



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

TITULACIÓN DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

Diseño de una Red GPON para la localidad de Vilcabamba

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTORES: Alulima Salazar, Enrique Israel  
Paladines Bravo, César Augusto

DIRECTORA: Rohoden Jaramillo, Katty Alexandra, Ing

LOJA – ECUADOR

2014

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Ingeniera.

Katty Alexandra Rohoden Jaramillo.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: "Diseño de una Red GPON para la localidad de Vilcabamba" realizado por Alulima Salazar Enrique Israel y Paladines Bravo César Augusto, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por lo que se aprueba la presentación del mismo.

Loja, enero de 2014

f.).....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros Alulima Salazar Enrique Israel y Paladines Bravo César Augusto declaramos ser autores del presente trabajo de fin de titulación: "Diseño de una Red GPON para la localidad de Vilcabamba", de la Titulación de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, siendo Katty Alexandra Rohoden Jaramillo directora del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad"

f.).....

Autor: Alulima Salazar Enrique Israel

Cédula: 1105111536

f.).....

Autor: Paladines Bravo César Augusto

Cédula: 1104967243

## DEDICATORIA

El presente trabajo de fin de titulación se lo dedico con gran orgullo a mis padres, quienes me permitieron el poder emprender una formación académica, han sabido formarme e inculcar en mí una vida de superación; gracias a ello puedo obtener este gran logro, fruto de continuo esfuerzo y dedicación, que me permitirá avanzar en mi adelanto profesional.

*Israel Alulima S.*

A mis padres: Galo Paladines Loyola y Piedad Bravo Alberca, por su apoyo incondicional en cada paso que doy, tanto en mi vida personal como en mi vida académica; por su ejemplo de perseverancia y por su cariño brindado a cada instante. A toda mi familia que siempre ha estado conmigo en los buenos y malos momentos. Y no podía faltar un inmenso agradecimiento a Dios, que es mi fuente de fe y es el amigo incondicional.

*César A. Paladines Bravo.*

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a mi familia por todo el apoyo brindado a lo largo de mi formación como profesional, por motivarme a seguir adelante y culminar con el presente trabajo.

Mi sincero agradecimiento a los ingenieros: Fabián Castillo y Katty Rohoden, por impartir sus conocimientos y guiar continuamente la realización del presente trabajo.

A mi compañero César que ha sabido mostrar empeño para que podamos salir adelante con este proyecto.

Gracias

*Israel Alulima S.*

Primeramente un afectuoso agradecimiento a mis padres y a Dios, sin ellos no hubiera sido posible culminar mis estudios con éxito.

Un cordial agradecimiento al Ing. Fabián Castillo, por brindarnos la oportunidad de realizar el presente trabajo de fin de titulación en conjunto con la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP.

A la Ing. Katty Rohoden, nuestra directora de tesis; al Ing. Hernán Samaniego, por la ayuda prestada en la revisión del nuestro trabajo y sus acertadas correcciones, y a mi compañero de tesis Sr. Israel Alulima.

Por ultimo a todas las personas que directa o indirectamente influyeron para que culminar con éxito el presente trabajo de fin de titulación.

Gracias a todos.

*César A. Paladines Bravo*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA .....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
TERMINOLOGÍA .....	xiv
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	5
1. Fibra óptica .....	6
1.1. Estructura del cable de fibra óptica. ....	6
1.1.1. Núcleo.....	6
1.1.2. Revestimiento. ....	7
1.1.3. Cubierta protectora. ....	7
1.2. Tipos de fibra óptica.....	7
1.2.1. Por modo de propagación.....	7
1.2.1.1. Multimodo.....	7
1.2.1.2. Monomodo. ....	9
1.2.2. Por estándar. ....	9
1.3. Tipos de cables de fibra óptica.....	9
1.3.1. Figura 8.....	10
1.3.2. ADSS.....	10
1.4. Factores que afectan las comunicaciones ópticas.....	11
1.4.1. Atenuación.....	11
1.4.2. Dispersión.....	11
1.4.2.1. Dispersión modal.....	11
1.4.2.2. Dispersión cromática.....	12
1.4.2.3. Dispersión por modo de polarización.....	12
1.4.3. Macro doblajes.....	13
1.4.4. Micro doblajes.....	13

1.5.	Ventajas y desventajas de fibra óptica. ....	13
1.6.	Elementos de unión e interconexión (Estándar SC86B). ....	15
1.6.1.	Conectores. ....	15
1.6.2.	Patchcord. ....	15
1.6.3.	Pigtail. ....	16
1.7.	Empalmes. ....	16
1.7.1.	Empalmes por fusión. ....	16
1.7.2.	Empalmes mecánicos. ....	16
1.7.3.	Empalmes por adhesión. ....	16
1.8.	Mufas o mangas. ....	17
1.9.	Herrajes. ....	17
1.9.1.	Herraje aéreo. ....	17
1.9.1.1.	Tipo A. ....	17
1.9.1.2.	Tipo B. ....	18
1.9.1.3.	Preformado para fibra óptica ADSS. ....	18
1.9.1.4.	Thimble Clevis. ....	19
1.9.2.	Herraje canalizado. ....	19
1.9.2.1.	Herraje de pozo. ....	19
1.9.2.2.	Porta reservas en pozo. ....	20
1.9.2.3.	Manguera corrugada. ....	20
1.9.2.4.	Tapón simple de 1 ¼ pulgada. ....	21
1.9.2.5.	Tapón ciego de 1 ¼ pulgada. ....	21
2.	Redes de acceso basadas en fibra óptica. ....	22
2.1.	Redes FTTx. ....	22
2.2.	Redes PON. ....	23
3.	Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit GPON. ....	26
4.	Dispositivos de medición. ....	34
4.1.	OTDR. ....	34
4.2.	OPM (Optical Power Meter). ....	34
4.3.	GPON-Tester. ....	35
CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES. ....		37
1.	Demanda integral de los servicios de telecomunicaciones en la localidad de Vilcabamba. ....	38
1.1.	Definición del área de cobertura. ....	38
1.2.	Estudio de demanda. ....	39
1.2.1.	Demanda actual. ....	40

1.2.2.	Demanda proyectada.....	42
1.2.2.1.	Demanda proyectada segura.....	42
1.2.2.2.	Demanda proyectada mediante probabilidad.....	43
1.2.3.	Crecimiento poblacional.....	44
1.2.4.	Resultados.....	45
2.	Normativa de diseño GPON de CNT EP.....	45
2.1.	Modelo y arquitectura de red GPON.....	46
2.2.	Descripción de la infraestructura GPON de CNT EP.....	48
2.2.1.	La red de acceso GPON.....	48
2.2.2.	OLT (Optical Line Terminal).....	48
2.2.3.	ODN (Optical Distribution Network).....	50
2.2.3.1.	ODF (Optical Distribution Frame).....	50
2.2.3.2.	Cable FEEDER.....	50
2.2.3.3.	Cable de distribución.....	50
2.2.3.4.	Splitters.....	51
2.2.4.	ONT (Optical Network Terminal).....	51
2.3.	Modelo de cálculo de enlace para accesos GPON.....	52
2.3.1.	Definiciones y supuestos considerados en el modelo de cálculo.....	53
2.3.2.	Modelo de cálculo.....	54
2.4.	Parámetros de diseño de la red GPON.....	55
2.4.1.	Longitud de la fibra óptica.....	55
2.4.2.	Niveles, razón de división y tipos de splitter óptico.....	55
2.5.	Criterios de diseño en redes GPON.....	55
3.	Normativa técnica de dibujo de CNT EP.....	57
3.1.	Levantamiento de información georeferenciada.....	57
3.2.	Capas bases.....	58
3.3.	Capas de infraestructura de red.....	59
3.4.	Términos generales para la edición de los elementos de la red.....	61
CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA RED GPON.....		63
1.	Estado actual de la red.....	64
2.	Consideraciones generales.....	64
3.	Topología.....	66
4.	Diseño de la red GPON.....	67
4.1.	Red de dispersión.....	67
4.2.	Canalización.....	68



4.3.	Red feeder. ....	70
4.4.	Red de distribución. ....	71
4.5.	Esquemático de red. ....	71
4.6.	Materiales. ....	72
5.	Cálculos de atenuación .....	74
5.1.	Factores que añaden atenuación. ....	75
5.2.	Balance óptico de la red GPON. ....	76
6.	Dimensionamiento de equipos .....	77
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS FINANCIERO.....		80
1.	Planes comerciales .....	81
1.1.	Productos Individuales. ....	81
1.2.	Doble Pack.....	82
1.3.	Triple Pack. ....	82
2.	Costo de la inversión.....	84
3.	Determinación de ingresos.....	84
4.	Determinación de egresos.....	88
5.	Resultados .....	89
CONCLUSIONES .....		93
RECOMENDACIONES.....		95
BIBLIOGRAFÍA.....		96
ANEXOS.....		100
ANEXO 1: ENCUESTA .....		101
ANEXO 2: PLANOS DE RED DE DISPERSIÓN .....		102
ANEXO 3: PLANOS DE CANALIZACIÓN .....		103
ANEXO 4: PLANOS DE RED FEEDER.....		104
ANEXO 5: PLANOS DE RED DE DISTRIBUCIÓN.....		105
ANEXO 6: PLANOS DE ESQUEMÁTICO DE RED .....		106
ANEXO 7: PLANTILLA DEL VOLÚMEN DE OBRA.....		107
ANEXO 8: CERTIFICADO DE APROBACIÓN CNT EP LOJA .....		108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estructura del cable de fibra óptica .....	6
Figura 1.2. Fibra multimodo .....	8
Figura 1.3. Fibra multimodo con índice de refracción gradual .....	8
Figura 1.4. Fibra multimodo con índice de refracción escalonado.....	9
Figura 1.5. Cable Figura 8 .....	10
Figura 1.6. Cable ADSS.....	11
Figura 1.7. Dispersión cromática .....	12
Figura 1.8. Atenuación por macro doblajes.....	13
Figura 1.9. Micro doblajes en fibra óptica.....	13
Figura 1.10. Tipos de conectores según su estándar.....	15
Figura 1.11. Patchcord.....	15
Figura 1.12. Pigtail.....	16
Figura 1.13. Mangas.....	17
Figura 1.14. Herraje Tipo A.....	17
Figura 1.15. Herraje Tipo B.....	18
Figura 1.16. Preformado .....	19
Figura 1.17. Thimble Clevis .....	19
Figura 1.18. Kit de herraje de pozo .....	20
Figura 1.19. Porta reservas en pozo .....	20
Figura 1.20. Manguera corrugada.....	21
Figura 1.21. Tapón simple o guía.....	21
Figura 1.22. Tapón ciego .....	22
Figura 1.23. Arquitectura de Red PON .....	23
Figura 1.24. Acceso al medio en canal descendente y canal ascendente.....	29
Figura 1.25. ONT, diagrama de temporización.....	29
Figura 1.26. Multiplexación del enlace descendente .....	30
Figura 1.27. Multiplexación del enlace ascendente .....	31
Figura 1.28. Diagrama de bloques de la OLT .....	32
Figura 1.29. Diagrama de bloques de la ONT .....	33
Figura 1.30. Medidor de potencia óptico PON .....	35
Figura 1.31. GPON-Tester de central y de campo .....	35
Figura 2.1. Representación en Google Earth del área de cobertura de la Red GPON.....	39
Figura 2.2. Arquitectura red GPON.....	47
Figura 2.3. Modelo de referencia tomado por la CNT EP .....	47
Figura 2.4. Red de acceso GPON, Modelo Masivo/Casas.....	48

Figura 2.5. Estructura de una OLT .....	49
Figura 2.6. Splitter .....	51
Figura 2.7. ONT de mesa .....	52
Figura 2.8. Resultados del modelo de cálculo sin respaldo para Masivos.....	54
Figura 2.9. Etapas del Capex en una red GPON .....	56
Figura 2.10. Costo de la ODN en base la ubicación del primer splitter óptico .....	57
Figura 3.1. Topología de la red GPON para Vilcabamba.....	66
Figura 3.2. Ejemplo de red de dispersión.....	68
Figura 3.3. Esquema canalización de cuatro vías más un triducto .....	69
Figura 3.4. Subida a poste en canalización.....	69
Figura 3.5. Cobertura de los armarios de distribución óptica.....	70
Figura 4.1. Flujo neto en efectivos.....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Diámetros de núcleo .....	7
Tabla 1.2. Tipos de fibra óptica por estándar .....	9
Tabla 1.3. Características de un cable G652D canalizado .....	10
Tabla 1.4. Características de un cable G652D aéreo.....	10
Tabla 2.1. Total de usuarios actuales.....	41
Tabla 2.2. Abonados con servicio telefónico .....	41
Tabla 2.3. Abonados que cuentan con servicio de Internet.....	41
Tabla 2.4. Abonados que cuentan con servicio de TV pagada.....	42
Tabla 2.5. Abonados actuales de CNT EP por servicios .....	42
Tabla 2.6. Abonados que desean cada servicio .....	43
Tabla 2.7. Resultados demanda total en base a encuestas .....	45
Tabla 2.8. Pérdidas por tipo de splitter.....	53
Tabla 2.9. Capas bases del proyecto.....	58
Tabla 2.10. Capas utilizadas en el Diseño de la red GPON .....	59
Tabla 2.11. Acrónimos para canalización.....	61
Tabla 3.1. Lista de materiales de la red GPON.....	72
Tabla 3.2. Factores para el trayecto con mayor atenuación .....	76
Tabla 3.3. Factores para el trayecto con menor atenuación.....	76
Tabla 3.4. Características de los modelos de OLT.....	78
Tabla 3.5. Características de los modelos de ONT .....	78
Tabla 4.1. Precios de telefonía fija.....	81
Tabla 4.2. Precios de Internet fijo .....	81
Tabla 4.3. Precios de televisión .....	82
Tabla 4.4. Paquetes Doble pack .....	82
Tabla 4.5. Paquetes triple pack básico .....	83
Tabla 4.6. Paquetes triple pack intermedio .....	83
Tabla 4.7. Paquetes triple pack completo .....	83
Tabla 4.8. Costo total de inversión.....	84
Tabla 4.9. Consumo básico de Internet .....	85
Tabla 4.10. Consumo básico de televisión.....	85
Tabla 4.11. Consumo por abonado de telefonía .....	85
Tabla 4.12. Número de abonados por servicio.....	86
Tabla 4.13. Estimación de ingresos en servicios individuales .....	86
Tabla 4.14. Estimación de ingresos en servicios doble pack.....	87
Tabla 4.15. Estimación de ingresos en servicios en el servicio triple pack .....	87

Tabla 4.16. Cantidad de instalaciones .....	87
Tabla 4.17. Ingresos por instalaciones.....	88
Tabla 4.18. Estimación de egresos .....	88
Tabla 4.19. Estimación de egresos anuales.....	89
Tabla 4.20. Consideraciones generales.....	90
Tabla 4.21. Resultados de flujos netos .....	91
Tabla 4.22. Resultados de VAN y TIR .....	92

## TERMINOLOGÍA

**ADSS:** All-Dielectric Self-Supporting

**AES:** Advanced Encryption Standard

**APD:** Avalanche Photodiodes

**APON:** ATM PON

**ARPU:** Average Revenue Per User

**ATM:** Asynchronous Transfer Mode

**BPON:** Broadband PON

**CAPEX:** Capital expenditures

**CDMA:** Code Division Multiple Access

**DBA:** Dynamic Bandwidth Assignment

**DES:** Data Encryption Standard

**EPON:** Ethernet PON

**FTTB:** Fiber to the building o Fiber to the Building

**FTTC:** Fiber to the cabinet o fiber to the curb

**FTTH:** Fiber to the home

**FTTx:** Fiber to the X

**GEM:** GPON Encapsulation Method

**GFP:** Generic Frame Procedure

**GPON:** Gigabit-capable Passive Optical Network

**GPS:** Global Positioning System

**GTC:** GPON Transmission Convergence layer

**IEC:** International Electrotechnical Commission

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers

**LoS:** Loss of Service

**MPCP:** Multi Point Control Protocol

**OAM:** Operación, Administración y Mantenimiento

**ODF:** Open Document Format

**ODN:** Optical Distribution Network

**OLT:** Optical Line Terminal

**OMCI:** ONT Management and Control Interface

**ONT:** Optical Network Terminal

**ONU:** Optical Network Unit

**OPM:** Optical Power Meter

**OSI:** Open System Interconnection

**OTDR:** Optical Time Domain Reflect meter

**PDU:** Protocol Data Unit

**PDU:** Protocol Data Unit

**PMD:** Polarization Mode Dispersion

**PON:** Passive Optical Network

**RDSI:** Red Digital de Servicios Integrados

**TC:** Transmission Convergence

**TDM:** Time Division Multiplexing

**TDMA:** Time Division Multiplexing Access

**TIA:** Telecommunications Industry Association

**TIR:** Tasa Interna de Retorno

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones

**VAN:** Valor Actual Neto

**VDSL:** Very high bit-rate Digital Subscriber Line

**WDM:** Wavelength Division Multiplexing

**xDSL:** Digital Subscriber Line



## RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en realizar el diseño de una red de acceso FTTH mediante la tecnología GPON para la parroquia Vilcabamba del cantón Loja; y de esta manera lograr cubrir la demanda de servicios de telecomunicaciones de calidad triple play (voz, Internet de banda ancha y televisión) por usuarios potenciales que habitan en Vilcabamba al ser un sector con un gran atractivo turístico.

Para la realización del diseño se hizo un estudio de demanda de los servicios de telecomunicaciones que se pretende brindar en todo el sector; seguidamente, se realizó el diseño de red GPON en base a la normativa técnica de dibujo y a la normativa técnica de diseño establecida por CNT EP. Finalmente el diseño fue validado con un análisis financiero en base a precios referenciales de construcción y de ingresos por venta.

**PALABRAS CLAVES:** fibra óptica, FTTH, GPON, CNT EP, triple play.

## **ABSTRACT**

The present work focuses in design a FTTH access network using GPON technology for the parish Vilcabamba of canton Loja; and thus achieve meet the demand for telecommunications services of quality triple play (telephone, Internet broadband and television) for potential users that living in Vilcabamba, to be a sector with a great touristic attraction.

For to the completion of design was performed a study of the demand for telecommunication services that are intended to provide, then, the GPON network design was based on the technical drawing regulations and design standards established by CNT EP. Finally, the design was validated with a financial analysis based on construction prices and sales revenues.

**KEYWORDS:** optical fiber, FTTH, GPON, CNT EP, triple play.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la gran demanda de mejores servicios de telecomunicaciones especialmente en lo referente a telefonía, Internet y televisión, ha impulsado la necesidad de migrar a redes con mayor capacidad de transmisión de datos, es decir, redes de banda ancha, teniendo como solución el cambio de los tradicionales medios de transmisión que utilizan señales eléctricas y electromagnéticas como los cables de cobre, a cables de fibra óptica que transmiten información por señales de luz a mayor velocidad y disminuyen casi en su totalidad ruidos e interferencias electromagnéticas.

Las redes ópticas pasivas GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) permiten brindar a cada usuario servicios triple play (voz, Internet de banda ancha y televisión) con altas tasas de transmisión y de calidad.

El presente trabajo de fin de titulación tiene como objetivo general:

- Diseñar la infraestructura de planta externa para una red GPON en la localidad de Vilcabamba.

Y como objetivos específicos:

- Estudio de mercado para determinar la demanda de servicios de telecomunicaciones.
- Realizar planos del diseño de la red de distribución óptica GPON de acuerdo a la normativa de CNT EP.
- Realizar un análisis financiero de la red GPON.

El presente trabajo de fin de titulación comprendió todo el diseño relacionado con la capa física (modelo OSI) de una red GPON para la localidad de Vilcabamba, el cual se lo ha dividido en cuatro capítulos: en el Capítulo I se presenta el marco teórico; el Capítulo II incluye los métodos y materiales que fueron necesarios para la realización del trabajo, entre estos se tiene: el estudio de demanda realizado en el sector al que se pretende servir, la normativa de diseño GPON de CNT EP y la normativa técnica de dibujo de CNT EP; el Capítulo III contiene todo lo concerniente al diseño de la red GPON, es decir, consideraciones generales que se tomaron en cuenta, cálculo del balance óptico, el diseño de todos los planos necesarios para la red y un resumen de los materiales que son necesarios según el diseño realizado; y en el Capítulo IV se presenta el análisis financiero.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas de todo el trabajo realizado.

Las metodologías utilizadas para la realización de este trabajo son: metodología de investigación de campo para el estudio de demanda, el cual se lo realizó mediante encuestas, las cuales se las aplicó a cada predio de toda el área a cubrir por la red GPON. Y la metodología de análisis, la cual realiza un análisis financiero costo-beneficio para poder determinar si la implementación de la nueva red es factible y generará ganancias a corto plazo.

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO**

## 1. Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión guiado compuesto de un delgado filamento de vidrio, plástico u otro material transparente con un alto índice de refracción, el grosor de este es aproximadamente como el de un cabello humano. En general la fibra óptica se divide en tres principales partes, el núcleo o también llamado core, el revestimiento o cladding y la cubierta protectora o chaqueta (ver figura 1.1).

El principio de propagación de la fibra óptica se basa en las propiedades de refracción y reflexión más conocido como reflexión interna total [1] de un haz de luz, el cual es emitido por un diodo led o un láser hasta llegar a un punto de recepción que es detectado generalmente por un diodo PIN o un APD (fotodiodo de avalancha), ambos convierten los fotones de luz en corriente eléctrica.

### 1.1. Estructura del cable de fibra óptica.

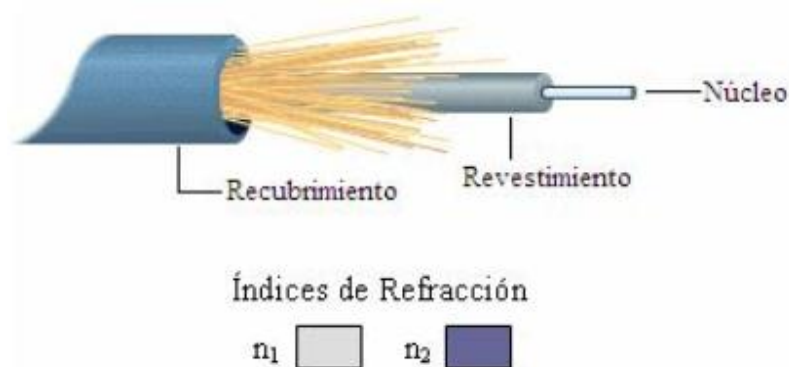


Figura 1.1. Estructura del cable de fibra óptica

Fuente: [2]

#### 1.1.1. Núcleo.

El núcleo es la parte más importante de la fibra óptica, ya que por ella se trasmite la información de un punto a otro mediante señales ópticas, siguiendo el proceso llamado reflexión interna total, su diámetro varía según el tipo de fibra, teniendo un rango de entre 8  $\mu\text{m}$  a 125  $\mu\text{m}$  [3]; mientras mayor es el diámetro del núcleo, mayor es la cantidad de luz que se puede transportar.

Está compuesto por un filamento de vidrio puro, generalmente fabricado de óxido de silicio o germanio con un alto índice de refracción  $n_1$  [2].

La fibra óptica según el diámetro del núcleo y del revestimiento se fabrica en cinco grupos los cuales tienen diferentes características y aplicaciones como se muestra en la tabla 1.1:

Tabla 1.1. Diámetros de núcleo

Diámetro Núcleo	Diámetro Revestimiento	Tipo de Propagación	Longitud de Onda de Transmisión	Características
8 a 10 $\mu\text{m}$	125 $\mu\text{m}$	Monomodo	1550/1330 $\eta\text{m}$	Transmisión de datos a alta velocidad en largas distancias. Aumento de costos en su implementación.
50 $\mu\text{m}$	125 $\mu\text{m}$	Multimodo	850/1310 $\eta\text{m}$	Pequeña apertura numérica que hace que la potencia de la fuente sea menor.
62.5 $\mu\text{m}$	125 $\mu\text{m}$	Multimodo	850 $\eta\text{m}$	Una de las más utilizadas en la actualidad para transmisiones.
85 $\mu\text{m}$	125 $\mu\text{m}$	Multimodo	850 $\eta\text{m}$	Buena captación de las señales de luz debido a su mayor diámetro en el núcleo
100 $\mu\text{m}$	140 $\mu\text{m}$	Multimodo	850 $\eta\text{m}$	Mucho más fácil de empalmar, menor atenuación.

Fuente: [4]

### 1.1.2. **Revestimiento.**

El revestimiento de la fibra es un segundo filamento que recubre el núcleo, este está fabricado del mismo material que el núcleo pero se le añade ciertas impurezas con el fin de que el índice de refracción  $n_2$  sea menor, de tal forma que actúa como una capa reflectante, consiguiendo que las ondas de luz que intentan escapar del núcleo sean reflejadas y retenidas en el núcleo ayudando a la transmisión en el interior de la fibra óptica.

### 1.1.3. **Cubierta protectora.**

Como bien menciona su nombre, esta tercera capa de la fibra óptica sirve para cubrir y proteger el núcleo y el revestimiento. Está fabricado de varias capas de plástico para brindar resistencia mecánica a la fibra para su tendido en ambientes externos. Además sirve para la identificación a través de un código de colores.

## 1.2. **Tipos de fibra óptica.**

La fibra óptica se la puede clasificar de acuerdo a su modo de propagación, las cuales están estrechamente relacionadas al diámetro del núcleo, también se las puede clasificar por estándar.

### 1.2.1. **Por modo de propagación.**

#### 1.2.1.1. **Multimodo.**

La fibra multimodo, debido al diámetro de su núcleo que es relativamente mayor al de la fibra monomodo, permite la transmisión de rayos ópticos utilizando varias rutas con diferentes ángulos de reflexión a lo largo de un enlace, esto se lo conoce como propagación

por modos múltiples, tal como se muestra en la figura 1.2. Por esta razón, la fibra multimodo es completamente sensitiva a la dispersión modal y se la utiliza en aplicaciones de corta distancia.

