óptica en un mayor número de usuarios.

Los niveles de splitteo más comunes en NG-PON2 son 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:128 y 1:256. Conociendo estos niveles se procede a determinar el ancho de banda asignado para un hilo de fibra óptica conforme a las exigencias del cliente final, con el fin de determinar el tipo y nivel de divisor óptico que será considerado en el diseño de la red. Para llevar a cabo este proceso, se utiliza la Ecuación 2 que realiza el desarrollo de la Tabla 3 para el nivel de splitter que se use:

$$AB = AB (NG - PON2) * \textit{Relacion de Splitter} \quad \textit{Ecuación (2)}$$

$$AB = 40\text{Gbps} * \frac{1}{8}$$

$$AB = 5 \text{ Gbps}$$

La tabla 3 muestra las capacidades de NG-PON2 en diferentes niveles de splitteo, tanto para el enlace descendente como para el ascendente. Además, se puede observar en la tabla la capacidad por cliente disminuye a medida que aumenta el nivel de splitteo. Esto es debido a que la señal óptica se divide entre un mayor número de usuarios. Sin embargo, la tecnología NG-PON2 ofrece una capacidad significativamente mayor que las tecnologías PON anteriores, incluso con un alto nivel de splitteo.

Tabla 3

Ancho de Banda por cliente con la tecnología NG-PON2 (Primer Nivel de Splitter)

Sentido del enlace	Capacidad NG-PON2 (Gb/s)	Sentido del enlace Capacidad NG-PON2 (Mb/s)					
		1:8	1:16	1:32	1:64	1:128	1:256
Enlace Descendente	40	5000	2500	1250	625	312.5	156.25
Enlace Ascendente	10	1250	625	312.5	156.25	78	39

Fuente: (Paucar Moposita, 2021) Nota: Editado por el autor

El cálculo realizado anteriormente sería para el primer nivel de splitter como este diseño está basado en redes FTTH con una arquitectura en cascada con 2 niveles de splitter, para el segundo nivel se repite la Ecuación ahora indicada en la Ecuación 3 partiendo del nivel más alto de velocidad por usuario para luego realizar la elección de división de splitter en el segundo nivel.

$$AB = AB (NG - PON2) * \text{Relacion Splitter}$$

Ecuación (3)

$$AB = 5\text{Gbps} * \frac{1}{16}$$

$$AB = 312.5 \text{ Mbps}$$

Luego de realizar el cálculo se obtienen los valores mostrados en la tabla 4.

Tabla 4

Ancho de Banda por cliente con la tecnología NG-PON2 (Segundo Nivel de Splitter)

Sentido del enlace	Capacidad NG-PON2 (Mb/s)	Sentido del enlace Capacidad NG-PON2 (Mb/s)					
		1:8	1:16	1:32	1:64	1:128	1:256
Enlace Descendente	5000	625	312.5	156.25	78	39	19.5
Enlace Ascendente	1250	156.25	78	39	19.5	9.7	4.8

Fuente: (Paucar Moposita, 2021) Nota: Editado por el autor

3.4.4 Fibra óptica para el diseño

La utilización de la fibra óptica en sistemas NG-PON2, al igual que en sus predecesores, se fundamenta en estándares establecidos como ITU-T G.652 y ITU-T G.657. Dentro de estos estándares, la fibra G.652 destaca como la elección común para desplegar redes de acceso, especialmente en los aspectos de alimentación y distribución. Sin embargo, es crucial entender las distintas variantes que ofrece este estándar. (Worton, 2021)

Se distinguen cuatro categorías principales: G.652.A, G.652.B, G.652.C y G.652.D. Las primeras dos categorías, G.652.A y G.652.B, no son ampliamente empleadas debido a su alta atenuación en la banda E (1360 nm - 1460 nm), conocida

como la zona de pico de agua. Por el contrario, las subcategorías G.652.C y G.652.D ofrecen un espectro más amplio, abarcando desde los 1310 nm hasta los 1625 nm, resultando una reducción para la atenuación en la zona de pico de agua. Esto permite operar a mayores velocidades y facilita la transmisión de señales CWDM. En particular, la fibra G.652.D emerge como la elección más reciente y avanzada dentro de esta categoría, eliminando el pico de agua y proporcionando un rendimiento óptimo en múltiples longitudes de onda. Este enfoque optimizado permite que la fibra G.652.D sea utilizada con eficacia en aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda (DWDM), ampliando así su capacidad para satisfacer las demandas cambiantes de las redes ópticas modernas. (Passanisi, 2017)

Debido a las ventajas previamente mencionadas, se ha optado por seleccionar la fibra G.652.D para la infraestructura de alimentación. Esta elección se justifica no solo por los beneficios discutidos anteriormente, sino también por la capacidad de esta fibra para mantener una dispersión cromática reducida en las bandas C y L. Estas bandas son de particular importancia en los sistemas NG-PON2, utilizadas para los enlaces tanto ascendentes como descendentes. En cuanto a la red de distribución y dispersión, la fibra monomodo ITU-T G.657 es la preferida debido a su capacidad para resistir atenuaciones causadas por la flexión, lo que se traduce en una baja atenuación ante posibles torsiones durante su implementación. Esta característica la convierte en una elección idónea para entornos internos, como edificios residenciales, urbanizaciones y hogares, que son componentes clave de la red de dispersión.

La fibra G.657 se subdivide en dos categorías principales: tipo A y tipo B. La categoría A, en particular, se distingue por su versatilidad para operar en un amplio rango

de longitudes de onda, lo que la hace altamente compatible con otras fibras utilizadas en la red NG-PON2, como la fibra G.652.D empleada en la infraestructura de alimentación o feeder y distribución. Dentro de estas categorías, existen subcategorías específicas, como G.657.A1 y G.657.A2. La subcategoría A2 se destaca por su mayor flexibilidad, ya que puede soportar un radio de curvatura mínimo de 7.5 mm, en comparación con los 10 mm requeridos por la subcategoría A1. (Terry Power, 2021)

Por lo tanto, en el diseño de la red de dispersión para NG-PON2, resulta pertinente considerar cuidadosamente tanto la fibra G.657.A1 como la G.657.A2, seleccionando cada una según el radio de curvatura al que estará sujeta la fibra óptica durante su instalación en las residencias de los clientes finales. Este enfoque garantiza una infraestructura de dispersión robusta y adaptable, acorde con las exigencias y estándares de calidad de la tecnología NG-PON2. En la Tabla 5 se indica el resumen de los tipos de fibra a utilizar en el diseño.

Tabla 5

Tipos de fibra para la red NG-PON2

Segmento de la ODN	Tipo de fibra óptica	Detalles
Red de Alimentación	ITU-T G.652.D	Fibra estándar monomodo con baja dispersión cromática, óptima para transmisiones en la banda C y L.
Red de Distribución	ITU-T G.657.A	Fibra monomodo insensible a las pérdidas por flexión. Ideal para entornos internos como edificios y hogares, garantizando una óptima flexibilidad y desempeño.
Red de Dispersión	ITU-T G.657.A2	

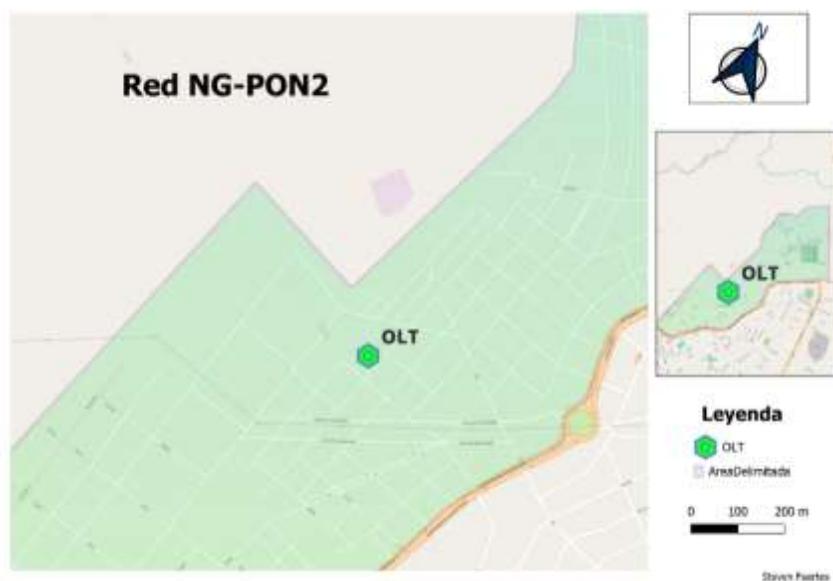
Fuente: (Paucar Moposita, 2021) Nota: Editado por el autor

3.4.5 Ubicación de la OLT

En el diseño de la red, la selección de la ubicación de los dispositivos de red es un aspecto crucial para considerar. En el caso de una red FTTH, el primer nivel de decisión es la ubicación de la OLT, la cual debe tener en cuenta tanto el número de equipos a utilizar como la cantidad de clientes a brindar el servicio. En este diseño, la OLT se ha colocado en el nodo de la empresa, se ubica en las calles 10 y Macas cerca al parque Balcón Ibarreño en el barrio Miravalle indicada en la figura 12.

Figura 12

Ubicación de la OLT (Terminal de Línea Óptica)



Fuente: Autoria Propia

3.5 Red Feeder

La red feeder desempeña un papel crucial en el diseño al conectar la OLT con las cajas principales o mangas porta splitter situadas en el barrio. Este componente de la red, conocido como red de alimentación, se compone de cables de fibra óptica de alta capacidad que facilitan la

transmisión de datos desde el nodo central hasta los puntos de distribución primarios. Para optimizar la capacidad de transmisión y distribución de señal, se ha decidido utilizar una fibra principal de 12 hilos.

Mediante esta elección se facilita una mayor flexibilidad y capacidad de expansión en el diseño de la red, garantizando una infraestructura robusta y adaptable a futuras necesidades de conectividad. Por tanto, se planifica el despliegue de 8 cajas principales de primer nivel en el Barrio Miravalle como se indica en la figura 13, cada una equipada con splitters primarios de tipo 1:8 para una distribución eficiente de la señal óptica.

Estas cajas principales se distribuirán estratégicamente en todo el barrio para garantizar una cobertura óptima y equitativa, además, de cada una de estas cajas principales surgirán 8 cajas NAP secundarias, ampliando aún más la capacidad de distribución de la red y permitiendo una mayor conectividad y cobertura en el barrio.

En relación con el cable de fibra hay que tener en cuenta el concepto de reserva. Según la normativa de la CNT de diseño y construcción de redes de telecomunicaciones con fibra óptica (CNT, 2012), esta reserva es esencial para afrontar cualquier eventualidad futura que pueda surgir durante la operación y mantenimiento de la red.

Para optimizar la longitud del cable utilizado en la red troncal y garantizar que haya suficiente margen para posibles ajustes o reparaciones, se ha decidido incorporar una reserva del 15% sobre la longitud total de la fibra óptica, en la Ecuación 4 se indica el cálculo respectivo. Esta medida asegura que la red troncal no solo sea eficiente en términos de longitud de cable, sino también robusta y adaptable ante futuros desafíos.

$$reserva = 2359 \text{ metros} * 0.15$$

$$reserva = 353.85 \text{ metros}$$

$$reserva \text{ por NAP} = 353.85 \text{ metros} \div 8 \text{ NAPs de Primer Nivel}$$

$$reserva \text{ por NAP} = 44.23 \text{ metros}$$

$$\mathbf{reserva \text{ por NAP} \approx 40 \text{ metros}} \qquad \mathbf{Ecuación (4)}$$

El cálculo inicial de la reserva de longitud de fibra óptica para cada NAP primario es de 44.23 metros, redondeando a 40 metros para simplificar. Esta reserva se distribuye equitativamente alrededor de cada NAP, con 20 metros antes y 20 metros después del punto de acceso. Con esta reserva definida, se procede a calcular la longitud total del cable de la red troncal. La longitud total se obtiene sumando la medida total de la red más un 15% adicional como reserva, como se muestra en la Ecuación 5.

$$DistanciaTroncal = DistanciaMedida + 0.15\%(DistanciaMedida)$$

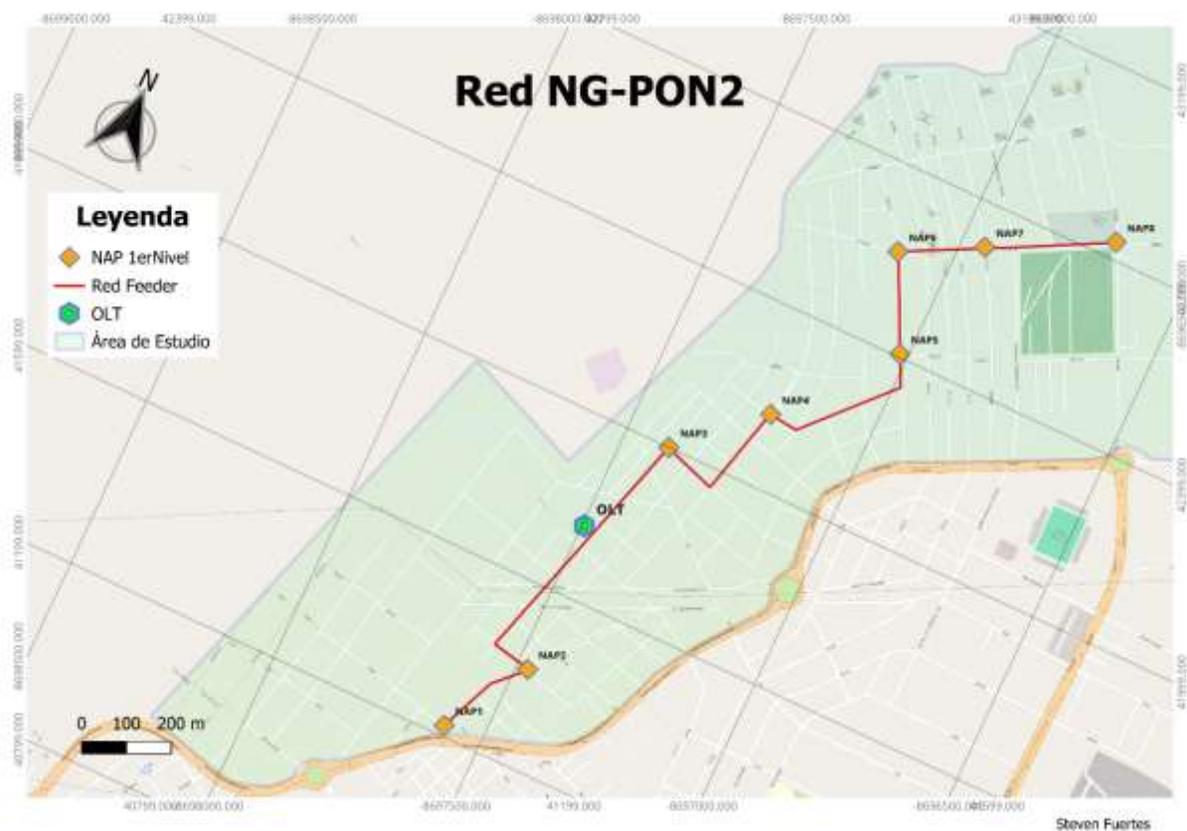
$$DistanciaTroncal = 2359 \text{ metros} + 0.15\%(2359 \text{ metros})$$

$$\mathbf{DistanciaTroncal = 2712.85 \text{ metros}} \qquad \mathbf{Ecuación (5)}$$

Al estimar la cantidad de cables de fibra óptica, es fundamental considerar una cantidad superior a la calculada. Por lo tanto, se recomienda adquirir una longitud de fibra óptica de 3.8 km para la red troncal, asegurando así un margen suficiente para cubrir cualquier eventualidad.

Figura 13

Red feeder con la distribución de cajas de primer nivel



Fuente: Autoria Propia

En la Figura 14 se indica la información correspondiente a la OLT del diseño, de igual forma en la Figura 15 se indica información correspondiente a las cajas NAP de primer nivel

Figura 14

Ubicación de la OLT

id	NODO	LATITUD	LONGITUD	DIRECCIÓN
1	0 OLT	0.3751335848146321	-78.13092805850243	Calle 10 y Macas cerca al parque Balcón Ibarreiro

Fuente: Autoria Propia

Figura 15

Ubicación de las cajas NAP de primer nivel

id	CAJA	NIVEL	SPLITTER	LATITUD	LONGITUD
1	NAP1	1er Nivel	1:8	0.37031194840267345	-78.13178287443803
2	NAP2	1er Nivel	1:8	0.37203844996542546	-78.1307410091461
3	NAP3	1er Nivel	1:8	0.37727888237970486	-78.1300547471802
4	NAP4	1er Nivel	1:8	0.37874508584775907	-78.12848263118879
5	NAP5	1er Nivel	1:8	0.3809414562689154	-78.12664475020735
6	NAP6	1er Nivel	1:8	0.38284821700717203	-78.12748476204558
7	NAP7	1er Nivel	1:8	0.38361059882371823	-78.12600015957378
8	NAP8	1er Nivel	1:8	0.3848156619625615	-78.12365771767782

Fuente: Autoria Propia

3.6 Red de Distribución

Para la red de distribución en el Barrio Miravalle, se ha diseñado un plan que garantiza una conectividad óptima para los usuarios finales. Esta red se extiende desde las cajas principales de primer nivel hasta las cajas de distribución (NAP). Las cajas principales de primer nivel, equipadas con splitters primarios de tipo 1:8, son el punto de partida de la red de distribución. A partir de estas cajas, se despliegan cajas secundarias de segundo nivel para conectar con las cajas de distribución en toda la zona. Con base en una proyección de 809 clientes, se estima que se necesitarán aproximadamente 51 cajas de distribución para cubrir la demanda. Estas cajas se distribuirán estratégicamente en función de la densidad de población y la accesibilidad, asegurando una cobertura completa y equitativa en todo el barrio. La distribución de las cajas se llevará a cabo de manera estratégica, priorizando las zonas con mayor densidad poblacional. Como se mencionó anteriormente se cuenta con ocho cajas NAP de primer nivel, cada uno de los cuales requiere su propia red de distribución, dando lugar a ocho redes de distribución distintas. Estas redes se nombrarán Red de Distribución 1, Red de Distribución 2, Red de Distribución 3,

Red de Distribución 4, Red de Distribución 5, Red de Distribución 6, Red de Distribución 7, y Red de Distribución 8.

Cada una de las redes de distribución debe ser dimensionada adecuadamente para asegurar que se cumplan con los requerimientos de cobertura y capacidad. Similar a la red troncal, se aplica un margen de reserva para prevenir insuficiencias futuras y permitir ajustes o expansiones. Según la normativa de CNT para redes de distribución, se debe considerar un margen de reserva del 5% de la distancia medida (CNT, 2012). Este margen de reserva se aplica en los distintos NAP de segundo nivel. Para cada NAP de primer nivel, se implementará una red de distribución específica con la longitud determinada más el margen de reserva correspondiente. La implementación de este margen garantiza la flexibilidad necesaria para manejar cualquier eventualidad o ajuste durante la instalación y operación de la red. la configuración de las redes de distribución es la siguiente con la distancia correspondiente:

- **Red de Distribución 1:** Asociada al NAP de primer nivel 1 = 0.304 km

$$Total\ Red\ Distribución1 = Longitud\ de\ Red + 5\%(Longitud\ de\ Red) * 8$$

$$Total\ Red\ Distribución1 = 0.304\ km + 5\%(0.304km) * 8$$

$$Total\ Red\ Distribución1 = 0.427\ km \qquad \qquad \qquad Ecuación\ (6)$$

- **Red de Distribución 2:** Asociada al NAP de primer nivel 2 = 0.719 km

$$Total\ Red\ Distribución2 = Longitud\ de\ Red + 5\%(Longitud\ de\ Red) * 8$$

$$Total\ Red\ Distribución2 = 0.719\ km + 5\%(0.719km) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución2} = 1.107 \text{ km} \quad \text{Ecuación (7)}$$

- **Red de Distribución 3:** Asociada al NAP de primer nivel 3 = 0.544 km

$$\text{Total Red Distribución3} = \text{Longitud de Red} + 5\%(\text{Longitud de Red}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución3} = 0.544 \text{ km} + 5\%(0.544\text{km}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución3} = 0.762 \text{ km} \quad \text{Ecuación (8)}$$

- **Red de Distribución 4:** Asociada al NAP de primer nivel 4 = 0.609 km

$$\text{Total Red Distribución4} = \text{Longitud de Red} + 5\%(\text{Longitud de Red}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución4} = 0.609 \text{ km} + 5\%(0.609\text{km}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución4} = 0.853 \text{ km} \quad \text{Ecuación (9)}$$

- **Red de Distribución 5:** Asociada al NAP de primer nivel 5 = 0.936 km

$$\text{Total Red Distribución5} = \text{Longitud de Red} + 5\%(\text{Longitud de Red}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución5} = 0.936 \text{ km} + 5\%(0.936\text{km}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución5} = 1.310 \text{ km} \quad \text{Ecuación (10)}$$

- **Red de Distribución 6:** Asociada al NAP de primer nivel 6 = 1.221 km

$$\text{Total Red Distribución6} = \text{Longitud de Red} + 5\%(\text{Longitud de Red}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución6} = 1.221 \text{ km} + 5\%(1.221\text{km}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución6} = 1.709 \text{ km} \qquad \text{Ecuación (11)}$$

- **Red de Distribución 7:** Asociada al NAP de primer nivel 7 = 1.189 km

$$\text{Total Red Distribución7} = \text{Longitud de Red} + 5\%(\text{Longitud de Red}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución7} = 1.189 \text{ km} + 5\%(1.189\text{km}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución7} = 1.665 \text{ km} \qquad \text{Ecuación (12)}$$

- **Red de Distribución 8:** Asociada al NAP de primer nivel 8 = 1.260 km

$$\text{Total Red Distribución8} = \text{Longitud de Red} + 5\%(\text{Longitud de Red}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución8} = 1.260 \text{ km} + 5\%(1.260\text{km}) * 8$$

$$\text{Total Red Distribución8} = 1.764 \text{ km} \qquad \text{Ecuación (13)}$$

