

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y  
COMPUTACIÓN**

**DISEÑO DE UNA RED GPON Y COMPARACIÓN TÉCNICO-  
ECONÓMICA PARA EL SERVICIO DE INTERNET  
RESIDENCIAL EN LA VÍA DATA-POSORJA.**

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

ANTONY CAMATÓN LASTRA

KARINA CUEVA GUZMÁN

GUAYAQUIL-ECUADOR

AÑO: 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Carlos Camatón Bastidas y Mariuxi Lastra Quimí, por su apoyo incondicional y su sacrificio para siempre darme lo mejor a lo largo mi carrera como estudiante.

A mi familia, parte fundamental de mi vida, ya que siempre estuvieron pendientes de que vaya en el camino correcto.

A May, que supo darme valor y apoyo en mis últimos años de carrera.

Al Msc. César Yépez, y al PhD Germán Vargas, por ser nuestros guías en el desarrollo de este trabajo.

A mi compañera de tesis, Karina Cueva, por las largas horas de dedicación y estudio a lo largo de nuestra carrera, que nos sirvieron para aplicar conocimientos y así conseguir este logro.

A mis compañeros y amigos que hice a lo largo de mi carrera estudiantil, que de alguna manera me ayudaron a ser mejor tanto personal, como académicamente.

**Antony Marlon Camatón Lastra**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme todo lo que tengo y por permitirme llegar donde hoy estoy.

A mis padres Wladimir Cueva y Alexandra Guzmán por brindarme su cariño y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, ayudándome a superarme para así poder cumplir todas mis metas.

Al MSc. César Yépez y al Dr. Germán Vargas por su constante orientación y ayuda durante la realización de este proyecto.

A mi compañero de proyecto Antony Camatón por su esfuerzo y dedicación demostrado.

A mis compañeros de Universidad por su amistad y apoyo brindado durante todos estos años de formación académica.

**Karina Cueva Guzmán**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por su amor, comprensión y apoyo, ya que todo es posible gracias a ellos y se merecen lo mejor en esta vida.

**Antony Camatón Lastra**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por todo el esfuerzo y sacrificio a lo largo de todos estos años brindándome la educación para poder realizarme profesionalmente, gracias por estar presente en todos los momentos importantes de mi vida brindándome su amor y apoyo, muchos de mis logros se los debo a ustedes incluyendo este.

**Karina Cueva Guzmán**

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

---

**Ing. Washington Medina**

PROFESOR DE MATERIA  
INTEGRADORA

---

**Ph.D Germán Vargas**

TUTOR ACADÉMICO

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

---

Antony Camatón Lastra

---

Karina Cueva Guzmán

## RESUMEN

El presente documento propone una alternativa distinta a la que posee actualmente una empresa proveedora de Internet en una zona residencial de la vida Data-Posorja que solucione sus problemas debido a la alta demanda y competitividad. Para poder determinar si es factible el cambio de su sistema actual por uno que satisfaga las necesidades del mercado.

Se realizó el estudio de equipos y materiales que conforman la estructura para el diseño de la nueva red, y los que posee la red actual, se investigó además las diversas topologías existentes, tipos de transmisión y normativas.

Se realizó una inspección de la zona determinando variables y parámetros para el planteamiento del diseño de una red GPON, se cotizaron materiales a distintos proveedores y se establecieron criterios de diseño que conforme a su prioridad se procedió a tomar una decisión.

Se realizó un análisis financiero para la red inalámbrica y otro para el diseño de la red GPON, y en base a sus resultados se compararon sus flujos de caja para evaluar su viabilidad económica y tomar la decisión de cuál sería la mejor alternativa.



## ABSTRACT

*This document proposes a different alternative to the one that currently has an Internet service provider in a residential area: to determine if it is feasible to change its current system for another one that satisfy the needs of the clients.*

*The study of equipment and materials that are part of the structure for the design of the new network was carried out, and the equipment that the current network has, also we investigated the different existing topologies, types of transmission and regulations.*

*An inspection of the area was done determining the variables and parameters for the design of a GPON network. The materials and suppliers were analyzed, and the design criteria was established.*

*Two financial analysis were carried out, one analysis for the wireless network and another one for the design of the GPON network. Based on the results, the cash flows were compared to evaluate their economic and technical viability to choose the best alternative.*

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>ABREVIATURAS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	x
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Justificación del problema.....	3
1.4 Objetivos .....	3
1.4.1 Objetivo general .....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Estado del arte.....	4
1.6 Alcance del proyecto .....	4
1.7 Metodología general .....	5
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	7
<b>2 MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1 Tecnologías y Redes de Telecomunicaciones.....	7
2.1.1 Red de Acceso .....	8
2.2 Tipos de Fibra Óptica.....	8
2.2.1 Fibra Monomodo.....	8
2.2.2 Fibra Monomodo G.652 D.....	9
2.2.3 Fibra Monomodo G.657 A.....	9
2.3 Redes Ópticas Pasivas (GPON) .....	10
2.3.1 Normativas para una red GPON .....	10
2.3.2 Estructura de una red GPON .....	11
2.3.3 Tipos de Topología .....	14
2.3.4 Transmisión en una red GPON .....	15
2.4 Enlace inalámbrico punto a multipunto.....	16
2.4.1 Equipos de la red inalámbrica del ISP.....	16
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	18
<b>3 DISEÑO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA</b> .....	18
3.1 Inspección.....	18

3.2	Postes .....	18
3.3	Mediciones .....	19
3.4	Marco Legal .....	19
3.5	Equipos .....	20
3.5.1	OLT.....	20
3.5.2	ONU .....	21
3.5.3	Módulo GPON.....	21
3.5.4	Caja de distribución.....	23
3.5.5	Roseta Óptica .....	24
3.5.6	Pigtail .....	24
3.5.7	Patch cord.....	25
3.5.8	Fibra óptica.....	25
3.5.9	Splitters.....	26
3.6	Presupuesto técnico de enlace .....	26
3.7	Criterios de decisión .....	29
3.7.1	Nodo de Acceso.....	29
3.7.2	Escalabilidad .....	29
3.7.3	Tendido Aéreo .....	30
3.7.4	Ubicación de splitters .....	30
3.7.5	Potencia de recepción .....	31
3.8	Planteamiento del diseño de la red .....	33
3.9	Diseño de la red.....	33
3.10	Inversión inicial de la red.....	37
3.11	Toma de decisión.....	37
<b>CAPÍTULO 4</b>	.....	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA</b> .....	<b>44</b>
4.1	Análisis técnico .....	44
4.1.1	Cantidad de suscriptores.....	44
4.1.2	Capacidad .....	44
4.1.3	Arquitectura .....	45
4.1.4	Inmunidad electromagnética .....	45
4.1.5	Multiplexación.....	45
4.1.6	Alcance de la red .....	46
4.2	Decisión .....	46
4.3	Análisis Económico .....	47
4.3.1	Ingresos por Usuario .....	47

4.3.2	Inversión de equipamiento por usuario .....	47
4.3.3	Inversión del Nodo .....	48
4.3.4	Comparación de casos.....	49
4.3.5	Ingresos Anuales.....	52
4.3.6	Costos Anuales .....	53
4.3.7	Beneficio total .....	55
4.3.8	Viabilidad económica .....	56
4.3.9	Indicadores Financieros.....	57
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>58</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		<b>60</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>63</b>

## ABREVIATURAS

GPON	Gigabit Capable Optic Network
ITU-T	Telecommunication Standardization Sector
ARCOTEL	Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones
ISP	Internet service provider
AP	Access Point
PSTN	Public Switched Telephone Network
OLT	Optical line termination
ONT	Optical network termination
ONU	Optical network unit
ODF	Optical distribution frame
ODN	Optical distribution network
SFP	small form-factor pluggable transceptor
WDM	wavelength division multiplexing
TDMA	time division multiplexing access
PTP	Point to point
PMTP	Punto multipoint
ADSS	All dielectric self-supporting
TIR	Tasa interna de retorno
VAN	Valor actual neto
PAYBACK	Plazo de recuperación
SC	Standard connector
IP	Internet protocol
ST	Set and Connect
FC	Ferule connector
LC	Local connector
PMD	Dispersión de modo de polarización
ATM	Asynchronous Transfer Mode
GEM	GPON Encapsulation Method

QoS	Quality of service
CPE	Customer Premises Equipment
APC	Angled Physical Contact
TDM	Time division multiplexing
MIMO	Multiple input multiple output
GPS	Global Positioning System
CNEL	Corporación Nacional de Electricidad
UPC	Ultra Physical Contact
UP	Physical Contact
IPTV	Internet Protocol Television
VoIP	Voice Over Internet Protocol
IVA	Impuesto sobre el valor agregado

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Enlace de fibra óptica .....	5
Figura 2.1 Red de Telecomunicaciones .....	7
Figura 2.2 Fibra Monomodo .....	8
Figura 2.3 Estructura de una red GPON .....	11
Figura 2.4 Tipos de Conectores .....	13
Figura 2.5 Transmisión Downstream.....	15
Figura 2.6 Transmisión Upstream .....	16
Figura 2.7 ePMP FORCE 200 .....	17
Figura 2.8 ePMP FORCE 180 .....	17
Figura 3.1 Ubicación de los postes.....	18
Figura 3.2 Topómetro digital.....	19
Figura 3.3 TP-LINK P1200-08 .....	20
Figura 3.4 Ubiquiti UF-OLT.....	20
Figura 3.5 UF Nano G	
Figura 3.6 UF Loco .....	21
Figura 3.7 UF-GP-B+	
Figura 3.8 UF-GP-C+ .....	22
Figura 3.9 Coyote DCT	
Figura 3.10, 3M Fiber closure size 1 .....	23
Figura 3.11 Roseta óptica ALT .....	24
Figura 3.12 Pigtail OEM.....	24
Figura 3.13 Patch cord FiberShack .....	25
Figura 3.14 Cable exterior ADSS	
Figura 3.15 Cable exterior drop.....	25
Figura 3.16 splitter 3M™ Planar Light Circuit	
Figura 3.17 splitter PLC 1x8 .....	26
Figura 3.18 Esquema de la red GPON del usuario .....	31
Figura 3.19 Simulación del cálculo de atenuación.....	32
Figura 3.20 Diseño A de la red .....	35
Figura 3.21 Diseño B de la red.....	36
Figura 3.22 Zona 1 .....	39

Figura 3.23 Zona 2 .....40

Figura 3.24 Zona 3 .....41

Figura 3.25 Zona 4 .....42

Figura 3.26 Zona 5 .....43

Figura 4.1 Comparación de beneficio neto acumulado entre red de fibra óptica y red  
inalámbrica para el caso 1 .....50

Figura 4.2 Comparación de beneficio neto acumulado entre red de fibra óptica y red  
inalámbrica para el caso 2.....51

Figura 4.3 Comparación de beneficio neto acumulado entre red de fibra óptica y red  
inalámbrica para el caso 3.....52



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características de la fibra G.652 D [13].....	9
Tabla 2.2 Características del cable de la fibra G.652 D [13] .....	9
Tabla 2.3 Características de la fibra G.657A [14].....	10
Tabla 2.4 Características del cable de la fibra G.657 A [14].....	10
Tabla 2.5 Comparación Transceivers Clase B+ y C+ [19].....	14
Tabla 3.1 Comparación de OLT de diferentes fabricantes [29] [30] .....	20
Tabla 3.2 Comparación de ONU [31] .....	21
Tabla 3.3 Comparación de Módulos GPON [31] .....	22
Tabla 3.4 Características de cajas de distribución [35] [36].....	23
Tabla 3.5 Características de Splitters.....	26
Tabla 3.6 Niveles de Potencia OLT clase B+ [42] .....	27
Tabla 3.7 Niveles de Potencia ONT clase B+ [42].....	27
Tabla 3.8 Atenuación del cable de la fibra G.652 clase B+ [42] .....	27
Tabla 3.9 Atenuación de splitter óptico [43].....	27
Tabla 3.10 Pérdidas por Inserción y fusión [43].....	28
Tabla 3.11 Inversión inicial para la implantación de infraestructura .....	37
Tabla 3.12 Comparación de ambos diseños .....	37
Tabla 4.1 Comparación entre ambas tecnologías .....	46
Tabla 4.2 Ingreso por usuario.....	47
Tabla 4.3 Materiales para instalación de un usuario de red de fibra óptica .....	48
Tabla 4.4 Materiales para instalación de un usuario de red inalámbrica .....	48
Tabla 4.5 Costo de Inversión para implementación de nodo de fibra óptica .....	48
Tabla 4.6 Costo de Inversión para implementación de nodo de red inalámbrica .....	49
Tabla 4.7 Proyección de crecimiento de usuarios .....	49
Tabla 4.8 Beneficio neto acumulado para ambas tecnologías .....	50
Tabla 4.9 Proyección de usuarios para el tercer caso.....	52
Tabla 4.10 Ingresos Anuales .....	52
Tabla 4.11 Costos anuales de red de fibra óptica .....	53
Tabla 4.12 Costos anuales de red inalámbrica.....	53
Tabla 4.13 Beneficio total red de fibra óptica.....	55
Tabla 4.14 Beneficio total red Inalámbrica .....	56

Tabla 4.15 Indicadores económicos de red de fibra óptica y red inalámbrica .....	57
--	----

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El servicio de Internet fijo, en nuestro país refleja un gran crecimiento, por lo que el estado ecuatoriano se ve obligado a promover el aumento de este, según indica el Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnologías de Información y Comunicación 2016–2021 [1]. Las Estadísticas de Telecomunicaciones de la ARCOTEL, indican que el 39% de los hogares posee internet fijo de los 1,8 millones de cuentas contratadas, un valor veinte veces mayor respecto al año 2010 [2].

**Tabla 1.1 Cuentas Internet Fijo por cada 100 habitantes [3]**

<b>Año</b>	<b>Cuentas</b>	<b>Población</b>	<b>Cuentas por cada 100 habitantes</b>
dic-10	472.429	14.111.640	3,35%
dic-11	645.822	14.443.679	4,47%
dic-12	890.276	14.899.214	5,98%
dic-13	1.084.535	15.774.749	6,88%
dic-14	1.322.802	16.027.466	8,25%
dic-15	1.491.405	16.278.844	9,16%
mar-16	1.511.964	16.341.316	9,25%
jun-16	1.544.558	16.403.786	9,42%
sep-16	1.583.855	16.466.259	9,62%
dic-16	1.613.358	16.528.730	9,76%
mar-17	1.652.079	16.590.792	9,96%
jun-17	1.700.107	16.652.854	10,21%
sep-17	1.727.790	16.714.915	10,34%
dic-17	1.779.390	16.776.977	10,61%
mar-18	1.818.636	16.838.585	10,80%
jun-18	1.871.242	16.900.193	11,07%

Debido a este crecimiento hoy en día existen diversas maneras para poder acceder a Internet, a través de medios físicos tales como: cable coaxial, par trenzado de cobre, fibra óptica y los que utilizan el aire como medio de transmisión utilizando el espectro radioeléctrico.

El servicio de Internet alámbrico ha ido en aumento, según datos del Arcotel para segundo trimestre del año 2017 se tiene que el 53,36% del servicio de acceso a Internet se distribuye a través de cobre, el 17,63% a través de cable coaxial, el 20,13% a través de fibra óptica y un 8,88% a través de medios inalámbricos. [4]

De las cuales, la fibra óptica ofrece un mejor servicio debido a que transmite datos a altas velocidades y no sufre de interferencias electromagnéticas. Con su desarrollo han aparecido nuevas tecnologías como las PON (passive optical network), estas utilizan cableado de fibra óptica para llegar al usuario, además de dispositivos que no requieren energía eléctrica para su funcionamiento y por consiguiente su implementación es más económica

## **1.2 Descripción del problema**

El constante desarrollo a causa de la plusvalía en el cantón Villamil Playas ha generado que muchas empresas se vean en la necesidad de invertir en proyectos inmobiliarios y turísticos en sectores a sus alrededores. Ya que el uso de Internet promueve el progreso de la sociedad en conjunto, este debe ser asequible y costeable para todos.