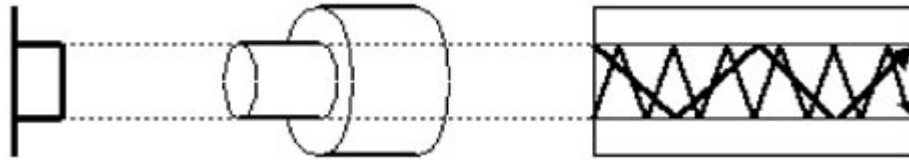


Figura 1.2. Fibra multimodo

Fuente: [3]

A su vez, la fibra multimodo tiene una subdivisión de dos tipos, según el índice de refracción pueden ser: fibra multimodo con índice gradual y fibra multimodo con índice escalonado.

La fibra multimodo con índice gradual se caracteriza debido a que su índice de refracción no es constante a lo largo de su núcleo, este decrece gradualmente al desplazarse del núcleo hacia el revestimiento, en consecuencia las señales de luz recorren la fibra describiendo trayectorias onduladas o helicoidales. Este tipo de fibra permite reducir la atenuación por dispersión modal.

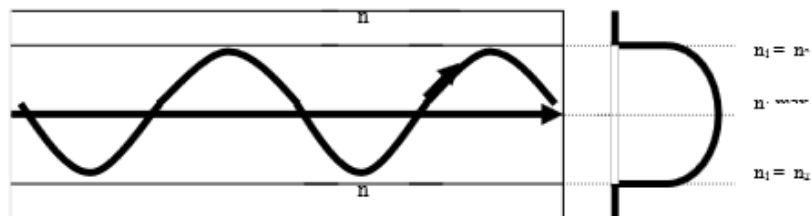


Figura 1.3. Fibra multimodo con índice de refracción gradual

Fuente: [1]

La fibra multimodo con índice escalonado a diferencia de la de índice gradual, se caracteriza por conservar el índice de refracción constante y superior al índice del revestimiento, a lo largo de todo de núcleo. El paso desde el núcleo hasta el recubrimiento conlleva una variación gigantesca del índice de refracción, de ahí su nombre de índice escalonado. Las señales de luz se propagan a lo largo de la fibra con la misma velocidad y recorriendo diferentes trayectorias en forma zigzagueante tal como se muestra en la siguiente figura.



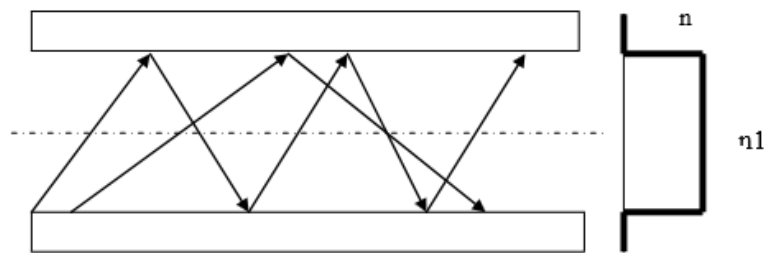


Figura 1.4. Fibra multimodo con índice de refracción escalonado

Fuente: [1]

### 1.2.1.2. Monomodo.

La fibra óptica monomodo se caracteriza por tener su núcleo de menor diámetro comparado con la multimodo, de tal manera que por ella solo se pueda propagar un solo modo, es decir que un solo haz de luz pueda propagarse por la fibra. Este tipo de fibra óptica es capaz de llevar mayor información en largas distancias por su gran ancho de banda, además se elimina la atenuación por dispersión modal y disminuye el ruido, su desventaja es que tiene un mayor costo y es difícil de manipular.

### 1.2.2. Por estándar.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) tiene varias recomendaciones acerca de los diferentes tipos de fibra óptica, a continuación se describen las más importantes:

Tabla 1.2. Tipos de fibra óptica por estándar

Tipo de Fibra	Atenuación	Longitud de Onda de Transmisión	Diámetro de Núcleo / Revestimiento	Tipo de Propagación	Radio de Macro Curvatura
ITU-T G.651	3 dB/Km	850/1310nm	50/245µm	Multimodo	30mm
ITU-T G.652	0.5 dB/km	1310/1550nm	8 a 10/125µm	Monomodo	30mm
ITU-T G.653	0.35 dB/km	1550nm	7.8 a 8.5 /125µm	Monomodo	30mm
ITU-T G.654	0.22 dB/Km	1550nm	9.5 a 10.5/125 µm	Monomodo	30mm
ITU-T G.655	0.4 dB/Km	1550/1625nm	8 a 11/125 µm	Monomodo	30mm

Fuente: [5]

### 1.3. Tipos de cables de fibra óptica.

Según el ambiente del tendido de cable de fibra óptica podemos diferenciar entre cables con características para el tendido canalizado (ver tabla 1.3) y cables con características para el tendido aéreo (ver tabla 1.4).

Tabla 1.3. Características de un cable G652D canalizado

Característica	Detalle
Fuerza de tensión	1800N
Resistencia de compresión	4400N /10cm
Aplicación	Tendido Canalización
Temperatura de operación	-40°C +70°C
Peso del cable	155 ± 20kg/km
Revestimiento de cinta de acero	Espesor nominal: (0.15+0.05x2) mm
Cinta de bloqueo de agua	Bloqueo de agua y humedad

Fuente: [6]

Tabla 1.4. Características de un cable G652D aéreo

Característica	Detalle
Fuerza de tensión	2500N
Resistencia de compresión	1000N/10cm
Aplicación	Tendido Aéreo
Temperatura de operación	-40 ° C +70 ° C
Peso del cable	110 ± 20kg/km
Cinta de bloqueo de agua	Bloqueo de agua y humedad

Fuente: [6]

### 1.3.1. **Figura 8.**

El cable de fibra óptica del tipo figura 8, debe su nombre a su forma física, cuenta con un cable guía o mensajero adherido a él con su misma chaqueta de recubrimiento, este sirve para sujetar el cable en los postes con un determinado tipo de herrajes, generalmente este cable mensajero es de acero. Tiene capacidades de 6 a 96 hilos.

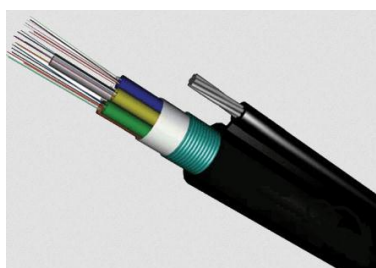


Figura 1.5. Cable Figura 8

Fuente: [7]

### 1.3.2. **ADSS.**

EL cable de fibra óptica del tipo ADSS auto-soportado totalmente dieléctrico por sus siglas en inglés (All-Dielectric Self-Supporting), su característica principal es su gran capacidad de 6 a 256 hilos, utiliza preformados para sujeción a los herrajes en tendidos aéreos evitando la necesidad de un cable mensajero, además soporta vanos desde 90 hasta 800 metros.

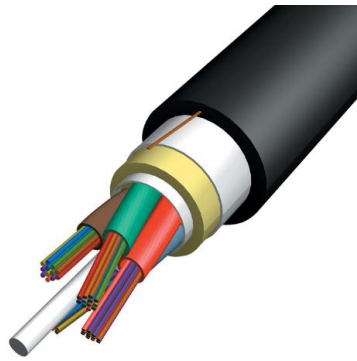


Figura 1.6. Cable ADSS

Fuente: [8]

## **1.4. Factores que afectan las comunicaciones ópticas.**

### **1.4.1. Atenuación.**

Las atenuaciones en fibra son pérdidas de potencia óptica cuando esta es transmitida a través del núcleo, este decremento es expresado en dB (decibeles) y se lo mide generalmente como una tasa de pérdida por unidad de distancia (dB/Km). Varios factores influyen a aumentar la atenuación como, la disipación de luz fuera del núcleo de la fibra, por factores ambientales, por empalmes, por el tipo fibra óptica y por la longitud de onda a la que se desea transmitir. Para la fibra monomodo se tienen los siguientes factores de atenuación: [9]

- 0,40 dB/Km, para una longitud de onda de 1310 nm
- 0,35 dB/Km, para una longitud de onda de 1490 nm
- 0,30 dB/Km, para una longitud de onda de 1550 nm

### **1.4.2. Dispersión.**

Es uno de los varios fenómenos que afectan a las transmisiones en fibra óptica, la dispersión provoca una deformación del haz de luz que se propaga, y en consecuencia la señal de luz se ensanchará en el tiempo provocando limitar la capacidad de información. La dispersión es normalmente especificada en nanosegundos por kilómetro y se divide en tres fenómenos más.

#### **1.4.2.1. Dispersión modal.**

La dispersión modal afecta a la fibra del tipo multimodo, debido a que las señales de luz toman varias rutas con diferentes ángulos de reflexión haciendo que no toda la energía de la señal de luz llegue al final al mismo tiempo, como por ejemplo en el transmisor se envía un determinado número de señales de luz, estas llegaran al receptor en diferentes tiempos

según la ruta que hayan tomado, además en ciertos casos puede provocar un ensanchamiento del haz de luz lo suficientemente grande para que se solapen los pulsos entre sí. Este tipo de dispersión se puede reducir considerablemente usando fibra multimodo con índice gradual.

#### 1.4.2.2. *Dispersión cromática.*

La dispersión cromática es el fenómeno el cual afecta a la fibra del tipo monomodo y multimodo, este fenómeno consiste en la disminución de los niveles de señal óptica debido a que el espectro de la luz se propaga con diferentes velocidades y diferentes longitudes de onda. Este tipo de dispersión es la principal causa de disminuir la velocidad de transmisión, la cual aumenta en distancias largas.

La dispersión cromática afecta directamente al ancho de banda (BW) y a la forma de las señales ópticas, debido a que las diferentes longitudes de onda llegan al receptor en varios tiempos provocando un ensanchamiento de los pulsos ópticos, tal como se muestra en la figura 1.7.

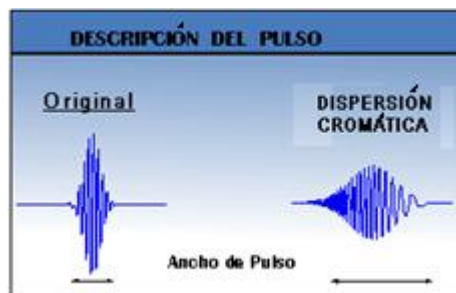


Figura 1.7. Dispersión cromática

Fuente: [10]

#### 1.4.2.3. *Dispersión por modo de polarización.*

Cuando se propagan las señales de luz en la fibra óptica estas viajan en dos modos de polarización, y se mueven formando un ángulo recto uno del otro. De forma ideal el núcleo y el revestimiento de la fibra es perfectamente circular por lo que estos dos modos de polarización viajan a la misma velocidad, pero realmente esta perfecta circularidad no existe debido a la deformación, torsión o curvaturas que sufre la fibra en su tendido, por consiguiente, los dos modos de polarización viajan en diferentes velocidades.

La dispersión por modo de polarización PMD por sus siglas en inglés (Polarization Mode Dispersion), afecta principalmente a las fibras del tipo monomodo, limitando considerablemente la capacidad de transmisión de bits especialmente a altas velocidades y deformando los pulsos ópticos.

### 1.4.3. Macro doblajes.

Los macro doblajes son deformaciones de la fibra óptica al momento de su instalación, son básicamente curvaturas de cierto radio que deforman las paredes laterales de la fibra provocando atenuaciones y pérdidas de señal si sobrepasan el radio de curvatura crítico (>2mm de radio), en la siguiente figura tenemos la relación entre radio de curvatura y atenuación.

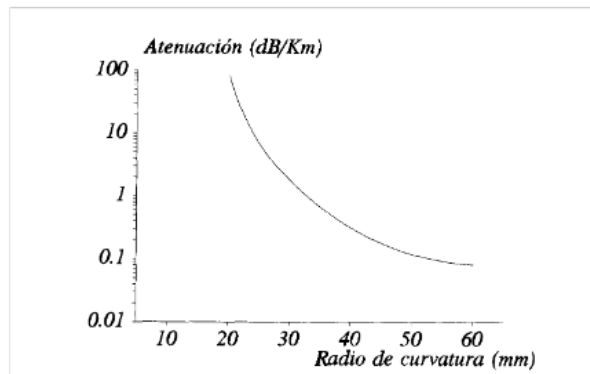


Figura 1.8. Atenuación por macro doblajes

Fuente: [11]

### 1.4.4. Micro doblajes.

Este tipo de doblajes se producen principalmente en la fabricación de la fibra óptica, también por la variación de dimensiones del núcleo del cable provocado por los cambios de temperatura a la salida de la señal de luz del núcleo.

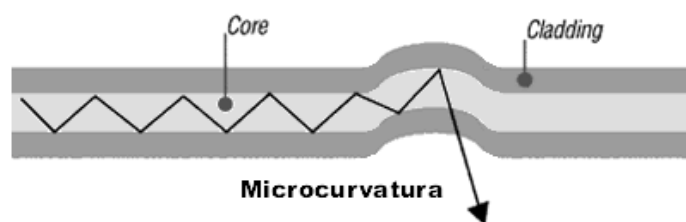


Figura 1.9. Micro doblajes en fibra óptica

Fuente: [9]

## 1.5. Ventajas y desventajas de fibra óptica.

Si bien es cierto que la fibra óptica como medio físico para las transmisiones de gran capacidad (mayor ancho de banda), es uno de los avances tecnológicos más recientes con una variedad de ventajas, pero también cuenta con algunas desventajas las cuales se citarán a continuación.

### **Ventajas:**

- La principal ventaja es la mayor capacidad y velocidad de transmisión de datos debido a su gran ancho de banda disponible en frecuencias ópticas, especialmente en fibras del tipo monomodo. Existen sistemas de multiplexación que permiten enviar 32 haces de luz a una velocidad de 10Gbps cada uno por una misma fibra, dando lugar a una velocidad total de 320Gbps [12].
- Cuenta con inmunidad a interferencias electromagnéticas causadas por cables que transportan energía eléctrica y en general por todos los dispositivos que producen campos electromagnéticos. El cual es un gran problema en los cables de cobre.
- Mayor seguridad y control hacia intrusos y fuga de información, ya que pensar en extraer las señales de luz de la fibra óptica sería contraproducente, debido a que esta se disiparía y, por lo tanto, perdería toda la información, además sería fácil de detectar el punto de corte.
- Su tendido en canalización reduciría gastos de instalación, debido a su menor tamaño y peso en comparación a los cables de cobre, puesto que un cable de fibra no requiere ductos normales (4 pulgadas) sino ductos más pequeños que forman grupos de tres llamados triducto (1 ¼ pulgadas cada ducto).
- Es segura su instalación en ambientes con gran riesgo de explosiones, debido a que la fibra no conduce electricidad, por lo tanto, no existe riesgo de incendios por arcos eléctricos.
- El Dióxido de Silicio, materia prima para la fabricación de fibra óptica, es uno de los recursos más abundantes del planeta.
- Abarca mayores distancias en enlaces, debido a su inmunidad a interferencias y baja atenuación en tramos continuos, lo cual permite emplear enlaces de 80 o 100Km sin algún tipo de amplificación.

### **Desventajas:**

- Una de sus mayores desventajas es su fragilidad mecánica al momento de la instalación en ambientes externos.
- Los costos en equipos de transmisión, recepción e instalación son muy elevados.
- Dificultad para reparaciones en cortes de fibra, ya que implica equipamiento y personal especializado.
- No puede transmitir electricidad para alimentar repetidores intermedios.

## 1.6. Elementos de unión e interconexión (Estándar SC86B).

El estándar SC86B define normas internacionales para los elementos de interconexión de fibra óptica y componentes pasivos.

### 1.6.1. Conectores.

Los conectores permiten acoplar mecánicamente los extremos de la fibra óptica, permitiendo la fácil conexión o desconexión del cable de fibra con los equipos ópticos. Los conectores pueden ser de varios tipos, los metálicos FC o ST y los plásticos SC o LC, entre otros. Cada conector introduce entre 0.4 y 0.5 dB de atenuación. Todos los tipos de conectores están estandarizados por la IEC (International Electrotechnical Commission) y la TIA (Telecommunications Industry Association), algunos ejemplos se muestran en la figura 1.10.

Conector	Estándar	Conector	Estándar
ST: 	IEC 61754-2, TIA 604-2	SC: 	IEC 61754-4, TIA 604-3
FC-PC 	IEC 61754-13, TIA 604-4-A	LC: 	IEC 61754-20, TIA 604-10-A
MT-RJ 	IEC 61754-18, TIA 604-12	MU: 	IEC 61754-6

Figura 1.10. Tipos de conectores según su estándar

Fuente: [13]

### 1.6.2. Patchcord.

Se compone de un cable de fibra óptica de corta longitud con conectores en sus dos extremos. Los patchcord permiten conectar dos equipos instalados en la central o nodo. Las terminaciones del patchcord pueden ser del tipo dual, es decir, dos fibras monomodo con dos terminaciones en cada extremo y sus características ópticas deben ser las mismas que las de la fibra óptica utilizada en el enlace.



Figura 1.11. Patchcord

Fuente: [14]

### **1.6.3. Pigtail.**

El pigtail es un cable de fibra óptica el cual tiene conector en solo uno de sus extremos. Este cable se lo utiliza para ser empalmado un extremo con la fibra óptica que llega del enlace exterior y el otro extremo permite la interconexión con el equipo de la central.



Figura 1.12. Pigtail

Fuente: [14]

## **1.7. Empalmes.**

Los empalmes realizan la fusión óptica y mecánica entre dos cables de fibra óptica asegurando de esta manera continuidad entre los dos cables. Sus pérdidas de entre 0.03 y 0.05 dB pueden contribuir de manera considerable en el balance del enlace, representando un menor alcance.

### **1.7.1. Empalmes por fusión.**

Consiste en el calentamiento de las fibras para eliminar impurezas, y al llegar a una temperatura lo suficientemente alta se fusiona las fibras uniéndolas permanentemente. Los empalmes por fusión generan bajas pérdidas por reflexión y alta fiabilidad.

### **1.7.2. Empalmes mecánicos.**

Consiste en un tubo dividido horizontalmente, la parte inferior es una base tipo V, y la superior es una tapa plana. El espacio entre estas se llena con un gel adaptador, se insertan las fibras cortadas y luego se cierran con unas grapas de presión que empujan las fibras hasta juntarlas [15]. Los empalmes mecánicos se caracterizan por ser empalmes de realización rápida que permiten restaurar el servicio en poco tiempo, por lo tanto se los considera como empalmes temporales.

### **1.7.3. Empalmes por adhesión.**

El empalme por adhesión consiste en insertar las fibras en un mecanismo de alineación y luego son unidas con un adhesivo epóxico. Este material epóxico además de servir como elemento de unión, también sirve como adaptador de índices de refracción. [15]



## 1.8. Mufas o mangas.

Son dispositivos que dan soporte a los empalmes de fibra óptica. Su objetivo principal es encerrar herméticamente en su interior las conexiones de los empalmes con el fin de protegerlas ante las diferentes condiciones ambientales que se pueden presentar.



Figura 1.13. Mangas

Fuente: [14]

## 1.9. Herrajes.

Se ha considerado como herrajes a todos los accesorios que sirven para sujetar el cable aéreo a los postes, así como también, los accesorios que sirven como soporte y protección del cable canalizado: [14]

### 1.9.1. *Herraje aéreo.*

#### 1.9.1.1. *Tipo A.*

El herraje tipo A o terminal es el que sujeta al poste el mensajero del cable de fibra óptica figura 8, y el Thimble Clevis para el cable ADSS. Es utilizado al principio y fin del trayecto aéreo; también se lo utiliza en cambios de direcciones de la ruta, en tramos mayores a 90 metros y después de dos herrajes tipo B consecutivos.



Figura 1.14. Herraje Tipo A

Fuente: [14]

### 1.9.1.2. Tipo B.

El herraje tipo B o de paso es aquel que da soporte al cable de fibra óptica. Se lo utiliza en tramos rectos y menores a 90 metros. Este herraje debe ser utilizado en un número máximo de dos herrajes tipo B seguidos. Se compone de dos tapas de aluminio en forma cilíndrica, y en su interior tiene material antideslizante de caucho para evitar que la fibra resbale.

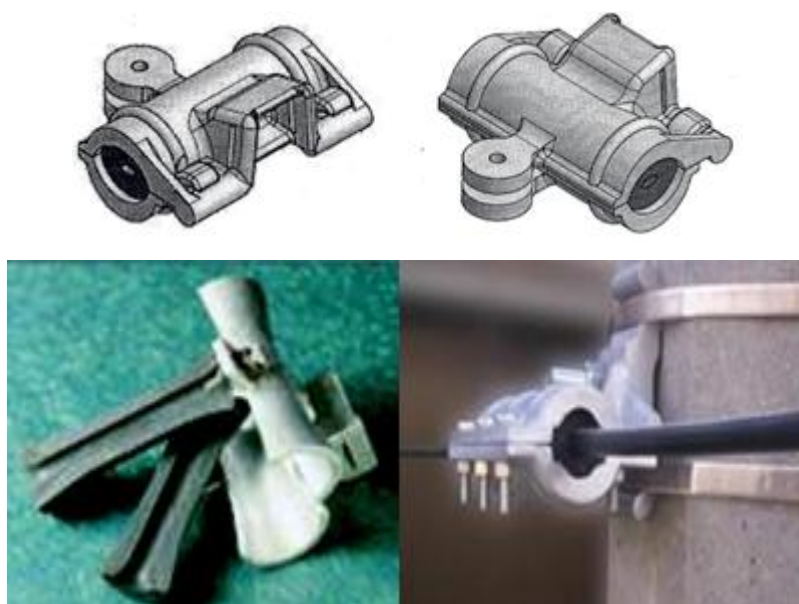


Figura 1.15. Herraje Tipo B

Fuente: [14]

### 1.9.1.3. Preformado para fibra óptica ADSS.

Se los utiliza de forma envolvente sobre la chaqueta del cable de fibra óptica para sujetarlo al herraje tipo A mediante un guardacabo especial llamado Thimble Clevis. Las varillas que componen el preformado están repasadas en sus extremos para evitar daños al cable que van a sujetar. Para tramos mayores a 90 metros se utilizan unos elementos similares a los preformados antideslizantes de menor longitud denominados protectores de cable; sobre estos protectores se envuelve el preformado dando así mayor sujeción al cable evitando que se resbale o se deslice.

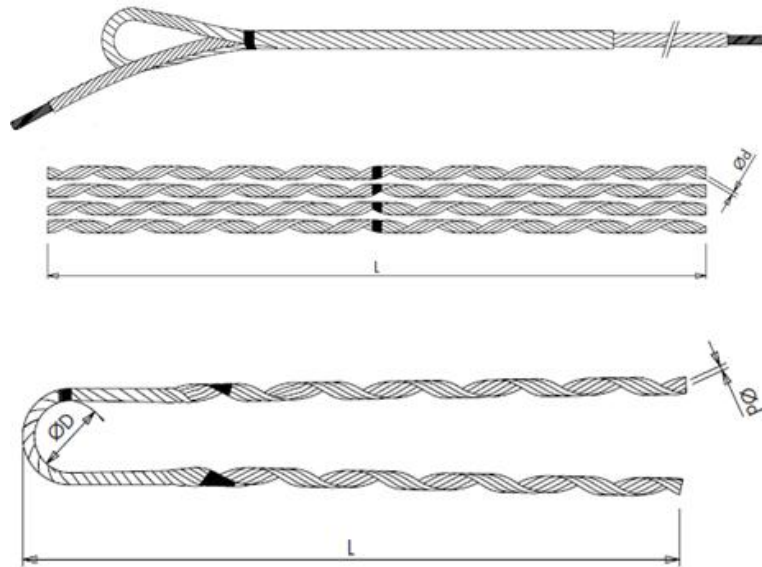


Figura 1.16. Preformado

Fuente: [14]

#### 1.9.1.4. *Thimble Clevis.*

El Thimble Clevis es un guardacabos que sirve para sujetar el preformado instalado en el cable de fibra al herraje tipo A, de esta manera se sujeta el cable aéreo al poste permitiendo tensarlo en ambos extremos del trayecto; este herraje debe ser utilizado siempre que se tenga instalado un preformado en el trayecto de la fibra óptica.

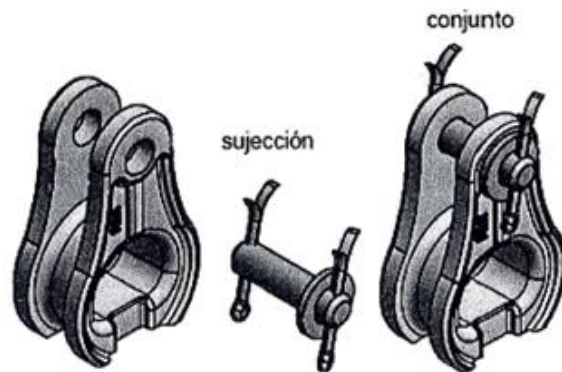


Figura 1.17. Thimble Clevis

Fuente: [14]

### 1.9.2. **Herraje canalizado.**

#### 1.9.2.1. *Herraje de pozo.*

El herraje de pozo se refiere a un kit de accesorios que facilitan la suspensión del cable canalizado en los pozos, este herraje permite fijar el cable a la pared y a cierta altura. El kit de herraje de pozo comprende: 4 pernos de empotramiento, 2 porta consolas, 2 consolas, 2 sujetas cables grandes, 2 sujetas cables pequeños y 8 pernos. [16]



Figura 1.18. Kit de herraje de pozo

Fuente: [16]

#### 1.9.2.2. *Porta reservas en pozo.*

Los porta reservas permiten la fijación y organización adecuada de las reservas de cable de fibra óptica que se tenga a lo largo del trayecto del enlace canalizado; estos porta reservas se los asegura en la parte superior del pozo, con lo que se logra tener orden y espacio dentro del pozo.



