



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**Diseño de una red de fibra óptica (FTTH) para evaluar la migración de red de cobre a fibra con el estándar 10G-EPON de los usuarios de CNT EP de la parroquia de Cajabamba cantón Colta.**

Trabajo de Titulación para optar al título de:  
**INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES**

**Autor:**

Mayra Yadira Machado Parra

**Tutor:**

Mgs. Marco Antonio Nolivos Vimos

**Riobamba, Ecuador. 2024**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **MAYRA YADIRA MACHADO PARRA**, con cédula de ciudadanía **0604365700**, autora del trabajo de investigación titulado: **DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA (FTTH) PARA EVALUAR LA MIGRACIÓN DE RED DE COBRE A FIBRA CON EL ESTÁNDAR 10G-EPON DE LOS USUARIOS DE CNT EP DE LA PARROQUIA DE CAJABAMBA CANTÓN COLTA**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autora de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 24 de octubre de 2024.



---

**Mayra Yadira Machado Parra**  
C.I: 0604365700

## **DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR**

En la Ciudad de Riobamba, a los 24 días del mes de Octubre de 2024, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **MAYRA YADIRA MACHADO PARRA** con CC: **0604365700**, de la carrera **TELECOMUNICACIONES** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado "**DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA (FTTH) PARA EVALUAR LA MIGRACIÓN DE RED DE COBRE A FIBRA CON EL ESTÁNDAR 10G-EPON DE LOS USUARIOS DE CNT EP DE LA PARROQUIA DE CAJABAMBA CANTÓN COLTA.**", por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



---

Mgs. Marco Antonio Nalivos Vimos  
**TUTOR(A)**

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

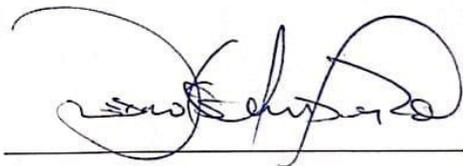
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA (FTTH) PARA EVALUAR LA MIGRACIÓN DE RED DE COBRE A FIBRA CON EL ESTÁNDAR 10G-EPON DE LOS USUARIOS DE CNT EP DE LA PARROQUIA DE CAJABAMBA CANTÓN COLTA”**, presentado por **MAYRA YADIRA MACHADO PARRA**, con cédula de identidad número **060436570-0**, bajo la tutoría de Mgs. Marco Antonio Nolivos Vimos; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 06 de diciembre de 2024.

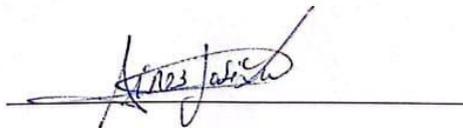
Dr. Antonio Meneses  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



PhD. Fernando Escudero  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Mgs. José Jinez  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



# CERTIFICADO ANTIPLAGIO

# CERTIFICACIÓN

Que, **MACHADO PARRA MAYRA YADIRA** con CC: **0604365700**, estudiante de la Carrera de **Telecomunicaciones**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA (FTTH) PARA EVALUAR LA MIGRACIÓN DE RED DE COBRE A FIBRA CON EL ESTÁNDAR 10G-EPON DE LOS USUARIOS DE CNT EP DE LA PARROQUIA DE CAJABAMBA CANTON COLTA**", cumple con el 10%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 26 de noviembre de 2024



Firmado digitalmente por:  
MARCO ANTONIO  
NOLIVOS VIMOS

---

Mgs. Marco Nólivos  
TUTOR

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por guiar e iluminar mi camino, por brindarme sabiduría, salud y perseverancia para poder cumplir un objetivo más en mi vida.*

*A mis padres, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas las cuales me han proporcionado las herramientas necesarias para enfrentar los obstáculos que se me han presentado.*

*A mis hermanas, por su compañía, consejos y confianza en todo momento, sin ustedes este camino habría sido mucho más solitario.*

*A mi amiga, por su amistad sincera y brindarme su compañía en los momentos más difíciles y felices durante esta etapa.*

*A cada uno de los docentes, por su dedicación y compromiso ha sido un faro en mi camino y este trabajo es el reflejo de todo lo aprendido.*

*Mayra Yadira*

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis queridos padres, Alcides y Rosa, gracias por su amor y apoyo incondicional. Gracias por sus enseñanzas que han sido esencial para mi crecimiento personal y académico.*

*A mis hermanas, Melva y Silvia, por su compañía, cariño y creer en mí, por compartir los momentos de alegría y tristeza. Su presencia me ha motivado a seguir adelante.*

*A la señorita, Abigail por su amistad incondicional, por las risas compartidas y por estar presente en los momentos buenos y malos. Su comprensión ha hecho que este proceso sea llevadero.*

*A mi tutor, Ms.C. Marco Nolivos por su orientación y dedicación en cada etapa de este trabajo, su apoyo y consejos han sido importantes para alcanzar este objetivo. Y un agradecimiento especial al Mgs. José Jinez por su asesoramiento durante el proceso académico.*

*Mayra Yadira*

# ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.....	18
1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1 Planteamiento del problema.....	20
1.2 Justificación.....	20
1.3 Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo General.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO II.....	22
2. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Estándar 10G-EPON.....	22
2.2 Formas de transmisión de 10G-EPON.....	22
2.3 Fundamentos de la arquitectura 10G-EPON.....	24
2.4 Estructura Ethernet.....	26
2.5 Alcance de 10G-EPON.....	26
2.6 Número de disyuntores soportados.....	26
2.7 Márgenes de potencia.....	26
2.8 Prototipo de sistemas asimétricos 10G-EPON.....	29

2.9	Requerimientos de servicio para 10G-EPON.....	29
2.10	Características de las tarjetas de línea 10G-EPON. ....	30
2.10.1	Mayor número de Unidad de Red Óptica (ONU).....	30
2.10.2	Soporte para múltiples modos de operación.....	30
2.10.3	Conexión con múltiples tipos de ONU.....	30
2.10.4	Rendimiento de transmisión de larga distancia .....	31
2.11	Migración de sistemas 1G A 10G-EPON .....	31
2.11.1	Fase 1: ONU 10G/1G asimétricas en el sistema, actualización a OLT de doble velocidad de transmisión.....	31
2.11.2	Fase 2: ONU 10G/10G simétricas en el sistema, actualización a OLT de velocidad de recepción dual.....	31
2.11.3	Fase 3: Retirada gradual de equipos 1G de la red .....	32
2.11.4	Elementos de las redes de distribución óptica.....	32
2.11.5	Estándar TIA/EIA-598-C .....	33
2.11.6	Presupuesto Óptico .....	34
2.11.7	Dispersión cromática .....	34
2.11.8	Parámetros de análisis de rendimiento .....	35
2.11.9	Cálculo de Rentabilidad Económica.....	36
2.12	Software OptiSystem.....	37
2.12.1	Componentes OptiSystem .....	37
CAPÍTULO III .....		39
3.	METODOLOGÍA.....	39
4.1	Tipos de investigación.....	39
4.1.1	Investigación aplicada .....	39
4.1.2	Investigación descriptiva .....	39
4.1.3	Investigación de campo .....	39
4.2	Metodología de diseño de la red 10G-EPON.....	40
4.3	Hipótesis.....	40

4.4	Operacionalización de variables.....	40
4.4.1	Variables independientes.....	40
4.4.2	Variables dependientes.....	41
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	41
4.6	Localización.....	42
4.7	Población y muestra.....	43
4.7.1	Población.....	43
4.7.2	Muestra.....	43
4.7.3	Resultado de la encuesta.....	44
4.8	Descripción de la red actual.....	45
4.8.1	Arquitectura de la red actual.....	45
4.8.2	Distribución de la red.....	45
4.9	Requerimientos técnicos para la nueva red con el estándar 10G-EPON.....	46
4.9.1	Dimensionamiento de la red.....	46
4.9.2	Análisis de requerimientos de ancho de banda.....	48
4.9.3	Propiedades del transmisor y receptor para el estándar 10G-EPON.....	49
4.9.4	Elementos activos y pasivos de la red.....	50
4.10	Diseño de la red 10G-EPON.....	56
4.10.1	Diseño de la red feeder.....	59
4.10.2	Diseño de la red de distribución.....	60
4.10.3	Diseño de la red de dispersión.....	67
4.11	Presupuesto de potencia óptica.....	69
4.11.1	Presupuesto de Pérdida Óptica del Usuario Más Lejano.....	70
4.11.2	Presupuesto de Pérdida Óptica del Usuario Más Cercano.....	70
4.12	Viabilidad económica de la red de fibra óptica con tecnología 10G-EPON.....	71
4.12.1	Presupuesto de elementos activos de la red 10G-EPON.....	72
4.12.2	Presupuesto total de la red 10G-EPON.....	73

4.13	Cálculo de rentabilidad económica del proyecto .....	73
4.14	Simulación de la red FTTH mediante OptiSystem .....	75
CAPÍTULO IV .....		78
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	78
5.1	Resultados obtenidos de la simulación en OptiSystem .....	78
5.1.1	Usuario lejano.....	78
5.1.2	Usuario cercano .....	79
5.2	Simulación de la red FTTH en GNS3 .....	80
5.2.1	Resultados de la simulación en GNS3.....	82
5.3	Evaluación para la migración de red de cobre a fibra con el estándar 10G-EPON de los usuarios de CNT EP de la parroquia de Cajabamba cantón Colta. ....	84
5.4	Comprobación de hipótesis .....	85
5.4.1	Variables.....	85
5.4.2	Estudio descriptivo de la variable Descarga (Mbps). ....	86
5.4.3	Estudio descriptivo de la variable Velocidad (Mbps). ....	87
5.4.4	Estudio descriptivo de la variable Latencia (ms).....	89
CAPÍTULO V.....		91
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	91
6.1	CONCLUSIONES .....	91
6.2	RECOMENDACIONES .....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		93
ANEXOS .....		98

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Márgenes de potencia del estándar 10G-EPON. ....	27
<b>Tabla 2</b> Parámetros ópticos clave para la transmisión downstream. ....	27
<b>Tabla 3</b> Parámetros ópticos clave para la transmisión upstream. ....	28
<b>Tabla 4</b> Especificaciones para los canales de subida y bajada de las PMD. ....	29
<b>Tabla 5</b> Especificación del prototipo asimétrico 10G-EPON. ....	29
<b>Tabla 6</b> Elementos de las redes de distribución óptica. ....	33
<b>Tabla 7</b> Código de colores para el cableado de fibra. ....	34
<b>Tabla 8</b> Componentes más importantes utilizados en OPTISYSTEM. ....	37
<b>Tabla 9</b> Variables independientes. ....	41
<b>Tabla 10</b> Variables dependiente. ....	41
<b>Tabla 11</b> Características técnicas del estándar 10G-EPON. ....	46
<b>Tabla 13</b> Ancho de banda de la red FTTH con estándar 10G-EPON. ....	47
<b>Tabla 14</b> Distribución de ancho de banda para G-PON y 10G-EPON. ....	48
<b>Tabla 15</b> Parámetros del transmisor (OLT). ....	49
<b>Tabla 16</b> Parámetros del receptor (OLT). ....	49
<b>Tabla 17</b> Parámetros del transmisor (ONT). ....	49
<b>Tabla 18</b> Parámetros del receptor (ONT). ....	50
<b>Tabla 19</b> Comparativo de características de OLT. ....	52
<b>Tabla 20</b> Comparativo de características de ONT. ....	53
<b>Tabla 21</b> Transceptores. ....	54
<b>Tabla 22</b> Características de la fibra ITU-T G.652. ....	55
<b>Tabla 23</b> Características de la fibra óptica ITU-T G.657. ....	55
<b>Tabla 24</b> Comparativo de Splitters. ....	56
<b>Tabla 25</b> Usuarios y tipos de servicio. ....	57
<b>Tabla 26</b> Demanda de ancho de banda durante los próximos 5 años. ....	58
<b>Tabla 27</b> Características del cable ADSS. ....	60
<b>Tabla 28</b> Red de distribución parroquia de Cajabamba. ....	67
<b>Tabla 29</b> Atenuaciones de la red. ....	69
<b>Tabla 30</b> Costos totales de equipos activos. ....	72
<b>Tabla 31</b> Costos totales de elementos pasivos de la red. ....	72
<b>Tabla 32</b> Presupuesto total de la red. ....	73
<b>Tabla 33</b> Ingresos. ....	74

<b>Tabla 34</b> Egresos.....	74
<b>Tabla 35</b> Rentabilidad de la red FTTH con 10G-EPON.....	74
<b>Tabla 36</b> Asignación de IP.....	81
<b>Tabla 37</b> Comparativa de datos de la simulación .....	84
<b>Tabla 38</b> Variables principales .....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Configuración simétrica y asimétrica de 10G-EPON.....	23
<b>Figura 2</b>	Arquitectura conceptual de una red de acceso basada en 10G-EPON.....	24
<b>Figura 3</b>	Relación entre el modelo de capas IEEE 802.3 y modelo de referencia OSI.....	24
<b>Figura 4</b>	Asignación de longitud de onda.....	25
<b>Figura 5</b>	Diagrama de Ojo.....	35
<b>Figura 6</b>	Interfaz de OptiSystem.....	37
<b>Figura 7</b>	Fases del procedimiento del trabajo de investigación.....	42
<b>Figura 8</b>	Ubicación de la parroquia de Cajabamba, cantón Colta.....	43
<b>Figura 9</b>	Arquitectura de la red actual.....	45
<b>Figura 10</b>	Red de cobre actual de la parroquia de Cajabamba, CNT E.P. Riobamba.....	46
<b>Figura 11</b>	Elementos activos y pasivos de la red.....	50
<b>Figura 12</b>	Trayectoria de la red Feeder en AutoCAD.....	59
<b>Figura 13</b>	Ubicación de la caja Manga Troncal (G1).....	60
<b>Figura 14</b>	Arquitectura de la red Feeder.....	60
<b>Figura 15</b>	Estructura de bloques de la red de distribución.....	61
<b>Figura 16</b>	Topología de la red de Distribución.....	61
<b>Figura 17</b>	Distribución de las cajas tipo Manga C1, C2, C3 en AutoCAD.....	62
<b>Figura 18</b>	Estructura de bloques de red de distribución Zona 1.....	63
<b>Figura 19</b>	Red de distribución Zona 1 desde la manga C1a las NAP(A1-A8).....	63
<b>Figura 20</b>	Topología de red de distribución Zona 1.....	63
<b>Figura 21</b>	Estructura de bloques red de distribución Zona 2.....	64
<b>Figura 22</b>	Red de distribución Zona 2 desde la manga C2 a las NAP(A9-A16).....	64
<b>Figura 23</b>	Topología de la red de distribución Zona 2.....	65
<b>Figura 24</b>	Estructura de bloques de la red de distribución Zona 3.....	65
<b>Figura 25</b>	Red de distribución Zona 3 desde la manga C3 a las NAP(A17-A24).....	66
<b>Figura 26</b>	Topología de la red de distribución Zona 3.....	66
<b>Figura 27</b>	Red de dispersión en AutoCAD.....	67
<b>Figura 28</b>	Red de Dispersión desde la caja NAP hasta usuarios finales (ONT).....	68
<b>Figura 29</b>	Diseño de la red de acceso en abonados.....	68
<b>Figura 30</b>	Red de usuario más lejano.....	70
<b>Figura 31</b>	Red de usuario más cercano.....	71
<b>Figura 32</b>	Simulación de la red FTTH 10G-EPON en OptiSystem.....	75

<b>Figura 33</b> Simulación de la OLT FEEDER en OptiSystem .....	76
<b>Figura 34</b> Simulación de la red de distribución en OptiSystem .....	76
<b>Figura 35</b> Simulación de la ONU en OptiSystem .....	77
<b>Figura 36</b> Potencia recibida en la ONU del usuario lejano a 1.238 km downstream y upstream.....	78
<b>Figura 37</b> BER de la ONU del usuario lejano a 1.238 km downstream.....	79
<b>Figura 38</b> Diagrama de ojo de la ONU del usuario lejano a 1.238 km downstream.....	79
<b>Figura 39</b> Potencia recibida en la ONU del usuario cercano a 0.056 km downstream y upstream.....	79
<b>Figura 40</b> BER de la ONU del usuario cercano a 0.056 km downstream.....	80
<b>Figura 41</b> Diagrama de ojo de la ONU del usuario cercano a 0.056 km downstream .....	80
<b>Figura 42</b> Topología de la red FTTH en GNS3.....	82
<b>Figura 43</b> Configuración del Router OLT-10GEPON .....	82
<b>Figura 44</b> Ping de la PC3 a PC8 .....	83
<b>Figura 45</b> Ping de la PC8 a PC3 .....	83
<b>Figura 48</b> Datos obtenidos de la red de cobre actual.....	84
<b>Figura 49</b> Datos obtenidos de la red de fibra óptica con estándar 10G-EPON .....	85
<b>Figura 50</b> Prueba de normalidad para la variable descarga.....	86
<b>Figura 51</b> Cajas de la variable descarga de cobre y fibra.....	87
<b>Figura 52</b> Prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para la variable descarga.....	87
<b>Figura 53</b> Prueba de normalidad para la variable velocidad .....	88
<b>Figura 54</b> Cajas de la variable velocidad de cobre y fibra .....	88
<b>Figura 55</b> Prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para la variable velocidad .....	88
<b>Figura 56</b> Prueba de normalidad para la variable latencia (ms) .....	89
<b>Figura 57</b> Cajas de la variable latencia de cobre y fibra.....	89
<b>Figura 58</b> Prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para la variable latencia .....	90

## RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en diseñar una red de fibra óptica (FTTH) para evaluar la migración de la infraestructura de red de cobre a fibra, utilizando el estándar 10G-EPON, dirigido a los usuarios de CNT EP en la parroquia de Cajabamba, cantón Colta. Este proceso implica diseñar una red que pueda proporcionar conexiones de alta velocidad y calidad a los usuarios finales. Se investiga las características de 10G-EPON a través de una revisión bibliográfica, y se recopila información sobre la actual situación en la zona mediante una investigación de campo. Se analizan aspectos técnicos, tales como la capacidad de ancho de banda y la calidad de la conexión, para luego, diseñar y simular la red FTTH con el software OPTISYSTEM. Se llevaron a cabo evaluaciones de los parámetros como el Factor Q, el BER y la atenuación. Este análisis demuestra la adopción de sistemas basados en 10G-EPON es factible y puede ser implementada por parte del Proveedor de Servicios de Internet (ISP). Los resultados de este estudio permiten la planificación estratégica y la toma de decisiones en la modernización de la infraestructura de comunicaciones, no solo para CNT EP, sino también para otras organizaciones y proveedores de servicios de telecomunicaciones que enfrentan desafíos similares.

**Palabras claves:** Migración, 10G-EPON, Factor Q, BER, Atenuación, Modernización.

## ABSTRACT

This project focuses on designing a fiber optic network (FTTH) to evaluate the migration from copper to fiber network infrastructure, using the 10G-EPON standard, targeting CNT EP users in the Cajabamba parish, Colta canton. This process involves designing a network that can provide high-speed and high-quality connections to end users. The characteristics of 10G-EPON are investigated through a literature review, and information on the current situation in the area is gathered through field research. Technical aspects, such as bandwidth capacity and connection quality, are analyzed, and the FTTH network is then designed and simulated using OPTISYSTEM software. Evaluations of parameters such as the Q factor, BER, and attenuation were carried out. This analysis demonstrates that the adoption of 10G-EPON-based systems is feasible and can be implemented by the Internet Service Provider (ISP). The results of this study enable strategic planning and decision-making in the modernization of communication infrastructure, not only for CNT EP, but also for other organizations and telecommunications service providers facing similar challenges.

**Keywords:** Migration, 10G-EPON, Q Factor, BER, Attenuation, Modernization.



Reviewed by:  
MsC. Edison Damian Escudero  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C.0601890593

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El mundo de las Telecomunicaciones es realmente apasionante, está en permanente cambio y tiene una rápida evolución y crecimiento, afecta a casi todas las actividades cotidianas, tanto en el trabajo como en los ratos de ocio [1]. Las telecomunicaciones han ido evolucionando debido al gran impacto en el entorno de las redes, por tal motivo se observa la necesidad de intercambiar información utilizando grandes anchos de banda, y así obtener acceso a internet con alta velocidad. La comunicación por fibra óptica maneja una técnica de transmisión basada en luz invisible como transportadora de la información. Este proceso puede analizarse a lo largo de su recorrido mediante dos enfoques: los campos electromagnéticos, utilizando las ecuaciones de Maxwell, y la óptica geométrica o radial [2].

Después de establecer los estándares para las Redes Ópticas Pasivas (PON) que funcionan a 1 Gbit/s basadas en las recomendaciones de la ITU-T G.984.x, se realizaron esfuerzos para desarrollar estándares para las PON con una capacidad de 10Gbit/s, los cuales se completaron en octubre de 2009 y la norma fue publicada por la ITU-T en marzo de 2010. La serie ITU-T G.987.x aborda los requisitos generales de 10 Gigabit redes ópticas pasivas de una manera que promueva la retrocompatibilidad con las ODN (Red de Distribución Óptica) existente que cumple con los sistemas Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON). Además, el estándar 10G-EPON (Red Óptica Pasiva correspondiente a la transmisión Estándar de Ethernet de 10 Gbit/s) utiliza multiplexación por división de longitud de onda (WDM) definida en ITU-T G.984.x serie y proporciona una migración perfecta de Gigabit PON a 10G-EPON [3].

La fibra hasta el hogar (FTTH) que utiliza 10G-EPON para aplicaciones de acceso de banda ancha puede considerarse una solución eficaz para redes de mayor velocidad de datos, ya que la fibra óptica en las telecomunicaciones tiene una gran capacidad, un tamaño pequeño, un peso ligero y un ancho de banda muy alto e inmunidad a interferencias electromagnéticas, etc. 10G EPON es una combinación de elementos de red en una red de acceso óptico basada en ODN (Red de distribución óptica) que incluye una terminación de línea óptica (OLT) y múltiples unidades de red óptica (ONU) e implementa un conjunto coordinado particular de capa dependiente del medio físico, transmisión capa de convergencia y protocolos de gestión [4].

En una Empresa de Telecomunicaciones los procesos de transmisión de la información demandan una gran cantidad de recursos para satisfacer las necesidades que requieren los usuarios, es por tal razón que se necesita adoptar una nueva tecnología como es la 10G-EPON infraestructura que gracias a sus características propias establece fiabilidad, escalabilidad, disponibilidad y la adquisición de nuevos clientes, permitiendo soportar las futuras demandas en servicios como en aplicaciones [5].

Basándose en las pautas definidas por las especificaciones ITU-T G.987.x y considerando la situación actual del Proveedor de Servicios de Internet (ISP), se procede a diseñar la red. Esto se logra mediante el empleo del software OptiSystem, con el objetivo de obtener los resultados de las simulaciones y evaluar parámetros técnicos como el Factor Q y la Tasa de Error de Bit (BER). Posteriormente, se realiza una evaluación de los costos asociados al proyecto.

La propuesta se desarrolla en cinco capítulos: El **Capítulo I**, ofrece una introductoria al proyecto, el **Capítulo II** aborda el marco teórico, donde se detalla los aspectos fundamentales de la tecnología 10G-EPON, el **Capítulo III**, describe el marco metodológico y los procedimientos utilizados para llevar a cabo el proyecto, el **Capítulo IV**, presenta los resultados mediante tablas y figuras, que posteriormente se interpretan y analizan para la obtención de los resultados y finalmente, el **Capítulo V** presenta las conclusiones junto con las recomendaciones.

## **1.1 Planteamiento del problema**

El Sector de las Telecomunicaciones ha crecido en el país durante los últimos años. Se tienen como pilares fundamentales a la infraestructura, al acceso a las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) y al desarrollo de una industria que permita la reducción de la brecha digital [6].

En la parroquia de Cajabamba, cantón Colta, los usuarios de CNT EP dependen actualmente de las redes de cobre antiguas y obsoletas para sus servicios de comunicación. No obstante, esta infraestructura presenta limitaciones en términos de capacidad y calidad de servicio, ya que no soporta altas tasas de transmisión para satisfacer las necesidades de los usuarios en términos de velocidad y ancho de banda.

La implementación de redes de fibra óptica, permiten la reducción del analfabetismo digital, inclusión a las TIC, al desarrollo y universalidad de los servicios de Telecomunicaciones. Por tal motivo se ve la necesidad de implementar redes FTTH con el fin de aceptar las nuevas tecnologías que se adapten a servicios de nueva generación con Quality of Service (QoS) [6].

## **1.2 Justificación**

Este proyecto es importante porque permitirá ofrecer servicios de internet de alta calidad, mejorar la conectividad y la comunicación en la parroquia de Cajabamba, impulsar el desarrollo económico y social, y mantener a la empresa proveedora competitiva en un mercado en constante evolución tecnológica. La viabilidad del proyecto dependerá de algunos aspectos que deben considerarse como la demanda y crecimiento del mercado, disponibilidad de recursos, infraestructura, análisis de costos entre otros, al realizar un análisis de estos factores se desarrollará un plan sólido y estratégico para en un futuro poder implementarlo, dando como resultado un efecto positivo en el desarrollo económico, social y tecnológico, beneficiando a los residentes, empresas e instituciones de la parroquia.

Con lo mencionado anteriormente, se observa que en la parroquia Cajabamba del cantón Colta dispone de una red de cobre antigua y casi en desuso, por tal motivo surge la necesidad de mejorar la infraestructura de comunicaciones. El diseño de una red de fibra óptica (FTTH) con el estándar 10G-EPON se plantea como una solución para superar estas limitaciones y proporcionar una conectividad más rápida y confiable. El estándar 10G-EPON ofrece una tecnología avanzada que puede satisfacer las demandas actuales y futuras de los usuarios de CNT EP. Al dimensionar la capacidad de tráfico, se garantiza que la red sea capaz de manejar el volumen de datos y servicios requeridos, asegurando así una experiencia de usuario óptima.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una red de fibra óptica (FTTH) para evaluar la migración de red de cobre a fibra con el estándar 10G-EPON de los usuarios de CNT EP de la parroquia de Cajabamba cantón Colta.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Analizar la infraestructura actual de la red de cobre identificando el nivel de utilidad.
- Diseñar la red FTTH con estándar 10G-EPON según el dimensionamiento de los usuarios en cobre (red de cobre) más la demanda de nuevos usuarios en la parroquia.
- Determinar la viabilidad de la implementación del nuevo proyecto mediante un análisis económico-financiero.
- Evaluar el rendimiento de la red diseñada mediante simulaciones con el software OptiSystem.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Estándar 10G-EPON

El estándar 10G-EPON (10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network) es una versión avanzada de EPON que permite una capacidad de transmisión de hasta 10 Gbps simétricos en ambos enlaces, es decir, tanto en el enlace descendente desde la Terminación de Línea Óptica (OLT) a la Terminal de Red Óptica (ONT) como en el enlace ascendente (ONT a OLT) [4].

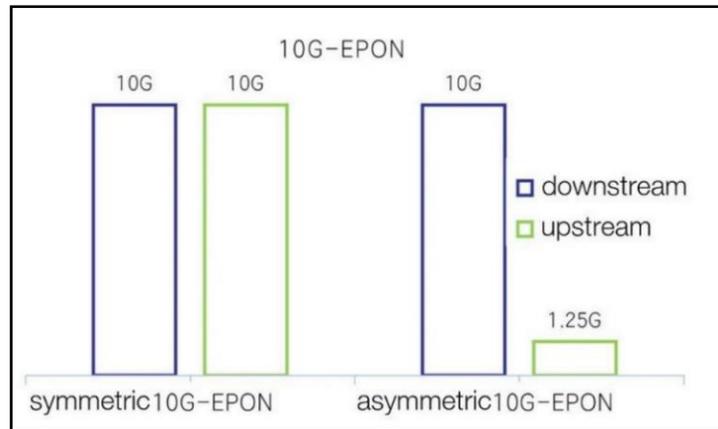
La velocidad de datos simétrica efectiva de 1 Gbit/s admitida por IEEE 802.3-2005 sistemas EPON compatibles se ha considerado suficiente durante un período de tiempo relativamente corto. Sin embargo, la creciente demanda de ancho de banda bruto y alta capacidad, resultó en el desarrollo del 10G-EPON [7]. El estándar 802.3av PON [8] fue desarrollado para aumentar la velocidad de datos de los sistemas EPON de 1 Gbit/s a 10 Gbit/s y ser compatible con la interfaz Ethernet de 10 Gbit/s. Existen múltiples protocolos tanto para 10G-EPON como para EPON. Como complemento a la familia Ethernet de IEEE 802.3, las capas de EPON y 10G-EPON es muy similar a la de Ethernet punto a punto (P2P). La capa física está conectada a la capa de enlace de datos mediante la interfaz Media Independent (MII) o la interfaz Gigabit Media-Independent (GMII) [7].

