

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Análisis e implementación de una red de banda ancha
para el sector rural del Cantón Otavalo.

EXAMEN COMPLEXIVO

Previo la obtención del Título de:

Magíster en Telecomunicaciones

Presentado por:

Gustavo David Auz Puga

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

A mis padres quienes han sido en mi vida un pilar fundamental en la educación, por sus sabios consejos y apoyo constante de continuar superándome día a día, a mis hermanos y sobrina que han sido el motivo de felicidad y anhelo de concluir mis metas y mis seres queridos que han estado a mi lado en esta experiencia educativa inolvidable este triunfo es para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme sabiduría para poder alcanzar esta meta con la fortaleza e impulso que solo él lo sabe dar, a mis padres quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y dedicación, a los docentes de la Maestría que han impartido su conocimiento con dedicación y entrega, es grato para mi reconocer a la ESPOL como una universidad de calidad y sobre todo con docentes con una naturaleza humana incomparable, a mis compañeros de cohorte por su compañerismo y dedicación para haber podido culminar este proceso con éxito.

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Gustavo David Auz Puga acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor derechos de autor del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El estudiante deberá procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 29 de enero del 2025.

Gustavo David Auz Puga

EVALUADORES

Ph.D. María Antonieta Álvarez

PROFESOR EVALUADOR

Mgtr. Eduardo Luis Chancay

PROFESOR EVALUADOR

RESUMEN

El presente documento describe la implementación y despliegue de una red GPON de un proveedor de internet, para mejorar el servicio de los abonados de la empresa los cuales disponen de conexión a internet por medio de enlaces de radio, como resultado de esta implementación y migración de tecnología se dispondrá de una red con mayor ancho de banda para cada usuario, calidad de servicio y latencia baja, beneficiando notablemente el servicio ofrecido por el ISP.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó tecnología GPON con sus diferentes características y equipos soportados con tecnología óptica, desde el proveedor hasta el cliente final, considerando también el estándar IEEE para el despliegue de la red óptica.

Una vez concluido el despliegue de la red óptica, se realizó las pruebas de conexión y funcionamiento de la misma, para ello nos apoyamos de software de medición de transferencia de tráfico, estableciendo los parámetros que se consideran óptimos para tener una calidad de servicio alta y un mayor ancho de banda, comparado con la tecnología de enlaces de radio.

Finalmente, una vez realizada la migración, concluimos los objetivos establecidos en el inicio del proyecto y acotamos las recomendaciones que con la ejecución del proyecto se puede mejorar, para posterior escalar el proyecto ante posibles cambios de tecnología óptica.

Palabras Clave: Red GPON, ISP, Estándar IEEE.

ABSTRACT

This document describes the implementation and deployment of a GPON network from an internet provider, to improve the service of the company's subscribers who have the service through radio links, as a result of this implementation and migration of the service. You will have greater bandwidth for each user, quality of service and low latency, significantly benefiting the service offered by the ISP.

For the development of the project, GPON technology was used with its different characteristics and equipment supported with optical technology, from the provider to the end customer, also considering the IEEE standard for the deployment of the optical network.

Once the deployment of the optical network was completed, the connection and operation tests were carried out; for this we relied on traffic transfer measurement software, establishing the parameters that are considered optimal to have a quality of high service and greater bandwidth, compared to radio link technology.

Finally, once the migration has been completed, we conclude the objectives established at the beginning of the project and outline the recommendations that can be improved with the execution of the project, to later scale the project in the event of possible changes in optical technology.

Keywords: GPON Network, ISP, IEEE Standard.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	5
RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
CAPÍTULO 1	8
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Descripción del problema	8
1.2 Justificación del problema.....	9
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo General	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 Propuesta de la solución.....	11
1.5 Marco Teórico.....	12
1.5.1 Red Óptica Pasiva Gigabit (GPON)	12
1.5.2 Componentes de una Red Óptica GPON.....	12
1.5.3 Estándar GPON	13
1.5.4 Características Principales del Estándar GPON	14
CAPÍTULO 2	15
2. METODOLOGÍA	15
2.1 Análisis	15

2.2	Diseño.....	21
2.3	Análisis de Implementación	22
2.4	Equipos para la Implementación.....	22
CAPÍTULO 3.....		25
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	25
3.1	Costo de la Implementación	25
3.2	Parámetros de la Red GPON	26
3.3	Comparación en servicio inalámbrico y servicio GPON.....	26
3.4	Presupuesto Óptico	28
CAPÍTULO 4.....		31
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
4.1	Conclusiones	31
4.2	Recomendaciones	32
BIBLIOGRAFÍA.....		33

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GPON	Gigabit Passive Optical Network
ISP	Internet Service Provider
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
OLT	Optical Line Terminal
ONU	Unidad de Red Óptica
ITU-T	Unión Internacional de Telecomunicaciones
NAP	Network Access Point
ODF	Optical Distribution Frame

SIMBOLOGÍA

mW	Milivatio
W	Vatio
dBm	Unidad de medida relación de potencia
dbi	Decibelio
Gbps	Gigabits por segundo
Mhz	Megahercios

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos Utilizados.....	30
Tabla 2. Materiales para la implementación.....	31

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso del Internet es una herramienta fundamental para la sociedad, esto ha hecho que la creciente demanda de banda ancha cada vez exija a los proveedores de internet disponer de servicios estables y velocidades notables para garantizar la calidad de servicio.

Por este motivo el uso de infraestructura de redes de comunicaciones que los ISP implementan en su arquitectura está basada en su mayor porcentaje en despliegue de fibra óptica y en lugares donde se les complicado desplegar el servicio con fibra óptica la conexión se la realiza por medio de tecnología inalámbrica.

Conforme ha pasado el tiempo el despliegue de fibra óptica y la migración de tecnología se hace cada vez más común, esto con el fin de ofrecer al usuario una calidad de servicio de internet óptimo, para que los servicios que utilizan no se vean limitados en el ancho de banda y la velocidad de transmisión que el usuario necesita.

En este proyecto se diseñará e implementará la solución para la parroquia de Eugenio Espejo, cambiando enlaces inalámbricos a fibra óptica, con el debido análisis correspondiente de flujo de datos calculado para el número de usuarios y el despliegue de la arquitectura de red que este sector dispondrá.

1.1 Descripción del problema

La empresa proveedora de internet tiene implementado en su infraestructura de red tecnología GPON y tecnología inalámbrica, la red GPON esta implementada en el casco urbano de la ciudad y los clientes que se benefician de esta tecnología están satisfechos con el proveedor de internet, sin embargo la empresa también brinda servicios a una parte rural del cantón, este sector es atendido con otro tipo de tecnología, para poder llegar a estos sectores se utiliza tecnología inalámbrica con estaciones base y torres de acceso para los clientes del sector rural.