CELERITEL es un ISP (Internet service provider) que brinda el servicio de Internet a través de una red inalámbrica, siendo los nodos insuficientes para cumplir con los requerimientos de los clientes; por lo que en vista de la alta demanda y la competitividad la empresa se ve obligada a invertir y renovar sus equipos constantemente por otros más sofisticados lo que representa un alto costo para la empresa y, por lo tanto, un mayor costo al usuario. Este procedimiento de crecimiento ha hecho que se quede atrás en comparación con sus competidores quienes se encuentran en el proceso de

implementación de nuevas tecnologías como la fibra óptica, ofreciendo ellos un mejor desempeño y reduciendo la tarifa al usuario final.

### **1.3 Justificación del problema**

En la última década, el número de ISP ha incrementado cerca de veintiún veces a nivel nacional [5], lo cual conlleva a una alta competitividad en el mercado, en cuanto a la tarifa que se cobra al cliente, calidad de servicio y equipamiento. Por esta razón, el ISP se ve obligado a analizar otras tecnologías para determinar si es factible el cambio de su sistema actual por otro que satisfaga las necesidades del mercado. Por estas razones se realizará un análisis técnico-económico para la implementación del diseño de una red GPON en un sector residencial de la vía Data-Posorja, de tal forma que se reduzcan los problemas que posee la red actual y represente un menor costo al cliente.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar una red con tecnología GPON en un sector de la vía Data-Posorja y analizar comparativamente los aspectos técnicos-económicos respecto del sistema actual de CELERITEL.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Conocer el funcionamiento del sistema actual e identificar sus componentes.
- Determinar el sector donde se instalaría el nuevo sistema.
- Diseñar la red GPON en la vía Data-Posorja.
- Evaluar el costo de implementación del diseño del enlace de fibra óptica, y su rentabilidad a futuro.
- Determinar la factibilidad técnica-económica de la red GPON con respecto a la red inalámbrica actual.

## **1.5 Estado del arte**

Estudios similares han sido realizados por varias personas, pero en diferentes localidades del Ecuador, entre ellas tenemos que, en el año 2011, Jaime Silva [6] indicó que el sistema de fibra óptica garantiza un mayor tiempo de vida útil, capacidad de transmisión y escalabilidad.

Una tesis realizada en el año 2017 demuestra la factibilidad de implementar el sistema de fibra óptica en Babahoyo, basándose en la satisfacción reflejada por los clientes [7]. Ambos estudios fueron realizados en comparación con el sistema inalámbrico punto-multipunto, donde la fibra óptica fue escogida como la mejor opción para su implementación.

Por el contrario, Adrián Pineda al realizar el mismo análisis concluyó que ambos sistemas se complementan [8], porque se puede llegar al nodo central vía fibra óptica y su distribución se puede realizar de manera inalámbrica, ya que no existe infraestructura física para llegar al usuario.

En vista de que existen requerimientos en los cuales se desea transmitir a mayores distancias con un mayor ancho de banda, esto es común en las zonas donde no hay infraestructura para la instalación de medios físicos.

En este trabajo se analizarán ambos sistemas tanto el inalámbrico como el de fibra óptica para determinar cuál es la mejor opción técnico y económicamente, teniendo en cuenta que en la zona además de casas también se encuentran urbanizaciones aledañas y debido a su distribución se considerará un diseño específico de topología para su red de acceso. Por otro lado, sus dueños las visitan vacacionalmente, por tanto, una parte de los usuarios requieren el servicio de Internet fijo bajo demanda por un periodo de tiempo el cual será considerado en nuestro análisis.

## **1.6 Alcance del proyecto**

Este proyecto se encuentra orientado al diseño de un enlace de fibra óptica usando la tecnología GPON y el análisis para su posible implementación, de

este modo se podrá brindar el servicio de Internet residencial garantizando conectividad a altas velocidades, a un menor costo por usuario.

Por consiguiente, se ha considerado la zona desde el km 1.5 hasta la Urbanización Riviera de la mar ubicada en el km 2.5 en la carretera vía a Data-Posorja, como indica la Figura 1.2, ya que allí existen gran cantidad de urbanizaciones en donde se encontrarían los potenciales clientes.



**Figura 1.1 Enlace de fibra óptica [9]**

Además, esta zona se encuentra en proceso de desarrollo inmobiliario por lo que se deberá considerar escalabilidad a futuro en nuestra evaluación, para así poder determinar cuál es el sistema idóneo que cumpla con los requerimientos de los usuarios.

Se tiene como entregable un informe técnico-económico del nuevo diseño y su comparación con el sistema actual en donde se incluirá si es factible su implementación.

## **1.7 Metodología general**

Se evaluará el sistema actual, para brindar una mejora respecto al coste que le representa a la empresa por usuario y la tarifa que se cobra al cliente, analizando costos por equipos e instalación.

Con la ayuda de la cartografía de la zona, se procederá a realizar la inspección in situ para conocer la infraestructura física existente y determinar si es posible la instalación de la fibra óptica, ya sea vía aérea usando los postes de energía eléctrica o vía soterrada de ser posible.

Una vez analizada la infraestructura, se procederá a determinar los parámetros y variables que deban considerarse para el correcto diseño de este enlace, realizando un estudio de equipos y materiales que se ajusten al entorno, tomando en cuenta las limitaciones, presupuesto del ISP y su escalabilidad a futuro.

Teniendo ya definido los equipos y materiales a utilizar en este diseño, estos serán cotizados a diversos proveedores, donde se realizará un análisis de costo que considere todos los factores relevantes.

Finalmente, se realizará un análisis financiero, el cual reflejará la rentabilidad a futuro de la inversión, considerando esto se analizarán las ventajas y desventajas en contraste con el sistema que el ISP posee actualmente (inalámbrico), para luego tomar la decisión de cuál sería la mejor alternativa.



# CAPÍTULO 2

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Tecnologías y Redes de Telecomunicaciones

Una red de telecomunicación está conformada por tres partes como se indica en la Figura 2.1 tales como la red de acceso, red de transporte y red de distribución, y se encuentran detalladas a continuación: [10]

Red de acceso: Se encarga de llevar todos los contenidos multimedia hasta usuario final.

Red de transporte: Se encarga de hacer posible que la red alcance cualquier extensión geográfica que este dentro del área de cobertura.

Red de distribución: Se encarga de la transmisión de datos y conmutación, teniendo como misión principal multiplexar la información proveniente de diferentes proveedores de servicios o distintos usuarios.

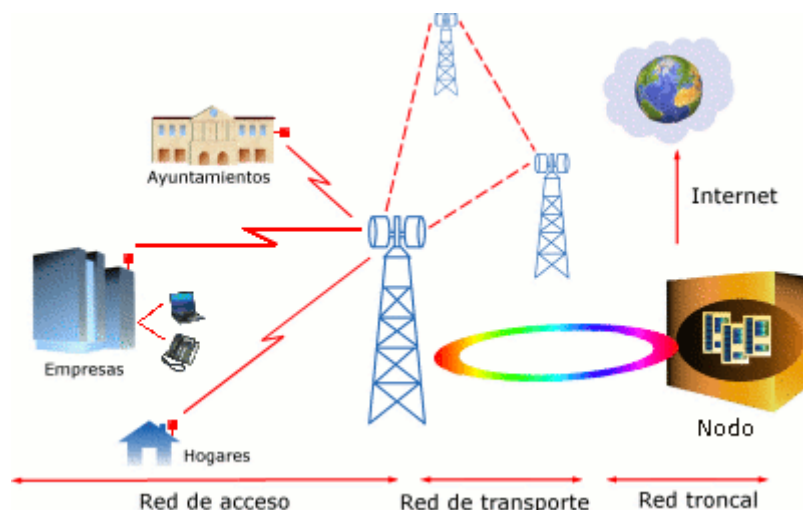


Figura 2.1 Red de Telecomunicaciones [10]

### 2.1.1 Red de Acceso

Para el presente trabajo se analizarán únicamente las siguientes tecnologías de red de acceso:

- Acceso por cable físico (fibra óptica)
- Acceso inalámbrico

## 2.2 Tipos de Fibra Óptica

Una fibra óptica se compone de un núcleo central revestido con un material de índice de refracción ligeramente inferior al exterior, donde si el índice de refracción del núcleo es constante, dicha fibra se denomina fibra de índice escalonado. La mayoría están hechas de vidrio, es decir, sílice, pero también se fabrican de plástico y poseen una chaqueta de polímero que se utiliza para proteger la fibra de la humedad y la abrasión.

Una de sus características más importantes es que puede trabajar en diferentes modos, ya sea monomodo o multimodo, siendo la fibra óptica monomodo la más usada en el mercado. [11]

### 2.2.1 Fibra Monomodo

Es un tipo de fibra que posee un diámetro estrecho por lo que se propaga de un único modo como muestra la Figura 2.1.1, con un diámetro de 8.3 a 10  $\mu\text{m}$ , apropiado para longitudes de onda de 1.310 a 1.550 nm y una tasa de transmisión más alta, se puede propagar hasta 50 veces más distancia en comparación con la fibra multimodo. [12]



Figura 2.2 Fibra Monomodo [12]

### 2.2.2 Fibra Monomodo G.652 D

El estándar ITU-T G.652 resume los parámetros físicos y de transmisión de una fibra monomodo de longitud de onda de 1310 nm y de su cable, aunque podrían trabajar a otras longitudes de onda. Se clasifican en 4 categorías A, B, C y D que entraron en vigor desde el año 2009 con ciertos cambios en el año 2016.

Estas fibras y cables ópticos se pueden usar para sistemas de dispersión de modo de polarización (PMD) como sistemas con longitudes de enlace cortas o con alta tolerancia PMD. A continuación, en las Tablas 2.1, 2.2, se muestran las características de la fibra G.652D. [13]

**Tabla 2.1 Características de la fibra G.652 D [13]**

Características de la fibra		
Atributo	Variable	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Rango de valores nominales	8,6-9,2 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,4 \mu\text{m}$
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_0$ mínimo	1300 nm
	$\lambda_0$ máximo	1324 nm
	S0 máximo	0,092ps/nm <sup>2</sup> xKm

**Tabla 2.2 Características del cable de la fibra G.652 D [13]**

Características del cable		
Atributo	Variable	Valor
Coeficiente de atenuación	1310 nm $\leq \lambda \leq$ 1625 nm	0,4 dB/Km
	1383 nm $\leq \lambda \leq$ 1480 nm	0,4 dB/Km
	1530 nm $\leq \lambda \leq$ 1565nm	0,3 dB/Km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	P	0,01%
	Máximo PMDq	0,20ps/ $\sqrt{\text{km}}$

### 2.2.3 Fibra Monomodo G.657 A

El estándar ITU-T G.657 resume los parámetros físicos y de transmisión de una fibra monomodo de longitud de onda de 1310 nm y de su cable. Se clasifican en 2 categorías A y B que entraron en vigor desde el año 2016. La categoría A es compatible con el estándar ITU-T G.652, y su objetivo es mejorar el rendimiento en la red de transporte debido al recorrido de la fibra

dentro de espacios reducidos y su manipulación. [13], en las Tablas 2.3 y 2.4 se pueden observar sus características principales.

**Tabla 2.3 Características de la fibra G.657A [14]**

Características de la fibra		
Atributo	Variable	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Rango de valores nominales	8,6-9,2 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,4 \mu\text{m}$
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_0$ mínimo	1300 nm
	$\lambda_0$ máximo	1324 nm
	S0 máximo	0,092ps/nm <sup>2</sup> xKm

**Tabla 2.4 Características del cable de la fibra G.657 A [14]**

Características del cable		
Atributo	Variable	Valor
Coeficiente de atenuación	1310 nm $\leq \lambda \leq$ 1625 nm	0,4 dB/Km
	1383 nm $\leq \lambda \leq$ 1480 nm	0,4 dB/Km
	1530 nm $\leq \lambda \leq$ 1565nm	0,3 dB/Km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	P	0,01%
	Máximo PMDq	0,20ps/ $\sqrt{\text{km}}$

## 2.3 Redes Ópticas Pasivas (GPON)

La terminología GPON corresponde al acrónimo gigabit-capable passive optical network, con lo cual con un solo hilo de fibra óptica se pueden alcanzar velocidades de transmisión al nivel de Gigabit por segundo.

### 2.3.1 Normativas para una red GPON

La tecnología GPON está basada el estándar ITU-TG.984. la última generación de estándares de acceso óptico pasivo de banda ancha, cuyas principales características se detallan a continuación: [15]

- Gran ancho de banda con velocidad descendente de hasta 2.5 Gbit/s y velocidad ascendente de hasta 1.2 Gbit/s.
- Alcance físico de hasta 20 km.
- Alcance lógico de hasta 60 km.
- Transporta celdas ATM (Asynchronous Transfer Mode) o trama GEM (GPON Encapsulation Method) para la transmisión.

- Proporciona mecanismos de protección y funciones OAM (operación, administración y mantenimiento) en la red de acceso.
- QoS que garantiza el ancho de banda necesario para cada usuario.
- Admite servicios de datos (Ethernet), servicios PSTN (Public Switched Telephone Network), líneas privadas (T1, E1, DS3, E3) y servicios de video.

### 2.3.2 Estructura de una red GPON

La estructura de una red GPON se compone de varios equipos estandarizados [15], entre ellos: la OLT y la ONT / ONU. Los dos primeros dispositivos están conectados por un solo modo de fibra óptica y divisor pasivo que consiste en ODN y sistema de gestión de red, tal como indica Figura 2.3

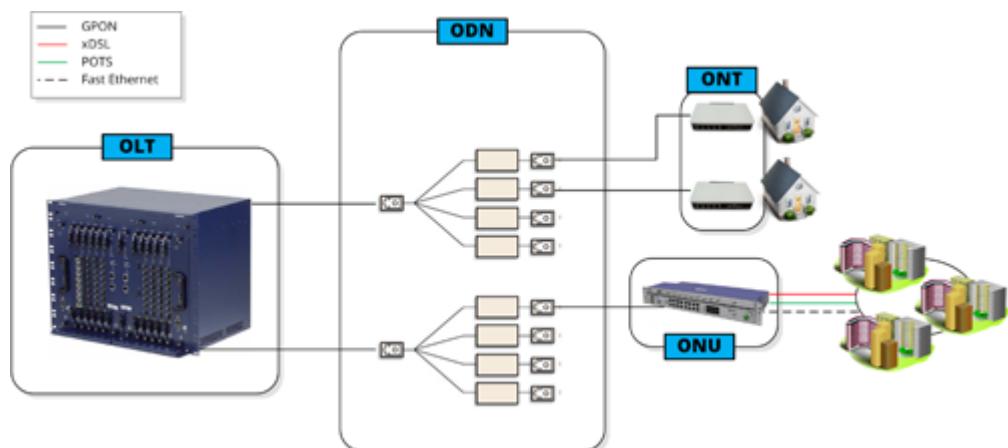


Figura 2.3 Estructura de una red GPON [15]

#### 2.3.2.1 OLT

Es el equipo principal que posee el ISP, este es la central que conmutará toda la red GPON y posee diversidad de puertos tanto eléctricos como ópticos.

La OLT está conformado por la interfaz de red de distribución óptica, la función de interfaz de puerto de servicio y la función de conexión cruzada. [15]

### **2.3.2.2 ODN**

Es un tipo de distribución óptica que interconecta las ONU con las OLT, la ODN se encuentra conformado por la fibra monomodo, cable óptico, conectores ópticos, empalmes, atenuadores, cajas de distribución. [15]

### **2.3.2.3 ONU**

Son los dispositivos de distribución que cumplen la función de MUX y DEMUX para manejar el tráfico de red. [15]

### **2.3.2.4 Splitters**

Un aspecto importante de las redes GPON es el uso de splitters pasivos [15], dispositivos que nos ayudan a dividir la señal óptica de la fibra y así poder llegar a más usuarios, pero así mismo, mientras mayor sea esta división, mayor potencia requerirá. Por ello, se recomienda una relación máxima de 1:64 para poder transmitir en óptimas condiciones.

### **2.3.2.5 Empalmes**

Existen dos tipos de empalmes: mecánicos y por fusión, dichos empalmes son necesarios, ya que nos permiten unir fibras en caso de que se requiera una mayor distancia de la que el fabricante ofrece, o para unir las en caso de rotura.