Figura 1.19. Porta reservas en pozo

Fuente: [17]

#### 1.9.2.3. *Manguera corrugada.*

La manguera corrugada o tubo cóflex sirve para brindar protección al cable de fibra óptica aumentando su resistencia mecánica. Se la utiliza siempre que se quiera dar mayor protección al cable y cuando se encuentre expuesto a intervención humana (interior de centrales, pozos, etc.). La manguera corrugada consta de dos capas: una de menor

diámetro con respecto a la otra; estas dos capas permanecen cerradas debido a la presión que ejerce la uno sobre la otra.

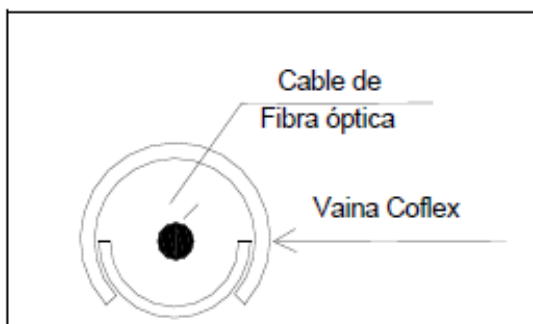


Figura 1.20. Manguera corrugada

Fuente: [14]

#### 1.9.2.4. Tapón simple de 1 ¼ pulgada.

El tapón simple sirve como guía para proteger el cable de la presencia de aire y humedad en el interior de un monoducto; aumentando así el tiempo de vida del cable. El tapón está compuesto por dos empaques resistentes a la corrosión y agentes químicos, por lo que sella la presencia de fibra. Se los coloca en todos los extremos de un monoducto por el que pase un cable de fibra óptica.



Figura 1.21. Tapón simple o guía

Fuente: [14]

#### 1.9.2.5. Tapón ciego de 1 ¼ pulgada.

El tapón ciego al igual que el tapón simple es resistente a la corrosión y hermético al agua. Sirve para sellar los ductos que quedarán vacíos de la canalización, protegiéndolos contra la entrada de roedores y lodo que pueden obstaculizar el ducto dificultando su utilización futura.



Figura 1.22. Tapón ciego

Fuente: [14]

## 2. Redes de acceso basadas en fibra óptica

Las redes de acceso que utilizan como medio de transmisión cables de fibra óptica se las puede clasificar dependiendo de la ubicación del equipo terminal óptico (Redes FTTx) y de sus características de transmisión en redes pasivas (Redes PON).

### 2.1. Redes FTTx.

Las limitaciones de última milla que existen en la redes tradicionales de cobre que utilizan tecnología xDSL (Línea Digital del Suscriptor) tales como, ancho de banda, velocidad de transmisión y además la formación de cuellos de botella entre los distribuidores de servicios de telecomunicación y los usuarios, han sido solucionadas en la actualidad por redes modernas basadas en fibra óptica como medio de transmisión.

A estas redes o arquitecturas de alto desempeño que reemplazan total o parcialmente al cobre por fibra óptica se las conoce como tecnologías de telecomunicación FTTX en inglés (Fiber to the X) y en castellano (Fibra hacia X) donde la X simboliza los distintos puntos de terminación de la red de fibra, esto quiere decir que dependiendo de este punto las redes FTTX forman distintas topologías, es así como para abarcar todos los nombres de las distintas topologías se utiliza el denominador común FTTX, que pueden ser totalmente de fibra o mixtas (fibra óptica y cobre), como se puede apreciar en la figura 1.23. A continuación se describen las diferentes topologías de FTTX:

**FTTC (Fiber to the cabinet o fiber to the curb):** Fibra hasta el gabinete o esquina, es una topología del tipo mixta, es decir, utiliza como medio de transmisión fibra óptica y cobre. El trayecto de la fibra óptica va desde la central del operador conocida como OLT (Optical Line Terminal), hasta un nodo de distribución construido máximo a 300m de separación con los usuarios [18], a partir de ese punto la red llega hasta los usuarios mediante cobre. Si este es el caso generalmente se utiliza tecnología xDSL, específicamente VDSL, en donde se coloca un equipo llamado DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) en el nodo de

distribución, el cual permite mediante cobre que los usuarios accedan a los servicios de telecomunicación.

**FTTB (Fiber to the building o Fiber to the Building):** Fibra hasta el Edificio, esta es la última topología mixta que se describe, el trayecto de la fibra óptica va desde la OLT hasta la acometida del edificio de donde se distribuye en su interior a cada departamento o dependencia del edificio mediante cobre de igual forma con una ONU; o también puede ser distribuida de forma inalámbrica.

**FTTH (Fiber to the home):** Fibra hasta la casa, es una topología totalmente basada en fibra óptica, es decir, todo el trayecto de la fibra va desde la central hasta la casa de los usuarios. Este tipo de topología es del tipo árbol el cual parte de la OLT, llega a unos dispositivos pasivos llamados splitter los cuales dividen las señales ópticas, hasta llegar a las casas de los usuarios en donde en su interior se encuentran los dispositivos terminales ONT (Optical Network Terminal).

## 2.2. Redes PON.

Las redes ópticas pasivas PON (Passive Optical Network) son redes de fibra óptica que eliminan el uso de los equipos activos que existen entre el servidor y el cliente. Es decir, toda la red de planta externa se compone de elementos ópticos pasivos que no necesitan alimentación externa para su funcionamiento, disminuyendo así considerablemente los costos y son usados principalmente en redes FTTC, FTTN y FTTH. [15]

Esto se hace posible gracias al uso de un divisor óptico llamado splitter ubicado en la ODN, el cual se encarga del broadcasting, es decir, retransmite la señal que llega desde la central hacia todos los usuarios finales conectados a ese splitter.

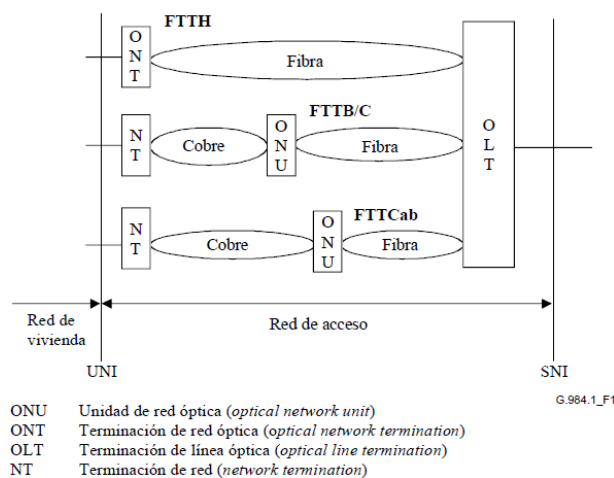


Figura 1.23. Arquitectura de Red PON

Fuente: [19]

El objetivo de la OLT es administrar, gestionar y sincronizar el tráfico desde y hacia los equipos terminales ONU/ONT que generan la interfaz con el usuario final. Además la OLT interconecta el backbone del servidor con la red de acceso.

Las redes PON son una gran alternativa para resolver problemas de acceso y presentan grandes ventajas, por lo que los prestadores de servicios de telecomunicaciones están optando por su implementación. Las redes PON tienen ventajas como [20]:

- Permiten servir a usuarios localizados a distancias de hasta 60 Km desde la central; superando con gran diferencia la cobertura máxima de otras tecnologías como DSL (máximo 5Km desde la central).
- Su topología tipo árbol minimiza el despliegue de fibra en el bucle local siendo mucho más eficientes que las topologías punto a punto.
- Debido a la gran capacidad de información que puede transportar la fibra óptica, las redes ópticas pasivas ofrecen un mayor ancho de banda por usuario muy superior a otras tecnologías.
- Las redes ópticas pasivas permiten superponer una señal óptica de televisión en una longitud de onda diferente sin realizar modificaciones en los equipos portadores de datos.
- Elevan la calidad del servicio y simplifican el mantenimiento de la red, al ser inmunes a interferencia electromagnética.

En la actualidad existen varias tecnologías unidas al concepto de redes ópticas pasivas PON. Las tecnologías existentes son: APON/BPON (UIT-T G.983), EPON (IEEE 802.3ah), 10G-EPON (IEEE 802.3av), GPON (UIT-T G.984).

**APON (ATM PON):** Definida en la recomendación UIT-T G.983, fue la primera red definida por la FSAN (Full Service Access Network, grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones con el fin de agrupar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas) [15]. APON basa su transmisión de canal descendente en ráfagas de celdas ATM de 53 bytes añadiendo un identificador de 3 bytes para identificar el equipo ONU. La máxima tasa de transmisión en APON es de 155 Mbps, esta se reparte en función del número de ONUs que se encuentren conectadas al nodo [20].

La principal desventaja de las redes APON constituye en la incapacidad de manejo de video, debido a la carencia en longitud de onda asignada para este efecto [21].

**BPON (Broadband PON):** Son redes ópticas pasivas de banda ancha que se presentaron como una evolución a las redes APON, está definida en la recomendación UIT-T G.983. La



principal diferencia con las redes APON, radica en que BPON puede dar soporte a otros servicios de banda ancha, brindando servicios ethernet, distribución de video y multiplexación por longitud de onda (WDM).

Su arquitectura creada con canales simétricos para transmisión de 155 Mbps, que luego sería modificada ofreciendo velocidades de transmisión para el canal simétrico de 622 Mbps; y canal asimétrico de 622 Mbps para el canal descendente y 155 Mbps para el canal ascendente; lo cual también representaría un mayor costo y limitaciones técnicas [22].

**EPON (Ethernet PON):** Están definidas en el estándar IEEE 802.3ah, se basan en el transporte de tráfico ethernet en lugar de las celdas en ATM. Su arquitectura de red utiliza el mecanismo MPCP (Multi Point Control Protocol); este protocolo utiliza recursos como estados de máquina, mensajes y temporizadores que permiten controlar el acceso a la topología.

EPON utiliza el estándar de codificación de línea 8b/10b; también hace una mejora del tráfico IP, la seguridad y soporta mayores velocidades de transmisión de datos. Las velocidades de transmisión de las redes EPON son de canales simétricos a 1.25 Gbps o 2.5 Gbps, esta velocidad de transmisión se divide para el número de ONUs conectados al nodo. Las redes EPON permiten asignar calidad de servicio tanto para el canal ascendente como para el canal descendente, y utilizan el algoritmo DES para codificar las comunicaciones [20]. Existe otro tipo de redes denominadas 10G-EPON, las cuales están definidas en el estándar IEEE 802.3av que especifica el acceso EPON con un ancho de banda simétrico de 10 Gbps o asimétrico de 10 Gbps en sentido descendente y 1.25 Gbps en sentido ascendente.

La principal desventaja de las redes EPON se encuentra en el manejo de nuevos servicios, que se limita al usuario y no al operador.

**GPON (Gigabit-capable PON):** Las redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit (GPON) son la última entrega de la FSAN.

Las redes GPON permiten mantener la red de distribución óptica y los mismos principios de diseño de sus redes antecesoras (APON, BPON y EPON), es decir, tiene elementos activos en los extremos de la red (OLT y ONU/ONT) y elementos pasivos en su ODN, representando así la mejor opción en redes ópticas pasivas. A continuación se explica con mayor detalle este tipo de redes.

### 3. Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit GPON

Las redes GPON están estandarizadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones en la recomendación UIT-T G.984.x, estas recomendaciones se describen a continuación [5]:

- **UIT-TG984.1: (Características Generales):** En esta recomendación se da el primer paso para la introducción en la tecnología GPON, tratando sus características generales, además tiene como objeto orientar y motivar las especificaciones de la capa física y de la capa de convergencia de transmisión. Entre las características generales se tienen ejemplos de servicios, de interfaces usuario-red (UNI, user network interface) e interfaces de nodo de servicio (SNI, service node interface) que son necesarios para los operadores de red.
- **UIT-TG984.2 (Nivel Físico):** Esta recomendación tiene por objeto describir las redes de acceso flexible que utilizan la tecnología de fibra óptica. Se centra principalmente en los servicios de soporte de red con requisitos de anchura de banda que van desde los servicios de voz hasta los servicios de datos con velocidades de gigabits por segundo. Además, se incluyen servicios distributivos y cuenta con especificaciones para el manejo de la capa dependiente de los medios físicos PMD (Physical Media Dependent), la cual cubre sistemas con tasas nominales de 1244.160 Mbps y 2488.320 Mbps en dirección descendente y 155.52 Mbps, 622.08 Mbps, 1244.160 Mbps y 2488.320 Mbps en dirección ascendente, y además explica el manejo simétrico y asimétrico de la señal, con referencia a las velocidades descritas.
- **UIT-TG984.3 (Trasmisión):** Aquí se describe la capa TC (convergencia de trasmisión), en la que se mencionan las características de las redes PON, además trata sobre la estructura de trama, el método de control de acceso y la seguridad en redes GPON. Este estándar permite dos métodos de encapsulado: ATM (Asynchronous Transfer Mode) y GEM (GPON Encapsulation Method); siendo el segundo método el más popular ya que ha sido el elegido para implementarse por la mayoría de los proveedores en sus equipos.
- **UIT-TG984.4 (OMCI):** En esta recomendación se tratan las especificaciones de la interfaz de control y gestión OMCI (ONT Management and Control Interface) en la terminación de red óptica ONT, donde el análisis se enfoca en los recursos y servicios procesados de una base de información de gestión o manejo MBI (Management Information Base) independiente del protocolo de comunicación entre

OLT y ONT. Además trata sobre la capa de adaptación del método de encapsulación para GPON (GEM).

- **UIT-TG984.5 (WDM):** En esta recomendación se describen los rangos de longitud de onda reservados para la implementación de servicios adicionales que se superpone a través de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) en las futuras redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits (GPON) y maximizar las redes de distribución (ODN).

Según la recomendación UIT-T G.984.1 las redes GPON permiten servicios de banda ancha tanto simétricos como asimétricos, servicio telefónico ordinario (POTS) y red digital de servicios integrados (RDSI); además, presentan una mejora en el transporte de tráfico IP y ATM mediante celdas de tamaño variable, pueden dar soporte a servicios de voz (TDM, SONET, SDH), ethernet 10/100 base T, ATM, Frame Relay, entre otros [20].

Básicamente, GPON puede soportar velocidades de transmisión mayores o iguales a 1.2 Gbps, sin embargo, para el caso de FTTH o FTTC con línea de abonado digital (xDSL) asimétrica, puede que no sea necesaria alta velocidad en el sentido ascendente. Por lo tanto, GPON presenta 7 combinaciones de velocidades de transmisión diferentes, las cuales deben ser múltiplo de 8 kHz [19]:

- 155 Mbps sentido ascendente, 1.2 Gbps sentido descendente
- 622 Mbps sentido ascendente, 1.2 Gbps sentido descendente
- 1.2 Gbps sentido ascendente, 1.2 Gbps sentido descendente
- 155 Mbps sentido ascendente, 2.4 Gbps sentido descendente
- 622 Mbps sentido ascendente, 2.4 Gbps sentido descendente
- 1.2 Gbps sentido ascendente, 2.4 Gbps sentido descendente
- 2.4 Gbps sentido ascendente, 2.4 Gbps sentido descendente

Una red GPON con arquitectura FTTH puede ofrecer varias combinaciones de velocidades de transmisión que llegan al abonado, como por ejemplo, si se tiene una red en la cual la ODN cuenta con un solo splitter de relación de división 1:32 y una OLT que transmita a velocidades de 1.2 Gbps sentido ascendente y 2.4 Gbps sentido descendente; a cada uno de los 32 abonados conectados a la red le llegará una velocidad de transmisión de 75 Mbps en sentido descendente y 37.5 Mbps en sentido ascendente.

El alcance lógico de la red, el cual se define como la distancia entre ONU/ONT y OLT salvo el límite de la capa física; en las redes GPON es de 60 km. En cambio, el alcance físico, definido como la distancia máxima entre la ONU/ONT y la OLT, define dos opciones: 10 km

y 20 km. El retardo medio máximo permitido en la transferencia de la señal debe ser menor o igual a 1.5 ms. En cuanto a la razón de división (splitteo), se puede decir que cuanto más grande sea la relación de división de la red GPON, más atrayente resultará para los operadores. Sin embargo, una relación de división más grande implica un divisor óptico más grande, lo cual implica un aumento de la potencia total para soportar el alcance físico. Actualmente GPON presenta una relación de división máxima de 1:64, es decir, con un solo cable de fibra óptica se puede llegar a atender hasta 64 abonados. Sin embargo, ante la continua evolución de los equipos ópticos, en la capa TC (transmission convergence) se debería poder utilizar relaciones de división hasta de 1:128. [19]

Al tener una arquitectura punto multipunto, la señal puede o no transmitirse en ambos sentidos por el mismo medio de transmisión; para esta transmisión bidireccional utiliza la técnica de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) en una sola fibra, o en su defecto transmisión unidireccional en dos fibras (una en sentido ascendente y otra en sentido descendente) para redes que no utilizan WDM. [23]

- **Canal descendente:** en este caso la red se comporta como un sistema punto multipunto utilizando tecnología TDM (Time Division Multiplexing), es decir, la OLT envía la señal y el splitter se encarga de distribuirla a todas las ONTs por igual, pero solo se puede leer la información destinada para cada ONT (ver figura 1.24), el resto de información permanece cifrada utilizando técnicas de seguridad como el estándar de encriptación avanzada AES (Advanced Encryption Standard), brindando mayor confiabilidad. En cada trama descendente que tiene una duración máxima de 125  $\mu$ s se incluye un campo (BWMAPs), en este campo se indica una referencia temporal para que cada ONT conozca cuando emitir datos; es una referencia temporal y variable la cual es controlada por la OLT [24]. Las longitudes de onda permitidas para el sentido descendente en sistemas bidireccionales están entre 1480 – 1500 nm. Y para sistemas unidireccionales con dos fibras, que no utilizan WDM, las longitudes de onda permitidas están entre 1260 – 1360 nm.
- **Canal ascendente:** Para este caso la red se comporta como un sistema punto a punto, por lo que se necesita tener control del acceso al medio en el canal de transmisión, según uso de modelos TDMA para que cada ONT envíe la información en diferentes instantes de tiempo evitando de esta manera tener colisiones (ver figura 1.24). El control es realizado por la OLT y todos los usuarios se sincronizan a través de un proceso conocido como "Ranging". Las longitudes de onda de trabajo en sentido ascendente están entre 1260 – 1360 nm.

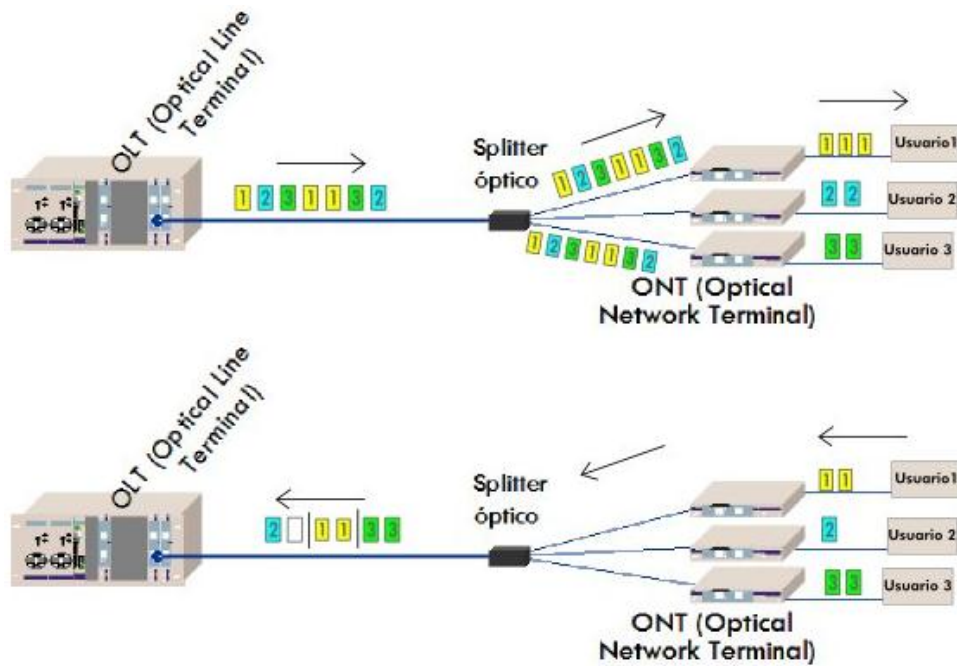


Figura 1.24. Acceso al medio en canal descendente y canal ascendente  
Fuente: [24]

El proceso de “Ranging” se da debido a que no todas las ONT se encuentran a la misma distancia de la OLT, por lo tanto el retardo de transmisión de una misma trama descendente va a ser diferente en cada ONT. Entonces, el proceso de “Ranging” permite calibrar la distancia de las ONTs asignando a cada ONT un tiempo de retardo que se debe esperar antes de comenzar la transmisión ascendente creando “ventanas de silencio”, y evitando así las colisiones o errores de línea. [24]

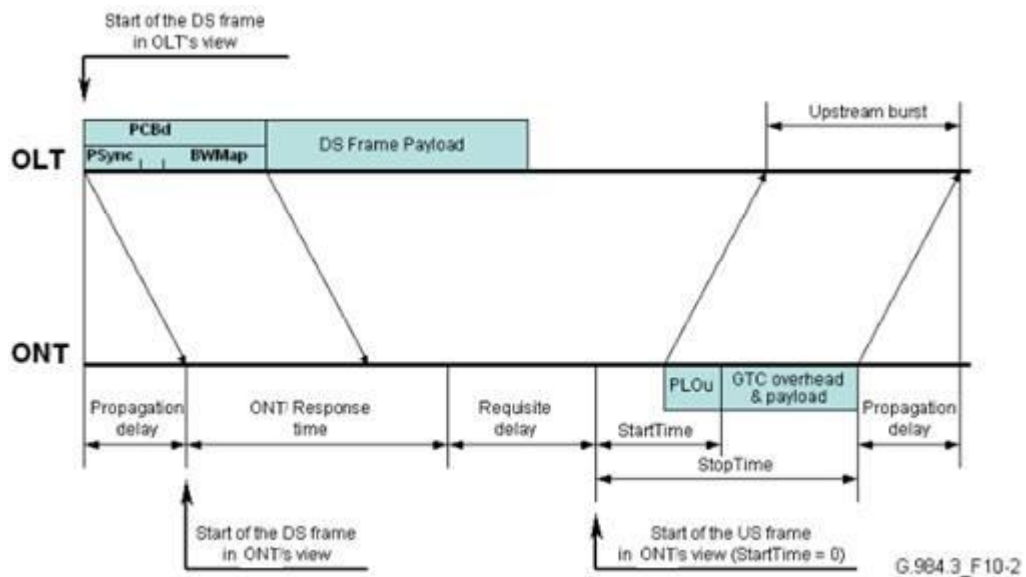


Figura 1.25. ONT, diagrama de temporización  
Fuente: [25]

El reloj de transmisión para el enlace ascendente de las ONT es sincronizado con el reloj del enlace descendente de la trama GTC (GPON Transmission Convergence layer). Dependiendo de la distancia física a la que se encuentre la OLT de cada ONT, se establece un retardo específico para cada OLT asegurando de esta manera que el envío de ráfagas ascendentes se adapte a la trama GTC ascendente. [25]

La tecnología GPON resuelve un gran reto, como lo es la gestión remota del equipo terminal de usuario ONT. Con ello logra tener un notable ahorro de costos debidos al mantenimiento de esos equipos, por el hecho de que no es necesaria la intervención de un operador en el domicilio del abonado. Esto lo hace posible la implementación de un nuevo protocolo denominado OMCI (ONT Management and Control Interface) que incluye gestión, rendimiento, monitorización de alarmas, fallos y prestaciones; para cada ONT se establece un canal de gestión entre OLT y ONT. [24]

En cuanto a la multiplexación de la señal, las redes GPON utilizan el método de encapsulación GPON (GEM, GPON Encapsulation Method) que resulta de una adaptación del estándar GFP (Generic Frame Procedure) que define métodos de encapsular información de longitud variable de varias señales [21]. GEM orientado a la conexión, provee un mecanismo de entramado de longitud variable para el transporte de servicios de datos en redes PON e independiente del tipo de servicio brindado por la OLT.

En el enlace descendente la funcionalidad de la multiplexación del tráfico es centralizada. La OLT multiplexa las tramas GEM en el medio de transmisión utilizando un GEM Port-ID como una clave para identificar la trama GEM que pertenece a las diferentes conexiones lógicas de bajada. Cada ONT filtra la trama GEM de bajada basándose en el GEM Port-ID y procesa únicamente la trama GEM que corresponde a dicha ONT. [26]

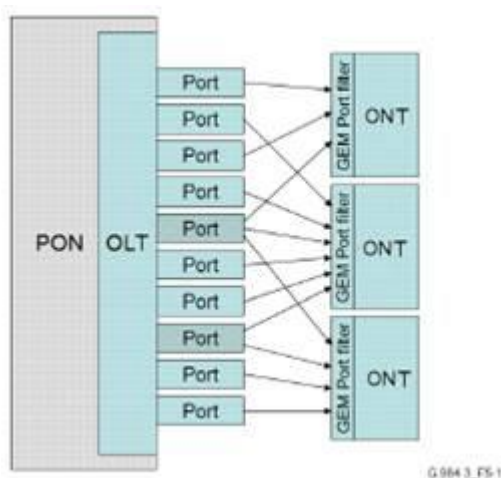


Figura 1.26. Multiplexación del enlace descendente

Fuente: [26]

En el enlace ascendente la funcionalidad de la multiplexación del tráfico es distribuida. La OLT brinda oportunidades de transmisión ascendente, es decir, asigna recursos a las entidades ONT que estén conectadas y que generen tráfico. Las entidades de la ONT que generen tráfico y tengan asignado recursos para el tráfico ascendente son identificadas por la asignación de IDs (Alloc-IDs). Los recursos asignados a las diferentes Alloc-IDs son multiplexadas en un tiempo especificado por la OLT en el mapa de recursos transmitidos en el enlace descendente. Con cada asignación de recursos, la ONT utiliza el GEM Port-ID como una clave de multiplexación para identificar las tramas GEM que pertenecen a las diferentes conexiones del enlace ascendente. [26]

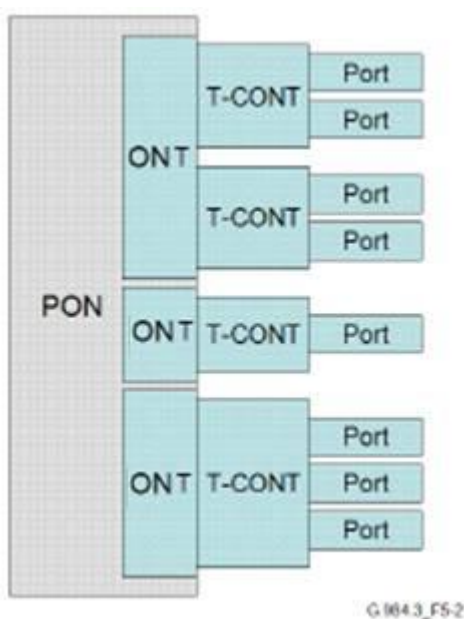


Figura 1.27. Multiplexación del enlace ascendente  
Fuente: [26]

El identificador de la ONT/ONU (ONU-ID) es un número de 8 bits que la OLT asigna a cada ONT durante la activación de las ONTs usando el canal de mensajes PLOAM. El ONU-ID es único en toda la red PON y seguirá siendo válido hasta que la ONT se apague, desactive por la OLT, o pase a estar en un estado inactivo.