Con la configuración de las redes de distribución establecidas, se procede al cálculo de la sumatoria de todas las distancias, incluyendo los márgenes de reserva. Utilizando los datos derivados de las ecuaciones previas, se obtendrá la Ecuación 14 correspondiente que representa la sumatoria total de cada una de las redes de distribución (rd).

$$\begin{aligned} \text{Total Red Distribución} \\ = rd1 + rd2 + rd3 + rd4 + rd5 + rd6 + rd7 + rd8 \end{aligned} \qquad \text{Ecuación (14)}$$

Total Red Distribución

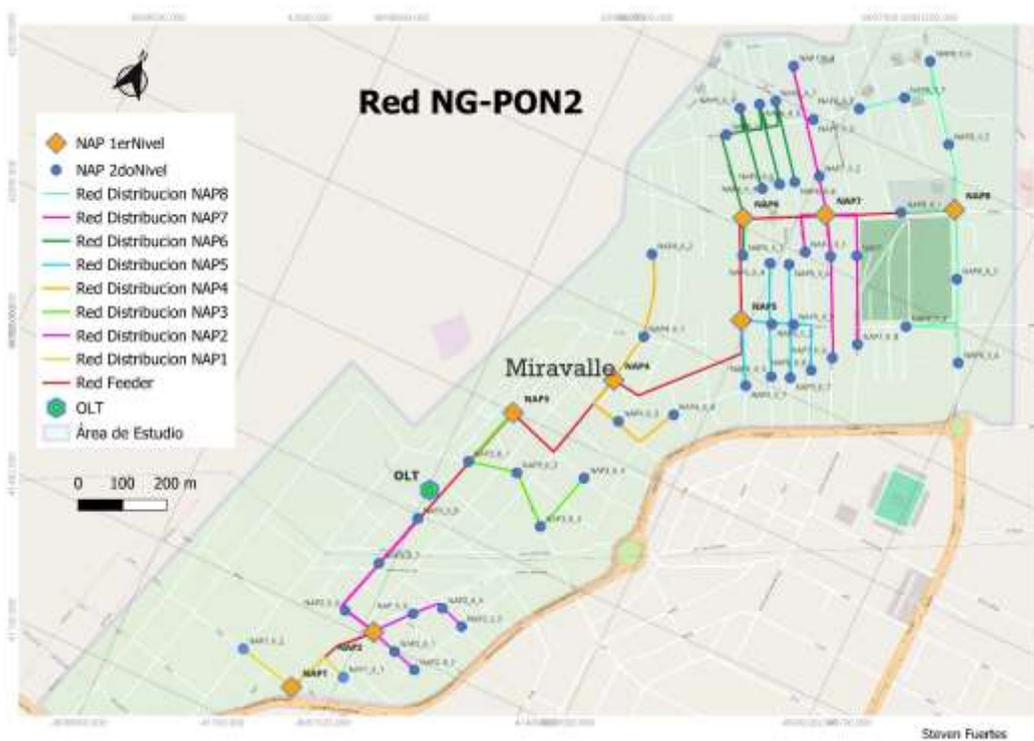
$$= 0.427 \text{ km} + 1.107 \text{ km} + 0.762 \text{ km} + 0.853 \text{ km} + 1.310 \text{ km} + 1.709 \text{ km} \\ + 1.665 \text{ km} + 1.764 \text{ km}$$

$$\text{Total Red Distribución} = 9.597 \text{ km}$$

Para la red de distribución, se utilizará una longitud de 10 km, un valor superior al calculado para prever cualquier eventualidad. Por tanto, se tiene realizado el diseño para la red troncal con sus respectivas cajas NAP de primer nivel, de igual forma las cajas NAP de segundo nivel y la red de distribución, como se muestra en la figura 16. Además, en la figura 17 se indica la red de distribución vista con el mapa satélite.

Figura 16

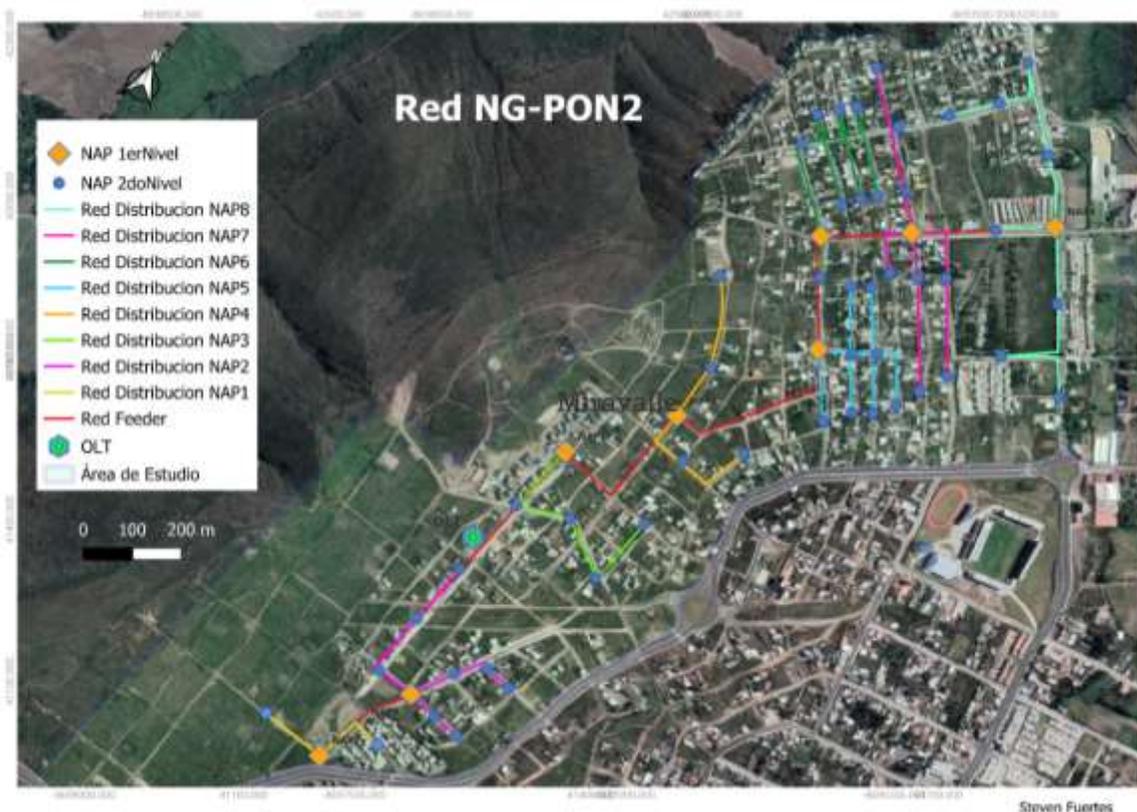
Red de distribución con cajas de primer y segundo nivel (Mapa Base)



Fuente: Autoría Propia

Figura 17

Red de distribución con cajas de primer y segundo nivel (Mapa Satélite)



Fuente: Autoria Propia

En la figura 18 se indica la ubicación de las cajas NAP de segundo nivel, aquí se da información de cada caja con su id, que caja es, el nivel, el número de splitter, así como sus coordenadas en latitud y longitud correspondientes.

Figura 18

Ubicación de las cajas NAP de segundo Nivel

	id	CAJA	NIVEL	SPLITTER	LATITUD	LONGITUD
1	121	NAP1_IL_1	2do Nivel	1:16	0.3709412473974978	-78.13091162960659
2	122	NAP1_IL_2	2do Nivel	1:16	0.3706083165912563	-78.13300082770547

a)

	id	CAJA	NIVEL	SPLITTEO	LATITUD	LONGITUD
1	221	NAP2_II_1	2do Nivel	1:16	0.37185625442721587	-78.13018601734768
2	222	NAP2_II_2	2do Nivel	1:16	0.37168768209829683	-78.12966653510931
3	223	NAP_II_3	2do Nivel	1:6	0.3727131589990852	-78.13017479252323
4	224	NAP2_II_4	2do Nivel	1:16	0.3730652114110456	-78.12967764971229
5	225	NAP2_II_5	2do Nivel	1:16	0.3728928013559578	-78.12916639772813
6	226	NAP2_II_6	2do Nivel	1:16	0.37218743164037044	-78.13145265597684
7	227	NAP2_II_7	2do Nivel	1:16	0.3733514890724564	-78.13123396669701
8	228	NAP2_II_8	2do Nivel	1:16	0.37450838111448004	-78.13090171763749

b)

	id	CAJA	NIVEL	SPLITTEO	LATITUD	LONGITUD
1	321	NAP3_II_1	2do Nivel	1:16	0.3759945622403507	-78.13045889731727
2	322	NAP3_II_2	2do Nivel	1:16	0.3761996014618636	-78.12946663978867
3	323	NAP3_II_3	2do Nivel	1:16	0.37541301709721214	-78.12857499156699
4	324	NAP3_II_4	2do Nivel	1:16	0.3766830331027419	-78.128184321568

c)

	id	CAJA	NIVEL	SPLITTEO	LATITUD	LONGITUD
1	421	NAP4_II_1	2do Nivel	1:16	0.37980568789392816	-78.12829741536923
2	422	NAP4_II_2	2do Nivel	1:16	0.3813962230720966	-78.12885642235774
3	423	NAP4_II_3	2do Nivel	1:16	0.3780258638181861	-78.12803987436627
4	424	NAP4_II_4	2do Nivel	1:16	0.3786217184516064	-78.12707545285694

d)

	id	CAJA	NIVEL	SPLITTER	LATITUD	LONGITUD
1	521	NAP5_II_1	2do Nivel	1:16	0.3797765476648234	-78.12599633688092
2	522	NAP6_II_2	2do Nivel	1:16	0.3811336206506071	-78.12604618308985
3	523	NAP5_II_3	2do Nivel	1:16	0.3801621339938689	-78.1256043715719
4	524	NAP5_II_4	2do Nivel	1:16	0.38224191419674214	-78.12660085438712
5	525	NAP5_II_5	2do Nivel	1:16	0.3813120256851888	-78.12564226514024
6	526	NAP5_II_6	2do Nivel	1:16	0.3823833092820571	-78.12624048683938
7	527	NAP5_II_7	2do Nivel	1:16	0.3803035291133384	-78.12524400402417
8	528	NAP5_II_8	2do Nivel	1:16	0.380623298428748	-78.1249234572671

e)

	id	CAJA	NIVEL	SPLITTEO	LATITUD	LONGITUD
1	621	NAP6_II_1	2do Nivel	1:16	0.3821503560160295	-78.12716927791895
2	622	NAP6_II_2	2do Nivel	1:16	0.38423861252069114	-78.12851088852891
3	623	NAP6_II_3	2do Nivel	1:16	0.3848465667443864	-78.12848621609012
4	624	NAP6_II_4	2do Nivel	1:16	0.3835508540218045	-78.12738494926639
5	625	NAP6_II_5	2do Nivel	1:16	0.3850875872379645	-78.12816120215146
6	626	NAP6_II_6	2do Nivel	1:16	0.3837810020980232	-78.1271045705529
7	627	NAP6_II_7	2do Nivel	1:16	0.38528181660696953	-78.12789389705877
8	628	NAP6_II_8	2do Nivel	1:16	0.3839512857158079	-78.12684598120742

f)

	id	CAJA	NIVEL	SPLITTEO	LATITUD	LONGITUD
1	721	NAP7_II_1	2do Nivel	1:16	0.38275126161809053	-78.12604927223042
2	722	NAP7_II_2	2do Nivel	1:16	0.38426937549613926	-78.12643908263263
3	723	NAP7_II_3	2do Nivel	1:16	0.3852612322382544	-78.12704077814921
4	724	NAP7_II_4	2do Nivel	1:16	0.38608170485659593	-78.12786078565969
5	725	NAP7_II_5	2do Nivel	1:16	0.3828866390746651	-78.12554576136336
6	726	NAP7_II_6	2do Nivel	1:16	0.381032007587983	-78.12464114908254
7	727	NAP7	2do Nivel	1:16	0.38312353298518237	-78.12506970735623
8	728	NAP7_II_8	2do Nivel	1:16	0.3814980811640801	-78.1242918477513

g)

	id	CAJA	NIVEL	SPLITTEO	LATITUD	LONGITUD
1	821	NAP8_II_1	2do Nivel	1:16	0.38430520671094964	-78.12461961855351
2	822	NAP8_II_2	2do Nivel	1:16	0.3835549453427222	-78.12302058980121
3	823	NAP8_II_3	2do Nivel	1:16	0.38224381340951835	-78.12355040074924
4	824	NAP8_II_4	2do Nivel	1:16	0.38202137105341333	-78.1222746127448
5	825	NAP8_II_5	2do Nivel	1:16	0.385966817746568	-78.12433035170008
6	826	NAP8_II_6	2do Nivel	1:16	0.38734005500095403	-78.12538710675491
7	827	NAP8_II_7	2do Nivel	1:16	0.38645014785662546	-78.12554273450853
8	828	NAP8_II_8	2do Nivel	1:16	0.3858576273253438	-78.12628427218951

h)

Nota: a) Cajas de segundo nivel de la NAP1. b) Cajas de segundo nivel de la NAP2. c) Cajas de segundo nivel de la NAP3. d) Cajas de segundo nivel de la NAP4. e) Cajas de segundo nivel de la NAP5. f) Cajas de segundo nivel de la NAP6. g) Cajas de segundo nivel de la NAP7. h) Cajas de segundo nivel de la NAP8.

3.7 Red de Dispersión

Para la red de dispersión en el Barrio Miravalle, se ha diseñado un sistema que permite llevar la conectividad óptica desde las cajas de distribución de segundo nivel (NAP) hasta las rosetas ópticas en los hogares y las ONU de los clientes finales. Cada caja NAP de segundo nivel estará equipada para abastecer a 16 clientes finales garantizando así una cobertura completa y eficiente en todo el barrio.

Se ha optado por utilizar fibra óptica G657.A2 en la red de dispersión debido a su capacidad para resistir pérdidas por flexión, lo que asegura una transmisión de señal estable y confiable a lo largo de todo el trayecto. El cable de fibra óptica se desplegará hasta el domicilio. Cada roseta óptica en los hogares estará conectada mediante un cable de derivación al terminal SC-APC hembra incorporado en la roseta, utilizando un cable pigtail para la conexión. La

ubicación de las rosetas se determinará en función de la distancia del jumper que provee la ONU, asegurando que cada cliente final tenga acceso óptimo a la red sin comprometer la calidad de la señal. En cuanto a la distancia del cable para la red de dispersión la distancia máxima entre el usuario final y el NAP no supere los 100 metros. La cantidad total de fibra óptica necesaria para esta red de dispersión se determina mediante un cálculo general, tal como se presenta en la Ecuación 15.

$$\text{Total Red Dispersión} = \text{Total Abonados} * 100 \text{ metros}$$

$$\text{Total Red Dispersión} = 809 * 100 \text{ metros}$$

$$\text{Total Red Dispersión} = 80900 \qquad \text{Ecuación (15)}$$

La Ecuación 15 indicó la distancia total para cable de fibra de la red de dispersión que redondeando sería de 81km, el cual la empresa puede implementarlo paulatinamente para cada cliente.

3.8 Equipos necesarios para el diseño

En esta etapa del proyecto, se llevará a cabo la evaluación y selección de los equipos necesarios para la implementación de la red NG-PON2 en el Barrio Miravalle. Se analizarán diversas opciones de equipos disponibles en el mercado, considerando aspectos técnicos, de rendimiento escogiendo la que mejor se adapte.

3.8.1 Elementos Activos

Estos dispositivos serán responsables de la transmisión, recepción y gestión de señales ópticas, facilitando así una conectividad de alta velocidad entre la red y los usuarios finales.

3.8.1.1 OLT (Terminal de Línea Óptica)

El Equipo Terminal de Línea Óptica (OLT) es un componente vital en el diseño de las redes de fibra óptica, encargado de gestionar y distribuir el tráfico de datos hacia y desde los usuarios finales (CDATA, 2023). En el contexto de las redes NG-PON2, que representan la próxima evolución en conectividad de banda ancha, la selección adecuada de la OLT adquiere una importancia aún mayor debido a su papel central encargado de proveer servicios de alta velocidad y ancho de banda. A pesar de la novedad de esta tecnología en la región, se ha identificado la necesidad de adaptar OLTs existentes para cumplir con los requisitos específicos de la tecnología ya que no hay aún equipos específicos. En la tabla 6 se presentan algunas opciones de OLTs que, si bien no son específicas para NG-PON2, ofrecen características que las hacen aptas para su implementación en esta tecnología emergente.

Tabla 6

Comparativa de equipos OLTs disponibles para el diseño

Característica	Huawei EA5800	Huawei MA5800	Tejas TJ1400-7
Marca	Huawei	Huawei	Tejas
Altura	486 mm	486 mm	176.2 mm
Anchura	493 mm	442 mm	442 mm
Profundidad	287 mm	287 mm	268.7 mm
Puertos GPON/XG(S)PON	Hasta 272	Hasta 272	Hasta 40
Puertos GE/FE	Hasta 816	Hasta 816	N/A

Puertos 10GE	Hasta 408	Hasta 136	10
Capacidad de conmutación	3.6 Tb/s - 8 Tb/s	480 Gb/s (varía según el modelo)	-
Temperatura de funcionamiento	-40 °C a 65 °C	-40 °C a 65 °C	-40 °C a 65 °C
Rango de voltaje	-38.4 VCC a - 72 VCC	-38.4 VCC a -72 VCC	-48 VCC / -60 VCC

Fuente: (Huawei, n.d.), (Tejas Networks, n.d.)

En base a las características técnicas y capacidad de servicio indicadas en la tabla 6 se selecciona como OLT al equipo Huawei SmartAX MA5800 (ver Figura 19) el cual se destaca por su capacidad para admitir diversas tecnologías incluyendo: GPON, XG-PON, XGS-PON, TDWM-PON, GE y 10 GE, lo que lo hace adaptable a las necesidades específicas de la red. Dado que la tecnología NG-PON2 requiere que se multiplexen 4 puertos para cada canal, y considerando que se utilizan 8 cajas de primer nivel en la red, se necesita un total de 32 puertos para NG-PON2. El modelo MA58200 cumple con este requisito, ya que proporciona hasta 56 puertos 10GE, lo cual es suficiente para la configuración actual de la red. Además, este modelo ofrece una capacidad adicional de puertos, lo que permite una expansión futura sin necesidad de reemplazar el equipo.

Figura 19

OLT Huawei SmartAX MA5800 X7



Fuente: (YCICT CO., 2023)

Además, es importante tener en cuenta que se necesita un transceptor óptico enchufable SFP+ para conectar a la OLT, proporcionando así la potencia de transmisión correspondiente para NG-PON2. Un modelo adecuado para la OLT Huawei MA5800 es el Hisense LTF627X SFP+ el cual se indica en la figura 20, este modelo soporta múltiples longitudes de onda y es ideal para satisfacer las demandas de transmisión de alta capacidad en redes NG-PON2.

Figura 20

Transceptor óptico Hisense LTF627X-BC+



Fuente: (Hisense, 2020)

A continuación, en la tabla 7 se indican las especificaciones del transceptor óptico para la OLT.

Tabla 7

Características del transceptor óptico Hisense LTF627X SFP+

Especificación	Detalle
Nombre del Producto	NG-PON2 OLT N1
Número de Parte	LTF62XX-PC+
Paquete	SFP+
Interfaz	SC
Alcance	20 km
Temperatura de Operación	C
Potencia de Salida de Tx	5.2~8.2 dBm
Tasa de Transmisión de Tx	9.953 Gb/s
Longitud de Onda de Tx	1596.34/1597.19/1598.04/1598.89 nm
Entrada de Rx	-29.2 dBm
Tasa de Recepción de Rx	9.953 Gb/s
Longitud de Onda de Rx	1524~1544 nm

Fuente: (Hisense, 2020)

En la tabla 8 se indican los costos relacionados para el apartado de la OLT correspondiente al diseño, se indica el elemento, modelo, cantidad necesaria, el costo unitario, el costo total para cada elemento y el costo total para este apartado.

Tabla 8*Costos para la OLT de la red diseñada*

Elemento Activo	Modelo	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo SubTotal (USD)
OLT	Huawei SmartAX MA5800 X7	1	3860,00	3860,00
Transceptor OLT	Hisense LTW2601-BC+	32	117,00	3744,00
Total				7604,00

Fuente: (YCICT CO., 2023), (Hisense, 2020)

3.8.1.2 ONT (Terminal de Red Óptica)

En la selección del equipo ONT para la implementación de la red NG-PON2, se enfrenta a un desafío debido a la novedad de este estándar en la región. Esto se debe, a que la tecnología es nueva y está en desarrollo, además, las empresas no han adaptado completamente sus líneas de productos que incluyan dispositivos compatibles con este estándar NG-PON2. Actualmente, la mayoría de las empresas locales ofrecen ONUs/ONTs diseñadas para sistemas PON heredados, como son: GPON, EPON y XGS-PON, sin embargo, estas no son totalmente compatibles con la tecnología NG-PON2. Aunque estas ONUs/ONTs pueden desempeñar funciones básicas en una red NG-PON2, su rendimiento y capacidades pueden estar limitados en comparación con los dispositivos específicamente diseñados para este estándar.

Es importante considerar la necesidad de ONUs sintonizables (colorless), las cuales son dispositivos terminales capaces de filtrar o sintonizar las diversas longitudes de onda utilizadas por el sistema. Actualmente, como se ha mencionado, hay pocas empresas que proporcionan ONUs específicas para redes NG-PON2, y ninguna de ellas opera en nuestro país.

Para abordar esta tarea, se lleva a cabo un análisis los equipos terminales disponibles en el mercado como se muestra en la tabla 9, donde se presenta las características técnicas de dispositivos ONTs compatibles con los estándares de la red NG-PON2.

