

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO POR FIBRA ÓPTICA PARA
LA LOCALIDAD DE SANTIAGO DE MACHACA PROVINCIA
JOSÉ MANUEL PANDO DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ
CON ARQUITECTURA FTTH**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE
LICENCIATURA EN INGENIERIA ELECTRÓNICA**

Postulante: Orlando Clemente Alejo.

Tutor: Ing. Iván Roger Cáceres Angulo.

**La Paz-Bolivia
2024**



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado a nuestro creador Dios.

A mi querido papá Juan y a mi mamá Margarita (†), por su colaboración, comprensión y apoyo incondicional en todo momento, ya que me enseñaron a afrontar las adversidades sin perder de vista mis sueños, manteniendo siempre la dignidad y la fortaleza. Ellos me han brindado todo lo que soy como persona, transmitiéndome sus valores y principios con amor sincero y sin esperar nada a cambio.

A mi amada Wara y a mis amigos, por su colaboración y valiosos consejos que me han ayudado a alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi gratitud a la Universidad Mayor de San Andrés por acogerme durante estos años.

Este proyecto, fruto de mucho esfuerzo y dedicación, no habría sido posible sin la colaboración desinteresada de todas las personas involucradas, a las cuales agradezco sinceramente.

Quiero reconocer especialmente a mis padres y hermanos, cuyo esfuerzo hizo posible este logro.

Expreso mi profundo agradecimiento al Ing. Iván Roger Caseres Angulo, mi docente tutor, y también al Ing, Ing. José Campero Bustillos, mi docente de 1040. por sus valiosos consejos y contribuciones académicas.

Reconozco también la labor de los docentes de la Facultad de Ingeniería y el apoyo brindado por amigos y compañeros durante mi carrera universitaria.

Afectuosamente,

Orlando Clemente Alejo

RESUMEN

El proyecto titulado "Diseño de una red de acceso por fibra óptica para la localidad de Santiago de Machaca, provincia José Manuel Pando, del departamento de La Paz, con arquitectura FTTH", busca mejorar la calidad y capacidad de conexión para satisfacer las demandas de ancho de banda actuales. Se enfoca en el diseño de una red con tecnologías pasivas para los residentes de Santiago de Machaca, centrándose en la tecnología GPON.

La demanda de mayor calidad en el servicio impulsa a las empresas a adoptar nuevas tecnologías para satisfacer las necesidades presentes y futuras.

En el país ya existen empresas que ofrecen servicios basados en fibra óptica, generando una competencia entre operadores por captar clientes cada vez más exigentes en cuanto a sus conexiones a Internet. Internet ha dejado de ser un lujo para convertirse en una necesidad básica, tanto para el trabajo como para la educación.

Actualmente, ENTEL Bolivia proporciona servicios de internet en varias ciudades importantes del país, pero la mayoría de sus redes de acceso aún son de cobre, lo que limita su alcance.

Este proyecto se centra en diseñar una red de acceso utilizando tecnología GPON para ENTEL Bolivia, específicamente en la localidad de Santiago de Machaca. Esta nueva alternativa permite superar las limitaciones de las redes de cobre y ampliar la cobertura para ofrecer servicios de Internet de alta calidad y gran capacidad a esta creciente población.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