El empalme mecánico requiere que se junten los extremos de la fibra y que el centro de las fibras coincida con el revestimiento para que se produzca la mejor alineación posible y mediante un pegamento o un soporte mecánico se logra fijar ambas fibras. Por su parte, el empalme por fusión requiere de una máquina especial llamada fusionadora, que realiza el corte, alineación y unión de las fibras, que lo logra haciendo que ambas fibras alcancen su punto de fusión y logren hacer un empalme de mejor calidad que el anterior [16].

### 2.3.2.6 Conectores

Aunque el sistema GPON funcione a través de luz, no lo hace exento del uso de conectores para poder realizar las conexiones entre los equipos, y se busca que estos produzcan la menor pérdida posible hacia el sistema. Entre los conectores más modernos tenemos el SC (Standard Connector) y el LC (Lucent Connector) como se puede observar en la Figura 2.4.



**Figura 2.4 Tipos de Conectores [17]**

El conector SC es de tipo snap-in que se ajusta con un mecanismo push-pull para evitar su desconexión, fue introducido en la década de los 80 y revolucionó el mercado debido a su reducido tamaño teniendo 2.5 mm de diámetro, férula de cerámica y bajo costo, al tener características similares a una unión de vidrio los hacía más confiables al unir las fibras con respecto a sus antecesores que usaban férulas de metal o plástico. Luego en los años 90 aparecen los conectores tipos LC manteniendo una férula de cerámica, pero de un tamaño menor al SC (1.25 mm) por lo que son los conectores que se utilizan en la actualidad, ya que logra velocidades de más de 1 Gb/s usando formato dúplex. [18]

### 2.3.2.7 Módulo GPON

Es un tipo de transceiver, capaz de convertir las señales ópticas en eléctricas a través de un puerto SFP, siendo compatible con el sistema WDM en fibras monomodo. Estos módulos son categorizados por clases siendo B+ o C+, siendo sus características más representativas la ventana óptica y la sensibilidad en el receptor como se indica en la Tabla 2.5. Al momento de realizar los cálculos de potencia se debe tener muy

en cuenta este valor de sensibilidad, ya que se puede quemar fácilmente. [19]

**Tabla 2.5 Comparación Transceivers Clase B+ y C+ [19]**

Tipo de Transceiver	Clase B+		Clase C+	
	Potencia Tx	Min Rx	Potencia Tx	Min Rx
Rx desde OLT	1.5-5 dBm	-28 dBm	3-7 dBm	-32 dBm
Longitud de onda desde OLT	1480-1500 nm	1260-1360 nm	1480-1500 nm	1290-1330 nm
Rx desde ONT	0.5-5 dBm	-27 dBm	0.5-5 dBm	-30 dBm
Longitud de onda desde ONT	1260-1360 nm	1480-1500 nm	1290-1330 nm	1480-1500 nm

### 2.3.3 Tipos de Topología

Al momento de realizar el diseño de una red es necesario conocer los diversos tipos de topologías de red, los cuales sirven de guía para continuar con nuestro trabajo. Por ello hemos decidido analizar los dos siguientes:

#### 2.3.3.1 Topología centralizada

La topología centralizada utiliza un splitter de 1:2 en la oficina central y un splitter de 1:32 en la planta externa, o también solo un splitter de 1:64 dentro de la oficina central. El puerto de la OLT se empalmará a una sola fibra que sale de la oficina central, y el otro lado del splitter saldrán 32 fibras que van por la red de distribución llegarán a los ONT ubicados en los hogares de 32 clientes, es decir por cada puerto de la OLT se conectara 32 ONT [20].

#### 2.3.3.2 Topología en cascada

La topología en cascada no tiene splitter en la oficina central, la fibra de la red de distribución sale directamente del puerto de la OLT y se conecta a la entrada de un splitter de 1x4 o 1x8 cerca de la oficina central, un segundo splitter de 1x8 o 1x16 se conecta a las fibras que salen del primer splitter, este se lo instala en una caja de terminales cerca de las



casas de los clientes, ayudando a tener un mejor control de identificación de cada cliente. La cantidad de fibra en esta topología es menor en la red de distribución, etapa donde se tiene un mayor costo en infraestructura [20].

La desventaja de esta topología es que con los años existirá un aumento en la cantidad de usuarios y se requerirá instalar nuevos divisores o eliminar los ya existentes, representando mayor tiempo y costo.

### 2.3.4 Transmisión en una red GPON

Las redes GPON utilizan WDM (Multiplexación por división de longitud de onda) para separar señales de subida y señales de bajada, transmitiendo varias señales por una sola fibra, a través diferentes longitudes de onda. En la Figura 2.5 se puede observar que las señales de bajada (Downstream) transmiten los paquetes desde el OLT a todos los ONT en forma de broadcast, de esta manera el ONT separa el paquete que le corresponde a cada usuario [21].

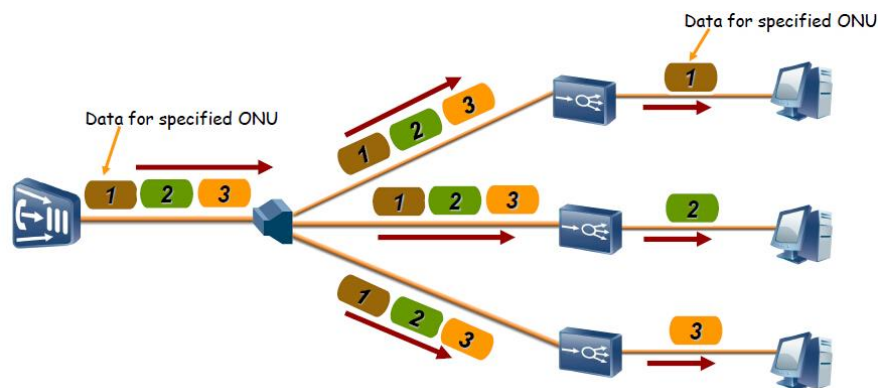


Figura 2.5 Transmisión Downstream [21]

En la Figura 2.6 se puede observar que las señales de subida (upstream) transmiten los paquetes desde cada ONT al OLT en modo TDMA (Time Division Multiple Access), teniendo en cuenta que debe emitir sin provocar colisiones [21].

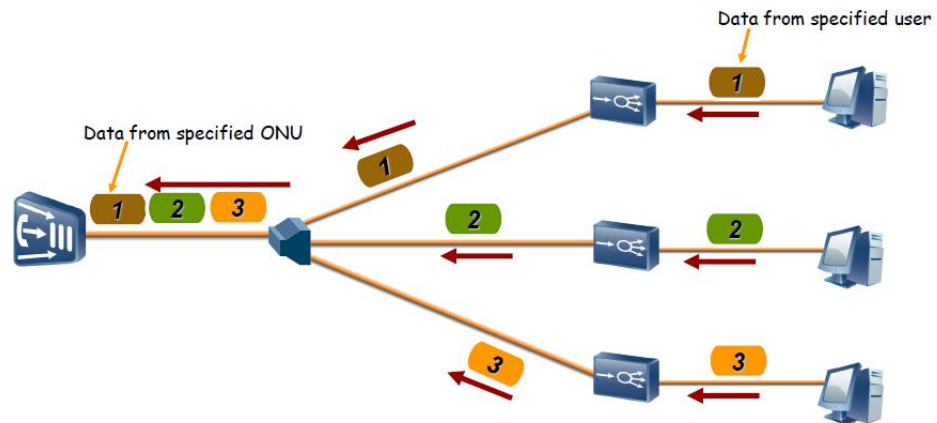


Figura 2.6 Transmisión Upstream [21]

## 2.4 Enlace inalámbrico punto a multipunto

Es un enlace donde existen varias rutas desde un solo punto, usando una antena transmisora y múltiples antenas receptoras. Estas antenas transmiten utilizando TDM para transmisión de datos, aunque pueden transmitir VoIP. Estos equipos vienen con antenas integradas con polarización dual, es decir vertical y horizontal [22].

### 2.4.1 Equipos de la red inalámbrica del ISP

Para los enlaces troncales se usa la radio ePMP FORCE 200 como PTP desde el nodo principal y para los enlaces PMTP se utiliza la radio ePMP 1000 operando como punto de acceso transmitiendo y la radio ePMP180 como módulo suscriptor recibiendo la señal.

#### 2.4.1.1 ePMP FORCE 200

La Figura 2.7 muestra una radio PMP que posee una antena parabólica con tecnología MIMO 2x2, es decir dos transmisores y 2 receptores, que puede operar como CPE (Customer Premises Equipment) CPE, AP (Access Point) o PTP (punto a punto) de alta ganancia, que opera a la frecuencia de 2.4 y 5GHz.



**Figura 2.7 ePMP FORCE 200 [23]**

#### **2.4.1.2 ePMP FORCE 180**

La Figura 2.8 muestra una radio PMP que posee una antena tipo parche, esta puede operar como Modulo de suscriptor, AP o PTP, operando a la frecuencia de 5GHZ. Está alimentada por PoE y posee además un puerto Gigabit Ethernet.



**Figura 2.8 ePMP FORCE 180 [24]**

#### **2.4.1.3 ePMP 1000**

La Figura 2.9 muestra una radio que funciona como esclavo de una radio GPS sincronizada, que puede operar como punto de acceso, módulo suscriptor o una radio backhaul. Se puede conectar a antenas externas en un rango de 90 a 120 grados, soportando hasta 120 suscriptores.



**Figura 2.9 ePMP 1000 [25]**

# CAPÍTULO 3

## 3 DISEÑO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA

### 3.1 Inspección

En primera instancia se realizó una inspección visual del lugar, recorriendo la vía Data-Posorja y sus alrededores y se encontró que en la vía principal se encuentran redes de fibra óptica dedicadas y troncales de varios proveedores, pero no acceden hasta la zona residencial. Por tanto, se estima que existe una oportunidad de llevar el servicio de internet a estos hogares.

### 3.2 Postes

El uso de los postes de alumbrado público y transmisión de energía eléctrica son parte fundamental para el despliegue de la fibra óptica vía aérea, esto no quiere decir que no exista la posibilidad de una distribución soterrada pero debido a que su costo es más elevado no será considerada para nuestro análisis.

A través del uso de una aplicación móvil<sup>1</sup>, se tomó lecturas de las coordenadas de cada uno de los postes que serán parte de la nueva red de fibra óptica, de la misma manera, usando la herramienta Google Earth fueron ingresados estos datos y se tiene una mejor apreciación del lugar como indica la Figura 3.1.



**Figura 3.1 Ubicación de los postes**

<sup>1</sup>Aida 64 for iOS - © 2015-2018 FinalWire Ltd.

### 3.3 Mediciones

Se utilizó topómetro digital STANLEY DMW30 como se puede apreciar en la Figura 3.4, equipo con el cuál se midió la distancia entre cada uno de los postes que se encontraron en la zona, dando un total de 5.26 Km.



Figura 3.2 Topómetro digital

### 3.4 Marco Legal

Este proyecto se realizó de acuerdo normativas del Arcotel, que en su mayoría se encuentran basadas en las recomendaciones de la ITU-T. Por ello, en la resolución 568 [26] , que en su artículo 5 indica la reglamentación para el tendido de redes físicas aéreas en postes de redes eléctricas [27], Al verse en la necesidad de usar la infraestructura ya existente, al momento de realizar el primer recorrido, se encontró que los postes pertenecen a CNEL E.P., que posee su propia reglamentación para el despliegue de redes aéreas de telecomunicaciones en los postes de su propiedad, cuyos requisitos están detallados en el anexo: [28] por tanto se requiere alquilar espacio en estos postes, que luego de hacer una consulta a su departamento de Gerencia Técnica se nos informó que se tiene que pagar un valor anual por poste de \$6.30+IVA.

### 3.5 Equipos

Se analizó los equipos de los dos fabricantes más reconocidos en el desarrollo de tecnología GPON, teniendo en cuenta los parámetros de la ITU-T para una red GPON siendo imparcial al momento de elegir una u otra marca comercial.

#### 3.5.1 OLT

Se tienen dos opciones de equipos OLT como se indica en las Figuras 3.3 y 3.4, el equipo TP-LINK [29] como se puede observar en la Tabla 3.1 tiene un mayor costo respecto al Ubiquiti debido a la cantidad de puertos que posee, pero para nuestro diseño, solo necesitamos los puertos SC/APC GPON, siendo así el equipo Ubiquiti [30], la mejor opción. Debido a que existen restricciones del fabricante para el uso de módulos PON-SFP y ONU, estos serán de la marca Ubiquiti.

**Tabla 3.1 Comparación de OLT de diferentes fabricantes [29] [30]**

Características	TP-LINK P1200-08	Ubiquiti UF-OLT
Interfaz	8 puertos SC/APC GPON 8 puertos SFP+ 2 puertos 10 GB SFP+ 8 puertos Gigabit RJ45	8 puertos SC/APC GPON 2 puertos SFP+ 1 puerto RJ45 para administración
Velocidades de transmisión por puerto	2.488 Gbps de bajada 1.244 Gbps de subida	2.488 Gbps de bajada 1.244 Gbps de subida
Longitud de onda	Subida: 1310nm Bajada: 1490 nm	Subida: 1310nm Bajada: 1490 nm
Módulo óptico	Clase B+ y C+	Clase B+ y C+
Precio	\$2818.70	\$1499



**Figura 3.3 TP-LINK P1200-08 [29]**



**Figura 3.4 Ubiquiti UF-OLT [30]**

### 3.5.2 ONU

El fabricante nos brinda dos opciones, en este caso el UF Loco [31] y el UF Nano G [31], como se puede ver en las Figuras 3.6 y 3.7. En la Tabla 3.2 podemos ver sus principales características donde su principal diferencia es que en UF Nano G posee un panel digital, pero consideramos que este es innecesario ya que los datos que muestran pueden ser monitoreados por otros métodos, por eso elegimos el UF Loco.

**Tabla 3.2 Comparación de ONU [31]**

Características	UFiber Nano G	UFiber Loco
Interfaz	1 puerto SC/APC GPON 1 puerto GE 10/100/1000 Mbps	1 puerto SC/APC GPON 1 puerto GE 10/100/1000 Mbps 1 puerto Micro-USB
Velocidades de transmisión	2.488 Gbps de bajada 1.244 Gbps de subida	2.488 Gbps de bajada 1.244 Gbps de subida
Longitud de onda	Subida: 1310nm Bajada: 1490 nm	Subida: 1310nm Bajada: 1490 nm
Potencia TX	-28 dBm hasta -8 dBm	1.5 dBm hasta 5 dBm
Potencia RX	-28 dBm hasta -8 dBm	1.5 dBm hasta 5 dBm
Módulo óptico	Clase B+	Clase B+
Precio	\$69	\$49



**Figura 3.5 UF Nano G [31]**



**Figura 3.6 UF Loco [31]**

### 3.5.3 Módulo GPON

Este equipo será el transmisor y receptor en el nodo central, se tiene en cuenta los dos tipos de módulos que nos ofrece el fabricante como se

puede observar en las Figuras 3.7 y 3.8, donde se debe cuidar que tengan el conector de tipo SC y que tenga longitud de onda de 1310nm para el upstream y 1490 nm para el downstream, datos que podemos corroborar en la Tabla 3.3. Su principal diferencia radica en que el módulo C+ [31] posee una mayor potencia de transmisión y una menor sensibilidad, pero como la ONU escogida funciona con un módulo GPON clase B+ [31], elegiremos este.