Tabla 9

Comparativa de equipos ONT disponibles para el diseño

Característica	Huawei OptiXstar P812E	Huawei OptiXstar P802E	Calix GP1200NG
Puertos NNI	1 x XGS-PON	1 x XGS-PON	10G PON WAN (Óptica modular)
Puertos UNI	4 x GE, 1 x 2.5 GE	4 x GE	1 x 10GE, 2 x 1GE
Tasa de transmisión	9.953 Gb/s	9.953 Gb/s	XGS-PON
Tasa de recepción	9.953 Gb/s	9.953 Gb/s	XGS-PON

Nivel de saturación del receptor	-9 dBm	-9 dBm	-28 dBm
Sensibilidad del receptor	-28 dBm	-28 dBm	-28 dBm
Servicios	Voz, Datos, Video de alta definición (HD), Banda ancha de alta velocidad, Línea privada empresarial, Vigilancia por video	Voz, Datos, Video de alta definición (HD)	Voz, Datos

Fuente: (Huawei, 2023), (Calix, 2023)

Se destaca la ONT Huawei OptiXstar P812E que se indica en la Figura 21, que presenta atributos idóneos correspondientes a la tecnología XGS-PON, incluyendo una capacidad de transmisión simétrica de 10 Gb/s. Este modelo se considera adecuado para NG-PON2 debido a su capacidad para soportar los 4 canales con capacidad XG-PON que define este estándar.

Figura 21

ONU Huawei OptiXstar P812E



Fuente: (Huawei, 2023)

Además, se requiere un módulo SFP (*Small Form-Factor Pluggable*) que cumpla con las exigencias y necesidades de la red óptica. Por ello, se ha seleccionado el transceptor óptico Hisense LTW2601-BC+ compatible con la ONT seleccionada, este módulo se indica en la Figura 22. Este dispositivo, diseñado específicamente para aplicaciones NG-PON2 ONU, ofrece un transmisor ascendente BM de banda C de 10 Gbps y un receptor descendente CW de banda L de 10 Gbps en configuración TDM. Además, el LTW2601-BC+ garantiza un rendimiento óptimo con un control preciso de transmisión y recepción, lo que lo convierte en una opción ideal para implementaciones de NG-PON2 que buscan eficiencia y confiabilidad en su infraestructura de red.

Figura 22

Transceptor óptico Hisense LTW2601-BC+



Fuente: (Hisense, 2024)

En la Tabla 10 se muestra las características del transceptor óptico utilizado para el diseño.

Tabla 10

Características y especificaciones Hisense LTW2601-BC+

Especificación	Detalles
Nombre del producto	NG-PON2 ONU
Número de pieza	LTW2601C-BC+
Paquete	XFP
Interfaz	SC
Alcance	20 kilómetros
Temperatura	-5 °C a +45 °C
Salida de transmisión	4~9 dBm @ER≥6 dB
Tasa de transmisión	9,953 Gbps
Longitud de onda de transmisión	1532,68/1533,47/1534,25/1535,04 nm
Entrada de recepción	-28 dBm
Tasa de prescripción	9,953 Gbps
Longitud de onda de recepción	1596,34/1597,19/1598,04/1598,89 nm

Fuente: (Hisense, 2024)

De acuerdo con los elementos seleccionados se presenta en la tabla 11 los costos relacionados para la parte de la ONT/ONU.

Tabla 11

Costos relacionados para la ONT/ONU

Elemento Activo	Modelo	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo SubTotal (USD)
ONT/ONU	Huawei OptiXstar P812E	809	240,00	194160,00
Transceptor Óptico	Hisense LTW2601-BC+	809	100,00	80900,00
Total				275060,00

Fuente: (Huawei, 2023), (Hisense, 2024)

3.8.1.3 WM1 (Multiplexor de Longitud de Onda)

El equipo multiplexor de longitud de onda (WM) es fundamental en las redes NG-PON2, ya que permite la integración de cuatro longitudes de onda que son esenciales para el diseño de la red. Aunque suele considerarse una parte integral de la OLT, las pérdidas generadas por este dispositivo no se incluyen en las pérdidas del trayecto óptico de la ODN. Dado que actualmente no existen dispositivos WM específicamente diseñados para NG-PON2 en el mercado, se eligen aquellos que poseen características compatibles con el funcionamiento de estos sistemas. En este sentido, se evalúan tanto los multiplexores para sistemas CWDM como los de sistemas DWDM, a pesar de que el espaciamiento

entre canales en los sistemas CWDM, de 20 nm, es significativamente mayor que los 0.85 nm que se utilizan típicamente en NG-PON2.

El diseño de la red para este trabajo de titulación requiere la combinación de un máximo de 4 longitudes de onda dentro de las bandas C, L y S, lo cual se logra eficientemente con un multiplexor CWDM. En este sentido, se ha seleccionado el equipo HyOptic CWDM Mux/Demux (ver Figura 23), que ofrece las capacidades necesarias para manejar las longitudes de onda requeridas y garantizar la integridad de la transmisión óptica en el contexto de NG-PON2. Aunque los multiplexores para sistemas DWDM tienen la capacidad de manejar un número mucho mayor de longitudes de onda, las especificaciones del proyecto requieren una funcionalidad más específica que se adapta mejor al contexto de NG-PON2.

Por lo tanto, es crucial contar con catálogos de multiplexores que operen dentro del espectro óptico reservado para NG-PON2, abarcando las bandas C, L y S, y que permitan la combinación de hasta 8 canales, según lo especificado en el estándar correspondiente. Esta selección asegurará el funcionamiento adecuado de los sistemas NG-PON2 dentro de la red diseñada para el estudio de investigación.

Figura 23

HyOptic CWDM Mux/Demux



Fuente: (HyOptic, 2021)

La Tabla 12 detalla las especificaciones y características del HyOptic DWDM Mux/Demux utilizado en el diseño.

Tabla 12

Características y especificaciones del HyOptic CWDM Mux/Demux

Parámetro	UWDM1-LGX
Longitud de onda de operación	1520~1610 nm
Número de canales	4 CH
Espaciado entre canales	DWDM 100 GHz
Ancho de banda @ 0.5 dB	ITU ± 0.125 nm
Longitud de onda central del canal 1	1532.68/1596.34 nm
Longitud de onda central del canal 2	1533.47/1597.19 nm

Longitud de onda central del canal 3	1534.25/1598.04 nm
Longitud de onda central del canal 4	1535.04/1598.89 nm
Pérdida de inserción (sin conector)	<3.0 dB
Pérdida de inserción (con conector y receptáculo)	<3.5 dB
Aislamiento (Adyacente)	>30 dB
Aislamiento (No adyacente)	>40 dB
PDL	<0.2 dB
Ondulación de banda de paso	<0.5 dB
Pérdida de retorno	>50 dB

Fuente: (HyOptic, 2021)

En la tabla 13 se indica los costos para el multiplexor seleccionado con la cantidad necesaria de este elemento en el diseño de la red.

Tabla 13

Costos para el equipo multiplexor

Elemento Activo	Modelo	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo SubTotal (USD)
------------------------	---------------	-----------------	-----------------------------	-----------------------------

Multiplexor WM1	HyOptic CWDM Mux/Demux	8	150,00	1200,00
Total				1200,00

Fuente: (HyOptic, 2021)

3.8.2 Elementos Pasivos

Estos dispositivos, aunque no requieren alimentación eléctrica, son esenciales para dirigir, dividir y gestionar el flujo de señales ópticas de manera eficiente.

3.8.2.1 ODF (Distribuidor de Fibra Óptica)

El ODF ha sido elegido debido a que es un componente para la gestión de la fibra óptica en el proyecto se opta por el modelo DFOP1-24-SC12 de OptyTECH (ver Figura 24). Este ODF proporciona una solución integral y confiable para la interconexión y terminación de segmentos de fibra óptica, garantizando una conectividad óptima y un rendimiento superior. Con capacidad para 24 puertos SC/APC, el ODF DFOP1-24-SC12 ofrece una configuración ideal para la implementación de NG-PON2, asegurando una conexión precisa y de alta calidad en cada punto de terminación. Su diseño robusto y duradero, junto con su compatibilidad con conectores SC/APC, garantiza una pérdida mínima de señal y una transmisión eficiente de datos en la red.

Figura 24

ODF DFOP1-24-SC12 para fibra óptica



Fuente: (OptyTech, 2021)

La Tabla 14 detalla las especificaciones del Distribuidor Óptico de Fibra (ODF) suministrado por la empresa OPTYTECH, reconocida por su oferta de equipos y materiales para redes de fibra óptica.

Tabla 14

Características y especificaciones del ODF DFOP1-24-SC12

Característica	Especificación
Material	Acero A36, con espesor 1.5 mm
Capacidad	24 puertos ópticos
Dimensión	481* 280*44
Caseteras	2
Bandeja de empalme	Con capacidad para alojar 24 fibras

Adaptadores	FC, LC, ST, SC
Tipo de fibra	Monomodo (UIT G.652D o G.655) o Multimodo (UIT G.651)
Pulido	UPC o APC
Ingreso posterior de cables	Permite el acceso de cables de diámetro de hasta 20mm
Pigtails	FC, SC, LC, ST, con pulido UPC o APC, diámetro exterior de 0.9mm, 2mm o 3mm, fibra Monomodo (UIT G.652D o G.655, G657A)
Espacio para reservas de Pigtails	Perm

Fuente: (OptyTech, 2021)

En la tabla 15 se indica los costos relacionados con el ODF seleccionado de la empresa OptyTech.

Tabla 15

Costos para el ODF

Elemento Activo	Modelo	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo SubTotal (USD)
-----------------	--------	----------	----------------------	----------------------

ODF para 24 puertos	ODF DFOP1- 24-SC12	1	50,00	50,00
Total				50,00

Fuente: (OptyTech, 2021)

3.8.2.2 NAP1 (NAP de Primer Nivel)

Para garantizar un rendimiento óptimo en entornos exigentes, se ha seleccionado el modelo GPJ09-8205 de NAPs IP68 para el primer nivel de la red esta se puede apreciar en la Figura 26. Esta elección se basa en su diseño especialmente desarrollado para resistir condiciones ambientales rigurosas, incluida la humedad, vibración y variaciones de temperatura externa. El modelo NAP GPJ09-8205 posee un puerto de sangrado, 16 puertos adicionales para derivación, capacidad de fusión de hasta 92 hilos y 24 adaptadores SC según sus especificaciones. Posee su capacidad para alojar splitters de distinta distribución como 1:4, 1:8 o 1:16, junto con su bandeja abatible para una instalación sencilla, la convierte en una opción ideal para redes FTTH. Por último, la homologación por parte de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones respalda su calidad y fiabilidad para su implementación en infraestructuras de telecomunicaciones.

3.8.2.3 Splitters ópticos

Estas cajas NAP cuentan con splitters ópticos, los cuales se han seleccionado dos modelos de la marca Keynet Systems. El primer modelo, SOP-B18-SA-SH2 como se indica en la Figura 26, con una relación de división de 1:8, está destinado a las cajas de distribución de primer nivel (NAP), garantizando una distribución equitativa de la señal óptica a ocho salidas distintas. Por otro lado, el segundo modelo, SOP-B116-SA como se

indica en la Figura 25, con una relación de división de 1:16, se utilizará en las cajas de dispersión de segundo nivel (NAP), permitiendo la conexión de hasta dieciséis usuarios finales a través de una sola caja.

Figura 25

Splitters Ópticos para cajas NAP de primer y segundo nivel



Fuente: (Keynet Systems, 2019)

Figura 26

Caja NAP de Primer Nivel IP68



Fuente: (OptyTECH, 2021)

La Tabla 16 detalla las especificaciones de la caja NAP de primer nivel.

Tabla 16

Especificaciones Caja NAP IP68

NAP de Primer Nivel IP68	
Componente	Especificación
Modelo	GPJ09-8205
Material de la caja	Plástico modificado
Tamaño (mm)	380 x 245 x 130
Material de sellado	Goma de silicona vulcanizada
Peso (kg)	3 a 3.5
Temperatura de trabajo	-40°C a +65°C
Humedad relativa	90% a 30 °C
Temperatura de almacenamiento	-40°C a +65°C
Grado de protección	IP 68, IK 06
Estándares	ISO9001, ISO14001, CNAS, IAF, UL 94 V0

Fuente: (OptyTECH, 2021)

En la tabla 17 se indica los costos relacionados con la caja NAP de primer nivel seleccionada.

Tabla 17

Costos para la caja NAP de primer nivel

Elemento Activo	Modelo	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo SubTotal (USD)
NAP de primer nivel (Incluye bandeja de empalme)	GPJ09-8205	8	44,32	354,56
Divisor Óptico	SOP-B18-SA-SH2	8	21,80	174,40
Acoplador SC	SC-APC TA-SA207-S-BX	8	0,60	4,80
Total				533,76

Fuente: (Keynet Systems, 2019), (OptyTECH, 2021)

3.8.2.4 NAP2 (NAP de Segundo Nivel)

Para la caja NAP de segundo nivel, se ha optado por el modelo CF0-4716 del fabricante Connection, debido a su capacidad para albergar splitters y realizar hasta 16 fusiones. Esta elección se fundamenta en la necesidad de una solución rentable y eficiente para la distribución de señales ópticas en redes FTTH. La caja CF0-4716 (ver Figura 27) destaca por su diseño robusto con certificación IP65, lo que garantiza protección contra factores ambientales adversos, como el polvo y la lluvia, asegurando así un rendimiento confiable en entornos exteriores. Además, su versatilidad para adaptarse a diferentes

ratios de splitteo y condiciones de implementación la posiciona como una opción altamente adaptable y funcional para el segundo nivel de la red FTTH.

Figura 27

Caja NAP de Segundo Nivel IP65



Fuente: (SincablesEC, 2021)

De igual forma se presenta en la tabla 18 las características y especificaciones para la caja NAP de segundo seleccionada en el diseño.

Tabla 18

Especificaciones Caja NAP IP65

NAP de Segundo Nivel IP65	
Característica	Especificación
Modelo	CF0-4716
Número de puertos	16

Estándar	IP65 para exteriores
Tecnología de fibra óptica	FTTH-FTTX
Número de piezas	16 piezas para adaptadores SC
Temperatura de trabajo	-40 °C ~ + 60 °C
Temperatura de almacenamiento	-25 °C ~ + 55 °C
Humedad relativa	≤85% (+30 °C)
Presión atmosférica	70 ~ 106 kPa

Fuente: (SincablesEC, 2021)

En la tabla 19 se indica los costos relacionados para la caja NAP de segundo nivel utilizada en el diseño de la red.

Tabla 19

Costos para la caja NAP de segundo nivel

Elemento Activo	Modelo	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo SubTotal (USD)
NAP de segundo nivel	CF0-4716	51	27,10	1382,10

Divisor Óptico	SOP-B116-SA	51	36,68	1870,68
Total				3252,78

Fuente: (SincablesEC, 2021)

3.8.2.5 Cable Red Feeder

El despliegue de la fibra óptica en la red feeder, se basará en el uso de fibra óptica monomodo que cumple con el estándar ITU-T G.652D. En este contexto, se optará por la implementación del cable ADSS G.652.D de 12 hilos diseñado específicamente para instalaciones aéreas de despliegue rápido. Este cable ha sido seleccionado por su capacidad dieléctrica, lo que lo hace idóneo para situaciones donde se requiere ausencia de conductividades eléctricas. Además, se caracteriza por su span de 100 metros debido a una combinación de factores clave, su diseño autosoportante y la robustez de la fibra óptica G.652.D garantizan una alta resistencia mecánica, crucial para sostener el peso del cable sin deformaciones ni roturas. Además, limitar el span a 100 metros ayuda a mitigar la atenuación de la señal óptica durante su recorrido, preservando la integridad de la transmisión de datos a lo largo de distancias significativas. También un span más corto reduce el riesgo de daños provocados por condiciones climáticas adversas.

Para la red feeder, se seleccionó una fibra óptica adecuada para soportar la tecnología NG-PON2, tomando en cuenta la capacidad de transmisión y la distancia de alcance necesarias. Se eligió el modelo F21-12HD-FP11N del distribuidor Keynet Systems. Este modelo cumple con los requisitos de transmisión de alta velocidad y baja

atenuación, esenciales para la red feeder. En la Tabla 20 se presentan las características detalladas proporcionadas por el fabricante.

Tabla 20

Especificaciones fibra óptica red feeder

Especificaciones	Valor
SPAN	120m
Número de fibras	12 G.652D
Código de color	TIA/EIA 598
Número de tubos holgados	1
Diámetro del tubo holgado	2.15 mm
Número de fibra por tubo	12
Diámetro del cable	12.4 ± 0.4mm
Información Técnica	
Peso	125 kg/km
Tensión de operación	1554 N
Máxima tensión admisible	3200N
Máxima velocidad de viento en SPAN de 100m	25m/s

Cubierta	Aramida y doble forro de polietileno
Elemento central dieléctrico	FRP 2.3mm de diámetro
Temperatura de operación	-20 °C ~ + 60 °C

Características de la fibra óptica G.652D

Diámetro del campo modal	1310nm: 9.2 um ± 0.4 um 1550nm: 10.4um ± 0.8 um
Diámetro Cladding	125 um ± 1.0um
Atenuación	1310nm: ≤0.35 dB/km 1550nm: ≤0.21 dB/km
Dispersión en el rango de 1288 a 1339 nm	≤3.5ps/(nm*km)
Dispersión a 1550 nm	≤18ps/(nm*km)

Fuente: (Keynet Systems, 2024)

De igual forma en la tabla 21 se indica el costo relacionado con el cable de fibra seleccionado, así como la cantidad de cable necesario de acuerdo con el diseño .

Tabla 21

Costo de la fibra óptica para la red feeder de la red diseñada

Elemento Activo	Modelo	Cantidad (metros)	Costo Unitario (USD)	Costo SubTotal (USD)
-----------------	--------	-------------------	----------------------	----------------------

Cable de Fibra Óptica (Red Feeder)	F21-12HD-FP11N	3800	1,66	6308,00
Total				6308,00

Fuente: (Keynet Systems, 2024)

3.8.2.6 Cable Red Distribución

Para la selección del cable de fibra óptica en la red de distribución, se han considerado varias especificaciones técnicas críticas. En este caso, la fibra óptica seleccionada cumple con la norma ITU-T G.657A2, que ofrece alta resistencia a la flexión y es ideal para aplicaciones donde se requiere una durabilidad significativa. La elección específica es un cable de 24 fibras SM Monomodo G657A2 con un revestimiento dieléctrico de 900 μ , garantizando una transmisión de datos eficiente y confiable a lo largo de la red. El modelo de cable seleccionado, F1A-FvT, está diseñado para soportar altas tensiones y es adecuado tanto para uso en interiores como en exteriores. Este cable se implementará en la red de distribución, asegurando que se cumplan los requisitos de longitud y rendimiento necesarios para el proyecto. La configuración de 24 hilos del cable se alinea con las necesidades específicas de la red, proporcionando suficiente capacidad para la expansión y mantenimiento futuros.

Tabla 22

Especificaciones fibra óptica red de distribución

Descriptivo	Especificación
Embalaje	2000 mt / Al corte
Nomenclatura	F1A-FvT
Número de Fibras	24
Tipo de Fibra	Monomodo SM G657A2
Diámetro de Fibras	900μ
Construcción del Cable	Ajustada
Material de la Cubierta	LSZH
Refuerzos	Fibras de vidrio
Características del Cable	Antirroedor leve, Dieléctrico, Flexibilidad alta
Normativa CPR	B2ca
Instalación	Interior y exterior
Color	Negro

Fuente: (Keynet Systems, 2024)

Se presenta en la tabla 23 los costos relacionados con la fibra óptica para la red de distribución.

Tabla 23

Costo de la fibra óptica para la red de distribución de la red diseñada

Elemento Activo	Modelo	Cantidad (metros)	Costo Unitario (USD)	Costo SubTotal (USD)
Cable de Fibra Óptica (Red de Distribución)	F1A-12A-B2L2N	10000	2,06	20600,00
Total				20600,00

Fuente: (Keynet Systems, 2024)

3.7.2.7 Cable Red Dispersión

La red de dispersión representa el último segmento en la infraestructura de la red FTTH, donde lleva la señal óptica desde la NAP de segundo nivel hasta el usuario final, donde se conecta al equipo receptor, conocido como la OLT. Para garantizar un rendimiento óptimo y una conectividad confiable en esta etapa final del proceso, es crucial seleccionar un cable de fibra óptica que cumpla con los estándares y requisitos específicos de la tecnología NG-PON2, se ha tomado la decisión de emplear fibra óptica que cumpla con los estándares recomendados por la UIT-T G657A2. Esta especificación se destaca por su idoneidad para aplicaciones de última milla en infraestructuras FTTH, específicamente el cable DROP de 1 hilo de fibra monomodo (SM). Este tipo de fibra proporciona la flexibilidad y la fiabilidad necesarias para garantizar una conexión estable y de alta calidad desde la NAP de segundo nivel hasta la roseta óptica en el hogar del usuario final, donde se completa la última etapa de la red de dispersión.

El cable de fibra cuenta con un span de 80 metros debido a razones técnicas específicas y requerimientos de aplicaciones. Esta especificación se adecua

principalmente a escenarios de corto alcance, como conexiones dentro de edificios o entre edificios cercanos o en este caso hasta una casa, donde distancias más largas no son necesarias. Al limitar el span a 80 metros, se minimiza la atenuación de la señal durante la transmisión, asegurando una conectividad eficiente y confiable para aplicaciones urbanas y de alta densidad de edificios.