La asignación de identificador (Alloc-ID) es un número de 12 bits que la OLT asigna a cada ONT para identificar la entidad que genere tráfico al cual se deba asignar recursos en la ONT. Estas entidades que generan tráfico pueden ser representadas por un T-CONT (colas) o por el enlace ascendente OMCC. A cada ONT se le asigna por defecto un Alloc-ID que es numéricamente igual al ONU-ID, y por decisión de la OLT se puede asignar un Alloc-ID adicional.

El GEM Port-ID es un número de 12 bits que es asignado por la OLT a las conexiones lógicas individuales.

El sistema GPON consiste de tres componentes principales: OLT, ODN y ONU/ONT. A continuación se hace una descripción de cada uno de ellos [26]:

**OLT (Optical Line Termination):** La OLT es el equipo que se encuentra en la oficina central del operador y es uno de los equipos activos de la red; está conectada a la red conmutada a través de interfaces normalizadas. En el lado de distribución, presenta interfaces de acceso ópticas de acuerdo a esta y otras normas GPON, en términos de velocidad de bits, balance de potencia, jitter (fluctuación de fase), etc. La OLT consiste de tres partes principales:

- Función de interfaz de puerto de servicio
- Función de conexión cruzada
- Interfaz de red de distribución óptica (ODN)

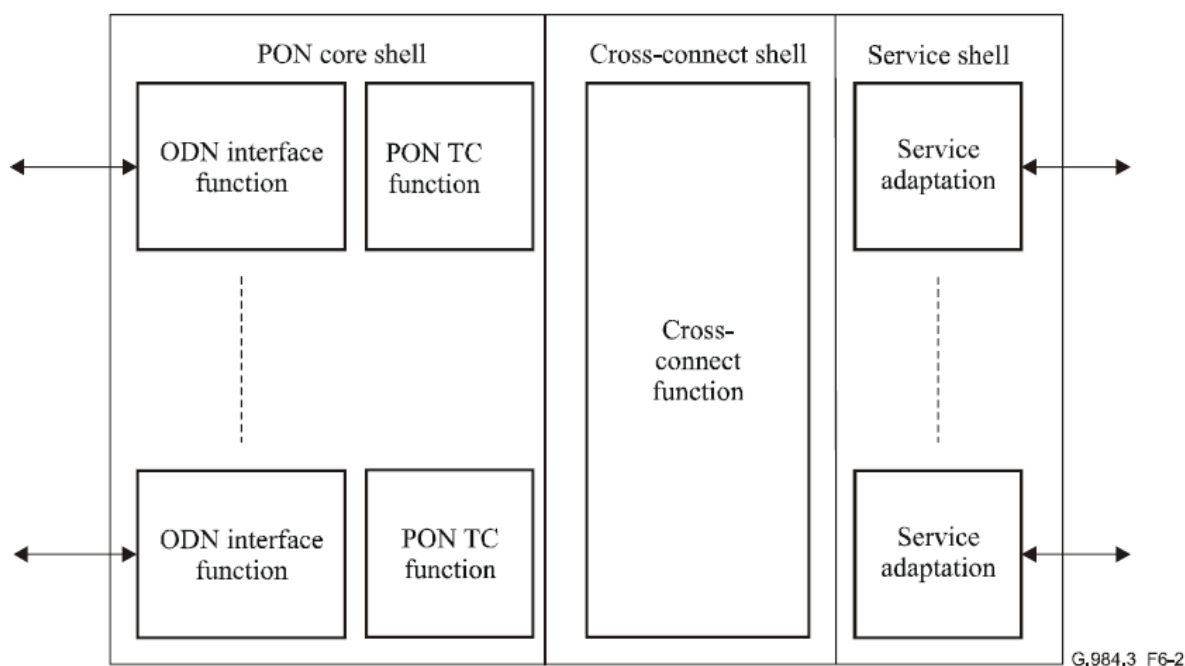


Figura 1.28. Diagrama de bloques de la OLT

Fuente: [26]

*Bloque de núcleo de PON*, consta de dos partes, la función de interfaz ODN y la función de PON TC que incluye el entramado, control de acceso al medio, la operación, administración y mantenimiento OAM, asignación dinámica de ancho de banda (DBA, Dynamic Bandwidth Assignment), alineación del PDU (Protocol Data Unit) para la función de conexión cruzada, y la gestión de la ONU.



*Bloque de conexión cruzada*, proporciona un trayecto de comunicación entre el bloque de núcleo de PON y el bloque de servicio. Las tecnologías para la conexión de este trayecto dependen de los servicios, arquitectura interna de la OLT y de otros factores.

*Bloque de servicio*, proporciona la comunicación entre las interfaces de servicio y la interface de la trama TC de la sección PON.

**ONU (Optical Network Unit):** La ONU/ONT son equipos terminales activos que suelen estar en la casa del abonado. Los bloques funcionales que conforman la ONU/ONT GPON son similares a los bloques funcionales que conforman la OLT. La ONT opera solamente con una interfaz PON (o máximo dos interfaces con fines de protección), puede omitirse la función de conexión cruzada, pero se especifica la función MUX y DEMUX de servicios para manejar el tráfico.

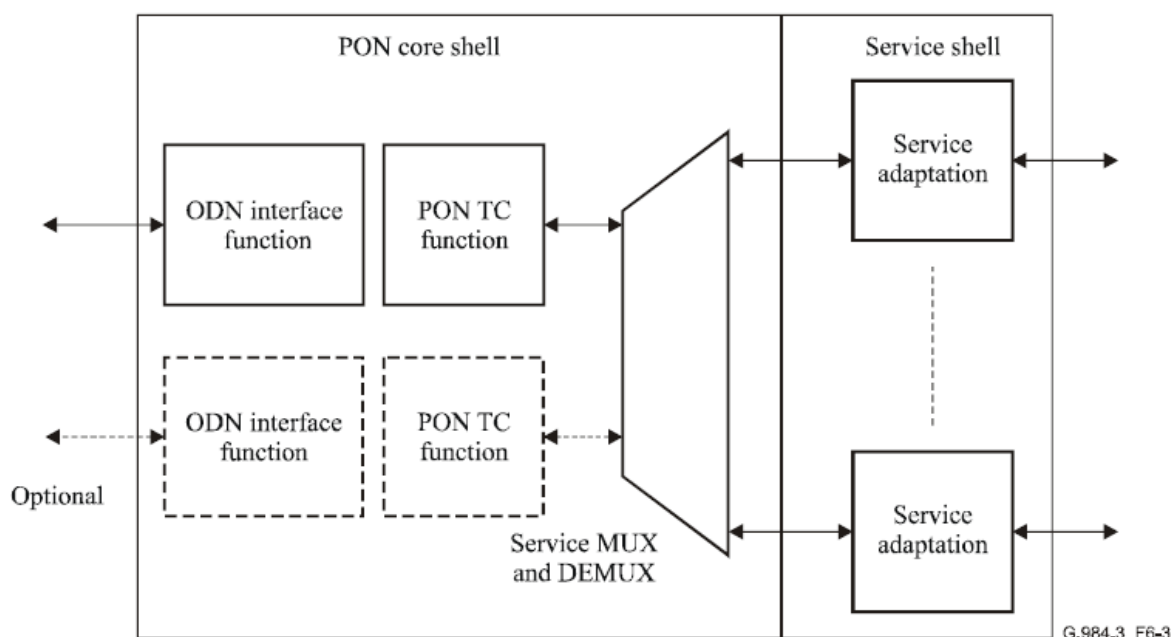


Figura 1.29. Diagrama de bloques de la ONT

Fuente: [26]

**ODN (Optical Distribution Network):** constituye toda la parte pasiva de la red GPON. En general, la ODN conforma el medio de transmisión óptico para la conexión física entre las ONUs y la ONT. La ODN se conforma de elementos ópticos pasivos como:

- Fibra óptica monomodo
- Conectores ópticos
- Splitters
- Atenuadores ópticos pasivos
- Empalmes

## **4. Dispositivos de medición**

### **4.1. OTDR.**

El OTDR (Optical Time Domain Reflect meter) es un reflectómetro óptico en el dominio del tiempo, que se lo utiliza para evaluar las propiedades de la fibra óptica (fibra oscura). Su principio de medición se basa en emitir pulsos de luz en una longitud de onda deseada, y luego mide su eco. Este proceso es similar al de un radar. Los resultados obtenidos se grafican en una pantalla que muestra el nivel de señal en función de la distancia. El eje horizontal de la pantalla representa la distancia recorrida y el eje vertical representa la potencia.

Los resultados que nos permite conocer son: atenuación entre dos puntos de la fibra, atenuación por empalmes, atenuación por conectores, atenuación total, longitud total del cable de fibra óptica o longitud a la que se produjo un corte, etc.

Al momento de realizar la medición se debe tomar en cuenta el aumentar un carrete de cable de fibra con las mismas características de la fibra que se quiere analizar, esto permite aumentar la longitud total del cable y de esta manera se puede eliminar la “zona muerta” que se presenta al inicio de la fibra.

Debido a que los OTDR clásicos fueron creados para analizar enlaces punto a punto y las redes GPON son enlaces punto multipunto, los resultados obtenidos con estos OTDR clásicos puede que no sean efectivos. Para ello se recomienda utilizar un OTDR-PON el cual ya es optimizado para el uso este tipo de redes incluso estando la red ya en servicio. Sus parámetros de medición han sido mejorados y optimizados, logrando ser una herramienta fundamental en el troubleshooting de redes PON. Sin embargo, una vez que la red óptica está en servicio, cualquier intervención o medición en la fibra podría afectar la calidad de transmisión de la señal GPON, incluso podría ocurrir que los clientes en servicio puedan sufrir Loss of Service (LoS). [27]

### **4.2. OPM (Optical Power Meter).**

El medidor de potencia óptica OPM es un instrumento que como su nombre lo dice permite medir la potencia de la señal. Para las redes ópticas pasivas existe una variante del OPM denominada medidor de potencia óptico PON (PON Power Meter), el cual está optimizado para la lectura de las longitudes de onda de 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm, y además tiene la capacidad de lectura y medición de las señales en ráfaga que envían las ONT en sentido upstream. Este aparato es el más simple de usar a la hora de realizar el diagnóstico en una

red PON, ya que indica de forma precisa y rápida si existe o no señal en el punto de medición. [27]



Figura 1.30. Medidor de potencia óptico PON

Fuente: [27]

### 4.3. GPON-Tester.

GPON-Tester es una solución presentada por Telnet que permite resolver los problemas y dificultades presentadas en las instalaciones FTTH. GPON-Tester consta de dos equipos, uno de campo y otro (opcional) de central.



Figura 1.31. GPON-Tester de central y de campo

Fuente: [28]

El equipo de campo es un dispositivo portátil que permite realizar de manera autónoma test rápidos (2 segundos por pulsación) para la comprobación de la fibra; este equipo permite comprobar que la potencia recibida es correcta, la presencia de reflexiones, y la sincronización con la OLT de la central. Además, mediante una conexión USB a un portátil y su aplicación específica GPON-Tester App es capaz de medir la potencia óptica recibida, la señal reflejada, la distancia a la central y permite ser configurado para emular la ONT del abonado, haciéndose pasar por esta, sincronizándose y provisionando los servicios que le llegan desde la OLT. [28]

El equipo de central es un emulador de OLT que puede ser usado en caso de que aún no exista una OLT operativa en la red. El emulador provisiona tráfico, mide la potencia de la señal óptica que recibe y hace un análisis de tasa de error de bit (BER). Este equipo central se puede comunicar con el GPON-Tester del instalador y le proporciona los datos de sus mediciones. [28]

Otro beneficio que ofrece GPON-Tester es que puede generar informes certificados sobre el estado de la instalación. Estos informes son no repudiables, porque no pueden ser modificados posteriormente o falsificados y son siempre generados por la herramienta de test. Esto asegura que los datos son correctos y no han sido alterados. [28]

Entre las principales ventajas que destacan de GPON-Tester tenemos que:

- A diferencia de otros equipos no analiza únicamente la capa física de la conexión (potencia, atenuaciones, reflexiones, etc.) sino que también permite comprobar los servicios brindados a cada ONT desde la OLT.
- Analiza con más precisión las reflexiones debidas a conectores mal instalados o que tengan suciedad.
- Elimina por completo el problema presentado en los OTDRs de la zona muerta, ya que puede obtener mediciones a distancias muy cortas.
- Al generar informes automáticos del estado del enlace físico y lógico que no se puedan modificar, permite llevar un registro del estado y configuración del enlace para su posterior análisis.
- Son equipos de menor costo y no requieren de una gran experiencia o capacitación para su correcto uso.

## **CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES**

## **1. Demanda integral de los servicios de telecomunicaciones en la localidad de Vilcabamba**

Vilcabamba conocida como “El Valle de la Longevidad” cuenta con un gran potencial turístico tanto para visitantes nacionales como extranjeros; su población de aproximadamente 5000 habitantes está conformada por nativos de la localidad, extranjeros de varias nacionalidades y personas de la ciudad de Loja quienes ven a Vilcabamba como un lugar de descanso. Además cuenta con gran cantidad de hosterías. Todos estos factores hacen de Vilcabamba una localidad con una alta demanda de los diferentes servicios de telecomunicaciones, los cuales permitirán incrementar su desarrollo.

Se ha visto en esta localidad la oportunidad de implementar la primera “ciudad digital” de la provincia de Loja, dotando a la parroquia de Vilcabamba con una nueva y moderna red de fibra óptica FTTH basada en la tecnología GPON. Esta red será capaz de brindar nuevos y mejores servicios de telecomunicaciones, cubrir la demanda actual y aprovechar el potencial turístico de la zona.

### **1.1. Definición del área de cobertura.**

La parroquia de Vilcabamba se encuentra ubicada aproximadamente a 35 kilómetros en dirección sur-oeste de la cabecera cantonal de la provincia de Loja, en las coordenadas 04°15' latitud sur y 79°13' longitud occidental.

Una vez recorrido todo el sector, se define que el diseño de la red cubrirá tanto la zona urbana como la zona rural de la parroquia Vilcabamba con sus respectivos barrios, así como también la parroquia de San Pedro de Vilcabamba ubicada a 2 kilómetros hacia el norte de Vilcabamba. Los sectores atendidos con la red GPON serán:

- Vilcabamba Centro
- Huilcos
- Izhcayluma Alto
- Izhcayluma Bajo
- Cuba
- La Primavera
- San José
- Yamburara
- Yamburara Alto
- Yamburara Bajo
- Cucanama

- San Pedro de Vilcabamba
- Amala



Figura 2.1. Representación en Google Earth del área de cobertura de la Red GPON

Fuente: [Fuente Propia]

Como podemos observar en la figura 2.1 el área a cubrir con la red GPON que está delimitada por la línea roja, es de aproximadamente de  $6.055 \text{ km}^2$  y comprende los sectores antes mencionados.

El mayor porcentaje de población se encuentra concentrada en el centro de la parroquia Vilcabamba, por lo cual este sector es el que cuenta con un mayor índice de demanda; los sectores como barrios alejados no cuentan actualmente (o en una pequeña cantidad) con servicios de telecomunicaciones, representando así un alto índice de demanda futura.

Cabe mencionar que gran parte de los grandes potenciales del mercado no se encuentran ubicados en el centro de Vilcabamba, sino en sus alrededores; es por ello la dispersión que presenta el área de cobertura que tendrá la red GPON.

## 1.2. Estudio de demanda.

Para poder realizar el estudio de la demanda tanto existente como proyectada de los servicios de telecomunicaciones en el área antes definida, se consideró conveniente hacerlo mediante el método de encuestas, las cuales se aplicaron una por cada predio de toda el

área a cubrir por la red GPON siguiendo el formato de encuesta desarrollado y que se encuentra detallado en el Anexo 1.

La realización de estas encuestas tuvo el objetivo de permitirnos conocer datos importantes para el diseño de la red, tales como: si el abonado cuenta actualmente con algún servicio contratado a CNT EP (Telefonía fija, telefonía inalámbrica CDMA 450, Internet, TV pagada), si el abonado cuenta con un servicio de otra empresa proveedora de servicios de telecomunicaciones que operan en la localidad, valores que pagan actualmente, si desea contratar algún nuevo servicio, o si le gustaría beneficiarse de un paquete comercial que cuente con los tres servicios (Telefonía fija, Internet y TV Pagada); otros datos importantes que se pudo obtener fue: la cantidad de líneas (contratos de un mismo servicio) con las que cuenta o desearía contar el abonado en dicho predio, y características de los predios, es decir, si el predio es un lote vacío, lote destinado a cultivos, si es una casa abandonada o una casa en construcción. Con todos estos resultados se pudo clasificar la información y de esta manera poder definir la demanda actual y la demanda proyectada para un tiempo de 40 años.

Con el fin de facilitar el uso de los resultados obtenidos de cada encuesta en el diseño de la red, se le asignó a todas las encuestas (una por cada predio) un código, este código se lo formó basándonos en los planos catastrales de las parroquias de Vilcabamba y San Pedro de Vilcabamba que fueron proporcionados por el Municipio de Loja.

Una vez concluida la aplicación de las encuestas, se obtuvo un total de 1576 encuestas realizadas, de las cuales 392 representan a predios que son lotes vacíos, lotes destinados a cultivos, y casas abandonadas; dejándonos un total de 1184 predios válidos para ser tomados en cuenta en el análisis de resultados. Estos resultados se los presenta a continuación.

### **1.2.1. Demanda actual.**

Del total de predios válidos, la demanda actual la conforman todos aquellos habitantes que cuentan actualmente con algún tipo de servicio de telecomunicaciones, ya sea que cuenten con solo uno o con más de un servicio.

La tabla 2.1 presenta los resultados obtenidos del total de usuarios que actualmente poseen cada uno de los servicios de telecomunicaciones incluyendo todas las empresas proveedoras. Estos resultados que se muestran en la tabla incluyen a usuarios de todas las empresas proveedoras de cada servicio y que operan en la localidad.



Tabla 2.1. Total de usuarios actuales

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

Como se puede observar en la tabla anterior el servicio que tiene un mayor número de abonados es la telefonía, en segundo lugar se ubica la TV pagada y finalmente el servicio de Internet que tiene el menor número de abonados.

A continuación, en las siguientes tablas se presenta como se encuentra dividido el mercado actual dependiendo de a qué empresa proveedora los usuarios contratan cada servicio.

La tabla 2.2 nos da a conocer cómo se encuentran distribuidos el total de usuarios que poseen el servicio de telefonía, es decir, usuarios que poseen telefonía fija mediante la red de cobre, y telefonía inalámbrica mediante CDMA 450, en este caso no se ha considerado el servicio de telefonía móvil celular. Cabe recalcar que ambos métodos de este servicio son brindados por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, lo que representa un 100% del mercado actual (demanda existente) en telefonía.

Tabla 2.2. Abonados con servicio telefónico

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Tabla 2.3. Abonados que cuentan con servicio de Internet

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Tabla 2.4. Abonados que cuentan con servicio de TV pagada

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Otro dato importante que se pudo obtener mediante las encuestas es el número de abonados actuales, tanto con servicios individuales (telefonía, Internet o televisión), como el número de abonados que cuentan con varios servicios, tal como se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Abonados actuales de CNT EP por servicios

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

### **1.2.2. Demanda proyectada.**

Una vez que ya tenemos definida la demanda actual se procede a obtener lo que representaría la demanda proyectada; esta demanda se refiere a todos los nuevos usuarios del mercado que se pretende servir con la implementación de la nueva red GPON. La demanda proyectada obtenida la podemos clasificar en dos partes:

#### **1.2.2.1. Demanda proyectada segura.**

Son todos aquellos predios en los cuales mediante la aplicación de la encuesta, respondieron de forma positiva para acceder en un futuro a los servicios que ofrecerá CNT, y que además en la actualidad no cuentan con algún servicio contratado a CNT o que también estarían dispuestos a cambiarse de su proveedor actual.

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Tabla 2.6. Abonados que desean cada servicio

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

#### *1.2.2.2. Demanda proyectada mediante probabilidad.*

En esta demanda se consideró aquellos predios en los cuales sus habitantes no se encontraban en casa al momento de la aplicación de la encuesta o no pudieron colaborar con la resolución de la misma y por lo tanto no se obtuvo un dato seguro de sus intereses en cuanto a los servicios de telecomunicaciones.

La solución por la que se optó fue asignar una probabilidad a estos predios, esta probabilidad fue valorada según la infraestructura de la casa y según los servicios con los que cuentan actualmente y que se los pudo localizar a simple vista desde afuera de la casa. Además se tomó en cuenta casas en construcción que de igual forma se les asignó una probabilidad de acuerdo a su avance.

La probabilidad asignada tiene una valoración de un rango entre 0 y 1, donde los predios con demanda segura se les asignó un valor de 1, a los predios con demanda por probabilidad en general se les asignó la probabilidad de la siguiente manera: predios con casa grande un valor 0.8; los predios con casa mediana 0.5 y los predios con casa pequeña 0.3; de esta asignación de valores podían variar dependiendo de las anotaciones realizadas por cada predio.

NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.

### 1.2.3. *Crecimiento poblacional.*

NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.

se procedió a determinar el crecimiento poblacional que tendrá la localidad de Vilcabamba en un periodo de 40 años, tomando en cuenta una tasa de crecimiento del 1.19% [29]. Y con ello poder dimensionar correctamente la red para que esta pueda cubrir la demanda actual, demanda proyectada y el crecimiento de la población.

Para determinar el crecimiento poblacional se utilizó la siguiente ecuación:

$$D(t) = D_0(1 + i)^t \quad [30]$$

Donde:

$D(t)$ : Demanda proyectada en el tiempo

$D_0$ : Demanda actual

$i$ : Porcentaje de crecimiento

$t$ : Tiempo

Remplazando las variables con los datos mencionados anteriormente se tiene:

$$D_0 = 1127 \text{ abonados}$$

$$i = 1.19\%$$

$$t = 40 \text{ años}$$

Por lo tanto, tenemos:

$$D(t) = 1127(1 + 1.19\%)^{40}$$

$$D(t) = 1808.95 \cong 1809 \text{ abonados}$$

NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.

#### **1.2.4. Resultados.**

Finalmente todos los resultados obtenidos resumidos se los puede apreciar en la tabla 2.7, estos resultados incluyen: demanda actual y demanda proyectada (demanda segura y demanda mediante probabilidad).

Tabla 2.7. Resultados demanda total en base a encuestas

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN  
CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO  
ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR  
DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE  
TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO  
ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN  
NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

## **2. Normativa de diseño GPON de CNT EP**

En la normativa de diseño GPON de CNT EP se especifican todas las características técnicas de diseño, necesarias y suficientes para el despliegue de una red de acceso FTTH con tecnología GPON, además de ser un medio de consulta para proyectistas y analistas técnicos. Esta normativa tiene como objetivo [31]:

- Definir la arquitectura y conceptos básicos de GPON.

- Informar y difundir sobre los beneficios y restricciones en el despliegue de GPON.
- Entregar los lineamientos generales o marco referencial dentro de los cuales se asegure el correcto funcionamiento de los servicios GPON en la ODN.

La información presentada a continuación está referenciada en la "Normativa de diseño de la ODN" [31] proporcionada por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, la cual posteriormente será de vital ayuda para el diseño de la red de acceso FTTH de este trabajo de fin de titulación.

### **2.1. Modelo y arquitectura de red GPON.**

La tecnología GPON utiliza el modelo punto multipunto y la arquitectura FTTH. Aunque se considere a GPON como una red pasiva, en sus extremos cuentan con dispositivos activos como la OLT y la ONT al comienzo y al final de la red respectivamente. Algunas de sus características son:

En general una red GPON está conformada de una OLT situada en la oficina central y una ONT ubicada en la casa del abonado, interconectadas a través de una red pasiva conocida como ODN, en el recorrido de esta última las señales ópticas de la fibra son "distribuidas" mediante un divisor óptico conocido como splitter, estos se ubican teniendo en cuenta dos factores, uno, la relación división/eficiencia de desarrollo, esto quiere decir que debe dejar preparada la red para el surgimiento de futuras adaptaciones de esta tecnología; y el segundo factor la relación división/atenuación de tal manera que no se pierda la señal por las excesivas atenuaciones. En la figura 2.2 se muestra la arquitectura básica de una red GPON.