Este servicio de internet brindado a través de radio enlaces presenta problemas en el tráfico de datos, latencia en el servicio de internet, se producen intermitencias en el servicio debido a problemas ambientales, existen también

deterioro en los equipos de comunicaciones inalámbricas que están sometidos a cambio bruscos de temperatura, además de daños en los enlaces de comunicación con nodos centrales y cliente final de tal manera que el servicio de internet no está disponible las 24 horas.

Se tiene evidencia del problema que existe con el tráfico de datos, caídas de conexión interferencia entre señales velocidades muy bajas para el uso del servicio de internet, este problema está presente en varias de los proveedores de internet que brindan el servicio por medio de esta tecnología.

(Estudio de los problemas de conectividad en los equipos terminales, s. f.)

La latencia en el servicio está presente debido a que aplicaciones actuales tales como transmisión de video en alta definición, video conferencias, juegos en línea y plataformas virtuales requieren de un mayor ancho de banda para su correcto funcionamiento, el servicio debería tener una un desempeño notable con las siguientes características 100 Mbps en downstream y 50 Mbps en sentido upstream, estas características deberían ser necesarias para disponer de un servicio estable y sin pérdida de paquetes en el servicio.

La empresa necesita realizar un cambio de infraestructura para el sector rural, para que pueda atender las necesidades de estos usuarios, los cuales se ven perjudicados por un servicio intermitente, es necesario y trascendental que sectores rurales sean atendidos con igual calidad de servicio que los sectores urbanos de esta manera la brecha tecnológica que existe en los distintos sectores sea la misma y que cuente con un nivel de servicio óptimo para cada usuario.

1.2 Justificación del problema

Actualmente el proveedor de internet brinda sus servicios por medio de enlaces de radio en los sectores rurales del cantón, este servicio presenta dificultades en la transmisión de datos y en el flujo de datos que los usuarios actualmente necesitan, el cliente final ha manifestado no estar conforme con el servicio debido a interrupciones y latencia en el servicio.

Existe una demanda alta de ancho de banda en el sector es por ello que la empresa realiza la implementación del servicio de ultra banda ancha con el despliegue de red GPON, tomando en consideración el número de abonados

disponibles y los futuros clientes que podrían ser parte del beneficio de la red GPON.

Mediante el estudio de factibilidad y el diseño de una red G-PON se muestra la viabilidad de la para la construcción de esta tecnología, garantizando la cobertura, calidad y demanda de ancho de banda en esta área del cantón.

Por tal motivo la ejecución del proyecto con tecnología G-PON está justificado en todo su proceso de tal manera que los usuarios tengan un servicio con los beneficios que la tecnología GPON brinda, se dispondrá de una topología acorde a la ubicación geográfica del sector acompañado de las simulación respectivas de flujo de datos, que permitan determinar el desempeño de esta red y conocer si la tecnología GPON cumplirá con los requerimientos de los usuarios y las actividades de telecomunicaciones. *(Pasquel & Arévalo, s. f.)*

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar e implementar de una red GPON con la migración de tecnología inalámbrica a tecnología GPON en el sector de Eugenio Espejo del Cantón Otavalo con ultra banda ancha para cada abonado final con una duración de 30 días.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la viabilidad técnica y económica de implementación de la red GPON
- Definir la topología de la red, introduciendo la ubicación de la OLT y los diferentes componentes de la red.
- Definir los equipos necesarios, como OLTs, ONUs, splitters y fibras ópticas para el despliegue del proyecto
- Simular y analizar el rendimiento de la red bajo diferentes cargas de tráfico y circunstancias de uso.
- Ejecutar el plan de implementación gradual de la red con una duración de 30 días, considerando la infraestructura existente y la demanda de los usuarios.

1.4 Propuesta de la solución

La parroquia de Eugenio Espejo perteneciente al cantón Otavalo tiene una densidad poblacional de aproximadamente 8000 habitantes, el área de este sector rural es de 28 kilómetros cuadrados, este sector rural se encuentra ubicado a 2km del extremo sur del cantón, disponiendo de fácil acceso al sector rural.

Tomando en consideración que en esta la población se dispone de un número considerable de abonados que tienen contratado el servicio de internet con la empresa, se solicita la mejoría del servicio de internet, considerando realizar los estudios correspondientes para poder realizar la migración de tecnología inalámbrica a tecnología GPON.

Esta migración permitirá a los abonados reducir la brecha digital de conexión entre los distintos servicios del proveedor de Internet, mediante el estudio del despliegue de la nueva tecnología, se trazará los diagramas de conexión entre los distintos nodos a distribuirse por el sector rural, de tal manera que se permitirá disponer de suficientes puertos de acceso para los abonados que tienen contratos con el proveedor y también para abonados nuevos que requieran del servicio, de tal manera que a un abonado nuevo se pueda brindar la conexión del servicio en un tiempo considerablemente corto.

Es necesario disponer de tecnologías nuevas en los servicios del ISP, por este motivo se considera la implementación y el despliegue de redes con tecnología óptica en este caso redes GPON, para poder brindar al usuario una tecnología que brinde calidad, estabilidad y rapidez al momento de requerirse el servicio por parte del cliente.

Aumentar la capacidad de ancho de banda para servicios de cliente final, son los estándares que en grandes ciudades están implementados y que sectores rurales también los pueden disponer con la implementación de tecnología de fibra óptica.

La tecnología GPON permitirá que los servicios que usan cantidades grandes de ancho de banda no sean una limitante para el cliente al momento de hacer uso de ellos, obteniendo un servicio sin limitaciones debido a cambios climáticos o deterioro de equipos, el despliegue incluso para las reparaciones será aún más eficiente, tomando en consideración que este tipo de problemas son de solución

pronta y la gestión que estos equipos tienen permiten que problemas de corte de fibra sean de rápido monitoreo y respuesta al acudir a una reparación de la red.

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Red Óptica Pasiva Gigabit (GPON)

Es una tecnología de acceso a Internet que utiliza fibra óptica para proporcionar velocidades de transmisión de datos muy altas. GPON es una solución eficiente y escalable la cual brinda servicios como Internet con velocidades altas, servicios de televisión y también voz VoIP en áreas residenciales y comerciales. A continuación, se explica el funcionamiento de la red, sus componentes, características, ventajas y aplicaciones. (*Cale et al., 2007*)

1.5.2 Componentes de una Red Óptica GPON

Una red GPON se basa en una infraestructura de fibra óptica pasiva, lo que significa que no requiere dispositivos activos en todo el recorrido de la señal. Esto hace que la red sea más económica y fácil de desplegar. Los principales componentes de una red GPON son:

- **OLT (Termina de Línea Óptica):**

Es el equipo que se encuentra en el lado del proveedor de servicios de Internet (ISP), generalmente en un centro de datos. El OLT controla y gestiona la red, distribuyendo los servicios de acceso a los usuarios finales. Además, se conecta a la infraestructura del ISP, como la red troncal y las redes de transporte.