Tabla 24

Especificaciones fibra óptica red de dispersión

Descripción	Especificaciones
SPAN	80 m
Código de color	TIA/EIA 598
Longitud del rollo del cable	1000 m
Tensión de operación	1554 N
Máxima tensión admisible	3200 N
Máxima velocidad de viento en SPAN de 100 m	25 m/s
Cubierta	Aramida y doble forro de polietileno
Elemento central dieléctrico	FRP de 2.3 mm de diámetro
Temperatura de operación	-20 °C ~ + 60 °C

Características de la fibra óptica	
Diámetro del campo modal	1310 nm: $9.2 \mu\text{m} \pm 0.4$
	μm
Diámetro del revestimiento (cladding)	1550 nm: $10.4 \mu\text{m} \pm 0.8$
	μm
Atenuación	1310 nm: $\leq 0.40 \text{ dB/km}$
	1550 nm: $\leq 0.30 \text{ dB/km}$

Fuente: Hoja de especificaciones (Anexo III)

De igual forma luego de conocer las características y especificaciones del cable de fibra óptica para la red de distribución se indica en la tabla 25 los costos relacionados al diseño.

Tabla 25

Costo de la fibra óptica para la red de dispersión de la red diseñada

Elemento	Modelo	Cantidad (metros)	Costo Unitario (USD)	Costo SubTotal (USD)
Cable de Fibra Óptica (Red de Dispersión)	F80P-01A-S-EL14N-BR	81000	0,26	21060,00
Total				21060,00

Fuente: (Keynet Systems, n.d.)

3.8.2.8 Rosetas

Finalmente, para la roseta óptica se ha seleccionado el modelo FTB-2000-PR de la empresa Keynet Systems (ver Figura 28). Este dispositivo ofrece una gestión eficiente de la fibra óptica, gracias a su capacidad para alojar y proteger las conexiones de manera organizada y segura. Además, los elementos que conforman la roseta serán de la misma empresa, para complementar la roseta, se ha elegido el pigtail modelo SC-APC TF-PSA12-Y015 con el conector modelo SC-APC TA-SA207-S-BX cabe mencionar que ha sido seleccionado en base al estándar G.989 para NG-PON2, lo que asegura una compatibilidad óptima y confiable con la infraestructura de la red. El conjunto de elementos para la roseta óptica conforma una solución integral y eficiente para la distribución de señales ópticas en la red NG-PON2, garantizando una conectividad confiable y de alto rendimiento para los usuarios finales.

Figura 28

Roseta óptica con Pigtail y conector SC-APC



Fuente: (Keynet Systems, 2019)

A continuación, en la tabla 26 se muestra el costo relacionado para las rosetas ópticas en el diseño de la red.

Tabla 26

Costo de la fibra óptica para la red de distribución de la red diseñada

Elemento	Modelo	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo SubTotal (USD)
Caja Terminal (Roseta)	FTB-2000-PR	809	2,00	1618
Acoplador SC-APC	SC-APC TA-SA207-S-BX	809	1,90	1537,1
Pigtail SC-APC	SC-APC TF-PSA12-Y015	809	0,55	444,95
Total				3600,05

Fuente: (Keynet Systems, 2019)

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Para este capítulo se hace uso del software especializado para simular su funcionamiento, de esta forma evaluar de la potencia de transmisión, un aspecto crucial para validar los cálculos teóricos y simular escenarios extremos de comunicación entre la OLT y la ONT, además se realiza un presupuesto económico esto con el fin de realizar un análisis de flujo de caja para determinar la viabilidad económica del proyecto.

4.1 Presupuesto de pérdida óptica y potencia

El presupuesto de pérdida óptica y de potencia se refiere al proceso de cálculo y evaluación de todas las pérdidas de señal que se producen a lo largo de un sistema de comunicación óptica, desde el transmisor hasta el receptor.

Estas pérdidas pueden incluir la atenuación en la fibra óptica, las pérdidas en los conectores y empalmes, y las pérdidas introducidas por dispositivos pasivos como splitters. El objetivo de este presupuesto es asegurar que la señal llegue al receptor con suficiente potencia para garantizar una comunicación fiable y de alta calidad. Según (UIT-T, 2021), el estándar define los requisitos para el presupuesto de potencia en las redes NG-PON2, especificando los niveles de potencia mínima y máxima para garantizar el rendimiento óptimo de la red.

4.1.1 Parámetros físicos de la ODN

La Recomendación UIT-T G.989.2 especifica las clases de atenuación y pérdida de potencia necesarias para garantizar el óptimo funcionamiento de la red. Las clases definidas en esta recomendación son: nominal1 (N1), nominal2 (N2), extendida1 (E1) y extendida2 (E2). Cada una de estas clases se caracteriza por un rango específico de

atenuación, que es crucial para mantener una calidad de la señal a lo largo de la red óptica como se detalla en la tabla 27.

La clase nominal1 (N1) permite una pérdida mínima de 14 dB y una pérdida máxima de 29 dB, mientras que la clase nominal2 (N2) admite una pérdida mínima de 16 dB y una máxima de 31 dB. Estas clases son adecuadas para redes con menores distancias y menores desafíos topográficos. Por otro lado, las clases extendida1 (E1) y extendida2 (E2) están diseñadas para redes más extensas, donde se requiere un mayor margen de atenuación. La clase extendida1 (E1) permite una pérdida mínima de 18 dB y una pérdida máxima de 33 dB, y la clase extendida2 (E2) admite una pérdida mínima de 20 dB y una máxima de 35 dB. Estos valores de atenuación son fundamentales para asegurar que las señales ópticas mantengan niveles adecuados de potencia y calidad, evitando la saturación de los equipos activos de la red.

Además, proporcionan una mayor flexibilidad en el diseño y la implementación de la red, garantizando una cobertura eficiente y sólida que puede ajustarse a futuras expansiones y avances tecnológicos.

Tabla 27

Clases de pérdida del trayecto óptico ODN (clases ODN)

Clase de ODN	Pérdida Mínima (dB)	Pérdida Máxima (dB)
Clase Nominal 1 (N1)	14	29
Clase Nominal 2 (N2)	16	31

Clase Extendida 1 (E1)	18	33
Clase Extendida 2 (E2)	20	35

Fuente:(UIT-T, 2021)

Una vez determinadas las clases de los rangos de atenuación y establecidas las potencias máximas y mínimas para la OLT y la ONT es fundamental llevar a cabo un análisis detallado del presupuesto de potencia y la pérdida óptica. Este análisis matemático permitirá evaluar la viabilidad de la red NG-PON2, asegurando que el sistema opera dentro de los parámetros de potencia especificados y cumple con los requisitos de rendimiento establecidos por el estándar. El presupuesto de potencia se calcula sumando las pérdidas ópticas a lo largo de la fibra, que incluyen pérdidas por distancia, conectores y divisores ópticos, y comparándolo con las potencias transmitidas y recibidas. (UIT-T, 2021)

4.1.2 Cálculo del presupuesto de potencia óptico

El presupuesto de potencia óptico es la diferencia entre la potencia máxima transmitida por la OLT y la sensibilidad mínima del receptor ONT, según la definición proporcionada por la (The Fiber Optic Association, 2016), el nivel máximo de acuerdo con el nivel N1 es de 6 dBm, pero como se realiza con la tecnología NG-PON2 se base de la potencia máxima que ofrece el transceptor óptico seleccionado que es 8.2dBm. La Ecuación 16 indica el proceso para calcular este presupuesto:

$$P_P = P_{TX\ MAX} - S_{RX} \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$P_P = 8.2\text{dBm} - (-28\text{dBm})$$

$$P_P = 36.2\ \text{dB}$$

Donde:

- P_P representa el presupuesto de potencia óptico.
- $P_{TX\ MAX}$ es la potencia máxima óptica transmitida por la OLT.
- S_{RX} es la sensibilidad mínima del receptor ONT.

Este resultado indica un margen óptico de 36.2 dB. Este margen es esencial para garantizar que el sistema de fibra óptica funcione correctamente, asegurando que la señal transmitida por la OLT se mantenga dentro de un rango adecuado para ser detectada y procesada por la ONT, respetando los límites de sensibilidad del receptor.

4.1.3 Cálculo de pérdida de potencia óptica

Para calcular la pérdida de potencia óptica en una red NG-PON2, es fundamental considerar las diversas fuentes de atenuación que afectan la señal óptica a lo largo del trayecto entre el Optical Line Terminal (OLT) y el Optical Network Terminal (ONT). Según la Recomendación ITU-T G.989.2, la atenuación total de una red óptica se determina utilizando la Ecuación 17:

$$A = \alpha \cdot L + \alpha_s \cdot x + \alpha_c \cdot y + \alpha_n \cdot z \quad \text{Ecuación (17)}$$

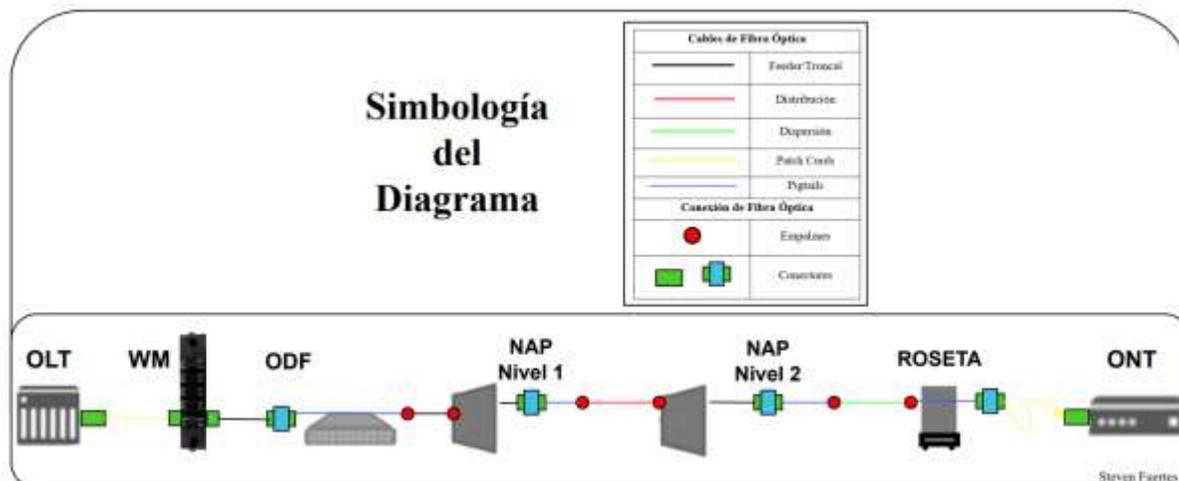
Donde:

- A es la atenuación total.
- α es el coeficiente de atenuación de la fibra óptica (en dB/km).
- L es la longitud de la fibra óptica (en km).
- α_s es la pérdida por empalme (en dB).
- x es el número de empalmes.
- α_c es la pérdida por conector (en dB).
- y es el número de conectores.
- α_n es la pérdida por splitters (en dB).
- z es el número de splitters en la red.

El cálculo detallado de la pérdida óptica considera cada uno de estos factores, permitiendo una evaluación precisa de la atenuación en la red. Este análisis incluye las pérdidas inherentes a la longitud de la fibra, que es acumulativa a lo largo de la distancia; las pérdidas por empalmes y conectores, que resultan de las uniones y conexiones físicas; y las pérdidas asociadas a los splitters, que distribuyen la señal entre múltiples vías. Basado en este análisis, se procede a calcular las pérdidas de potencia o atenuaciones a lo largo del trayecto entre la OLT y la ONT, considerando la arquitectura de la red FTTH detallada en la Figura 29, que muestra los elementos de conexión y su funcionamiento.

Figura 29

Diagrama de elementos de la red FTTH (NG-PON2)



Fuente: Autoria Propia

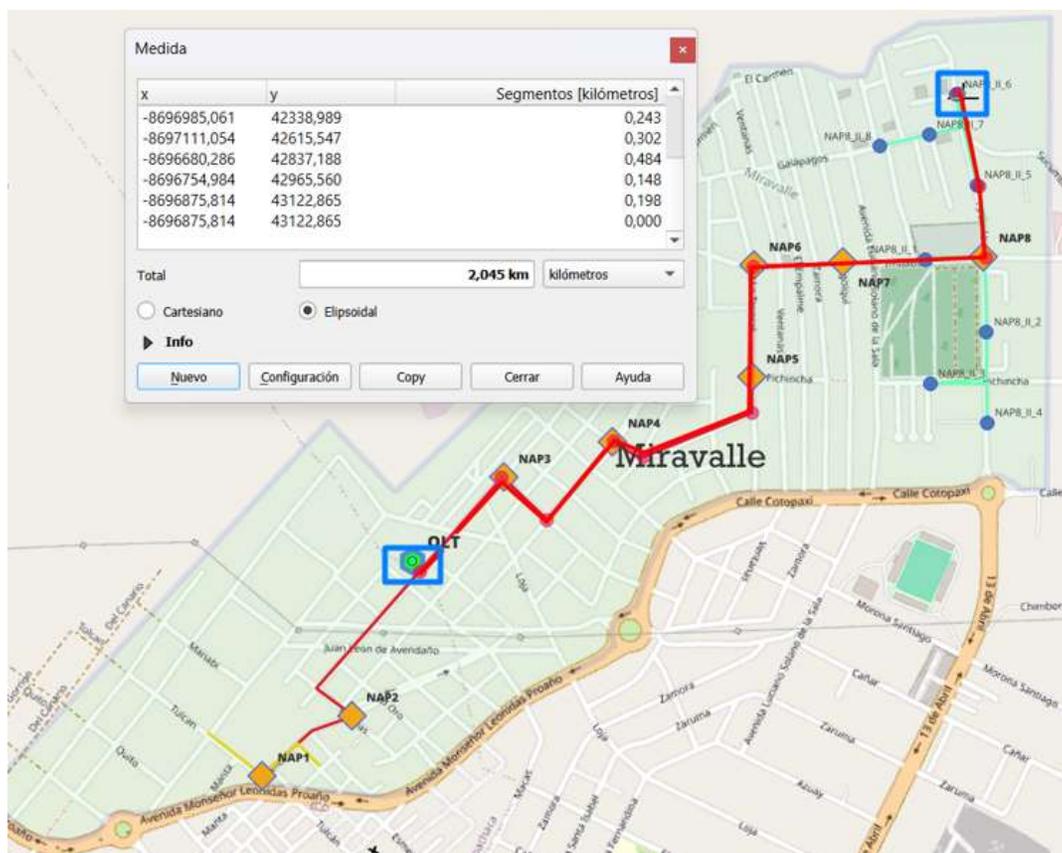
4.1.3.1 Atenuación por longitud de fibra óptica

La atenuación de la fibra óptica a lo largo de su longitud se produce debido a la reducción de la potencia de la señal mientras esta viaja a través del cable. Esta pérdida está relacionada con las características intrínsecas de la fibra óptica y la longitud de onda utilizada. Para realizar un análisis preciso, es crucial tener en cuenta la distancia desde la OLT hasta la ONT más cercana y la más distante en el barrio Miravalle.

La atenuación por longitud de fibra es un factor crítico ya que influye directamente en la calidad y fiabilidad de la comunicación. Este tipo de pérdida se analiza teniendo en cuenta las distancias extremas como se indicó en el párrafo anterior, asegurando que la señal óptica llegue a todas las ONT con suficiente potencia para mantener un servicio de alta calidad. Las figuras a continuación muestran las distancias máximas desde la OLT hacia los clientes más lejanos para la zona. A continuación, se presentarán las distancias específicas de los clientes más lejanos, con especial atención a las cajas NAP de primer nivel 1 y 8, que albergan a los abonados más distantes.

Figura 30

Primera Distancia del cliente más lejano en el barrio Miravalle entre el OLT y el cliente

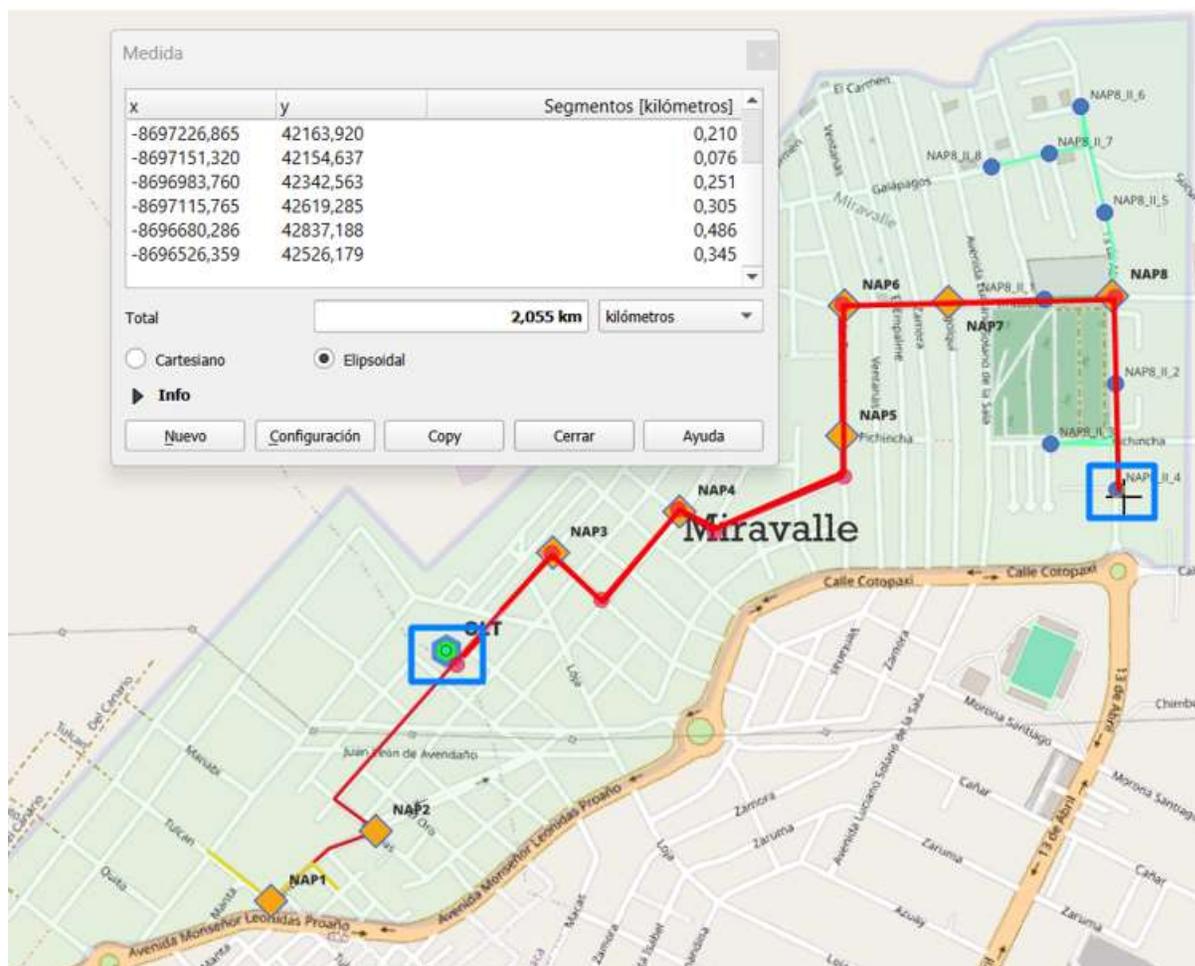


Fuente: Autoria Propia

En la figura correspondiente, se puede observar que, en dirección sureste desde la ubicación de la OLT, se encuentra un cliente a una distancia de 2,045 km. Para un análisis comparativo completo, es necesario identificar y analizar otro cliente potencialmente lejano, lo que permitirá una evaluación integral de las distancias en la red planificada.

Figura 31

Segunda Distancia del cliente más lejano en el barrio Miravalle entre el OLT y el cliente



Fuente: Autoria Propia

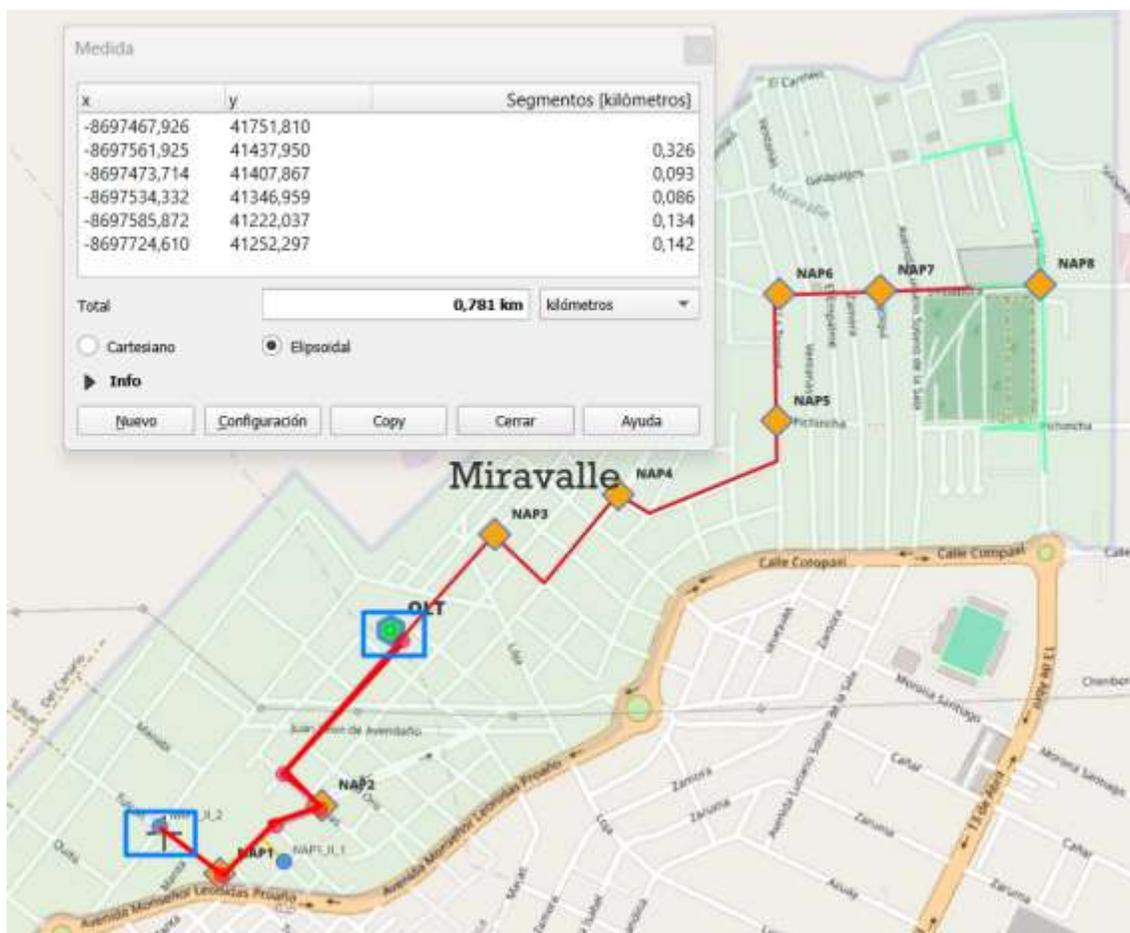
En la figura 31, se muestra el trayecto hacia un cliente lejano ubicado en dirección sureste correspondiente a la caja NAP 4 de segundo nivel, desplazándose hacia el sur desde la ubicación de la OLT. Este trayecto tiene una distancia de 2,055 km.