**Tabla 3.3 Comparación de Módulos GPON [31]**

<b>Característica</b>	<b>Ubiquiti UF-GP-B+</b>	<b>Ubiquiti UF-GP-C+</b>
Longitud de onda	Subida: 1310nm Bajada: 1490 nm	Subida: 1310nm Bajada: 1490 nm
Tipo de fibra	monomodo	monomodo
Distancia del Cable	20Km	20Km
Tipo del conector	SC/UPC	SC/UPC
Tasa de datos Downstream	2.5 Gbps	2.5 Gbps
Tasa de datos Upstream	1.25 Gbps	1.25 Gbps
Rango de potencia TX	1.5 a 5 dBm	3 a 7 dBm
Rango de potencia RX	-8 a -28 dBm	-12 a -30 dBm
Precio	\$79	\$79



**Figura 3.7 UF-GP-B+ [32]**



**Figura 3.8 UF-GP-C+ [33]**



### 3.5.4 Caja de distribución

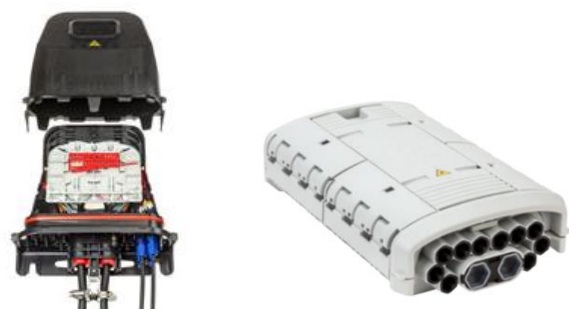
Aquí se serán guardados los splitters y empalmes de la red de distribución, estas cajas deben ser herméticas y soportar las condiciones climáticas de la zona de acuerdo con las normas IP [34], se buscará que los equipos cumplan como mínimo con la norma IP65, en las Figuras 3.9 y 3.10 podemos observar su estructura física y en la Tabla 3.4 podemos comparar las características de dos fabricantes. Donde el equipo de la marca 3M™ a pesar de ser una marca más reconocida tiene un menor costo, siendo la mejor opción.

**Tabla 3.4 Características de cajas de distribución [35] [36]**

Característica	COYOTE DCT 4	3M Fiber closure size 1
Bandejas de empalme máximo	16	12
Norma IP	IP65	IP68
Puertos para fibra drop	4	16
Puertos para fibra de distribución	2	2
Precio	\$41	\$25



**Figura 3.9 Coyote DCT [35]**



**Figura 3.10, 3M Fiber closure size 1 [36]**

### 3.5.5 Roseta Óptica

Es un punto de terminal óptico [37], se ubica en la casa del cliente donde llega el cable de acometida y se fusiona con un pigtail que sirve de interfaz para conectar un patch cord hacia la ONT del cliente. La Figura 3.11 muestra este equipo genérico, por lo que no se tiene comparación con otro fabricante, sus características principales son:

- Tornillo de seguridad
- Adaptador SC/APC
- Precio: \$2,50



**Figura 3.11 Roseta óptica ALT [37]**

### 3.5.6 Pigtail

Son cables de un solo hilo de fibra que tienen conectado un conector tipo SC/LC/ST en uno de sus extremos sirviendo de interfaz, como se puede observar en la Figura 3.12, estos por medio de fusión se conectan al cable de fibra de acometida, y su fabricación es genérica [38], entre sus características principales se tiene:

- Conector tipo UPC/APC
- Tipo de fibra 657A
- Precio \$3,50 x 5 unidades



**Figura 3.12 Pigtail OEM [38]**

### 3.5.7 Patch cord

Son cables de fibra óptica con conectores tipo SC/APC en sus dos extremos como se puede observar en la Figura 3.13 [39], que sirven para la conexión final de fibra óptica hacia la ONT, así mismo este elemento es genérico, y entre sus características principales se tiene:

- Longitud de onda: 1310 nm / 1550 nm
- Conector tipo SC/APC
- Precio \$10



Figura 3.13 Patch cord FiberShack [39]

### 3.5.8 Fibra óptica

Se usará el tipo de cable que se comercializa en nuestro país, por ello para la red troncal se usará cable ADSS auto soportado del tipo G.652D con 6 hilos de fibra óptica [40] como se puede ver en la Figura 3.14, y para la distribución y acometida se usará cable drop del tipo G.657A con 1 hilo de fibra óptica [40] como se puede ver en la Figura 3.15.



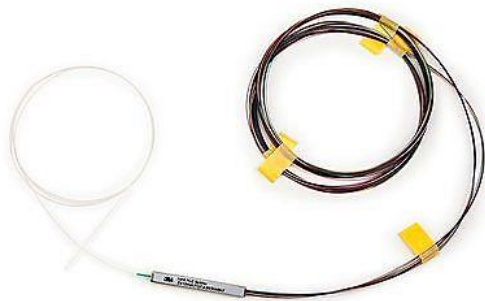
Figura 3.14 Cable exterior ADSS [40] Figura 3.15 Cable exterior drop [40]

### 3.5.9 Splitters

Este es un elemento de gran importancia, ya que es el que permite que de un solo hilo de fibra se llegue a varios clientes, en las Figuras 3.16 [36] y 3.17 [41] se pueden observar splitters de dos fabricantes, con gran similitud física, y en la Tabla 3.5 se tienen las características de ambos fabricantes y se puede apreciar que son similares, pero debido a que la marca 3M™ es más reconocida esta será nuestra mejor opción.

**Tabla 3.5 Características de Splitters [36] [41]**

Características	3M™ Planar Light Circuit	OEM
Longitud de onda	1260 ~ 1360 nm 1450 ~ 1650 nm	1260 ~ 1650 nm
Tipo de fibra	G657A / G652D	G657A / G652D
Numero de puertos	1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32	1:4, 1:8, 1:16, 1:32
Tipo de conector	Ninguno, SC / APC, SC / UPC	SC FC ST LC UPC / APC
Precio	\$2	\$2



**Figura 3.16 splitter 3M™ Planar Light Circuit [36]**



**Figura 3.17 splitter PLC 1x8 [41]**

### 3.6 Presupuesto técnico de enlace

Las Tablas 3.6 y 3.7 muestran los niveles de potencia para la OLT y la ONT clase B+ respectivamente para el sistema descendente de 2,4 Gbps y ascendente de 1,2 Gbps descritos según el estándar de la ITU-T G984.2 en el año 2006 enmienda 1.

**Tabla 3.6 Niveles de Potencia OLT clase B+ [42]**

Máxima Potencia entregada	5 dBm
Mínima potencia entregada	1,5 dBm
Mínima sensibilidad	-28 dBm
Sobrecarga mínima	-8 dBm

**Tabla 3.7 Niveles de Potencia ONT clase B+ [42]**

Máxima Potencia entregada	5 dBm
Mínima potencia entregada	0,5 dBm
Mínima sensibilidad	-27 dBm
Sobrecarga mínima	-8 dBm

La Tabla 3.8 muestra la atenuación en el sistema GPON para clase B+ de los dispositivos ópticos entre la OLT y la ONU descritos en el estándar de la UIT G984.2 en el año 2006.

**Tabla 3.8 Atenuación del cable de la fibra G.652 clase B+ [42]**

Dispositivo óptico	Coefficiente atenuación
Fibra óptica de 1310 nm	-0.4 dB/Km
Fibra óptica de 1490 nm	-0.35 dB/Km

Se tiene la atenuación para cada splitter según su número de divisiones tal como indica la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9 Atenuación de splitter óptico [43]**

Divisiones	Atenuación
1:2	-3.01 dB
1:4	-6.02 dB
1:8	-9.03 dB
1:16	-12.04 dB
1:32	-15.05 dB
1:64	-18.07 dB
1:128	-21.08 dB

Según la recomendación de la ITU-T L.12 para la construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior detalla los rangos de pérdidas de atenuación por fusión e inserción como se muestra en la Tabla 3.10.

**Tabla 3.10 Pérdidas por Inserción y fusión [43]**

Dispositivo	Atenuación
Pérdidas por fusión (empalmes)	$\geq 0.1\text{dB}$ $\leq -0.2\text{ dB}$
Pérdidas por inserción (conectores)	$\leq -0.5\text{ dB}$ $\geq 0.1\text{dB}$

Para el cálculo de la atenuación de la señal, se hará uso de la siguiente ecuación [44]:

$$AL = \alpha_e + \alpha_c + \alpha_{Fo} + \alpha_s \quad (3.1)$$

Donde:

A: Atenuación total del enlace.

L: Longitud del enlace

$\alpha_e$ : coeficiente de atenuación por empalmes por número de empalmes.

$\alpha_c$ : coeficiente de atenuación por conectores por número de conectores.

$\alpha_{Fo}$ : coeficiente de atenuación por fibra óptica por longitud del cable de la fibra.

$\alpha_s$ : coeficiente de atenuación por splitters por número de splitters.

Para que los niveles de potencia sean los necesarios la máxima potencia que puede recibir el equipo final ONT denominada sensibilidad, viene dada por la siguiente ecuación [44]:

$$PTx - Sensibilidad = Total Atenuacion + Margen \quad (3.2)$$

Se debe considerar un margen mínimo de 3 dB para el correcto funcionamiento debido a condiciones ambientales, u otros factores que pueden disminuir la potencia de salida.

$PTx$  es la máxima potencia entregada por el equipo OLT según indica la Tabla 3.6.

### **3.7 Criterios de decisión**

Para poder elegir entre uno u otro diseño de red, es necesario definir criterios de decisión, donde cada uno tiene su porcentaje de prioridad, la cual fue definida por el ISP, y consideraremos a los que tengan un mayor peso. Estos porcentajes se detallan a continuación:

- Nodo de acceso 10%
- Escalabilidad 30%
- Tendido aéreo 20%
- Ubicación de splitters 10%
- Potencia de recepción 10%
- Inversión inicial de planta externa 20%

#### **3.7.1 Nodo de Acceso**

Llamaremos Nodo a la distribución de espacio sea propio o alquilado donde se encuentran ubicados los equipos activos y pasivos del ISP para proveer el servicio de Internet.

Para efectos de este estudio se asume que el nodo estará ubicado en la torre perteneciente a una empresa de telecomunicaciones privada, ubicada en km 2.5 de la vía Data Posorja, donde se ubicará la OLT además este debe contar con un sistema eléctrico, adecuación civil, sistema de seguridad y sistema de aire acondicionado para su correcto funcionamiento.

Se debe tomar en consideración si la cantidad de hilos de fibra abastece toda la zona, y si la atenuación total no ha superado la máxima potencia soportada por el equipo OLT.

#### **3.7.2 Escalabilidad**

Con la tecnología GPON se puede brindar el servicio a una mayor cantidad de usuarios con un solo hilo de fibra utilizando splitters.

Cada puerto de la OLT tiene una capacidad máxima de hasta 128 usuarios, debido a que la cantidad de casas existentes en la zona es de 299, se usará

un OLT con 8 puertos, lo que abastecería hasta 1024 usuarios, cubriendo la demanda actual y un futuro crecimiento.

El ISP requiere abarcar al menos el 40% de la cantidad total de casas en el sector siendo así 120 casas.

### **3.7.3 Tendido Aéreo**

Los postes que se encuentran en la vía principal, son de propiedad de CNEL E.P, mismos que se usarán para el soporte del cable de fibra troncal de 6 hilos del tipo G.652D, y para el cable de acometida se usará cable drop del tipo G.657A y se tendrá en cuenta la normativa de la Arcotel, que en su norma de tendido de redes aéreas [26] indica que se pueden usar hasta 8 postes para llegar al usuario final evitando cruzar calles ni avenidas en la mitad de las vías.

### **3.7.4 Ubicación de splitters**

Para los splitters de la primera etapa se debe considerar la cantidad de puertos GPON, siendo 8 la cantidad máxima de splitters a utilizar según nuestro equipo OLT, para poder satisfacer la cantidad de clientes se debe sectorizar para la ubicación de estos equipos y considerar un nivel máximo de hasta 8 divisiones.

Para los splitters de la segunda etapa se debe tomar en cuenta la cantidad de posibles clientes que existen por manzanas en cada sector y su futuro crecimiento en cada manzana para considerar el nivel de división de cada splitter, siendo 1:8 la máxima división posible debido a la atenuación.

Además, se debe considerar como se conectan estos splitters, colocando empalmes por fusión a la entrada y salida de cada splitter de la primera etapa, usando dos conectores, uno a la entrada y uno a la salida para conectarse con la OLT.

Estos empalmes deben estar ubicados en los centros de distribución, que contienen hasta un máximo de 6 splitters en la primera etapa, debido a que el cable consta de 6 hilos de fibra, los splitters de la segunda etapa así



mismo serán ubicados en cajas de distribución para la acometida de fibra óptica para cada usuario.

### 3.7.5 Potencia de recepción

El cálculo de potencias y pérdidas son parámetros importantes que debemos considerar para nuestro diseño, debido a que el equipo receptor tiene una sensibilidad máxima que puede soportar. En la Figura 3.18 podemos observar el esquema de red GPON para un usuario final, donde intervienen equipos que poseen pérdidas tales como los empalmes, conectores, longitud del cable y splitters.

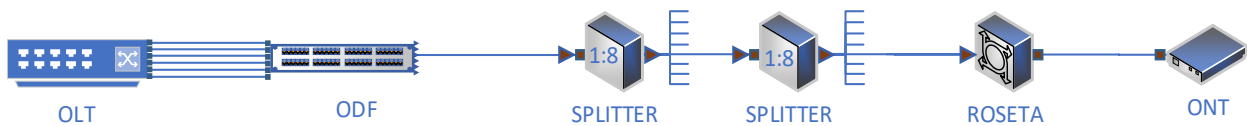
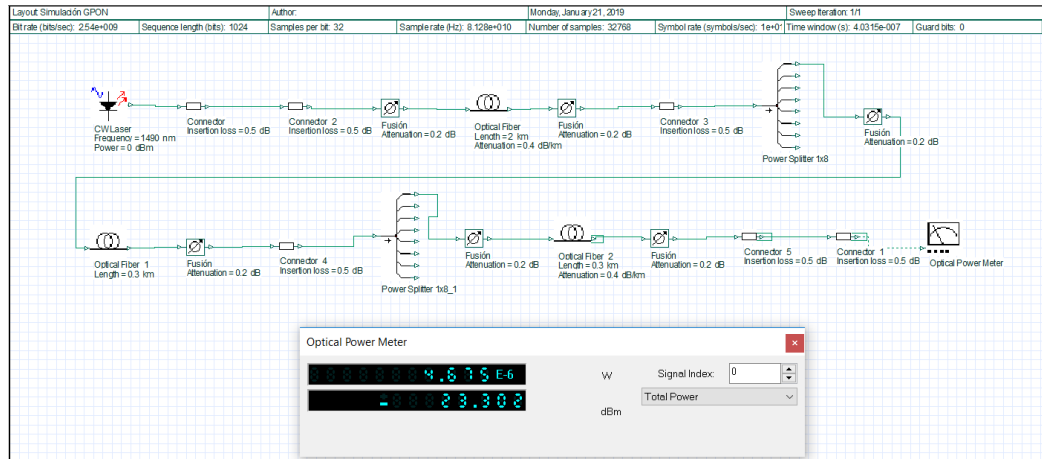


Figura 3.18 Esquema de la red GPON del usuario

Considerando la ecuación (3.1) se tiene:

$$A = (6)(0.2) + (6)(0.5) + (0.4)(2.6Km) + (2)(9.03) = 23.3 \text{ dB}$$

Para corroborar este cálculo, este tramo de la red fue simulada en el software OptiSystem [45] en su versión de prueba, dando como resultado una pérdida de 23.3 dBm, como podemos ver en la Figura 3.19. en ese caso se simuló con una potencia de 0 dBm, con lo que si se lleva a su equivalente en dB tenemos una pérdida de 23.3 dB comprobando que todo está correcto.



**Figura 3.19 Simulación del cálculo de atenuación**

Para el cálculo de la potencia de recepción de la señal o sensibilidad se deben considerar todas las pérdidas generadas en el enlace desde el nodo hasta el equipo que se encuentra en el domicilio del cliente, dando un valor de 23.3 dBm que está dentro del rango permitido ya que el nivel mínimo de potencia que requiere el equipo OLT es -28 dBm, tal como se muestra en la Tabla 3.2.

Considerando la ecuación (3.2) se tiene:

Usando la potencia máxima de transmisión:

$$\text{Sensibilidad} = 5 - 23.3 - 3 = -21.3\text{dBm}$$

Usando la potencia mínima de transmisión:

$$\text{Sensibilidad} = 1.5 - 23.3 - 3 = -24.8\text{dBm}$$

La sensibilidad del equipo ONT es aceptable ya que se encuentra dentro del rango permitido según la Tabla 3.7, siendo la mínima potencia -27 dBm.

### **3.8 Planteamiento del diseño de la red**

Para el planteamiento de este diseño se usarán tres de los criterios mencionados anteriormente, dándole su respectiva prioridad a cada uno de ellos, surgiendo así varios escenarios, de los cuales se plantearon dos alternativas para realizar su respectiva comparación y posterior selección de la más adecuada.