- **ONT (Optical Network Terminal):**

Es el equipo instalado en el hogar o en las instalaciones del cliente. El ONT convierte la señal óptica en señal eléctrica que puede ser utilizada por los dispositivos del usuario

Cada cliente tiene su propio ONT, que se conecta a la red GPON a través de la fibra óptica.

- **Splitter Óptico:**

Un componente pasivo clave que divide la señal óptica que proviene del OLT hacia varios ONTs. Los divisores ópticos permiten que una sola fibra llegue a múltiples usuarios. Esto es lo que hace a la red GPON eficiente, ya que no se

requieren equipos activos para dividir la señal. Los divisores tienen relaciones de división como 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64 o incluso 1:128, lo que significa que una fibra puede servir a 2,4,6,8,16,32, 64 o 128 clientes, respectivamente. (Abreu et al., 2009)

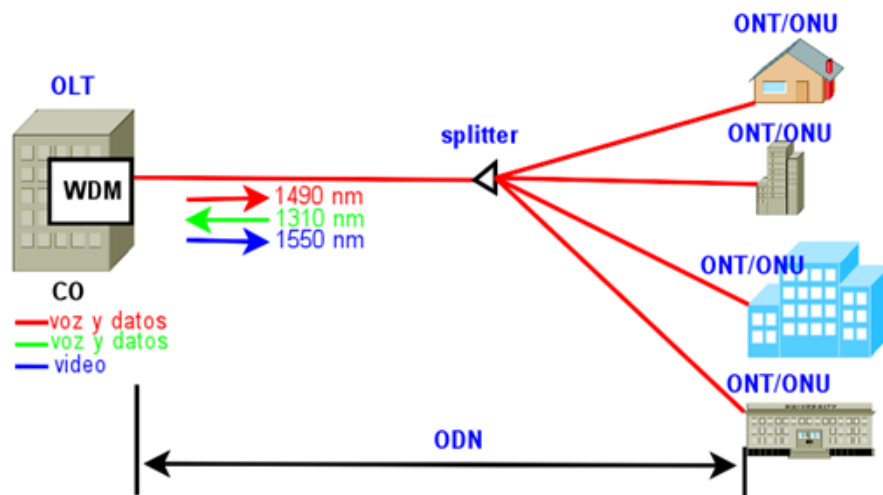


Figura 1. Elementos de una red GPON

En la figura 1 tenemos los componentes de una red óptica empezando por la OLT en el data center del proveedor, divisores de señal y las ONT en cada uno de los usuarios.

1.5.3 Estándar GPON

El estándar GPON es definido por la (ITU-T); En el documento ITU-T G.984. Este estándar cubre varios aspectos clave de la tecnología GPON, incluidos los requisitos de transmisión, la arquitectura de la red, la interoperabilidad entre equipos y la calidad del servicio. Algunas de las especificaciones más relevantes de este estándar son:

ITU-T G.984 (GPON)

- **G.984.1:** Especificaciones generales de la arquitectura GPON, como la topología de red, las relaciones entre los diferentes componentes (OLT, ONT, divisores ópticos) y las capacidades de transmisión.
- **G.984.2:** Define el formato de la interfaz física entre los dispositivos en la red GPON, especificando las longitudes de onda de transmisión y las tasas de datos.

- **G.984.3:** Establece el protocolo de control y la gestión de la red, especificando cómo se deben gestionar los recursos y el tráfico a través de la red.
- **G.984.4:** Proporciona directrices sobre los mecanismos de protección y recuperación de fallos en una red GPON, asegurando la resiliencia de la infraestructura. (Josán, 2017)

1.5.4 Características Principales del Estándar GPON

Velocidades de Transmisión

El estándar GPON soporta las siguientes velocidades de transmisión:

Downstream: Hasta 2.5 Gbps.

Upstream: Hasta 1.25 Gbps.

Estas velocidades permiten que los usuarios accedan a Internet de alta velocidad, servicios de transmisión de video y aplicaciones de voz y datos con una alta calidad de servicio.

Longitudes de Onda

GPON utiliza longitudes de onda específicas para las transmisiones de datos:

- Downstream (de OLT a ONT): Usa longitud de onda 1490 nm.
- Upstream (de ONT a OLT): Usa longitud de onda 1310 nm.

Estas longitudes de onda están elegidas para garantizar una baja atenuación y permitir que las señales viajen largas distancias sin pérdida significativa de calidad. (Josán, 2017)

Topología de Red

La red GPON sigue una arquitectura de red pasiva, donde los componentes activos no se usan a lo largo del trayecto entre el OLT y los ONTs. En su lugar, se utilizan divisores ópticos pasivos para distribuir la señal desde el OLT a los diferentes usuarios. Reduciendo costos operativos y simplificando la infraestructura de red.

- **OLT:** El equipo central que conecta la red GPON al proveedor de servicios.
- **ONT:** Los equipos instalados en las casas o negocios de los usuarios finales
- **Splitter Óptico:** Distribuye la señal óptica de la OLT a múltiples ONTs (Quisnancela et al., 2016)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se prevé diseñar una red GPON para el sector de Eugenio Espejo del cantón Otavalo, para un escenario de demanda de banda ancha por cada usuario, mediante el análisis de las características y la arquitectura del estándar GPON y su viabilidad de despliegue.

Para cumplir con el primer objetivo se realizará una investigación documental de tipo descriptivo de las tecnologías de nueva generación mediante la revisión de revistas tecnológicas y normas del estándar.

La etapa inicial será analizar el diseño de la implementación con el despliegue tecnológico para cada usuario, realizando el cálculo de flujos de datos requeridos para el dimensionamiento de la red. Se toma en consideración aspectos generales, características y particularidades propias de esta red. Posterior a esto se tomará en consideración la recomendación ITU-T G984.3, concretamente sus mejoras y características más significativas en cuanto a velocidad, confiabilidad y rango de comunicaciones. *(Quisnancela & Espinosa, 2016)*

2.1 Análisis

Mediante la solicitud de los clientes para mejorar el servicio de internet en la parroquia de Eugenio Espejo del cantón Otavalo, la necesidad principal es el diseño y la ejecución de la red fibra óptica para reemplazar el actual servicio de enlaces de radio que la empresa dispuso para este sector.

Este servicio se realizaba por enlaces de radio con equipos de marca Mikrotik para los nodos de enlace central y para el usuario final CPE equipos de la marca Ubiquiti.