Ofrece un salto de diez veces en ancho de banda a 10 gigabits por segundo en la red de acceso de banda ancha a través de fibra, al tiempo que proporciona compatibilidad de protocolo central con soluciones actuales 1G EPON [4].

#### 2.2 Formas de transmisión de 10G-EPON

La tecnología 10G-EPON encuentra estandarizada en IEEE 802.3av y apareció para aumentar la velocidad de transmisión de EPON. EPON y 10G EPON comparten varios protocolos, además utilizan Multiplexión por División de Longitud de Onda Gruesa (CWDM) y Multiplexión por División de Tiempo (TDM) como técnicas de multiplexación para poder coexistir en la misma infraestructura de red óptica pasiva. 10G EPON define dos formas de transmisión, como se ve en la **Figura 1**.

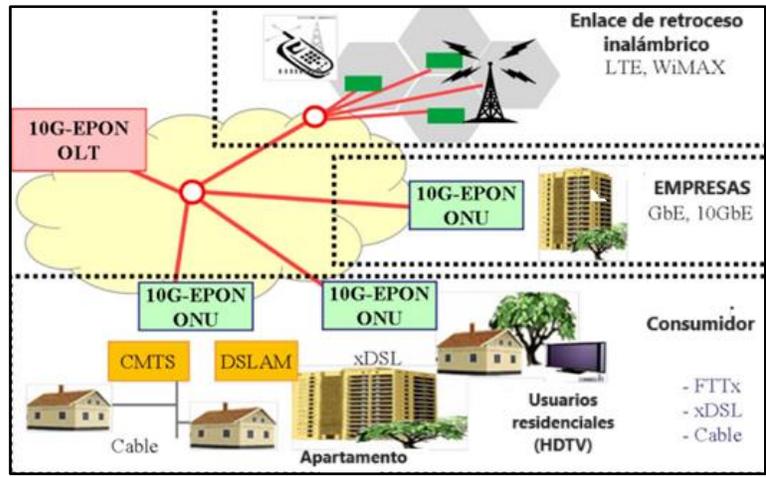
- **Simétrica**, a una velocidad de 10 Gbps para canal ascendente y descendente
- **Asimétrica**, con velocidades de 1 Gbps para el canal ascendente y 10 Gbps para el canal ‘downstream’ [9].



**Figura 1** Configuración simétrica y asimétrica de 10G-EPON.  
**Fuente:** [10]

La **Figura 2** ilustra la arquitectura conceptual de una red de acceso basada en 10G-EPON, que ofrece líneas de acceso para diversos servicios con anchos de banda simétricos de 10 Gbit/s. El 10G-EPON OLT (Optical Line Terminal) funciona como un terminal de consolidación para múltiples servicios y las ONU (Optical Network Unit) proporcionan interfaces de acceso para cada servicio. El 10G-EPON incluye usuarios residenciales de FTTH, unidades multifamiliares, líneas arrendadas de alta velocidad para servicios empresariales y puntos de acceso para servicios inalámbricos. La arquitectura PON se considera adecuada para proporcionar un backhaul inalámbrico de sistemas móviles, como la evolución a largo plazo, IEEE 802.11 Wi-Fi e IEEE 802.16 WiMAX, porque puede incorporar muchos puntos de acceso de manera eficiente de la misma manera que los usuarios residenciales de FTTH [11].

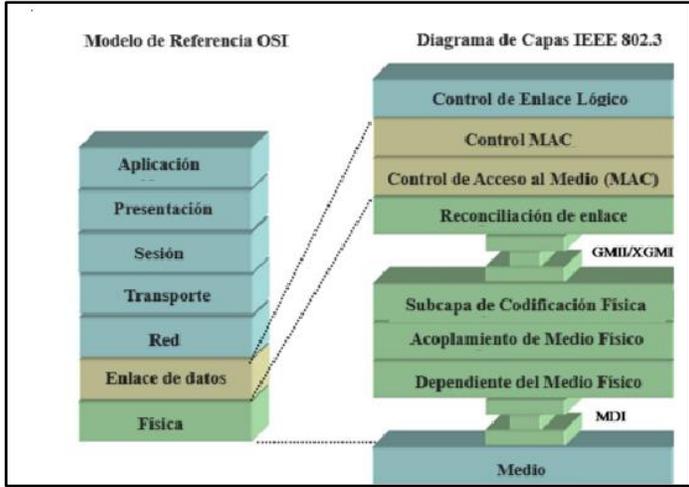
En la **Figura 2** en la parte inferior se observa el Sistema de Terminación de Módem por cable (CMTS) y los Multiplexores de Línea de Acceso de Abonado Digital (DSLAM) [12], los cuales no son utilizados en la arquitectura 10G-EPON, sin embargo, estarían siendo progresivamente reemplazados con la nueva estructura EPON, cabe recalcar que los principales componentes de la arquitectura 10G-EPON es la OLT la cual es el equivalente en una red G-EPON al CMTS en una red de acceso por cable y el ONU que son equivalentes a los módems de cable en una red de acceso por cable.



**Figura 2** Arquitectura conceptual de una red de acceso basada en 10G-EPON.

**Fuente:** [11]

El alcance del trabajo de IEEE 802.3 se limita a dos capas inferiores del modelo de referencia de interconexión de sistemas abiertos (OSI) ISO/IEC: capas física y de enlace de datos. Las relaciones entre los elementos IEEE 802.3 y el modelo de referencia ISO/IEC OSI se muestran en la **Figura 3** [11].



**Figura 3** Relación entre el modelo de capas IEEE 802.3 y modelo de referencia OSI.

**Fuente:** [11]

Además, en 10G-EPON, el OLT está equipado con receptores de doble velocidad para ONU 1G o 10G para que sean compatibles con el 1G-EPON existente y ampliamente implementado. Además, los canales de transmisión de enlace descendente están divididos para enviar datos e información de control a la ONU de 1G y 10G [7].

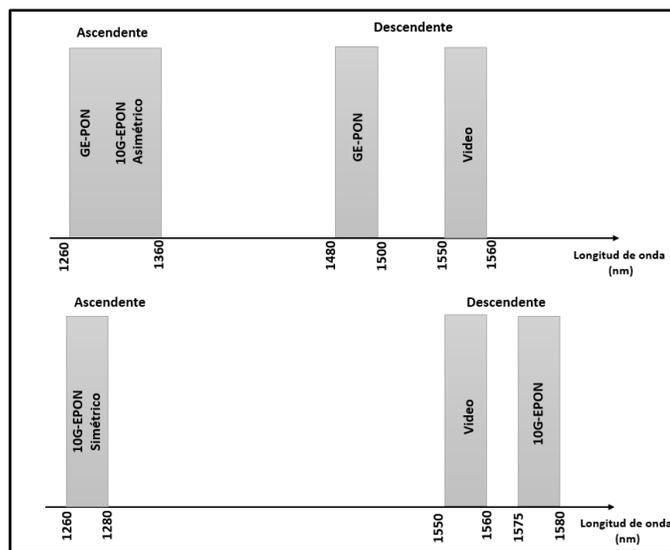
**2.3 Fundamentos de la arquitectura 10G-EPON**

En un nivel alto, cualquier PON basado en acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), como 1G-EPON, 10G-EPON o GPON, comparte de forma dinámica un único canal de

transmisión entre varias ONU (Unidad de red Óptica). En sentido ascendente, varias ONU se turnan para transmitir en sus intervalos de tiempo preasignados. La transmisión ascendente se produce en modo ráfaga, ya que las ONU solo deben habilitar sus láseres para transmitir una ráfaga de datos y deshabilitarlos, inmediatamente después de eso. En la transmisión descendente, la señal de un solo transmisor en el terminal de línea óptica (OLT) se divide pasivamente para llegar a cada ONU. El transmisor OLT funciona en modo continuo [13].

Para transmisiones en sentido ‘downstream’ se separan en el dominio de la frecuencia los canales para 1Gbps y 10 Gbps. Asignándose las longitudes de onda de 1480-1599 nm para 1 Gbps y de 1575-1580 nm para 10 Gbps. En sentido ‘upstream’ se sobreponen las bandas de 1Gbps y 10 Gbps, esto les permite compartir un espacio del espectro con baja dispersión cromática, pero será necesario que se separen en el dominio del tiempo. La banda para 1 Gbps se propaga en el intervalo de 1260-1360 nm, mientras que la banda para 10 Gbps lo hará entre 1260 y 1280 nm [9].

La **Figura 4** muestra la asignación de longitud de onda de 10G-EPON y G-EPON, la multiplexación por división de longitud de onda (WDM), el método se aplicó en dirección descendente para 10G-EPON descendente, se asignaron 1577 nm. Por otro lado, se adoptó el método del mecanismo de división del tiempo (TDM) en dirección ascendente. En el caso de sistemas 10G-EPON asimétricos, la velocidad de transmisión tanto de 10G-EPON ONU como de GE-PON ONU es de 1 Gb/s en la dirección y las ráfagas ascendentes son de velocidad única y multiplexadas mediante el método TDM [14].



**Figura 4** Asignación de longitud de onda.

**Fuente:** [14]

## **2.4 Estructura Ethernet**

10G-EPON es un sucesor de EPON y amplía la operación de EPON a velocidades de datos diez veces superiores a 10 Gbit/s. El 10G-EPON admite velocidades de datos simétricas de 10 Gbit/s downstream y upstream y asimétricas de 10 Gbit/s downstream y 1 Gbit/s upstream [11].

Al ser parte de la familia de estándares IEEE 802.3, todos los sistemas EPON utilizan tramas Ethernet; por lo tanto, suscriptor los datos intercambiados entre las ONU y la OLT están sujetos a la sobrecarga de tramas de Ethernet [13].

La encapsulación Ethernet de los datos del suscriptor (carga útil) es el resultado de agregar un preámbulo de 7 u 8 bytes, seguido de un encabezado Ethernet de 14 bytes, incluidas las direcciones de origen y destino, así como el tipo/tamaño de la trama, y un encabezado Ethernet de 4 bytes. Secuencia de comprobación de fotogramas. Además, las tramas de Ethernet deben tener al menos un espacio mínimo entre paquetes. Claramente, el valor de la sobrecarga de tramas de Ethernet depende de la distribución específica de los tamaños de los paquetes [13]. Los datos que llegan de un cliente al puerto de usuario de una ONU incluyen esta sobrecarga, así como los datos que atraviesan interconexiones punto a punto (P2P) basadas en Ethernet en oficinas centrales o centros de datos.

## **2.5 Alcance de 10G-EPON**

Los estándares basados en Ethernet soportan solamente dos tipos de redes de distribución óptica (ODN): tipo A (5dB hasta 20dB de pérdidas) y tipo B (10dB hasta 25dB de pérdidas), cubriendo distancias de hasta 20 Km, mientras que el estándar GPON por soportar también ODN tipo C (15dB hasta 30dB de pérdidas), puede extenderse hasta los 37 Km como máximo. Sin embargo, las tecnologías mejoradas NG-PON1 y NG-PON2, pueden llegar hasta los 40 Km, e incluso está última puede alcanzar los 60 Km, con un dispositivo para la extensión del alcance [15]. La distancia máxima que puede alcanzar 10G-EPON es de aproximadamente 20 km, sin embargo, la distancia tanto mínima como máxima puede variar dependiendo de los factores como el tipo de fibra óptica, factores ambientales.

## **2.6 Número de disyuntores soportados**

Al soportar las redes EPON ODN Tipo A y B, se puede ofrecer servicio hasta 16 usuarios, sin embargo, en redes GEPON al soportar los mismo tipos de ODN, se puede soportar hasta 32 o 64 usuarios, aunque la versión mejorada 10G-EPON puede soportar hasta 256 ONTs. En lo referente a las tecnologías basadas en ATM, GPON al soportar ODN tipo C puede brindar servicio a 32, 64 y 128 usuarios, y sus versiones mejoradas hasta soportan hasta 256 usuarios [15].

## **2.7 Márgenes de potencia**

La 802.3 av. define varios márgenes de potencia para sus interfaces ópticos, denominados PR y

PRX. PRX se utiliza con sistemas asimétricos a 10 Gb/s en sentido descendente y 1 Gb/s en sentido ascendente y PR para sistemas simétricos describe para PON a 10Gb/s en sentido descendente y en sentido ascendente. La **Tabla 1** muestra la Información de los márgenes de potencia del estándar 10G-EPON, cada margen está asociado a un valor numérico, donde el valor de 10 representa el margen bajo, el valor 20 representa el margen medio y el valor de 30 representa margen alto. Este estándar permite conectar 16 ONTs con una distancia de 20Km, con un margen óptico de unos 28-29dB utilizando un sistema de corrección de errores FEC RS (255, 223). 10G EPON estandariza actualmente tres tipos de márgenes de potencia: PR10/PRX10, PR20/PRX20 y PR30/PRX30 [16].

**Tabla 1** Márgenes de potencia del estándar 10G-EPON.

Márgenes de Potencia	Margen de potencia bajo		Margen de potencia medio		Margen de potencia alto	
	PRX10	PR10	PRX20	PR20	PRX30	PR30
<b>Pérdidas de inserción máximas</b>	20dB		24dB		29dB	
<b>Pérdidas de inserción mínimas</b>	5dB		10dB		15dB	

**Fuente:** [17]

Las **Tabla 2** y **Tabla 3** presentan las características clave de los transceptores ópticos para PR10, PR20 y PR30 en las direcciones descendente y ascendente, respectivamente. Los parámetros enumerados se basan en la condición de que se requiera una tasa de error de bits (BER) de  $10^{-3}$  antes de la decodificación FEC. Cabe señalar también que el balance de potencia que indica la diferencia entre la potencia de salida y la sensibilidad del receptor incluye la pérdida de inserción de canal de ODN y las penalizaciones inducidas expresadas como penalización del transmisor y de dispersión [11].

**Tabla 2** Parámetros ópticos clave para la transmisión downstream.

Parámetros	PR10	PR20	PR30
Tipo de transmisor supuesto	EML	EML+Amplifier	EML
Potencia de lanzamiento (máx.) [dBm]	+5	+9	+5
Potencia de lanzamiento(min.) [dBm]	+2	+5	+2
Relación de extinción (min)[dB]	9	9	9
Penalidad de transmisor y dispersión (máx.) [dB]	2.5	1.5	1.5
Tipo de receptor supuesto	PIN-PD	PIN-PD	APD
Tasa de error de bit (max)	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$
Umbral de daño (máx.) [dBm]	1	1	-9
Sensibilidad del receptor (máx.) [dBm]	-20.5	-20.5	-28.5

Presupuesto de potencia [dBm]	22.5	22.5	30.5
Pérdida de inserción de canal(dBm)	5~20	10~24	15~29
Distancia	10	20	20

**Fuente:** [11]

**Tabla 3** Parámetros ópticos clave para la transmisión upstream.

Parámetros	PR10	PR20	PR30
Tipo de transmisor supuesto	DML	DML	DML
Potencia de lanzamiento (máx.) [dBm]	+4	+4	+9
Potencia de lanzamiento(min.) [dBm]	-1	-1	+4
Relación de extinción (min)[dB]	6	6	6
Penalidad de transmisor y dispersión (máx.) [dB]	3	3	3
Tipo de receptor supuesto	APD	APD	APD
Tasa de error de bit (max)	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$
Umbral de daño (máx.) [dBm]	0	-5	-5
Sensibilidad del receptor (máx.) [dBm]	-24	-28	-28
Presupuesto de potencia [dBm]	23	27	32
Pérdida de inserción de canal(dBm)	5~20	10~24	15~29
Distancia	10	20	20

**Fuente:** [11]

Para lograr una pérdida de inserción de canal de 29 dB, se establecieron dos clases de PMD; PRX30 para 10G-EPON asimétrico y PR30 para 10G-EPON simétrico [14].

La IEEE Std 802.3bk-2013 también define especificaciones y parámetros para los interfaces ópticos PR40/PRX40, estos están diseñados para ser robustos y confiables capaces de soportar condiciones ambientales adversas, tiene un bajo nivel de pérdida, estos interfaces ópticos soportan distancias de transmisión 20km y un radio de división de al menos 1:64 para admitir un gran número de usuarios finales. Ambas encajan para las condiciones de la red 10G-EPON.

En la **Tabla 4** se observa las especificaciones para los canales upstream y downstream de PR40/PRX40, ambas transmisiones tanto para la red simétrica como para la asimétrica se maneja sobre la misma fibra usando WDM, teniendo en cuenta las especificaciones de PRX40 se puede decir que es la indicada para una red 10G-EPON.

**Tabla 4** Especificaciones para los canales de subida y bajada de las PMD.

Descripción	PRX40 (Upstream)	PRX40 (Downstream)	PR40 (Upstream)	PR40 (Downstream)
Tipo de fibra	IEC 60793-2 B1.1, B1.3 SMF ITU-T G.652, 657 SMF			
Número de fibras	1			
Tasa de línea nominal	1.25 Gbps	10.3125 Gbps	10.3125 Gbps	10.3125 Gbps
Longitud de onda de transmisión nominal	1310 nm	1550 nm	1270 nm	1550 nm
Compatibilidad con GEAPON	Si	Si	Si	Si
Radio de división mínimo	1:64	1:64	1:64	1:64
Distancia nominal entre OLT y ONT	20 km			
Rango de atenuación	18-33 dB			

Fuente: [18]

## 2.8 Prototipo de sistemas asimétricos 10G-EPON

En la

**Tabla 5** muestra las especificaciones necesarias de la OLT y ONU de prototipos asimétricos 10G-EPON, estos prototipos asimétricos de 10G-EPON están diseñados para proporcionar velocidades de transmisión de datos asimétricas, es decir, velocidades diferentes en la dirección de subida y bajada.

**Tabla 5** Especificación del prototipo asimétrico 10G-EPON.

	OLT	ONU
Interfaz PON	PRX30	PRX30
Interfaz SIN	10G-BASE-LR, 1000BASE-T	1000BASE-T
Puerto de control	RS232C	RX232C
Potencia	AC100V 50/60Hz	AC100V 50/60Hz
Consumo de energía	60W	45W

## 2.9 Requerimientos de servicio para 10G-EPON

10G-EPON proporciona diversos servicios de banda ancha de alta velocidad como: transmisión de video en alta definición, telefonía IP, conectividad empresarial, servicios en la nube y

almacenamiento, aplicaciones sensibles a la latencia, monitoreo y videovigilancia. Los servicios ofertados por las redes EPON, G-EPON, y 10G-EPON están basados en el tráfico nativo de red Ethernet, mientras que las redes GPON, NG-PON1, y NG-PON2 ofrecen un amplio soporte de servicios, incluyendo voz, Ethernet, ATM, Frame Relay, entre otros, mediante el uso de un método de encapsulación de GPON, llamado GEM [15].

## **2.10 Características de las tarjetas de línea 10G-EPON.**

En la línea de productos FSU7100, hay una tarjeta 1G-EPON y una tarjeta 10G-EPON. Se pueden instalar hasta 16 tarjetas de línea en un FSU7100. Cada tarjeta de línea 1G tiene 10 puertos, mientras que cada tarjeta de línea 10G tiene 8 puertos. Tanto las tarjetas de línea 1G como las 10G permiten a los operadores reemplazar transceptores ópticos defectuosos sin interrumpir el servicio en otros puertos normales. Esta sección describe las características de las tarjetas de línea 10G-EPON [19].

### **2.10.1 Mayor número de Unidad de Red Óptica (ONU)**

Cada tarjeta de línea 10G admite 128 unidades de red óptica (ONU; unidades PON domésticas) por puerto, lo que representa una mejora con respecto a las tarjetas de línea 1G, cada una de las cuales está conectada a 64 ONU [19].

### **2.10.2 Soporte para múltiples modos de operación**

Las tarjetas de línea 10G-EPON admiten el modo EPON en el que la tarjeta utiliza directamente el monitoreo/control de las funciones del equipo EPON junto con el modo DPoE que configura el equipo EPON como si fuera un sistema de terminación de cable módem. (CMTS) o módem por cable (CM). El modo DPoE (combina dos tecnologías de acceso comprobadas en el campo y altamente exitosas: la red óptica pasiva Ethernet (EPON, por sus siglas en inglés) y DOCSIS) [20], es eficaz para reducir el coste de instalación para los operadores de CATV. Por el contrario, el modo EPON destinado a usuarios distintos de los operadores de CATV es ventajoso porque garantiza una conexión ONU rápida, porque la configuración del servicio se guarda en el terminal de línea óptica (OLT; unidad de estación PON) [19].

### **2.10.3 Conexión con múltiples tipos de ONU**

Las tarjetas de línea 10G-EPON admiten tres tipos de ONU: 1G-ONU (especificadas por el estándar 1G-EPON), ONU simétricas de 10G y ONU asimétricas de 10G (estas dos últimas especificadas por el estándar 10G-EPON); Se permite la coexistencia de estas ONU en el mismo puerto PON. En consecuencia, cuando un usuario desea reemplazar un sistema 1G-EPON existente por un sistema 10G-EPON, todo lo que es necesario es cambiar la unidad de estación. Además, la sustitución de 1G-ONU por 10G-ONU permite comunicaciones de alta velocidad de 10 Gbit/s [19]

## **2.10.4 Rendimiento de transmisión de larga distancia**

## **2.11 Migración de sistemas 1G A 10G-EPON**

Insertar un repetidor 10G entre una tarjeta de línea 10G y una ONU 10G-EPON permite la transmisión de larga distancia. El impacto del repetidor en el rendimiento de la tarjeta de línea 10G se describe en términos de rendimiento y latencia [19].

### **2.11.1 Fase 1: ONU 10G/1G asimétricas en el sistema, actualización a OLT de doble velocidad de transmisión.**

La introducción gradual de 10Gbit/s EPONs en las implementaciones de EPON existentes se espera, inicialmente, enfocarse en clientes empresariales y luego en suscriptores residenciales. Esto dependerá de la reducción de costos en la fabricación, similar a la observada en equipos heredados compatibles con IEEE 802.3ah. Sin embargo, la adopción rápida de EPON 10G/10G simétricas, el objetivo final, no será inmediata. Es más factible lograr la velocidad de 10 Gbit/s en la dirección descendente primero. Esto se facilita utilizando transmisores de mayor calidad centrados alrededor de la ventana de 1550 nm. Las etapas iniciales probablemente incluirán canales de bajada con velocidad dual y canales de subida con velocidad única, resultando en una solución asimétrica [21].

El presupuesto de energía de las EPON de 10 Gbit/s requerirá niveles de potencia más altos en la fibra del lado OLT debido a la sensibilidad limitada del receptor en modo ráfaga en las ONU. Esto puede requerir láseres modulados externamente más grandes y refrigerados, o módulos de postamplificación. La ubicación exacta del amplificador óptico es actualmente irrelevante, ya que los fabricantes pueden integrar el EML con un SOA en un solo dispositivo [21].

Aunque la evolución hacia sistemas EPON de 10 Gbit/s totalmente simétricos es técnicamente factible utilizando la tecnología 10GE existente, aún existen obstáculos técnicos para migrar exitosamente los sistemas heredados de 1 Gbit/s. La operación de dos pilas MAC independientes para el canal descendente y una sola para el canal ascendente es necesaria, lo que requerirá nuevos conjuntos de chips EPON. Esta fase de evolución se espera que sea transitoria y afecte a un número limitado de clientes debido a los costos de actualización [21].

### **2.11.2 Fase 2: ONU 10G/10G simétricas en el sistema, actualización a OLT de velocidad de recepción dual**

En la segunda fase de evolución del proceso de transición de sistemas heredados de 1 Gbit/s hacia EPON totalmente simétricos de 10 Gbit/s, el canal ascendente recibe la actualización de la velocidad de datos para una cantidad de suscriptores seleccionados. Nuevamente, dado que los costos del equipo serán más altos (al menos para las implementaciones iniciales) en comparación con el equipo compatible con IEEE 802.3ah, lo más probable es que solo se incluyan en este programa clientes premium. Junto con el progreso en la tecnología de transmisión, estarán disponibles láseres de 10 Gbit/s modulados directamente y muy

probablemente no refrigerados con parámetros que cumplan con los requisitos de la transmisión ascendente en la ventana de 1310 nm. Esto debería permitir a los fabricantes de hardware EPON introducir un módulo ONU rentable de 10 Gbit/s, capaz de ofrecer transmisiones de velocidad de datos simétricas, 10 veces más rápidas que los equipos heredados actuales. También es posible que esta fase particular se inicie más rápido, implementando fuentes EML más costosas y aumentando así la posibilidad de alcanzar la masa crítica requerida para una adopción amplia [21].

Los obstáculos técnicos en la segunda etapa de evolución incluyen el funcionamiento continuo en el entorno de doble tarifa, que especialmente en la dirección upstream requiere equipos de última generación. La velocidad de datos desconocida de la ráfaga que llega, junto con la necesidad de ajustar la ganancia a través del módulo AGC, impone importantes desafíos en términos de interfaces electrónicas y ópticas, que por el momento no son capaces de manejar velocidades de datos tan diferentes. Los estudios teóricos iniciales realizados por Dual-Rate ad hoc formado por IEEE 802.3av TF indican que es posible tener un sistema de este tipo funcionando con una penalización mínima de sensibilidad del receptor para las ONU 1G ya implementadas. Sin embargo, también se indicó que las implementaciones prácticas pueden estar muy lejos, especialmente si la detección de la velocidad de datos se va a realizar completamente en la capa PMD sin obtener información de los agentes DBA y los clientes MAC, que son las únicas entidades en la capa. sistema con la información sobre la velocidad de datos de las futuras ráfagas programadas de ONU individuales [21].

### **2.11.3 Fase 3: Retirada gradual de equipos 1G de la red**

La última etapa de evolución en el camino de transición de 1G a 10G EPON simétricas incluye una eliminación gradual de las ONU 1G simétricas compatibles con IEEE 802.3ah junto con el reemplazo de las ONU 10G/1G asimétricas por dispositivos simétricos, siempre que sus costos de fabricación disminuyan con tiempo, siguiendo la misma trayectoria de reducción de precios que se observó para los equipos 1G EPON. Es muy difícil en este momento predecir si el equipo asimétrico compatible con IEEE 802.3av se eliminará por completo del sistema una vez implementado. Ciertas clases de clientes pueden requerir un ancho de banda descendente mucho mayor que el de subida, por lo tanto, el equipo EPON asimétrico cubriría perfectamente sus necesidades y al mismo tiempo permitiría un menor CAPEX para el SP. Por otro lado, es posible que los SP deseen utilizar solo un tipo de ONU en la red para minimizar los problemas de stock y mantenimiento, así como aprovechar tarjetas OLT más baratas, que no necesitarían la operación de doble velocidad. Los pros y los contras de ambos escenarios son muy difíciles de evaluar en este momento, donde incluso los escenarios asimétricos las 10/1G EPON aún se encuentran en las primeras etapas de desarrollo y estandarización [21].

### **2.11.4 Elementos de las redes de distribución óptica**

En una red 10G-EPON, los elementos de la red de distribución óptica son muy similares a otras

redes de acceso óptico, pero optimizamos para soportar velocidades de 10Gb/s, se puede observar en la **Tabla 6**.