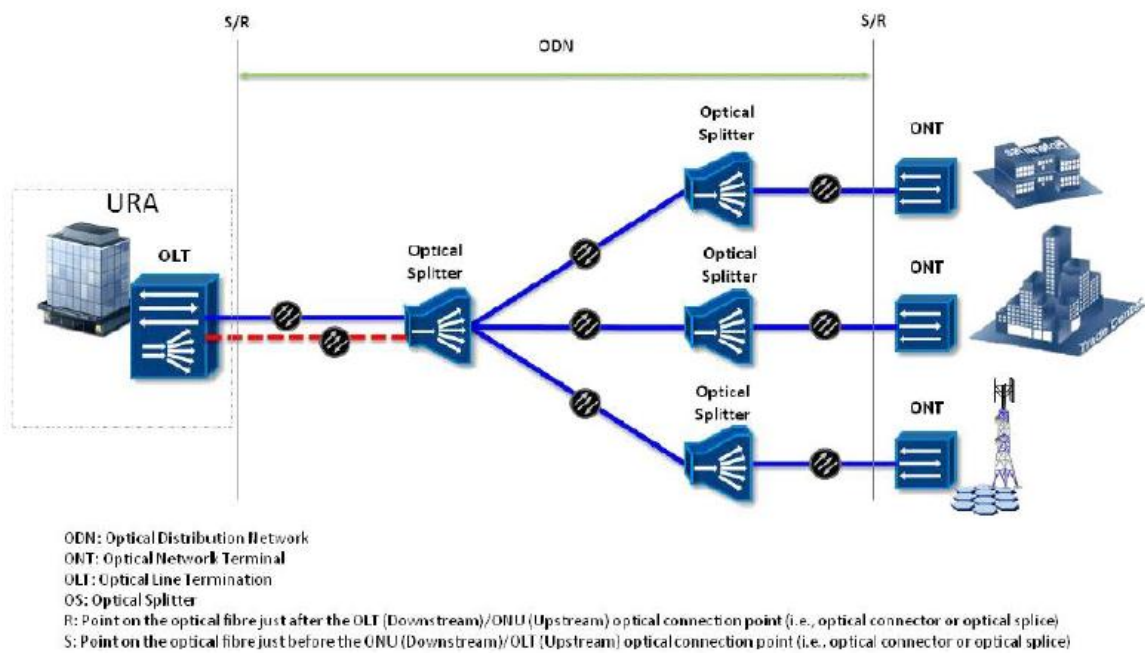


Figura 2.2. Arquitectura red GPON

Fuente: [31]

La CNT EP emplea un modelo de referencia para la configuración de las redes GPON tal como se muestra en la figura 2.3, este modelo es bidireccional y presenta dos esquemas de transporte: el descendente con TDM y el ascendente con TDMA, además se contemplará en el diseño splitters con una relación de división 1:32, es decir, splitter de una entrada con 32 salidas.

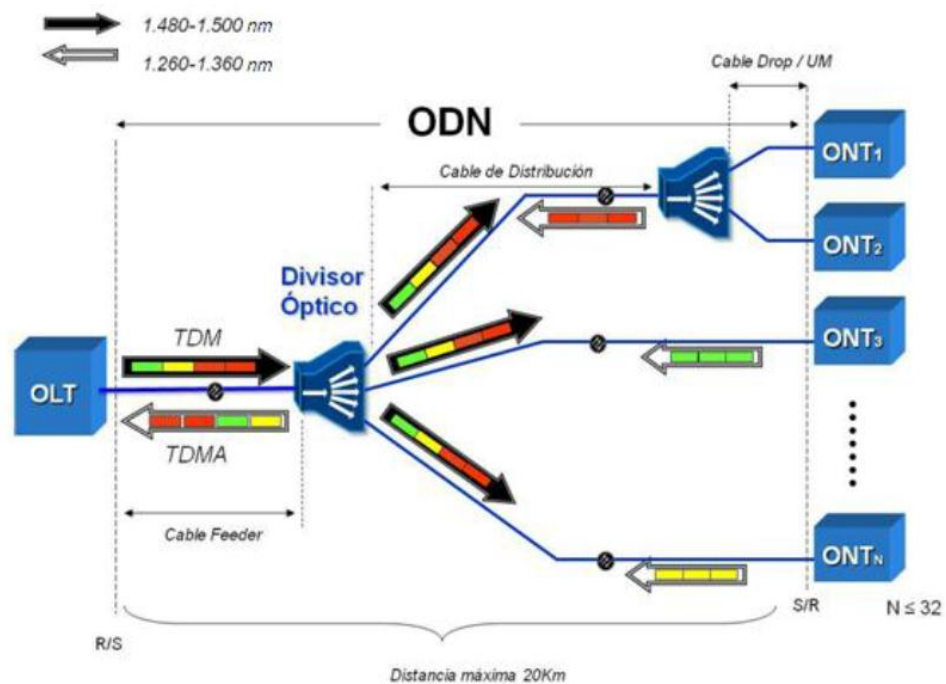


Figura 2.3. Modelo de referencia tomado por la CNT EP

Fuente: [31]

## 2.2. Descripción de la infraestructura GPON de CNT EP.

Los modelos de infraestructura GPON cuales varían según el tipo de instalación de última milla y la infraestructura ODN. Estos modelos están basados en el modelo de referencia y pueden ser:

- Modelo Masivos/Casas
- Modelo Masivos/Edificios
- Modelo Multiaccesos
- Modelo Corporativos/Edificios (hasta 10 pisos)
- Modelo Corporativos/Edificios (mayor de 10 pisos a 20 pisos)
- Modelo Móvil 3G y 4G

La red GPON diseñada en este trabajo está fundamentada en el modelo Masivos/Casas, la cual es base para los demás modelos y por ello la describiremos a continuación.

### 2.2.1. La red de acceso GPON.

La red de acceso GPON está dividida principalmente en tres partes, el Terminal de Línea Óptico (OLT) situado en una oficina central, el cual está interconectado por una Red de Distribución Óptica (ODN) a un nodo o un Terminal de Red Óptico (ONT) tal y como se muestra en el esquema del modelo Masivos/Casas de la figura 2.4, en donde se observa que en cada punto de interconexión existe un valor de atenuación en dB (Decibeles).

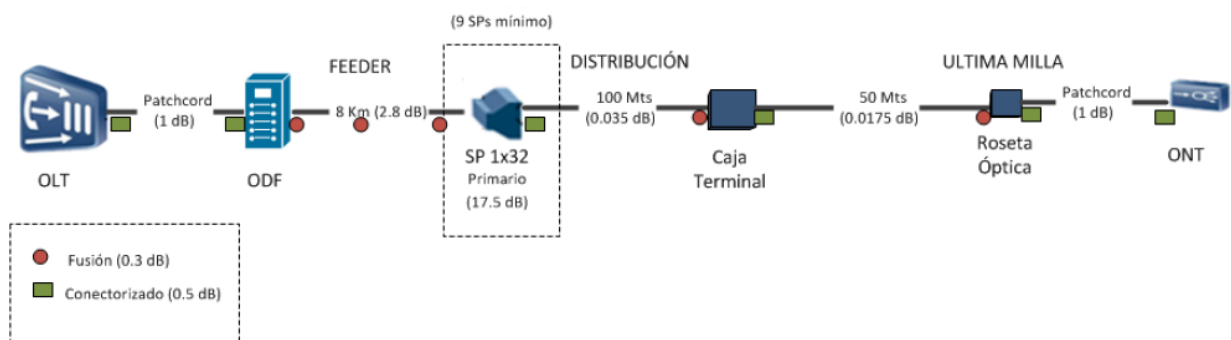


Figura 2.4. Red de acceso GPON, Modelo Masivo/Casas

Fuente: [31]

### 2.2.2. OLT (Optical Line Terminal).

El OLT (Terminal de Línea Óptico) es uno de los dispositivos activos dentro de la red GPON, tiene como objetivo la interconexión de la red de acceso con la red backbone de la CNT EP, a través de las puertas de uplink las cuales se encuentran ubicadas en un slot del OLT.



El OLT es el encargada de administrar y sincronizar el tráfico de downstream OLT-ODN-ONT en modalidad TDM; en otras palabras administra el tráfico que se transmite por la red ODN y se replica por todas las puertas de los splitters que estén asociados a la puerta PON hasta llegar a los ONTs. De igual manera se encarga de gestionar, sincronizar y administrar el tráfico upstream ONT-ODN-OLT en modalidad TDMA. El OLT cuenta con un chasis, el cual contiene varios slots para la colocación de varias tarjetas. Según las especificaciones de CNT EP, el OLT deberá poder contar con tarjetas de diferentes funciones como:

- Tarjeta de ventiladores (fan tray),
- Tarjetas de poder (slots 21 y 22),
- Tarjetas de gestión y control (slot 9 y 10),
- Tarjetas de uplink (slots 19 y 20),
- Tarjetas de servicios (slots 1 al 8 y 11 al 16)
- Tarjetas de 16 x E1s para tráfico de telefonía (slots 17 y 18).

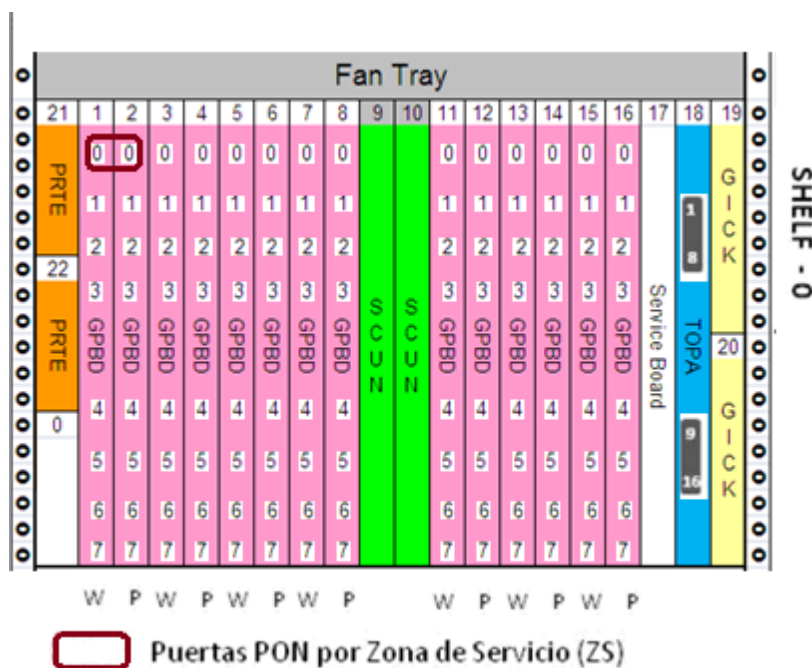


Figura 2.5. Estructura de una OLT

Fuente: [31]

Las tarjetas de servicios para GPON deberán poder concentrar 8 puertas PON por tarjeta con una velocidad de 2.4 Gbps de downstream y 1.2 Gbps en upstream. Por consiguiente se contará con un OLT de 14 tarjetas de servicio conectado a una ODN con splitters 1:32, que nos dará como resultado que el OLT puede servir a 3584 abonados ( $14 \times 8 \times 32 = 3584$ ).

### **2.2.3. ODN (Optical Distribution Network).**

La ODN (Red de distribución óptica) en las arquitecturas FTTx corresponde a la infraestructura óptica que va desde el OLT hasta el ONT del abonado. La ODN es pasiva, no tiene elementos activos o energizados como los OLT y los ONTs.

La ODN está compuesta por los siguientes elementos en forma general:

- Patchcord de fibra entre la OLT y el ODF.
- El ODF.
- Cables de Fibra Óptica FEEDER que están asociados a la red GPON.
- Splitters primarios.
- Cables de DISTRIBUCIÓN.
- Splitters secundarios si el nivel de atenuación lo permite.
- Cables de acometida o cables DROP.
- Cajas terminales.
- Roseta óptica.
- Patchcord de fibra entre la roseta óptica y la ONT.

#### *2.2.3.1. ODF (Optical Distribution Frame).*

Es un elemento pasivo de la red de acceso que consiste en una bandeja que permite la conexión de un segmento de fibra a la OLT, su función principal es la de organizar y distribuir los hilos de fibra con el fin de su fácil acceso y mantenimiento.

#### *2.2.3.2. Cable FEEDER.*

El cable FEEDER corresponde al cable, o grupo de cables que contienen un filamento de fibra óptica que interconecta las puertas PON de la OLT con las puertas de entrada del splitter primario. Este cable puede formar un anillo FEEDER cuando en las entradas del splitter primario existe una puerta destinada a un cable de respaldo. Generalmente este cable es de una capacidad de 144 hilos.

#### *2.2.3.3. Cable de distribución.*

El cable de distribución corresponde al cable que contiene un filamento de fibra óptica que interconecta un splitter primario con un splitter secundario en caso de existir, en el caso de no existir, interconecta un splitter primario con una caja de distribución.

#### 2.2.3.4. *Splitters.*

Son los elementos más importantes dentro de la ODN, en esencia son dispositivos pasivos que dividen la señal óptica, es decir, los splitters replican por sus salidas la señal óptica que ingresa. Dentro de la ODN introducen niveles de atenuación que se incrementan a medida que la cantidad de salidas aumenta.

Existen dos tipos de divisores ópticos, los splitter primarios que se conectan con la OLT y pueden ser del tipo 2xN en donde se tiene una ruta de respaldo. También existen los splitter secundarios del tipo 1xN, siendo N igual a 2, 4, 8, 16 y 32 en ambos casos. La figura 2.6 muestra la estructura interna de un splitter.

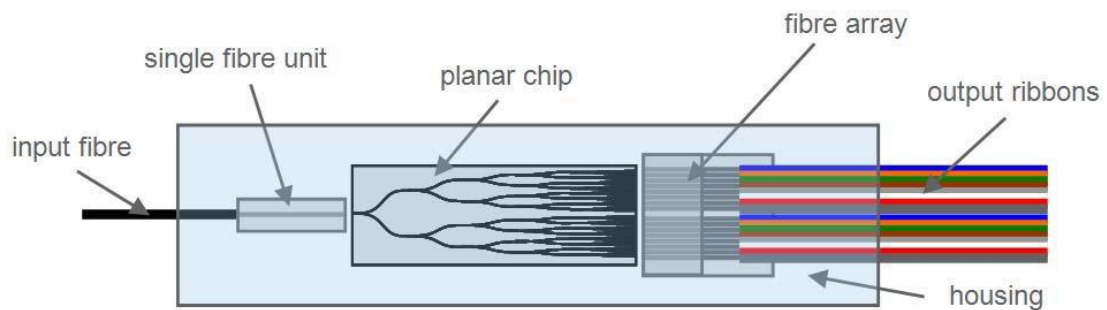


Figura 2.6. Splitter

Fuente: [31]

#### 2.2.4. **ONT (Optical Network Terminal).**

El terminal de red óptico es el único dispositivo en el lado del usuario que va conectado a la ODN, para servicios de interfaz con el cliente, es decir, es un equipo activo al cual se conectan todos los servicios del abonado brindados desde la OLT.

Como ejemplo tenemos el ONT de la figura 2.7, el cual es un ONT marca Huawei modelo HG8245 del tipo sobremesa que cuenta con dos antenas para servicio de Wi-Fi, cuatro puertos ethernet para el servicio de datos, dos puertos para IPTV y un puerto para el servicio de telefonía.



Figura 2.7. ONT de mesa

Fuente: [31]

### 2.3. Modelo de cálculo de enlace para accesos GPON.

Un factor muy importante que se debe tomar en cuenta en el despliegue de la red GPON es la atenuación que se tendrá en la ODN. La atenuación puede representar que se necesite una mayor potencia de transmisión o en su defecto un menor alcance de la red.

El elemento que afecta en mayor grado a la red de fibra óptica causando una mayor atenuación son los splitters, cuya atenuación depende del número de puertas en que se divida la señal. Otros elementos que aportan a la atenuación de la señal son: los ODFs, los conectores, las fusiones (empalmes), y la fibra óptica propiamente dicha, cuya atenuación depende de la longitud de onda de medición.

Se considera la longitud total de la ODN, a la suma del cable Feeder + Distribución + Última Milla. Los valores umbrales usados para la implementación de redes GPON de CNT EP se basan en la Norma ITU-T G.984 que define las redes GPON.

En base a esta norma se definen los siguientes valores:

- **Longitud de onda downstream:** 1490 nm
- **Longitud de onda upstream:** 1310 nm
- **Pérdida promedio downstream por kilómetro de F.O.:** 0.25 dB
- **Pérdida promedio upstream por kilómetro de F.O.:** 0.35 dB
- **Promedios mínimos y máximos de emisión, sensibilidad, saturación:** Es importante aclarar que en la conexión entre OLT y ONT, la recomendación UIT-T G.984.2 define umbrales Mínimos y Máximos de Potencia Óptica, por lo que estos valores son los que determinarán los puntos de corte, tanto para establecimiento y caída de conexión, como de saturación. En definitiva lo que hace el Modelo de Cálculo es relacionar la Potencia Emitida con la Sensibilidad y la Atenuación.

*Valores de Umbral en OLT:*

Potencia Mínima de Emisión: +1.5 dBm

Potencia Máxima de Emisión: +5 dBm

Sensibilidad Mínima: -28 dBm

Saturación en Rx: Para potencia recibida mayor a -8 dBm

*Valores de Umbral en ONT:*

Potencia Mínima de Emisión: +0,5 dBm

Potencia Máxima de Emisión: +5 dBm

Sensibilidad Mínima: -27 dBm

Saturación en Rx: Para potencia recibida mayor a -8 dBm

- **Pérdidas promedio según modularidad de splitter usado:**

Tabla 2.8. Pérdidas por tipo de splitter

Tipo de Splitter	Atenuación (dB)
1:2	4.3
1:4	7.6
1:8	11.1
1:16	14.1
1:32	17.5
1:64	20.8
2:4	7.9
2:8	11.5
2:16	14.8
2:32	18.5
2:64	21.3

Fuente: [31]

- **Pérdidas adicionales por inserción:** Estas pérdidas corresponden a valores promedios para cada uno de los componentes ópticos pasivos. Mangas: 0.3 dB, Conectores: 0.5 dB, ODFs: 0.5 dB. Se consideró un promedio de 1 manga por cada 2 km.
- **Margen de resguardo:** Se establece un margen de resguardo de 3 dB. Este margen tiene por objeto absorber las posibles modificaciones que se presenten a futuro en el tendido de la red, y que impliquen aumento en la atenuación de las ODNs.

**2.3.1. Definiciones y supuestos considerados en el modelo de cálculo.**

La distancia máxima entre OLT y ONT no debe superar los 20 Km, es decir: la suma de la longitud del cable de fibra óptica feeder, más la fibra óptica de distribución, más la fibra

óptica de última milla no debe ser mayor a 20 Km. Para el cable feeder se debe considerar la ruta de mayor longitud en el cálculo (ruta principal o la de respaldo).

Esta restricción obedece a la necesidad que tiene la OLT de absorber las diferencias de retardo que se pueden presentar entre ONTs instaladas a distintas distancias y/o atenuaciones, para una misma puerta PON.

La atenuación máxima de la red ODN no debe superar los 28 dB. Esta restricción obedece a los umbrales de trabajos de los equipos OLT y ONT, para lo cual se considera el peor caso en cuanto a niveles de atenuación.

### 2.3.2. Modelo de cálculo.

En base a las consideraciones previamente indicadas, se genera una plantilla de cálculo a partir de la cual se obtienen resultados que se resumen en la tabla de la figura 2.8. Esta tabla nos indica la distancia máxima en kilómetros que puede tener la ODN, así como los niveles de atenuación por distancia de acuerdo a la cantidad de vías de salida que se desea obtener en el diseño, salidas que vienen condicionadas por la cantidad de los splitters que se deban utilizar. Los valores que están resaltados de color verde en esta figura, representan que para esa distancia y con esa relación de división del splitter se tendrá un valor de atenuación cercano al máximo permitido.

Longitud ODN (Km): Feeder + Dist + UM					1º Splitter	2º Splitter	Accesos
2	5	10	15	20			
15,1	15,75	17,45	19	20,84	1:2	1:2	4
18,4	19,5	20,75	22,3	24,14		1:4	8
21,9	22,55	24,25	25,8	27,64		1:8	16
24,9	25,55	27,25	NA	NA		1:16	32
28,3	NA	NA	NA	NA		1:32	64
14,1	14,75	16,45	18	19,84	1:4	-	4
18,4	19,05	20,75	22,3	24,14		1:2	8
21,7	22,35	24,05	25,6	27,44		1:4	16
25,2	25,85	27,55	NA	NA		1:8	32
17,6	18,25	19,95	21,5	23,34	1:8	-	8
21,9	22,55	24,25	25,8	27,64		1:2	16
25,2	25,85	27,55	NA	NA		1:4	32
NA	NA	NA	NA	NA		1:8	64
20,6	21,25	22,95	24,5	26,34	1:16	-	16
24,9	25,55	27,25	NA	NA		1:2	32
NA	NA	NA	NA	NA		1:4	64
NA	NA	NA	NA	NA		1:8	128
24	24,65	26,35	NA	NA	1:32	-	32
NA	NA	NA	NA	NA		1:2	64
NA	NA	NA	NA	NA		1:4	128
NA	NA	NA	NA	NA		1:8	256
Atenuación ODN (DB)							

Figura 2.8. Resultados del modelo de cálculo sin respaldo para Masivos

Fuente: [31]

La lectura de esta tabla debe hacerse por fila. Por ejemplo: para el caso en que se tenga un 1º Splitter de 1:2 en cascada con un 2º Splitter 1:8, aquellos servicios cuyas longitudes de ODN se encuentren dentro del rango de los 15 Km, pueden implementarse sin problemas por concepto de atenuación y margen de protección, mientras que a 20 km ya se tiene una atenuación muy cercana al límite.

## **2.4. Parámetros de diseño de la red GPON.**

### **2.4.1. Longitud de la fibra óptica.**

La distancia máxima de cable feeder (entre OLT y Splitter Primario) quedará definida por el cálculo del Link Budget. Se recomienda para una red nueva hasta 3 empalmes en su extensión, en la práctica la red existente puede presentar mayor número de empalmes.

Fibra óptica entre ambos splitters: esta longitud quedará determinada por un nuevo cálculo, entre el punto de concentración de Demanda (ubicación del splitter secundario) y el splitter primario, este cable debe ser siempre cable nuevo.

Cable de fibra óptica para acometida desde caja de distribución óptica: Longitud máxima 300 metros en cable nuevo.

Para el diseño en la CNT EP se consideran 3 dB de margen de seguridad, por lo cual todos los diseños deben tener máximo 25 dB de pérdida en el cálculo del Link Budget de la ODN.

### **2.4.2. Niveles, razón de división y tipos de splitter óptico.**

Para todos los modelos de topología GPON, se recomienda como máximo dos niveles de splitter, ya que con la instalación de un tercer nivel aumenta las pérdidas en el link budget, lo que reduce la longitud de la fibra para cumplir el umbral de pérdidas. La razón de división dependerá de la demanda y ubicación del splitter óptico.

El splitter óptico primario será del tipo fusionado en algunos escenarios y modular en otros, pero siempre será modular el splitter de primer nivel cuando sea instalado en un edificio nuevo.

En caso de ser necesario, el splitter óptico de segundo nivel, será siempre fusionado para demanda horizontal, como por ejemplo en parques industriales.

## **2.5. Criterios de diseño en redes GPON.**

Lo primero que se debe diseñar es la ODN y la ubicación del OLT, de manera que la inversión de capital (CAPEX) cumpla la norma de 60% una inversión anticipada que incluye el OLT (incluye las tarjetas PON) y un complemento de la inversión de un 40% contra

demanda confirmada, que incluye la acometida de fibra óptica al cliente y el terminal ONT, tal como se puede apreciar en la figura 2.9.

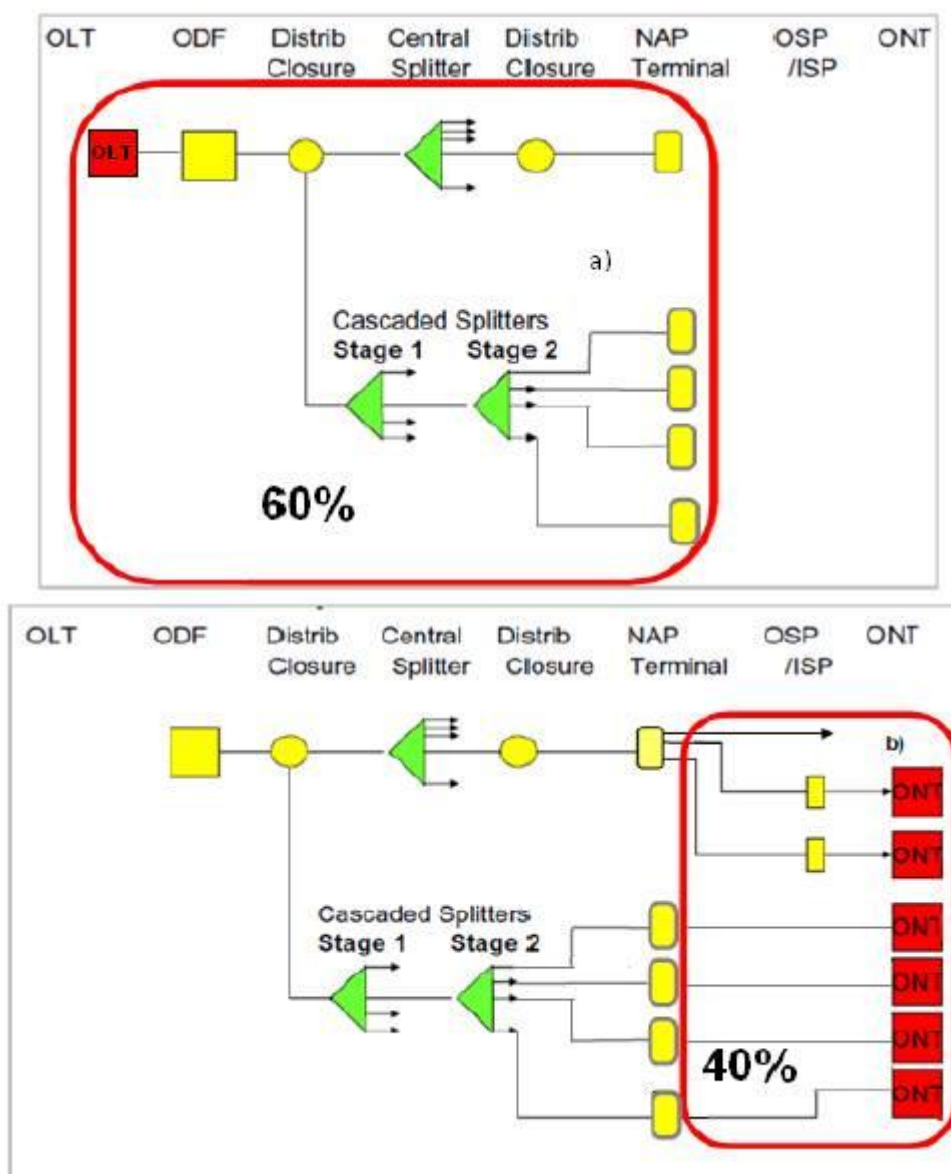


Figura 2.9. Etapas del Capex en una red GPON

Fuente: [31]

Lo segundo es que la ODN puede diseñarse y construirse en forma totalmente independiente del fabricante de equipos activos (OLT, Tarjetas y ONT). Siempre que se pueda deberá construirse en forma aérea en lugar de construir red subterránea, para disminuir su CAPEX. Obviamente al existir redes subterráneas disponibles estas se deberán preferir a la red aérea.