Mediante el mapa de clientes con servicio inalámbrico que la empresa dispone, se realizara el trazado de ruta para estos clientes y de igual manera se dimensionara el sistema de red GPON para futuros clientes de tal manera que la nueva red pueda tener escalabilidad para nuevos clientes.

Es necesario en esta etapa disponer de información sobre la ubicación de la oficina central donde están ubicados los equipos principales y ubicación de los

abonados a los que se brindará el servicio, se realiza un trazado de ruta del despliegue de la red con las diferentes derivaciones y usuarios finales, para esto no apoyamos del uso de la plataforma Google Earth el cual nos ayuda en este proceso de señalización de la ruta. (Google Maps para las telecomunicaciones, s. f.)



Figura 2. Ubicación sector Eugenio Espejo

En la figura 2 tenemos el mapa del sector a ser analizado para el análisis de la red.



Figura 3. Ubicación de abonados con servicio inalámbrico

La figura 3 nos indica el numero de usuarios con servicio de internet por enlaces de radio

Una vez obtenida la ruta por medio de la herramienta antes mencionada, se envió a una cuadrilla de técnicos para la realización del recorrido físico por el área los cuales denotaran en sus documentos de ubicación los posibles escenarios de instalación de los elementos principales de la red GPON y sus ramificaciones de tal manera que esta información sea contrastada y analizada con mayor detalle para la ubicación de magas de fusión, cajas NAP, Splitters, y los diferentes componentes para el despliegue óptimo de la red.

Con este escenario establecemos el análisis completo de la red con la recopilación de información de usuarios, equipos a instalar, cantidad de material que requiere la implementación y también los equipos centrales que se adicionarán en la oficina central o analizar incluso si los equipos instalados abastecen para el crecimiento de la infraestructura.

Para el despliegue de la red se dividió en 3 zonas las cuales están delimitadas en el mapa descrito a continuación.

Zona1 – Central Zona2 – Norte Zona3 – Sur



Figura 4. Limitación de zonas de cobertura

La división por zonas está demarcada en la Figura 4 disponiendo del mapa dividido en 3 zonas de cobertura.

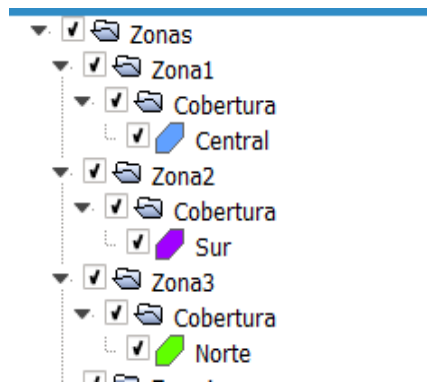


Figura 5. Capas del mapa de cobertura

Una vez delimitadas las zonas se realiza el diagrama de los puntos donde estarán ubicadas las cajas NAP y el despliegue de la fibra óptica con sus debidas derivaciones esto ubicamos en la Figura 5.

Zona 1



Figura 6. Distribución de cajas NAP en zona 1

En la Figura 6 tenemos la distribución de las cajas NAP con las derivaciones ópticas esto para la zona 1.

Zona 2

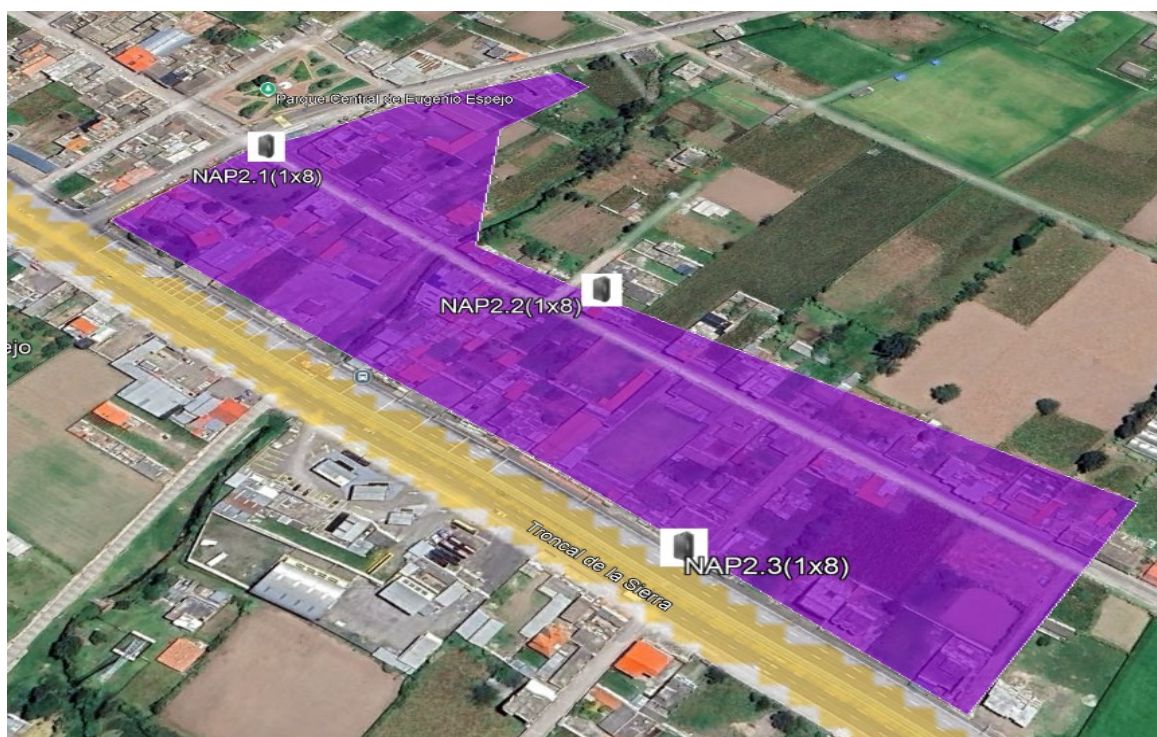


Figura 7. Distribución de cajas NAP en zona 2

En la Figura 7 igual se tiene la distribución de las cajas NAP y sus derivaciones ópticas para la zona2

Zona3



Figura 8. Distribución de cajas NAP en zona 3

La Figura 8 indica la distribución de las cajas NAP para la zona 3 y sus derivaciones.