**Tabla 6** Elementos de las redes de distribución óptica.

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
<b>Empalme por fusión</b>	Consiste en la unión dos fibras ópticas mediante una fuente de calor que provoca la fusión de las fibras.
<b>Conectores</b>	Permiten facilitar la conexión y desconexión de fibras ópticas, se encuentran los tipos: LC, SC, FC y ST.
<b>Pigtail</b>	Segmentos de fibras ópticas cortas con un conector en uno de sus extremos y fibra óptica desnuda en el otro. Se utilizan para empalmar la fibra principal del cable y permiten una conexión más rápida y fácil que el empalme directo.
<b>Patch Cords</b>	Cables con conectores en ambos extremos que permiten la conexión entre equipos de comunicaciones y distribuidores de fibra óptica.
<b>Atenuadores Ópticos</b>	Permiten reducir la intensidad de la señal para evitar saturación en los receptores, a fin de ajustar la potencia de la luz en el sistema
<b>Caja de empalme</b>	Es un dispositivo diseñado para resguardar los empalmes de fibra óptica de factores externos como la humedad y la intemperie.
<b>Mangas</b>	Componentes de redes de fibra óptica externa para alojar empalmes de fusión. Permiten empalmes de extremo a extremo, internos y derivaciones.
<b>NAP (Network Access Point)</b>	Se conectan usuarios finales mediante cables de fibra óptica tipo Drop. Pueden instalarse en postes o muros, en interior o exterior de edificios.
<b>Cable Drop Óptico</b>	Utilizado en instalaciones internas o externas, y esencial para la conexión de usuarios finales.

Fuente: [22] [23]

### 2.11.5 Estándar TIA/EIA-598-C

Este estándar proporciona una guía uniforme para la identificación del cableado de fibra óptica, lo que facilita la instalación, mantenimiento y reparación de las redes de fibra óptica, para lo cual debemos continuar con un orden de hasta 24 lugares. Para el cableado de fibra óptica en

una red 10G-EPON sigue generalmente el mismo esquema utilizado en otras redes de fibra óptica, como se observa en la **Tabla 7**.

**Tabla 7** Código de colores para el cableado de fibra.

Posición	Color	Posición	Color
1	Azul	13	Azul con raya negra
2	Naranja	14	Naranja con raya negra
3	Verde	15	Verde con raya negra
4	Marrón	16	Marrón con raya negra
5	Gris	17	Gris con raya negra
6	Blanco	18	Blanco con raya negra
7	Rojo	19	Rojo con raya negra
8	Negro	20	Negro con raya negra
9	Amarillo	21	Amarillo con raya negra
10	Violeta	22	Violeta con raya negra
11	Rosa	23	Rosa con raya negra
12	Turquesa	24	Turquesa con raya negra

Fuente: [24]

### 2.11.6 Presupuesto Óptico

Se puede calcular la atenuación total ( $At$ ) está dada por la sumatoria de las pérdidas existentes en el segmento de una red, como se observa [10].

$$At = Afo + As + Af + Ac + Mg \quad (1)$$

Dónde:

$At$  = Atenuación total

$Afo$  = Atenuación de la fibra óptica

$As$  = Atenuación de splitters

$Ac$  = Atenuación de conectores

$Af$  = Atenuación de fusiones

$Mg$  = Margen de guarda

### 2.11.7 Dispersión cromática

Un haz de luz se compone de múltiples frecuencias, con velocidad no uniforme al propagarse por la fibra, causando distorsiones temporales. Esto es evidente en fibras monomodo, pero puede ser subsanado con una fuente de luz monocromática. Su medición se da en ps/km. nm [24]. Esta dispersión depende principalmente de los materiales con que es fabricada la fibra óptica. Generalmente existen dos fuentes de dispersión: la dispersión debida al material y la dispersión debida a la guía de onda [25].

### 2.11.8 Parámetros de análisis de rendimiento

Existen algunos parámetros comunes que se pueden considerar para analizar el rendimiento de una red óptica:

#### 2.11.8.1 Razón Señal-Ruido (SNR)

Se define como la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe. Este margen es medido en decibelios [26].

#### 2.11.8.2 Tasa de error de Bits (BER)

Representa la proporción de bits incorrectos transmitidos en relación con el número total de bits transmitidos. A tasa de bits errados permite establecer un porcentaje de bits que han tenido errores en comparación a los bits totales en una transmisión de datos a través de un enlace, la medición se hace en un intervalo de tiempo determinado, viene dado por [27]:

$$BER = \frac{N_e}{N_t} [dBm] \quad (2)$$

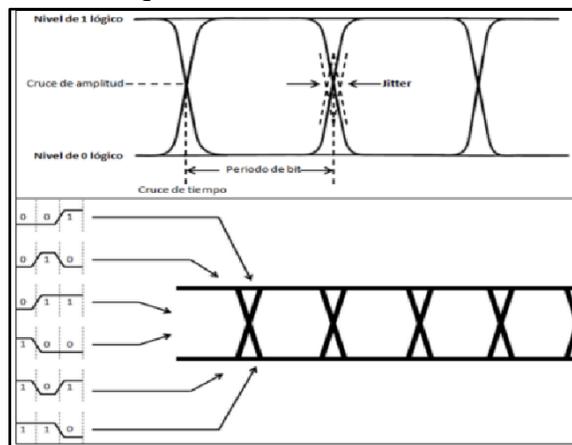
Dónde:

$N_e$  = Número de errores que ocurren en un tiempo  $t$

$N_t$  = Número de bits que llegan hasta el receptor en el mismo tiempo  $t$

#### 2.11.8.3 Diagrama del ojo

El diagrama de ojo es una forma muy útil y exitosa para medir la calidad de una señal digital y por ende, la integridad del sistema que lo transmite como se ilustra en la **Figura 5** [27].



**Figura 5** Diagrama de Ojo.

**Fuente:** [27]

$$IR = \frac{\sum VP(Fcj)}{I_0} \quad (5)$$

#### 2.11.8.4 Factor Q

Corresponde a la relación señal/ruido eléctrica (ESNR) en la entrada de un circuito de decisión del receptor, y el valor que especifica es de mínimo 6. El factor Q se define como la relación señal/ruido (eléctrica) en el circuito de decisión de un receptor de señal digital y lo hace mediante la ecuación [27].

Dónde:

$$Q_{dB} = SNR + 10 \cdot \log \frac{B_o}{B_c} [dBm] \quad (3)$$

$B_o$  = Ancho de banda óptico del receptor

$B_c$  = Ancho de banda eléctrico del filtro del receptor

$SNR$  = Relación señal/ruido

Igualar el factor Q a la SNR sugiere que se busca optimizar la calidad de la señal asegurando que esté en sintonía con el nivel de ruido presente en el sistema de comunicación.

$$Q_{dB} \sim SNR \quad (4)$$

### 2.11.9 Cálculo de Rentabilidad Económica

#### 2.11.9.1 Índice de Rentabilidad (IR)

Una de las formas para determinar la rentabilidad económica del proyecto es mediante el cálculo del índice de rentabilidad (IR). La fórmula del índice de rentabilidad es [28]:

Dónde:

$\sum VP(Fcj)$ : Sumatoria del valor presente de todos los flujos de caja “j”

$I_0$ : Inversión inicial realizada

El valor presente de los flujos de caja futuros se describe como la relación entre el flujo de efectivo neto y el valor actual, por lo cual la fórmula para encontrar el valor presente de los flujos de caja futuros es [28]:

$$VP(Fcj) = \frac{Fcj}{(1 + Td)^n} \quad (6)$$

Dónde:

$Fcj$ : Flujos de caja “j”

$Td$ : Tasa de descuento

$n$ : Representa el periodo en el cual se genera el flujo de caja

## 2.12 Software OptiSystem

OptiSystem es un software de diseño integral que permite a los usuarios realizar simulaciones de un diseño de fibra óptica con ciertas características, con el software se puede planificar, realizar pruebas de ensayo y error, simular enlaces ópticos en la capa de transmisión de las modernas redes ópticas [29].

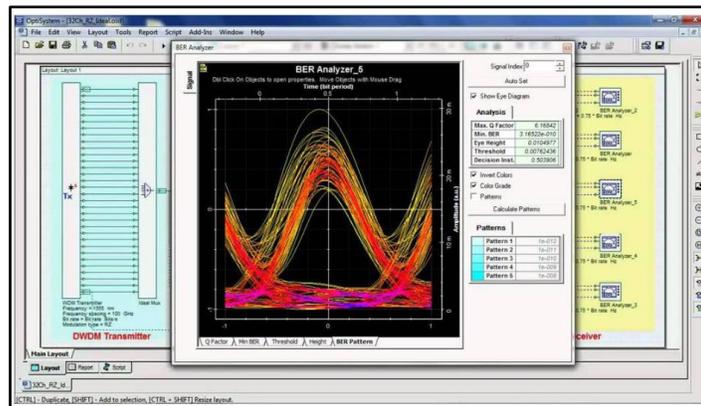


Figura 6 Interfaz de OptiSystem.

Fuente: [30]

### 2.12.1 Componentes OptiSystem

Los componentes más importantes utilizados en OPTISYSTEM son los de la **Tabla 8**.

Tabla 8 Componentes más importantes utilizados en OPTISYSTEM.

Componente	Elemento	Descripción
<b>Pseudo- Random Bit Sequence Generator</b>		Genera una sucesión de datos binarios de apariencia aleatoria.
<b>Directly Modulated Laser Measured</b>		Controla directamente la modulación del láser mediante una señal eléctrica.
<b>Ideal MUX</b>		Emplea un multiplexor que no introduce pérdidas y proporciona aislamiento infinito.
<b>Optical Fiber (SMF, DCF, NZ-DSF)</b>		Simula la propagación de una señal óptica en una fibra monomodo, teniendo en cuenta la degradación de la señal y su distancia.
<b>Optical Amplifier (EDFA)</b>		Realiza la amplificación de la señal con control de ganancia o potencia, permitiendo ajustar la figura de ruido y la potencia de salida del amplificador.
<b>WDM Demux ES</b>		Demultiplexan un número predefinido de canales de señal WDM, con filtros internos cuyas frecuencias centrales están equidistantes.

<b>Low Pass Bessel Filter</b>		Incorpora un filtro con respuesta de frecuencia tipo Bessel.
<b>VER Analyzer</b>		Ofrece la capacidad de calcular y visualizar tasas de error de bits (BER), el diagrama de ojo, el factor Q, entre otros parámetros.
<b>Optical Time Domain Visualizer</b>		Calcula y presenta señales ópticas en el dominio del tiempo, junto con la intensidad de la señal, la fase y el parámetro Alpha para las polarizaciones X e Y.
<b>WDM Analyzer</b>		Calcula y muestra información sobre la potencia óptica, el ruido, la relación señal-ruido (SNR), la relación señal-ruido óptico (OSNR), la frecuencia y la longitud de onda para cada canal WDM.
<b>Oscilloscope Visualizer</b>		Calcula y muestra señales eléctricas en el dominio del tiempo.
<b>Optical Spectrum Analyzer</b>		Calcula y muestra señales ópticas en el dominio de la frecuencia, proporcionando información sobre la intensidad de la señal, la densidad espectral de potencia, la fase y otros parámetros relevantes

**Fuente:** [30]

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación se desarrolló en la parroquia Cajabamba del cantón Colta en la zona urbana. La investigación tiene enfoque cuantitativo por lo tanto se tomarán datos de campo según las encuestas y necesidades del servicio de internet por medio de Fibra Óptica, además se incorpora elementos cualitativos los mismos que permiten explorar temas más subjetivos y obtener información detallada sobre las experiencias y opiniones de las personas con respecto al servicio de internet en la zona.

En este proyecto se aplica los siguientes métodos:

- El método hipotético-deductivo ya que parte de un problema para proponer una hipótesis que buscará validar la misma, mediante la recopilación de datos.
- El método analítico ya que proporciona un marco sistemático para abordar los desafíos del diseño de la red, este método facilita la selección de componentes, la optimización de la topología, la gestión de recursos y la planificación de la capacidad.
- Se hace uso de la investigación documental ya que de ser necesario recopilar y analizar variedad de documentos de importancia como normativas técnicas, estudios de viabilidad, especificaciones de equipos etc.

#### 4.1 Tipos de investigación

Se aplica una investigación exploratoria, descriptiva, aplicada y de campo.

##### 4.1.1 Investigación aplicada

Este enfoque se basa en conocimientos o descubrimientos existentes como las tecnologías PON, estudio del estándar 10G-EPON, también implica el desarrollo de soluciones concretas y prácticas para facilitar la migración de la red, teniendo en cuenta factores como la viabilidad técnica, económica y operativa.

##### 4.1.2 Investigación descriptiva

La investigación descriptiva es relevante ya que proporciona una descripción detallada de la situación actual del sector de Cajabamba. Se recopilaron datos y se analizó la información para identificar estándares significativos que sean relevantes para este proyecto.

##### 4.1.3 Investigación de campo

Se acudió hasta el sector de Cajabamba para la recopilación de datos mediante encuestas a los usuarios para conocer las necesidades y opiniones acerca de la migración de la red, realización

de mediciones de velocidad de conexión etc.

## **4.2 Metodología de diseño de la red 10G-EPON**

El diseño de la red 10G-EPON en el sector de Cajabamba se realizó en 5 fases:

**Fase 1:** Se va a realizar una investigación previa de todos los trabajos relacionados con la temática del estándar 10G-EPON para seleccionar información relevante que ayude al aporte del trabajo de investigación a través de consultas técnicas, trabajos de investigación, recursos bibliográficos como: libros, manuales técnicos, trabajos de investigación en repositorios de diversas universidades a nivel nacional e internacional, entre otros.

**Fase 2:** Analizar la infraestructura actual de la red de cobre para identificar el nivel de utilidad, este análisis será necesario para evaluar el estado y efectividad de la red de cobre existente y así verificar si está en condiciones de soportar la creciente demanda de servicios.

**Fase 3:** Diseñar y simular la red FTTH con estándar 10G-EPON que sea adecuada para satisfacer las necesidades de los usuarios. Esto puede incluir la ubicación de los nodos, la distribución de los cables de fibra óptica y la planificación de los puntos de acceso.

**Fase 4:** Evaluar el rendimiento de la red de fibra óptica propuesta mediante simulaciones, así también como pruebas de carga y simulaciones de tráfico para asegurar de que la red sea capaz de manejar la demanda de los usuarios y cumplir con los requisitos de calidad de servicio.

**Fase 5:** Determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto mediante un análisis económico-financiero para una futura implementación. Si los resultados indican que el proyecto es financieramente viable y rentable, brindará una base sólida para continuar con la migración a la nueva red de fibra óptica.

## **4.3 Hipótesis**

¿La migración a fibra óptica con estándar 10G-EPON mejorará la velocidad de conexión del servicio de internet para los usuarios de CNT EP en Cajabamba, cantón Colta, en comparación con la red de cobre existente?

## **4.4 Operacionalización de variables**

### **4.4.1 Variables independientes**

**Tabla 9** Variables independientes

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN
Tipo de red	Representa el tipo de infraestructura de red que se implementará en la parroquia.	Red de Cobre (existente)  Red de Fibra Óptica (FTTH) con estándar 10G-EPON (propuesta)	Análisis de la infraestructura de red de cobre actual.  Diseño y planificación de la red de fibra óptica.
Capacidad de tráfico	Representa la capacidad proyectada de la nueva red de fibra óptica para manejar el flujo de datos y satisfacer las necesidades de los usuarios.	Capacidad Dimensionada de Tráfico (en Mbps o Gbps)	Simulaciones de tráfico con herramientas de diseño de redes (OptiSystem, GNS3).

#### 4.4.2 Variables dependientes

**Tabla 10** Variables dependiente

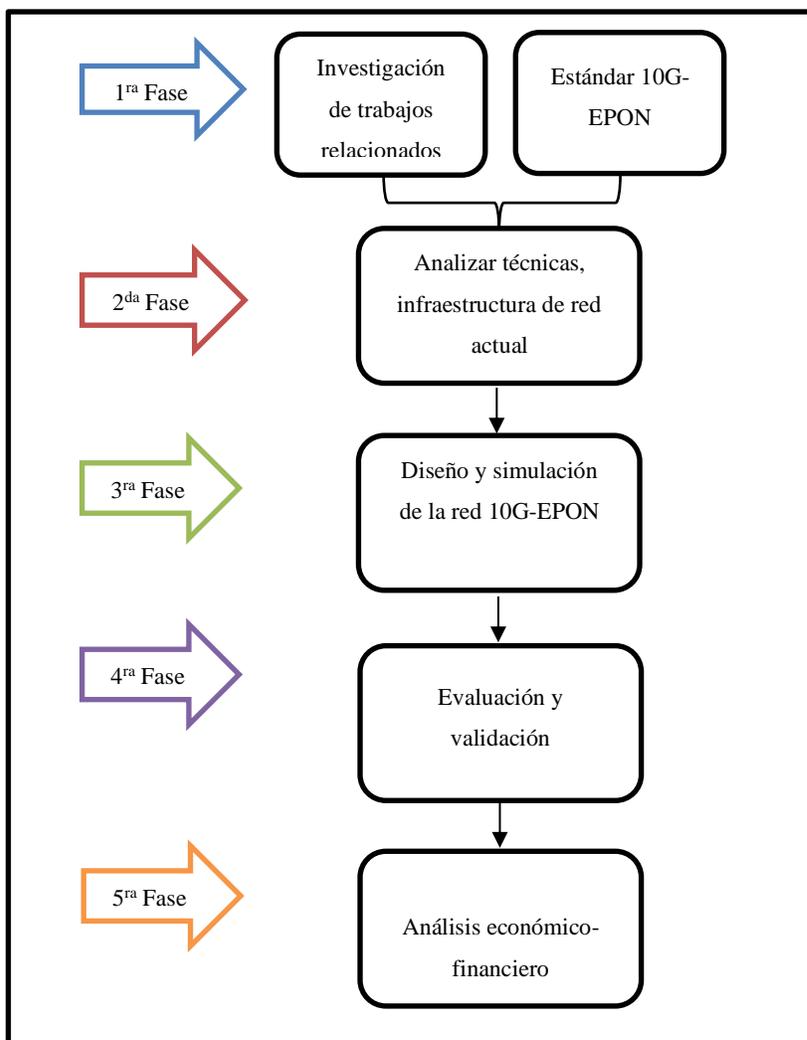
VARIABLE	CONCEPTO	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN
Rendimiento de la red	Representa el rendimiento y la calidad del servicio de internet proporcionado a los usuarios de CNT EP en la parroquia de Cajabamba.	- Velocidad de transmisión - Tasa de Pérdida de Paquetes (en %) - Latencia (en milisegundos)	- Pruebas de velocidad de internet en diferentes ubicaciones. - Monitoreo de conexiones para evaluar la estabilidad. - Medición de latencia y pérdida de paquetes.

#### 4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

**Observación directa:** Observar la infraestructura de red existente en la parroquia de Cajabamba, así como el comportamiento y las interacciones de los usuarios con la red, para identificar posibles problemas, necesidades y oportunidades de mejora.

**Encuestas:** Diseñar cuestionarios estructurados para recopilar información sobre las necesidades y preferencias de los usuarios en cuanto a velocidad de conexión, calidad del servicio, disposición a migrar a una red de fibra óptica con estándar 10G-EPON.

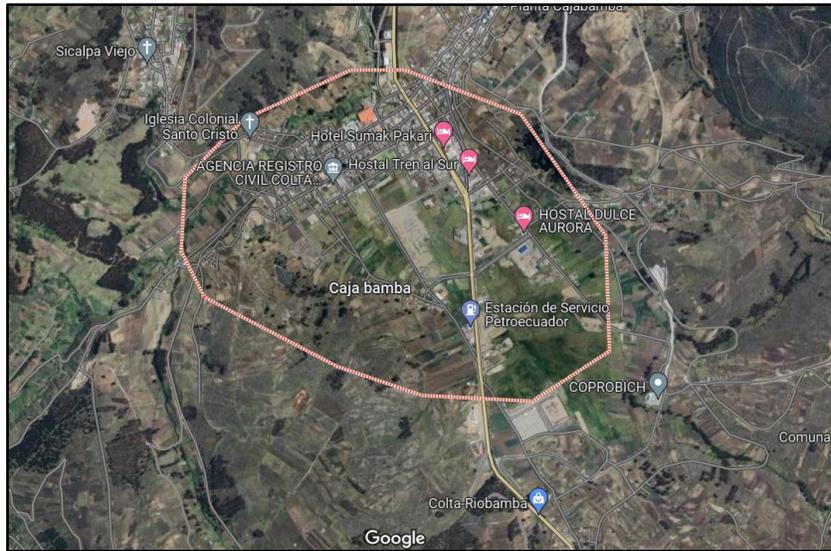
**Entrevistas:** Realizar entrevistas semiestructuradas con usuarios clave, representantes de CNT EP, autoridades locales y otros actores relevantes para obtener información detallada y perspectivas cualitativas sobre la migración de la red.



**Figura 7** Fases del procedimiento del trabajo de investigación.

## 4.6 Localización

Cajabamba, capital del cantón Colta, está ubicada en la provincia del Chimborazo en las coordenadas a una latitud de 1°42'5.54" Sur, a una longitud 78°46'21.83" Oeste, a 3200 m., sobre el nivel del mar y a las faldas del cerro Cushca. Tiene dos parroquias urbanas: Cajabamba y Sicalpa [31].



**Figura 8** Ubicación de la parroquia de Cajabamba, cantón Colta.

**Fuente:** [32]

## 4.7 Población y muestra

### 4.7.1 Población

Para el trabajo de titulación se considera como población a cada uno de los usuarios y clientes corporativos de CNT EP distribuidos en la parroquia Cajabamba cantón Colta. Para el caso del proyecto de investigación la población (N) serán un aproximadamente: 133 usuarios CNT EP.

### 4.7.2 Muestra

Para la determinación de la muestra, se dispone de la siguiente fórmula matemática:

En la fórmula se consideran los siguientes parámetros:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)} \quad (7)$$

- **El nivel de confianza**

Este parámetro en su mayoría suele ser del 95%, ( $\alpha = 0,05$ ), en términos desviaciones típicas que definen ambos extremos del intervalo es la semi distancia estandarizada.

$$Z = 1.96 \quad (8)$$

- **Estimación de la proporción**

Se considera que la condición se cumple en un 50% y, por ende, lo que no se cumple ( $1 - p$ )

es el otro 50%.

$$p * (1 - p) = 0.5 * (1 - 0.5) = 0.25 \quad (9)$$

- **Margen de Error**

Representa la diferencia entre la media muestral y la media poblacional. Por lo tanto, el margen de error se encuentra en el rango de:

$$1\% \leq e \leq 10\%$$

$$0.01 \leq e \leq 0.10$$

El margen de error para esta investigación se considerará el 5%. De este modo, los datos recolectados una vez analizados tendrán un nivel de significancia mayor y los resultados serán más confiables.

#### 4.7.2.1 Cálculo del tamaño de la muestra

Para encontrar el tamaño de la muestra para esta investigación se tomarán en cuenta los siguientes parámetros.

Donde:

$n$  = Tamaño de la muestra.

$N$  = Tamaño de la población.

$Z = 1,96$ ; Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza (NC).

$e = 5\%$ ; Error de estimación aceptado.

$p = 0.5$ ; Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito).

$q = 0.5$ ; Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)} \quad (10)$$

$$n = \frac{133 * 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{(178 - 1) * 0.05^2 + (1.96)^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}$$

$$n = 100$$

En la investigación se necesitó una muestra de al menos 100 personas en la parroquia de Cajabamba cantón Colta.

#### 4.7.3 Resultado de la encuesta

Se realizaron un total de 100 encuestas en la parroquia de Cajabamba, el cuestionario consta de 5 preguntas que evalúan el servicio de internet actual de los usuarios y la probabilidad de migrar su red actual a una red de mejor tecnología o generación como es la red 10G-EPON, el análisis

de los resultados se puede observar en el ANEXO A.

## 4.8 Descripción de la red actual

### 4.8.1 Arquitectura de la red actual

La arquitectura de la red de cobre en la parroquia de Cajabamba se caracteriza por una estructura tradicional de telecomunicaciones que sigue siendo crucial para proporcionar servicios de internet y voz a la comunidad. A continuación, se detallan los componentes principales y la estructura de esta red, como se observa en la **Figura 9**:



**Figura 9** Arquitectura de la red actual

### 4.8.2 Distribución de la red

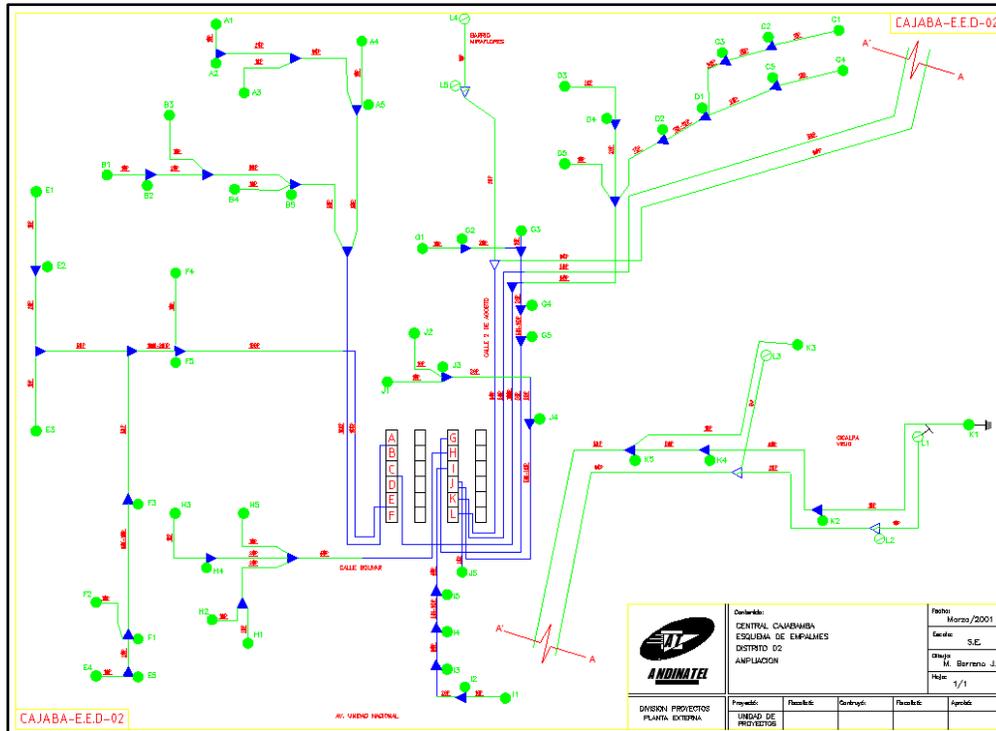
Cajabamba posee una infraestructura de red de cobre destinada al servicio de internet, cuya estructura se detalla en la **Figura 10**. A continuación, se describen los principales componentes y datos relevantes de esta red:

#### 1. Cajas de Dispersión:

- **Cantidad y Nomenclatura:** La red cuenta con aproximadamente 60 cajas de dispersión, identificadas con una nomenclatura alfanumérica que va desde A1 hasta L5.
- **Capacidad:** Cada caja de dispersión está equipada con 10 pares de cables, lo que permite la distribución del servicio a los usuarios.
- **Total de Usuarios:** Considerando la capacidad de cada caja, la red puede atender aproximadamente a 600 usuarios.

#### 2. Estructura de la Red

- **Red Primaria y Secundaria:** La red primaria está superpuesta sobre la red secundaria, con una proporción de 400/600. Esto implica que la red primaria se encarga de la distribución inicial del servicio, mientras que la red secundaria se ocupa de la distribución final a los usuarios.
- **Usuarios Residenciales y Comerciales:** De los 400 usuarios totales, se tiene un registro aproximado de 388 abonados residenciales y 12 usuarios comerciales, representando estos últimos el 2% del total.