Además, se considera otra zona alejada en dirección suroeste, correspondiente a la caja NAP de primer nivel 1, que también presenta una distancia significativa como se indica en la Figura 32 correspondiente a 0,781km. Estas mediciones permiten identificar las distancias más extremas en la red, proporcionando una base sólida para el análisis de atenuación y la evaluación del rendimiento en las áreas más distantes. Este enfoque

asegura una evaluación completa de la cobertura de la red y permite determinar la distancia más lejana.

Figura 32

Tercer Distancia del cliente más lejano en el barrio Miravalle entre el OLT y el cliente



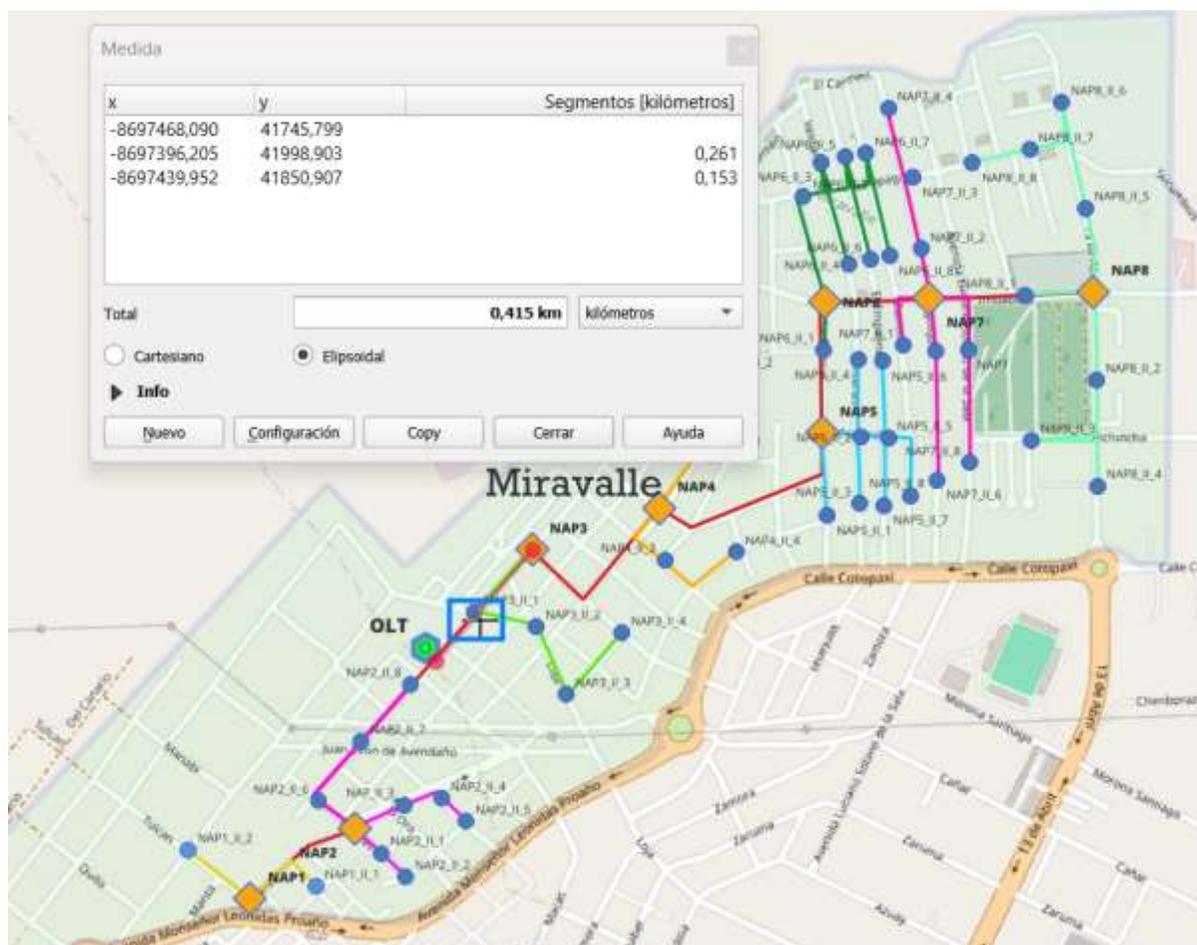
Fuente: Autoria Propia

Una vez indicadas las distancias para las zonas más alejadas de la OLT, se considera y se evidencia que el cliente más lejano se encuentra a una distancia de 2,055 km desde la OLT. Esta medición representa la distancia máxima en la red, destacando el punto más remoto al que debe llegar la señal óptica.

En relación con el cliente más cercano se encuentra a una distancia de 0,415 km indicado en la Figura 33. Estos datos son necesarios para avanzar con los cálculos necesarios y realizar una evaluación precisa de la cobertura y el rendimiento de la red.

Figura 33

Distancia del cliente más cercano en el barrio Miravalle entre el OLT y el cliente



Fuente: Autoría Propia

En el diseño de la red, se utilizan dos tipos de fibra óptica: G.652.D y G.657.A, cada una con características de atenuación distintas según la longitud de onda empleada. La fibra óptica G.652.D, utilizada en las redes feeder y de distribución, tiene una

atenuación de 0.25 dB/km para las longitudes de onda de 1550 nm (banda C) y 1625 nm (banda L). Estas bandas son fundamentales para la transmisión de voz, datos y video sobre IP, con la longitud de onda de 1550 nm también siendo crucial para la transmisión de video RF. Por otro lado, la fibra óptica G.657.A, empleada en la red de dispersión, presenta una atenuación de 0.30 dB/km para la longitud de onda de 1550 nm y de 0.40 dB/km para la longitud de onda de 1625 nm. Estas diferencias en la atenuación reflejan las características específicas de cada tipo de fibra, adaptadas para cumplir con los requisitos técnicos de las diferentes partes de la red.

En la Ecuación 18 se presenta el cálculo de la atenuación correspondiente para el cliente más lejano, por otra parte, la Ecuación 19 se muestra la atenuación para el cliente más cercano, utilizando el coeficiente de atenuación α . La atenuación en la fibra óptica se determina multiplicando la distancia de la fibra óptica por el coeficiente de atenuación. La fórmula general utilizada para estos cálculos es:

$$A_d = \alpha \times L$$

Donde:

- A_d es la atenuación de distancia,
- α es el coeficiente de atenuación (0,25 dB/km),
- L es la longitud del cable de fibra óptica.

A continuación, se indica el cálculo para el cliente más lejano:

$$A_{d1} = \alpha \times L \qquad \text{Ecuación (18)}$$

$$A_{d1} = 0,25 \text{ db/km} \times 2,055 \text{ km}$$

$$A_{d1} = 0,5137 \text{ dB}$$

Luego se realiza el cálculo para el cliente más cercano:

$$A_{d2} = \alpha \times L \quad \text{Ecuación (19)}$$

$$A_{d2} = 0,25 \text{ db/km} \times 0,415 \text{ km}$$

$$A_{d2} = 0,1037 \text{ dB}$$

4.1.3.2 Atenuación por conexión de empalmes ópticos

La atenuación generada por las fusiones de cables de fibra óptica puede afectar la calidad de la señal en la red, sea que se utilice con patch cords, etc. Según la Recomendación UIT-T L.400/L.2 se han establecido rangos de atenuación para estos empalmes en función de la longitud de onda.(UIT-T, 2022) Para la banda C y L utilizada en NG-PON2, la atenuación máxima recomendada por empalme es de 0.2 dB. La Tabla 28 proporciona un resumen de estos valores. Estos valores aseguran un cálculo preciso de la pérdida por empalmes.

Tabla 28

Rango de atenuación para empalmes de fibra óptica

Rango de atenuación para empalmes de fibra óptica			
Tipo de pérdida	Longitud de onda	Atenuación (dB)	Unidad
Inserción	(1260 nm - 1625 nm)	Media: ≤ 0.1 Máxima: ≤ 0.2	<i>db</i>

Fuente: (UIT-T, 2022)

Según lo indicado en la Figura 29, la red contiene un total de 6 empalmes de fibra óptica. Para determinar la atenuación total debida a estos empalmes, se emplea la siguiente fórmula: el producto del número de empalmes por la atenuación por empalme, resultando en la atenuación total de los empalmes, denotada como A_e . La Ecuación 20 indica este cálculo:

$$A_e = \alpha_s \times x \quad \text{Ecuación (20)}$$

$$A_e = 0,10 \text{ db} \times 6$$

$$A_e = \mathbf{0,60 \text{ dB}}$$

4.1.3.3 Atenuación por conectores

La atenuación asociada a los conectores ópticos en una red de fibra se conoce como pérdida por inserción, según la Recomendación UIT-T L.36. Estos conectores, que forman parte del trayecto óptico, introducen una pérdida de potencia en la señal transmitida. La Recomendación clasifica la atenuación de los conectores en varios grados, de los cuales el Grado A representa la atenuación mínima y el Grado D la máxima. Aunque el Grado A no está definido, el Grado C es el más comúnmente utilizado y recomendado, con una atenuación máxima de 0.5 dB por conector (UIT-T, 2015).

La Tabla 29 muestra los rangos de atenuación de los conectores ópticos, indicando que la atenuación ideal (Grado A) es la más baja, mientras que el Grado D representa el peor escenario. Para fines prácticos, y dado que el Grado A no está especificado, se utiliza el valor máximo del Grado C, que es 0.5 dB, para estimar la atenuación de los conectores en la red.

Tabla 29*Grados de atenuación por conectores de Fibra Óptica*

Grado de atenuación	Atenuación	Unidad
A	Aún no definido	
B	≤ 0.12 media, ≤ 0.25 máxima	dB
C	≤ 0.25 media, ≤ 0.5 máxima	dB
D	≤ 0.5 media, ≤ 1 máxima	dB

Fuente:(UIT-T, 2015)

De acuerdo con la Figura 29, la red óptica presenta un total de 12 conexiones mediante conectores de fibra óptica. Para determinar la atenuación total introducida por estos conectores, se utiliza el principio establecido en la Ecuación 21, que define la atenuación como el producto entre la atenuación individual de cada conector y el número total de conectores en la red. Esta metodología permite calcular la atenuación total debida a los conectores ópticos. (UIT-T, 2015)

$$A_c = \alpha_c \times n \quad \text{Ecuación (21)}$$

Donde:

- A_c representa la atenuación total por conectores
- α_c es la atenuación por conector (0.5 dB, según UIT-T L.36)
- n es el número total de conectores (12 en este caso)

La atenuación total atribuida a los conectores se determina multiplicando el valor de atenuación por conector por el número total de conectores presentes en la red óptica, como se muestra en la Ecuación 9. Este cálculo ofrece una estimación precisa de las pérdidas de potencia asociadas a los conectores a lo largo de toda la infraestructura óptica. Los detalles de estos cálculos se presentan en la Ecuación 22.

$$A_c = \alpha_c \times n \quad \text{Ecuación (22)}$$

$$A_c = 0.5 \text{ dB} \times 12$$

$$A_c = \mathbf{6 \text{ dB}}$$

4.1.3.4 Atenuación por multiplexor por longitud de onda WM

Es importante señalar que, en el diseño de la red, se debe tener en consideración el módulo WDM que forma parte de la OLT por tanto no se considera parte de la ODN. Este módulo introduce una pérdida adicional de 1.0 dB, que corresponde a un MUX/DEMUX de 4 canales. Se va a denotar con $A_{wm} = \mathbf{1.0 \text{ dB}}$ para los cálculos posteriores de sumatoria total.

4.1.3.5 Atenuación por splitters ópticos

El cálculo de la atenuación por splitters en la red de fibra óptica, según la Recomendación UIT-T G.671 depende del número de entradas (N) y salidas (X), donde $X=2^n$ y n varía entre 1 y 6. Los valores comunes para X son 2, 4, 8, 16, 32, y 64, indicando el número de divisiones ópticas. (UIT-T, 2019)

Para la tecnología NG-PON2 utilizada en esta red, se han establecido dos niveles de splitters. El primer nivel tiene una división de 1:8, mientras que el segundo nivel tiene una división de 1:16, la atenuación máxima recomendada para un splitter 1:8 es de 10.5 dB, y para un splitter 1:16 es de 14.1 dB. La Tabla 30 resume los valores de atenuación recomendados para las divisiones ópticas, los cuales deben ser utilizados para calcular la atenuación total introducida por los splitters en la red.

Tabla 30

Perdidas por inserción de los divisores ópticos

N (Entrada)	X (Salida)	Pérdida Mínima (dB)	Pérdida Máxima (dB)	Unidades
1	2	2.8	3.9	dB
1	4	5.4	7.4	dB
1	8	8.2	10.6	dB
1	16	10.8	14.1	dB
1	32	13.3	17.5	dB
1	64	16.1	20.9	dB
2	2	2.6	4.2	dB
2	4	5.1	7.7	dB
2	8	7.6	11.2	dB
2	16	10.1	14.7	dB
2	32	12.7	18.2	dB

2	64	15.2	21.7	dB
---	----	------	------	----

Fuente: (UIT-T G.671, 2019)

Teniendo en cuenta los niveles de splitteo de acuerdo con el estándar, se procede a calcular la atenuación total relacionada con el uso de estos elementos pasivos para el cálculo se realiza el promedio de la pérdida mínima y la pérdida máxima para 1:8 de 9.4 dB y 1:16 de 12.4 dB. De acuerdo con la Ecuación 23, la atenuación total provocada por los splitters se calcula multiplicando el número de splitters por el nivel de división óptica desde la OLT hasta la ONT. A continuación, se presenta el cálculo de la atenuación total debido al proceso de splitteo.

$$A_s = \alpha_n \times z \quad \text{Ecuación (23)}$$

$$A_s = (\alpha_{1:8} * 1) + (\alpha_{1:16} * 1)$$

$$A_s = 9.4 \text{ dB} + 12.4 \text{ dB}$$

$$A_s = \mathbf{21.8 \text{ dB}}$$

La atenuación total de los splitters se calculó como $A_s = 21.8 \text{ dB}$. Este valor se obtuvo sumando las atenuaciones de los splitters de primer nivel y segundo nivel.

4.1.3.6 Margen de atenuación o margen de guarda

El margen de atenuación, también conocido como margen de guarda, es esencial para asegurar la fiabilidad de un sistema óptico a lo largo del tiempo. Según lo estipulado por la (The Fiber Optic Association, 2016), este margen de 3 dB se establece para compensar el deterioro gradual del sistema debido al envejecimiento y las condiciones

ambientales adversas. Al restar este margen del presupuesto total de pérdida óptica, se obtiene una estimación realista del presupuesto de potencia óptica, garantizando así un rendimiento estable y eficiente de la red óptica.

4.1.3.7 Cálculo total de atenuación en la ODN

De acuerdo con la Recomendación UIT-T G.652 (2016), el cálculo del margen de atenuación se integra en la evaluación del presupuesto de pérdida óptica. Este margen se añade a la suma total de todas las pérdidas de potencia óptica identificadas en la red, incluyendo las atenuaciones de la fibra óptica, empalmes, conectores ópticos y splitters. La Ecuación 24 para calcular la atenuación total, que debe ser menor a 29 dB para cumplir con el presupuesto de pérdida óptica establecido para el nivel N1, se presenta a continuación:

$$A_t = A_d + A_e + A_c + A_s \leq 29 \text{ dB} \quad \text{Ecuación (24)}$$

Donde:

- A_t = Atenuación total
- A_d = Atenuación de fibra óptica
- A_e = Atenuación por empalmes
- A_c = Atenuación por conectores ópticos
- A_s = Atenuación por splitters

A continuación, en la Ecuación 25 se presenta el cálculo de la atenuación total correspondiente para el cliente más lejano:

$$A_{t(\text{Cliente Lejano})} = A_d + A_e + A_c + A_s \leq 29 \text{ dB}$$

$$A_{t(\text{Cliente Lejano})} = 0.51 \text{ dB} + 0.60 \text{ dB} + 6 \text{ dB} + 21.8 \text{ dB} \leq 29 \text{ dB}$$

$$\mathbf{A_{t(\text{Cliente Lejano})} = 28.91 \text{ dB} \leq 29 \text{ dB}} \quad \text{Ecuación (25)}$$

De igual forma en la Ecuación 26 se presenta el cálculo de la atenuación total correspondiente para el cliente más cercano:

$$A_{t(\text{Cliente Cercano})} = A_d + A_e + A_c + A_s \leq 29 \text{ dB}$$

$$A_{t(\text{Cliente Cercano})} = 0.10 \text{ dB} + 0.60 \text{ dB} + 6 \text{ dB} + 21.8 \text{ dB} \leq 29 \text{ dB}$$

$$\mathbf{A_{t(\text{Cliente Cercano})} = 28.5 \text{ dB} \leq 29 \text{ dB}} \quad \text{Ecuación (26)}$$

Una vez que se han determinado las atenuaciones para un cliente cercano y un cliente lejano, considerando las pérdidas en los componentes de la red óptica y verificando que estos valores no superen los 29 dB permitidos, se debe incorporar el margen de atenuación adicional. Este margen es de 3 dB, además la atenuación que introduce el multiplexor de 1 dB. Es crucial que la suma total como se indica en la Ecuación 27 para el cliente más lejano y la Ecuación 28 para el cliente más cercano respectivamente, que incluya el margen de atenuación, se mantenga dentro del presupuesto de potencia óptica que se establece un máximo de 36.2 dB.

$$A_{t(\text{Cliente Lejano})} = 28.91 \text{ dB} + 3 \text{ dB} + 1 \text{ dB} \leq 36.2 \text{ dB}$$

$$A_{t(\text{ClienteLejano})} = 32.91 \leq 36.2 \text{ dB} \quad \text{Ecuación (27)}$$

Ahora procederemos a aplicar un cálculo similar utilizando la Ecuación anterior, enfocándonos en el cliente más cercano.

$$A_{t(\text{ClienteCercano})} = 28.5 \text{ dB} + 3 \text{ dB} + 1 \text{ dB} \leq 36.2 \text{ dB}$$

$$A_{t(\text{ClienteCercano})} = 32.5 \text{ dB} \leq 36.2 \text{ dB} \quad \text{Ecuación (28)}$$

4.1.3.8 Potencia recibida (Receptor Óptico)

Para garantizar el funcionamiento adecuado de la ONT, es necesario realizar el cálculo de la potencia óptica recibida desde la fuente OLT, se realiza el cálculo correspondiente para el cliente más lejano, así como para el cliente más cercano. De acuerdo con la normativa UIT-T G.989.2, el presupuesto de potencia óptica se establece como la diferencia entre la potencia máxima emitida por la OLT y la potencia mínima que debe ser recibida por la ONU. La Ecuación 29 muestra cómo se calcula la potencia recibida por la ONU más lejana, utilizando el presupuesto de potencia óptica como base. Este cálculo garantiza que la potencia suministrada a la ONU sea adecuada para su funcionamiento óptimo, asegurando el cumplimiento de los requisitos para ambos extremos de la red.

$$\text{Cálculo cliente más lejano} \rightarrow 32.91 \text{ dB} = 36.2 \text{ dB}$$

$$32.91 \text{ dB} = PP$$

$$32.91 \text{ dB} = P_{\max\text{TX}} - S_{\text{RX}}$$

$$S_{RX} = P_{\max TX} - 32.91 \text{ dB}$$

$$S_{RX} = 8.2 \text{ dBm} - 32.91 \text{ dB}$$

$$\mathbf{S_{RX} = -24.71 \text{ dBm}} \quad \mathbf{Ecuación (29)}$$

De igual forma en la Ecuación 30 se calcula la potencia recibida en la ONT del cliente más cercano, asegurando que cumpla con el presupuesto de potencia óptico.

$$\text{Cálculo cliente más cercano} \rightarrow 32.5 \text{ dB} = 36.2 \text{ dB}$$

$$32.5 \text{ dB} = PP$$

$$32.5 \text{ dB} = P_{\max TX} - S_{RX}$$

$$S_{RX} = P_{\max TX} - 32.5 \text{ dB}$$

$$S_{RX} = 8.2 \text{ dBm} - 32.5 \text{ dB}$$

$$\mathbf{S_{RX} = -24.3 \text{ dBm}} \quad \mathbf{Ecuación (30)}$$

Con base en los cálculos realizados, se confirma que las Ecuaciones 30 y 31 garantizan que la potencia recibida por el receptor se encuentra dentro del rango aceptable para mantener una comunicación efectiva entre la OLT y la ONU. Los valores obtenidos para la potencia recibida están dentro de los límites establecidos para la tecnología NG-PON2, que van desde -8.2 dBm hasta -28 dBm. Esto asegura que la comunicación entre la OLT y la ONU es coherente y cumple con los requisitos de rendimiento para la tecnología NG-PON2.

4.2 Simulación de la red

Se realiza la simulación de red mediante software de simulación para verificar la potencia de transmisión que existe entre el cliente más lejano y cercano.