1	CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Antecedentes generales.....	1
1.3	Situación actual	3
1.4	Descripción del problema	4
1.5	Objetivos.....	5
1.5.1	Objetivo general	5
1.5.2	Objetivos específicos.....	5
1.6	Justificación	5
1.6.1	Justificación académica.....	5
1.6.2	Justificación social	6
1.6.3	Justificación técnica	6
1.7	Límites y alcances del proyecto.....	6
1.7.1	Límites del proyecto.....	6
1.7.2	Alcances del proyecto	7
2	CAPÍTULO 2.- MARCO TEORICO	8
2.1	Fundamento teórico	8
2.1.1	Fundamentos de la fibra óptica	8
2.1.1.1	Espectro electromagnético.....	8
2.1.2	Características de la fibra óptica	9
2.1.2.1	Estructura de la fibra óptica.....	10
2.1.2.2	Clasificación de la fibra óptica	11
2.1.2.2.1	Fibra óptica monomodo o SM (Single Mode).....	11
2.1.2.2.2	Fibra óptica multimodo o MM (Multi Mode)	11
2.1.2.3	Ventajas de operación de la fibra óptica.....	12
2.1.2.4	Perdidas en los cables de la fibra óptica	13
2.1.2.5.1	Atenuación	14
2.1.2.5.6	Dispersión	14
2.1.2.5	Ventajas y desventajas de la fibra óptica	14
2.2	Redes de acceso FTTX.....	15
2.2.1	Red FTTH	15
2.2.2	Red FTTC	15
2.2.3	Red FTTB	15
2.2.4	Red FTTH	15
2.2.5	Fibra óptica como elemento pasivo en la red FTTH	16
2.2.6	Redes de acceso FTTH.....	18
2.2.7	Arquitectura general de una red FTTH	19
2.2.7.1	Arquitectura punto a punto	19
2.2.7.1.1	Arquitectura tipo árbol	19
2.2.8	Elementos pasivos de la red FTTH	20
2.2.8.1	Distribuidor de fibra óptica (ODF).....	20
2.2.8.2	Acoplamiento WDM para redes PON	21
2.2.8.3	Divisor óptico (Splitter).....	22
2.2.8.4	Empalmes ópticos.....	23
2.2.8.5	Conectores ópticos para fibra óptica.....	24
2.2.8.6	Cajas de empalme o muflas	26
2.2.8.7	Caja de distribución óptica (NAP).....	26
2.2.8.8	Roseta óptica	27

2.2.8.9	Ferretería para tendido aéreo	28
2.2.8.9.1	Ferretería de retención (Tipo terminal)	28
2.2.8.9.2	Malla preformada	28
2.2.8.9.3	Ferretería de suspensión de fibra (Tipo paso)	29
2.2.8.9.4	Cruceta de reserva	30
2.2.8.9.5	Cruce americano	30
2.2.9	Red de distribución óptica (ODN).....	31
2.2.9.1	Red feeder.....	31
2.2.9.2	Red de distribución.....	31
2.2.9.3	Red de dispersión	31
2.3	Redes ópticas pasivas	31
2.3.1	Red PON	32
2.3.2	Estándares de las redes ópticas pasivas (PON)	33
2.4	Redes GPON	33
2.4.1	Recomendaciones UIT-T G.984.X para redes GPON.....	34
2.4.1.1	Recomendaciones UIT-T G.984.1.....	34
2.4.1.2	Recomendaciones UIT-T G.984.2.....	34
2.4.1.3	Recomendaciones UIT-T G.984.3.....	35
2.4.1.4	Recomendaciones UIT-T G.984.4.....	36
2.4.1.5	Recomendaciones UIT-T G.984.5.....	36
2.4.2	Arquitectura y funcionalidad de la red GPON	36
2.4.2.1	Funcionalidad de la red GPON.....	37
2.4.3	Elementos activos de una red GPON	38
2.4.3.1	Terminal de línea óptica (OLT).....	38
2.4.3.2	Terminal de red óptica (ONT)	39
2.4.3.3	Unidad de red óptica (ONU)	39
2.4.3.4	Transmisión de video RF.....	39
2.4.3.5	Multiplexor WDM.....	40
2.4.4	Planificación y diseño de una red FTTH.....	40
2.4.4.1	Planificación de la red	40
2.4.4.2	Análisis geográfico y demográfico de la zona.....	41
2.4.4.2.1	Estudio sociocultural - estadístico	41
2.4.4.2.2	Geografía y características constructivas de la zona	41
2.4.4.2.3	Análisis de los datos obtenidos.....	42
2.4.4.2.4	Permisos	43
2.4.5	Criterios de diseño para redes FTTH.....	44
2.4.5.1	Áreas con densidad elevada de viviendas multifamiliar.....	44
2.4.5.2	Áreas rurales de escasa población	44
2.5	Pruebas de certificación.....	45
2.5.1	Instrumentos de prueba básicos.....	45
2.5.1.1	Medidor de potencia óptica	45
2.5.1.2	Reflectómetro óptico en dominio de tiempo (OTDR)	46
2.5.1.3	Localizador visual de fallas (VFL)	47
2.5.2	Pruebas de red FTTH	48
3	CAPÍTULO 3.- INGENIERIA DEL PROYECTO	49
3.1	Estado de situación del internet en Bolivia.....	49
3.2	Situación actual en ENTEL S.A.	52
3.2.1	Cobertura de ENTEL S.A.	52
3.3	Descripción general del escenario	55
3.3.1	Ubicación geográfica.....	55
3.3.2	Longitud y latitud	56
3.3.3	Extensión territorial.....	57