**Figura 10** Red de cobre actual de la parroquia de Cajabamba, CNT E.P. Riobamba.

A lo largo del tiempo, los usuarios han ido disminuyendo debido a cambios organizacionales como reestructuraciones y descentralización, así como la adopción de tecnologías modernas, como la automatización y el teletrabajo. Los factores económicos, como las crisis y la disminución de la demanda, junto con la tercerización de funciones, han reducido la cantidad de usuarios de 400 a 133, lo que ha generado la necesidad de realizar ajustes en la infraestructura

## 4.9 Requerimientos técnicos para la nueva red con el estándar 10G-EPON

### 4.9.1 Dimensionamiento de la red

Es importante entender las características técnicas de la red basada en el estándar 10G-EPON. A continuación en la **Tabla 11**, se presentan las especificaciones y aspectos técnicos del estándar 10G-EPON que son esenciales para el dimensionamiento y diseño de la red.

**Tabla 11** Características técnicas del estándar 10G-EPON

<b>Estándar</b>	IEEE 802.3av
<b>Arquitectura de transmisión</b>	Simétrica y Asimétrica
<b>Tasa de transmisión (DL/UL)</b>	10.3125Gbps (DL y UL) 10.3125Gbps DL/1.25Gps UL
<b>Espectro de frecuencia</b>	Bajada 1577nm Subida 1270nm
<b>Topología</b>	Punto a Multipunto (P2MP)

<b>Distancia</b>	20 km
<b>Numero de disyuntores soportados (Splitters)</b>	1:64, 1:128, 1:256
<b>Servicios</b>	Datos Ethernet
<b>Método de encapsulación</b>	MAC/MPCP
<b>Encriptación</b>	DES
<b>FEC</b>	Si
<b>Ancho de banda</b>	10 Gbps
<b>Power Budget</b>	18-33 dB

10G-EPON es un estándar de red óptica que posibilita velocidades de transmisión de hasta 10Gbps tanto ascendente como descendente, este estándar tiene un avance en comparación con los otros estándares, el mismo que está lo suficientemente equipado para satisfacer las crecientes demandas de ancho de banda, impulsadas por servicios como transmisión de video en alta definición, los juegos en línea, las videoconferencias y el aumento del número de dispositivos conectados en los hogares. La Comisión Federal de Comercio (FCC) de EE. UU. recomienda entre 12 Mbps y 25 Mbps para una buena experiencia de uso y considera una conexión rápida con al menos 25 Mbps de descarga y 3 Mbps de subida.

En la **Tabla 12** se observa una estimación aproximada del consumo de ancho de banda necesario para los enlaces de bajada y subida para distintas actividades comunes del cliente en una red de fibra óptica con estándar 10G-EPON puede variar según el comportamiento de uso de cada usuario y la aplicación que se utilice.

**Tabla 12** Ancho de banda de la red FTTH con estándar 10G-EPON.

<b>Requerimiento</b>	<b>Bajada</b>	<b>Subida</b>	<b>Residencial (Bajada/Subida) Promedio</b>
<b>Navegación Web</b>	1-10 Mbps	1-2 Mbps	28Mbps/ 11Mbps
<b>Correo electrónico</b>	1 Mbps	0.1-0.5 Mbps	
<b>Streaming de Video en HD</b>	3-6 Mbps	1-3 Mbps	
<b>Streaming de Video en 4K</b>	15-25 Mbps	5-10 Mbps	<b>Comercial (Bajada/Subida) Promedio</b>
<b>Juegos en Línea</b>	1-10 Mbps	1-5 Mbps	93.5Mbps/ 103.5Mbps
<b>Videoconferencias</b>	1-3 Mbps	1-3 Mbps	<b>Educativo (Bajada/Subida) Promedio</b>
<b>Descarga de archivos grandes (juegos, películas)</b>	10-100Mbps	1-10 Mbps	
<b>Subida de archivos grandes (videos)</b>	1-10 Mbps	1-10 Mbps	

<b>Redes Sociales y Mensajería</b>	1-10Mbps	1-3 Mbps	1.4Gbps/ 0.78Gbps
------------------------------------	----------	----------	----------------------

Fuente: [33] [34] [35]

#### 4.9.2 Análisis de requerimientos de ancho de banda

A continuación, se calcula el ancho de banda asignado a cada hilo de fibra tomando en cuenta la simetría de la tecnología 10G-EPON con 1.25Gbps de subida y 10Gbps de bajada. De acuerdo con el nivel de splitteo que en este caso es de 1:8 en el primer nivel, se hace uso la siguiente ecuación.

$$AB = (10G - EPON) * RELACIÓN SPLITTER$$

$$AB = 10Gb/s * 1/8 = 1.25 Gb/s$$

Para determinar el ancho de banda del segundo splitteo se utiliza la misma fórmula, lo que resulta en un valor máximo de 156.25 Mbps. Este valor se asigna según los requerimientos específicos del cliente final, como se detalla en la **Tabla 13**.

**Tabla 13** Distribución de ancho de banda para G-PON y 10G-EPON

<b>Tecnología</b>	<b>Ancho de banda asignado al puerto</b>	<b>Nivel de splitteo</b>	<b>Número de clientes máximos soportados</b>	<b>Ancho de banda mínimo-asignada para cada cliente</b>
G-PON	1Gbps	Dos niveles de splitteo 1:8	64 clientes	15.625 Mbps
G-PON	2.5 Gbps	Dos niveles de splitteo 1:8	64 clientes	39.065 Mbps
10G-EPON	10 Gbps	Dos niveles de splitteo 1:8	64 clientes	156.25 Mbps
10G-EPON	10 Gbps	Dos niveles de splitteo (1:8,1:16)	128 clientes	78.125 Mbps
10G-EPON	10 Gbps	Dos niveles de splitteo (1:16,1:16)	256 clientes	39.0625 Mbps

### 4.9.3 Propiedades del transmisor y receptor para el estándar 10G-EPON

Los parámetros de los transmisores y receptores en dispositivos OLT y ONT, los cuales son esenciales para caracterizar y asegurar el rendimiento óptico de la red FTTH utilizando el estándar 10G-EPON. Estos parámetros determinan la capacidad y alcance de la red, influyendo en su rendimiento y fiabilidad. A continuación, se detalla en la **Tabla 14, Fuente:**

**Tabla 15, Fuente:**

**Tabla 16 y Fuente:**

**Tabla 17 .**

**Tabla 14** Parámetros del transmisor (OLT).

Ítem	Valor
Tasa de bajada nominal	10.3125±100 Gbps
Longitud de onda de operación	1575-1580 nm
Codificación	NRZ
Potencia de lanzamiento promedio mínima	5 dBm
Potencia de lanzamiento promedio máxima	9 dBm
Radio de extinción mínimo	9 dBm
RIN	-128 dB/Hz
Radio de supresión de los modos laterales	30 dB
Tipo de transmisor	EML
Tipo de receptor	APD

**Fuente:** [36]

**Tabla 15** Parámetros del receptor (OLT).

Ítem	Valor
Nivel de referencia para VER	$10^{-12}$
Potencia máxima recibida	-8 dBm

**Fuente:** [36]

**Tabla 16** Parámetros del transmisor (ONT).

Ítem	Valor
Tasa de bajada nominal	1.25±100 Gbps
Longitud de onda de operación	1230-1330 nm
Codificación	NRZ
Potencia de lanzamiento promedio mínima	2 dBm
Potencia de lanzamiento promedio máxima	6 dBm
Radio de extinción mínimo	6 dBm
RIN	-128 dB/Hz
Radio de supresión de los modos laterales	30 dB
Tipo de transmisor	DML
Tipo de receptor	APD

**Fuente:** [36]

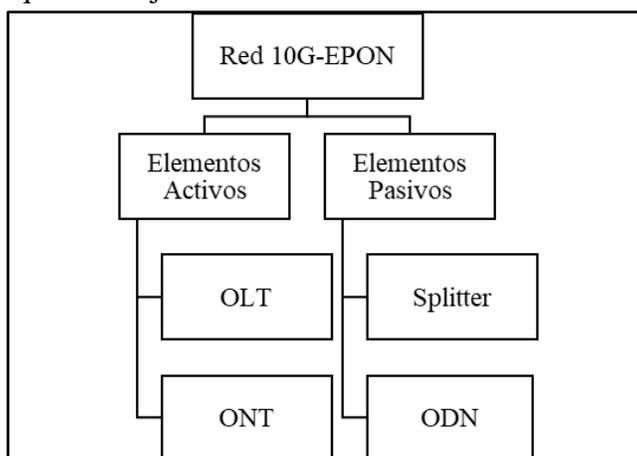
**Tabla 17** Parámetros del receptor (ONT).

Ítem	Valor
Nivel de referencia para VER	$10^{-12}$
Potencia máxima recibida	-8 dBm

Fuente: [36]

#### 4.9.4 Elementos activos y pasivos de la red

En la **Figura 11** se expone los elementos activos y pasivos que requiere una red, elementos desempeñan funciones específicas en el diseño, implementación y operación de la red local propuesta para la parroquia de Cajabamba.



**Figura 11** Elementos activos y pasivos de la red

##### 4.9.4.1 Elementos activos

Los componentes activos, como el OLT y la ONT/ONU, desempeñan un papel importante en la red 10G-EPON al controlar y direccionar el flujo de datos entre la infraestructura de fibra óptica y los dispositivos finales. En conjunto, estos componentes activos garantizan una conectividad eficiente y confiable en la red 10G-EPON.

###### 4.9.4.1.1 OLT (Terminal de línea óptica)

Es el componente esencial de la red FTTH con el estándar 10G-EPON, este equipo permite la conexión de una o varias ODN componente clave que se encuentra ubicado en la planta o central de telecomunicaciones. A continuación se detallan características y requerimientos necesarios de las OLT para una red 10G-EPON.

- Capacidad de ancho de banda downstream/upstream hasta 10Gbps
- Varias interfaces de 10G-EPON para conectarse a la red de distribución (ODN)
- Debe cumplir con el estándar IEEE 802.3av para 10G-EPON
- Capacidad de escalar según el crecimiento de la demanda de usuarios y ancho de banda

- Capacidad para soportar servicios avanzados como IPTV, VoIP, y servicios de datos de alta velocidad

En la **Tabla 18** se observa los equipos encontrados en el mercado compatibles con el estándar 10G-EPON los cuales se comparan las características.

**Tabla 18** Comparativo de características de OLT

Marca	V.SOL	Huawei	FSU7100	ZTE	HGSQ	KEXINTO
<b>Modelo</b>	V3600D8	MA5680T	FSU7101	ZXA10 C320	HSGQ-XE08	EPON-OLT-GP8008
<b>Longitud de onda</b>	TX: 10Gbps 1577nm RX: 1.5 Gbps 1490 nm TX TX:1.25 Gbps 1310 nm RX:10 Gbps 1270 nm	TX: 10 Gbps 1577 nm RX:1.25 Gbps 1270 nm	TX: 1575-1580 nm RX: 1260-1280 nm	TX:1550 nm RX: 1310 nm	TX: 1550 nm RX: 1310nm	TX:1490 nm RX:1310 nm
<b>Distancia de transmisión</b>	20 km	60 km	20 km	20 km	20 km	20 km
<b>Ancho de banda del backplane</b>	880 Gbps	10 Gbps	10.3125 Gbps	420 Gbps	20Gbps	1Gbps
<b>Fuente de alimentación</b>	AC 100~240V 50/60Hz, 200W	AC 100~240V	AC 90~240V 47/63Hz	AC 100~240V 50/60Hz, 200W	AC 100~240V 47/63Hz	AC 220V
<b>Fuente de alimentación en DC</b>	DC -48V	DC-48V	DC -42/-57V	DC -48V/-60V	DC -48V/-60V	DC -48V
<b>Tipo de conector óptico</b>	PR30/PRX30	PRX10, PRX20 O PRX30	1000 BASE- PX20,1000 BASE PR30	-	1000BASE- PX20+/PX20++/PX20 +	1000BASE-PX20 SFP
<b>Dimensión (LxWxH)</b>	442mm*369mm*46.6 mm	442mm x 275,8mm x 441,7 mm	434mm* 334mm* 444mm	86.1mm*482.6 mm*270mm	520mm*372mm*87m m	320mm*440mm*44m m
<b>Imagen</b>						
<b>Fuente</b>	[37]	[38] [39]	[40]	[41]	[42]	[43]

#### 4.9.4.1.2 ONT (Terminal de red óptica)

Es el dispositivo que convierte la señal óptica transmitida a través de la fibra óptica en señales eléctricas, es decir, es el encargado de recibir y filtrar la información destinada a un usuario determinado, se encuentran instalados en los hogares, edificios junto a la roseta óptica correspondiente. A continuación, se describe las características en la **Tabla 19**.

- Capaces de recibir y transmitir datos a velocidades de hasta 10Gpbs.
- Cumplir con especificaciones del estándar IEEE 802.3av
- Soporte para puertos PON y Ethernet

**Tabla 19** Comparativo de características de ONT

Marca	Huawei	ZTE	Photon	FIBERHOME
<b>Modelo</b>	OptiXstar HN8346X6	ZXHN F660	PTF2964Q	AN5506-04-FS
<b>Consumo máximo de energía</b>	18W	10W	10W	12 W
<b>Interfaz del lado de la red</b>	XG-PON / asimétrico 10G- EPON	GPON/XG- PON	XGS- PON/10G- EPON	GPON
<b>Alimentación de todo el sistema</b>	11 ~ 14 VCC, 1,5 A	12VCC	DC 12V/2 <sup>a</sup>	12VCD/1.5 <sup>a</sup>
<b>Velocidad máxima</b>	10 Gbps	10 Gbps	1.8 Gbps	10Gpbs
<b>Ganancia en antena</b>	5dBi	3dBi	5dBi	5dBi
<b>Interfaces</b>	4 puertos Ethernet Fast Ethernet, 1 puertos PON, 1-2 puerto USB	4 puertos Ethernet Fast Ethernet, 2 puertos PON, 1 puerto USB	1*2,5G + 3GE + POT + USB + WIFI6	4 puertos Ethernet Gigabit, 2 puertos PON, puerto USB
<b>Sensibilidad RX</b>	XG-PON -28dBm 10G-PON/EPON Asimétrico - 28.5dBm	28dBm	-30dBm/- 32dBm	-30dBm
<b>Dimensión (LxWxH)</b>	185 mm *120 mm*45mm	220mm * 160mm * 44 mm	485mm*258m m*470mm	211mm*36 mm*154 mm
<b>Imagen</b>				
<b>Fuente</b>	[44]	[45]	[46]	[47]

#### 4.9.4.1.3 Transceptores

Un transceptor es un dispositivo que combina las funciones de transmisor y receptor en una sola

unidad. La selección de un SFP es importante para soportar la cantidad de clientes configurados en el puerto y para asegurar la distribución adecuada del ancho de banda a cada usuario. En la **Tabla 20** se puede observar las siguientes características.

**Tabla 20** Transceptores

Marca/ Modelo	Fibermall 10GEPON-ONU- SI	Fibermall 10Gepon-onu-asc	Fibermall 10GEPON- OLT-XS	Fibermall 10GEPON- OLT-XAS
<b>Aplicación</b>	Simétrico10G- EPON ONU	Asimétrico 10GEPON ONU	OLT simétrico de 10GEPON	OLT asimétrico 10GEPON
<b>Longitud de Onda</b>	TX 1270nm / RX 1577nm	TX 1310nm / RX 1577nm	TX 1577nm / RX 1270nm	TX 1577nm / TX 1490nm / RX 1310nm
<b>Clase de ODN</b>	PR30	PRX30	PR30	PRX30
<b>Velocidad de datos</b>	TX 10.3G / RX 10.3G	TX 1.25G / RX 10.3G	TX 10.3G / RX 10.3G	TX 10.3G / TX 1.25G / RX 1.25G
<b>Distancia máxima</b>	20km	20km	20km	20km
<b>Potencia TX</b>	+ 4.0 ~ + 9.0dBm	+ 0.62 ~ + 5.62dBm	+ 2.0 ~ + 5.0dBm	+ 3.0 ~ + 7.0dBm
<b>Sensibilidad RX</b>	-28.5 dBm	-28.5dBm	-28dBm	-31.0dBm
<b>Imagen</b>				
<b>Fuente</b>	[48]	[49]	[50]	[51]

#### 4.9.4.2 Elementos pasivos

##### 4.9.4.2.1 Fibra óptica

La fibra óptica es el medio por el que se transporta la información de un punto a otro en forma de luz, para este estándar el tipo de fibra óptica monomodo recomendada es ITU-T G.652 y ITU-T G.657 SMF.

La fibra ITU-T G.652 tiene una pérdida de inserción y dispersión moderadas, también se puede decir que es compatible con la mayoría de sistemas de comunicación de fibra óptica existentes ya que se utiliza para redes de largas distancias y con velocidades de transmisión altas, es muy eficiente con respecto al ancho de banda y tiene una atenuación menor que las fibras multimodo. A continuación, se describen los atributos de la fibra óptica G.652 en la **Tabla 21**.

**Tabla 21** Características de la fibra ITU-T G.652

ATRIBUTO		TIPO DE FIBRA			
		G.652 A	G.652 B	G.652 C	G.652 D
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm	1310 nm	1310 nm	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$	8,6-9,5 $\mu\text{m}$	8,6-9,5 $\mu\text{m}$	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$	$\pm 0,6 \mu\text{m}$	$\pm 0,6 \mu\text{m}$	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm	1260 nm	1260 nm	1260 nm
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm	1300 nm	1300 nm	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm	1324 nm	1324 nm	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,093 ps/nm <sup>2</sup> *km	0,093 ps/nm <sup>2</sup> *km	0,092 ps/nm <sup>2</sup> *km	0,092 ps/nm <sup>2</sup> *km
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,5 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,4 dB/km	0,35 dB/km	0,3 dB/km	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables	20 cables	20 cables	20 cables
	Q	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
	Máximo PMDQ	0.5 ps/Km	0.5 ps/Km	0.5 ps/Km	0.20 ps/Km

La fibra ITU-T G.657 tiene su estructura especial que permite mantener el rendimiento óptico confiable, es ideal para instalaciones en espacios reducidos o donde se requieren curvas o giros apretados, ofrece una gran flexibilidad y una pérdida de inserción ligeramente mayor en comparación con la G.652. Se observan las características principales en la **Tabla 22**.

**Tabla 22** Características de la fibra óptica ITU-T G.657

ATRIBUTO		TIPO DE FIBRA	
		G.657 A	G.657 B
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,4 \mu\text{m}$	$\pm 0,4 \mu\text{m}$
Diámetro de revestimiento	Nominal	125.0 $\mu\text{m}$	125.0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0.7 \mu\text{m}$	$\pm 0.7 \mu\text{m}$
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm	1260 nm

<b>Coefficiente de dispersión cromática</b>	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm	1250 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm	1350 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092ps/nm <sup>2</sup> *km	0,11 ps/nm <sup>2</sup> *km
<b>Coefficiente de atenuación</b>	Máximo a 1383 nm a 1625 nm	0,40 dB/km	0,40 dB/km
	Máximo a 1383 nm $\pm$ 3 nm	0,40 dB/km	0,40 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,30 dB/km	0,30 dB/km
<b>Coefficiente de PMD</b>	M	20 cables	20 cables
	Q	0.01%	0.01%
	Máximo PMDQ	0.20 ps/Km	0.5 ps/Km

#### 4.9.4.2.2 Splitters

Los splitters son divisores ópticos, elementos que dividen y confinan los haces de luz para poder extender la red a lo largo de su recorrido. Debido a que multiplexan y demultiplexan la señal, también confinan y dividen la potencia, en partes iguales [52].

**Tabla 23** Comparativo de Splitters

<b>Atributo</b>	<b>Splitter de 1:4</b>		<b>Splitter de 1:8</b>	
<b>Marca</b>	Corning Plus 1x4 PLC, operation wavelength 1260-1650nm	Furukawa 35500119 splitter óptico G.657A NC/NC 2M/2MPLC 2X4	Corning Plus 1X8 operation wavelength (1260-1650nm)	Furukawa 1x8 PLC, operation 35500099 splitter óptico PLC 1X8
<b>Division de potencia</b>	Simétrico	Simétrico	Simétrico	Simétrico
<b>Conectorizado</b>	No	No	No	No

## 4.10 Diseño de la red 10G-EPON

Para el diseño que se plantea en esta sección se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se inicia con un mapa georreferenciado de la parroquia de Cajabamba que muestra los postes utilizados para desplegar la infraestructura de fibra óptica, para ello el despliegue de la fibra aérea en postes se realiza de acuerdo con las normativas UIT-T L.35 y UIT-T L.26 como guías de referencia para asegurar una instalación adecuada y segura.
- En la red Feeder es la parte de la infraestructura que conecta el Optical Line Terminal (OLT), se emplea un cable de fibra óptica de hasta 6 hilos que cumple con la normativa ITU G.652D. Este sistema incluye un divisor (Splitter) de proporción 1:8, lo que

significa que la señal de un hilo se distribuye en 8 salidas, de los cuales se usan 3 hilos de fibra activa para la transmisión de datos mientras que los restantes se reservan como respaldo en caso de que exista fallos en las fibras activas.

- Para la red de distribución en Cajabamba, se utilizan mangas divisoras de 1:8, estas son componentes claves en la nueva infraestructura, las mismas que permiten dividir la señal de un solo hilo de fibra óptica en varias salidas. Aquí se utilizan los cables de distribución estos cables de fibra óptica son de menor diámetro y flexibles, también se colocan cajas de distribución para organizar las conexiones de la fibra.
- La red de Dispersión se implementará NAPs como puntos intermedios que distribuirán la señal óptica, estos se colocan en lugares estratégicos dentro de la red, se conectan a los ONTs proporcionando el acceso de servicios de internet, generalmente se utiliza un cable de suspensión de 2 hilos que debe cumplir con los estándares ITU-T G.657.A1 o G.657.A2.

Para satisfacer la demanda de servicios a los usuarios de CNT EP en la parroquia de Cajabamba, es necesario conocer la demanda de crecimiento poblacional del 2% anual descrito en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Para eso es importante conocer los usuarios actuales que utilizan los diferentes servicios de CNT EP en la parroquia de Cajabamba, como se observa en la **Tabla 24**.

**Tabla 24** Usuarios y tipos de servicio

Tipo de servicios	Categoría	Número de usuarios
Residencial	Básico	133

A continuación, se calcula considerando el suministro de la demanda actual y proyectada durante un período de 5 años. Para determinar el número de usuarios requeridos para cumplir con esta demanda establecida, se realiza el siguiente cálculo de despliegue

$$D = D_0(1 + i)^t \quad (11)$$

Dónde:

$D_0$ : Demanda inicial

$i$ : Factor de crecimiento

$t$ : Tiempo considerado en años

Por lo tanto, el cálculo de demanda proyectada es:

- Para 1 año:

$$D = 133(1 + 0.02)^1$$

$$D = 135 \text{ usuarios}$$

- Para 2 años:

$$D = 135(1 + 0.02)^2$$

$$D = 140 \text{ usuarios}$$

- Para 3 años:

$$D = 140(1 + 0.02)^3$$

$$D = 149 \text{ usuarios}$$

- Para 4 años:

$$D = 149(1 + 0.02)^4$$

$$D = 161 \text{ usuarios}$$

- Para 5 años:

$$D = 161(1 + 0.02)^5$$

$$D = 178 \text{ usuarios finales}$$

Para la demanda proyectada se analizó el ancho de banda mínimo por cliente y por los 5 años dando como resultado la siguiente tabla.

$$\#usuarios \times 156.25 \text{ Mbps}$$

**Tabla 25** Demanda de ancho de banda durante los próximos 5 años

Años	Usuarios	Ancho de banda mínimo
1	135	21,093.75 Mbps
2	140	21,875 Mbps
3	149	23,281.25 Mbps
4	161	25,156.25 Mbps
5	178	27,812.50 Mbps

Para satisfacer la demanda proyectada de ancho de banda durante los próximos 5 años para 178 usuarios, se requiere una capacidad total de 27,812.50 Mbps.

La red FTTH con estándar 10G-EPON tiene una arquitectura en cascada, consta de tres partes:

**Red Feeder:** Se conecta al nodo óptico central y transporta la señal de fibra óptica a la red de distribución.

**Red de Distribución:** Se encarga de distribuir la señal óptica a la red de dispersión.

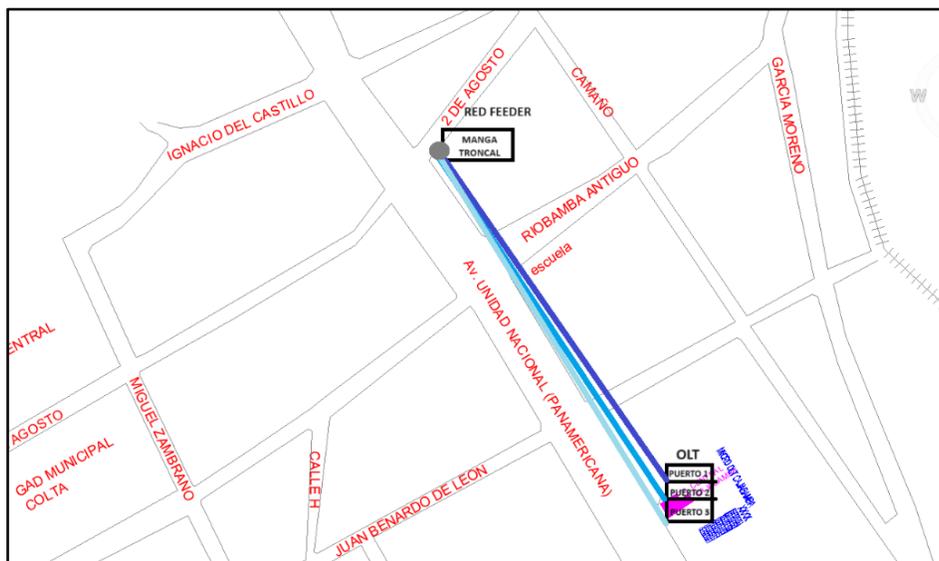
**Red de Dispersión:** Se conecta a las viviendas y proporciona el servicio de Internet a los usuarios.

#### 4.10.1 Diseño de la red feeder

Al planificar la red troncal o Feeder, es esencial considerar todos los componentes requeridos para su operatividad, tales como la infraestructura, los armarios de conexión óptica, los empalmes y las reservas. Se estableció el punto de inicio de la red de distribución, que comienza desde el OLT, conectando una manga troncal a un punto de derivación del Feeder. Para determinar el número de hilos necesarios, utilizaremos la fórmula correspondiente.

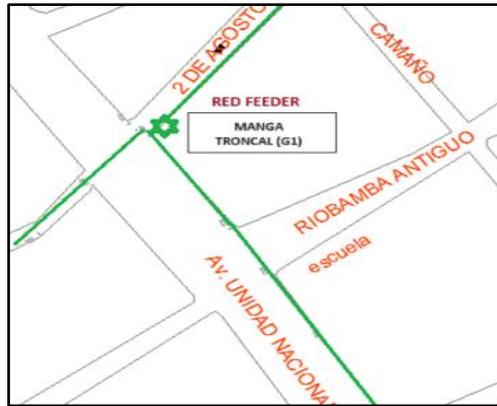
$$\# \text{ de hilos} = \frac{178 \text{ clientes finales}}{64 \text{ clientes por puerto}}$$
$$\# \text{ de hilos} = 2.78 = 3 \text{ hilos}$$

En la red Feeder es importante saber que en ésta implica la instalación de mangas, donde solo intervienen los buffers o hilos que se utilizarán en una fusión específica. Para atender este sector, se necesitarán 3 hilos o buffers, por lo tanto se utilizará 3 puertos de la OLT, considerando que cada puerto tiene un soporte de 64 usuarios. La **Figura 12** muestra el recorrido de la red Feeder, que se extiende desde la central de Cajabamba ubicado en las calles Av. Unidad Nacional (Panamericana) y Av. Del maestro hasta la manga troncal (G1) en las calles Av. Unidad Nacional y 2 de agosto, y se continuará hasta el segundo nivel de splitteo.