4.2.1 Software para la simulación

Para la simulación de la red óptica se utilizará el software OptiSystem cuyo logo se indica en la Figura 34, una herramienta avanzada y completa diseñada específicamente para la simulación y diseño de redes ópticas. OptiSystem permite modelar y analizar diversos componentes y configuraciones de redes de fibra óptica, facilitando una evaluación precisa del rendimiento y comportamiento de la red en diferentes escenarios.

Figura 34

Muestra el logo del software utilizado para la simulación



Fuente: (Optiwave Systems Inc, 2024)

4.2.2 Red a simular

La red óptica que se va a simular consta de las tres secciones correspondientes a la arquitectura FTTH, las cuales son: la red Feeder, la red de Distribución y la red de

Dispersión. En este diseño, la OLT se ubicará en el segmento de la red Feeder, mientras que la ONT estará en el segmento de la red de Dispersión.

4.2.2.1 Red feeder (OLT)

Para simular la OLT en OptiSystem se requiere cuatro transmisores ópticos. Cada transmisor incluye un láser de onda continua (CW Laser), configurado con las longitudes de onda centrales para el canal descendente TWDM. Para la parte de la velocidad de transmisión se hace uso de un Generador de Secuencia de Bits Aleatorios (Pseudo-Random Bit Sequence Generator, PRBSG).

Para transformar las secuencias binarias producidas por el PRBSG en señales eléctricas utilizables, se empleó un Generador de Pulsos NRZ (Non-Return-to-Zero). Este generador está diseñado para conectarse automáticamente al PRBSG, asegurando una conversión eficiente de las secuencias binarias a un formato de señal eléctrica adecuado. A continuación, un Modulador Mach-Zehnder (MZ) toma estas señales eléctricas binarias y las convierte en señales ópticas. Este proceso de modulación óptica se realiza utilizando la energía proporcionada por un Láser CW (Continuous Wave), que actúa como la fuente de luz continua necesaria para la modulación.

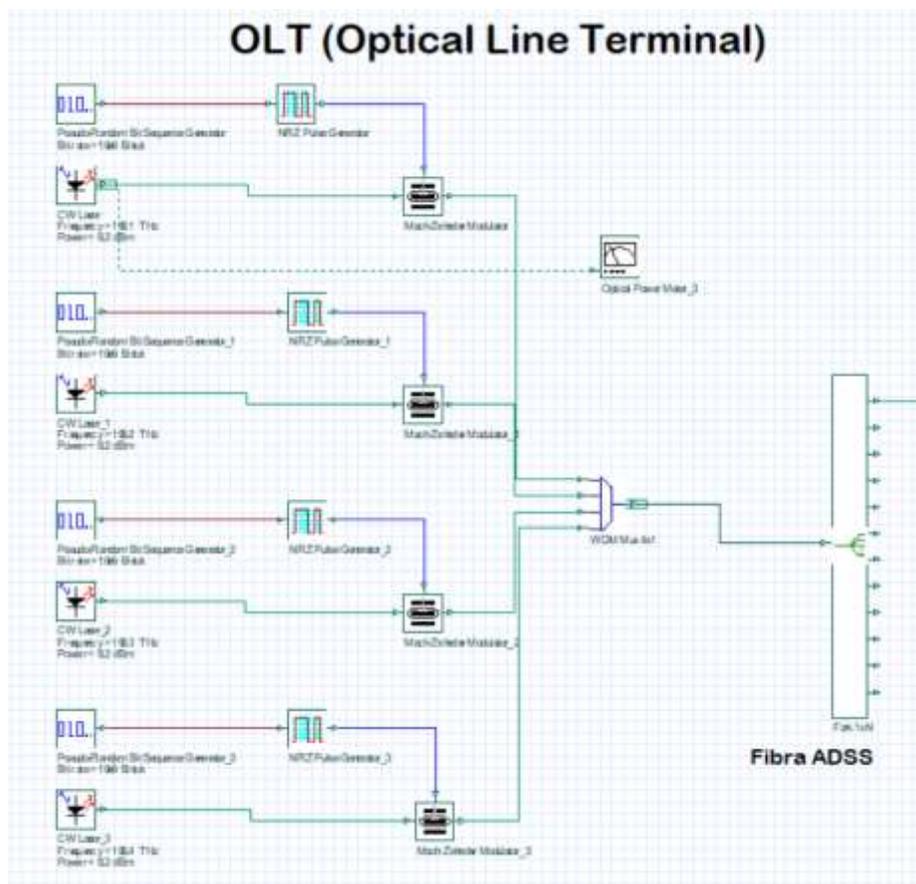
Los cuatro transmisores ópticos están conectados a un multiplexor 4x1 (MUX 4x1), que tiene la función de combinar las cuatro longitudes de onda específicas de NG-PON2 en una única fibra óptica. Este multiplexor permite la transmisión simultánea de múltiples canales de información a través de una sola fibra, optimizando el uso del ancho de banda disponible. En el lado receptor del sistema, se utiliza un demultiplexor para separar las diferentes longitudes de onda que fueron combinadas por el MUX 4x1. El demultiplexor descompone la señal compuesta en sus componentes individuales,

permitiendo la recuperación de los datos transmitidos en cada longitud de onda.

Finalmente, un buffer selector se utiliza para almacenar los datos procesados en la OLT (Optical Line Terminal), facilitando su manejo y análisis posterior. Adicionalmente, se incorpora un elemento Fork, que simula el tubo de fibra óptica del que se hace referencia a múltiples hilos hacia las cajas de distribución de primer nivel. Este elemento representa cómo la señal óptica se distribuye desde el punto de salida de la fibra hacia las diferentes áreas de distribución en la red. La Figura 35 ilustra detalladamente la configuración del sistema de la OLT tal como se ha implementado en el software OptiSystem.

Figura 35

Simulación de la OLT NG-PON2

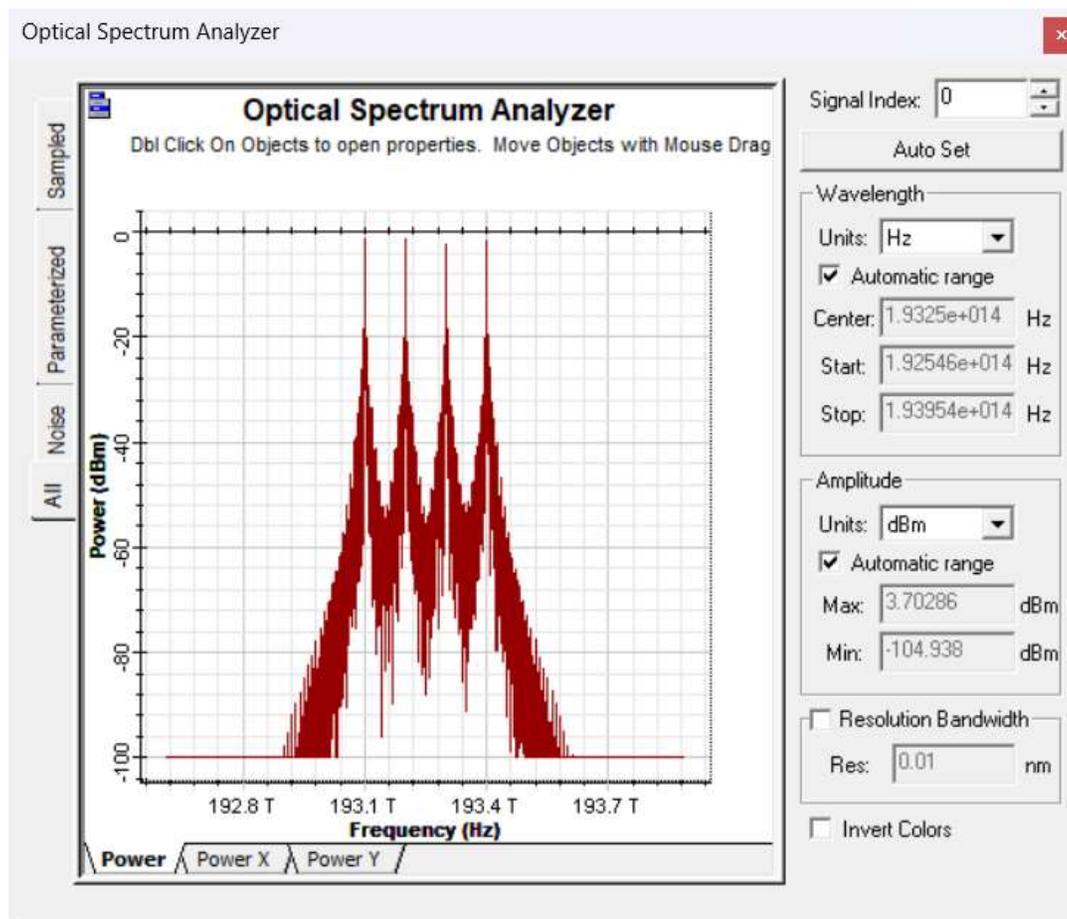


Fuente: (Optiwave Systems Inc, 2024) Elaborado por: Autor

En la figura 36 se puede evidenciar mediante el analizador de espectro colocado a la salida del multiplexor las 4 frecuencias (longitudes de onda con las que trabaja NG-PON2) multiplexadas en una sola salida. Se muestra las longitudes de onda utilizadas después de pasar por el multiplexor WDM. Cada pico en el gráfico representa una longitud de onda específica que está siendo transmitida.

Figura 36

Muestra las frecuencias de salida de la OLT en el analizador de espectro



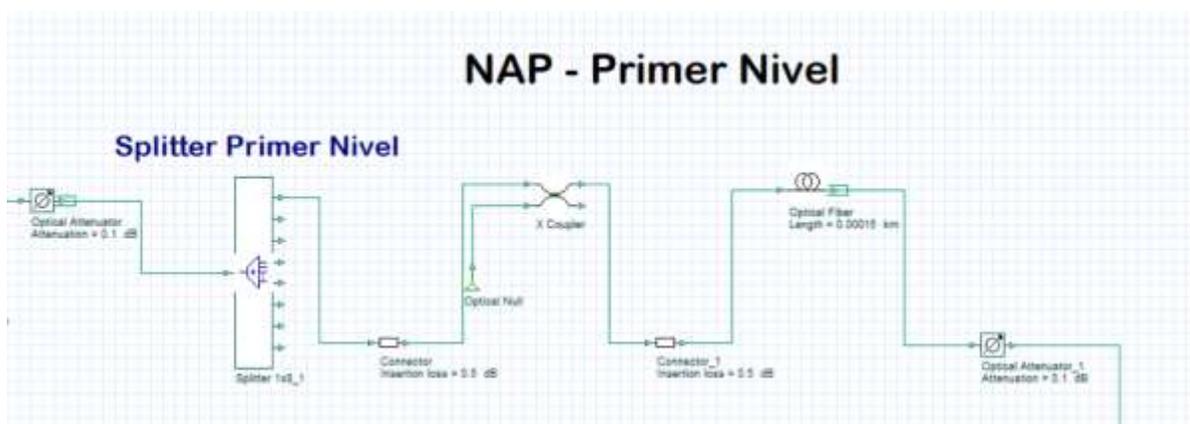
Fuente: (Optiwave Systems Inc, 2024) Elaborado por: Autor

4.2.2.2 Red de distribución

Para la red de distribución se realiza la configuración de la caja NAP de primer nivel. en este caso, se utiliza la ventana de 1625 nm con una atenuación de un valor de 0.3 dB. Además, se coloca un atenuador en la fibra para simular las pérdidas que se producen en los conectores y puntos de fusión. En la figura 37 se observan las conexiones de la ODN, ilustrando la red de distribución y el cuadro señala la caja NAP de primer nivel que luego serán subsistemas en total 8 para las cajas NAP de primer nivel en caso de verificar la red por completo, pero debido a que eso demanda demasiados recursos computacionales se realiza para una caja NAP de primer nivel y una caja NAP de segundo nivel.

Figura 37

Simulación NAP de Primer Nivel



Fuente: (Optiwave Systems Inc, 2024) Elaborado por: Autor

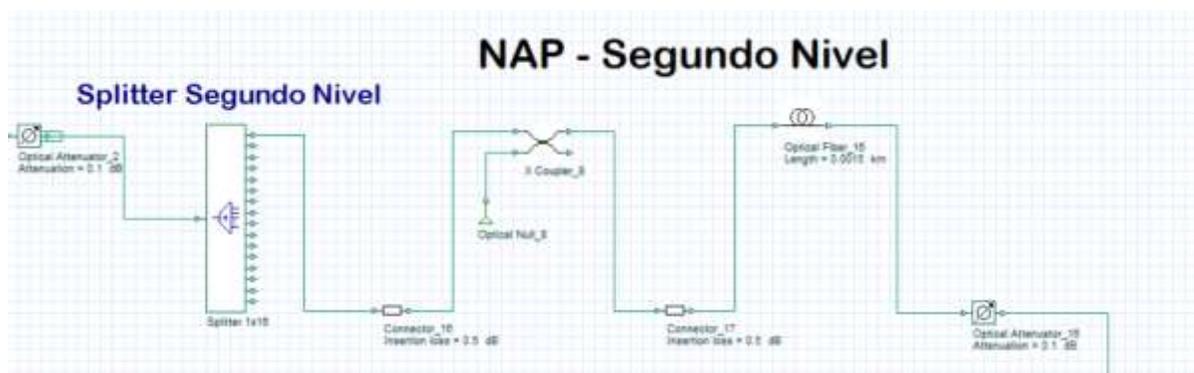
4.2.2.3 Red de dispersión

Para la red de dispersión se configuró las cajas de segundo nivel. Estas cajas reciben la señal óptica desde las cajas NAP de primer nivel y distribuyen la señal a los usuarios finales. De esta forma se asegura que la señal llegue con la calidad necesaria a

cada ONT instalada en los hogares o negocios. En la configuración, se utilizan splitters ópticos que dividen la señal, distribuyendo eficazmente la conectividad entre los distintos puntos de terminación. Las conexiones de esta red se representan en la figura 38 correspondiente, detallando la disposición y funcionalidad de la caja NAP de segundo nivel en el sistema.

Figura 38

Simulación NAP de Segundo Nivel



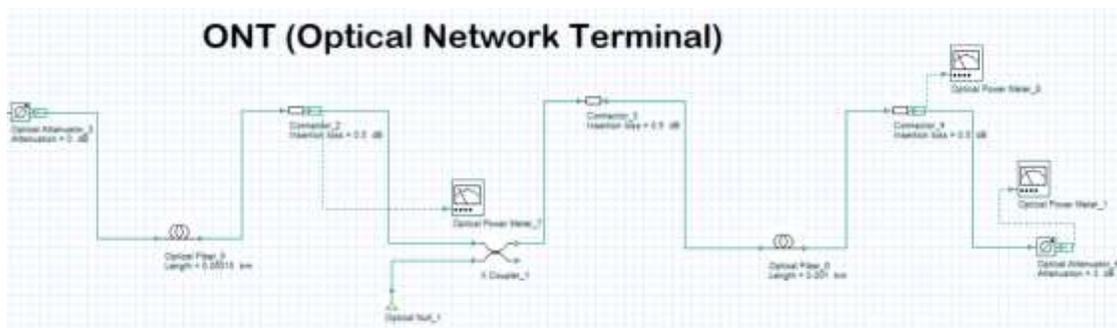
Fuente: (Optiwave Systems Inc, 2024) Elaborado por: Autor

4.2.2.4 ONT (Optical Network Terminal)

Finalmente, el proceso culmina en la Optical Network Terminal (ONT). En esta etapa, se puede medir la potencia óptica que llega al receptor óptico, así como la calidad de la señal recibida. La Figura 39 proporciona una ilustración detallada de esta sección del diseño de simulación, mostrando claramente cómo se mide la potencia óptica que llega a la ONT. Este análisis es crucial para verificar que la potencia óptica recibida sea adecuada para el funcionamiento óptimo del sistema y para evaluar el desempeño general de la red.

Figura 39

Simulación de la ONT correspondiente al cliente

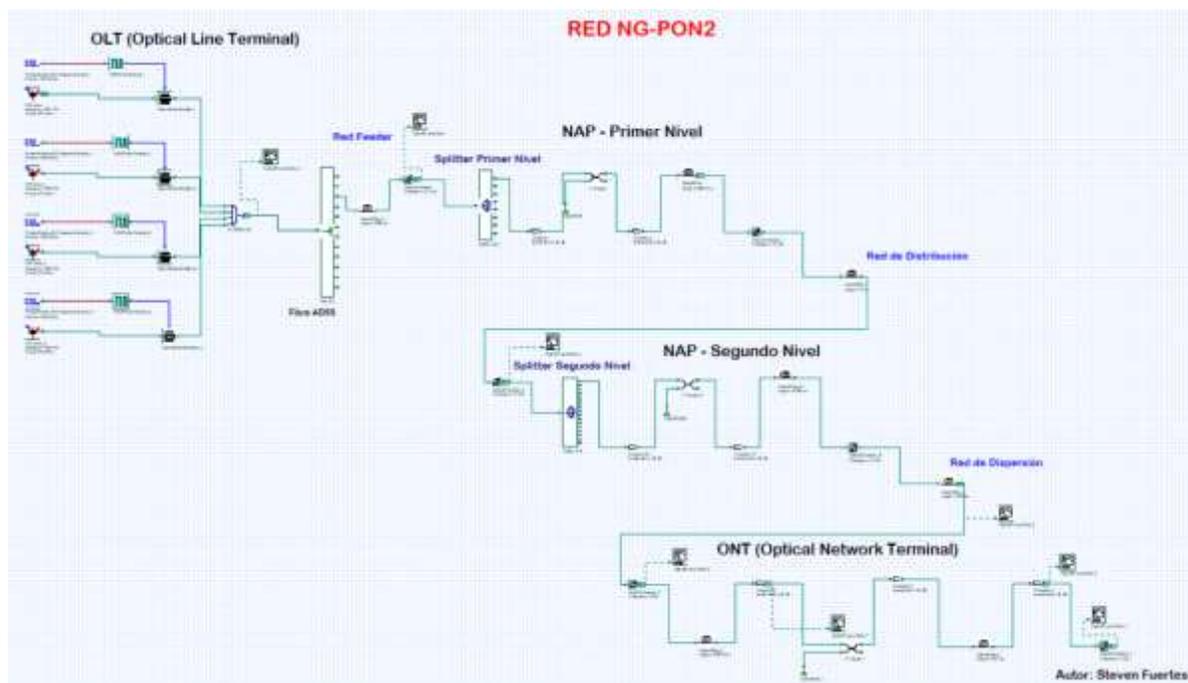


Fuente: (Optiwave Systems Inc, 2024) Elaborado por: Autor

A continuación, en la Figura 40, se presenta la red óptica completa simulada en OptiSystem, incluyendo todos los componentes esenciales para el análisis. La simulación abarca desde la fuente de transmisión hasta la unidad de red óptica para el cliente, se incluye elementos como conectores, empalmes de fusión, divisores de potencia, y acopladores. Cada uno de estos elementos ha sido configurado de acuerdo con el cálculo de presupuesto de pérdida óptica y potencia para replicar las condiciones reales de la red NG-PON2. Esta simulación proporciona una visión integral del funcionamiento y la eficacia del sistema óptico en la práctica.

Figura 40

Diagrama de Arquitectura de la red NG-PON2

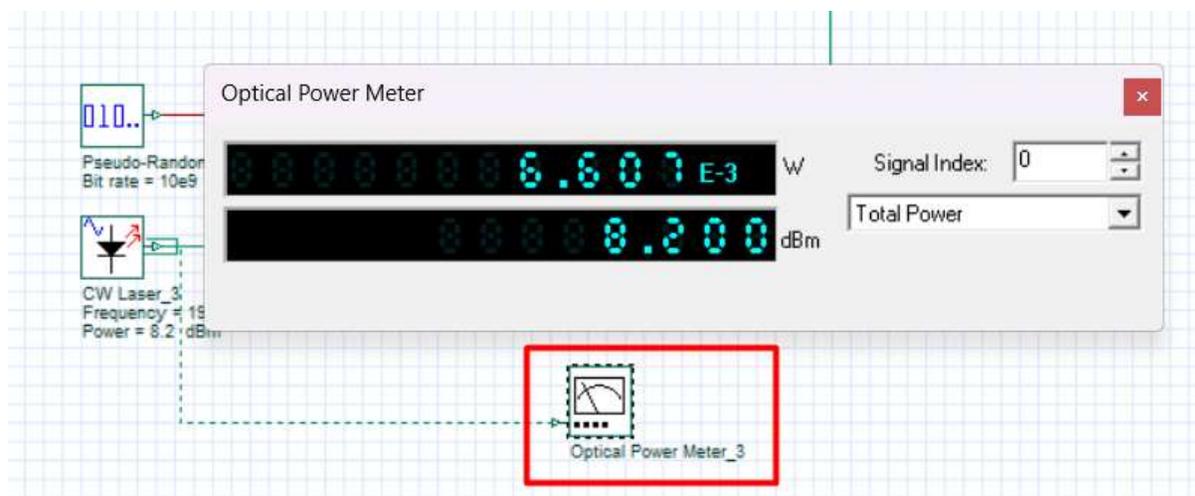


Fuente:(Optiwave Systems Inc, 2024) Elaborado por: Autor

Para llevar a cabo la simulación de manera efectiva, es crucial configurar una serie de parámetros que aseguren su funcionamiento correcto. Se deben considerar dos escenarios distintos de simulación: uno para el cliente más cercano y otro para el cliente más lejano. En la etapa inicial de la red óptica, se ha establecido la potencia óptica del transmisor en +8.2 dBm, un valor especificado por la normativa UIT-T G.989.2. Este parámetro se ha incorporado en la simulación para ambos escenarios, garantizando su aplicación tanto para el cliente más cercano como para el más lejano. La Figura 41 ilustra el valor de potencia óptica simulado que se utilizará en ambos casos durante la evaluación del sistema.