3.3.4	Límites territoriales	59
3.3.5	Demografía.....	59
3.3.6	Vivienda	60
3.3.7	Transportes y comunicaciones	60
3.3.7.1	Red vial.....	60
3.3.7.2	Red de comunicación	61
3.3.8	Fuentes y usos de energía.....	62
3.3.9	Situación socioeconómica	62
3.4	Estimación de poblaciones futuras	62
3.4.1	Método geométrico	63
3.5	Análisis de mercado y proyección de demanda.....	64
3.5.1	Valoración de la demanda mediante encuestas	64
3.6	Conexiones del servicio de Internet en la localidad de Santiago de Machaca	65
3.7	Dimensionamiento del tráfico para el proyecto	67
3.7.1	Capacidad para un usuario residencial	67
3.7.2	Estimación del ancho de banda por usuario	68
3.7.3	Dimensionamiento de la capacidad de la red a cinco años.....	68
3.7.4	Competencia y oferta de mercado	69
3.8	Área a cubrir con GPON/FTTH	70
3.9	Diseño de la red GPON/FTTH	70
3.9.1	Ubicación y características de la OLT.....	72
3.9.2	Características de la OLT ZTE ZX A10 C320	73
3.9.3	Optical Distribution Frame (ODF)	74
3.9.4	Selección del cable de fibra óptica	75
3.9.5	Elección y disposición de los divisores	77
3.9.6	Cantidad de splitters a usar.....	77
3.9.7	Ubicación de los splitters primarios	78
3.9.8	Distribución del servicio a los usuarios.....	83
3.9.9	ONU ZXHN F660.....	84
3.9.10	Planta externa de la red GPON diseñada	85
3.10	Calculo de pérdidas en la red GPON	93
3.10.1	Atenuación de la fibra óptica	96
3.10.2	Atenuación por splitters	96
3.10.3	Atenuación por conectores.....	96
3.10.4	Atenuación por empalmes.....	97
3.10.5	Márgenes de seguridad	97
3.10.6	Márgenes de pérdidas para el usuario más lejano	97
3.10.7	Clase de la red GPON.....	99
3.10.8	Clase de la red GPON.....	99
4	CAPÍTULO 4.- ANALISIS DE COSTOS	101
4.1	Introducción.....	101
4.2	Costo referencial del proyecto	101
4.2.1	Consideraciones en la etapa de diseño	101
4.2.2	Costo preliminar	101
4.2.3	Costo de equipos y materiales a utilizar	102
4.2.4	Costo de trabajos en el nodo	103
4.2.5	Costo de instalación de fibra óptica	103
4.2.6	Costos de servicios de instalación	104
4.2.7	Costos totales de la red GPON	104
4.3	Estimación de ingresos	105
4.4	Estimación de egresos	106
4.5	Análisis de rentabilidad y factibilidad	107