El primero es la escalabilidad representando un 30% de prioridad, debido a que esta zona se encuentra en crecimiento, al considerar esto no se tendrán que hacer cambios muy radicales en el futuro, tomando en consideración el criterio de ubicación de splitters para reducir la cantidad de fibra.

El segundo criterio es el tendido aéreo, representando un 20% de prioridad para tratar de reducir la cantidad de postes respetando las regulaciones, ya que estos postes serán aquellos que se usarán para el despliegue de la red, además de representar un gasto fijo anual.

En el tercer criterio se buscará el diseño que tenga una menor inversión inicial para la implantación de infraestructura, representando un 20% de prioridad para así poder reducir costos y tener un posible retorno de inversión a menor plazo.

### **3.9 Diseño de la red**

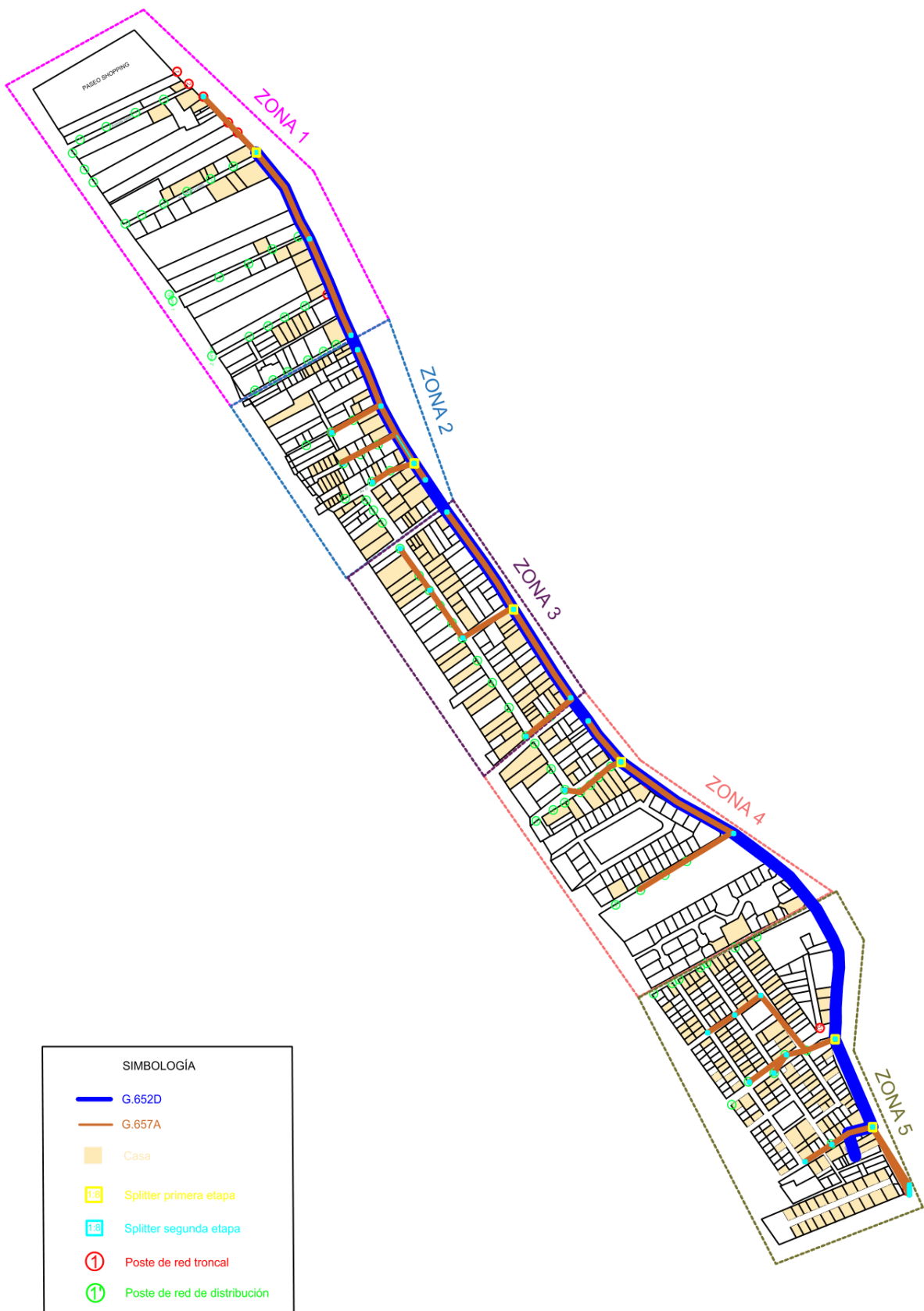
Para el diseño A, de la OLT saldrá un cable con de 6 hilos de fibra óptica, para este diseño se consideró el estudio de la topología en cascada la cual se divide en dos etapas, en la primera etapa se utilizaran 4 hilos de fibra óptica para alimentación y se dejaran 2 hilos de fibra en estado pasivo para un futuro crecimiento, estos 4 hilos de fibra óptica se conectarán desde un puerto del OLT a un splitter de 1x8, en la segunda etapa los 4 hilos de distribución son las que salen de splitter de la primera etapa y se conectan cada una a un segundo splitter de 1x8. Se contará con un total de  $8 \times 8 = 64$  fibras que cubrirán una zona para 64 usuarios, dando así  $64 \times 4 = 256$  usuarios. Dando lugar a que con un cable de 4 hilos de fibra se cubrirán hasta 256 usuarios cubriendo el

40% del total de casas como requiere el ISP, pudiendo llegar a tener una cobertura del 85% del total de casas y asegurando su futura escalabilidad. Como se indica en la Figura 3.20.

Para el diseño B, se usará de igual manera el cable conformado por 6 hilos de fibra óptica, y así mismo la topología en cascada. Con los splitters de 1x8 se garantizará que los niveles de potencia se encuentren siempre dentro de los valores adecuados. En contraste con el diseño A, este usará los 6 hilos de fibra óptica y sectorizando en 5 zonas, dando lugar a 6 splitters de 1x8 de primera etapa, y para la segunda etapa se tendrán splitters de 1x8 con lo cual se cubre con servicio el 100% de los hogares, y a su vez dejando espacio en splitters para las nuevas posibles casas y futuros clientes siendo su máximo número de clientes 384. Como se indica en la Figura 3.21.



**Figura 3.20 Diseño A de la red**



**Figura 3.21 Diseño B de la red**

### 3.10 Inversión inicial de la red

Para este análisis se debe considerar el costo por equipamiento para la planta externa, detallados en la Tabla 3.12, para el tendido aéreo de la fibra. Adicional a esto se debe considerar los gastos de instalación, donde se subcontratará personal técnico para la instalación de fibra óptica el cual cobrará \$1.20 por metro de fibra instalado.

**Tabla 3.11 Inversión inicial para la implantación de infraestructura**

Material	Precio unitario	Cantidad diseño A	Total diseño A	Cantidad diseño B	Total diseño B
cableadss-6hilos G.652D	\$600,00	2 km	\$1.200,00	2 km	\$1.200,00
Cable drop gjyxfch-2hilos G.657A	\$140,00	6 km	\$840,00	7 km	\$980,00
Splitter 1:8	\$25,00	32	\$800,00	45	\$1.125,00
Fiber Closure	\$25,00	31	\$775,00	39	\$975,00
Herrajes de tensión	\$6,00	76	\$456,00	76	\$456,00
Etiquetas	\$0,15	152	\$22,80	156	\$23,40
Cinta de acero rollo de 30m	\$42,00	10	\$420,00	12	\$504,00
Mano de obra	\$1,20	8000 m	\$9.600,00	9000 m	\$10.800,00
Total			\$14.113,80		\$16.063,40

### 3.11 Toma de decisión

Para continuar con nuestro análisis es necesario elegir un diseño de red, por ello en base a los criterios establecidos anteriormente se tomará en cuenta el que los cumpla en su mayoría. En la Tabla 3.13 se muestra la comparación entre ambos diseños, misma que será de gran ayuda para llegar a una decisión.

**Tabla 3.12 Comparación de ambos diseños**

Criterios	Diseño A	Diseño B
Escalabilidad	85% del total de casas	100% del total de casas más 28% de reserva
Infraestructura	76 postes	76 postes
Costo de inversión	\$14.113,80	\$16.063,40

Se puede apreciar que el diseño B, es más escalable, porque en su diseño considera un 28% adicional del total de casas<sup>2</sup> en la zona, minimizando la inversión a futuro ya que considera posibles nuevos clientes. En el caso de la infraestructura, ambos diseños poseen la misma cantidad de postes a utilizarse, esto es debido a que los equipos adicionales del diseño B se ubican en los postes por donde ya pasa la fibra óptica. En el costo de inversión se tiene una diferencia de 12,14 % con lo que el diseño A cumple con este criterio. Dando lugar a que el diseño A cumple con el 40% de la prioridad de criterios, y el diseño B cumple con el 50% de la prioridad de criterios, por ello, este será tomado en cuenta para continuar con nuestro análisis.

A continuación, en las Figuras 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26 podemos ver el camino que recorre tanto la fibra óptica troncal, como la de distribución, así mismo la ubicación de los splitters de primera y segunda etapa para cada una de las zonas el diseño elegido.