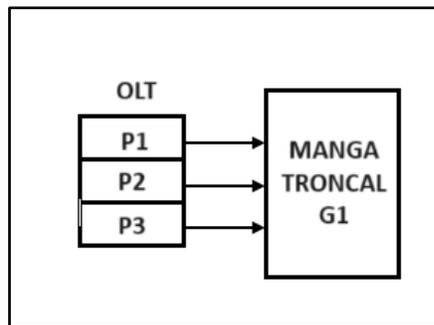


**Figura 12** Trayectoria de la red Feeder en AutoCAD

La red Feeder en la parroquia de Cajabamba consiste en cables de fibra óptica que se conectan desde el nodo óptico central hasta las cajas de primer nivel. Las cajas estarán situadas en distintas ubicaciones de la parroquia, equipadas con divisores ópticos que permiten distribuir la señal de fibra óptica a las redes de distribución y dispersión.



**Figura 13** Ubicación de la caja Manga Troncal (G1)



**Figura 14** Arquitectura de la red Feeder

La red para Cajabamba comienza desde la primera caja G1 donde los hilos de fibra 1, 2 y 3 transmiten información a las cajas (C1, C2 y C3), mientras que el hilo 4,5,6, se reserva. Es importante mencionar que para la red feeder se utiliza un cable de fibra óptica G652D en todo el primer tramo. Las especificaciones de este cable se presentan en la **Tabla 26**.

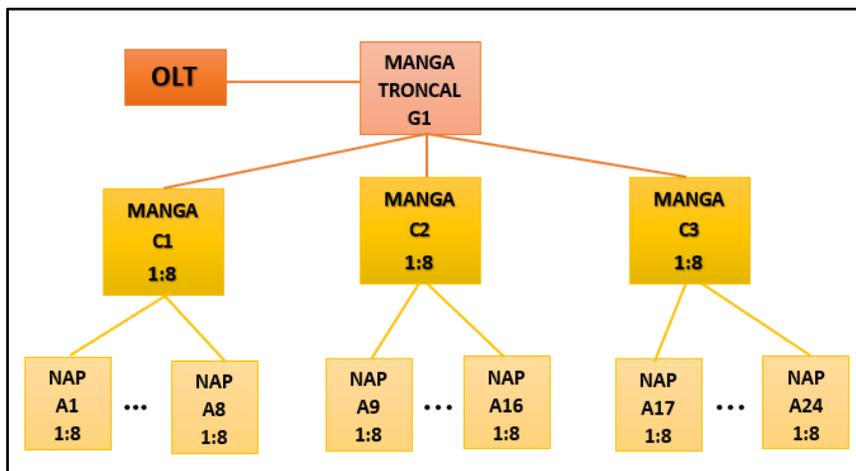
**Tabla 26** Características del cable ADSS

Tipo de fibra óptica	F.O 6 hilos Galvanizado
Número de hilos	6
Longitud de onda de corte del cable	0.1 dBm
Atenuación	0.4dB/km
Diámetro del revestimiento	125±1µm
Diámetro	10.4 x 17.4 mm
Peso	161 kg/km

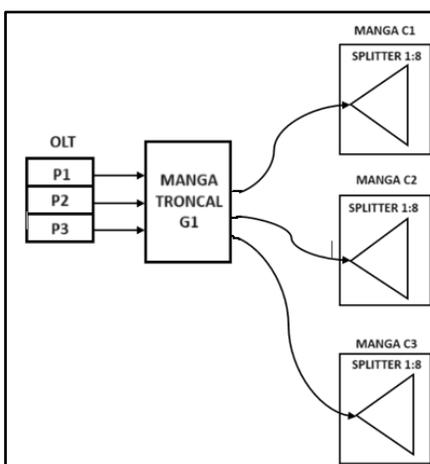
#### 4.10.2 Diseño de la red de distribución

La red de distribución se despliega desde la manga troncal de la red Feeder hasta las cajas terminales NAP, incluyendo los elementos necesarios para suministrar potencia óptica al máximo número de cajas posibles utilizando una sola fibra óptica. En la parroquia de

Cajabamba, todas las cajas NAP proyectadas estarán conectadas mediante cableado aéreo. En la **Figura 15** se observa el diagrama de bloques de la red de distribución donde se empleará un las cajas tipo mangas (C1, C2, C3) tendrá un splitteo de 1:8 para alimentar sus respectivas NAPs.



**Figura 15** Estructura de bloques de la red de distribución



**Figura 16** Topología de la red de Distribución



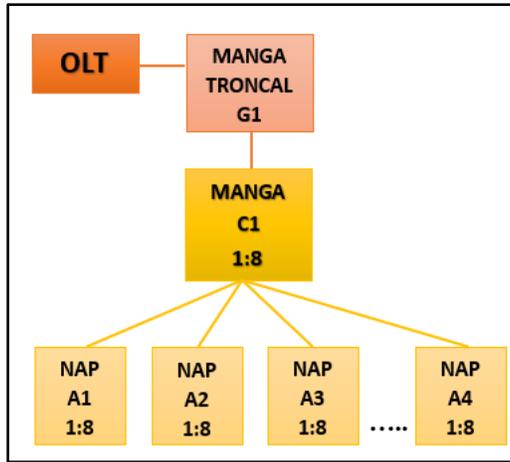


Figura 18 Estructura de bloques de red de distribución Zona 1

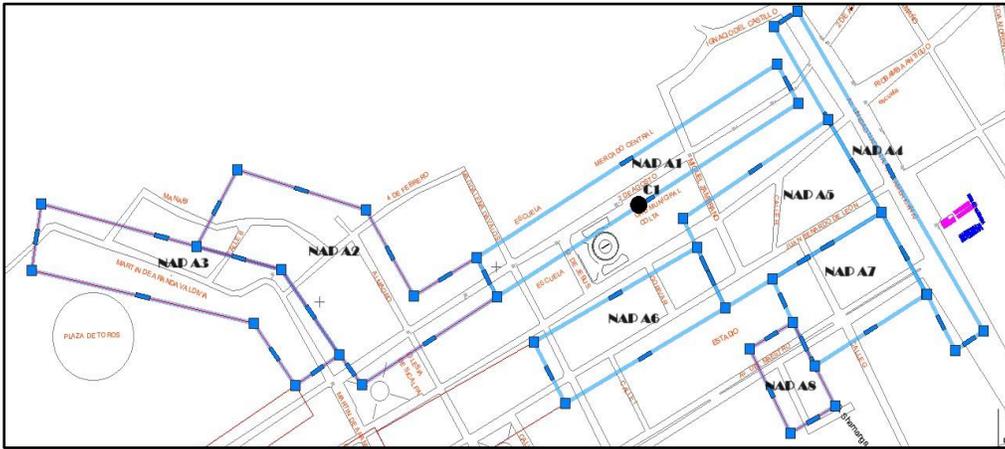


Figura 19 Red de distribución Zona 1 desde la manga C1 a las NAP(A1-A8)

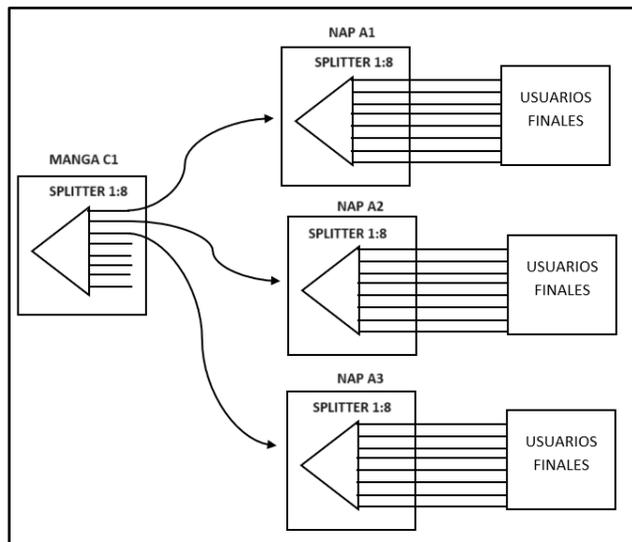
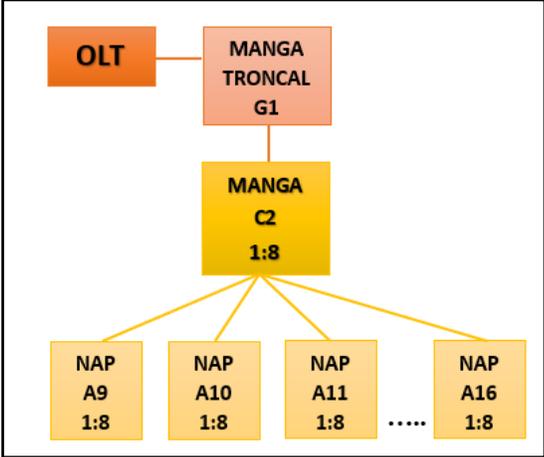
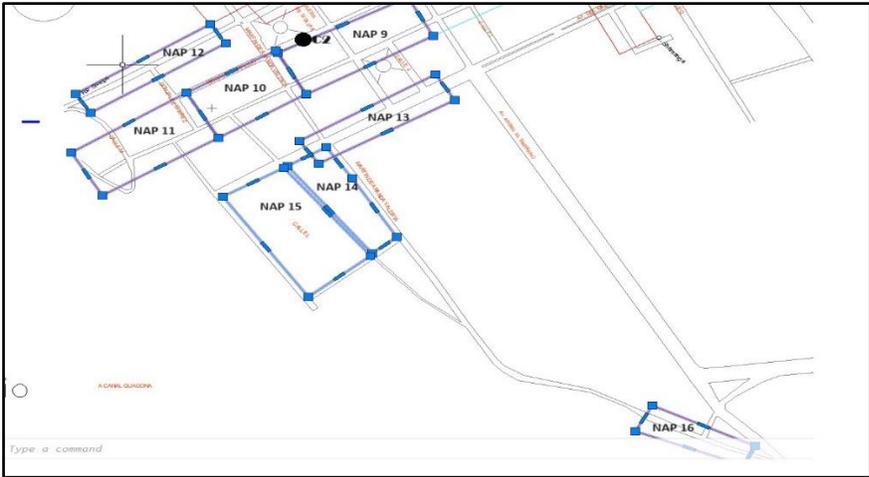


Figura 20 Topología de red de distribución Zona 1

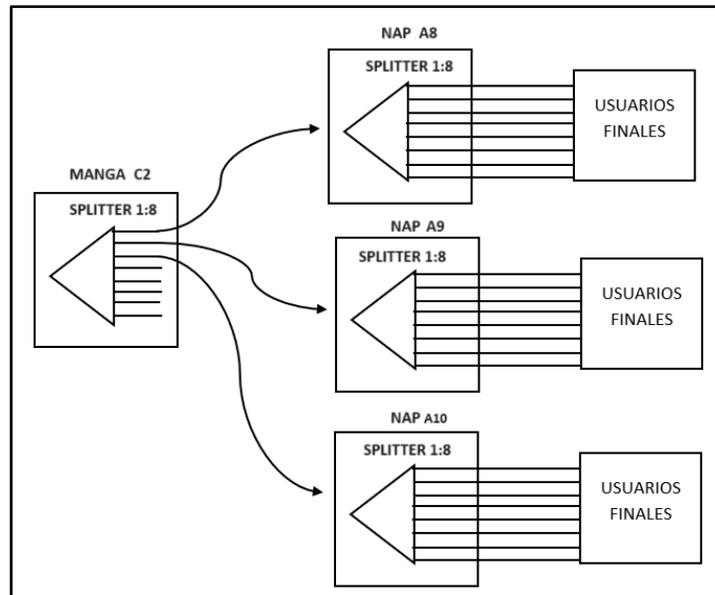
En la **Figura 21** y **Figura 22** se observa la distribución de la zona 2 en la parroquia de Cajabamba la caja C2 será asignada para distribuir a las 8 cajas tipo NAPs (A9-A16) permitiendo así la distribución de los hilos para llegar al usuario final lo podemos apreciar en el siguiente diagrama de bloques.



**Figura 21** Estructura de bloques red de distribución Zona 2

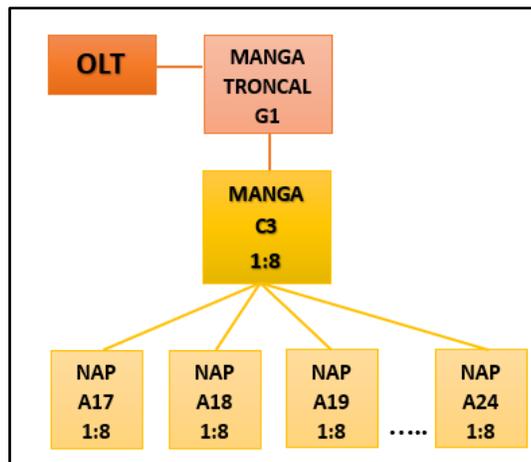


**Figura 22** Red de distribución Zona 2 desde la manga C2 a las NAP(A9-A16)

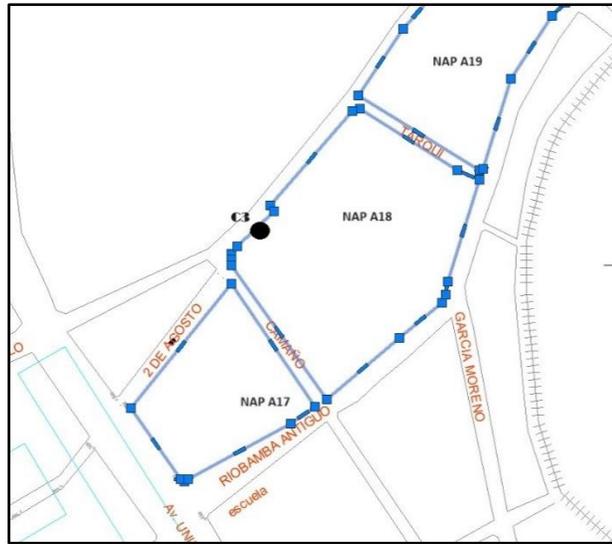


**Figura 23** Topología de la red de distribución Zona 2

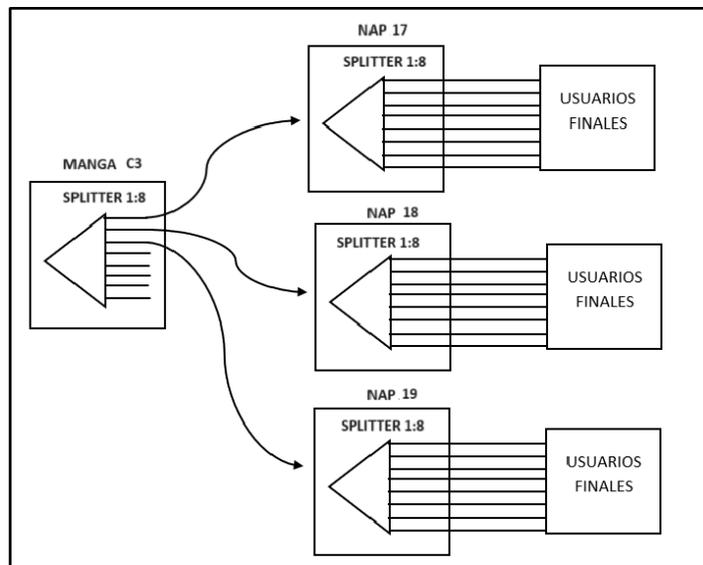
En la **Figura 24** y **Figura 25** se observa la distribución de la zona 3 de la parroquia de Cajabamba en la distribución se usa la caja C3 para las 8 cajas tipo NAP's (A17 - A24) lo observamos en el siguiente diagrama de bloques.



**Figura 24** Estructura de bloques de la red de distribución Zona 3



**Figura 25** Red de distribución Zona 3 desde la manga C3 a las NAP(A17-A24)



**Figura 26** Topología de la red de distribución Zona 3

Todas las cajas tienen una doble función de alojar el segundo nivel de división 1:8 para atender a los clientes asociados a cada caja y permitir el paso de los hilos libres sin necesidad de cortarlos ni fusionarlos, hacia las demás cajas. Las cajas C1, C2 y C3 también actúan como mangas de empalme, permitiendo dividir la red en diferentes trayectorias. En la **Tabla 27** se observa la red de distribución en la parroquia de Cajabamba.

**Tabla 27** Red de distribución parroquia de Cajabamba

RED DE DISTRIBUCIÓN PARROQUIA DE CAJABAMBA				
Puerto OLT	# de hilos	Cajas que alimenta	Cant. De Cajas	Cant. De Clientes
-	6 hilos	G1, C1, C2, C3	4	--
1	8 hilos	A1.....A8	8	64
2	8 hilos	A9.....A16	8	64
3	8 hilos	A17.....A21	8	64
TOTAL			24	192

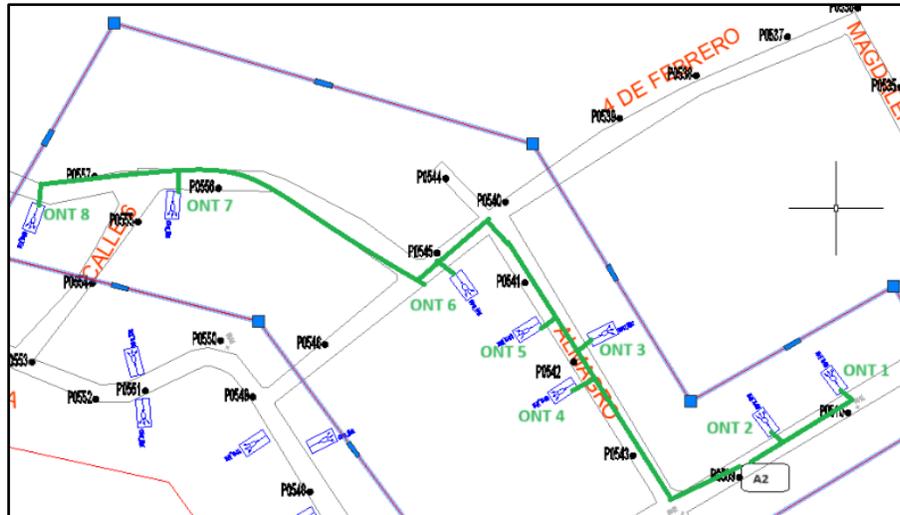
### 4.10.3 Diseño de la red de dispersión

La red de dispersión es la que enlaza la caja NAP con la ONT del usuario final. Esta red se compone de cables de fibra óptica que, generalmente, se instalan en la parte exterior de los edificios, utilizando ganchos o tensores especialmente diseñados para este propósito.



**Figura 27** Red de dispersión en AutoCAD

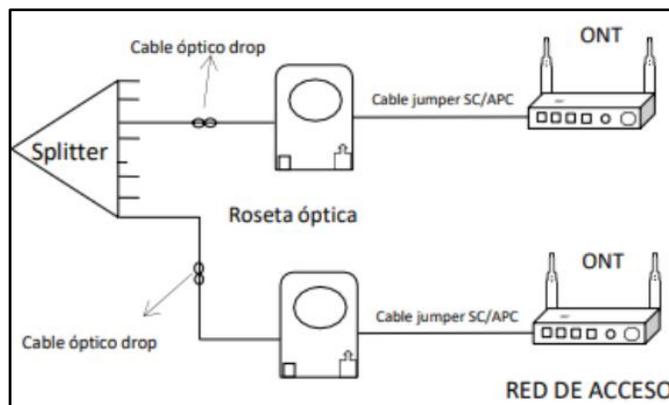
Para la red de dispersión se usa cable DROP monomodo G.657 A1/A2 aéreo, que es flexible y se adapta a ángulos cerrados sin problemas. Dentro del domicilio, el cable DROP se fusiona con un pigtail de la roseta óptica, proporcionando al usuario final un punto de conexión.



**Figura 28** Red de Dispersión desde la caja NAP hasta usuarios finales (ONT)

Es importante señalar que las cajas NAP no se llenarán completamente con los 64 usuarios. En áreas con mayor densidad de población, cada NAP se asignará a entre 5 y 6 usuarios, con una estimación de alcanzar 45 usuarios en total. Esto se hace para evitar la saturación de las NAP y dejar espacio disponible para futuros usuarios. En el ANEXO C se observa el diagrama esquemático completo de la red 10G-EPON.

Según la normativa para redes de fibra óptica, todos los conectores, pigtails, acopladores y splitters deben ser de tipo SC y pulido APC para minimizar pérdidas. Para el acceso al hogar, se requiere una ONT para el abonado, usando materiales básicos como se ilustra en la figura siguiente.



**Figura 29** Diseño de la red de acceso en abonados.

**Fuente:** [53]

Para satisfacer la demanda de servicios en los hogares, se eligió una ONT con dos características esenciales: cuatro puertos Giga Ethernet para maximizar la velocidad de conexión y compatibilidad con el estándar IEEE 802.11b para ofrecer acceso Wi-Fi en todo el hogar.

## 4.11 Presupuesto de potencia óptica

El presupuesto de potencia óptica es la pérdida máxima que un enlace puede tolerar antes de que la señal se debilite demasiado. Para calcularlo, se deben considerar las pérdidas de todos los componentes de la red, como ODFs, conectores, fusiones y divisores. Para el cliente más lejano, se consideran las pérdidas máximas en la ODN para asegurar que la señal llegue con suficiente potencia. Para el cliente más cercano, se consideran las pérdidas mínimas para evitar la saturación del receptor. El cálculo se realiza sumando las pérdidas de todos los componentes, que dependen del número de puertos y la longitud de onda utilizada. A continuación se muestra los siguientes cálculos:

- **Cliente más lejano:** *Presupuesto de potencia óptica = Potencia de transmisión mínima - Pérdidas de la red*
- **Cliente más cercano:** *Presupuesto de potencia óptica = Potencia de transmisión máxima - Pérdidas de la red*

Para el cálculo de del presupuesto de la potencia se debe considerar los parámetros expuestos en la **Tabla 28**.

**Tabla 28** Atenuaciones de la red.

Parámetro	Canales de transmisión	Valor de Atenuación
<b>FIBRA ÓPTICA</b>	Canal de subida (1260 nm-1280 nm)	0.40 dB/km
	Canal de subida (1310 nm)	0.40 dB/km
	Canal de bajada (1577 nm)	0.2 dB/km
	Canal de video (1555nm)	0.2 dB/km
<b>EMPALME</b>	Canal de subida (1260 nm-1280 nm)	0.13 dB/km
	Canal de subida (1310 nm)	0.1 dB/km
	Canal de bajada (1577 nm)	0.05 dB/km
	Canal de video (1555nm)	0.05 dB/km
<b>CONECTORES</b>	Canal de subida (1260 nm-1280 nm)	0.5 dB/km
	Canal de subida (1310 nm)	0.5 dB/km
	Canal de bajada (1577 nm)	0.35 dB/km
	Canal de video (1555nm)	0.35 dB/km
<b>SPLITTER</b>	Splitter de 1:2	3.5 dB
	Splitter de 1:4	7.0 dB
	Splitter de 1:8	9 o 10.5 dB
	Splitter de 1:16	14 dB
	Splitter de 1:32	17.5 dB
	Splitter de 1:64	21 dB
<b>MARGEN DE GURADA</b>		3-5 dB

**Fuente:** [36] [23]

### 4.11.1 Presupuesto de Pérdida Óptica del Usuario Más Lejano

Para el cálculo del presupuesto óptico se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones, tomando en cuenta que la atenuación máxima de la red está comprendida desde los -29dB a -33dB ese valor es permitido por la IEEE 802.3av.

El usuario más lejano a la OLT se encuentra en la distribución de la caja principal C3, NAP A24 a una distancia de 1178.61m a esto tenemos que agregar 60 metros de reserva ya que por cada 500 metros de fibra debemos de dejar 30 metros de reserva, a esto le agregaremos 5 fusiones, 5 conectores considerando los dos conectores del Patch Cord, tomando en consideración los dos niveles de Splitteo, en la **Figura 30** se muestra los puntos de fusión y conectores existentes en la red de usuario más lejano.



**Figura 30** Red de usuario más lejano

La atenuación total ( $A_t$ ) estará dada por la suma de todas las pérdidas existentes en la red.

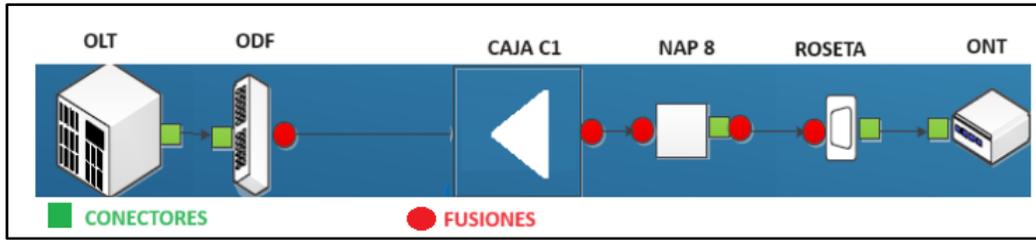
**Atenuación  $T$  ( $A_t$ )** = Atenuación de FO ( $A_{fo}$ ) + Atenuaciones por splitters ( $A_s$ ) + Atenuaciones por fusiones ( $A_f$ ) + Atenuaciones por conectores ( $A_c$ ) + margen de guarda ( $M_g$ )

$$Atenuación T (At) = \left( \frac{1238.61}{1000} * 0.2dB/km \right) + (21dB) + (5)(0.05dB/km) + (5)(0.35dB/km) + 3dB$$

$$Atenuación T (At) = 26.25dB$$

### 4.11.2 Presupuesto de Pérdida Óptica del Usuario Más Cercano

El usuario más cercano a la OLT se encuentra en la distribución de la caja principal C1, NAP A8 a una distancia de 46.66m se le añadió también 5 metros que corresponde a los 2 Patch Cord ubicados a cada extremo de la red y un pigtail. a esto le agregaremos 5 fusiones, 5 conectores considerando los dos conectores del Patch Cord, tomando en consideración los dos niveles de Splitteo, en la **Figura 31** se muestra los puntos de fusión y conectores existentes en la red de usuario más cercano



**Figura 31** Red de usuario más cercano

Se aplica la misma fórmula que se utilizó para el usuario más lejano:

$$\text{Atenuación } T (At) = \left( \frac{51.66}{1000} * 0.2dB/km \right) + (21dB) + (5)(0.05dB/km) + (5)(0.35dB/km) + 3dB$$

$$\text{Atenuación } T (At) = 26 \text{ dB}$$

El cálculo del presupuesto de potencia óptica es esencial para garantizar que la señal recibida tenga suficiente potencia para ser detectada correctamente. Este cálculo implica sumar la potencia de transmisión del transmisor (en este caso, 5 dBm) y restar las pérdidas esperadas en el medio óptico del usuario más lejano y cercano que anteriormente se calculó. Siendo de esa manera el presupuesto de potencia óptica en este caso será igual a las atenuaciones ópticas del usuario más lejano y cercano. Como se observa a continuación:

$$Prx \leq Ptx - \alpha \text{ total}$$

Donde:

$Prx$  = Potencia mínima/máxima del transmisor óptico

$Ptx$  = Potencia mínima de sensibilidad de recepción del equipo.

$\alpha \text{ total}$  = Valor total de pérdidas

**Cliente más lejano:**

$$Prx \leq Ptx - \alpha \text{ total}$$

$$-30 \leq 5 \text{ dbm} - 26.24$$

$$\mathbf{-30 \leq -21.24}$$

**Cliente más cercano:**

$$Prx \leq Ptx - \alpha \text{ total}$$

$$-30 \leq 5 \text{ dbm} - 26$$

$$\mathbf{-30 \leq -21}$$

Los valores obtenidos para la atenuación y el balance de potencia son adecuados, ya que se ajustan a las especificaciones de la IEEE 802.3av. Esto garantiza una transmisión eficiente y confiable, asegura la compatibilidad de los componentes de la red, y proporciona márgenes de seguridad necesarios para un rendimiento sólido en diversas condiciones operativas.