Se procede al trazado de ruta de fibra óptica principal con conexión al nodo central y a las diferentes zonas establecidas en el levantamiento de información

Ruta de Fibra Óptica

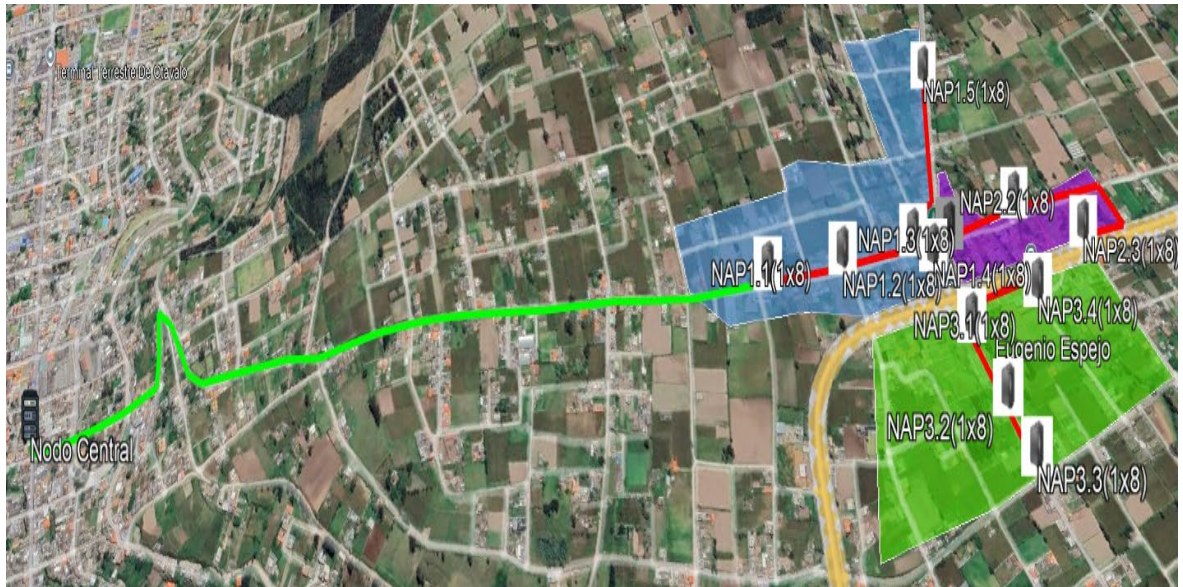


Figura 9. Trazado de ruta de fibra óptica

En la Figura 9 tenemos el trazado de la ruta de fibra óptica troncal y secundarios

Derivaciones de Fibra Óptica



Figura 10. Derivaciones de fibra óptica

Observamos en la Figura 9 las derivaciones de fibra secundaria para las 3 zonas delimitadas del mapa, **conectando** a sus diferentes cajas de distribución NAP

2.2 Diseño

Para el proceso del diseño nos basamos en las ubicaciones que se trazaron en el proceso de análisis para instalación de las cajas NAP y divisores ópticos con los cuales se establecerá el servicio a cada usuario.

Se determina usar una OLT Mikrotic CCR1016-12G que dispone de 12 puertos con una capacidad de 768 usuarios por puerto, en los cuales la cantidad de clientes disponibles en el ISP y los usuarios para el proceso de migración es de 80 usuarios y posterior el escalamiento que para futuras conexiones la red pueda disponer de la capacidad necesaria para establecer las conexiones. (*«CCR1016-12G», s. f.*)

Utilizaremos fibra ADSS de 12 hilos con ese cubrirá los clientes a realizar la migración y los posibles clientes que requiera del servicio. (*«FIBRAEC ADSS 12h 120 Span», s. f.*)

Se dispondrá de Splitter de primer nivel de 1x8 y Splitters de segundo nivel de 1x8, con esta división distribuimos el servicio para el sector en teoría para 128 clientes, de tal manera que tenemos cubierta la demanda actual de clientes con un excedente y posibles futuros servicios requeridos. (*Divisores ópticos primarios y secundarios en redes FTTH - conocimiento - Shenzhen HTFuture Co., Ltd, s. f.*)

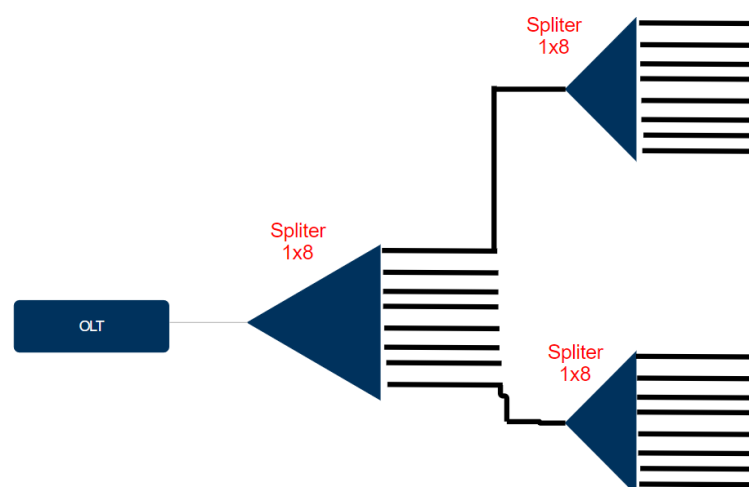


Figura 11. Diseño de Splitters

La Figura 11 indica los 2 niveles de Spliteo que vamos a dispoenes en cada zona de cobertura

2.3 Análisis de Implementación

Tras realizar el diagrama en el software, se determinó que es posible desplegar la red mediante un tendido aéreo en la mayor parte del sector.

Sin embargo, debido a la infraestructura del sector donde se implementó el proyecto, se decidió utilizar el estándar ITU-T G.657.A, que permite trabajar con fibra óptica de cable monomodo, cuya principal característica es su insensibilidad a las pérdidas por flexión. Una vez seleccionados los materiales, se investigaron las especificaciones técnicas de cada uno. En esta fase, se realizó un cálculo teórico de la atenuación de la fibra, utilizando la recomendación ITU-T G.657 para el enlace de fibra. (ITU-T-G657A, s. f.).

2.4 Equipos para la Implementación

Los equipos que se utilizaron en el despliegue de la red son los siguientes con su tabla descriptiva de características técnicas.

OLT Mikrotic CCR1016-12G

MikroTik

CCR1016-12G

Specifications

Product code	CCR1016-12G
CPU	TilePro Tile-Gx16 CPU, 16 cores, 1.2 GHz per core
Size of RAM	2 GB
Storage	512 MB NAND, 512 KB flash
10/100/1000 Ethernet ports	12
Supported input voltage	AC power supply 100 - 240 V
Redundant supply	Yes
USB port	USB type A
Serial port	RJ45
Dimensions	443 x 193 x 44 mm
Operating temperature	-20°C .. +60°C
Operating system	RouterOS, License level 6
Max power consumption	42 W

Figura 12. Especificaciones técnicas OLT

Podemos ver en la Figura 2 las características de la OLT, esto con la tabla de especificaciones de la OLT.