---

<sup>2</sup> 299 casas en total



# ZONA 1

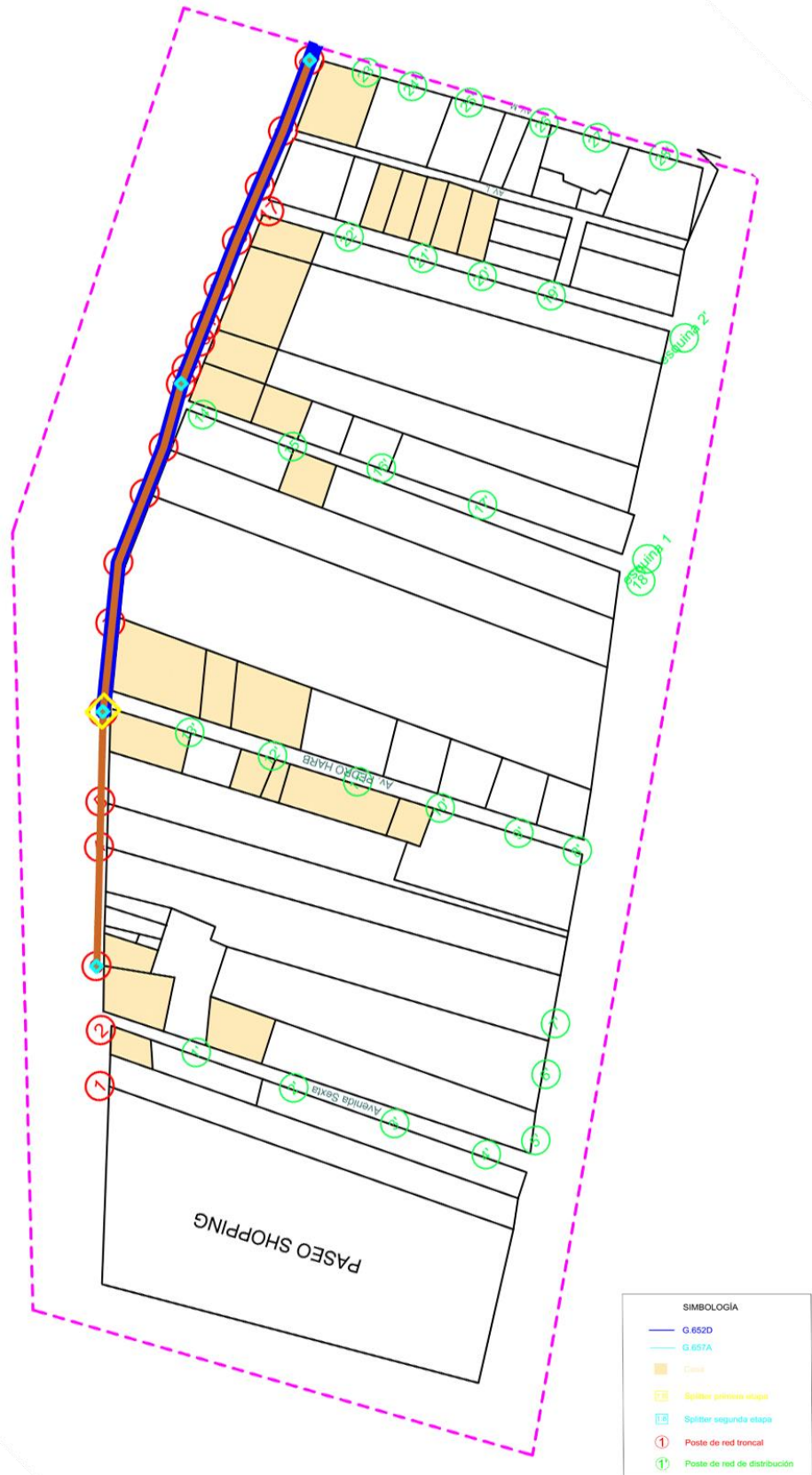


Figura 3.22 Zona 1



**Figura 3.23 Zona 2**

# ZONA 3

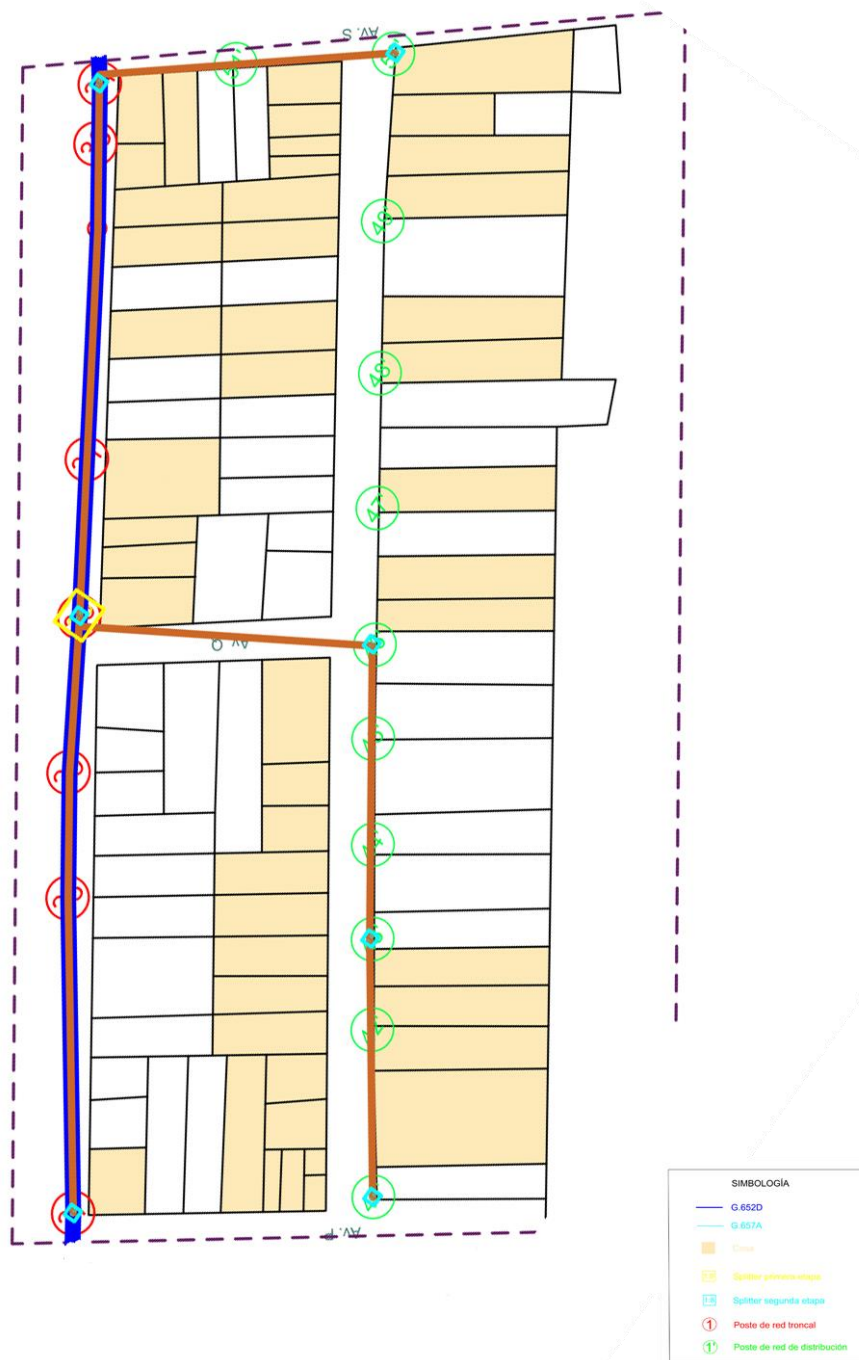
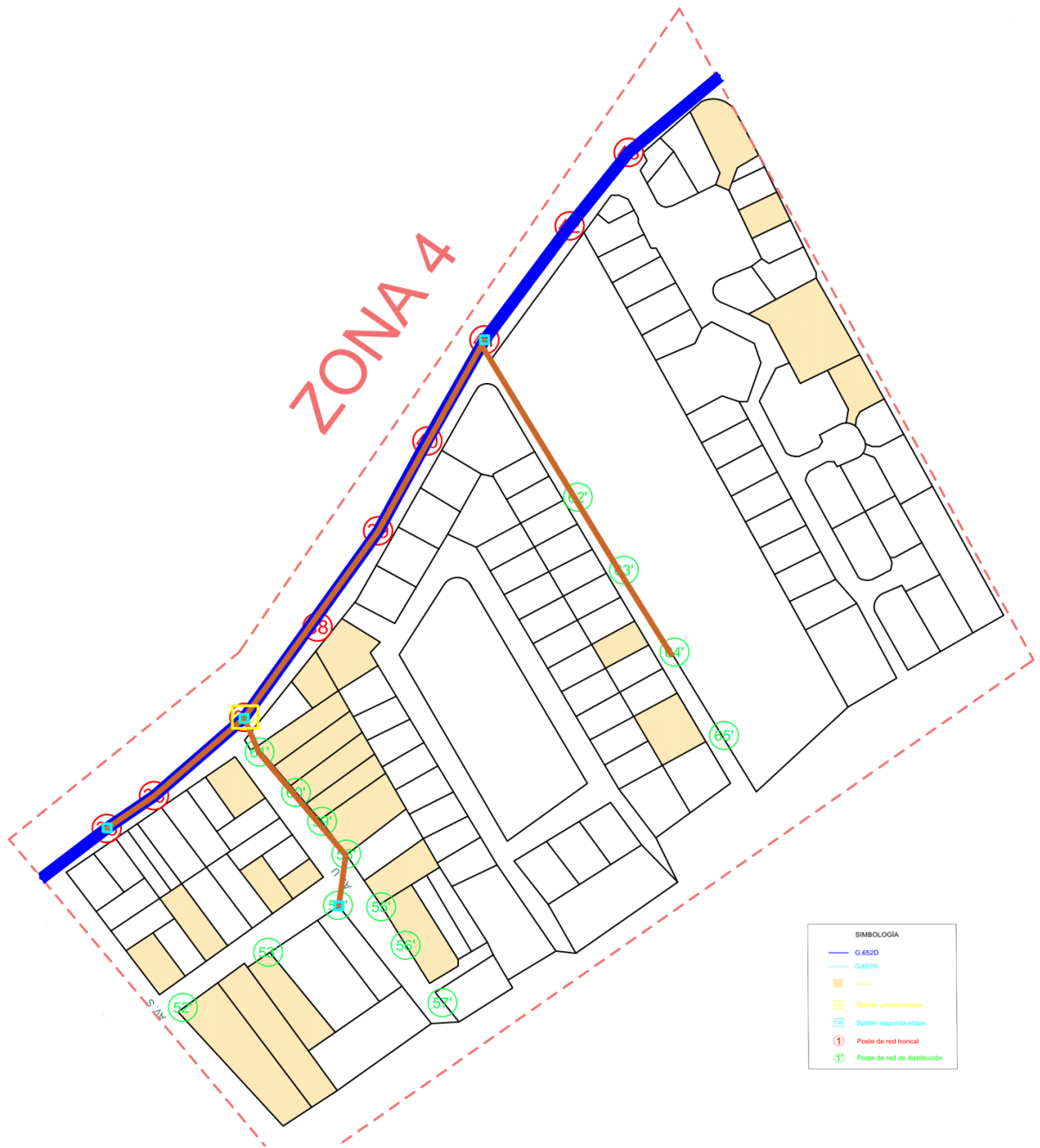


Figura 3.24 Zona 3



**Figura 3.25 Zona 4**

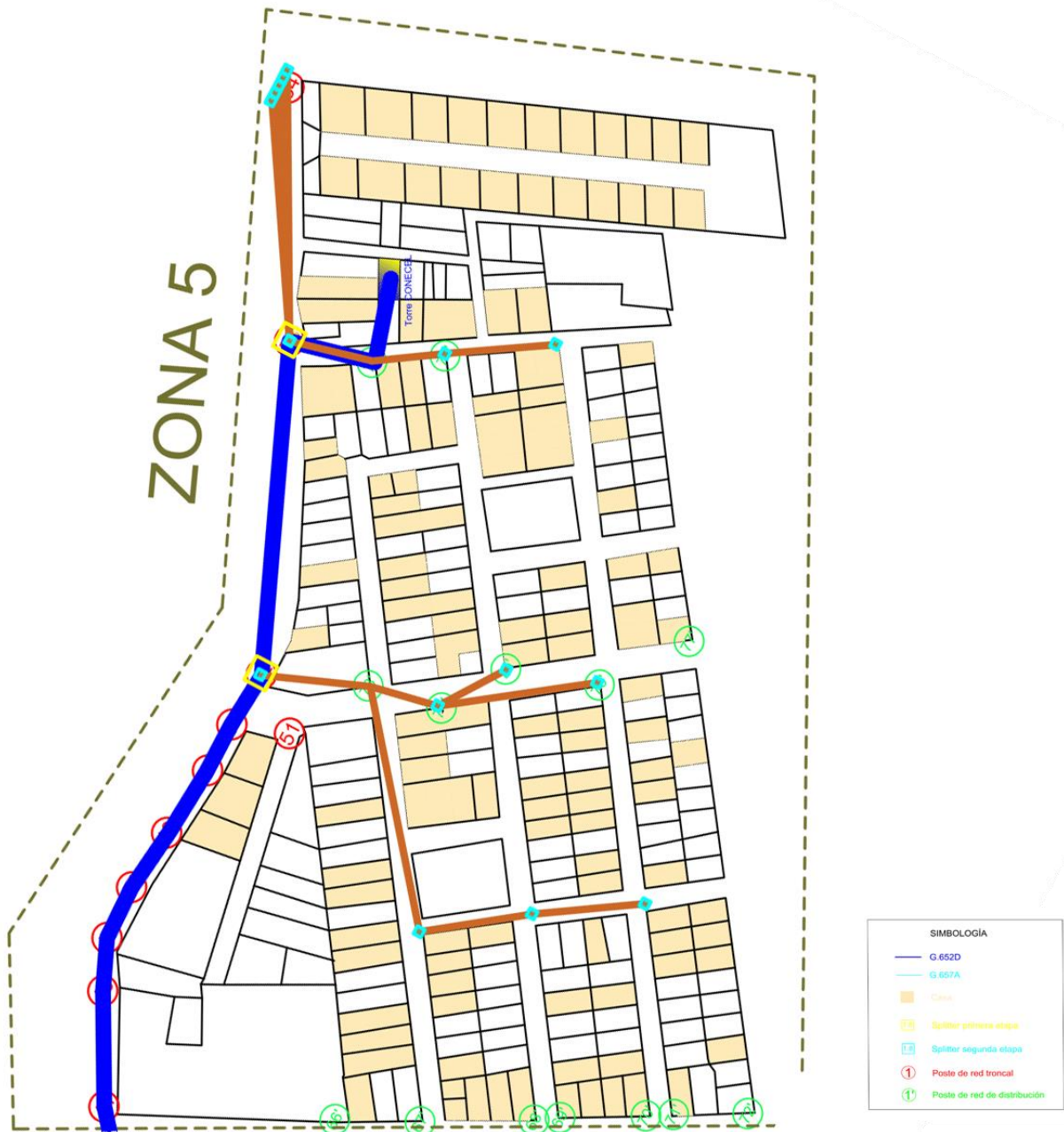


Figura 3.26 Zona 5

# CAPÍTULO 4

## 4 COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA

Una vez ya definido el diseño de fibra óptica se procedió a realizar el análisis financiero y económico de la red de fibra óptica y su comparación con la red inalámbrica existente, utilizando los parámetros técnicos y económicos provistos por el ISP. Posteriormente se tomará la decisión de cuál red es la óptima para los requerimientos de la empresa.

### 4.1 Análisis técnico

Para realizar este análisis se consideró a ambos sistemas en condiciones iguales, tanto como para el número de usuarios, distancia, y capacidad.

Además de los aspectos técnicos propios de ambas tecnologías.

#### 4.1.1 Cantidad de suscriptores

En este sistema los equipos Access Point que se encuentran en el nodo óptico de la red inalámbrica pueden brindar el servicio a un máximo de 200 usuarios mientras que con el cambio de tecnología a la red de fibra óptica GPON, se puede tener una capacidad de hasta 384 usuarios teniendo la opción de crecimiento de la red.

#### 4.1.2 Capacidad

Un equipo Access Point que funciona como equipo transmisor punto multi punto puede brindar hasta 200 Mbps compartidos entre los suscriptores, con la tecnología GPON se tienen velocidades de 1.2488 Gbps de bajada y 2.44 Gbps de subida por puerto dando velocidades más altas para el servicio de Internet compartido, con la opción de tener varios servicios por una misma fibra.

### **4.1.3 Arquitectura**

El despliegue de una red inalámbrica es mucho más rápido y se puede adaptar al crecimiento de usuarios comprando más equipos, mientras que para el despliegue de la red de fibra óptica se requiere de una gran obra civil, pero se puede ofrecer servicio a muchos más usuarios en la misma zona.

Respecto a la legislación ambas tecnologías requieren de permisos para su funcionamiento, las redes inalámbricas necesitan de licencias para el uso del espectro en bandas tradicionales, mientras que las redes de fibra óptica necesitan permisos para el uso de los postes a organismos externos.

### **4.1.4 Inmunidad electromagnética**

La red inalámbrica está limitada a la capacidad de ancho de banda en el nodo óptico, debido al uso del espectro en bandas disponibles, y al transmitir los datos a través del aire es muy vulnerable a interferencias electromagnéticas y condiciones atmosféricas, la red de fibra óptica no sufre de interferencias de cambios de temperatura y tensión al usar pulsos de luz para la transmisión y recepción.

### **4.1.5 Multiplexación**

La tecnología GPON utiliza multiplexación por división de longitud de onda, transmitiendo varias señales por una misma fibra a través de portadoras ópticas con diferente longitud de onda, mientras que la red inalámbrica utiliza multiplexación por división de tiempo asignando a cada usuario intervalos de tiempo el total del ancho de banda, para transmitir las señales sucesivamente.

WDM tiene menos latencia que TDM, ya que en TDM un solo canal transmite en un tiempo determinado mientras que en WDM todos los canales pueden transmitir al mismo tiempo.

#### 4.1.6 Alcance de la red

El Access Point ePMP 1000 cuenta con una antena de 15dB de ganancia, utilizando el equipo Force 180 en el domicilio del usuario que tiene 17dB de ganancia permite tener un alcance de hasta 20 Km.

EL equipo Ubiquiti UF-OLT soporta un alcance físico de hasta 20 Km y un alcance lógico de hasta 20 Km, con un módulo SFP GPON que admite hasta un cable de fibra de hasta 20Km.

#### 4.2 Decisión

Analizando varios criterios técnicos de ambas tecnologías tales como:

- Cantidad de suscriptores
- Capacidad
- Arquitectura
- Inmunidad electromagnética
- Multiplexación
- Alcance de la red

Se realizó la comparación entre ambas obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 4.5:

**Tabla 4.1 Comparación entre ambas tecnologías**

<b>Característica</b>	<b>Fibra óptica</b>	<b>Inalámbrico</b>
Capacidad	2.488 Gbps por puerto	200 Mbps por radio
Alcance	20 km	20 km
Cantidad de suscriptores	384	240
Inmunidad electromagnética	Si	No
Multiplexación	WDM-TDMA	TDMA



Siendo la red de fibra óptica superior en casi los aspectos de capacidad, cantidad de suscriptores, inmunidad electromagnética y multiplexación, a excepción del alcance, en donde ambas redes son similares. Por ello, la red GPON técnicamente es la mejor opción para implementarse.

### 4.3 Análisis Económico

Para realizar este análisis se consideró a ambos sistemas en condiciones iguales, tanto como para los ingresos por mensualidad e instalación, como para los gastos operativos y el servicio de salida a Internet.

#### 4.3.1 Ingresos por Usuario

La renta mensual por usuario para plan del servicio de 5 Mbps compartido 6:1 de Internet para ambas tecnologías es de \$50. El costo de instalación es de \$70, como se muestra en la Tabla 4.1. Este valor será cobrado antes del primer mes de renta.

Tabla 4.2 Ingreso por usuario

	Fibra Óptica	Inalámbrico
Instalación	\$70,00	\$70,00
Mensualidad	\$50,00	\$50,00

#### 4.3.2 Inversión de equipamiento por usuario

Se debe realizar una inversión inicial para los dispositivos y materiales que van en los domicilios de los clientes, la cantidad de estos equipos dependerá del crecimiento de los clientes. Tal como se muestra en las Tablas 4.2 y 4.3, el costo de materiales para la tecnología inalámbrica es más alto, esto se debe a que las radios son equipos sofisticados y costosos.

**Tabla 4.3 Materiales para instalación de un usuario de red de fibra óptica**

Material	Precio
ONT Ubiquiti UF-LoCo	\$49,00
Equipo wifi	\$38,00
Roseta óptica	\$2,50
Pigtail	\$0,35
Patch Cord	\$10,00
Total	\$99,85

**Tabla 4.4 Materiales para instalación de un usuario de red inalámbrica**

Material	Precio
Equipo wifi	\$38,00
Radio PM Force 180	\$125,00
Cable UTP 15 [m]	\$10,00
Conectores RJ45	\$0,32
Total	\$175,32

### 4.3.3 Inversión del Nodo

Tal como se muestra en las Tablas 4.4 y 4.5, el costo de materiales para el levantamiento del nodo de Fibra óptica es más bajo en comparación con el inalámbrico, además de contar con un enfoque escalable adaptándose a la alta demanda. Sus equipos trabajan a altas velocidades y es flexible en caso de reemplazo o reparación de sus equipos lo que minimiza costos de mantenimiento a largo plazo.

**Tabla 4.5 Costo de Inversión para implementación de nodo de fibra óptica**

Material	Marca	Cantidad	Precio Unitario	Total
Rack 9 ur	Beaucoup	1	\$165,00	\$165,00
Inversores 2KW	Exceltech	1	\$600,00	\$600,00
Baterías 300 AmH	Delco	3	\$315,00	\$945,00
Access Point	Cambium Networks	2	\$767,00	\$1.534,00
Soporte para radio	Cambium Networks	4	\$10,00	\$40,00
Switch	Zyxel Gs1900-24	1	\$100,00	\$100,00
Router	Zyxel USG110	1	\$430,00	\$430,00
Radios enlaces troncales Force 200	Cambium Networks	2	\$165,00	\$330,00
Total				\$4.144,00

**Tabla 4.6 Costo de Inversión para implementación de nodo de red inalámbrica**

Material	Marca	Cantidad	Precio Unitario	Total
UF-OLT	Ubiquiti	1	\$1.499,00	\$1.499,00
SFP-RJ45 1G	Ubiquiti	1	\$14,50	\$14,50
Rack 9 ur	Beaucoup	1	\$165,00	\$165,00
Inversores 2KW	Exceltech	1	\$600,00	\$600,00
Módulos GPON UF-GP-B+	Ubiquiti	6	\$79,00	\$474,00
ODF	eDealMax	1	\$32,00	\$32,00
Patch cord	Hangzhou Tuolima	6	\$10,00	\$60,00
Baterías 300 AmH	Delco	3	\$315,00	\$945,00
Total				\$3.789,50

#### 4.3.4 Comparación de casos

Se analizó 3 casos de posibles proyecciones de usuarios, tanto como para la red de fibra óptica, como para la red inalámbrica.