#### **4.12 Viabilidad económica de la red de fibra óptica con tecnología 10G-EPON**

Se evalúa la infraestructura actual de la red de cobre en la parroquia de Cajabamba, en el cantón Colta, donde 178 usuarios forman parte de la red. Para el presupuesto referencial se agrupo por

separado los costos de los equipos activos y pasivos. Los costos utilizados para este proyecto fueron tomados de proformas de costos unitarios por equipos, de empresas ecuatorianas y extranjeras dedicadas a ventas de equipos de telecomunicaciones.

#### 4.12.1 Presupuesto de elementos activos de la red 10G-EPON

**Tabla 29** Costos totales de equipos activos

<b>Presupuesto para equipos activos 10G-EPON</b>					
<b>Dispositivo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Coste c/u</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>
ONU	OptiXstar HN8346X6	Huawei	\$ 230	178	\$40.940
Módulo Transceptor ONU	10GEPON-ONU-ASC	Fibermall	\$ 28	178	\$4.984
OLT	V3600D8	V.SOL	\$2.400	1	\$2.400
Módulo Transceptor OLT	10GEPON-OLT-XAS	Fibermall	\$224.5	3	\$675
Multiplexor	HL-CWDM Mux-XXXX	Hilinky	\$295	1	\$295
<b>Total</b>					<b>\$49.294</b>

**Tabla 30** Costos totales de elementos pasivos de la red

<b>Presupuesto para elementos pasivos 10G-EPON</b>			
<b>Dispositivo</b>	<b>Coste c/u</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>
<b>Para Red Feeder</b>			
Fibra óptica ADDS 4 hilos G652D (2km)	\$ 340	3	\$1.020
ODF de 24 Puertos SC/APC GTE-ODF-2U-24	\$5000	1	\$5.000
Caja NAP IP165 de distribución (Incluye herraje TIPO A)	\$200	3	\$600
Abastecimiento y Distribución de Splitter para Fusión (1:8 MANGA)	\$50	3	\$150
Armado de caja de empalme	\$20	3	\$60
<b>Para Red de distribución</b>			
Fusión de Fibra Óptica (1 Hilo manga)	\$20	9	\$180
Colocación de caja de Distribución NAP (Incluye Herraje Tipo A Y Herraje Tipo B)	\$100	3	\$300
Fibra Óptica tipo DROP de 2 Hilos monomodo G.657 A1/A2 (2 Km)	\$300	20	\$6.000
Herraje tipo B Fibra Óptica + perno de ajuste	\$10	8	\$80
<b>Para Red de Dispersión</b>			
Suministro y Colocación de Patch Cord Dúplex FC/APC-SC/APC	\$20	178	\$3.560

de 5 m. G.652D			
Suministro y Colocación de Roseta Óptica de 2 hilos de Fibra, incluye 2 adaptadore SC/APC, 2 Manguitos de protección de empalme.	\$15	178	\$2.670
Suministro y Colocación de Conector Mecánico SC/APC	\$20	8	\$160
Suministro y Tendido de Cable de Fibra Óptica para interior, plana, 2 hilos, con cable mensajero G.657A (DROP)	\$300	25	\$7.500
<b>TOTAL</b>			<b>\$27.280</b>

#### 4.12.2 Presupuesto total de la red 10G-EPON

El presupuesto total de la red diseñada está conformado por la suma de los equipos o elementos Activos y Pasivos, esta se puede observar en la **Tabla 31**.

**Tabla 31** Presupuesto total de la red

Elementos de la red	Costos
<b>Pasivos</b>	\$27.280
<b>Activos</b>	\$49.294
<b>Otros costos</b>	\$3.000
<b>Total</b>	<b>\$79.574</b>

#### 4.13 Cálculo de rentabilidad económica del proyecto

Una manera de evaluar la rentabilidad económica de un proyecto es calcular el índice de rentabilidad (IR), que compara el valor presente de los ingresos futuros con la inversión inicial. En este caso, la inversión inicial para la red FTTH es de \$79.574.00.

El IR ayuda a determinar si el proyecto de inversión es rentable, mediante la siguiente fórmula (5):

$$IR = \frac{\sum VP(Fcj)}{I_0}$$

Dónde:

- $\sum VP(Fcj)$ : Sumatoria del valor presente de todos los flujos de caja “j”
- $I_0$ : Inversión inicial realizada

El valor presente de los flujos de caja futuros se describe como la relación entre el flujo de efectivo neto y el valor actual, por lo cual la fórmula (6) para encontrar el valor presente de los flujos de caja futuros es [28]:

$$VP(Fcj) = \frac{Fcj}{(1 + Td)^n}$$

Dónde

- **F<sub>cj</sub>**: Flujos de caja “j”
- **T<sub>d</sub>**: Tasa de descuento
- **n**: Representa el periodo en el cual se genera el flujo de caja

Para el cálculo de la rentabilidad económica de la red FTTH con estándar 10G-EPON, es importante tener en cuenta los ingresos y egresos que se espera una vez que la red este en función. En base a la encuesta realizada y precios de distintos proveedores de servicio de internet, se estima que el precio mensual del servicio de internet para los usuarios de CNT EP de la parroquia de Cajabamba seria de \$30 dólares.

**Tabla 32** Ingresos

INGRESOS	
Tarifa Mensual	\$30
Número de usuarios	178
<b>Ingreso mensual</b>	<b>\$5.340</b>
<b>Ingreso anual</b>	<b>\$64.080</b>

**Tabla 33** Egresos

EGRESOS	
Luz	\$50
Agua	\$20
Combustible	\$50
Alquiler	\$200
Trabajadores	\$1.380
<b>Egresos mensuales</b>	<b>\$1.700</b>
<b>Egresos anuales</b>	<b>\$20.400</b>

Para calcular el índice de rentabilidad de la red FTTH con 10G-EPON, se proyectarán los ingresos y egresos durante 5 años. En el año 0, solo se considerará la inversión inicial sin ingresos ni egresos.

**Tabla 34** Rentabilidad de la red FTTH con 10G-EPON

AÑO	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE EFECTIVO NETO	VALOR ACTUAL
Año 0	-	-	-\$79.574	-\$79.574
Año 1	\$64.080	\$20.400	\$43.680	-\$35.894
Año 2	\$64.080	\$20.400	\$43.680	-\$7.786
Año 3	\$64.080	\$20.400	\$43.680	\$51.466
Año 4	\$64.080	\$20.400	\$43.680	\$95.146
Año 5	\$64.080	\$20.400	\$43.680	\$138.826

En esta **Tabla 34** se observan los valores actuales de los flujos de caja proyectados para un período de 5 años. Al sumar estos valores, obtenemos un valor de \$138.826.00.

$$IR = \frac{\sum VP(Fc_j)}{I_0}$$

$$IR = \frac{\$138.826,00}{\$79.574,00}$$

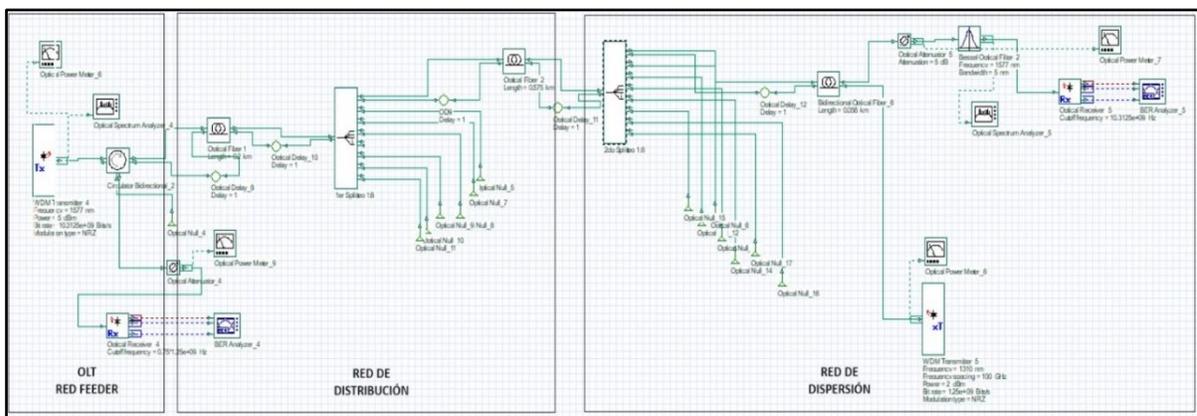
$$IR = 1.7$$

Si el índice de rentabilidad es mayor a 1, significa que el proyecto es rentable, ya que el valor presente de los flujos de caja futuros es mayor que la inversión inicial, caso contrario si es menor a 1 el proyecto no es rentable.

#### 4.14 Simulación de la red FTTH mediante OptiSystem

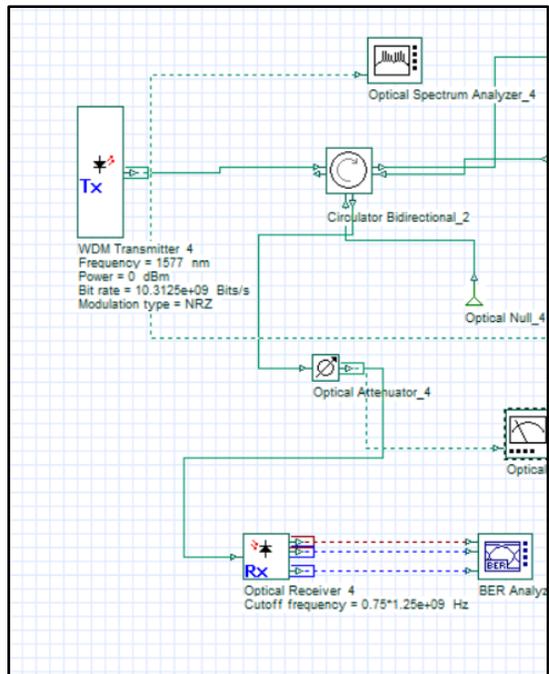
Para realizar el rendimiento de la red 10G-EPON en la parroquia de Cajabamba, se utilizó el software OptiSystem, este es un simulador se basa en el modelado de la tecnología de comunicaciones ópticas , posee un entorno de simulación de gran alcance, jerarquía de componentes y sistemas.

En esta sección se detalla los elementos utilizados para la red 10G-EPON de la misma manera se muestra las gráficas de los analizadores y visualizadores de la señal recibida al equipo ONU del usuario más lejano y cercano.



**Figura 32** Simulación de la red FTTH 10G-EPON en OptiSystem

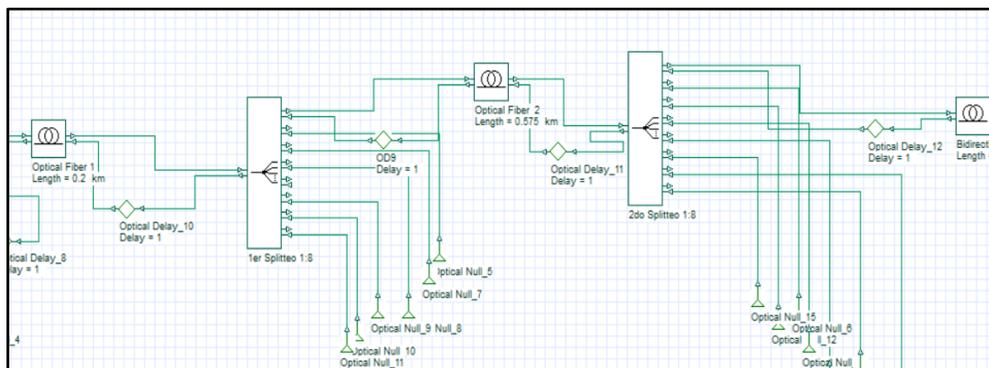
En la **Figura 32** se observa el diseño de la red donde se consideró tres escenarios antes mencionados: Red Feeder, Red de Distribución y Red de dispersión o acometida, los cuales se observan en la simulación en los canales downstream (1577 nm) que trabaja a 10.3125 Gbps y upstream (1310nm) a 1.25 Gbps.



**Figura 33** Simulación de la OLT FEEDER en OptiSystem

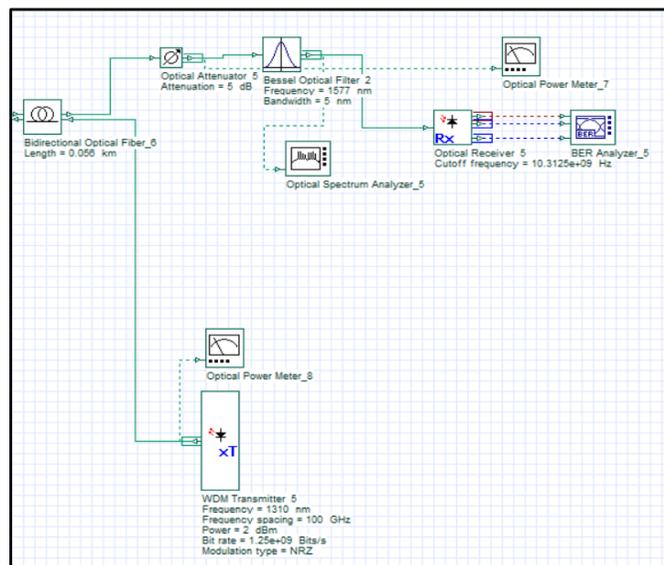
Para la creación de la OLT se puede observar en la **Figura 33** se utilizó el transmisor WDM de un solo canal lo cual permite configurar parámetros como longitud de onda de 1577nm, potencia de transmisión de 5dBm, la velocidad de transmisión de 10.3125 Gbps tiene un tipo de modulación NRZ , su función principal será enviar datos desde la OLT hacia las ONUs/ONTs, también se observa un circulator óptico el cual ayuda a la separación de señales que viajan en sentido diferente mejorando el rendimiento del sistema.

Se observa también un receptor de señal que normalmente opera en la frecuencia de 1270 nm o 1310 nm para las señales ascendentes a la velocidad de 1.25 Gbps que utiliza un fotodetector tipo APD ya que tiene ventajas como alta sensibilidad, una ganancia interna debido a su mecanismo de avalancha mejorando la relación señal/ruido, su función será recibir los datos enviados desde las ONUs/ONTs hacia la OLT.



**Figura 34** Simulación de la red de distribución en OptiSystem

En la **Figura 34** se observa la construcción la red de distribución se utilizó los componentes la fibra bidireccional para la simulación la cual representa a una fibra G.652D para transportar las señales ópticas tanto en manera ascendente como descendente se configura la atenuación para las longitudes de onda usadas 0.4 dB/km para 1310 nm y 0.25 dB/km para 1577nm, también se configura la distancia con el valor de 0.2 km. Splitter bidireccional de 1:8 en el primer y segundo nivel de splitteo ya que ayuda con la distribución de la señal óptica dividiendo la señal óptica entrante y la divide en N señales iguales para así distribuir desde la OLT hasta las ONUs se configura los parámetros del splitter con una pérdida de inserción de 10.5dB. Se coloca delay ópticos para separar temporalmente las señales reduciendo interferencia ya que se simula una red con múltiples usuarios.



**Figura 35** Simulación de la ONU en OptiSystem

En la **Figura 35**, muestra la construcción de la ONU tanto para transmisión como para recepción que permite que se comuniquen con las OLT a través de la fibra óptica, se utilizó un transmisor WDM que utiliza una longitud de onda de 1310 nm para la transmisión ascendente. Y en la parte de recepción de una ONU utiliza una longitud de onda de 1577 nm para la transmisión descendente.

## CAPÍTULO IV

### 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

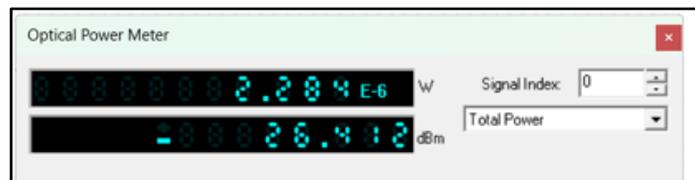
#### 5.1 Resultados obtenidos de la simulación en OptiSystem

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la simulación se observa diagrama de ojo, diagrama BER para los enlaces ascendente como descendente del cliente más lejano y cercano. Estos resultados se exponen a partir de una demostración experimental de acuerdo con las no linealidades de Kerr y Raman que pueden variar e influir de diversas formas como por ejemplo la potencia de transmisión, la longitud del enlace óptico y la separación entre canales, estos parámetros se consideraron con el fin de evaluar el rendimiento de la red FTTH con estándar 10G-EPON en la parroquia de Cajabamba.

En la simulación se utilizó la longitud del enlace óptico y la potencia óptica de transmisión para el usuario más lejano y cercano. Los datos utilizados en la simulación fueron los siguientes:

##### 5.1.1 Usuario lejano

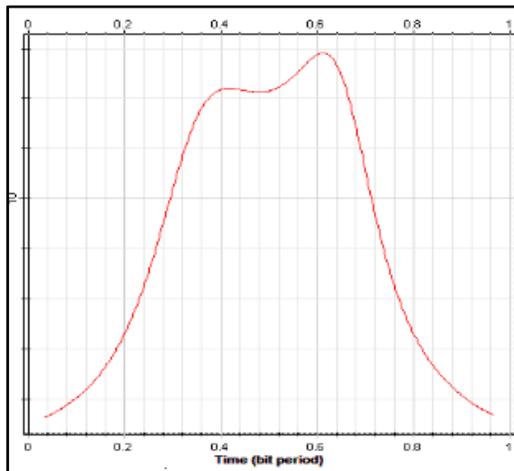
Los efectos de la fibra óptica como las no linealidades y dispersión cromática tienen un impacto significativo en el rendimiento del sistema, esto puede provocar variaciones en la tasa de errores de bits (BER) y la potencia recibida. Se tiene que tomar en cuenta las pérdidas de inserción a lo largo del enlace óptico desde la OLT hasta el usuario más lejano también incluye lo que es conectores, empalmes y la atenuación por divisores. Debemos asegurarnos de que la potencia transmitida desde la OLT sea suficiente para alcanzar al usuario más lejano con el margen de seguridad adecuado. Tomando en cuenta que se transmitió una potencia óptica de 5dBm lo cual no puede superar los -30 dBm.



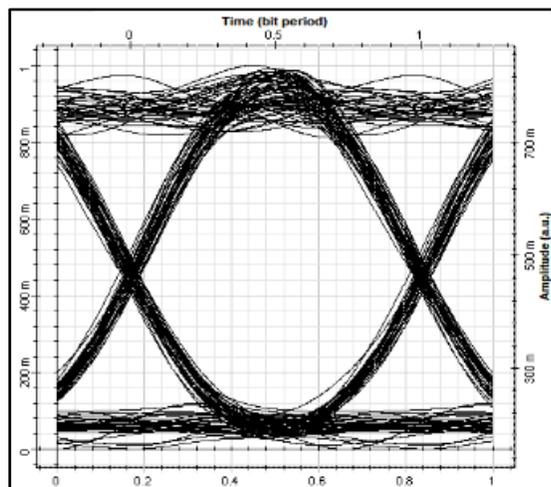
**Figura 36** Potencia recibida en la ONU del usuario lejano a 1.238 km downstream y upstream

Los valores medidos de la potencia óptica recibida fueron muy similar al resultado teórico calculado en ambos casos, sin embargo el receptor elegido de este proyecto tiene una sensibilidad de recepción de -28 dBm lo cual indica que está dentro del rango admitido por lo tanto el resultado es adecuado.

En la **Figura 37** y **Figura 38** se observa el diagrama BER y de ojo los cuales permiten visualizar la calidad de la señal obtenida la apertura amplia del diagrama de ojo indica una buena señal con un factor Q máximo de 15.7382 por lo que indica que tiene una alta calidad de señal óptica transmitida, lo mismo se puede decir del diagrama BER con un valor mínimo de  $9.36826 \times 10^{-057}$  indica que tiene una capacidad alta para transmitir datos a velocidades de hasta 10Gbps.



**Figura 37** BER de la ONU del usuario lejano a 1.238 km downstream



**Figura 38** Diagrama de ojo de la ONU del usuario lejano a 1.238 km downstream

### 5.1.2 Usuario cercano

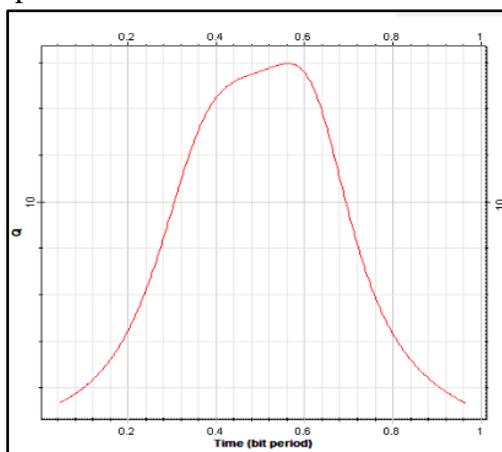
Para el usuario más cercano se calculó la potencia óptica de recepción y el mínimo BER. De la misma manera que en el usuario lejano se tiene que tomar en cuenta las pérdidas de inserción a lo largo del enlace óptico desde la OLT hasta el usuario más cercano también incluye lo que es conectores, empalmes y la atenuación por divisores.



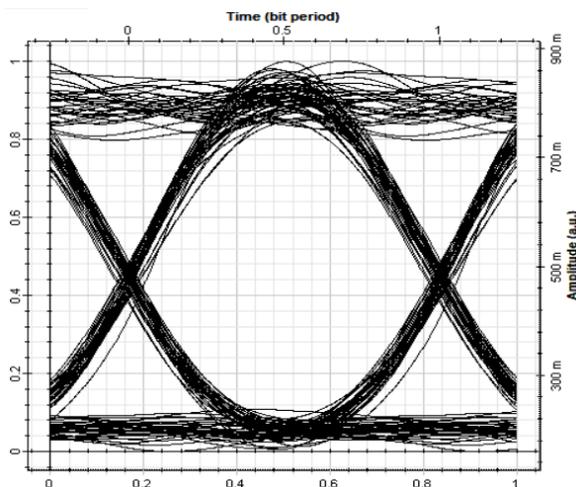
**Figura 39** Potencia recibida en la ONU del usuario cercano a 0.056 km downstream y upstream

En la **Figura 40** y **Figura 41** se observa el diagrama BER y de ojo donde la apertura amplia del diagrama de ojo indica una buena señal con un factor Q máximo de 15.861 por lo que indica

que tiene una alta calidad de señal óptica transmitida, lo mismo se puede decir del diagrama BER con un valor mínimo de  $1.365 \cdot 10^{-57}$  indica que tiene una capacidad alta para transmitir datos a velocidades de hasta 10Gbps.



**Figura 40** BER de la ONU del usuario cerca a 0.056 km downstream



**Figura 41** Diagrama de ojo de la ONU del usuario cerca a 0.056 km downstream

En ambos casos tanto para el usuario más cercano y lejano los resultados de las potencias obtenidas en la simulación coinciden con los cálculos teóricos, en cuanto a los parámetros de los diagramas de ojo aunque no existe un valor máximo universalmente establecido por lo general un factor Q alto indica que hay una mejor calidad de señal, sin embargo un buen objetivo sería alcanzar valores superior a 6, en cuanto al mínimo BER se busca alcanzar un BER lo más bajo posible, con estos datos podemos decir que la red FTTH con el estándar 10G-EPON puede funcionar de una manera eficaz.

## 5.2 Simulación de la red FTTH en GNS3

GNS3 es una herramienta que permite desarrollar múltiples propósitos en el ámbito de redes, se puede simular redes y que permite a los usuarios crear y probar redes virtuales antes de

implementarlas así minimizando errores y fallos. Mediante esta simulación se podrá observar el ancho de banda disponible para los usuarios.

Para esto primero se determina la cantidad de hosts necesarios para la subred en este caso será de 178 dispositivos, una vez que sabemos el número de hosts calculamos la máscara de subred la cual define el número de bits que se utiliza para la dirección de red y la cantidad de direcciones para host. En este caso vamos a trabajar con una red de clase C que tiene una máscara por defecto de 255.255.255.0, esta red de clase C tiene 256 direcciones posibles, sin embargo dos de ellas se utilizan para la red y la otra para broadcast dejando así 254 direcciones disponibles para host.

Las direcciones utilizables se calculan mediante  $2^n - 2$  donde  $n$  es el número de bits disponibles para hosts en la subred, como se necesitan al menos 178 direcciones se resolvería:

$$2^n - 2 \geq 178$$

$$2^n \geq 180$$

$$n = 8$$

Lo que da como resultado que necesitamos al menos 8 bits para los host, lo cual deja 16 bits para la porción de red, entonces se comprueba que la máscara subred es /24.

**Red:** 192.168.3.0

**Máscara subred:** 255.255.255.0

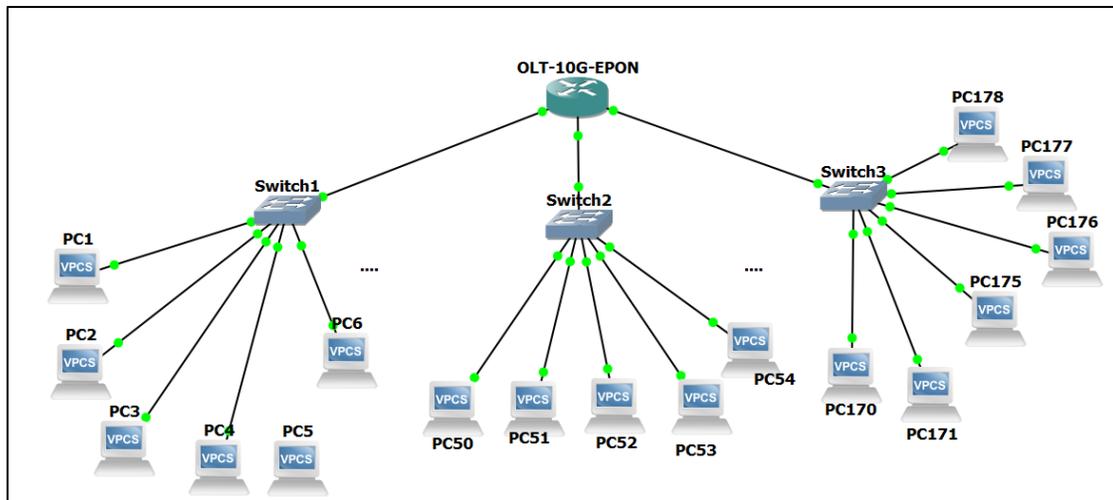
**Rango de direcciones disponibles:** 192.168.3.1 – 192.168.3.254

Esto permitirá la configuración de hasta 254 dispositivos en la misma subred. Se puede asignar las siguientes direcciones IP a los dispositivos de red de la siguiente manera:

**Tabla 35** Asignación de IP

Host	Ip
Host 1	192.168.3.2
Host 2	192.168.3.3
Host 3	192.168.3.4
Host 4	192.168.3.5
.....	.....
Host 178	192.168.3.178

### **Configuración de GNS3 para Visualizar la Configuración de un Router desde una PC**



**Figura 42** Topología de la red FTTH en GNS3

Primero se agrega un router en GNS3, el cual se conecta al switch mediante un enlace que se puede crear en GNS3, siguiente se conecta y configura las ip de las PC. Se accede al router mediante el comando enable y se asignan las ip en las interfaces utilizadas o que se encuentran conectadas con las PC, si la PC tiene la IP 192.169.3.4, se puede observar la configuración del router OLT-10G-EPON:

```

OLT-10GEPON#show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

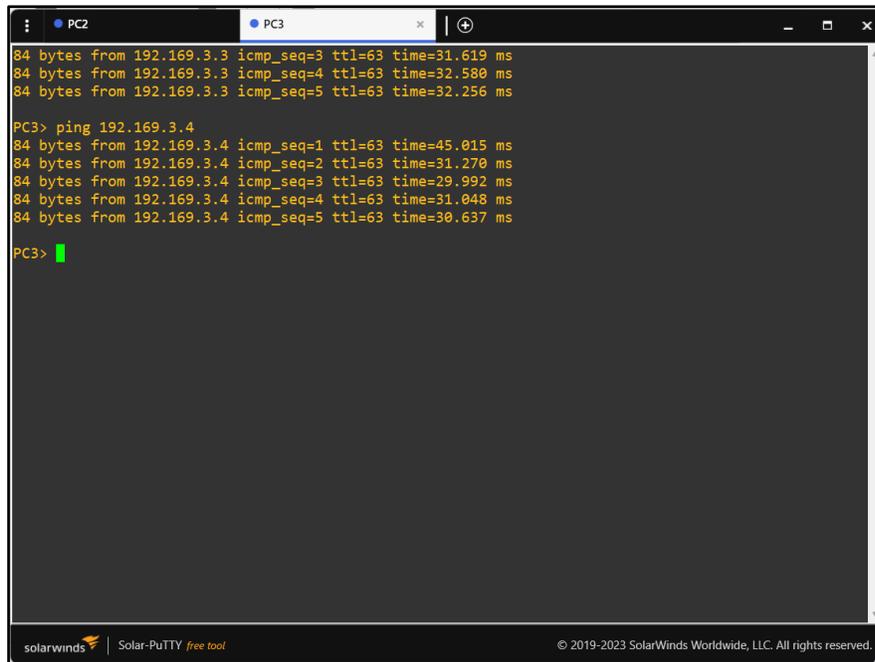
    192.168.3.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.3.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L       192.168.3.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
    192.169.3.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.169.3.0/24 is directly connected, GigabitEthernet1/0
L       192.169.3.1/32 is directly connected, GigabitEthernet1/0
OLT-10GEPON#

```

**Figura 43** Configuración del Router OLT-10GEPON

### 5.2.1 Resultados de la simulación en GNS3

Se procede a realizar un ping a la IP 192.169.3.4 para verificar si la transmisión de datos es correcta.