Figura 41

Medida de la potencia óptica en dBm en la salida del emisor óptico en la simulación



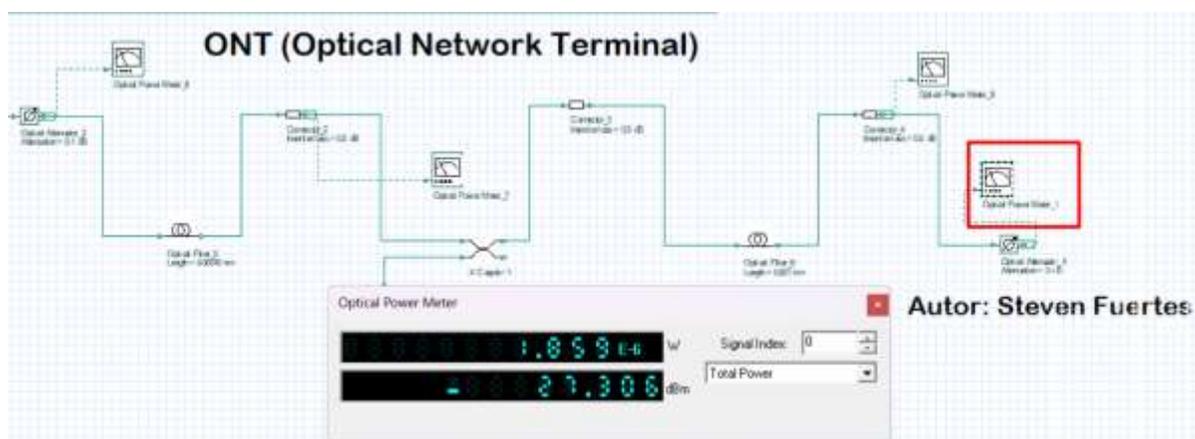
Fuente: (Optiwave Systems Inc, 2024) Elaborado por: Autor

4.3 Potencia recibida para el cliente más lejano

Durante la simulación de la red, se evaluó la potencia óptica que llegará al receptor para el cliente más lejano. En este escenario, se tuvieron en cuenta todos los parámetros calculados previamente, como las pérdidas por empalmes, conectores y splitters, así como la longitud total de la fibra óptica. Los resultados de esta simulación, que se detallan en la Figura 42, son fundamentales para verificar el rendimiento del sistema en el extremo de mayor distancia.

Figura 42

Resultados de la simulación - Potencia óptica del cliente lejano

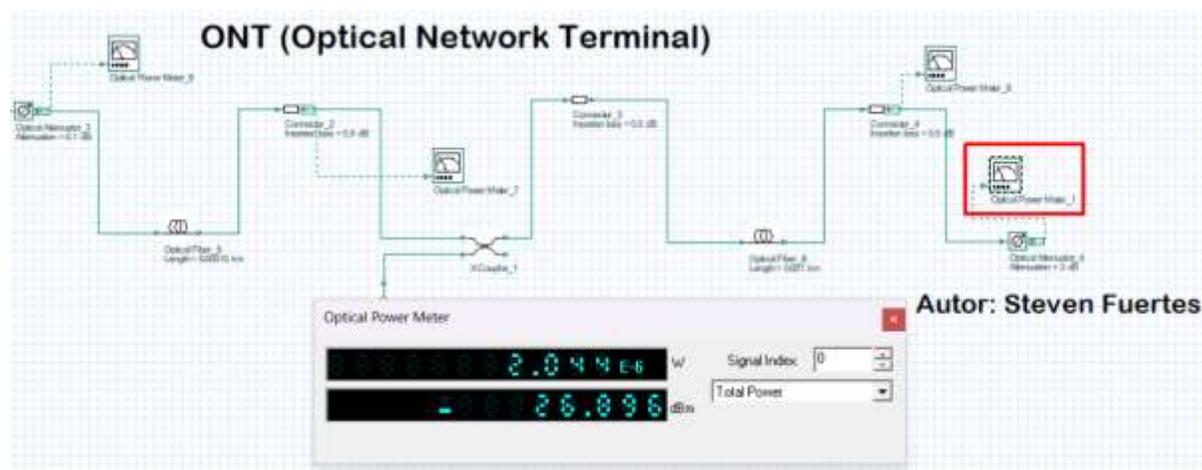


4.4 Potencia recibida para el cliente más cercano

Para el cliente más cercano, la simulación se llevó a cabo bajo condiciones similares, con la principal diferencia siendo las distancias más cortas en la red troncal y de distribución. En este caso, se ajustaron las longitudes de fibra y las configuraciones de los componentes para reflejar el menor recorrido óptico. Los resultados obtenidos, presentados en la Figura 43, permiten confirmar que la potencia óptica recibida es adecuada para distancias cortas.

Figura 43

Resultados de la simulación - Potencia óptica del cliente cercano



4.5 Comparativa de los resultados obtenidos

En esta sección, se lleva a cabo una comparación entre los resultados obtenidos a través de la simulación y los cálculos teóricos, con el fin de evaluar la precisión y coherencia de ambos métodos. Este proceso es fundamental para validar la exactitud de los cálculos realizados y asegurar que los resultados teóricos se alineen con los resultados prácticos obtenidos en la simulación. La Tabla 31 presenta los resultados de las potencias ópticas en la red, diferenciando entre el cliente más cercano y el cliente más lejano. Esta tabla permite una evaluación detallada

de las discrepancias y coincidencias entre los datos simulados y los cálculos teóricos, proporcionando una visión clara de la fiabilidad de los modelos utilizados.

Tabla 31

Comparativa de Potencias Ópticas Teóricas y Simuladas en la Entrada del Receptor Óptico para Clientes Lejanos y Cercanos

Parámetro	Potencia Óptica	Potencia Óptica (Teórico)	Potencia Óptica (Simulado)
Cliente Lejano	+8.2 dBm / -28 dBm	-24.71 dBm	-27.170 dBm
Cliente Cercano	+8.2 dBm / -28 dBm	-24.30 dBm	-26.896 dBm

Fuente: Autoria Propia

Los resultados presentados en la Tabla 31 revelan una alta concordancia entre los valores simulados y los calculados matemáticamente, con pequeñas variaciones. Estas diferencias son atribuibles a las variaciones en las distancias de la fibra óptica y otros factores menores que afectan la precisión de las mediciones. Sin embargo, estas variaciones no son significativas en términos prácticos y confirman que tanto las simulaciones como los cálculos teóricos son correctos. La similitud en los resultados indica que la red de fibra óptica diseñada funcionará dentro de las especificaciones de la tecnología NG-PON2, asegurando una comunicación eficiente y robusta. Estos resultados validan la efectividad del diseño y demuestran que la red FTTH propuesta es capaz de cumplir con los requisitos de rendimiento y fiabilidad establecidos.

4.6 Presupuesto económico para la implementación de la red

Para este apartado se presenta un análisis financiero detallado del proyecto de implementación de la red NG-PON2 en el barrio Miravalle, diseñada para 809 usuarios, el cual permitirá evaluar los gastos e ingresos asociados a este diseño de fibra óptica y sus componentes. Este análisis es crucial para determinar la viabilidad y los beneficios que la empresa puede esperar obtener. Para la elaboración del presupuesto, se utilizarán datos de memorias técnicas de tanto de empresas nacionales e internacionales dedicadas a la venta de equipos de telecomunicaciones.

Para el análisis, es fundamental realizar una proyección de los ingresos futuros que esta inversión generará a lo largo de un periodo determinado, lo cual permitirá recuperar la inversión inicial en la implementación del diseño de red propuesto. Además, este análisis financiero nos permitirá establecer el momento en que la empresa comenzará a generar un margen de ganancias una vez que la inversión haya sido recuperada. El objetivo principal es demostrar la rentabilidad del proyecto, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones futuras, incluyendo posibles expansiones de la red. Este enfoque garantiza que la empresa no solo recuperará su inversión, sino que también obtendrá beneficios económicos sostenibles a largo plazo.

4.7 Flujo de caja

El flujo de caja se refiere a los ingresos y gastos registrados durante un período determinado, proporcionando una visión clara de la liquidez y sostenibilidad financiera de un proyecto, se identifican y analizan los ingresos previstos por la prestación de servicios y los gastos asociados con la instalación, mantenimiento y operación de la red. Este análisis es crucial para evaluar la viabilidad económica del proyecto, determinar el periodo de recuperación de la

inversión inicial y proyectar el inicio de la generación de ganancias, asegurando así la rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

4.7.1 Egresos del proyecto

Los egresos del proyecto incluyen costos de operación del personal, adquisición de equipos activos y pasivos, mantenimiento de la red y movilización. Para calcular los egresos totales, se suman estos costos esenciales para la implementación y operación de la red NG-PON2. Los costos principales están asociados con la adquisición de equipos, mientras que los egresos operativos incluyen salarios del personal y gastos de movilización, así como el mantenimiento continuo de la red óptica.

4.7.1.1 Egresos totales de equipos activos

Los egresos del proyecto para los equipos activos incluyen todos los dispositivos necesarios para el diseño de la red NG-PON2. Estos costos se suman para obtener el total de los egresos de los equipos activos. La tabla 32 muestra un desglose detallado de estos costos, proporcionando una visión clara de la inversión necesaria.

Tabla 32

Egresos totales de equipos activos en la red NG-PON2

Elemento Activo	Costo (USD)	Total (USD)
OLT	7604,00	
ONUs	275060,00	283864,00

Multiplexor MUX WM1	1200,00
------------------------	---------

Fuente: Autoria Propia

4.7.1.2 Egresos totales de equipos pasivos

Los egresos del proyecto relacionados con los equipos pasivos comprenden una suma total de todos los componentes pasivos necesarios, detallados en la tabla 33.

Tabla 33

Egresos totales de equipos pasivos en la red NG-PON2

Elemento Activo	Costo (USD)	Total (USD)
ODF	50,00	
NAPs de Primer Nivel	533,76	
NAPs de Segundo Nivel	3252,78	
Cable de fibra óptica (Red Feeder)	6308,00	55404,59
Cable de fibra óptica (Red de Distribución)	20600,00	
Cable de fibra óptica (Red de Dispersión)	21060,00	
Rosetas Ópticas	3600,05	

Fuente: Autoria Propia

4.7.1.3 Egresos totales del personal operativo

Los egresos relacionados con el personal operativo de la empresa son cruciales para el cálculo de los costos totales del proyecto de implementación de la red.

Actualmente, la empresa cuenta con dos técnicos encargados de las operaciones de redes ópticas, cada uno con un salario mensual de \$520 dólares. Esto se traduce en un gasto anual de \$12,480 dólares por concepto de salarios para el personal operativo, como se detalla en la Tabla 34.

Tabla 34

Egresos totales respecto al personal de técnicos operativos de la empresa

Técnicos	Salario (USD)	Periodo (Meses)	SubTotal (USD)
Personal Técnico 1	520,00	12	6240,00
Personal Técnico 2	520,00	12	6240,00
Total			12480,00

Fuente: (CIMTEL, 2021)

4.7.1.4 Egresos totales de la movilización

Los egresos destinados a la movilización del personal operativo se estructuran en base a una asignación semanal de \$40 dólares, considerando que el trabajo se realiza de lunes a viernes. en la Tabla 35 se detalla estos egresos.

Tabla 35

Egresos totales con respecto a la movilización

Ítem	Costo Semanal (USD)	Costo Mensual (USD)	Total Anual (USD)
Movilización	40,00	160,00	1920,00

Fuente: Autoria Propia

4.7.1.5 Egresos totales de mantenimiento

Para los egresos destinados al mantenimiento de la red óptica, se estima un costo anual del 5% sobre la inversión total del proyecto, que asciende a \$339268,59 dólares. Esto resulta en un egreso proyectado de \$16963,40 dólares anuales para asegurar el funcionamiento continuo y eficiente de la infraestructura durante un período de 5 años. Este mantenimiento incluye actividades preventivas y correctivas necesarias para garantizar la operatividad óptima de la red, conforme se detalla en la Tabla 36 correspondiente a los gastos operacionales y de mantenimiento de la red óptica.

Tabla 36

Egresos totales de operación y manteniendo de la red

Ítem	Costo Anual (USD)	Periodo (Años)	Total (USD)
Operación y mantenimiento	3392,68	5	16963,40

Fuente: Autoria Propia

4.7.2 Ingresos del proyecto

Estos ingresos del proyecto se calculan considerando los activos que generarán ganancias a lo largo de un periodo de 5 años, enfocándose en la instalación de un nodo estratégico en el sector de Miravalle.

4.7.2.1 Ingresos totales por prestación de servicio

Para calcular los ingresos totales proyectados del proyecto en Miravalle, se considera un nuevo plan de 300 Mbps con un costo de \$35 mensuales más IVA por suscriptor. Actualmente, la empresa ofrece servicios de fibra óptica con planes que van desde un plan básico de 40 Mbps a un costo de \$15 más IVA, hasta un plan Premium de 100 Mbps a un costo de \$35 más IVA (CIMTEL, 2024). El nuevo plan ofrece una mejora significativa en Mbps a un costo comparable con el plan más completo actualmente disponible. Basado en una estimación de 809 clientes para el quinto año, el cálculo se fundamenta en la oferta establecida y el potencial de crecimiento del área. En la tabla 37 se detalla los ingresos proyectados para el período estimado.

Tabla 37

Ingresos totales por prestación de servicio

Año	# de clientes nuevos	# de clientes totales	Costo del Plan	Ingreso Mensual	Ingreso por Año	Ingreso acumulado cada año
1	50	50	\$35	\$1750,00	\$21000,00	\$21000,00
2	150	200	\$35	\$7000,00	\$84000,00	\$105000,00
3	200	400	\$35	\$14000,00	\$168000,00	\$273000,00
4	200	600	\$35	\$21000,00	\$252000,00	\$525000,00
5	209	809	\$35	\$28315,00	\$339780,00	\$864780,00

Fuente: Autoria Propia

4.7.2.2 Ingresos totales por instalación

Tras calcular los ingresos generados por la prestación continua de servicios, es importante también estimar los ingresos derivados de la instalación inicial del servicio. Aunque la empresa no cobra tarifas por la instalación inicial, se requiere que cada cliente firme un contrato de permanencia mínimo de un año. En caso de que el cliente decida cancelar el contrato antes de completar este período, se impondrá una penalización de \$80 por el incumplimiento del acuerdo. Esta penalización está diseñada para compensar los costos asociados con la instalación y asegurar el compromiso del cliente durante el período contractual acordado.

4.7.3 Egresos e ingresos totales

Luego de haber calculado tanto los egresos como los ingresos totales de este proyecto, procedemos con la determinación del flujo de caja. Este análisis es necesario para evaluar las ganancias potenciales que se podrían obtener con el diseño de la red en el barrio Miravalle. La tabla 33 muestra los egresos e ingresos acumulados para un periodo de 5 años. La tabla utiliza las siguientes abreviaturas:

EDI = Egreso de inversión

EDS = Egreso de salario

EDM = Egreso de movilización

EDT = Egreso de mantenimiento

IDPS = Ingreso de prestación del servicio

Tabla 38*Egresos e ingresos totales por año*

Años	Egresos Totales					Ingresos Totales		
	EDI	EDS	EDM	EDT	TOTAL	IDPS	TOTAL ACUMULADO	FLUJO DE CAJA
0	\$339268,59	\$12480	\$1920	0	\$353668,59	0	0	\$-353668,59
1	0	\$12480	\$1920	\$3392,68	\$17792,68	\$21000,00	\$21000,00	\$3207,32
2	0	\$12480	\$1920	\$3392,68	\$17792,68	\$105000,00	\$105000,00	\$87207,32
3	0	\$12480	\$1920	\$3392,68	\$17792,68	\$273000,00	\$273000,00	\$255207,32
4	0	\$12480	\$1920	\$3392,68	\$17792,68	\$525000,00	\$525000,00	\$507207,32
5	0	\$12480	\$1920	\$3392,68	\$17792,68	\$864780,00	\$864780,00	\$846987,32

Fuente: Autoria Propia

4.8 Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es una métrica financiera que calcula el valor actual de los flujos de caja proyectados en el futuro. Este método permite evaluar la rentabilidad a largo plazo de los proyectos de inversión. El VPN se determina descontando los flujos de caja futuros a su valor presente utilizando una tasa de descuento apropiada, lo cual permite comprender el valor real de los ingresos y egresos proyectados en términos actuales. (José Didier Váquiro, n.d.)

El VPN puede arrojar tres resultados significativos:

- VPN positivo: Indica que el proyecto es rentable y viable a largo plazo, sugiriendo que los ingresos futuros superarán los costos iniciales y de operación.

- VPN igual a cero: Indica que el proyecto no generará ganancias ni pérdidas netas, por lo cual, se considera neutral en términos de viabilidad.
- VPN negativo: Indica que el proyecto no es rentable, ya que los costos superarán los ingresos futuros, sugiriendo que debe ser descartado.

A continuación, se presenta la ecuación 31 utilizada para calcular el VPN:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - I \quad \text{Ecuación (31)}$$

Donde:

- F_t = Flujo de caja en el periodo t
- r = Tasa de descuento
- t = Periodo (años)
- I = Inversión inicial

Esta ecuación considera los flujos de caja en el tiempo de proyección del proyecto, descontándolos a su valor presente y restando la inversión inicial, proporcionando una medida clara de la viabilidad financiera del proyecto.

Es importante señalar que se utilizará una tasa de interés anual del 12.83%, correspondiente al Productivo Empresarial según datos del Banco Central del Ecuador a julio de 2024 (Banco Central del Ecuador, 2024). Este valor puede variar con el tiempo, pero refleja la tasa vigente al momento de realizar esta investigación, la Ecuación 32 indica el resultado obtenido.

$$\text{VPN} = \frac{3207.32}{(1 + 0.1283)^1} + \frac{87207.32}{(1 + 0.1283)^2} + \frac{255207.32}{(1 + 0.1283)^3} + \frac{507207.32}{(1 + 0.1283)^4} + \frac{846987.32}{(1 + 0.1283)^5} - 353668.59$$

$$\text{VPN} = \frac{3207.32}{1.1283} + \frac{87207.32}{1.2730} + \frac{255207.32}{1.4363} + \frac{507207.32}{1.6206} + \frac{846987.32}{1.8286} - 353668.59$$

$$\text{VPN} = 2842.61 + 68505.35 + 177683.85 + 312975.02 - 353668.59$$

$$\text{VPN} = 208339.24$$

Ecuación (32)

Una vez realizado el cálculo del Valor Presente Neto (VPN), se puede observar que el valor obtenido es de 208339.24, lo que indica que el proyecto es viable y rentable a mediano y largo plazo. Este resultado confirma que la inversión en el diseño de la red en el barrio Miravalle generará ganancias significativas. Dado que el VPN es mayor a cero, se asegura que los ingresos futuros descontados superan la inversión inicial.

4.9 Periodo de recuperación de inversión

El Período de Recuperación de la Inversión (PRI) es el tiempo estimado en el que se espera recuperar la inversión inicial del proyecto. Un PRI más corto implica un menor riesgo asociado al proyecto, ya que se recupera la inversión en un plazo más breve. (Roger Ucañán Leyton, 2015) El PRI se determina acumulando los flujos de efectivo anuales hasta que el valor acumulado sea positivo, indicando así que la inversión ha sido recuperada. A continuación, en la Ecuación 33, se presenta la ecuación que muestra el proceso de cálculo del PRI:

$$\text{valor}(+) \text{ o valor}(-) \text{ del PRI} = -353668.59 + 3207.32$$

$$\text{valor}(+) \text{ o valor}(-) \text{ del PRI} = -350461.27 + 87207.32$$

$$\text{valor}(+) \text{ o valor}(-) \text{ del PRI} = -263253.95 + 255207.32$$

$$\text{valor}(+) \text{ o valor}(-) \text{ del PRI} = -8046.63 + 846987.32$$

$$\text{valor}(+) \text{ o valor}(-) \text{ del PRI} = 838940.69 \qquad \textit{Ecuación (33)}$$

Una vez realizado el cálculo anterior el valor positivo del flujo de caja acumulado se alcanza en el cuarto año y el último valor negativo se presenta en el periodo de 4 años, lo que indica que la inversión será recuperada en ese periodo. Para un cálculo más detallado, utilizamos la Ecuación 34:

$$\text{PRI} = a + \frac{|b|}{c} \qquad \textit{Ecuación (34)}$$

Donde:

- a = es el periodo del último flujo de caja negativo.
- b = es el valor absoluto del último flujo de caja negativo.
- c = es el valor del flujo de caja del siguiente periodo.

$$\text{PRI} = 4 + \frac{|-8046.63|}{846987.32}$$

$$\text{PRI} = 4.00 \text{ años}$$

Para obtener una comprensión exacta del Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) en términos de días, meses y años, es necesario realizar conversiones adecuadas. La Ecuación 35 describe el proceso para meses, la Ecuación 36 describe este proceso para días.

$$\text{meses} = 0.00 \text{ años} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\text{meses} = 0$$

Ecuación (35)

$$\text{días} = 0.00 \text{ meses} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}}$$

$$\text{días} = 0$$

Ecuación (36)

Así, el PRI se determina como 4 años, 0 meses y 0 días aproximadamente desde el inicio de la inversión total. Este cálculo nos proporciona un valor más preciso del periodo de retorno, permitiendo una evaluación más detallada de la viabilidad del proyecto.

4.10 Análisis final del VPN y del PRI

En este proyecto, se ha calculado un VPN positivo esto indica que la inversión no solo es recuperable, sino que también generará ganancias sustanciales a mediano plazo. Un VPN positivo mayor a cero es un claro indicativo de que los flujos de caja proyectados superan el costo inicial de la inversión, confirmando así la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

El PRI, calculado en aproximadamente 4 años, refuerza aún más esta afirmación. Este periodo relativamente corto de recuperación implica que los inversores podrán recuperar su capital inicial en un tiempo razonable, reduciendo el riesgo financiero asociado al proyecto. Después de este periodo de recuperación, cualquier ingreso adicional se traducirá directamente en ganancias netas para la empresa, lo que mejora la estabilidad financiera y la capacidad de inversión futura.