Para el caso 1, se tiene que para el primer año se llegue a tener 36 usuarios, a un ritmo de 3 usuarios nuevos al mes, para el año 2 se prevé que continúe al mismo ritmo, para el año 3 se tenga un crecimiento mensual de 2 usuarios nuevos por mes, para el año 4 se tiene un crecimiento de 1 usuario nuevo cada mes, llegando al final del año 5 con 120 usuarios. Para el caso 2, se tiene un crecimiento de 6,5,3,2,1 usuarios mensuales respectivamente y para el caso 3 se tomará en cuenta que la red trabaje a su máxima capacidad, teniendo un crecimiento de 10, 8, 6, 5, 3 usuarios mensuales respectivamente, como indica la Tabla 4.6.

**Tabla 4.7 Proyección de crecimiento de usuarios**

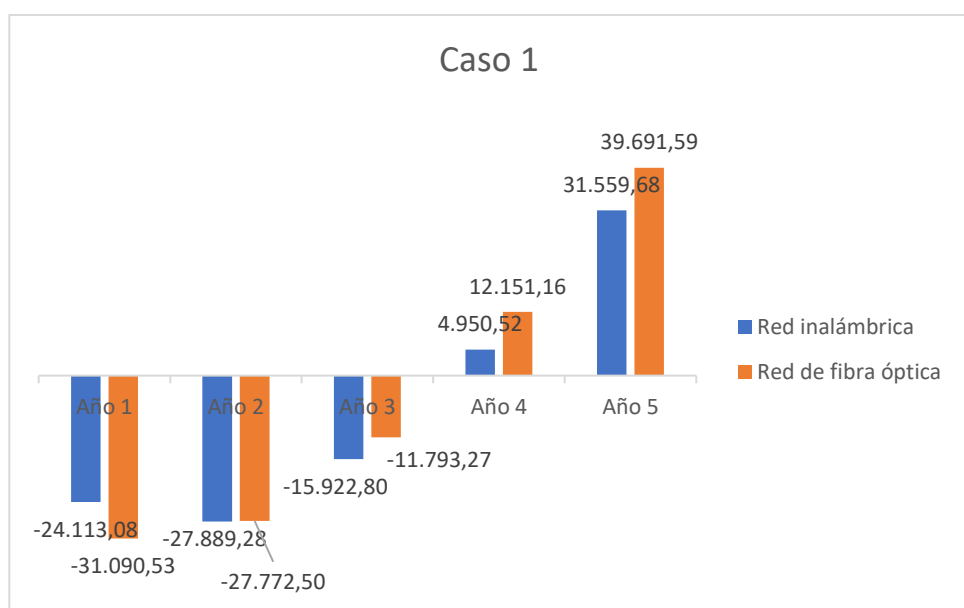
Proyección de usuarios	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Caso 1	36	72	96	108	120
Caso 2	72	132	168	192	204
Caso 3	120	216	288	348	384

La Tabla 4.7 indica el beneficio neto acumulado para los tres casos, siendo el caso tres el mejor de ellos, pero debido a que este caso es muy optimista no lo consideraremos para nuestro análisis, por otra parte, el caso dos recupera la inversión en un tiempo aceptable y debido a que existe un crecimiento de usuarios más realista, será el que escogeremos para nuestro análisis.

**Tabla 4.8 Beneficio neto acumulado para ambas tecnologías**

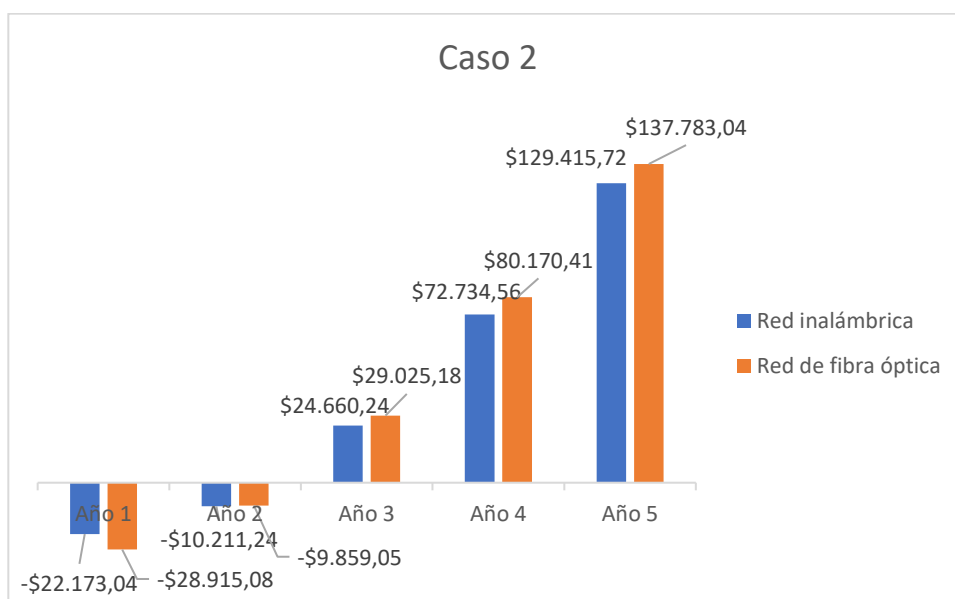
Beneficio neto acumulado	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>Red inalámbrica</b>					
Caso 1	\$-24.113,08	\$-27.889,28	\$-15.922,80	\$ 4.950,52	\$ 31.559,68
Caso 2	\$-22.173,04	\$ -10.211,24	\$ 24.660,24	\$ 72.734,56	\$129.415,72
Caso 3	\$-19.586,32	\$ 13.834,48	\$ 83.052,96	\$177.562,28	\$292.941,44
<b>Red de fibra óptica</b>					
Caso 1	\$-31.090,53	\$-27.772,50	\$-11.793,27	\$ 12.151,16	\$ 39.691,59
Caso 2	\$-28.915,08	\$ -9.859,05	\$ 29.025,18	\$ 80.170,41	\$137.783,04
Caso 3	\$-26.014,48	\$ 14.500,55	\$ 87.731,78	\$185.312,21	\$301.622,64

La Figura 4.1 muestra la comparación anual del flujo de caja entre la red inalámbrica y la red de fibra óptica para el caso 1 desde el primer año hasta el quinto año donde el periodo de recuperación es en el cuarto año, debido al poco crecimiento de los clientes, por lo cual queda descartado este caso.



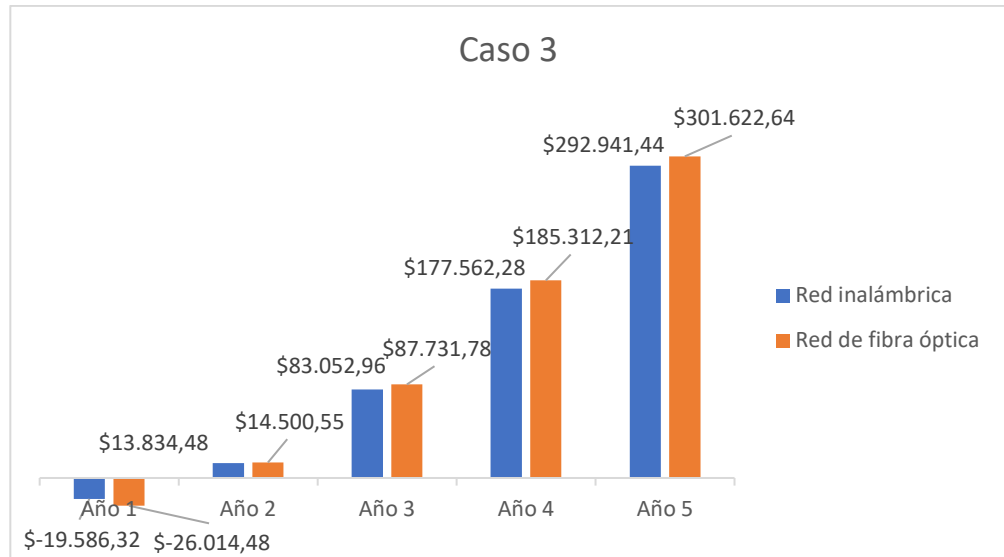
**Figura 4.1 Comparación de beneficio neto acumulado entre red de fibra óptica y red inalámbrica para el caso 1**

La Figura 4.2 muestra la comparación anual del flujo de caja entre la red inalámbrica y la red de fibra óptica para el caso 2 desde el primer año hasta el quinto año donde el periodo de recuperación es en el tercer año, lo cual es un tiempo aceptable para la recuperación de la inversión, siendo el caso que ideal para continuar con nuestro análisis.



**Figura 4.2 Comparación de beneficio neto acumulado entre red de fibra óptica y red inalámbrica para el caso 2**

La Figura 4.3 muestra la comparación anual del flujo de caja entre la red inalámbrica y la red de fibra óptica para el caso 3 desde el primer año hasta el quinto año donde el periodo de recuperación es en el tercer año, y con altas ganancias, pero como mencionamos anteriormente este caso era muy optimista debido al gran crecimiento de usuarios por lo cual no será considerado para nuestro análisis. Además, para este caso se consideró un AP adicional, ya que la red actual era insuficiente para tal cantidad de usuarios.



**Figura 4.3 Comparación de beneficio neto acumulado entre red de fibra óptica y red inalámbrica para el caso 3**

#### 4.3.5 Ingresos Anuales

Se ha escogido el segundo caso para nuestro análisis y se proyecta que para el primer año se tenga un total de 72 usuarios, como se muestra en la Tabla 4.8 y a partir del segundo año en adelante se tenga un crecimiento año a año según indica la Tabla 4.6 para el caso 2, hasta obtener un total de 204 usuarios.

**Tabla 4.9 Proyección de usuarios para el tercer caso**

Proyección de usuarios	Cantidad
Mes 1	6
Mes 12	72
Mes 24	132
Mes 36	168
Mes 48	192
Mes 60	204

**Tabla 4.10 Ingresos Anuales**

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Instalación	\$5.040,00	\$4.200,00	\$2.520,00	\$1.680,00	\$840,00
Renta Mensual Internet 5 Mbps	\$23.400,00	\$62.700,00	\$90.900,00	\$108.600,00	\$119.100,00
Total Ingresos	\$28.440,00	\$66.900,00	\$93.420,00	\$110.280,00	\$119.940,00

La Tabla 4.9 refleja los ingresos detallados por usuario, ingresos por instalación y una renta mensual, el total de ingresos tiene un crecimiento anual debido a que estos valores dependen directamente de la cantidad de usuarios que se muestran en la Tabla 4.8.

#### 4.3.6 Costos Anuales

Un factor importante es el costo anual, donde el año 1 es el que representa un mayor gasto, debido a que en este se paga el despliegue de la red de distribución y el levantamiento del nodo central, al siguiente año ya los costos son menores, pero a medida que pasa el tiempo se espera que la cantidad de usuarios aumenten, y eso conlleva a que los costos también vayan aumentando.

**Tabla 4.11 Costos anuales de red de fibra óptica**

<b>Costos anuales de red de fibra óptica</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Costo de Acceso Internacional y/o Canal Nacional	\$18.000,00	\$26.500,00	\$33.700,00	\$38.900,00	\$42.000,00
Despliegue de red de distribución	\$16.075,40	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Levantamiento del nodo central	\$3.789,50	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Instalación de última milla	\$3.600,00	\$3.000,00	\$1.800,00	\$1.200,00	\$600,00
Personal operativo	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00
Equipamiento por usuario	\$3.894,15	\$3.594,60	\$2.396,40	\$1.198,20	\$1.198,20
Arriendo	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00
Uso de infraestructura	\$550,37	\$550,37	\$550,37	\$550,37	\$550,37
Otros costos	\$1.890,00	\$4.599,00	\$6.489,00	\$7.686,00	\$8.379,00
<b>Total</b>	<b>\$57.399,42</b>	<b>\$47.843,97</b>	<b>\$54.535,77</b>	<b>\$59.134,57</b>	<b>\$62.327,57</b>

**Tabla 4.12 Costos anuales de red inalámbrica**

<b>Costos anuales de red inalámbrica</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Costo de Acceso Internacional i/o Canal Nacional	\$18.000,00	\$26.500,00	\$33.700,00	\$38.900,00	\$42.000,00
Despliegue de red de distribución	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Levantamiento del nodo central	\$4.144,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Instalación de última milla	\$3.600,00	\$3.000,00	\$1.800,00	\$1.200,00	\$600,00
Personal operativo	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00
Equipamiento por usuario	\$12.839,04	\$10.699,20	\$6.419,52	\$4.279,68	\$2.139,84
Arriendo	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00	\$4.800,00
Otros costos	\$1.890,00	\$4.599,00	\$6.489,00	\$7.686,00	\$8.379,00
Uso de frecuencia	\$360,00	\$360,00	\$360,00	\$360,00	\$360,00
<b>Total</b>	<b>\$50.433,04</b>	<b>\$54.758,20</b>	<b>\$58.368,52</b>	<b>\$62.025,68</b>	<b>\$63.078,84</b>

Adicionalmente a la inversión inicial existirán gastos que son generados para el uso y mantenimiento de la red, donde habrá que pagar por espacios, personal, infraestructura, entre otros, los cuales se detallan en las Tablas 4.10 y 4.11.

Para el costo de acceso a Internet, se debe considerar el costo que le representa el Megabit por segundo de Internet a la empresa, debido a la demanda de usuarios este debe ir aumentando.

Para el despliegue de la red de distribución y el levantamiento del nodo central se realizará una inversión que debe ser recuperada al primer año, la red inalámbrica no necesita una red de distribución para funcionar ya que su medio para transmitir es el ambiente, reduciendo los costos.

Para la instalación de la última milla se cobrará \$50 por instalación a una persona técnica especializada, y su costo dependerá del número de clientes año a año.

Para el espacio físico donde se instalarán los equipos se debe considerar un arriendo mensual de \$400 para ambas tecnologías, además de contar con personal operativo que realizará los respectivos mantenimientos, para esto se contratará una persona con un sueldo mensual de \$400 cubriendo todos los beneficios de la ley.

El costo para equipamiento por usuario dependerá de la cantidad de usuarios siendo un valor de \$175.32 para la red inalámbrica y \$99.84 para la red de fibra óptica por usuario tal como se muestra en las Tablas 4.2 Y 4.3 respectivamente.

Para el uso de infraestructura en la red de fibra óptica se considera un arriendo anual para uso de postes, valor que se pagara a CNEL, con un



costo de \$6.50+IVA por poste. Para la red inalámbrica se debe pagar a la ARCOTEL, un valor anual para el uso de frecuencia de \$15 por radio.

Además de todos estos costos se consideraron gastos operativos representando el 5% de los ingresos generados, los cuales sirven para determinar parte de las ganancias del proyecto.

Se tiene que a partir del segundo año los costos anuales de la red de fibra óptica son menores que los costos de la red inalámbrica, esto se debe a que el equipamiento para usuario de la red inalámbrica es más costoso, generando más gastos totales.

#### 4.3.7 Beneficio total

Se elaboró un análisis financiero para la red inalámbrica y la red de fibra óptica donde se compararán los valores de flujo de caja, para los primeros cinco años.

Para el beneficio total se restan todos los egresos y gastos administrativos de los ingresos como se muestra en la Tabla 4.12 y 4.13 obteniendo para el primer y segundo año una pérdida para ambas tecnologías esto es debido a la inversión inicial del despliegue de la red y el levantamiento del nodo generando más gastos para los primeros años. Además, de que al comienzo del año se contarán con menos clientes representando menos ingresos para la empresa.