Desde el punto de vista de balance de potencia, es lo mismo que el divisor óptico esté cercano a la central, en la ODN o muy cerca del cliente. Sin embargo, siempre que se



pueda, se debe colocar el divisor óptico o la última de las etapas de división óptica (segundo splitter óptico), lo más cerca del cliente posible a fin de minimizar la cuenta de fibras por kilómetro en la ODN, reducir el costo de cables y simplificar su manejo. La figura 2.10 muestra el costo de la red dependiendo de la ubicación del divisor óptico.

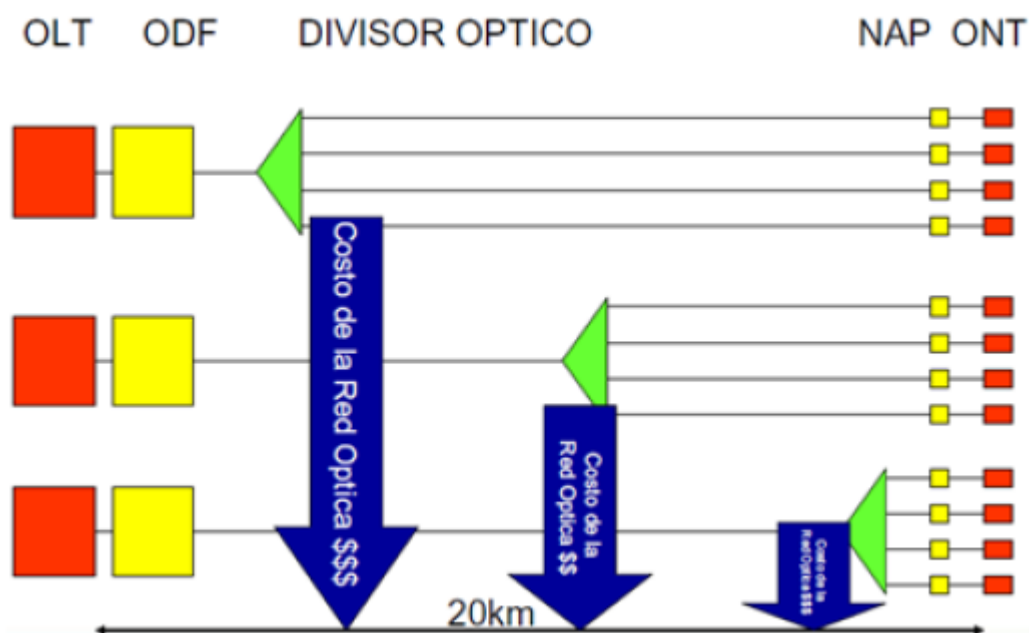


Figura 2.10. Costo de la ODN en base la ubicación del primer splitter óptico

Fuente: [31]

En caso de tratarse de un edificio de oficinas nuevas, el divisor óptico o la última etapa de división óptica pueden colocarse en el subterráneo del edificio. En este caso, se debe alojar el divisor óptico en un gabinete hermético.

### 3. Normativa técnica de dibujo de CNT EP

En esta sección se describe la norma técnica de dibujo de CNT la cual sirve como base para el diseño de la red GPON/FTTH; todo lo referente a la norma se lo obtuvo de [32].

Esta Norma aplica a toda la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, en lo concerniente al Diseño, Construcción y Fiscalización, de la infraestructura de Telecomunicaciones. El dibujo técnico se lo debe realizar en un software CAD (preferible AUTO-CAD).

#### 3.1. Levantamiento de información georeferenciada.

Se debe partir de información existente y confiable georeferenciada como: planimetrías, accidentes geográficos, planos de lotizaciones, vías quebradas, y otras informaciones que

Empresas, Instituciones o Municipios, puedan aportar para el correspondiente levantamiento inicial de información.

Esta información deberá plasmarse en diferentes capas del archivo, pero ejecutadas en el espacio modelo del mismo. El archivo también deberá contener la capa de levantamiento de puntos georeferenciados (PUNTO–GPS) para el caso de que no se disponga de ninguna información y se deba elaborar los archivos desde la planimetría.

### **3.2. Capas bases.**

Con la información recopilada se trabajará en el espacio modelo del archivo CAD, de manera que se crearán las siguientes capas bases del proyecto:

Tabla 2.9. Capas bases del proyecto

<p><b>NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.</b></p>
---

Fuente: [32]

Los accidentes geográficos, ancho de calles, ancho de lotes, dimensiones de manzanas, etc., deben en lo posible registrarse a un plano georeferencial.

Se debe disponer de un GPS que sea lo más exacto posible al momento de levantar la información de coordenadas de cada punto, que trabaje con el mayor número de satélites para el registro de la información (mínimo 4) y que la precisión de equipo esté dentro del rango  $\pm 1\text{m}$ , sugiriendo que sea un GPS diferencial y que disponga de software para la descarga de la información grabada en el mismo.

### **3.3. Capas de infraestructura de red.**

Además de las capas bases se crearon otras capas exclusivas para el diseño de la red GPON, las cuales se describen a continuación:

Tabla 2.10. Capas utilizadas en el Diseño de la red GPON

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [32]

#### **3.4. Términos generales para la edición de los elementos de la red.**

Los elementos de las diferentes capas se realizarán de la siguiente forma:

- 
- 
- **NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**
- 
- 

Tabla 2.11. Acrónimos para canalización

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN  
CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD  
FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA  
CORPORACIÓN NACIONAL DE  
TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [32]

## **CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA RED GPON**

## 1. Estado actual de la red

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

## 2. Consideraciones generales

Para realizar el diseño de la red GPON, se tomaron en cuenta algunas consideraciones generales, las cuales sirven como puntos importantes para que el diseño cumpla con los requerimientos de demanda presentados en el capítulo II, además de cumplir con las especificaciones de diseño detalladas en la normativa de CNT EP. A continuación los puntos más importantes tomados en cuenta:

- Contar con un plano base georeferenciado del sector a cubrir con la red, que contenga toda la información de planimetría y postería en general, el cual sirve como punto de partida para empezar el diseño. La importancia de tener un plano



georeferenciado radica en que se puede contar con distancias exactas sin la necesidad de ir al lugar a hacer mediciones, además de conocer la ubicación exacta de toda la infraestructura que representa la red.

- Debido a que los planos conseguidos, no contaban con toda la información de planimetría, catastros y postería de los sectores a cubrir con la red GPON, se procedió a realizar un levantamiento de campo de la información faltante y con ello actualizar el plano base.

- **NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

- Los armarios de distribución óptica van conectados al ODF y desde este al OLT de la oficina central, para este diseño se consideró que el tendido de cable se lo realice mediante canalización lo cual se explicará más adelante.
- Para el tendido aéreo de la red se debe considerar, que los cables de fibra óptica no crucen transversalmente las avenidas principales de cada localidad, en este caso la Avenida Eterna Juventud, ya que esta vía es una de las más transitadas en la parroquia Vilcabamba, de igual manera se considera que los cables de fibra óptica no atraviesen el parque central de la ciudad, debido a que es un requerimiento por parte de la municipalidad del cantón Loja.
- Para el diseño de la red GPON es muy importante conocer, cual es la distancia máxima que puede tener la misma, ésta depende de la atenuación máxima permitida, la normativa de la CNT EP la establece en 28 dB como se menciona en el capítulo II y es la que se considera en el diseño.

- **NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

### 3. Topología

La topología de la red de acceso GPON para este diseño es del tipo árbol de cuatro nodos o niveles, ésta tiene como nodo principal la OLT ubicada en la oficina central de la CNT en Vilcabamba ubicada en las calles Sucre entre Clodoveo Jaramillo y Luis Fernando de la Vega, la cual alimenta a los nodos secundarios representados por los armarios de distribución óptica, la cantidad de armarios ópticos necesarios se los definirá más adelante; de igual forma los armarios de distribución óptica conectan a varios nodos de tercer nivel, como son las cajas de distribución óptica, y finalmente como cuarto nivel se tienen a las ONTs ubicadas en cada sector o barrios a cubrir con la red GPON, tal como se muestra en la figura 3.1.

Cabe mencionar que la comunicación en este tipo de red se comporta como punto multipunto en downstream y punto a punto en upstream.

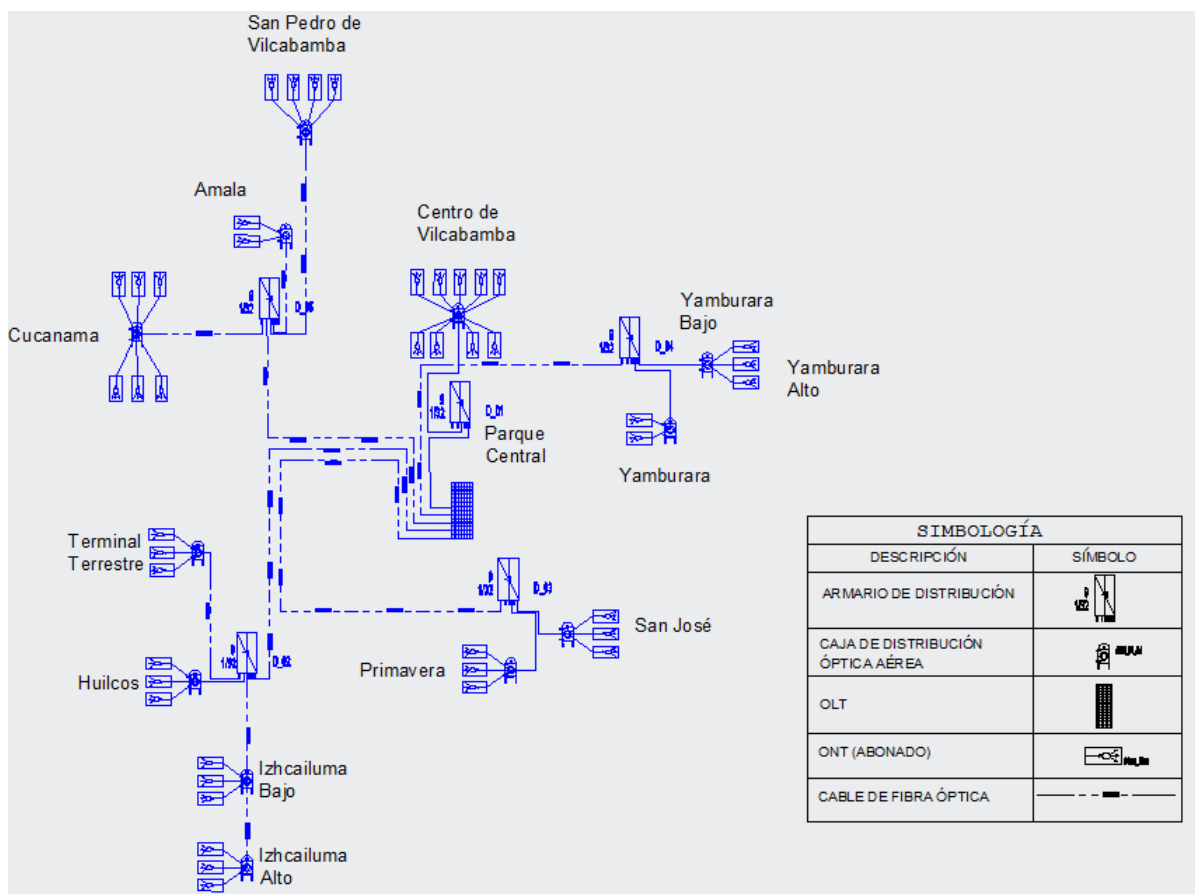


Figura 3.1. Topología de la red GPON para Vilcabamba

Fuente: [Fuente Propia]

#### **4. Diseño de la red GPON**

Con la metodología que se utilizó para realizar el estudio de demanda (ver capítulo II, sección 1.2. Estudio de demanda) y con la ayuda del plano georeferenciado del sector, se pudo determinar que el usuario que se encuentra más alejado de la central, se encuentra en el barrio Cucanama aproximadamente a 4 km de distancia, es decir, para este caso la longitud de la ODN será de aproximadamente 4 km; y según las especificaciones que se mostró en la figura 2.9 de la sección 2.3.2. Modelo de cálculo, del capítulo II, se tiene que para una razón de división 1:32, la distancia máxima de ODN debe ser menor a 10 km; por lo tanto, la red GPON puede cubrir con toda la demanda del sector sin tener atenuaciones mayores a lo permitido.

Una vez que se ha establecido el número total de usuarios que desean los servicios antes mencionados, y por lo tanto el número total de ONTs a considerar; y luego de haber realizado todo el levantamiento y actualización de la planimetría del sector, se puede proceder a realizar el diseño de la red GPON, para lo cual se ha considerado la simbología para el dibujo de CNT EP [32]. A continuación se realiza un breve detalle de todos los planos de red:

##### **4.1. Red de dispersión.**

La red de dispersión es la que va desde la caja de dispersión óptica hasta la ONT, es decir, es la red de acometida a cada abonado. Los cables de fibra óptica de esta red se instalan conforme el abonado solicite el servicio, y no al momento de construir toda la red en general. Por lo tanto, no se toma en cuenta el cable de fibra óptica de esta red para calcular el costo de construcción del proyecto, ya que la red de dispersión se la utiliza como guía para poder ubicar las cajas de distribución óptica y delimitar la zona de cobertura de cada una de ellas, que como se indicó anteriormente, a cada caja se puede conectar un máximo de 12 ONTs.

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**



Figura 3.2. Ejemplo de red de dispersión

Fuente: [Fuente Propia]

La figura 3.2 muestra un ejemplo de cómo se formó la red de dispersión de toda el área a cubrir con la red GPON, la línea roja delimita la zona de cobertura que tendrá cada caja de dispersión. Con las consideraciones tomadas para diseñar esta red, se tuvo un total de 103 zonas de dispersión, y por lo tanto, un total de 103 cajas de distribución óptica. Los resultados de la red completa de dispersión se los puede ver en los planos del Anexo 2.

#### 4.2. Canalización.

Debido a que la red de cobre actual no cuenta con canalización existente, se procedió a proyectar toda la canalización necesaria para el diseño de la red, la cual servirá como medio de conexión entre la OLT y los armarios de distribución óptica. Se consideró que cada tramo de canalización sea de cuatro vías más un triducto (ver figura 3.3); y en ciertos casos como los tramos cercanos a los armarios de distribución óptica en los que pasan más de tres cables de fibra óptica serán de cuatro vías más dos triductos. Cabe mencionar que la red de fibra óptica que pasa por la canalización se la tiende por los triductos.

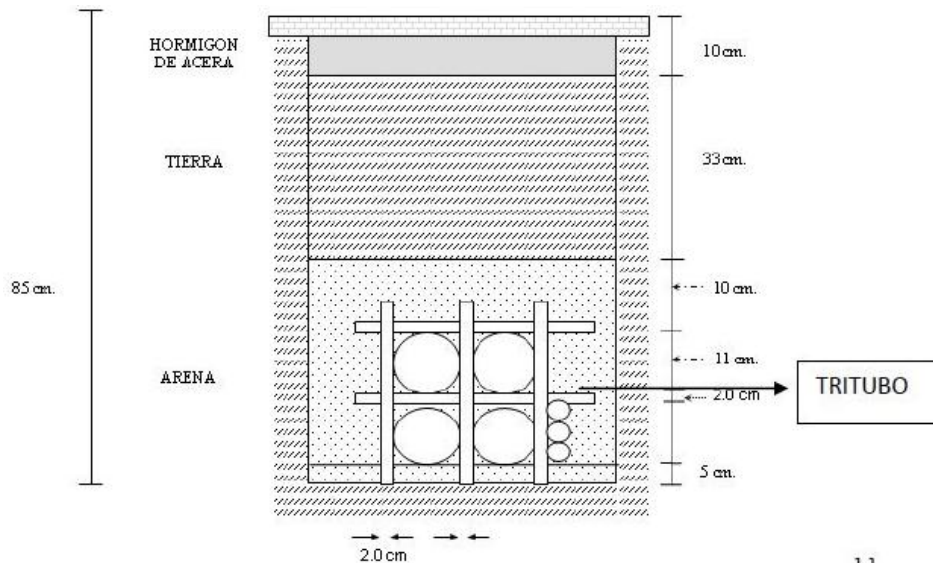


Figura 3.3. Esquema canalización de cuatro vías más un triducto

Fuente: [33]

La canalización también está conformada por pozos de revisión, los cuales se los colocan cuando existen cambios de dirección y cuando los tramos sobrepasan los 90 metros de distancia, es decir, la distancia entre pozos no debe pasar los 90 metros. Se considera colocar pozos de mayor tamaño (80 bloques) afuera de los armarios de distribución óptica, ya que por ellos cruzan la mayor cantidad de cables subterráneos, y para los demás tramos se considera pozos de 48 bloques que son de menor tamaño.

Para poder pasar el cable de fibra óptica de la canalización al tendido aéreo se utiliza las subidas a poste, los cuales son pequeños tramos de canalización de dos vías que llega hasta el poste más cercano en donde se pretende que empiece el tendido aéreo, generalmente para este tramo se colocan pozos de mano (pozos pequeños de dos vías)

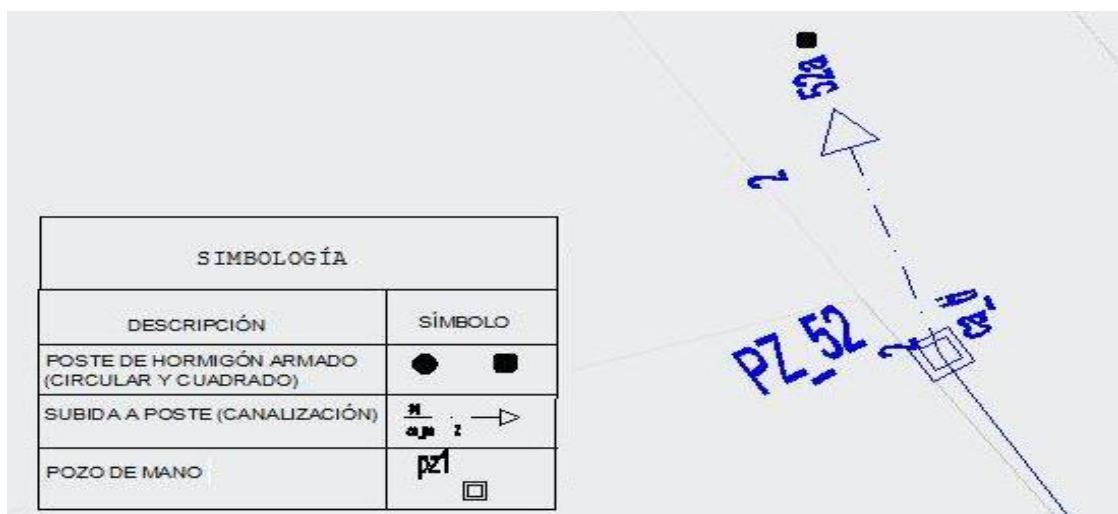


Figura 3.4. Subida a poste en canalización

Fuente: [Fuente Propia]

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, el diseño de canalización se presenta en el Anexo 3.

#### **4.3. Red feeder.**

Red feeder o red primaria es la que va desde el OLT hacia los armarios de distribución. Desde la OLT sale un solo cable feeder que conecta a todos los armarios, y debido a que por cada armario de distribución se debe fusionar un cable de fibra óptica de 24 hilos, el cable feeder será un cable de 144 hilos, lo que lo hace un cable más pesado y por tanto su tendido se lo hace mediante canalización como se lo mencionó anteriormente.

Entonces, para poder realizar el diseño de esta red se necesita conocer la ubicación que tendrán los armarios de distribución y cuántos serán. Para esto se procede a agrupar todas las cajas de distribución ópticas previamente definidas en la red de dispersión para formar el área de cobertura de cada armario; al hacer la relación del total de cajas de distribución para la capacidad máxima de cada armario tenemos que se necesitarán cinco armarios de distribución óptica ( $103/24 = 4.3 \rightarrow 5$  *armarios*) para todo el diseño de red, esto nos da la facilidad de que cada armario de distribución no quede ocupado al 100% de su capacidad y se puedan dejar reservas. De igual manera que en las cajas de distribución se debe procurar que los armarios queden lo más céntricos posible con respecto a las cajas que van a cubrir.

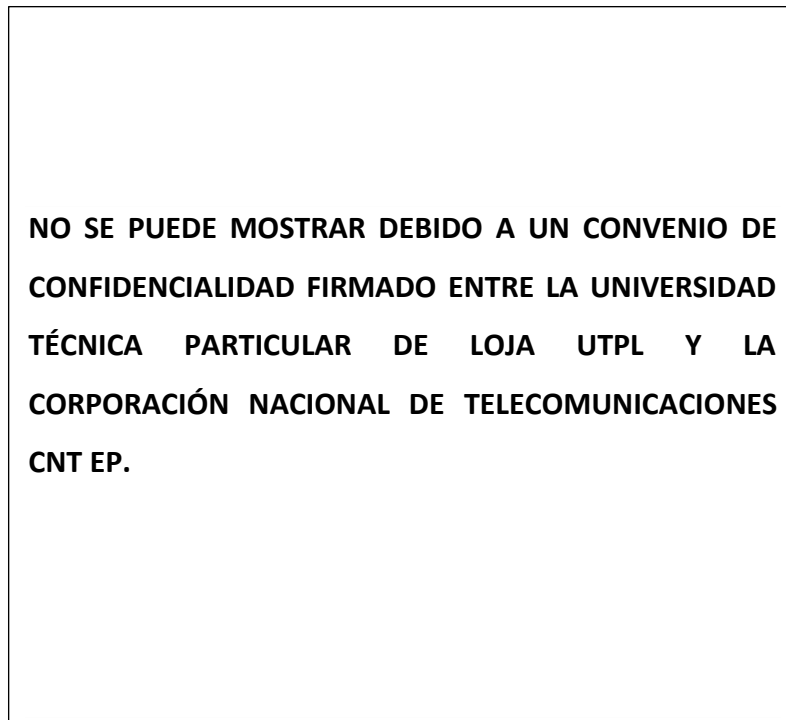


Figura 3.5. Cobertura de los armarios de distribución óptica  
Fuente: [Fuente Propia]

En la figura 3.5 se puede observar, delimitada por la línea verde, la zona de cobertura que tendrá cada distrito o armario distribución. Con la ubicación de los armarios definida, la ubicación de la OLT y el diseño de canalización, se procedió a realizar el diseño de red feeder, los planos de esta red se muestran en el Anexo 4.

#### **4.4. Red de distribución.**

La red de distribución es la que va desde los armarios de distribución óptica hasta las cajas de distribución óptica. Para poder diseñar esta red se necesita tener establecido el número total de cajas de distribución y de armarios de distribución con su respectiva ubicación geográfica, además se necesita tener definido las subidas a poste para el cable de fibra óptica. Todos estos requerimientos se los ha cumplido previamente en las redes de dispersión, red feeder y canalización.

Para el tendido de cable aéreo en la red de distribución se utilizan cables de fibra óptica con capacidad de: 12, 24, 48, 72 y 96 hilos.

Se debe verificar que la distancia máxima entre postes sea de 100 metros, en caso de existir tramos con distancias mayores entre postes es necesario proyectar un poste, de tal manera que se pueda acortar la distancia a la que quedará tendido el cable aéreo.

Para el diseño de la red de distribución fue necesario el uso de empalmes únicamente cuando a un mismo cable de fibra óptica se lo tenía que dividir para tomar dos trayectos diferentes; teniendo como máximo dos empalmes en un mismo trayecto del cable de fibra óptica.

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

En el Anexo 5 se puede ver los resultados del diseño de la red de distribución para los cinco armarios de distribución óptica que conforman la red GPON de Vilcabamba.

#### **4.5. Esquemático de red.**

El esquemático de la red de distribución es un plano que tiene como objetivo principal mostrar de forma sencilla y rápida la distribución de las cajas ópticas que se encuentran

conectadas a cada armario de distribución óptica, a la vez que muestra la distribución de los splitters dentro de los armarios, es decir, cuántos splitters se utilizan en cada armario y como se distribuyen sus salidas, las cuales se fusionan con cables de una capacidad máxima de 96 hilos. Para este plano no es necesario incluir la planimetría del sector, ni tener las distancias de los cables.

Dentro de los planos esquemáticos, se tiene también el plano esquemático de la red feeder, el cual muestra de forma clara como se distribuyen los cables de toda la red feeder, también se muestra el número y la capacidad de los cables que salen del OLT, hasta llegar a cada armario pasando por varios empalmes en caso de existir. Los planos esquemáticos tanto de distribución como de red feeder se muestran en el Anexo 6.