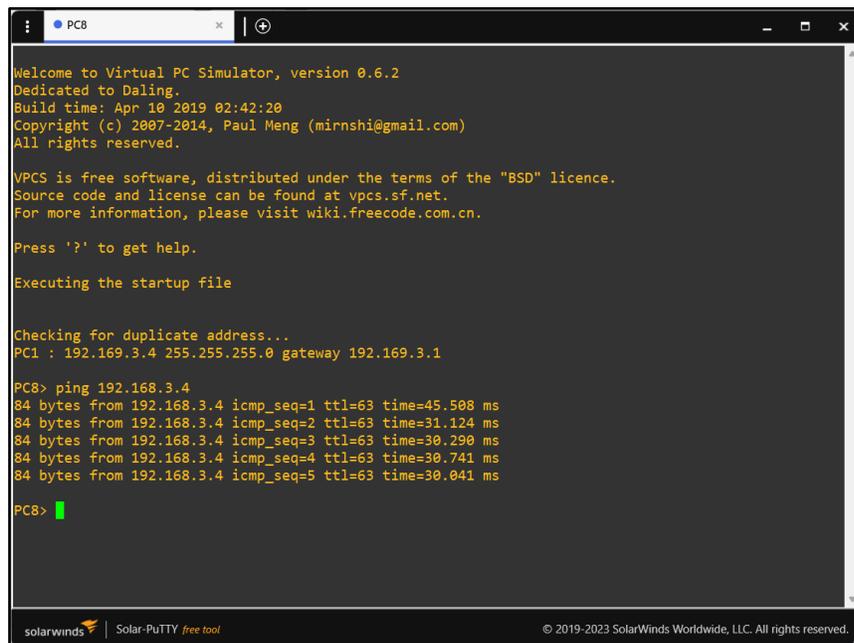
```
PC2
PC3
84 bytes from 192.169.3.3 icmp_seq=3 ttl=63 time=31.619 ms
84 bytes from 192.169.3.3 icmp_seq=4 ttl=63 time=32.580 ms
84 bytes from 192.169.3.3 icmp_seq=5 ttl=63 time=32.256 ms

PC3> ping 192.169.3.4
84 bytes from 192.169.3.4 icmp_seq=1 ttl=63 time=45.015 ms
84 bytes from 192.169.3.4 icmp_seq=2 ttl=63 time=31.270 ms
84 bytes from 192.169.3.4 icmp_seq=3 ttl=63 time=29.992 ms
84 bytes from 192.169.3.4 icmp_seq=4 ttl=63 time=31.048 ms
84 bytes from 192.169.3.4 icmp_seq=5 ttl=63 time=30.637 ms

PC3>
```

**Figura 44** Ping de la PC3 a PC8

Se procede a realizar un ping a la IP 192.168.3.4 para verificar si la transmisión de datos es correcta.



```
PC8
Welcome to Virtual PC Simulator, version 0.6.2
Dedicated to Daling.
Build time: Apr 10 2019 02:42:20
Copyright (c) 2007-2014, Paul Meng (mirnshi@gmail.com)
All rights reserved.

VPCS is free software, distributed under the terms of the "BSD" licence.
Source code and license can be found at vpcs.sf.net.
For more information, please visit wiki.freecode.com.cn.

Press '?' to get help.

Executing the startup file

Checking for duplicate address...
PC1 : 192.169.3.4 255.255.255.0 gateway 192.169.3.1

PC8> ping 192.168.3.4
84 bytes from 192.168.3.4 icmp_seq=1 ttl=63 time=45.508 ms
84 bytes from 192.168.3.4 icmp_seq=2 ttl=63 time=31.124 ms
84 bytes from 192.168.3.4 icmp_seq=3 ttl=63 time=30.290 ms
84 bytes from 192.168.3.4 icmp_seq=4 ttl=63 time=30.741 ms
84 bytes from 192.168.3.4 icmp_seq=5 ttl=63 time=30.041 ms

PC8>
```

**Figura 45** Ping de la PC8 a PC3

En el ANEXO B. se observa la simulación de 178 usuarios con sus respectivas IP, y donde se encuentra la comparativa de las variables Descarga, Velocidad, y Latencia.

**Tabla 36** Comparativa de datos de la simulación

Número de clientes	IP servicio	Descarga (Mbps)	Velocidad (Mbps)	Latencia (ms)
Usuario 1	192.168.3.2	9400	1200	2
Usuario 2	192.168.3.3	9200	1100	2
Usuario 3	192.168.3.4	9500	1300	1
Usuario 4	192.168.3.5	9600	1250	1
.....	...	...	...	...
Usuario 178	192.168.3.178	9500	1100	2

### 5.3 Evaluación para la migración de red de cobre a fibra con el estándar 10G-EPON de los usuarios de CNT EP de la parroquia de Cajabamba cantón Colta.

Se consideran los datos de velocidad (Mbps), descarga (Mbps) y latencia (ms) de la red de cobre y los mismos datos obtenidos mediante pruebas y simulación de la red fibra con el estándar 10G-EPON. Se adjunta una muestra de los datos obtenidos de la red actual de cobre, se presenta en la siguiente **Figura 46**.

Usuarios	IP de servicio	Descarga (Mbps)	Velocidad(Mbps)	Latencia (ms)
Usuario 1	192.168.3.2	52.3	10.1	25
Usuario 2	192.168.3.3	45.8	9.2	30
Usuario 3	192.168.3.4	48.7	9.8	27
Usuario 4	192.168.3.5	50.1	10.5	23
Usuario 5	192.168.3.6	37.2	7.3	32
Usuario 6	192.168.3.7	42.3	8.4	28
Usuario 7	192.168.3.8	46.9	9.7	31
Usuario 8	192.168.3.9	50.5	10.2	24
Usuario 9	192.168.3.10	49.8	10.0	25
Usuario 10	192.168.3.11	35.5	6.8	35
Usuario 11	192.168.3.12	44.9	8.9	30
Usuario 12	192.168.3.13	43.7	8.5	28
Usuario 13	192.168.3.14	47.5	9.9	26
Usuario 14	192.168.3.15	51.2	10.4	24
Usuario 15	192.168.3.16	38.9	7.6	32
Usuario 16	192.168.3.17	41.7	8.3	29
Usuario 17	192.168.3.18	46.1	9.3	27
Usuario 18	192.168.3.19	52.0	10.3	23
Usuario 19	192.168.3.20	50.9	10.0	26
Usuario 20	192.168.3.21	37.1	7.1	33

**Figura 46** Datos obtenidos de la red de cobre actual

De la misma forma se adjunta una muestra de los datos obtenidos de la simulación de la red fibra con el estándar 10G-EPON. Se presenta en la siguiente **Figura 47**.

Usuarios	IP de servicio	Descarga (Mbps)	Velocidad(Mbps)	Latencia (ms)
Usuario 1	192.168.3.2	9400	1200	2
Usuario 2	192.168.3.3	9200	1100	2
Usuario 3	192.168.3.4	9500	1300	1
Usuario 4	192.168.3.5	9600	1250	1
Usuario 5	192.168.3.6	9300	1000	2
Usuario 6	192.168.3.7	9800	1400	1
Usuario 7	192.168.3.8	9100	1150	1
Usuario 8	192.168.3.9	9700	1250	1
Usuario 9	192.168.3.10	9450	1200	2
Usuario 10	192.168.3.11	9500	1300	1
Usuario 11	192.168.3.12	9350	1250	2
Usuario 12	192.168.3.13	9600	1350	1
Usuario 13	192.168.3.14	9550	1150	1
Usuario 14	192.168.3.15	9650	1200	1
Usuario 15	192.168.3.16	9300	1050	2
Usuario 16	192.168.3.17	9400	1100	1
Usuario 17	192.168.3.18	9200	1150	1
Usuario 18	192.168.3.19	9600	1300	1
Usuario 19	192.168.3.20	9550	1200	2
Usuario 20	192.168.3.21	9450	1250	1

Figura 47 Datos obtenidos de la red de fibra óptica con estándar 10G-EPON

## 5.4 Comprobación de hipótesis

En la investigación sobre la red FTTH, se emplea el análisis estadístico para determinar si los datos siguen una distribución normal. Si lo hacen, se aplican pruebas paramétricas; de lo contrario, se utilizan pruebas no paramétricas. Estas pruebas determinan la validez de la hipótesis nula. Cada sistema consta de 1 puerto FTTH para dar servicio a 64 clientes por zona de cobertura, en este proyecto se utilizó 3 puertos ya que el diseño se distribuye en 3 zonas, por lo que el total de usuarios es de 192.

Para comprobar si la hipótesis nula es válida, es necesario someterla a pruebas empíricas, en el caso del estudio sobre la red FTTH vendría a ser lo siguiente:

**Hipótesis Nula  $H_0$ :** La migración de la red de cobre a fibra óptica con estándar 10G-EPON no difiere significativamente la velocidad de conexión del servicio de internet para los usuarios de CNT EP en Cajabamba, cantón Colta.

**Hipótesis Alternativa  $H_1$ :** La migración a fibra óptica con estándar 10G-EPON mejorará la velocidad de conexión del servicio de internet para los usuarios de CNT EP en Cajabamba, cantón Colta, en comparación con la red de cobre existente.

### 5.4.1 Variables

Se lleva a cabo el análisis estadístico utilizando en software IBM SPSS donde las variables a analizar son:

**Tabla 37** Variables principales

Variables	
Descarga	Mbps
Velocidad	Mbps
Latencia	Ms

Una vez obtenidos los datos en el programa estadístico se generan las siguientes tablas:

### 5.4.2 Estudio descriptivo de la variable Descarga (Mbps).

#### Hipótesis Nula $H_0$ :

No hay diferencia significativa en la velocidad de descarga en la red de fibra óptica con estándar 10G-EPON.

#### Hipótesis Alternativa $H_1$ :

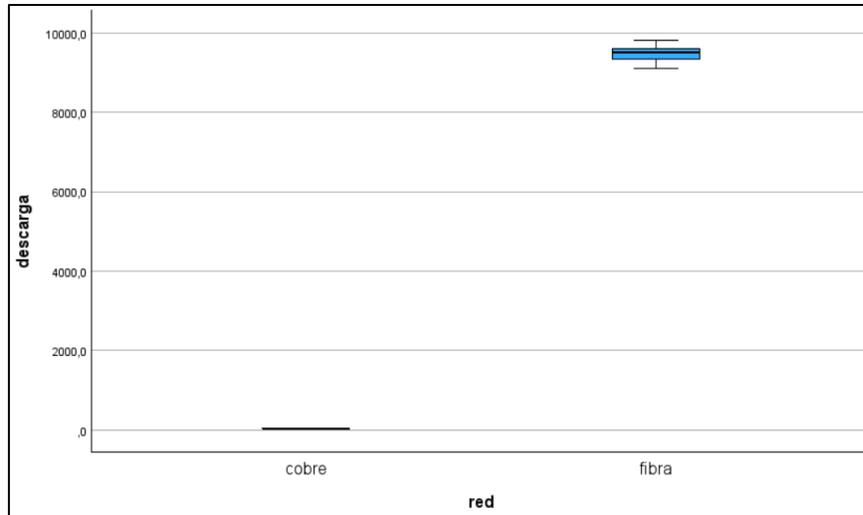
La red de fibra óptica con estándar 10G-EPON brinda una mayor velocidad de descarga en comparación con la red existente de cobre.

Pruebas de normalidad							
red		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
descarga	cobre	,100	50	,200*	,942	50	,016
	fibra	,112	50	,156	,973	50	,303

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors

**Figura 48** Prueba de normalidad para la variable descarga

Como se observa en la **Figura 48**, los datos de cobre y fibra óptica con estándar 10G-EPON no siguen la misma distribución, la red de cobre no se distribuye normalmente y la de fibra sigue una distribución normal, para esto es necesario utilizar pruebas no paramétricas para poder comparar ambas tecnologías.



**Figura 49** Cajas de la variable descarga de cobre y fibra

Resumen de prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	
N total	100
U de Mann-Whitney	2500,000
W de Wilcoxon	3775,000
Estadístico de prueba	2500,000
Error estándar	144,975
Estadístico de prueba estandarizado	8,622
Sig. asintótica (prueba bilateral)	<,001

**Figura 50** Prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para la variable descarga

Una vez obtenido los resultados se concluye que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) con un p-valor  $<0.001$  esto sugiere que hay una diferencia significativa entre las velocidades de descarga de las dos redes. En este caso la red de fibra óptica ofrece un mejor rendimiento en comparación con la red de cobre.

### 5.4.3 Estudio descriptivo de la variable Velocidad (Mbps).

#### Hipótesis Nula $H_0$ :

No hay diferencia significativa en las velocidades de la red de cobre y la red de fibra óptica con estándar 10G-EPON.

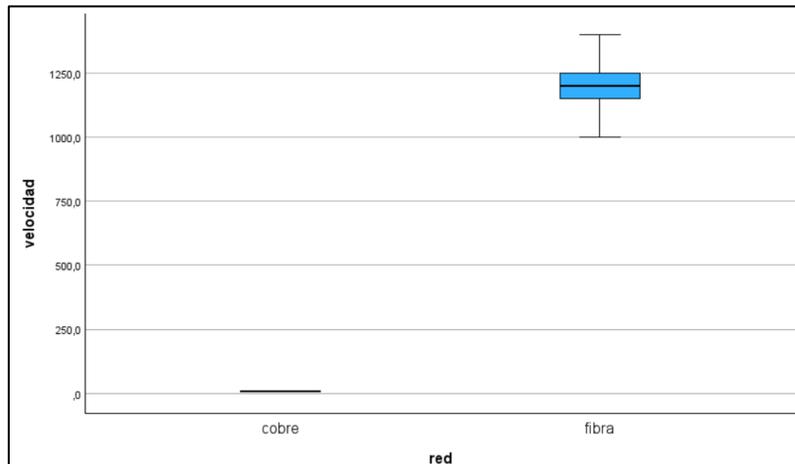
#### Hipótesis Alternativa $H_1$ :

La red de fibra óptica con estándar 10G-EPON brinda una mayor velocidad en comparación con la red existente de cobre.

Pruebas de normalidad							
red	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
velocidad	cobre	,135	50	,023	,930	50	,006
	fibra	,159	50	,003	,961	50	,103

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Figura 51** Prueba de normalidad para la variable velocidad



**Figura 52** Cajas de la variable velocidad de cobre y fibra

Prueba de Mann-Whitney				
Rangos				
red	N	Rango promedio	Suma de rangos	
velocidad	cobre	50	25,50	1275,00
	fibra	50	75,50	3775,00
	Total	100		

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
velocidad	
U de Mann-Whitney	,000
W de Wilcoxon	1275,000
Z	-8,633
Sig. asin. (bilateral)	<,001

a. Variable de agrupación:  
red

**Figura 53** Prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para la variable velocidad

Una vez obtenido los resultados se concluye que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) con un p-valor  $<0.001$  esto sugiere que hay una diferencia significativa entre las velocidades de las dos redes. En este caso la red de fibra óptica ofrece un mejor rendimiento de velocidad en comparación con la red de cobre.

#### 5.4.4 Estudio descriptivo de la variable Latencia (ms).

##### Hipótesis Nula $H_0$ :

La latencia en la red de cobre y la red de fibra óptica con estándar 10G-EPON es igual.

##### Hipótesis Alternativa $H_1$ :

La latencia en la red de cobre es diferente a la latencia en la red de fibra óptica con estándar 10G-EPON.

Pruebas de normalidad							
red	Estadístico	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Latencia	cobre	,079	50	,200*	,968	50	,189
	fibra	,442	50	<,001	,576	50	<,001

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 54 Prueba de normalidad para la variable latencia (ms)

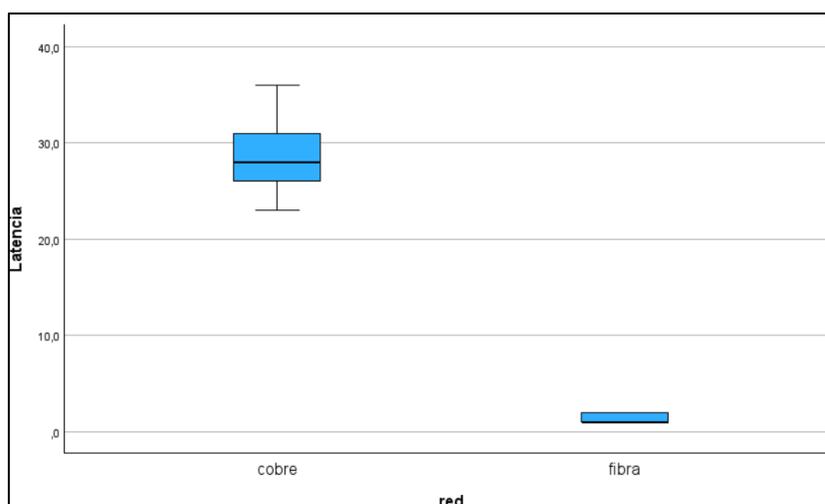


Figura 55 Cajas de la variable latencia de cobre y fibra

<b>Prueba de Mann-Whitney</b>				
<b>Rangos</b>				
	red	N	Rango promedio	Suma de rangos
Latencia	cobre	50	75,50	3775,00
	fibra	50	25,50	1275,00
	Total	100		

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	Latencia
U de Mann-Whitney	,000
W de Wilcoxon	1275,000
Z	-8,828
Sig. asin. (bilateral)	<,001

a. Variable de agrupación:  
red

**Figura 56** Prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para la variable latencia

Una vez obtenido los resultados se concluye que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) con un p-valor  $<0.001$  esto sugiere que hay una diferencia significativa entre las latencias de las dos redes. En este caso la red de fibra óptica ofrece latencia más baja y un mejor rendimiento en comparación con la red de cobre.

## CAPÍTULO V

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

Este trabajo presenta el análisis para la migración de una red FTTH con estándar 10G-EPON en la parroquia de Cajabamba, en el cantón Colta. Se determinó que la red actual de cobre ha alcanzado su límite de utilidad en términos de rendimiento, estabilidad y capacidad, ya que presenta altas latencias, bajas velocidades de transmisión la cual no es adecuada para cubrir la nueva demanda actual y futura de usuarios, y no es capaz de soportar nuevos servicios tecnológicos que requieren mayor ancho de banda.

El diseño de la red de FTTH con estándar 10G-EPON permite satisfacer tanto la demanda actual como futura de los usuarios en la parroquia, la red proporciona altas velocidades de transmisión hasta 10 Gbps mejorando significativamente la experiencia de navegación del usuario con bajas latencias ideal para servicios streaming de alta definición, aplicaciones IoT entre otras.

En el análisis financiero se mostró que la migración de la red de cobre a fibra óptica con estándar 10G-EPON es viable, tomando en cuenta que la inversión inicial es alta, se proyecta ahorros y mayores ingresos a partir del tercer año, lo cual permitirá recuperar la inversión inicial de infraestructura, equipos y despliegue de la red.

Los resultados de la simulación del diseño de la nueva red FTTH con estándar 10G-EPON proporciona información que valida su desempeño antes de una posible implementación de la red en la vida real, se logró analizar variables críticas como la calidad de señal (Q-factor) y tasa de error de bits (BER) que se mantuvieron en niveles aceptables, garantizando un trabajo óptimo para operaciones reales

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Realizar un estudio exhaustivo de las infraestructuras actuales de la red de cobre identificando limitaciones, estados de los equipos existentes para facilitar una migración exitosa y eficiente de la nueva red, a la vez seleccionando equipos de última generación que cumplan con el estándar 10G-EPON para así asegurar la compatibilidad y capacidad de ofrecer servicios de alta velocidad.

Adaptarse a nuevos desarrollos tecnológicos en el campo de las telecomunicaciones lo cual permitirá realizar actualizaciones para mejorar el rendimiento de la red y planificar posibles expansiones de la red 10G-EPON para incluir en nuevas áreas geográficas y así el desarrollo de la red se distribuya con el crecimiento de la población satisfaciendo las necesidades de los usuarios.

\

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Fernández, Introducción a las comunicaciones, 2021.
- [2] W. Carrión y D. Cevallos, «Estudio y diseño de la red de fibra óptica para el transporte de aplicación triple play en el trayecto Cuenca-Girón-Pasaje,» Cuenca, 2011.
- [3] J. Recalde, «Diseño de una red de fibra óptica utilizando la tecnología XGPON para la expansión de servicio de internet en la parroquia García Moreno de la zona de Intag para la empresa PROFYBER S.C.,» Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2022.
- [4] R. Krishna(FLAG), M. L. Director(FLA) y N. Kumar(FLA), «10G EPON:No boundaries for bandwidth under evolution of PON for FTTx Broadband Access Applications».
- [5] M. Ruiz, «Diseño de una red de fibra óptica FTTH para brindar servicio de internet a los usuarios de la empresa REDECOM en el centro de la ciudad de Otavalo,» Universidad Técnica del Norte , Ibarra, 2019.
- [6] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2022.
- [7] K. Charalampos, S. Panagiotis, C. Periklis, R. Paschalis y T. D. Lagkas, «A Multilayer Comparative Study of XG-PON and 10G-EPON Standards,» arXiv preprint arXiv:1804.08007, 2018.
- [8] P. Specifications, «Management Parameters for 10 Gb/s Passive Optical Networks.,» IEEE Standar,802, 2009.
- [9] L. Pozo y Z. Kevin, «Diseño y simulación de una red de acceso 10G-PON para el sector de La Mariscal,» Bachelor's thesis, Quito, 2019.
- [10] M. Paqui, Diseño de una red FTTH utilizando el estándar XGPON para mejorar los servicios de internet en la comunidad Gunudel en Saraguro., Riobamba, 2023.
- [11] T. Keiji, A. Akira y H. Yukio, «IEEE 802.3 av 10G-EPON standardization and its research and development status,» Journal of Lightwave Technology, 2010.
- [12] A. León, Análisis comparativo de la gestión de red entre las tecnologías de banda ancha Cablemodem y DSL, usadas en las redes de telecomunicaciones de la ciudad de Guayaquil., Guayaquil, 2014.
- [13] R. Rajesh, K. Glen, H. Marek y S. Henrique, «Performance of 10G-EPON,» IEEE Communications Magazine, Portugal, 2011.

- [14] F. Daido, T. Inoue, Y. Kawanishi, K. Yamazaki, A. Yoshimura y S. a. K. S. Shiba, «Development of Asymmetric 10G-EPON System,» *SEI Technical Review*, n° 69, 2009.
- [15] C. Radicelli, M. Pomboza, N. Samaniego y E. Villacrés, «Red óptica pasiva para proveer de Internet a la ciudad de Riobamba-Ecuador,» *Espacios*, vol. 40, n° 40, p. 12, 2019.
- [16] P. Notario, «Nuevos estándares PON para sistemas FTTx,» 2015.
- [17] F. Pérez, Diseño de un conjunto de escenarios de uso y recomendaciones para una futura migración de las redes de acceso de nueva generación, 2016.
- [18] IEEE, «IEEE Standard for Ethernet Amendment 1: Physical Layer Specifications and Management Parameters for Extended Ethernet Passive Optical Networks,» New York, 2013.
- [19] Y. Kai, Y. Hamada, N. Kizaki, H. Katayama, S. Tomiyama y K. Fujino, «10G-EPON System Featuring High-Speed and High-Capacity Layer 3 Switching,» *Sei Technical Review*, n° 83, pp. 35-39, 2016.
- [20] M. Hajduczenia, M. Toy y E. a. K. C. Mallette, «DOCSIS Provisioning of EPON (DPoE):Architecture and Services,» *Revista IEEE Communications*, vol. 50, n° 9, pp. 58-65, 2012.
- [21] M. Hajduczenia, H. Da Silva y P. Monteiro, «10G EPON Development Process,» de *IX Congreso Internacional sobre Rdes Ópticas Transparentes*, vol. 1, IEEE, 2007, pp. 276-282.
- [22] E. Macas, «Análisis técnico comparativo entre las tecnologías de redes de acceso ópticas GPON Y XGS-PON,» Escuela Politécnica Nacional , Quito, 2022.
- [23] J. Pinduisaca, «Diseño de una red de acceso FTTH con tecnología XGS-PON para el ISP SKYLINK SYSTEM del cantón Chambo de la provincia de Chimborazo,» Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba , 2023.
- [24] C. Román, «Red GPON para el sector de San Juan de Calderón,» Universidad Tecnológica Israel, Quito, 2022.
- [25] B. Ayala, «Implementación del Método de Cambio de Fase para la Medición de Dispersión Cromática en Fibras para Telecomunicaciones,» Centro de Investigaciones en Óptica, A.C., Querétaro, 2011.
- [26] M. Dubarrán, «SNR (Signal To Noise Ratio),» 2017.

- [27] J. Sani, «Diseño, Evaluación de una red FTTH utilizando Optisystem y estrategia para la obtención de concesión que permita brindar servicios Triple Play,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba , 2022.
- [28] R. López, «Estudio, diseño y simulación de una red NG-PON2 para analizar su rendimiento en el barrio Juan de Velasco,» Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba , 2023.
- [29] A. Valencia, «Tutorial OPTISYSTEM,» 2019.
- [30] C. Guerra, «Parametrización de Sistemas Multiplexados en longitud de onda mediante herramientas de simulación,» Universidad Politécnica de Madrid , Madrid, 2021.
- [31] F. Hernández, «El mercado indígena, recurso cultural para potenciar el desarrollo turístico local: caso de estudio Cajabamba (cantón Colta, provincia de Chimborazo),» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2019.
- [32] Google, «[Cajabamba,Colta,Chimborazo],» 2024. [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps/@-1.7060404,-78.7822724,3315m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>. [Último acceso: 28 Abril 2024].
- [33] MedUX, «¿Qué velocidad de conexión es ideal para #EstarEnCasa?,» 28 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://medux.com/es/blog/velocidad-de-conexion-es-ideal-para-estar-en-casa>. [Último acceso: 21 Mayo 21].
- [34] I. Ros, «Qué velocidad de internet necesitas. Elegir la mejor conexión.,» muycomputer, 25 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.muycomputer.com/2019/04/25/que-velocidad-de-conexion-a-internet-necesito/>. [Último acceso: 21 Mayo 2024].
- [35] CenturyLink, «¿Qué velocidad de Internet necesito?,» [En línea]. Available: <https://espanol.centurylink.com/home/help/internet/what-internet-speed-do-i-need.html>. [Último acceso: 21 Mayo 2024].
- [36] L. Buitrago y O. Gómez, «Planeación y diseño de una red por fibra óptica FTTH para brindar servicios multimedia a comunidades beneficiadas por el fin del conflicto armada,» Bogotá D.C., 2018.
- [37] V.SOL, «V3600D8 8-Port 10G EPON OLT,» [En línea]. Available: <https://es.vsolcn.com/wp-content/uploads/2023/03/8-Port-10G-EPON-OLT-V3600D8-Datasheet-V1.01-EN-1.pdf>. [Último acceso: 2024 Mayo 2024].