**Tabla 4.13 Beneficio total red de fibra óptica**

<b>Beneficio total red de fibra óptica</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Ingresos	\$28.440,00	\$66.900,00	\$93.420,00	\$110.280,00	\$119.940,00
Egresos	\$55.465,08	\$43.244,97	\$48.046,77	\$51.448,57	\$53.948,57
Gastos administrativos	\$1.890,00	\$4.599,00	\$6.489,00	\$7.686,00	\$8.379,00
Beneficio	<b>-\$28.915,08</b>	\$19.056,03	\$38.884,23	\$51.145,43	\$57.612,43
Beneficio Acumulado	<b>-\$28.915,08</b>	<b>-\$9.859,05</b>	\$29.025,18	\$80.170,61	\$137.783,04

**Tabla 4.14 Beneficio total red Inalámbrica**

<b>Beneficio total red Inalámbrica</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>Ingresos</b>	\$28.440,00	\$66.900,00	\$93.420,00	\$110.280,00	\$119.940,00
<b>Egresos</b>	\$48.543,04	\$50.159,20	\$51.879,52	\$54.339,68	\$54.699,84
<b>Gastos administrativos</b>	\$1.890,00	\$4.599,00	\$6.489,00	\$7.686,00	\$8.379,00
<b>Beneficio</b>	<b>-\$21.993,04</b>	\$12.141,80	\$35.051,48	\$48.254,32	\$56.861,16
<b>Beneficio Acumulado</b>	<b>-\$21.993,04</b>	<b>-\$9.851,24</b>	\$25.200,24	\$73.454,56	\$130.315,72

A partir del tercer año se genera una ganancia neta para la empresa, la cual va incrementando año a año siendo los ingresos mayores que los gastos debido al crecimiento de los usuarios y además de que ya se ha pagado la inversión inicial reduciendo así los gastos de la empresa.

El beneficio neto de la fibra óptica es mayor cada año con respecto al beneficio de la red inalámbrica, generando para el quinto año una diferencia de \$7.467,32 de ganancia con respecto a la red inalámbrica.

#### **4.3.8 Viabilidad económica**

Para comprobar la viabilidad económica del diseño de la red de fibra óptica se usarán tres herramientas financieras, el TIR, el VAN y el Payback.

El VAN es una herramienta financiera, que determina si existe alguna ganancia midiendo los flujos de caja, y descontando la inversión inicial. Si el VAN es positivo el proyecto es rentable, esto significa que el valor de flujo de caja es mayor que la inversión, generando así una ganancia.

El TIR, es la tasa de descuento donde el VAN es igual a cero, es decir que el flujo de caja sea mínimo el valor de la inversión. Si el valor del TIR es muy alto significa que el proyecto no es rentable, mientras menor sea el TIR más rentable será el proyecto.

El Payback permite determinar en qué tiempo se recuperará la inversión inicial a través de los flujos de caja.

Para el primer y segundo año el valor del flujo de caja de ambas tecnologías es negativo es decir no existe ganancia, ya considerando todos los costos y gastos administrativos. La empresa debe contar con este dinero para la inversión inicial del proyecto, en caso de no contar con este dinero deberá realizar prestamos generando gastos adicionales a largo plazo, tardando más en recuperar su inversión.

#### 4.3.9 Indicadores Financieros

La Tabla 4.14 indica que se obtienen valores positivos del VAN a partir del tercer año, siendo ambas tecnologías rentables, pero debido a que el VAN para la fibra óptica es mayor refleja que existirá mayor ganancia, siendo la red de fibra óptica más rentable que la red inalámbrica.

**Tabla 4.15 Indicadores económicos de red de fibra óptica y red inalámbrica**

Indicador	Fibra Óptica	Inalámbrico
VAN	\$ 137.783,04	\$ 130.315,72
TIR	6%	6%
Payback (Meses)	28	29

Además, se obtienen valores positivos del TIR a partir del tercer año, siendo ambas tecnologías rentables, pero a diferencia del VAN el que tenga menor porcentaje es más rentable, teniendo ambos el mismo nivel de aceptación.

Para el Payback, el tiempo de recuperación de la inversión con fibra óptica es menor recuperando la inversión inicial en un periodo de 28 meses, a diferencia de la red inalámbrica que tardará un mes más en recuperar su inversión, lo cual es un punto más a favor de la fibra óptica.

Por lo tanto, se puede concluir que ambas tecnologías son rentables, siendo la fibra óptica la que genera una mayor ganancia con un tiempo menor de recuperación de la inversión.

## CONCLUSIONES

El sistema actual de la empresa no es escalable, debido a la capacidad de los equipos que posee la red requiriendo de una inversión adicional, para satisfacer el crecimiento de nuevos clientes.

El sector cuenta con la infraestructura adecuada para el tendido de fibra óptica vía aérea ya cuenta con la postería necesaria para su despliegue, y para efectuar su uso deberá pagar un alquiler anual a la empresa CNEL E.P.

Existen variedades de posibles diseños para un enlace de fibra óptica. Basándose en criterios de escalabilidad y costos se pueden reducir a dos diseños, determinando que existe una mínima diferencia de costo, pero teniendo una mayor escalabilidad, esto se debe a que la infraestructura es la misma.

Los indicadores del TIR y el VAN reflejan que el diseño de la red de fibra óptica es más rentable en comparación con la red inalámbrica, debido a que el beneficio total neto es mayor que el de la red inalámbrica, teniendo ambos un tiempo de recuperación de inversión en tres años.

La red de fibra óptica es superior en muchos aspectos técnicos tales como: capacidad, escalabilidad y latencia con respecto a la red inalámbrica, siendo así la red que se ajusta más a los requerimientos del ISP.

## RECOMENDACIONES

La red actual GPON se encuentra en condiciones de evolucionar a nuevas tecnologías como las XPON, en las cuales los clientes pueden migrar cambiando la tarjeta del OLT, y el equipo ONT del cliente, con lo que se puede tener mayor capacidad aprovechando la misma infraestructura.

Se podría ofrecer la implementación de más servicios a través de la misma infraestructura del diseño de la red GPON, tales como IPTV, VoIP, video conferencia, compitiendo así con otros proveedores y generando mayores ingresos para la empresa.

Utilizar de preferencia equipos ONT y OLT del mismo fabricante para evitar posibles problemas de incompatibilidad, ya que esto podría generar un gran inconveniente con respecto a su correcto funcionamiento.

Se podría disminuir la compartición de Internet, realizando una inversión a futuro en la compra de acceso a Internet dependiendo de la cantidad de clientes para garantizar un mayor ancho de banda y mejorar la calidad de servicio.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. N. d. T. y. T. d. I. y. Comunicación, 2016. [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2017/08/Pol%C3%ADtica-P%C3%BAblica-de-Registro-Civil.pdf>. [Último acceso: 28 Octubre 2018].
- [2] P. N. d. G. Electrónico, 2018. [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2018/09/Plan-Nacional-de-Gobierno-Electr%C3%B3nico.pdf>.
- [3] A. Estadísticas de Telecomunicaciones, 2018. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/estadisticas-de-telecomunicaciones>.
- [4] Arcotel, «Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones,» 1 Septiembre 2017. [En línea]. Available: [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICOITRIMESTRE-Septiembre-2017\\_def.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICOITRIMESTRE-Septiembre-2017_def.pdf).
- [5] Arcotel, 2015. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/Boletin6.pdf>.
- [6] J. Silva, 2011. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/6732/1/TesisCompleta-396-2011.pdf>.
- [7] D. Cadena, 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/27236/1/CADENA%20ACOSTA%20DENIS%20ENRIQUE.pdf>.
- [8] «Adrián Pineda Martínez,» 11 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <https://repositorio.itesm.mx/bitstream/handle/11285/629031/33068001104120.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 30 Octubre 2018].
- [9] Google Earth, «Google Earth,» [En línea]. Available: [https://www.google.com/earth/client/sharing/index\\_es-419.html#image=https%3A%2F%2Fh3.googleusercontent.com%2F-y2\\_Uq0QgDD8%2FW9dB3NUZi7I%2FAAAAAAABLj8%2Fn2iWu-XNNV4\\_mmi6Byn8zAWtwY3eGZVkACHMYCw%2FInstant%2525C3%2525A1nea%252Bde%252BGoogle%252BEarth%3Fimgma](https://www.google.com/earth/client/sharing/index_es-419.html#image=https%3A%2F%2Fh3.googleusercontent.com%2F-y2_Uq0QgDD8%2FW9dB3NUZi7I%2FAAAAAAABLj8%2Fn2iWu-XNNV4_mmi6Byn8zAWtwY3eGZVkACHMYCw%2FInstant%2525C3%2525A1nea%252Bde%252BGoogle%252BEarth%3Fimgma). [Último acceso: 29 10 2018].
- [10] I. C. P. G. y. S. d. A. e. r. d. Telecomunicaciones. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/7982836-lfcm0410-certificacion-profesional-gestion-y-supervision-de-alarmas-en-redes-de-telecomunicaciones.html>.
- [11] udec.cl, [En línea]. Available: <http://www2.udec.cl/~jdupre/fibra/tipos.html>. [Último acceso: 3 Noviembre 2018].
- [12] B. d. f. optica. [En línea]. Available: <http://fibroptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>.
- [13] ITU, 2016. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/es>.

- [14] ITU, 2016. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.657-201611-I/es>.
- [15] ITU, «International Telecommunication Union,» [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/es>. [Último acceso: 6 Noviembre 2018].
- [16] Conectronica, «Conectronica.com,» [En línea]. Available: <https://www.conectronica.com/fibra-optica/ftth-fftx-fibra-optica/empalmes-de-fibra-optica-segun-la-nueva-normativa-de-icts>. [Último acceso: 27 Noviembre 2018].
- [17] A.-n. T. T. Company, «Ad-net,» 2017 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.ad-net.com.tw/16-types-fiber-optic-connectors-choose/>. [Último acceso: 2018 Noviembre 27].
- [18] I. [. The Fiber Optic Association, «The Fiber Optic Association, Inc. [FOA],» 2014. [En línea]. Available: <http://www.thefoa.org/ESP/Conectores.htm>. [Último acceso: 28 Noviembre 2018].
- [19] FS.COM, «FS.COM,» 18 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://community.fs.com/blog/basic-knowledge-about-gpon-sfp-transceivers.html>. [Último acceso: 27 Noviembre 2018].
- [20] commscope, «FTTH ARCHITECTURE WHITE PAPER SERIES,» [En línea]. Available: <https://docplayer.net/18757368-Ftth-architecture-white-paper-series.html>.
- [21] Huawei. [En línea]. Available: [http://jm.telecoms.free.fr/QCM\\_Fibre/GPON-Fundamentals\\_Huawei.pdf](http://jm.telecoms.free.fr/QCM_Fibre/GPON-Fundamentals_Huawei.pdf).
- [22] telecom. [En línea]. Available: <http://www.mtm-telecom.com/index.php/2012-07-04-19-04-49/enlaces-inalambricos-punto-a-punto-y-punto-multipunto.html>.
- [23] c. networks. [En línea]. Available: <https://www.cambiumnetworks.com/products/epmp/force-200-5-ghz/>.
- [24] Cambium Networks, [En línea]. Available: <https://www.cambiumnetworks.com/products/epmp/force-180/>. [Último acceso: 15 Diciembre 2018].
- [25] « ePMP 1000 CONNECTORIZED RADIO,» [En línea]. Available: [https://www.doubleradius.com/site/stores/cambium/Cambium\\_ePMP\\_1000\\_Connectorized\\_Radio\\_Data\\_Sheet.pdf?vid=3rOjzieMAnsIFHpQ&chrole=17&ck=kebhrieMAnoIFLVR&cktime=166951&promocode=&promocodeaction=overwrite&sj=dfBzt5cCHvdZMNff7oQRhcLED%3B1548169250971](https://www.doubleradius.com/site/stores/cambium/Cambium_ePMP_1000_Connectorized_Radio_Data_Sheet.pdf?vid=3rOjzieMAnsIFHpQ&chrole=17&ck=kebhrieMAnoIFLVR&cktime=166951&promocode=&promocodeaction=overwrite&sj=dfBzt5cCHvdZMNff7oQRhcLED%3B1548169250971).
- [26] ARCOTEL, «Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones,» 2015 Octubre 26. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2016/06/norma-tendido-de-redes-aereas.pdf>. [Último acceso: 23 Noviembre 2018].
- [27] ARCOTEL, «Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/Proyecto-de-Resoluci%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: Diciembre 3 2018].
- [28] CNEL, «Corporación Nacional de Electricidad,» [En línea]. Available: <https://www.cnelep.gob.ec/arrendamiento-de-bienes/>. [Último acceso: 1 Noviembre 2018].

- [29] «redgio products,» [En línea]. Available: <https://redgio.com/products/p1200-08>.
- [30] [En línea]. Available: <https://www.itamtech.com/index.php/catalogsearch/result/?q=olt>.
- [31] Ubiquiti, [En línea]. Available: [https://dl.ubnt.com/datasheets/ufiber/UFiber\\_GPON\\_DS.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/ufiber/UFiber_GPON_DS.pdf). [Último acceso: 11 Noviembre 2018].
- [32] «amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/UFiber-Transceiver-Module-UF-GP-B-Single-Mode/dp/B07G5L27XV>.
- [33] Ubiquiti, [En línea]. Available: [https://www.amazon.com/Ubiquiti-Networks-UFIBER-GPON-OLT/dp/B078XR965G/ref=sr\\_1\\_1?s=electronics&ie=UTF8&qid=1549067480&sr=1-1&keywords=UFiber+Class+C%2B](https://www.amazon.com/Ubiquiti-Networks-UFIBER-GPON-OLT/dp/B078XR965G/ref=sr_1_1?s=electronics&ie=UTF8&qid=1549067480&sr=1-1&keywords=UFiber+Class+C%2B). [Último acceso: 11 Noviembre 2018].
- [34] «by.com,» [En línea]. Available: <https://www.by.com.es/blog/grados-de-proteccion-ip/>. [Último acceso: 19 Diciembre 2018].
- [35] Budocable, Coyote, [En línea]. Available: <https://www.budocable.com/AWSProducts/67662/COYOTE-COYDTC-004-DTC-FIBER-OPTIC-DROP-TERMINATION-CLOSURE-KIT>. [Último acceso: 9 Diciembre 2018].
- [36] 3M™, «3M.com,» [En línea]. Available: [https://www.3m.com/3M/en\\_US/company-us/all-3m-products/~/3M-Optical-Splitters/?N=5002385+3294473544&rt=rud#variation2](https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~/3M-Optical-Splitters/?N=5002385+3294473544&rt=rud#variation2). [Último acceso: 3 Diciembre 2018].
- [37] M. libre. [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-418345629-roseta-optica-de-2-puertos-gpon-con-adaptador-scapc-\\_JM?quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-418345629-roseta-optica-de-2-puertos-gpon-con-adaptador-scapc-_JM?quantity=1).
- [38] «alibaba,» [En línea]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/12-color-code-sc-fiber-optic\\_60653162741.html?spm=a2700.7724857.normalList.42.2fa51af99SyJ2h](https://www.alibaba.com/product-detail/12-color-code-sc-fiber-optic_60653162741.html?spm=a2700.7724857.normalList.42.2fa51af99SyJ2h).
- [39] «amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/APC-Fiber-Optic-Patch-Cable/dp/B01GIV0PIQ>.
- [40] LatamFiberHome, «Catálogo de productos,» Durán, 2018.
- [41] «alibaba,» [En línea]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/High-Quality-FTTH-1x2-1x4-1x8\\_60657951553.html?spm=a2700.7724857.normalList.17.752d48f9NPecE3](https://www.alibaba.com/product-detail/High-Quality-FTTH-1x2-1x4-1x8_60657951553.html?spm=a2700.7724857.normalList.17.752d48f9NPecE3).
- [42] UIT, 2006. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/es>.
- [43] «Recomendacion L.12,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.12-200803-1/es>.
- [44] ITU, «Características de las fibras y cables ópticos,» Junio 2005. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652>. [Último acceso: 30 Enero 2019].
- [45] Optiwave Systems Inc., «Optiwave Photonic Software,» [En línea]. Available: <https://optiwave.com/optisystem-overview/>. [Último acceso: 22 Enero 2019].



## ANEXOS



Anexo 1 Medición de distancia entre postes



Anexo 2 Medición de distancia entre postes



**Anexo 3 Postes en la vía Data Posorja**



**Anexo 4 Torre de servicios de telecomunicaciones, ubicación de equipos de nodo central**



**Anexo 5 Red de fibra óptica existente en el sector de la vía Data Posorja**



**Anexo 6 Red de fibra óptica existente en el sector de la vía Data Posorja**