4.6	TMAR (Taza Minina Aceptable de Rendimiento)	107
4.7	VAN (Valor Actual Neto)	108
4.8	R/C (Relacion Beneficio Costo)	109
4.9	Relación costo beneficio	110
4.10	PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión).....	111
5	CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES.....	113
5.1	Conclusiones.....	113
5.2	Recomendaciones	114
6	Bibliografía.....	115
7	Anexos.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ruta hacia Santiago de Machaca.....	4
Figura 1.2 Ruta 43 a Santiago de Machaca.....	4
Figura 2.1. Espectro electromagnético	9
Figura 2.2. Estructura de la fibra óptica	10
Figura 2.6 Propagación de la luz en la fibra óptica monomodo.....	11
Figura 2.7 Propagación de la luz en la fibra óptica multimodo índice escalonado	12
Figura 2.8 Propagación de la luz en la fibra óptica multimodo índice gradual.....	12
Figura 2.9 Ventanas de operación de la fibra óptica.....	13
Figura 2.13 Tipos de redes FTTx	16
Figura 2.14 Estructura y características de cable de fibra óptica	17
Figura 2.15 Red general FTTH	18
Figura 2.16 Arquitectura punto a punto	19
Figura 2.17 Arquitectura tipo árbol	20
Figura 2.20 Distribuidor de fibra óptica (ODF)	21
Figura 2.21 Concepto de multiplexación por división de longitud de onda (WDM).....	22
Figura 2.22 Splitter de tecnología PLC y su estructura	22
Figura 2.23 Cajas de empalme o muflas.....	26
Figura 2.24 Caja de distribución NAP	27
Figura 2.25 Roseta óptica.....	27
Figura 2.26 Ferretería de retención de fibra tipo terminal	28
Figura 2.27 Malla preformada para agarre de cable óptico	29
Figura 2.28 Ferretería tipo paso para tendido óptico	29
Figura 2.29 Cruceta para reserva de vanos de cable óptico ADSS.....	30
Figura 2.30 Cruce americano para tendido óptico.....	30
Figura 2.31. Arquitectura típica de una red óptica pasiva	32
Figura 2.32. Arquitectura general de la red GPON	37
Figura 2.33. Despliegue aéreo de la red de fibra óptica	45
Figura 2.35. Power meter para redes FTTH.....	46
Figura 2.36. Traza representativa de potencia óptica reflejada y retro dispersada	47
Figura. 3.10 Evolución de conexiones del Servicio de Acceso a Internet - segundo semestre 2020	50

Tabla 3.2 Conexiones por tecnología de acceso de 2019 al segundo semestre de 2020	50
Figura. 3.10 Conexiones por departamento – segundo semestre 2020	51
Figura 3.1. Anillo óptico nacional de fibra óptica	53
Figura 3.2. Fibra óptica red fundamental de Bolivia	54
Figura. 3.3 Localización de Santiago de Machaca en La Paz.....	56
Figura. 3.4 Santiago de Machaca según coordenadas.....	57
Figura. 3.5 Población por grupos etarios del municipio de Santiago de Machaca.....	58
Figura. 3.6 Distribución por grupos etarios.....	58
Figura. 3.7 Distribución poblacional de la provincia José Manuel Pando.....	59
Figura. 3.8 Estación base situado en la localidad Santiago de Machaca por parte de la empresa de Telecomunicaciones ENTEL S.A.....	61
Figura. 3.9 Disponibilidad de energía eléctrica en la localidad de Santiago de Machaca	62
Figura. 3.10 Porcentaje de interesados por zona en el área de cobertura.....	64
Figura. 3.11 Topología tipo árbol de una red GPON	71
Figura. 3.12 Ubicación de la OLT en el corazón de Santiago de Machaca	72
Figura. 3.13 OLT ZTE ZX10 C320.....	73
Figura. 3.14 Distribuidor de fibra óptica (ODF)	74
Figura. 3.15 Esquema de cables de fibra óptica	77
Figura. 3.16 Longitud del hexágono desde el centro hasta un vértice	79
Figura. 3.17 Distribución de Naps primarias y secundarias	80
Figura. 3.18 Área a cubrir dividido por sectores.....	81
Figura. 3.19 Ubicación de los splitters primarios y secundarios de la Troncal 1 y 2	83
Figura. 3.20 ONU ZXHN F660.....	84
Figura. 3.21 Rutas troncales y la postacion para los 8 sectores.....	87
Figura. 3.22 Troncal 1 y la postacion a utilizar	87
Figura. 3.23 Troncal 2 y la postacion a utilizar	88
Figura. 3.24 Troncal 1, ramificaciones y la postacion a utilizar	88
Figura. 3.25 Troncal 2, ramificaciones y la postacion a utilizar	89
Figura. 3.26 Troncal 1, diagrama de conexiones para los splitters primarios y secundarios	
90	
Figura. 3.28 Red final con valores de ancho de banda.....	92
Figura. 3.28 Diagrama de empalmes o conectores de la red GPON	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tabla Resumen la tecnología GPON	2
Tabla 2.1. Espectro óptico en telecomunicaciones.....	13
Tabla 2.2. Espectro óptico en telecomunicaciones.....	14
Tabla.2.3. Fibra óptica estándar e identificación de color de tubo holgado de 12 hilos	17
Tabla.2.4 Atenuación de splitter's	23
Tabla.2.5 Características de conectores ópticos típicos	25
Tabla.2.6. Comparativa entre los estándares BPON, GPON, EPON.....	33
Tabla.2.7. Resumen de características más importantes de la recomendación UIT.....	34
Tabla.2.8. Rango de pérdidas de las clases en GPON	35
Tabla. 3.1 Interesados en el servicio de banda ancha	64
Tabla. 3.2 Estimacion de la poblacion y viviendas por el metodo geometrico para el 2024 .	65
Tabla. 3.3 Numero de viviendas según Censo 2012.....	65
Tabla. 3.4 Conexiones estimadas en Santiago de Machaca	66
Tabla. 3.5 Capacidad de servicio para usuarios residenciales	67
Tabla. 3.6 Dimensionamiento de la capacidad de la red a 5 años	69
Tabla. 3.7 Estimacion de la capacidad por puerto PON.....	69
Tabla. 3.8 Comparacion entre cables OPGW, ADSS y FIGURA EN 8	76
Tabla. 3.9 Atenuación de divisores opticos por numero de divisiones	77
Tabla. 3.10 Distancia desde la OLT a los splitters primarios.....	81
Tabla. 3.11 Distancia del splitter primario a los splitters secundarios.....	82
Tabla. 3.12 Parametros de la ONU ZAXHN.....	85
Tabla. 3.13 Ferrería para el tendido de aereo de fibra optica.....	92
Tabla. 3.14 Elementos de ferreteria para el tendido aereo de fibra optica	93
Tabla. 4.1 Resumen del analisis en el capitulo 3.....	94
Tabla. 4.2 Resumen del analisis en el capitulo 3.....	95
Tabla. 3.15 Perdidas por splitter.....	96
Tabla. 3.16 Empalmes por fusion.....	97
Tabla. 3.17 Distancia al usuario mas alejado añadiendo una holgura del 20%	97
Tabla. 3.18 Distancia al usuario mas alejado añadiendo 200m de acometida	98
Tabla. 3.19 Presupuesto optico para el usuario mas lejano a 1310m	98