ODF 24 Puertos FIBRAMERICA

General Specifications:

Applicable Adapter	SC, FC, ST, duplex SC, duplex LC, quadplex LC, etc.
Capacity	12 fibers, 24 fibers, 36 fibers, 48 fibers, 72 fibers, 96 fibers, etc.
Material	cold rolled steel or aluminum
Color	black, white or grey
Dimension	482(W)*250(D)*44(H)mm (1U)
	482(W)*250(D)*88(H)mm (2U)
Installation Method	19" rack mount
Splice Tray Capacity	24 fibers/tray

Figura 13. Especificaciones técnicas ODF

Las especificaciones de la ODF que utilizamos está descrita en la Figura 13.

Switch QP 24 puertos Gigabit

Specifications

Features & Performance			
Product Picture			
Model		TL-SG1016	TL-SG1024
Hardware Features	Standards and Protocols	IEEE 802i, IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab, IEEE 802.3x, IEEE 802.1p	
	Interface	16 10/100/1000Mbps RJ45 Ports (Auto Negotiation/Auto MDI/MDIX)	24 10/100/1000Mbps RJ45 Ports (Auto Negotiation/Auto MDI/MDIX)
	Forwarding Mode	Store-and-Forward	
	Network Media	10BASE-T: UTP category 3, 4, 5 cable (maximum 100m) 100BASE-TX/1000BASE-T: UTP category 5, 5e or above cable (maximum 100m)	
	Power Supply	100-240VAC, 50/60Hz	
	Green Technology	Yes	
	QoS	802.1p/DSCP QoS (for V12 and later versions only)	802.1p/DSCP QoS (for V11 and later versions only)
	LED	Power, 1000Mbps, Link/Act	
	Dimensions (W x D x H)	17.3*7.1*1.7 in. (440*180*44 mm)	
	Fanless	Yes	
Performance	Switching Capacity	32Gbps	48Gbps
	Packet Forwarding Rate	23.8Mpps	35.7Mpps
	MAC Address Table	8K	
	Jumbo Frame	10KB	
	Max Power Consumption	10.44 W (220V/50Hz)	13.78W (220V/50Hz)
	Max Heat Dissipation	35.60 BTU/h	46.99 BTU/h
Certification		CE, FCC, RoHS	

Figura 14. Especificaciones técnicas Switch

La características del switch administrable esta descrito en la Figura14.

Fibra ADSS 24 Hilos

Optical Characteristics

Fiber Type		G.652	G.655	50/125μm	62.5/125μm
Attenuation (+20°C)	850 nm			≤3.0 dB/km	≤3.3 dB/km
	1300 nm			≤1.0 dB/km	≤1.0 dB/km
	1310 nm	≤0.36 dB/km	≤0.40 dB/km		
	1550 nm	≤0.22 dB/km	≤0.23 dB/km		
Bandwidth	850 nm			≥500 MHz·km	≥200 Mhz·km
	1300 nm			≥500 MHz·km	≥500 Mhz·km
Numerical Aperture				0.200±0.015 NA	0.275±0.015 NA
Cable Cut-off Wavelength λ _{cc}		≤1260 nm	≤1450 nm		

Figura 15. Especificaciones técnicas Fibra ADSS 24 Hilos

Se utilizara fibra ADSS de 24 hilos en la Figura 15 podemos ver las características ópticas de la fibra y los niveles de atenuación.

Fibra Drop 2 Hilos

DESCRIPCIÓN

- Fibra Óptica Drop 2 Hilos (1. Azul 2. Naranja)
- Cable mensajero mas doble galvanizado de alambre de acero trenzado
- Cumple o supera las recomendaciones UIT-TG. 657.A2
- La unidad de cable está reforzada por triple alambre de acero.
- Longitud: 100 metros
- Red óptica de alto rendimiento operando en las bandas O-E-S-C-L
- Rutas ópticas de alta velocidad en edificios o planta externa (FTTx)
- Resistencia 21 kg / km
- Chaqueta LSZH
- Cables con bajos requerimientos de flexibilidad
- Radio de curvatura mínimo en la dirección de la superficie plana funcionamiento: 20mm e instalación: 40mm

Para la conexión entre las cajas de distribución y el usuario final utilizaremos Fibra Drop de 2 Hilos en los que vemos los colores a utilizar marcados en la descripción de la fibra.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Mediante el estudio de despliegue del proyecto se determinó la viabilidad del proyecto y posterior a la implementación de la nueva arquitectura de red basado en tecnología GPON.

Este proceso de migración determino en la infraestructura desplegada un costo global del proyecto el cual se detallará a continuación.

También se procede al análisis de resultados de la implementación del proyecto, mencionando el número de abonados como beneficiarios del servicio, el análisis de flujo de datos y ancho de banda que cada usuario dispondrá en su domicilio.

Finalmente indicamos la escalabilidad del sistema posterior a la migración de los abonados ya implementados, tomando en consideración el número de puertos disponibles para poder disponer de un mayor número de usuarios con el nuevo servicio y tener una recuperación a nivel económico del proyecto en un tiempo menor.

3.1 Costo de la Implementación

En la implementación de la red GPON se utilizó los siguientes componentes para la instalación de la arquitectura desplegada.

Equipos Utilizados	
Equipo	Valor
OLT Mikrotic 16 puertos	\$ 3800.00
ODF 24 Puertos para rack	\$ 280.00
Switch QP 24 puertos Gigabit	\$ 120.00
TOTAL	\$ 4200.00

Tabla 1. Equipos Utilizados

Materiales para la implementación			
Material	Cantidad	Precio Unitario	Total
Fibra Óptica ADSS	4000	\$ 0.65	\$ 2600
Herrajes Posterío	100	\$ 2.4	\$ 254
Herrajes Fibra	200	\$ 2.9	\$ 580
Señalización	1000	\$ 0.80	\$ 80
Amarras metálicas	2500	\$ 0.05	\$ 125
Cajas NAP MANGA	30	\$ 18	\$ 540
TOTAL		\$ 4179	

Tabla 2. Materiales para la implementación

3.2 Parámetros de la Red GPON

En el despliegue de la red se utilizó dos niveles de spliteo cada uno de 1x8 esto hizo que el sistema tenga perdidas promedio en cada splitter los cuales son considerados en el presupuesto óptico calculado.

Se hizo el análisis de longitud de onda de la fibra óptica de 1490nm en la cual representamos la transmisión de datos desde la ONT hacia la OLT, el cual soporta velocidades de hasta 2.5Gbps.

En el caso de recepción de video la longitud de onda será de 1550 nm en downstream y en upstream la longitud de onda será de 1310 nm con velocidades de hasta 1.25 Gbps.

La pérdida en atenuación de la fibra óptica será de 0.25db/Km trabajando con el estándar G652. D.