#### **4.6. Materiales.**

Una vez terminado todo el diseño de la red de acceso GPON, se procedió a realizar una lista con todos los materiales utilizados en el diseño. Esta lista de materiales comprende la cantidad total de cajas ópticas, total de armarios de distribución óptica, longitud del cable de fibra óptica de varias capacidades, etc. Además esta lista sirve como base para determinar el costo total de la red GPON el cual se analizará en el capítulo IV.

En la tabla 3.1 se presenta la lista de todos los materiales.

Tabla 3.1. Lista de materiales de la red GPON

<p><b>NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.</b></p>
---



**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD  
FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y  
LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente propia]

## **5. Cálculos de atenuación**

Una vez que se ha diseñado todos los planos de red y se ha definido las longitudes que tendrán los cables de fibra óptica desde la central hacia el abonado, así como las derivaciones o empalmes que tendrá cada trayecto; podemos hacer un cálculo de atenuación más apegado a la realidad, de tal manera que se pueda comprobar que el diseño de la red GPON para la localidad de Vilcabamba puede cubrir todos los requerimientos de demanda que presenta el sector.

Para poder realizar el cálculo se define cuál es el abonado que se encuentra más lejano de la OLT, esto se lo realizó de la siguiente manera:

- De los planos de red diseñados, primero se determina qué armario de distribución óptica se encuentra más alejado del OLT y que además tiene un mayor número de empalmes en su trayecto, esto debido a que será el tramo de red feeder de mayor longitud y por lo tanto con mayor atenuación. Como resultado se tiene que el armario D\_05 es el más alejado con una longitud de 1376.92 metros de cable de fibra óptica en red feeder y un empalme en su trayecto. En cambio, el armario D\_04 tiene una longitud de 779.62 metros de cable de fibra óptica en red feeder; pero, con dos empalmes en su trayecto, siendo este el que tendrá una mayor atenuación.
- Seguidamente se debe definir qué tramo de red de distribución que sale desde el armario D\_04 es el de mayor longitud. En este caso se tiene que el tramo de cable

de fibra óptica con mayor longitud es el que va a la caja A1. Este tramo tiene una longitud de 2560.55 metros.

- En el tramo de red de distribución encontrado se debe verificar la ONT más distante desde la caja de distribución óptica. Entonces, la ONT más distante está a 300 metros de distancia aproximadamente.
- El trayecto sobre el cual se realizará el cálculo de atenuación será el que sale desde la OLT hacia el armario D\_04, y desde este hacia la caja A1 (barrio Yamburara Alto). Anteriormente se definió que el trayecto más alejado de la OLT es el ubicado en el barrio Cucanama; pero, no se realiza un cálculo de atenuación sobre este, ya que presenta un menor número de empalmes y por lo tanto tendrá menor atenuación.
- Finalmente la longitud total de la ODN para el trayecto con mayor atenuación será:

$$\text{Longitud ODN} = L. \text{Feeder} + L. \text{Distribución} + L. \text{Última Milla}$$

$$\text{Longitud ODN} = 779.62 + 2560.55 + 300 = 3640.17 \text{ metros}$$

- Por otra parte, también se realizará el cálculo para el trayecto que tendrá una menor atenuación en la red. En este caso se tiene que el armario D\_01 es el más cercano a la OLT y cuenta con un solo empalme en su trayecto, este tramo tiene una longitud de 106.73 metros. Además, la caja de distribución óptica más cercana al armario D\_01 es la caja F2, con una distancia de 41 metros. Y la ONT más cercana se encuentra a una distancia de 15 metros desde la caja F2.

$$\text{Longitud ODN} = 106.73 + 41 + 15 = 162.73 \text{ metros}$$

### **5.1. Factores que añaden atenuación.**

En base al modelo de arquitectura utilizado para el diseño de la red GPON, el cual se basa en la normativa de CNT EP (ver capítulo II, figura 2.4 de la sección 2.2.1. La red de acceso GPON, y sección 2.3. Modelo de cálculo de enlace para accesos GPON), tenemos que en el trayecto del cual se calculará la atenuación se tiene los siguientes factores que añaden atenuación en el balance óptico de enlace:

- Dos patch cord de dos metros cada uno
- Un empalme por fusión en el diseño de la red
- Conectores
- Un pigtail de un metro
- Fusión del cable de fibra a los componentes de la red (splitter, cajas y roseta óptica).

A la longitud de la ODN se suman 5 metros de longitud debido a los dos patch cord (2 metros c/u) y el pigtail (1 metro). Por lo tanto la longitud total del cable de fibra óptica para el trayecto con mayor atenuación será:

$$\text{Longitud total de F.O.} = 3645.17 \text{ m}$$

$$\text{Longitud total de F.O.} \approx 3.65 \text{ km}$$

Y para el trayecto con menor atenuación:

$$\text{Longitud total de F.O.} = 167.73 \text{ m} \approx 0.16 \text{ km}$$

La tabla 3.2 y la tabla 3.3 presentan todos los factores que añaden atenuación en la red con su respectiva atenuación, tanto para el trayecto con mayor atenuación como para el trayecto con menor atenuación, respectivamente:

Tabla 3.2. Factores para el trayecto con mayor atenuación

Cantidad	Descripción	Atenuación
2	Empalme por fusión	0.3 dB
4	Fusión de cable	0.3 dB
7	Conectores	0.5 dB
1	Splitter 1:32	17.5 dB
<b>3.65</b>	Cable de fibra óptica	0.35 dB/Km

Fuente: [31]

Tabla 3.3. Factores para el trayecto con menor atenuación

Cantidad	Descripción	Atenuación
1	Empalme por fusión	0.3 dB
4	Fusión de cable	0.3 dB
7	Conectores	0.5 dB
1	Splitter 1:32	17.5 dB
<b>0.16</b>	Cable de fibra óptica	0.35 dB/Km

Fuente: [31]

## 5.2. Balance óptico de la red GPON.

Finalmente luego que se ha obtenido la longitud total que tendrá el cable de fibra óptica y todos los componentes que representarán atenuación en el enlace, se procede a calcular la atenuación:

$$a_T = a_F \times \#_F + a_C \times \#_C + a_{FO} \times L + a_S \times \#_S + 3 \text{ dB} \quad [31]$$

Donde:

$a_T$ : Atenuación total

$a_F$ : Atenuación por fusión  
 $\#_F$ : Número de fusiones  
 $a_C$ : Atenuación de conectores  
 $\#_C$ : Número de conectores  
 $a_{FO}$ : Atenuación del cable de fibra óptica  
 $L$ : Longitud del cable de fibra óptica  
 $a_S$ : Atenuación del splitter  
 $\#_S$ : Número de splitters  
 $3\text{ dB}$ : Margen de resguardo

Por lo tanto, reemplazando para el trayecto con mayor atenuación se tiene:

$$a_T = 0.3\text{ dB} \times 6 + 0.5\text{ dB} \times 7 + 0.35 \frac{\text{dB}}{\text{km}} \times 3.65\text{ km} + 17.5\text{ dB} \times 1 + 3\text{ dB}$$

$$a_T = 1.8\text{ dB} + 3.5\text{ dB} + 1.28\text{ dB} + 17.5\text{ dB} + 3\text{ dB}$$

$$a_T = 27.08\text{ dB}$$

Y para el trayecto con menor atenuación:

$$a_T = 0.3\text{ dB} \times 5 + 0.5\text{ dB} \times 7 + 0.35 \frac{\text{dB}}{\text{km}} \times 0.16\text{ km} + 17.5\text{ dB} \times 1 + 3\text{ dB}$$

$$a_T = 1.5\text{ dB} + 3.5\text{ dB} + 0.056\text{ dB} + 17.5\text{ dB} + 3\text{ dB}$$

$$a_T = 25.56\text{ dB}$$



Como se pudo comprobar la mayor atenuación que se tendrá en el diseño de la red GPON es menor a 28 dB de atenuación máxima que establece la norma. Además, se tendrá una atenuación mínima de 25.56 dB en la red.

## 6. Dimensionamiento de equipos

Los equipos activos como el OLT y el ONT son los equipos más importantes dentro de la red de acceso GPON, debido a que son los encargados de transmitir y recibir información. En el caso de la OLT es imprescindible conocer las velocidades de transmisión tanto de upstream y downstream además se debe conocer la cantidad de puertos PON en cada tarjeta del OLT, ya que de ello depende la capacidad máxima de abonados que puede servir. En lo referente al ONT, esta debe contar con varios puertos de interfaz para los servicios de telefonía, Internet y TV. A continuación se muestran tablas comparativas entre algunos

modelos de estos equipos, tomando en cuenta dos marcas reconocidas en mercado de las telecomunicaciones.



Tabla 3.4. Características de los modelos de OLT

<b>OLT (Optical Line Terminal)</b>		
<b>Marca/modelo</b>	 Huawei, SmartAX MA5600T [34]	 Motorola, AXS2200 [35]
<b>Tarjetas de servicio</b>	16 slots con 8 puertos PON por tarjeta	14 slots con 4 puertos PON por tarjeta
<b>Máxima división de splitter</b>	1:128	1:64
<b>Velocidad de Transmisión</b>	Downstream: 2.488 Gbps, Upstream: 1.244 Gbps	Downstream: 2.488 Gbps, Upstream: 1.244 Gbps
<b>Capacidad de conmutación Backplane/switch</b>	Backplane: 3.2Tbps, Switch: 960Gbps	Backplane: 1Tbps, Switch: 40Gbps
<b>Encapsulamiento</b>	GPON Encapsulation Method (GEM)	GPON Encapsulation Method (GEM)
<b>Dimensiones de chasis: (Ancho)x(Fondo)x(Altura)</b>	530mm x 275.8mm x 447.2mm	543mm x 305mm x 578mm
<b>Alimentación</b>	-48 VDC, mínimo -38.4 V, máximo -72 V.	-48 VDC, 30 A (máximo)

Fuente: [34], [35]

Al observar la tabla 3.4 y haciendo una comparación entre las características más importantes de cada modelo, se puede determinar que la OLT Huawei, SmartAX MA5600T es la más adecuada para el diseño de la red de acceso GPON, ya que esta con sus 16 tarjetas de servicio de 8 puertos PON cada una, cumple con los requerimientos tanto para el diseño, como los de la normativa de la CNT EP.

Tabla 3.5. Características de los modelos de ONT

<b>ONT (Optical Network Terminal)</b>		
<b>Marca y modelo de ONT</b>	 Huawei, HG8245 [36]	 Motorola, ONT1120GE [37]

<b>Puertos</b>	Telefonía: 2 POTS Internet/TV: 4GE USB: 1 Wi-Fi (802.11b/g/n)	Telefonía: 1 POTS Internet/TV: 4 Ethernet
<b>Dimensiones Ancho x Fondo x Altura</b>	195mm x 174mm x 34mm	195mm x 31mm x 155mm
<b>Alimentación</b>	Entrada: 100–240VAC, 50–60Hz; Entrada ONT: 11–14 VDC, 2 A Potencia: 8W	Entrada: 100–240VAC, 50–60Hz; Entrada ONT: 12 VDC Potencia: 15W

Fuente: [36], [37]

De igual forma para determinar la ONT más adecuada para el diseño de la red GPON, se realizó una comparación entre las características más importantes de dos modelos diferentes de ONT expuestos en la tabla 3.5, con ello se pudo determinar que la ONT Huawei, HG8245 es la que cumple con los requerimientos antes mencionados. Esta cuenta con 2 puertos para telefonía, 4 puertos para el servicio de Internet y TV, además que cuenta con Wi-Fi y un puerto USB.

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS FINANCIERO**



## 1. Planes comerciales

Para poder realizar un análisis financiero adecuado y con costos reales de los servicios; se consideró utilizar como referencia los planes comerciales que la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP cuenta a nivel nacional, planes que varían dependiendo del tipo y la cantidad de servicios. Los planes comerciales se pueden clasificar en: productos individuales (un servicio), doble pack (dos servicios) o triple pack (tres servicios), cada uno de estos cuenta con diferentes costos y descuentos, tanto de consumo como de instalación. A continuación se detalla cada uno de estos planes comerciales.

### 1.1. Productos Individuales.

Los productos individuales se refieren al acceso de un solo servicio por parte de los abonados ya sea telefonía fija, Internet fijo o TV.

La principal diferencia se encuentra en que la instalación de cada servicio se cobra por separado a precio normal (sin descuentos).

La tabla 4.1 presenta el costo mensual en lo referente al servicio de telefonía fija. En la contratación de este servicio se debe sumar un valor de \$68.00 correspondientes a la instalación del servicio.

Tabla 4.1. Precios de telefonía fija

Telefonía Fija		
Producto	Precio (\$)	Precio + Impuestos (\$)
Residencial Básico	6,20 + consumo	6,94 + consumo

Fuente: [38]

El costo del servicio de Internet fijo depende de la velocidad de transmisión que requiera el usuario, para ello CNT EP oferta seis diferentes opciones de ancho de banda. El costo de instalación de este servicio corresponde a un valor de \$50.00. Los precios del servicio de Internet fijo se detallan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Precios de Internet fijo

Internet Fijo		
Producto	Precio (\$)	Precio + Impuestos (\$)
Banda Ancha 2 Mbps	18,00	20,16
Banda Ancha 3 Mbps	24,90	27,89
Banda Ancha 4 Mbps	36,00	40,32
Banda Ancha 6 Mbps	49,90	55,89
Banda Ancha 10 Mbps	60,00	67,20
Banda Ancha 15 Mbps	105,00	117,60

Fuente: [38]

Los planes en lo que se refiere al servicio de televisión varían dependiendo del número de canales que se ofrece y también se cuenta con canales en alta definición. El costo de la instalación por este servicio es de \$20.00. Los precios de cada plan de televisión se los puede apreciar en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Precios de televisión

<b>Televisión</b>			
<b>Producto</b>	<b>Cantidad de Canales</b>	<b>Precio (\$)</b>	<b>Precio + Impuestos (\$)</b>
Súper	58 + 10 canales de audio	15,00	19,32
Súper + Total 1 o Total 2	84 (Total 1); 83 (Total 2)	23,00	29,62
Súper + Total 1 + Total 2	99	31,00	39,93
Súper + Total 1 o Total 2 + Plus HD	98 (Total 1); 97 (Total 2)	33,00	42,50
Súper + Total 1 + Total 2 + Plus HD	114	41,00	52,81

Fuente: [38]

### **1.2. Doble Pack.**

Cuando un abonado contrata dos diferentes tipos servicios, se le denomina paquete doble pack, el cual tiene como beneficio un descuento del 10% mensual por cada servicio, así como en la instalación se tiene un valor de \$40.00 por el servicio de telefonía, \$30.00 por el servicio de Internet y \$20,00 por TV. Por lo tanto, estos precios de instalación de los servicios representan un ahorro de \$28.00 en telefonía fija y \$20.00 en Internet fijo al contratar un doble pack. Además existen cuatro tipos de paquetes doble pack, los cuales se los detalla a continuación:

Tabla 4.4. Paquetes Doble pack

<b>Paquete Doble pack</b>	
<b>Primer Servicio</b>	<b>Segundo Servicio</b>
Telefonía Fija	Internet Fijo
Telefonía Fija	TV
Internet Fijo	TV

Fuente: [39]

### **1.3. Triple Pack.**

El paquete triple pack, consta de los tres servicios: telefonía fija, Internet fijo y TV, en un solo paquete, en este tipo de paquete se puede hacer una combinación entre las diferentes opciones ofrecidas en cada servicio. Entre los principales beneficios de contar con un paquete triple pack se puede considerar: un descuento del 15% mensual del valor en cada servicio, un costo de instalación de \$20.00 por cada servicio (ahorro total de \$78.00 por instalación), además de contar con todos los servicios en su hogar. A continuación se presentan tres posibles combinaciones de paquetes triple pack, estos ejemplos se los formó

tomando en cuenta el paquete más básico (económico), el intermedio y el completo (costoso). Tales ejemplos se los presenta en las tablas 4.5, 4.6 y 4.7.

Tabla 4.5. Paquetes triple pack básico

<b>Arma tu Paquete; Ejemplo 1</b>			
<b>Servicio</b>	<b>Producto</b>	<b>Precio (\$)</b>	<b>Precio + Impuestos (\$)</b>
Telefonía fija	Residencial Básico	6,20 + consumo	6,94 + consumo
Internet fijo	Banda Ancha 2 Mbps	18,00	20,16
Televisión	Súper	15,00	19,32
	<b>Total</b>	<b>39,20</b>	<b>46,42</b>
	<b>Total - Descuento</b>	<b>33,32</b>	<b>39,84</b>

Fuente: [38]

El paquete básico que se detalla en la tabla 4.5, consta de telefonía residencial básico, Internet con un ancho de banda de 2 Mbps y televisión Súper (58 canales más 10 canales de audio), en donde se tiene un ahorro para el abonado de \$5.88 mensuales y \$78.00 en costo de instalación.

Tabla 4.6. Paquetes triple pack intermedio

<b>Arma tu Paquete; Ejemplo 2</b>			
<b>Servicio</b>	<b>Producto</b>	<b>Precio (\$)</b>	<b>Precio + Impuestos (\$)</b>
Telefonía fija	Residencial Básico	6,20 + consumo	6.94 + consumo
Internet fijo	Banda Ancha 4 Mbps	36,00	40,32
Televisión	Súper + Total 1 + Total 2	31,00	39,93
	<b>Total</b>	<b>73,20</b>	<b>87,19</b>
	<b>Total - Descuento</b>	<b>62,22</b>	<b>74,89</b>

Fuente: [38]

El paquete intermedio que se detalla en la tabla 4.6, consta de telefonía residencial básico, Internet con un ancho de banda de 4 Mbps y televisión Súper + Total 1 + Total 2 (89 canales más 10 canales de audio), en el que se tiene un ahorro \$10.98 mensuales y \$78.00 por instalación.

Tabla 4.7. Paquetes triple pack completo

<b>Arma tu Paquete; Ejemplo 3</b>			
<b>Servicio</b>	<b>Producto</b>	<b>Precio (\$)</b>	<b>Precio + Impuestos (\$)</b>
Telefonía fija	Residencial Básico	6,20 + consumo	6.94 + consumo
Internet fijo	Banda Ancha 15 Mbps	105,00	117,60
Televisión	Súper + Total 1 + Total 2 + Plus HD	41,00	52,81
	<b>Total</b>	<b>152,20</b>	<b>177,35</b>
	<b>Total - Descuento</b>	<b>129,37</b>	<b>151,78</b>

Fuente: [38]

El paquete completo que se detalla en la tabla 4.7, consta de telefonía residencial básico, Internet con un ancho de banda de 15 Mbps y televisión Súper + Total 1 + Total 2 + Plus HD (89 canales más 10 canales de audio más 15 canales HD), en donde se tiene un ahorro \$22.83 mensuales y \$78.00 por instalación.

## 2. Costo de la inversión

El costo de la inversión total que la empresa deberá costear para la implementación de la red GPON, se la determina en base a costos referenciales de cada material que la CNT EP cuenta para cada proyecto de planta externa, el costo de cada material incluye el valor de mano de obra. Los materiales necesarios para la implementación de la red de acceso se los determinó en el capítulo III (tabla 3.1).

El costo total de inversión para la red de acceso GPON, se la puede dividir en: costo por la adquisición de la OLT, costo por la infraestructura de la ODN incluyendo el costo por canalización; y por último en costos por la adquisición de las ONT's para cada abonado. La suma de estos tres componentes da como resultado el total de la inversión (ver tabla 4.8).

Tabla 4.8. Costo total de inversión

<p><b>NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.</b></p>
---

Fuente: [Fuente Propia]

Como se puede observar en la tabla 4.8, el costo por la construcción de la ODN se lleva el mayor porcentaje de la inversión. En el Anexo 7, se presenta la plantilla del volumen de obra utilizada para obtener los costos de cada componente de la tabla 4.8.

## 3. Determinación de ingresos

Se define como ingresos de un proyecto a la cantidad de dinero que recibe una empresa por la venta de un producto o un servicio. En nuestro caso para determinar el total de ingresos que produce la red de acceso GPON, nos basaremos en dos factores: el cobro mensual por consumo de los servicios telefonía, Internet y televisión; y el cobro por la instalación de un nuevo servicio. Para estos dos factores de ingresos se tomará en cuenta los descuentos por empaquetamiento mencionados en la sección de planes comerciales. Los ingresos por consumo en los servicios de Internet y televisión se los ha determinado basándose en los planes económicos de cada uno de ellos, como es el plan de 2 Mbps en Internet y el plan

súper en televisión. Con ello se puede estimar el consumo por cada abonado, ver tabla 4.9 y tabla 4.10.

Tabla 4.9. Consumo básico de Internet

<b>Internet</b>	
<b>Categoría</b>	Básica: 2Mbps
<b>Costo mensual</b>	\$ 18,00
<b>IVA:</b>	12,00%
<b>Consumo Estimado</b>	\$ 20,16

Fuente: [38]

Tabla 4.10. Consumo básico de televisión

<b>Televisión</b>	
<b>Categoría</b>	Básica: Súper
<b>Costo mensual</b>	\$ 15,00
<b>IVA:</b>	12,00%
<b>ICE:</b>	15,00%
<b>Consumo Estimado</b>	\$ 19,32

Fuente: [38]

En lo referente al servicio de telefonía fija, se tiene dos tipos de ingresos por consumo: uno por el tráfico entrante (llamadas internacionales y entre operadores) y otro por el tráfico saliente (llamadas locales, nacionales e internacionales) el cual incluye el valor de la pensión básica. Para poder determinar estos ingresos se utilizó un método de análisis denominado ARPU (Average Revenue Per User), el cual determina el promedio de ingresos que se obtiene por cada usuario en un período de tiempo, principalmente usado en servicios de telecomunicaciones. El ARPU se lo obtiene dividiendo el total de ingresos que se tenga en un periodo, para el total de clientes de la empresa.

Tabla 4.11. Consumo por abonado de telefonía

<p><b>NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.</b></p>
---

Fuente: [39]

Con la ayuda de nuestra base de datos se obtuvo la cantidad de abonados que desean o poseen: un solo servicio, el paquete doble pack con las tres posibles combinaciones, o el paquete triple pack (ver tabla 4.12).

Tabla 4.12. Número de abonados por servicio

<p><b>NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.</b></p>
---

Fuente: [Fuente Propia]

Para calcular el total de ingresos por consumo en los servicios individuales, es decir, consumo solo por telefonía (tráfico entrante y tráfico saliente), solo Internet o solo televisión. Se procedió a multiplicar el consumo estimado por abonado de cada servicio por la cantidad de líneas (telefonía) o puertos (Internet y televisión) que se requieren. Y tomando en cuenta que en el primer año se tiene un porcentaje de ventas del 100%. Los resultados se presentan en la tabla 4.13.

Tabla 4.13. Estimación de ingresos en servicios individuales

<p><b>NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.</b></p>
---

Fuente: [Fuente Propia]

De igual forma para el cálculo de ingresos por consumo cuando se empaquetan dos servicios, en el cual se aplica un descuento del 10% al consumo mensual. Se multiplica el consumo estimado por el número de abonados que desean el paquete doble pack, menos el descuento. Los resultados se presentan en la tabla 4.14.

Tabla 4.14. Estimación de ingresos en servicios doble pack

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

Por último se calcula los ingresos por consumo cuando se empaquetan tres servicios, para ello se toma en cuenta que existe un descuento del 15% al mes por el servicio triple pack, ver tabla 4.15.

Tabla 4.15. Estimación de ingresos en servicios en el servicio triple pack

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

Otro ingreso importante para la empresa, son los costos por inscripción de cada servicio, estos se los divide por la contratación de un solo servicio o por la contratación de servicios empaquetados. De igual forma, con la ayuda de nuestra base de datos se determinó la cantidad de instalaciones que se requieren por servicios de telefonía, Internet y televisión; en planes individuales, doble pack y triple pack, tal como se muestra en la tabla 4.16.

Tabla 4.16. Cantidad de instalaciones

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

Para determinar una estimación de ingreso por inscripción, se multiplica la cantidad de instalaciones de los servicios de telefonía Internet y televisión por el costo de inscripción de cada uno de ellos, menos el descuento por empaquetamiento (ver sección planes comerciales). A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 4.17. Ingresos por instalaciones

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

Cabe mencionar que a los ingresos tanto por consumo, como por inscripción, se le añade el 12% de IVA en los servicios de telefonía e Internet, y en el servicio de televisión 12% de IVA y el 15% de ICE.

#### **4. Determinación de egresos**

Para la determinación de los egresos producidos por la red de acceso GPON, se consideran varios gastos, tales como el costo de instalación, el cual se refiere al costo que la empresa paga por la instalación de la red de última milla a cada abonado. Además se considera egresos o gastos por atención de fallas, mantenimiento de líneas, mantenimiento de red, y el mercadeo (difusión y promoción de la red).

El resumen de estos egresos mensuales por abonado se los presenta en la tabla 4.18.

Tabla 4.18. Estimación de egresos

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [40]

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**



Cabe mencionar que a los abonados actuales también se los considera como egresos de instalación ya que ellos migrarían de tecnología. El total de egresos se los dividió en dos partes: los gastos de explotación, que incluye el costo de instalación el cual abarca el 100% del total de abonados; la atención de fallas, con un 4% de fallas al año, mantenimiento de líneas y mantenimiento red, considerando un 2% del total de abonados; y los gastos de administración y ventas, los cuales incluyen el mercadeo y otros servicios.

Para obtener valores más reales se consideró un 50% adicional de los egresos totales. Los resultados de egresos obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 4.19. Estimación de egresos anuales

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

Fuente: [Fuente Propia]

## 5. Resultados

Finalmente, una vez que se ha calculado el costo de la inversión y se han definido los ingresos y egresos que generará la red GPON, podemos hacer el análisis de la rentabilidad que tendrá la misma, además de determinar si el costo de la inversión se podrá recuperar en un periodo máximo de cinco años. Para ello se utilizó un indicador financiero de rentabilidad como lo es el análisis del VAN (Valor Actual Neto), este es un indicador que permite determinar el importe actual de todos los flujos netos generados por la inversión.