Tabla. 3.20 Presupuesto optico para el usuario mas lejano a 1490m	98
Tabla. 3.21 Clases de redes GPON.....	99
Tabla. 4.3 Costos preliminares	102
Tabla. 4.4 Costos de equipos y materiales a utilizar	102
Tabla. 4.5 Costos de trabajo en el nodo.....	103
Tabla. 4.6 Costos de instalación	103
Tabla. 4.7 Costos de servicio de instalación	104
Tabla. 4.7 Costos total de la red GPON.....	104
Tabla. 4.8 Estimacion de ingresos	105
Tabla. 4.9 Estimacion de egresos.....	106
Tabla. 4.10 Flujo de fondos para un periodo de 5 años	110

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

- ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line (Línea de Abonado Digital Asimétrica).
- ADSS: All Dielectric Self Supported (Completamente Dielectrico y Autosoportado).
- AES: Advanced Encryption Standard (Estandar de Cifrado Avanzado).
- APON: ATM Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva sobre ATM).
- ATM: Asynchronous Transfer Mode (Modo de Transmisión Asíncrono).
- ATT: Autoridad de Fiscalización y Control Social de Telecomunicaciones y Transportes.
- B/C: Relación Beneficio Costo.
- Backbone: Principales conexiones troncales de internet por medio de cables de fibra óptica.
- BPON: Broadband Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva de Banda Ancha).
- DBA: Dynamic Bandwidth Allocation (Asignación Dinámica de Ancho de Banda).
- DSLAM: Digital Subscriber Line Access Multiplexer (Multiplexor de Acceso de Línea de Abonado Digital).
- DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing, Multiplexado Denso por División en Longitudes de Onda.
- EPON: Ethernet Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva de Ethernet).
- FCC: Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones).
- FSAN: Full Service Access Network (Red de Acceso de Servicio Completo).
- FTTB: Fiber To The Building (Fibra hasta la Acometida Edificio).
- FTTC: Fiber To The Cabinet o Fiber To The Curb (Fibra hasta el Gabinete).
- FTTH: Fiber To The Home (Fibra hasta el Hogar).
- FTTN: Fiber To The Node (Fibra hasta el Nodo).
- FTTX: Fiber To The x (Fibra hasta la/el x simboliza los distintos puntos de terminación de la red de fibra).
- GEM: GPON Encapsulation Method.
- GPON: Gigabit Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit).
- IEEE: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica).
- INE: Instituto Nacional de Estadística.
- IP: Internet Protocol.