3.3 Comparación en servicio inalámbrico y servicio GPON

Servicio de internet por medio de enlaces de radio

Mediante la implementación de radio enlaces vamos a disponer de velocidades de transmisión en el sistema de entre 10 Mbps a 50 Mbps esto dependiendo de la tecnología utilizada.

En cuanto al ancho de banda en enlaces de radio se describe el volumen de datos que se pueden transmitir simultáneamente a través del enlace, este ancho de banda oscila entre 1 MHz y 20 MHz.

Los radioenlaces permiten un ancho de banda suficiente para aplicaciones de menor uso de datos y es una solución viable para áreas donde es complicado el despliegue de tecnología GPON.

A continuación, se detalla un modelo de negocio de la empresa mencionando los distintos planes que dispone para áreas donde no se tiene desplegado el servicio con tecnología GPON.

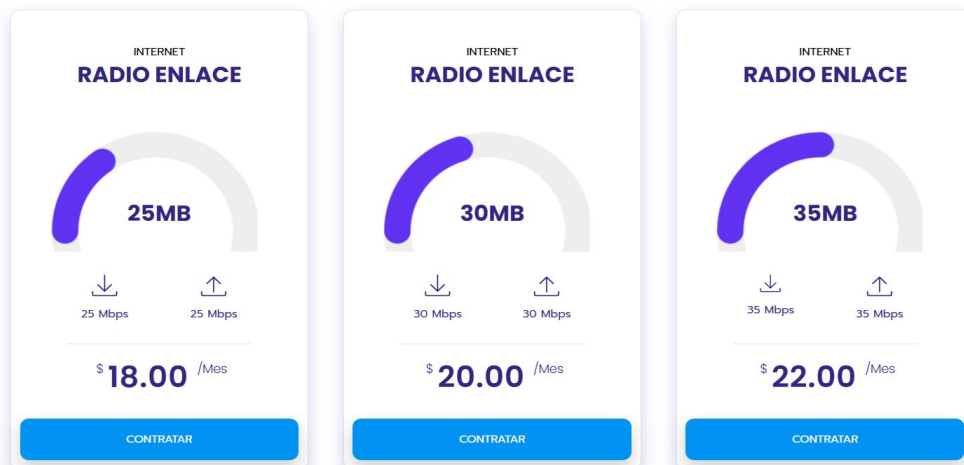


Figura 16. Planes internet por enlace de radio

Podemos ver los planes que se ofrecía para servicio de internet con enlaces de radio en la Figura 16.

Servicio de internet por medio de Fibra Óptica

El servicio de internet por medio de tecnología GPON maneja velocidades de transmisión con valores típicos, los cuales son:

Descarga hasta 2.5 Gbps

Subida hasta 1.25 Gbps

Con esta tecnología la velocidad de descarga es mayor debido al uso de aplicaciones de internet como transmisión de video, juegos en línea, o aplicación que denotan un gran uso de flujo de datos.

EL ancho de banda de tecnología GPON define la capacidad total de la red para la transferencia de datos ofreciendo una capacidad de 2.5 Gbps en descarga y 1.25 Gbps en subida, también se debe tomar en consideración que el ancho de banda es compartido con los usuarios que se conectan a la misma red distribuyéndose entre los usuarios.

En la implementación típica de GPON se puede tener una relación entre usuarios de 1:32 esto se denota de la siguiente manera, el ancho de banda de 2.5 Gbps en descarga se divide entre los 32 usuarios dando un promedio de 78Mbps por cada usuario esto si cada usuario estaría utilizando la red en el mismo tiempo.

Detallamos a continuación los planes que le empresa dispone para tecnología GPON con sus valores por cada plan específico.

PLANES HOME	
60 MEGAS	OPTIBASIC \$25.90 +imp
80 MEGAS	OPTIPRO \$36.00 +imp
100 MEGAS	OPTIGAME \$46.00 +imp

Figura 17. Planes internet por fibra óptica

En la Figura 17 podemos ver los planes que se han diseñado para el sector con la construcción de la nueva red.

3.4 Presupuesto Óptico

Realizamos el cálculo del presupuesto óptico en la red de fibra óptica para garantizar que la señal óptica pueda llegar eficientemente del transmisor hasta el receptor sin pérdidas de señal significativas.

En el cálculo del presupuesto involucramos la pérdida de la señal durante el viaje de la luz sobre la fibra tomando en consideración la atenuación de la fibra la conexión de los empalmes y demás componentes del sistema.

A continuación, se indica los parámetros para el cálculo del presupuesto óptico.

Elementos de la Red de Fibra Óptica		Cantidad	Pérdida típica del elemento (dB)	Pérdida Teórica Total (dB)
Conectores (mated) ITU 671=0.5dB			0,50	
Empalmes de fusión ITU L.12 = 0,1dB promedio			0,10	
Empalmes mecánicos ITU L.12 = 0,2dB promedio			0,20	
Conector Mecánico Armado en Campo			0,60	
Splitter	1x2		4,00	
	1x4		7,30	
	1x8		10,50	
	1x16		13,80	
	1x32		16,80	
	1x64		20,40	
Longitud de Fibra (Km) / longitudes de onda	1310nm		0,35	
	1490nm		0,30	
	1550nm		0,25	
TOTAL (dB)				0,00

Figura18. Tabla para del presupuesto óptico calculado

En la Figura 18 tenemos la tabla de perdidas de acuerdo a los componentes a utilizar en la creación de la red, observamos que cada elemento tiene distinto parámetro de pérdida.

Se presentan los valores típicos de atenuación de cada elemento de red. Dicha tabla se puede utilizar como plantilla para calcular del presupuesto óptico con todos los elementos que componen la red.

El margen de resguardo se establece en un valor de 3dB y dependerá del tipo de red y de los factores externos a identificarse en la red a diseñarse.

Disponemos de una plantilla que hemos realizado para el cálculo del presupuesto óptico considerando los diferentes elementos de la red óptica.



Elementos de la Red de Fibra Óptica		Cantidad	Pérdida típica del elemento (dB)	Pérdida Teórica Total (dB)	Perdida Real medida (dB)
Conectores (mated) ITU 671=0.5dB			0,50	0,00	
Empalmes de fusión ITU751=0.1dB average			0,10	0,00	
Empalmes mecánicos ITU 751=0,1dB average			0,20	0,00	
Conector Mecánico Armado en Campo			0,60	0,00	
Splitters	1x2		3,50	0,00	
	1x4		7,00	0,00	
	1x8		10,50	0,00	
	1x16		14,00	0,00	
	1x32		17,50	0,00	
	1x64		21,00	0,00	
	2x4		7,90	0,00	
	2x8		11,50	0,00	
	2x16		14,80	0,00	
	2x32		18,50	0,00	
	2x64		21,30	0,00	
Longitud de Fibra (Km) / longitudes de onda	1310nm		0,35	0,00	
	1490nm		0,30	0,00	
	1550nm		0,25	0,00	
TOTAL (dB)				0,00	0,000

Figura19. Plantilla para el presupuesto óptico.