- [38] Huawei, «BATNA24 HUAWEI MA580T,» [En línea]. Available: <https://www.batna24.com/es/p/huawei-ma5680t-olt-rmnip>. [Último acceso: 27 Mayo 2024].
- [39] Telecomate, «Huawei MA5680T,» Telecomate , [En línea]. Available: <https://www.telecomate.com/huawei-ma5680t.html>. [Último acceso: 27 Mayo 2024].
- [40] Fenix, «SKU: V1600-D8,» [En línea]. Available: <https://fenixcomercial.com.co/producto/olt-de-8-puertos-epon-con-16-puertos-uplink-8-puertos-gigabit-ethernet-4-puertos-sfp-4-puertos-sfp-hasta-512-onus/>. [Último acceso: 22 Mayo 2024].
- [41] ZTE, «ZXA10 C320 Datasheet,» ZTE Corporation, [En línea]. Available: [http://www.ztegon.cz/pdf/ZXA10\\_C320\\_Datasheet.pdf](http://www.ztegon.cz/pdf/ZXA10_C320_Datasheet.pdf). [Último acceso: 22 Mayo 2024].
- [42] Alibaba.com, «OLT-HSGQ-XE08 de 8 puertos, 10G, SFP, soporte GEPON hasta 512, ONUs, Compatible con equipos de telecomunicaciones de fibra,» Shenzhen Huayixin Technology, 2019. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/OLT-8-Port-HSGQ-XE08-10G-1600487573994.html>. [Último acceso: 22 Mayo 2024].
- [43] Kexint.com, «fibra óptica los 20km, 10g EPON OLT 1/64 ONT de fibra óptica de 1U 8 PON GEAPON OLT SFP 4,» Shenzhen Kexint Technology, [En línea]. Available: <https://www.kexint.com/es/sale-11596651-1u-8-pon-gepon-olt-sfp-4-optical-fiber-20km-10g-epon-olt-1-64-ont-uplink.html>. [Último acceso: 22 Mayo 2024].
- [44] A. Moreno, «Forum.Huawei,» 29 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/manual-de-usuario-optixstar-hn8346x6/thread/667228615835795456-667212890693840896>. [Último acceso: 27 Mayo 2024].
- [45] ZTE, «BATNA24,» Connecting the new technology, [En línea]. Available: <https://www.batna24.com/es/p/zte-zxhn-f660-ont-rmmpk>. [Último acceso: 27 Mayo 2024].
- [46] Photon, «Alibaba.com,» Shenzhen Photon Broadband Tech Co., Ltd., [En línea]. Available: [https://spanish.alibaba.com/p-detail/10g-1600822755876.html?spm=a2700.wholesale.you\\_may\\_like.7.5d0c5ce0N8Yx2e](https://spanish.alibaba.com/p-detail/10g-1600822755876.html?spm=a2700.wholesale.you_may_like.7.5d0c5ce0N8Yx2e). [Último acceso: 27 Mayo 2024].
- [47] Syscom, «Syscom COLOMBIA,» [En línea]. Available: <https://www.syscomcolombia.com/producto/AN5506-04-FS-FIBERHOME-161868.html>. [Último acceso: 27 Mayo 2024].

- [48] Fibermall, «10GEPON-ONU-SI Simétrico 10GEPON ONU SFP + TX-10.3G / RX-10.3G TX-1270nm / RX-1577nm PR30 SC DDM -40 ° C ~ 85 ° C Transceptores ópticos,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.fibermall.com/es/sale-433069-10g-symmetric-epon-onu-sfp-pr30-ind.htm>. [Último acceso: 27 Mayo 2024].
- [49] Fibermall, «10GEPON-ONU-ASC Asimétrico 10GEPON ONU SFP + TX-1.25G / RX-10.3G TX-1310nm / RX-1577nm PR30 SC DDM 0 ° C ~ 70 ° C Transceptores ópticos,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.fibermall.com/es/sale-433069-10g-symmetric-epon-onu-sfp-pr30-ind.htm>. [Último acceso: 27 Mayo 2024].
- [50] Fibermall, «Transceptores ópticos 10GEPON-OLT-XS simétricos 10GEPON OLT XFP TX-10.3G / RX-10.3G TX-1577nm / RX-1270nm PR30 SC DDM,» [En línea]. Available: <https://www.fibermall.com/es/sale-433045-10g-epon-olt-xfp-symmetric-pr30.htm>. [Último acceso: 27 Mayo 2024].
- [51] Fibermall, «10GEPON-OLT-XAS Asimétrico 10GEPON OLT y 1.25G EPON OLT en una carcasa XFP TX: 1577nm (10.3G) / 1490nm (1.25G) RX: 1310nm (1.25G) Transceptores ópticos PRX30 SC DDM,» [En línea]. Available: [https://www.fibermall.com/es/sale-433048-10g-epon-olt-xfp-asymmetric.htm#con\\_one1\\_fake](https://www.fibermall.com/es/sale-433048-10g-epon-olt-xfp-asymmetric.htm#con_one1_fake). [Último acceso: 27 Mayo 2024].
- [52] J. Prieto, «Diseño de una red de acceso mediante fibra óptica,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2014.
- [53] J. Robalino, «Estudio, diseño y simulación dde una red FFTH en el sector de la estación del canton Riobamba, para la empresa de telecomunicaciones CONTIGOEC.,» Riobamba, 2023.
- [54] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, Servicio de Acceso a Internet, 2020.
- [55] CABLESCOM, «Fibra Optica Monomodo. G652D,» Cables de Comunicaciones Zaragoza, SL., [En línea]. Available: [https://www.cablescom.com/wp-content/uploads/2015/11/SM09\\_G652D\\_e.pdf](https://www.cablescom.com/wp-content/uploads/2015/11/SM09_G652D_e.pdf). [Último acceso: 22 Mayo 2024].
- [56] Optral, «SM10 Fibra Óptica Monomodo SMF – G657,» OPTRAL, [En línea]. Available: <https://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/G657.pdf>. [Último acceso: 22 Mayo 2024].

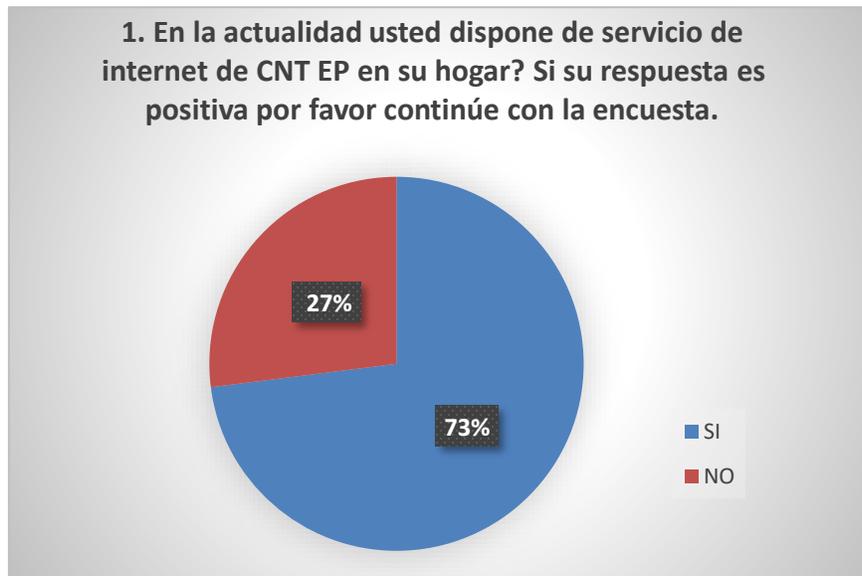
## ANEXOS

### ANEXO A. Resultados de la encuesta

La primera pregunta: ¿En la actualidad usted dispone de servicio de internet de CNT EP en su hogar? , esta pregunta actúa como filtro permitiendo identificar a los encuestados que actualmente poseen el servicio de internet de CNT EP. En la siguiente tabla se presentan las respuestas obtenidas.

¿En la actualidad usted dispone de servicio de internet de CNT EP en su hogar? Si su respuesta es positiva por favor continúe con la encuesta		
Respuestas	Usuarios encuestados	Porcentaje%
SI	73	73%
NO	27	27%
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100%</b>

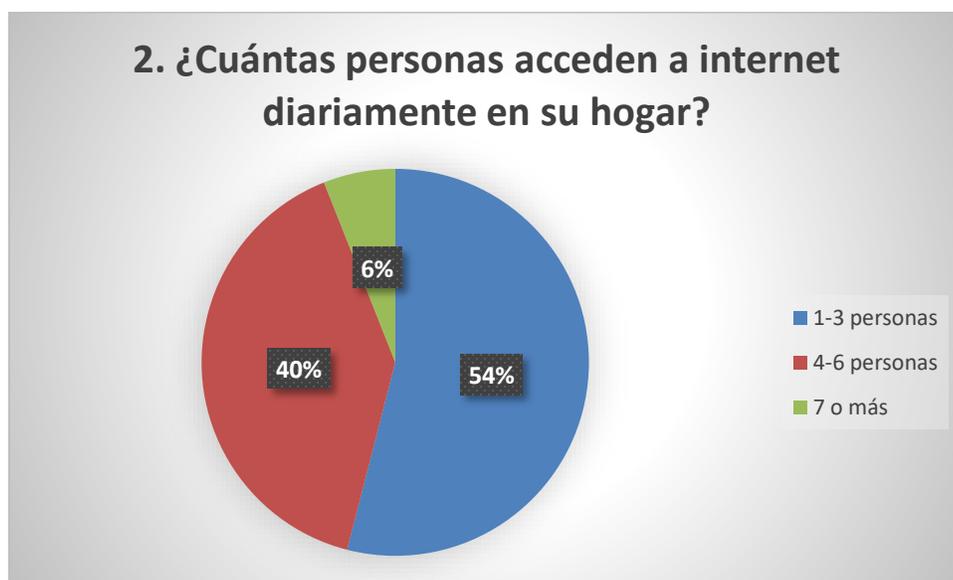
El 73% aseguró tener contratado el servicio de internet de CNT EP en su hogar, mientras que el 27% de encuestados de la parroquia de Cajabamba no cuentan con el servicio o tiene el servicio de internet de otro proveedor.



En la segunda pregunta: ¿Cuántas personas acceden a internet diariamente en su hogar?, con la finalidad de entender y evaluar el uso total del servicio de internet en términos de tráfico y ancho de banda requerido.

¿Cuántas personas acceden a internet diariamente en su hogar?		
Respuestas	Usuarios encuestados	Porcentaje%
1-3 personas	54	54%
4-6 personas	40	40%
7 o más	6	6%
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100%</b>

El 54% de encuestados, afirma que en sus hogares de 1 a 3 personas usan el Internet, el 40% de los encuestados de 4 a 6 personas y el 6% de los encuestados afirma que en sus hogares 7 o más personas utilizan Internet.

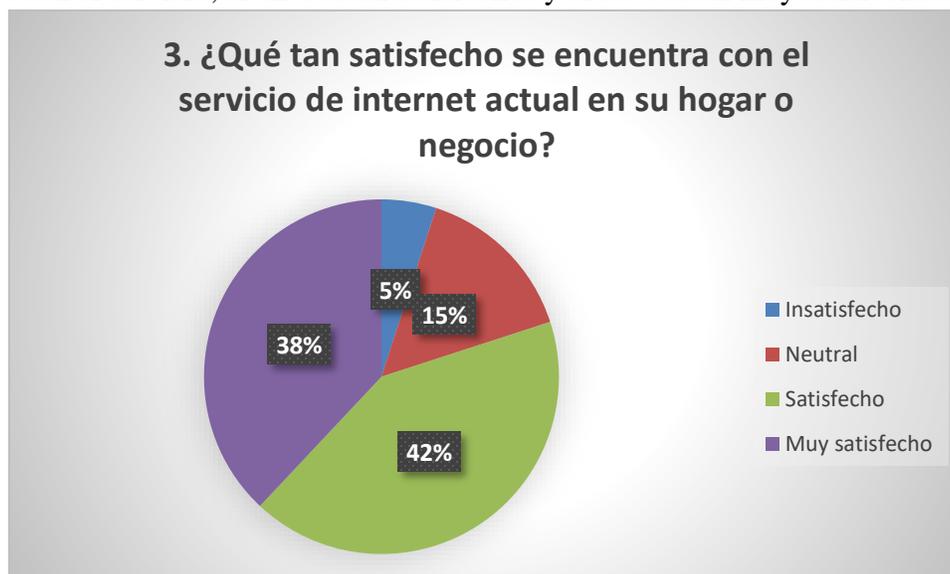


En la tercer pregunta: ¿Qué tan satisfecho se encuentra con el servicio de internet actual en su hogar o negocio? Esta pregunta permite evaluar el nivel de satisfacción general de los usuarios con respecto al servicio de internet que están recibiendo.

¿Qué tan satisfecho se encuentra con el servicio de internet actual en su hogar o negocio?		
Respuestas	Usuarios encuestados	Porcentaje%
Insatisfecho	5	5%
Neutral	15	15%
Satisfecho	42	42%

Muy satisfecho	38	38%
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100%</b>

Estos resultados muestran que la satisfacción del cliente con el servicio de Internet. El 5% de los encuestados están muy insatisfechos con el servicio, el 15% evalúan como neutral o conformes con el servicio, el 42% están satisfechos y el 38% están muy satisfechos.

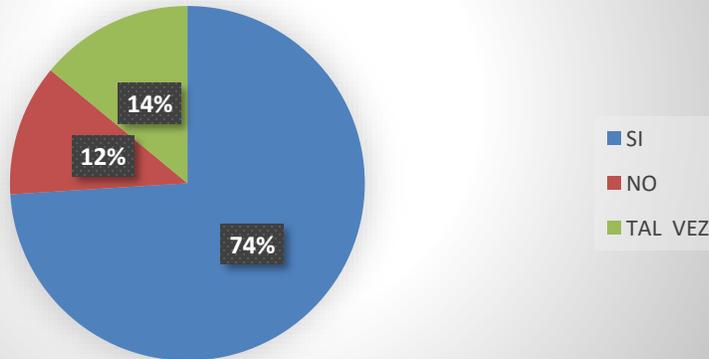


En la cuarta pregunta: Estaría interesado/a en migrar su conexión de internet actual a fibra óptica con el estándar 10G-EPON, si esta opción estuviera disponible? Esta pregunta determina el porcentaje de usuarios que están interesados en migrar o consideran hacerlo a una tecnología más avanzada como la 10G-EPON.

Estaría interesado/a en migrar su conexión de internet actual a fibra óptica con el estándar 10G-EPON, si esta opción estuviera disponible?		
Respuestas	Usuarios encuestados	Porcentaje%
SI	74	74%
NO	12	12%
TAL VEZ	14	14%
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100%</b>

El 74% de los encuestados afirmaron que estarían dispuestos a migrar su conexión de internet actual a una red de Fibra óptica con 10G-EPON, lo que sugiere que la mayoría de los clientes están interesados en obtener un servicio de Internet de mejor calidad y mayor velocidad, mientras que el 12% se quedaría con su proveedor actual y el 14% no están seguros de realizar la migración.

**4. Estaría interesado/a en migrar su conexión de internet fibra óptica con el estándar 10G-EPON, si esta opción estuviera disponible?**

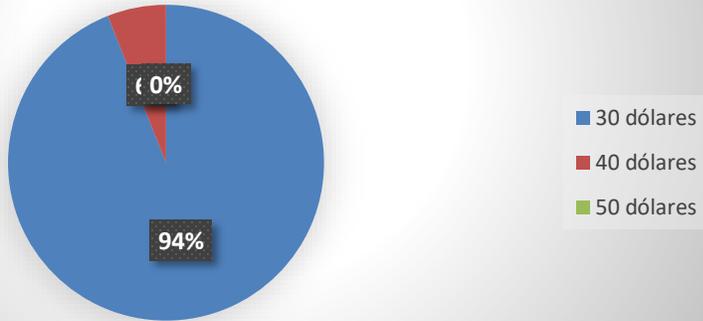


La quinta pregunta es: ¿Cuánto estaría dispuesto a cancelar mensualmente un servicio de internet de fibra óptica con estándar 10G-EPON? Esta pregunta tiene como objetivo principal obtener información sobre la disposición de los usuarios a pagar por un servicio de internet de alta velocidad y calidad como el 10G-EPON.

¿Cuánto estaría dispuesto a cancelar mensualmente un servicio de internet de fibra óptica con estándar 10G-EPON?		
Respuestas	Usuarios encuestados	Porcentaje%
\$30	94	94%
\$40	6	6%
\$50	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100%</b>

Como se puede observar en la tabla, el 94% de los encuestados estaría dispuesto a cancelar mensualmente \$30 por el servicio de internet, mientras que el 6% estaría dispuesto a pagar \$40.

## 5. Cuánto estaría dispuesto a cancelar mensualmente por una red de fibra óptica con estándar 10G-EPON?



## ANEXO B. Simulación de los 178 usuarios en GNS3

Usuarios	IP de servicio	Descarga (Mbps)	Velocidad (Mbps)	Latencia (ms)
Usuario 1	192.168.3.2	9400	1200	2
Usuario 2	192.168.3.3	9200	1100	2
Usuario 3	192.168.3.4	9500	1300	1
Usuario 4	192.168.3.5	9600	1250	1
Usuario 5	192.168.3.6	9300	1000	2
Usuario 6	192.168.3.7	9800	1400	1
Usuario 7	192.168.3.8	9100	1150	1
Usuario 8	192.168.3.9	9700	1250	1
Usuario 9	192.168.3.10	9450	1200	2
Usuario 10	192.168.3.11	9500	1300	1
Usuario 11	192.168.3.12	9350	1250	2
Usuario 12	192.168.3.13	9600	1350	1
Usuario 13	192.168.3.14	9550	1150	1
Usuario 14	192.168.3.15	9650	1200	1
Usuario 15	192.168.3.16	9300	1050	2
Usuario 16	192.168.3.17	9400	1100	1
Usuario 17	192.168.3.18	9200	1150	1
Usuario 18	192.168.3.19	9600	1300	1
Usuario 19	192.168.3.20	9550	1200	2
Usuario 20	192.168.3.21	9450	1250	1
Usuario 21	192.168.3.22	9250	1100	2
Usuario 22	192.168.3.23	9500	1200	1
Usuario 23	192.168.3.24	9650	1300	1
Usuario 24	192.168.3.25	9600	1200	1
Usuario 25	192.168.3.26	9400	1250	2
Usuario 26	192.168.3.27	9350	1050	1
Usuario 27	192.168.3.28	9800	1350	1
Usuario 28	192.168.3.29	9700	1300	2
Usuario 29	192.168.3.30	9500	1200	1
Usuario 30	192.168.3.31	9450	1250	1
Usuario 31	192.168.3.32	9200	1100	2
Usuario 32	192.168.3.33	9600	1300	1
Usuario 33	192.168.3.34	9700	1200	1
Usuario 34	192.168.3.35	9750	1250	1
Usuario 35	192.168.3.36	9400	1150	2
Usuario 36	192.168.3.37	9300	1050	1
Usuario 37	192.168.3.38	9650	1300	1
Usuario 38	192.168.3.39	9550	1200	2
Usuario 39	192.168.3.40	9150	1100	1
Usuario 40	192.168.3.41	9500	1250	1
Usuario 41	192.168.3.42	9250	1000	1
Usuario 42	192.168.3.43	9650	1350	1
Usuario 43	192.168.3.44	9600	1200	1
Usuario 44	192.168.3.45	9300	1100	2
Usuario 45	192.168.3.46	9500	1250	1
Usuario 46	192.168.3.47	9450	1200	1
Usuario 47	192.168.3.48	9600	1300	1
Usuario 48	192.168.3.49	9550	1250	1
Usuario 49	192.168.3.50	9400	1150	2
Usuario 50	192.168.3.51	9600	1200	1

Usuario 51	192.168.3.52	9200	1300	2
Usuario 52	192.168.3.53	9350	1250	1
Usuario 53	192.168.3.54	9500	1000	1
Usuario 54	192.168.3.55	9750	1400	1
Usuario 55	192.168.3.56	9400	1250	2
Usuario 56	192.168.3.57	9300	1000	1
Usuario 57	192.168.3.58	9650	1400	1
Usuario 58	192.168.3.59	9550	1150	2
Usuario 59	192.168.3.60	9150	1250	1
Usuario 60	192.168.3.61	9500	1200	1
Usuario 61	192.168.3.62	9250	1300	2
Usuario 62	192.168.3.63	9650	1250	1
Usuario 63	192.168.3.64	9600	1350	1
Usuario 64	192.168.3.65	9300	1150	2
Usuario 65	192.168.3.66	9500	1300	2
Usuario 66	192.168.3.67	9750	1250	1
Usuario 67	192.168.3.68	9400	1000	1
Usuario 68	192.168.3.69	9300	1400	1
Usuario 69	192.168.3.70	9650	1200	1
Usuario 70	192.168.3.71	9550	1300	2
Usuario 71	192.168.3.72	9150	1200	1
Usuario 72	192.168.3.73	9500	1250	1
Usuario 73	192.168.3.74	9250	1050	1
Usuario 74	192.168.3.75	9650	1350	2
Usuario 75	192.168.3.76	9600	1300	2
Usuario 76	192.168.3.77	9300	1200	1
Usuario 77	192.168.3.78	9500	1250	2
Usuario 78	192.168.3.79	9200	1100	1
Usuario 79	192.168.3.80	9500	1300	2
Usuario 80	192.168.3.81	9600	1200	2
Usuario 81	192.168.3.82	9300	1400	1
Usuario 82	192.168.3.83	9800	1150	1
Usuario 83	192.168.3.84	9100	1250	1
Usuario 84	192.168.3.85	9700	1200	1
Usuario 85	192.168.3.86	9600	1300	2
Usuario 86	192.168.3.87	9550	1250	2
Usuario 87	192.168.3.88	9400	1350	1
Usuario 88	192.168.3.89	9600	1150	1

Usuario 89	192.168.3.90	9200	1200	1
Usuario 90	192.168.3.91	9350	1050	1
Usuario 91	192.168.3.92	9500	1100	2
Usuario 92	192.168.3.93	9200	1150	1
Usuario 93	192.168.3.94	9350	1300	1
Usuario 94	192.168.3.95	9450	1200	1
Usuario 95	192.168.3.96	9200	1250	1
Usuario 96	192.168.3.97	9500	1100	2
Usuario 97	192.168.3.98	9600	1200	1
Usuario 98	192.168.3.99	9300	1100	1
Usuario 99	192.168.3.100	9800	1300	2
Usuario 100	192.168.3.101	9450	1250	1
Usuario 101	192.168.3.102	9150	1000	1
Usuario 102	192.168.3.103	9500	1400	1
Usuario 103	192.168.3.104	9250	1150	1
Usuario 104	192.168.3.105	9650	1250	1
Usuario 105	192.168.3.106	9100	1200	2
Usuario 106	192.168.3.107	9700	1300	1
Usuario 107	192.168.3.108	9600	1250	1
Usuario 108	192.168.3.109	9550	1350	1
Usuario 109	192.168.3.110	9400	1100	1
Usuario 110	192.168.3.111	9600	1300	1
Usuario 111	192.168.3.112	9150	1200	2
Usuario 112	192.168.3.113	9500	1400	1
Usuario 113	192.168.3.114	9450	1150	1
Usuario 114	192.168.3.115	9200	1250	2
Usuario 115	192.168.3.116	9500	1200	2
Usuario 116	192.168.3.117	9600	1200	1
Usuario 117	192.168.3.118	9300	1100	1
Usuario 118	192.168.3.119	9800	1300	1
Usuario 119	192.168.3.120	9150	1250	1
Usuario 120	192.168.3.121	9500	1000	2
Usuario 121	192.168.3.122	9250	1400	1
Usuario 122	192.168.3.123	9650	1150	1
Usuario 123	192.168.3.124	9100	1250	1
Usuario 124	192.168.3.125	9700	1200	2
Usuario 125	192.168.3.126	9600	1300	1
Usuario 126	192.168.3.127	9550	1250	1
Usuario 127	192.168.3.128	9400	1250	2

Usuario 128	192.168.3.129	9600	1200	1
Usuario 129	192.168.3.130	9750	1300	1
Usuario 130	192.168.3.131	9400	1250	2
Usuario 131	192.168.3.132	9300	1350	2
Usuario 132	192.168.3.133	9650	1150	1
Usuario 133	192.168.3.134	9550	1200	1
Usuario 134	192.168.3.135	9150	1050	1
Usuario 135	192.168.3.136	9100	1100	1
Usuario 136	192.168.3.137	9700	1150	2
Usuario 137	192.168.3.138	9600	1300	1
Usuario 138	192.168.3.139	9550	1200	1
Usuario 139	192.168.3.140	9400	1250	1
Usuario 140	192.168.3.141	9600	1100	2
Usuario 141	192.168.3.142	9300	1200	2
Usuario 142	192.168.3.143	9800	1100	2
Usuario 143	192.168.3.144	9100	1300	1
Usuario 144	192.168.3.145	9700	1250	1
Usuario 145	192.168.3.146	9450	1000	2
Usuario 146	192.168.3.147	9500	1400	1
Usuario 147	192.168.3.148	9350	1150	1
Usuario 148	192.168.3.149	9600	1250	2
Usuario 149	192.168.3.150	9550	1200	2
Usuario 150	192.168.3.151	9400	1300	2
Usuario 151	192.168.3.152	9600	1250	1
Usuario 152	192.168.3.153	9750	1350	2
Usuario 153	192.168.3.154	9400	1150	1
Usuario 154	192.168.3.155	9300	1200	1
Usuario 155	192.168.3.156	9350	1100	2
Usuario 156	192.168.3.157	9200	1300	2
Usuario 157	192.168.3.158	9100	1250	1
Usuario 158	192.168.3.159	9700	1350	2
Usuario 159	192.168.3.160	9600	1300	1
Usuario 160	192.168.3.161	9550	1200	2
Usuario 161	192.168.3.162	9400	1250	2
Usuario 162	192.168.3.163	9600	1100	2
Usuario 163	192.168.3.164	9300	1300	1
Usuario 164	192.168.3.165	9800	1200	2
Usuario 165	192.168.3.166	9100	1400	1
Usuario 166	192.168.3.167	9700	1150	1

Usuario 166	192.168.3.167	9700	1150	1
Usuario 167	192.168.3.168	9450	1250	1
Usuario 168	192.168.3.169	9500	1200	2
Usuario 169	192.168.3.170	9350	1250	2
Usuario 170	192.168.3.171	9600	1100	2
Usuario 171	192.168.3.172	9550	1300	1
Usuario 172	192.168.3.173	9150	1200	2
Usuario 173	192.168.3.174	9100	1400	2
Usuario 174	192.168.3.175	9700	1150	1
Usuario 175	192.168.3.176	9600	1250	1
Usuario 176	192.168.3.177	9550	1200	2
Usuario 177	192.168.3.178	9400	1300	2
Usuario 178	192.168.3.179	9600	1250	1

### ANEXO C. Diagrama esquemático de la red 10G-EPON