La fórmula que nos permite determinar el VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN}{(1+i)^t} - I_0 \quad [41]$$

Donde:

*BN*: Beneficio neto del flujo

*t*: Periodo

*i*: Tasa de descuento

*I<sub>0</sub>*: Inversión inicial

El Banco Central del Ecuador ha establecido una tasa de interés pasiva referencial para las inversiones de las instituciones del sector público del 4.53%, actualizada a diciembre del 2013 [42]; la cual será la tasa de descuento que se utilice en el cálculo del VAN.

Otro indicador de rentabilidad que se utilizó para validar el diseño fue el cálculo de la TIR (Tasa Interna de Retorno), esta evalúa un proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, es decir, es la tasa de interés con la cual el valor actual neto es igual a cero.

La tasa interna de retorno puede calcularse aplicando la siguiente ecuación:

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{BN}{(1+i)^t} - I_o = 0 \quad [41]$$

Donde:

*BN*: Beneficio neto del flujo

*t*: Periodo

*i*: Tasa de descuento

*I<sub>o</sub>*: Inversión inicial

Con el fin de determinar el flujo neto que se tendrá por cada año, se ha considerado los datos de la siguiente tabla:

Tabla 4.20. Consideraciones generales

<p><b>NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.</b></p>
---

Fuente: [Fuente Propia]

Como se puede ver en la tabla 4.20 se considera un periodo de vida útil de la red de 20 años, esto nos permite determinar la depreciación que es la reducción del valor que tendrá la red, y se la encuentra dividiendo el costo total de la inversión para los años de vida útil.

Con todos estos datos y con los ingresos y egresos definidos anteriormente, calculamos el flujo neto anual. Cabe mencionar que CNT EP al ser una empresa pública no genera utilidades y por tanto no debe pagar el 15% del total de utilidades a sus trabajadores, lo cual no representará un egreso al flujo neto generado. De igual forma no presenta egresos por amortizaciones ya que la empresa será quien autofinancie el proyecto.

Los resultados obtenidos son los presentados en la siguiente tabla:

Tabla 4.21. Resultados de flujos netos

<p><b>NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.</b></p>
---

Fuente: [Fuente Propia]

En la tabla 4.21 podemos observar el flujo neto generado por cada año, su costo convertido a un valor actual mediante cálculo del VAN en cada periodo, y el flujo efectivo acumulado. Con los resultados del flujo acumulado podemos determinar que el proyecto tendrá un periodo de recuperación de la inversión aproximado de dos años y medio. Por lo tanto, a partir de este tiempo de estar en funcionamiento la red GPON en la localidad de Vilcabamba, la red empezará a generar ganancias. La figura 4.1 muestra una representación gráfica de los resultados obtenidos en la tabla 4.21.

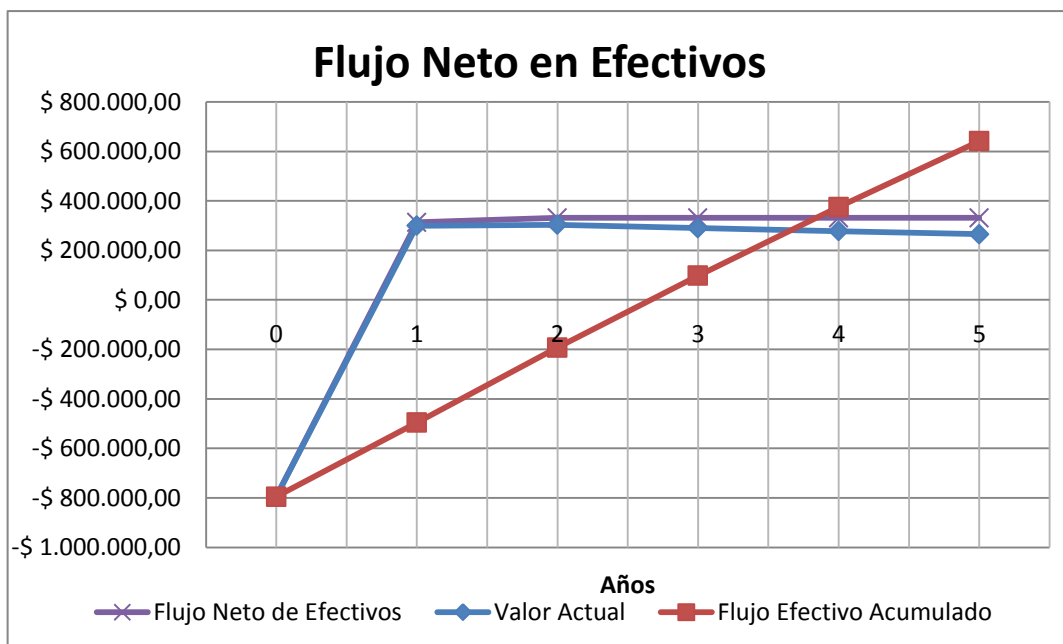


Figura 4.1. Flujo neto en efectivos

Fuente: [Fuente Propia]

Los flujos netos obtenidos nos dan como resultado los siguientes valores de VAN y TIR:

Tabla 4.22. Resultados de VAN y TIR

<b>Valor Actual Neto (VAN)</b>	\$ 641.062,77
<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b>	29,87%

Fuente: [Fuente Propia]

Al tener un valor actual neto positivo, como se muestra en la tabla 4.22 podemos determinar que el proyecto es rentable. Adicional a ello, se tiene una tasa interna de retorno de 29.87%, esta al ser mayor al 4.53% de tasa de descuento planteada, representa que el proyecto es viable y generará beneficios económicos para la empresa.

## CONCLUSIONES

Debido a que las redes GPON permiten trabajar a velocidades de transmisión de gigabit/s tanto en canal simétrico como asimétrico, además de soportar todo tipo de tráfico, representan grandes ventajas entre las redes ópticas pasivas PON, permitiendo brindar servicios triple play (voz, Internet de banda ancha y televisión) de calidad y de acuerdo a las exigencias del abonado.

Con el método de investigación de campo que se llevó a cabo para el estudio de demanda, se pudo determinar con mayor exactitud los sectores donde existe mayor demanda de los servicios de: telefonía (barrios Huilcos y San José), Internet (Vilcabamba centro, San Pedro de Vilcabamba, barrio Yamburara Bajo y barrio Huilcos) y televisión (barrios Izhcayluma Alto, Izhcayluma Bajo, Cuba, San José, Yamburara Alto, Cucanamá y San Pedro de Vilcabamba), además con ello se pudo tener un respaldo válido para el diseño de la red de acceso GPON.

En la actualidad los servicios de telecomunicaciones en las parroquias de Vilcabamba y San Pedro de Vilcabamba se dividen en: servicio de telefonía fija con 555 usuarios del total de abonados existentes, seguido del servicio de televisión con 454 usuarios y por último el servicio de Internet con 267 usuarios. Los servicios con mayor demanda proyectada (proyectada segura) son: el servicio de televisión con un total de 487, seguido del servicio de Internet con 384 abonados y el servicio de telefonía fija con 176 usuarios.

Las redes de acceso GPON, por su parecido a las redes de acceso mediante cobre, en cuanto a su estructura de planta externa (armarios, cajas de distribución, etc.), permiten que la realización del diseño de planta externa de la red GPON sea relativamente más fácil para los actuales proveedores de servicios de telecomunicaciones que están familiarizados con el diseño de redes a base de cobre.

El diseño de la red de acceso GPON, cumple con todas las especificaciones técnicas y de dibujo mencionadas en la normativa de CNT EP, a la vez que cubre toda la demanda de servicios de telecomunicaciones de la localidad, especificados en el estudio de demanda. En el anexo 8 se presenta un certificado que indica el cumplimiento de los parámetros de Diseño de CNT EP.

La red está diseñada para 1127 abonados, además cuenta con reservas de fibra óptica tanto en la red de distribución como en la red feeder que permitirán en el transcurso de 40 años ampliar la capacidad de la red de acceso GPON a 1809 abonados. Por otra parte para

el análisis financiero se tomaron en cuenta únicamente 847 abonados entre abonados existentes y abonados nuevos, esto con el fin de considerar un escenario crítico.

Para poder cubrir el total de demanda de servicios de telecomunicaciones, en el diseño de la red GPON se necesitó: una OLT, 5 armarios de distribución óptica y 103 cajas de distribución óptica. Cada armario óptico contiene 9 splitters de relación 1:32 y cada caja de distribución puede servir a 12 abonados.

Se diseñó canalización para todo el tendido de la red primaria (red feeder). Además, esta misma canalización se la utilizó para el tendido de algunos tramos de la red de distribución, específicamente en el centro de la parroquia de Vilcabamba, con el fin de no tener tendido de cable aéreo en ese sector.

En toda la red GPON ningún tramo sobrepasa el nivel de atenuación máximo de 28 dB. El tramo con mayor atenuación es el que sale desde la OLT hacia el armario D\_04, y desde este hacia la caja A1 (barrio Yamburara Alto), con una atenuación de 27.08 dB. De igual forma, se tiene un nivel de atenuación mínima de 25.56 dB, lo que representa que no existirá niveles de potencia óptica elevados y por lo tanto no afectará a los equipos terminales.

En el análisis financiero que se realizó para el diseño de la red de acceso GPON en la localidad de Vilcabamba, se obtuvo un costo de inversión total de \$795.183,12 para la implementación de la misma, y un flujo neto de efectivos (ingresos menos egresos) para un periodo de cinco años, con ello se pudo determinar que la implementación del proyecto es completamente viable, esto se lo comprobó realizando un análisis del valor actual neto (VAN) al 4.53%, con el cual se obtuvo un valor positivo (\$ 641.062,77), y un análisis de la tasa interna de retorno (TIR) del 29,87%. Además, con el estudio del análisis financiero se determinó que aproximadamente en dos años y medio de funcionamiento de la red, se recuperará en su totalidad el costo de la inversión.

## RECOMENDACIONES

Para los problemas de capa física, se recomienda contar con un equipo llamado GPON-Tester el cual ayuda a la realización de medidas avanzadas como: reflexiones, nivel de potencia tanto en el canal ascendente como en el descendente, distancia hasta la OLT y emular la ONT del cliente para sincronizar con la OLT. Además este equipo nos ayuda a comprobar el correcto funcionamiento de los servicios que llegan al abonado.

Para poder facilitar el estudio de demanda, se recomienda gestionar la obtención de los planos catastrales georeferenciados de los sectores a cubrir con la red.

Se recomienda llevar una base de datos actualizada con información relevante, como direcciones exactas de todos los abonados que cuentan con algún servicio de la empresa, con el fin de hacer más fácil la localización de los mismos en el caso que se tenga algún problema con el servicio brindado, o para atender cualquier requerimiento en un futuro.

Para el diseño de la red se recomienda analizar previamente la normativa actualizada, tanto de diseño técnico como de dibujo, de tal manera que el proyectista se familiarice con la simbología y requerimientos que impone CNT EP, para evitar cometer errores que impliquen comenzar nuevamente con todo el diseño.

El presente trabajo de fin de titulación comprendió todo el diseño relacionado con la capa física (modelo OSI) de una red GPON, quedando como trabajo futuro la realización del diseño de capa dos del modelo OSI para dicha red.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] “*Capítulo 5 Fibras Ópticas*”. Elementos y Equipos Eléctricos. (2013, Octubre 16). [En línea]. Disponible en:  
<[http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye\\_archivos/apuntes/a\\_practico/Cap%205%20Pco.pdf](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/Cap%205%20Pco.pdf) >
- [2] L.C. Hinojosa. “*Tópicos selectos de fibra óptica*”. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Pachuca, HGO, México 2007.
- [3] “*¿Qué cable de fibra óptica es el óptimo para mi instalación?*”. Fibraopticahoy. (2013, Octubre 17). [En línea]. Disponible en:  
< <http://www.fibraopticahoy.com/que-cable-de-fibra-optica-es-el-optimo-para-mi-instalacion/> >
- [4] Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU. “*Tutorial de comunicaciones ópticas*”. (2013, Octubre 17). [En línea]. Disponible en:  
< [http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2\\_1\\_1.htm](http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_1_1.htm) >
- [5] Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU. “*Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales*”. (2013, Octubre 17). [En línea]. Disponible en:  
< <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/es> >
- [6] FiberHome. “*FiberHome Technologies*”. (2013, Octubre 17). [En línea]. Disponible en:
- [7] “*Shenzhen NXD Optical Communication Equipment Co*”. (2013, Octubre 17). [En línea]. Disponible en:  
< [http://es.made-in-china.com/co\\_nxdfiber/product\\_Gytc8s-Figure-8-Self-Supporting-Fiber-Optic-Cable\\_esneuryig.html](http://es.made-in-china.com/co_nxdfiber/product_Gytc8s-Figure-8-Self-Supporting-Fiber-Optic-Cable_esneuryig.html) >
- [8] “*ADSS de 12 fibras span 100 (mts)*”. Grupo Matel. (2013, Octubre 17). [En línea]. Disponible en:  
<[http://bestencable.com/product\\_info.php?cPath=66&products\\_id=145&osCsid=81525de425f7e2a1d48ed6aaffcf14f9](http://bestencable.com/product_info.php?cPath=66&products_id=145&osCsid=81525de425f7e2a1d48ed6aaffcf14f9) >
- [9] C. Castillo, S. Figueroa. “*Determinación de la demanda, dimensionamiento y diseño de una red de servicios de telecomunicaciones, mediante la tecnología de acceso FTTH en el cantón Gualaceo para la empresa CNT EP.*”. Universidad Politécnica Salesiana. Ingeniería Electrónica. Cuenca, Enero 2013.
- [10] “*La dispersión cromática en la fibra óptica*”. Fibra óptica. (2013, Octubre 17). [En línea]. Disponible en:  
< <http://lafibraoptica Peru.com/la-dispersion-cromatica-en-la-fibra-optica> >
- [11] O. M. Santa Cruz. “*Los cables de fibra*”. Capítulo 7. Universidad de Córdoba. (2013, Octubre 17). [En línea]. Disponible en:



- <<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PlantelExterior/IntroduFO3.pdf> >
- [12] “*La Fibra Óptica*”. Capítulo 3. (2013, Octubre 19). [En línea]. Disponible en: <<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11492/fichero/1VOLUMEN%252F3+LA+FIBRA+%C3%93PTICA.pdf> >
- [13] Huber + Suhner. “*Fiber Optic Connectors and Assemblies*”. Edición 2009. (2013, Octubre 16). [En línea]. Disponible en: <[http://www.fibernet.si/f/docs/KONEKTORJI\\_IN\\_SPOJNIKI/Connectors\\_Assemblies\\_cat\\_en.pdf](http://www.fibernet.si/f/docs/KONEKTORJI_IN_SPOJNIKI/Connectors_Assemblies_cat_en.pdf) >
- [14] CNT EP. “*Normas de diseño y construcción de redes de telecomunicaciones con fibra óptica*”. Gerencia de Ingeniería. Versión 1.0/Febrero del 2012.
- [15] E. Illescas. “*Estudio y diseño de una red GPON que provea de servicios de voz, video y datos para el sector de la carolina en el distrito metropolitano de Quito, para la CNT*”. Universidad Tecnología Israel. Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones. Quito, Noviembre 2012.
- [16] CNT EP. “*Normas de diseño y construcción de planta externa*”. Gerencia de Ingeniería. Versión 1.0/Febrero del 2012.
- [17] C. Soto. “*Elaboración de un manual de procedimientos para la presentación de proyectos de redes de fibra óptica en planta externa para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A.*”. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito, Enero del 2010.
- [18] Ing. D. Ulloa. “*TECNOLOGÍA FTTx*”. Colegio de Ingenieros y Tecnólogos. (2013, Octubre 20). [En línea]. Disponible en: <<http://www.asoelectronica.cr/wp-content/uploads/2012/09/Articulo-citec-denis-ulloa.pdf>>
- [19] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación UIT-T G.984.1. “*Redes Ópticas Pasivas con Capacidad de Gigabits: Características Generales*”.
- [20] Telnet. “*PON (Optical Passive Network)*”. Redes Inteligentes. (2013, Octubre 20). [En línea]. Disponible en: <<http://www.telnet-ri.es/soluciones/acceso-gpon-y-redes-ftth/pon-passive-optical-networks/> >
- [21] H. Acurio, J. Sangurima. “*Diseño de una Red GPON para la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.*”. Universidad Politécnica Sede Cuenca. Carrera de Ingeniería Electrónica. Cuenca, 2009.
- [22] D. Pabón. “*Diseño de una red de acceso GPON para proveer servicios triple play (TV, internet y telefonía) en el sector de la Carolina a través de la red del Grupo TV*”.

- Cable*". Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito, Enero de 2009.
- [23] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación UIT-T G.984.2. "*Redes Ópticas Pasivas con Capacidad de Gigabits: Especificación de la Capa Dependiente de los Medios*".
- [24] Telnet. "*Introducción a las redes PON*". Redes Inteligentes. (2013, Octubre 23). [En línea]. Disponible en:  
< <http://www.telnet-ri.es/soluciones/acceso-gpon-y-redes-ftth/la-solucion-gpon-doctor-a-la-interoperabilidad-gpon/> >
- [25] A. García. "*GPON, Introducción conceptos generales*". Versión 1.7/Noviembre del 2012. (2013, Octubre 23). [En línea]. Disponible en:  
< <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf> >
- [26] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación UIT-T G.984.3. "*Redes Ópticas Pasivas con Capacidad de Gigabits: Especificación de la Capa de Convergencia de Transmisión*".
- [27] CNT EP. "*Normativa de Fiscalización de la ODN*". Gerencia de Ingeniería. Versión 1.0/Noviembre del 2012.
- [28] Telnet. "*Problemática en el despliegue de redes GPON*". Redes Inteligentes. (2013, Octubre 24). [En línea]. Disponible en:  
< <http://www.telnet-ri.es/soluciones/acceso-gpon-y-redes-ftth/certificacion-de-instalaciones-de-redes-gpon/> >
- [29] Peralta Venegas María Belén, Sarmiento Pineda Andrea Paola. "Administración efectiva de las Juntas Parroquiales del cantón Loja caso de San Pedro de Vilcabamba y propuesta de asesoramiento financiero a la población de la parroquia". Universidad Técnica Particular de Loja. 2012 (2013, Octubre 27).
- [30] CNT EP. "*Normas de diseño de Planta Externa*". Gerencia Nacional Técnica. Versión 3.0/Abril del 2011.
- [31] CNT EP. "*Normativa de diseño de la ODN*". Gerencia Nacional Técnica. Versión 1.0/Noviembre del 2012.
- [32] CNT EP. "*Normas técnicas para dibujo georeferenciadas de redes de planta externa: canalización, redes telefónicas de cobre, enlaces de fibra óptica y redes GPON/FTTH*". Gerencia Nacional Técnica. Versión 4.0/Octubre del 2013.
- [33] CNT EP. "*Construcción de canalización telefónica*". Gerencia Nacional Técnica. Versión 1.0/Abril 2011.
- [34] Huawei. "*SmartAX MA5600T Series Product*". Productos. (2013, Noviembre 13). [En línea]. Disponible en:

- <[http://enterprise.huawei.com/en/products/network/access-network/olt/en\\_ma5600t.htm](http://enterprise.huawei.com/en/products/network/access-network/olt/en_ma5600t.htm)>
- [35] Motorola. “*GPON Optical Line Terminal, Motorola AXS2200*”. Data Sheet.
- [36] Huawei Technologies CO. “*HG8245 Home Gateway*”. Data Sheet.
- [37] Motorola. “*Motorola ONT1120GE*”. Data Sheet.
- [38] CNT EP. “*Arma Tu Paquete*”. (2013, Noviembre 03). [En línea]. Disponible en:  
<[http://www.cnt.gob.ec/cntwebregistro\\_empaquetados/paquetes\\_arm.php?txtTipoPaqu=T](http://www.cnt.gob.ec/cntwebregistro_empaquetados/paquetes_arm.php?txtTipoPaqu=T)>
- [39] Jefatura Comercial. CNT EP, Loja.
- [40] Plantilla Costo Beneficio. Fabián Castillo. Área Técnica. CNT EP, Loja.
- [41] N. Sapag Chain, R. Sapag Chain. “*Preparación y Evaluación de Proyectos*”. Quinta edición. Bogotá, Colombia. (2013, Octubre 17). [En línea]. Disponible en:  
<<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PlantelExterior/IntroduFO3.pdf>>
- [42] Banco Central del Ecuador. “*Tasas de Interés*”. (2013, Diciembre 1). [En línea]. Disponible en:  
<<http://www.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indexe.htm>>

## ANEXOS

## **ANEXO 1: ENCUESTA**

ENCUESTA REALIZADA A LOS HABITANTES DE LA LOCALIDAD DE  
VILCABAMBA

Distinguido Morador:

Por favor sírvase responder las siguientes preguntas con la mayor sinceridad posible las mismas que nos permitirán conocer el estado actual y los requerimientos del servicio de Telecomunicaciones en su localidad con el fin de brindar mejoras en los mismos. Por la gentileza en responder la misma, le anticipamos nuestros agradecimientos.

1. ¿Cuántas personas habitan su hogar?: \_\_\_\_\_
  
2. Del total de personas. ¿Cuántos de ellos están estudiando?: \_\_\_\_\_
  
3. ¿Con qué servicios de la siguiente lista usted cuenta en su hogar?
  - Telefonía Fija
  - Internet
  - Televisión pagada (CNT, DirecTV, TVCable, otros)
  
4. ¿De los servicios que seleccionó, a que empresa proveedora los contrata?
  - Telefonía Fija: \_\_\_\_\_
  - Internet: \_\_\_\_\_
  - Televisión pagada: \_\_\_\_\_
  
5. En caso de contar ya con algún servicio prestado por CNT EP, llenar los siguientes datos:
  - Número de teléfono: \_\_\_\_\_
  - Nombre del Abonado: \_\_\_\_\_
  - Dirección: \_\_\_\_\_
  
6. ¿Cuánto paga mensualmente por los servicios que cuenta en su hogar?
  - Telefonía Fija: \_\_\_\_\_ \$
  - Internet: \_\_\_\_\_ \$
  - Televisión pagada: \_\_\_\_\_ \$
  
  - Total: \_\_\_\_\_ \$
  
7. De no contar con alguno de los servicios mencionados anteriormente ¿Qué servicio de le gustaría tener y cuánto estaría dispuesto a pagar?

<input type="checkbox"/> Telefonía Fija	Precio: _____ \$
<input type="checkbox"/> Internet (Banda Ancha)	Precio: _____ \$
<input type="checkbox"/> Televisión pagada	Precio: _____ \$

8. ¿Le gustaría contar con los tres servicios a un único precio?

Si

No

9. ¿Estaría dispuesto a esperar 1 o 2 años para que este servicio se implemente en su localidad?

Si

No

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

Notas: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## **ANEXO 2: PLANOS DE RED DE DISPERSIÓN**

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**



### **ANEXO 3: PLANOS DE CANALIZACIÓN**

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

#### **ANEXO 4: PLANOS DE RED FEEDER**

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

## **ANEXO 5: PLANOS DE RED DE DISTRIBUCIÓN**

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

## **ANEXO 6: PLANOS DE ESQUEMÁTICO DE RED**

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

## **ANEXO 7: PLANTILLA DEL VOLÚMEN DE OBRA**

**NO SE PUEDE MOSTRAR DEBIDO A UN CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD FIRMADO ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA UTPL Y LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.**

**ANEXO 8: CERTIFICADO DE APROBACIÓN CNT EP LOJA**



Of. N° APLCNT-BVS-0034-2014  
Loja, 15 de Enero 2014

Ingeniero  
Jorge Luis Jaramillo  
**COORDINADOR ACADÉMICO DE TITULACIÓN DE INGENIERO  
EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA U.T.P.L**  
Ciudad.-

De mi consideración:

Considerando que la Corporación Nacional de Telecomunicaciones se encuentra desarrollando el tendido de Redes de Comunicaciones hasta el Domicilio del Cliente (arquitectura FTTH) con tecnología de Redes Ópticas Pasivas con capacidad de Gbits GPON, y atendiendo a la solicitud presentada por la Universidad Técnica Particular de Loja de fecha 29 de octubre del 2013 para realizar el trabajo de fin de titulación denominado "DISEÑO DE UNA RED GPON PARA LA LOCALIDAD DE VILCABAMBA", me permito comunicar que se desarrollaron los siguientes ítem:

- Levantamiento de Demanda Comercial-Encuesta de Datos
- Descripción de Diseño de Redes GPON a partir de la determinación de Demanda Comercial
- Normativas de Dibujo en formato AUTOCAD
- Determinación de Mano de Obra y Materiales
- Presupuesto Referencial
- Análisis Costo Beneficio

Adicional, como parte del trabajo se socializó los ítem antes descritos a las unidades: Técnica y Comercial de la CNT EP. Agencia Loja, los días 3 y 6 de enero del 2014; obteniendo comentarios favorables sobre este proyecto.

Por lo expuesto y considerando los informes presentados por el ingeniero Alexander Orna / Analista de Accesos Fijos de la Gerencia de Ingeniería GNTEC y Fabián Castillo/ Analista de Proyectos de la Agencia Provincial Loja, me permito comunicar que el trabajo de fin de titulación denominado "DISEÑO DE UNA RED GPON PARA LA LOCALIDAD DE VILCABAMBA" realizado por los señores **Enrique Israel Alulima Salazar** (C.I. 1105111536) y **César Augusto Paladines Bravo** (C.I. 1104967243) ha sido realizado cumpliendo los parámetros de Diseño de la CNT EP.

Sin otro particular, me suscribo

Atentamente,

Ing. Byron Salinas Salinas  
ADMINSTRADOR AGENCIA PROVINCIAL LOJA

BVS/Imm