En la Figura 19 disponemos de una plantilla para el cálculo de pérdidas en los que tenemos los distintos elementos que pueden componer una red y los valores adjuntos los que se tienen pérdidas típicas por elemento.

Con el cálculo del presupuesto óptico aseguramos que la señal recibida en el receptor tenga un rango aceptable para la transmisión adecuada, también tomamos en consideración el margen de seguridad para tener en cuenta las variaciones que pueda tener el sistema.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- De acuerdo al estudio y análisis para la implementación de la red GPON se procedió al despliegue de la red óptica basados en las necesidades de las personas del sector considerando el crecimiento de la red y disponiendo de una red de puertos disponibles para futuros abonados que requieran del servicio.
- Se considero el despliegue de la red basándonos en herramientas de diseño para generar los planos de ubicación de los componentes de red, para posterior los técnicos tengan un cronograma de instalación con los debidos lineamientos técnicos en cuanto a la fijación y distribución de la red.
- El despliegue de red óptica para el sector fue económicamente viable debido que los usuarios que disponían del servicio por medio de enlaces de radio, el 90% de abonados recibieron la migración del servicio y se beneficiaron de la red óptica, adicional se dispusieron de contrataciones de nuevos abonados de tal manera que la inversión realizada para el despliegue de red tendrá una recuperación de capital de trabajo en corto tiempo.
- Se procede a dejar una demarcación de los abonados beneficiados y el mapa de despliegue de red, señalizando las fibras principales y derivaciones correspondientes para cada sector, de tal manera que podemos rápidamente ubicar una falla en la red para tener una pronta respuesta ante fallos.
- La implementación de red se realizó en el tiempo estipulado de 30 días con la debida configuración de equipos de usuario final, de tal modo que los usuarios tuvieron con corte en servicio de aproximadamente 1 hora hasta poder realizar las configuración y conexiones de cableado final al usuario.
- Culminado la construcción y puesta en marcha de la red tenemos una satisfacción de usuario final alta, ya que se ha cumplido con los niveles óptimos de potencia en la red y perdidas mínimas para cumplir con el estándar de despliegue de fibra óptica.

4.2 Recomendaciones

- En el despliegue de red óptica se recomienda utilizar fibra adds de mas número de hilos es debido a que en la actualidad no existe mucha diferencia entre el un cableado de 12 hilos y 24 hilos, es mejor disponer de una infraestructura de red con la que podamos crecer a que volver a realizar un nuevo tendido de red.
- Ponemos en consideración a utilizar los herrajes para el tendido de red en los postes colocarnos en él lo más alto del tendido de otros proveedores esto para evitar que los técnicos de otras empresas puedan causar daños en nuestra red.
- En las instalaciones de usuario final se recomienda utilizar las debidas protecciones de fibra óptica y las cajas de protección de las fibras de conexión de la ONU y evitar de esa forma perdidas por dobles de fibra, estos percances de una buena instalación permitirán tener una red bien protegida.
- Utilizar equipos para la fusión y comprobación de niveles de potencia que sean de calidad para evitar atenuaciones por fallas de en empalmes, también acotar que se recomienda utilizar fibra óptica con un estándar alto y que pueda soportar flexiones debido a los factores ambientales o externos que la red pueda tener.
- La correcta utilización y manipulación de la fibra evitara tener atenuaciones y perdidas de potencia que el afectan al usuario y deterioran el servicio.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Abreu, M., Castagna, A., Cristiani, P., Zunino, P., Roldós, E., & Sandler, G. (2009). Características generales de una red de fibra óptica al hogar (FTTH). *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, 7, Article 7.
- (2) CCR1016-12G. (s. f.). *Ecisec*. Recuperado 26 de enero de 2025, de <https://www.ecisec.com.ec/productos/mikrotik/ccr1016-12g/>
- (3) Cortez Bustamante, P. E. (2016). *Manual práctico para el cableado de la red aérea de fibra óptica de Telconet en la ciudad de Quito* [bachelorThesis, Quito, 2016.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16820>
- (4) *Divisores ópticos primarios y secundarios en redes FTTH - conocimiento—Shenzhen HTFuture Co., Ltd.* (s. f.). Recuperado 26 de enero de 2025, de <https://www.fiber-optical-transceivers.com/info/primary-and-secondary-optical-splitters-in-fft-57653242.html>
- (5) *Estudio de los problemas de conectividad en los equipos terminales.* (s. f.).
- (6) *Google Maps para las telecomunicaciones.* (s. f.). Web Geo Services. Recuperado 23 de enero de 2025, de <https://www.webgeoservices.com/es/empresas-industriales/telecomunicaciones/>
- (7) Quisnancela, E., & Espinosa, N. (2016). Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x. *Enfoque UTE*, 7(4), 16-30.
- (8) Josan, M. (2017, marzo 13). Cómo funciona una conexión de fibra. GPON y FTTH. *NASeros*. <https://naseros.com/2017/03/13/como-funciona-una-conexion-de-fibra-gpon-y-fftth/>

- (9) Pasquel, C. P. P., & Arévalo, G. (s. f.). *TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN REDES DE COMUNICACIONES*.
- (10) Quihuiri Gagnay, L. F. (2022). *Diseño de una red de fibra óptica con tecnología GPON para proveer el servicio de internet a la parroquia Quimiag perteneciente al cantón Riobamba*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20825>
- (11) Quisnancela, E., Espinosa, N., Quisnancela, E., & Espinosa, N. (2016). Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x. *Enfoque UTE*, 7(4), 16-30. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.111>
- (12) Ruiz, O. A. P. (2023). *Migración Red GPON para proveedores de servicio inalámbrico (WISP)*.
<https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/11972>
- (13) Suni Mendoza, R. (2024). *Cálculo de presupuesto óptico para el diseño y construcción de redes FTTH*.
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/9188>
- (14) Vega, R. B. R., & Muñoz, C. A. H. (s. f.). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE UN ISP INALÁMBRICO (WISP) EN LA PROVINCIA SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS, PARA BRINDAR EL SERVICIO DE INTERNET A LAS COMUNIDADES TSÁCHILAS EL POSTE Y EL CÓNGOMA*.
- (15) Vintimilla Murillo, K. A., & Sánchez Manzaba, A. D. (2024). *Diseño de un modelo de migración para redes de HFC mediante la tecnología GPON en*

el contexto ecuatoriano [bachelorThesis].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29269>

- (16) FIBRAEC ADSS 12h 120 Span. (s. f.). *aire.ec*. Recuperado 26 de enero de 2025, de <https://aire.ec/producto/fibraec-adss-12h-120-span/>