El proyecto está diseñado para cubrir la demanda del barrio Miravalle, proyectando un crecimiento significativo en el número de usuarios. Este crecimiento, junto con la oferta de un plan de alta velocidad a un precio competitivo, sugiere que la empresa podrá capturar una porción significativa del mercado local. Además, la estructura tarifaria y la capacidad de la red aseguran que los servicios ofrecidos sean atractivos y accesibles para los consumidores, lo que fomenta la retención y adquisición de clientes.

Además, este análisis económico se basa en un horizonte de mediano plazo, pero el proyecto está planificado para operar durante al menos 15 años, cumpliendo con las regulaciones establecidas por la ARCOTEL. Esto no solo garantiza la rentabilidad a corto y mediano plazo, sino que también asegura la sostenibilidad del proyecto a largo plazo. La capacidad de generar ingresos continuos durante este periodo extenso proporciona una base sólida para la estabilidad financiera de la empresa CIMTEL y la posibilidad de expandir operaciones en el futuro.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Luego de completar todos los puntos establecidos en este proyecto. El diseño de la red NG-PON2 personalizada para la empresa CIMTEL en el barrio Miravalle satisface completamente los requerimientos de capacidad para reproducir contenido de alta resolución, realidad virtual, realidad aumentada y aplicaciones en tiempo real. Este diseño asegura una infraestructura robusta y escalable que soporta las demandas tecnológicas actuales y futuras.

El análisis detallado de la recomendación ITU-T G.989 permitió comprender profundamente el funcionamiento de las redes NG-PON2 orientadas a FTTH y su coexistencia con tecnologías predecesoras. Este conocimiento fue fundamental para garantizar la compatibilidad y la transición eficiente hacia la nueva tecnología, asegurando que la red diseñada cumpla con los estándares internacionales de rendimiento.

Se desarrolló un diseño específico y adaptado a las necesidades de la empresa CIMTEL, teniendo en cuenta la topología de la red, la capacidad de escalabilidad y la coexistencia con tecnologías existentes en la zona urbana de alto crecimiento considerando la red feeder, red de distribución y red de dispersión. Este diseño detallado asegura que la red pueda expandirse y evolucionar con el crecimiento demográfico y las demandas de los usuarios, garantizando un servicio de alta calidad y eficiencia.

Tras evaluar la situación actual y la topografía del barrio Miravalle, se ha decidido ubicar los equipos de distribución, específicamente las Cajas NAP de segundo nivel, en las áreas más densamente pobladas del barrio. Esta estrategia asegura que no se presenten inconvenientes al ofrecer el servicio tanto a los usuarios que opten por cambiarse a CIMTEL como a los nuevos suscriptores. Además, esta ubicación estratégica facilita la expansión de la cobertura a medida

que se desarrollen nuevas viviendas y crezca la población en la zona. De este modo, se garantiza un crecimiento sostenible y eficiente del servicio, adaptándose a las futuras necesidades de la comunidad.

Las pruebas realizadas mediante software de simulación validaron la efectividad del diseño de la red NG-PON2 en cuanto a la potencia óptica. Los resultados demostraron que la red puede manejar eficientemente en el área delimitada para el diseño.

La tecnología NG-PON2 representa una evolución en comparación con sus predecesores como GPON y XG-PON, manteniendo la infraestructura pasiva (fibra óptica y divisores pasivos) constante, pero mejorando la parte activa de la red.

El análisis de rentabilidad económica se realizó mediante el cálculo del Valor Presente Neto (VPN) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI). Con un VPN positivo se confirma que la inversión generará ganancias sustanciales a mediano plazo. El PRI de 4 años aproximadamente indica que la inversión para el proyecto tendrá una recuperación en un periodo razonable, reduciendo el riesgo financiero del proyecto. Esto significa que CIMTEL podrá establecer una base sólida y rentable en el barrio Miravalle. Si se decide expandir a otras áreas en el futuro, la empresa contará con una base sólida sobre la cual apoyarse.

RECOMENDACIONES

Se recomienda planificar y ejecutar estrategias de expansión a otras áreas con necesidades similares. El análisis detallado de la demanda y la situación actual del mercado debe ser parte integral de estas estrategias para garantizar la viabilidad y rentabilidad de las nuevas implementaciones.

Desarrollar estrategias de marketing que destaquen las ventajas de la tecnología NG-PON2, como la alta velocidad y la confiabilidad del servicio, puede atraer a más clientes. Además, ofrecer promociones atractivas y programas de fidelización puede incrementar la base de clientes y su lealtad hacia CIMTEL.

En caso de la implementación de la red NG-PON2, se recomienda adoptar un enfoque de inversión progresiva. Es fundamental que las inversiones se realicen de manera escalonada y en función del crecimiento de la demanda de los usuarios finales. Esta estrategia permite ajustar la capacidad de la red conforme al incremento en el número de clientes, evitando así inversiones iniciales excesivas y reduciendo el riesgo de un sobredimensionamiento innecesario.

Mantenerse actualizado con los avances tecnológicos y considerar la adopción de nuevas tecnologías que puedan complementar o mejorar la red NG-PON2 es fundamental. Esto incluye investigar y, si es viable, implementar innovaciones que puedan ofrecer ventajas competitivas adicionales y mejorar la experiencia del usuario.

Implementar un sistema de retroalimentación que permita a los clientes expresar sus opiniones y sugerencias sobre el servicio puede proporcionar información valiosa para mejoras. Asegurar la satisfacción del cliente debe ser una prioridad constante, y las estrategias basadas en sus comentarios pueden mejorar la calidad del servicio ofrecido.

BIBLIOGRAFÍA

- ARCOTEL. (2022, April). *Plan estratégico institucional 2021-2025*. https://www.arco-tel.gob.ec/wp-content/uploads/2022/04/PEI_ARCOTEL_2021-2025_.pdf
- Banco Central del Ecuador. (2024, July). *TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS REFERENCIALES*. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>
- Calix. (2023). *GigaPoint Optical Network Terminal | Calix Optical Network Unit | Calix*. <https://www.calix.com/products/platform/unlimited-subscriber/gigapoint-ont-onu.html>
- Castillo, J. (2019). ▷ *Fibra óptica: qué es, para qué se usa y cómo funciona*. Profesional Review Tutoriales.
- CDATA. (2023, November). *¿Qué hace un terminal de línea óptica (OLT)? - Shenzhen C-Data Technology Co., Ltd*. <https://es.cdadata.com/what-does-an-optical-line-terminal-olt-do.html>
- CIMTEL. (2021). *Cimtel Internet Ilimitado para tu Hogar*. <https://www.cimtel.ec/>
- CIMTEL. (2024). *CIMTEL - Planes Fibra Óptica*. <https://www.cimtel.ec/planes.php>
- CNT. (2012, February). *NORMAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES CON FIBRA ÓPTICA* . [https://www.compraspublicas.gob.ec/Proceso-Contratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Archivo=82hGsId48DVFwdM_Q00Xekkqa9d1D5n_2aLkN-jG1KM,](https://www.compraspublicas.gob.ec/Proceso-Contratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Archivo=82hGsId48DVFwdM_Q00Xekkqa9d1D5n_2aLkN-jG1KM)
- Cope, B. (2021). Processing Requirements for the Lifecycle of 8K Video Content in IoT Applications. *Information Display*, 37(3), 25–29. <https://doi.org/10.1002/MSID.1213>

GAD Municipal de Ibarra. (2022). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial – Ibarra, Ciudad blanca a la que siempre se vuelve*. <https://www.ibarra.gob.ec/site/planificacion-estrategica-1/pdyot/>

Hisense. (2020, February 13). *LTF62XX SFP+ NG-PON2 OLT Transceiver - NGPON 2 - 海信宽带多媒体*. https://hbmt.hisense.com/html/products/ngpon_2/20200213_370.html

Hisense. (2024). *LTW2601 XFP NG-PON2 ONU Transceiver - NGPON 2 - 海信宽带多媒体*. https://hbmt.hisense.com/html/products/ngpon_2/20160912_7.html

Huawei. (n.d.). *Huawei OptiXaccess MA5800 - Huawei Enterprise*. Retrieved July 28, 2024, from <https://e.huawei.com/es/products/optical-access/ma5800>

Huawei. (2023). *Huawei OptiXstar P812E ONU — Huawei Enterprise*. <https://e.huawei.com/en/products/optical-terminal/optixstar-p812e>

Huawei SmartAX MA5800 Smart NG-OLT. (2018).

HyOptic. (2021). *WM1 NGPON2 Module, WDM 1R, wdm 1r module Multiplexes-Passive Optical Components_Fiber Optic Devices_Manufacturer_OEM ODM | HyOptic*. <https://hyoptic.com/pon-wdm/wm1-ngpon2-module.html>

INEC. (2022). *Población y Demografía |*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

ITU. (2022). *The State of Broadband 2022: Accelerating broadband for new realities - ITU*. <https://www.itu.int/hub/publication/s-pol-broadband-26-2022/>

- José Didier Váquiro. (n.d.). *VALOR PRESENTE NETO*. Retrieved July 28, 2024, from <https://www.pymesfuturo.com/vpneto.htm>
- Keynet Systems. (n.d.). *Cable FTTh plano 1fo SM 250u" G657A2 cub baja friccion LSZH-FR*. Retrieved July 28, 2024, from <https://keynet-systems.com/tienda/gb/cable-fibra-sm-para-acometidas-cubierta-plana-/1631-cable-plano-1-fo-acometida-sm.html>
- Keynet Systems. (2019). *keynet-systems.com*.
- Keynet Systems. (2024a). *Cable 12fo holgada G652D monotubo doble cubierta, bloq. agua PE negra*. <https://keynet-systems.com/tienda/es/-f21-cable-sm-holgada-monotubo-doble-cubierta-fibras-vidrio-pe-exterior-/1148-cable-12fo-holgada-g652d.html>
- Keynet Systems. (2024b). *Cable 24fo SM G657A2 900u f.vidrio LSZH CPR B2ca-s2,d0,a1 negro*. <https://keynet-systems.com/tienda/es/f1a-cable-sm-ajustada-lszh-b2ca-interiorexterior-/2249-cable-24fo-sm-g657a2-900.html>
- López Pastor, E. (2015, July 15). *FTTH Course - Module 2*. https://www.researchgate.net/publication/280069225_FTTH_Course_-_Module_2
- Mario, J., Manzanares, M., María, J., & Sánchez, F. (2018). *Estudio tecno-económico del despliegue del estándar NG-PON2 sobre infraestructura óptica heredada*. <https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/74205>
- Nesset, D. (2015). NG-PON2 technology and standards. *Journal of Lightwave Technology*, 33(5), 1136–1143. <https://doi.org/10.1109/JLT.2015.2389115>
- Optiwave Systems Inc. (2024). *Optical System Design Software | OptiSystem | Optiwave*. <https://optiwave.com/optisystem-overview/>

OptiXstar P812E Datasheet Enterprise-Level Routing Gateway ONU. (2020). www.huawei.com

OptyTECH. (2021). *CAJA NAP IP68, 16P Modelo: GPJ09-8205*. <https://www.optytech.com.ec/materiales-de-fibra-optica/cajas-terminales-de-fibra-optica/caja-nap-ip68-16p-modelo-gpj09-8205.html>

OptyTech. (2021). *Distribuidor de fibra óptica modelo: DFOP 1 (HOMOLGADO CNT)*. <https://www.optytech.com.ec/materiales-de-fibra-optica/distribuidor-de-fibra-optica-modelo-dfop-1-homolgado-cnt.html>

Ordoñez Adrián. (2015). *Cable de fibra óptica*. <https://adrianordones.wordpress.com/2015/08/29/fibra-optica/>

Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Roura, H. (2005). Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública. In *Ilpes*. CEPAL. <https://hdl.handle.net/11362/5608>

Passanisi, L. (2017, October 31). *G.652 y G.655: Tipos de Fibra Monomodo: Blog de Beyondtech*. <https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/cuales-son-las-diferencias-entre-las-fibras-opticas-monomodo-g-652-y-g-655>

Paucar Moposita, J. F. (2021). *Diseño de una red de acceso NG-PON2 (40-Gigabit-Capable Passive Optical Networks) para brindar servicio triple play a determinadas zonas urbanas de la parroquia de Sangolquí*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21876>

Roger Ucañán Leyton. (2015). *Periodo de recuperación de la inversión o payback • gestiopolis*. https://www.gestiopolis.com/calculo-del-periodo-de-recuperacion-de-la-inversion-o-payback/#goog_rewarded

- SincablesEC. (2021). *Connection CFO-4716 caja NAP 16H IP65 GPON Poste Negra*.
<https://www.sincables.com.ec/product/connection-cfo-4716-caja-nap-16hilos-vacia/>
- Tejas Networks. (n.d.). *TJ1400 - Tejas*. Retrieved July 28, 2024, from <https://www.tejasnetworks.com/products/tj1400/>
- Terry Power. (2021, June 8). *Fibras G657 en Planta Externa*. <https://todofibraoptica.com/la-necesidad-de-fibras-g657-en-planta-externa/>
- The Fiber Optic Association. (2016). *Presupuesto de potencia y de pérdida óptica*.
<https://www.thefoa.org/ESP-Design/Ch9.htm>
- UIT-T. (2015a). *L.36 : Conectores de fibra óptica monomodo*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.36-201501-I/es>
- UIT-T. (2015b, May 16). *G.989 : .* <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989/es>
- UIT-T. (2019, August). *G.671 : Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.671-201908-I/es>
- UIT-T. (2020, February 10). *G.989.1 : Redes ópticas pasivas con capacidad de 40 Gigabits (NG-PON2): Requisitos generales*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.1/es>
- UIT-T. (2021, January 14). *G.989.2 : Redes ópticas pasivas con capacidad de 40 Gigabits 2 (NG-PON2): Especificación de capa dependiente del medio físico (PMD)*.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.2/es>
- UIT-T. (2022). *Recomendación L.400/L.12*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.400-202202-I/es>

UIT-T. (2023). *G.989.3 : Redes ópticas pasivas con capacidad de 40 Gigabites (NG-PON2): especificación de la capa de convergencia de transmisión.*

<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.3/es>

Vargas, I. A. (n.d.). *SISTEMAS DE FIBRA OPTICA*. Retrieved January 5, 2024, from www.ica-tron.org

VIAVI. (2021). *Red óptica pasiva (PON)*. <https://www.viavisolutions.com/es-mx/que-es-una-red-optica-pasiva-pon>

Worton. (2021, July 19). *¿Es la fibra monomodo G.652 tu mejor opción? | Comunidad FS.*

<https://community.fs.com/es/article/is-g652-single-mode-fiber-your-right-choice.html>

YCICT CO. (2023). *Huawei SmartAX MA5800 X7 olt ma5800 x7 price and specs ycict.*

<https://www.ycict.net/es/products/huawei-smartax-ma5800-x7-olt/>

ANEXO I

Características y especificaciones OLT Huawei SmartAX MA5800

Item	MA5800-X17	MA5800-X7
Switching Capacity	7 Tbit/s	7 Tbit/s
MAC Addresses	256K	256K
ARP/router table	64K	64K
GPON Ports	272	112
XG-PON Ports	136	56
GE/FE Ports	816	336
10GE Ports	136	56
Dimensions in mm (H*W*D)	486*533*286	264*442*242
Operating temperature range	Indoor cabinet with 1 subrack: -40°C to +65°C Indoor cabinet with 2 subracks: -40°C to +55°C	-40°C to +65°C
DC Power Supply	-38.4 to -72 V	-38.4 to -72 V
GPON Board	16 ports with Class B+/ C+ SFP optical modules; eOTDR; 40 km differential reach; 4-level HQoS; 1588V2	
XG-PON Board	8 ports with SFP+ optical modules; 40 km differential reach; 4-level HQoS; 1588V2	
Ethernet GE/FE Board	48*FE/GE (CSFP interface) or 24*FE/GE (SFP interface); SyncE and 1588v2	
Ethernet 10GE Board	8* 10 GE (SFP+ interface) or 8* GE (SFP/eSFP interface); SyncE and 1588v2	
Layer 2 Function	VLAN+MAC forwarding, SVLAN+CVLAN forwarding, PPPoE Plus, DHCP option82	
Layer 3 Function	Static route, RIP, OSPF/OSPFv3, IS-IS, BGP/BGP4+, ARP, DHCP relay, VRF	
MPLS&PWE3	LDP, RSVP-TE, MPLS OAM, tunnel PS, TDM/ETH PWE3, PW Redundancy, MPLS BGP IP VPN	
IPv6	Dual-stack IPv4 and IPv6, IPv6 Layer2 and Layer 3 forwarding, DHCPv6 relay	
Multicast	IGMPv2, IGMPv3, IGMP proxy and snooping, VLAN-based multicast	
QoS	Traffic classification, priority processing, trTCM based traffic policing, HQoS, traffic shaping, WRED, PQ/WRR/PQ+WRR, ACL	
System Reliability	GPON and XG-PON type B, type C; Inter-board or intra-board LAG, MSTP; Control boards and service boards ISSU	

Fuente: (Huawei SmartAX MA5800 Smart NG-OLT, 2018)

ANEXO II

Características y especificaciones ONU Huawei OptiXstar P812E

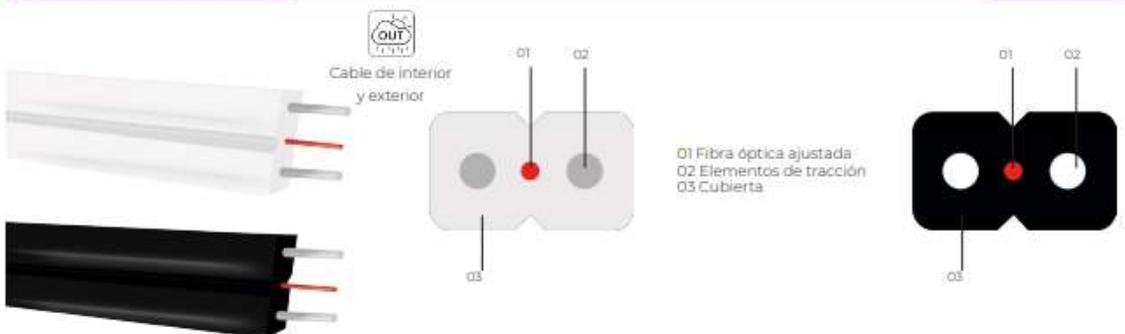
Parámetro	Especificación
Dimensiones	35 x 220 x 150 mm
Peso	Aprox. 1030 g
Temperatura de operación	-5°C a 45°C
Humedad de operación	5% a 95% RH (sin condensación)
Entrada de corriente	100-240 V AC, 50/60 Hz
Suministro de energía	56 V DC, 1.42 A
NNI	1 puerto XGS-PON
UNI	4 puertos GE y 1 puerto 2.5 GE
Soporte PoE/PoE+	Sí
Consumo de energía	Estático: 8.5 W; Máximo: 12 W (sin PD), 78 W (con PD)
Potencia máxima PoE	60 W (máx. 30 W por puerto GE)

Protección contra sobretensiones	GE: 4 kV (modo común), 0.5 kV (modo diferencial); AC: 6 kV (modo común y diferencial)
Instalación	Escritorio, pared, caja de red
SFP	Módulo óptico XGS-PON (SC/UPC)
GE/2.5 GE	PoE/PoE+, RJ-45, velocidad automática
VLAN	Transparente/filtrado

Fuente: (*OptiXstar P812E Datasheet Enterprise-Level Routing Gateway ONU*, 2020)

ANEXO III

Características y especificaciones del cable de fibra de dispersión



Descripción	Uso recomendado y prestaciones destacables
-------------	--

Cable de fibra para acometida especialmente concebido para instalaciones FTTh/FTTx de interior y exterior. El cable dispone de 1 fibra óptica de 250 μ protegida por la gruesa cubierta de 3x2mm en forma de 8 que integra además 2 tensores FRP en los laterales. El cable está disponible en cubiertas colores blanco y negro, ambas de baja fricción para facilitar su entubado en interior de edificios,

Se puede conectar mediante fusión de pigtail o mediante conector mecánico FOC-SAI00-L. Se suministra en caja carrete de 1000mts que, además de facilitar su instalación, mantiene el producto siempre protegido y limpio tanto en su almacenaje, transporte e instalación. El cable está medrado de 1000 a 0 metros, de forma que el instalador conoce fácilmente cuantos metros de cable quedan en todo momento.

Especificaciones técnicas

Referencia			F80P-01A-LB-BR	F80P-01A-LN-BR	
Características estructurales	Tipo de fibra		SM G657A2		
	Número de fibras		1		
	Cladding	Dimensiones	μ m	245 \pm 10	
		Color		Rojo	
	Elementos de tracción	Material		2 varillas de fibra de vidrio	
		Dimensiones	mm	0,5	
	Cubierta exterior	Material		LSZH	
		CPR		Eca	
		Dimensiones	mm	2 x 3	
		Color		Blanco	Negro
Características geométricas	Ensayo		Valor	Ensayo	
	Diámetro de campos de modo (1310nm)		μ m	8,8 \pm 0,4	IEC60793-1-45
	Diámetro del cladding o revestimiento		μ m	125 \pm 0,7	IEC60793-1-20
	Error de concentricidad del cladding o revestimiento		μ m	\leq 0,6	IEC60793-1-20
	No circularidad del cladding		%	\leq 0,7	IEC60793-1-20
	Longitud de onda de corte para cable		nm	\leq 1260	IEC60793-1-44
	Longitud de onda de corte para fibra		nm	1180 ~ 1330	IEC60793-1-44
	Diámetro sobre protección primaria		μ m	245 \pm 10	IEC60793-1-21
	Error de concentricidad de la protección primaria		μ m	\leq 0,5	IEC60793-1-21
Temperatura almacenamiento		m	\geq 4	IEC60793-1-34	

Fuente: (Keynet Systems, n.d.)