IPTV: Internet Protocol Television (Televisión por Protocolo de Internet).

IT: Impuesto a las Transacciones.

ITU: International Telecommunications Union (Union Internacional de Telecomunicaciones).

IVA: Impuesto al Valor Agregado.

LAN: Local Area Network (Red de Área Local).

MAC: Media Access Control (Control de Acceso al Medio).

NAP: Network Access Point (Punto de Acceso a la Red).

OAM: Operation Administration and Maintenance (Operación de Administración y Mantenimiento).

ODF: Optical Distribution Frame (Panel de Distribución de Fibra Óptica).

ODN: Optical Distribution Network (Red de Distribucion Optica).

OLT: Optical Line Terminal (Terminacion de Linea Optica).

ONT: Optical Networking Terminal (Punto de Terminacion Optico).

ONU: Optical Network Unit (Unidad de Red Optica).

OPGW: Optical Power Ground Wire (Cable de Guarda con Fibra Optica).

P2P: Peer to Peer (Red entre Pares).

PON: Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva).

PRI: Periodo de Retorno de Inversión.

QoS: Quality of Service (Calidad del servicio).

ISDN: Integrated Services Digital Network (Red Digital de Servicios Integrados).

SBA: Static Bandwidth Allocation (Asignación de Ancho de Banda Estática).

SDH: Synchronous Digital Hierarchy (Jerarquía Digital Síncrona).

SNMP: Simple Network Management Protocol (Protocolo Simple de Manejo de Red).

SONET: Synchronous Optical Network (Red Óptica Sincrónica).

TDM: Time Division Multiplexing (Multiplexación por División en Tiempo).

TDMA: Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División en Tiempo).

TIA: Telecommunications Industry Association (Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones).

TMAR: Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento.

USD: United States Dollars (Dólar de Estados Unidos).

VAN: Valor Actual Neto.

VDSL: Very high-bit-rate Digital Subscriber Line (Línea de Abonado Digital de muy Alta Transferencia).

VPL: Virtual Private Line (Líneas Privadas Virtuales).

VOD: Video on Demand (Videos bajo Demanda).

VoIP: Voice over IP (Voz sobre el Protocolo IP).

WDM: Wavelength Division Multiplexing (Multiplexación por División de Longitud de Onda).

Wi-Fi: Wireless Fidelity.

xDSL: x Digital Subscriber Line (x “simboliza un grupo de tecnologías de la comunicación que utiliza las líneas telefónicas” Línea de Abonado Digital).

XGPON: Ten-Gigabit-Capable Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva con Capacidad de 10 Gigabit/segundo).

1 CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

1.1 Introducción

Las nuevas autopistas digitales en el área de las telecomunicaciones han sido clave en los últimos años. Han mejorado la comunicación para la educación y el trabajo, convirtiéndose en un servicio esencial en nuestra vida diaria.

El internet es una herramienta muy útil para tareas académicas y también para realizar gestiones como pagar servicios o recibir atención al cliente, sin necesidad de hacer largas filas desde la comodidad del hogar. Hoy en día, muchas empresas ofrecen trabajos remotos desde casa, permitiendo generar ingresos con solo tener acceso a internet. Los beneficios del internet son notables, tanto para adultos como para jóvenes, siendo parte fundamental de nuestra rutina diaria. Sin embargo, es importante destacar las diferencias entre la conexión por cable tradicional y la fibra óptica.

Los cables coaxiales transportan datos mediante señales eléctricas, siendo inmunes a interferencias electromagnéticas, pero más susceptibles a atenuaciones de señal por pérdida en el cable. Por otro lado, la fibra óptica es superior en velocidad y transferencia de datos, con líneas más delgadas, rápidas y duraderas. Además, no conduce electricidad, evitando interferencias durante tormentas.

En este contexto, se propone diseñar una red óptica pasiva (GPON) que entregue señales por fibra óptica al hogar, utilizando una arquitectura punto a multipunto en la localidad de Santiago de Machaca. Esta opción reduce costos y satisface las necesidades de los pobladores.

1.2 Antecedentes generales

El presente proyecto de grado tiene como idea base llevar la señal GPON a una de las localidades de la ciudad de La Paz. Santiago de Machaca que es un municipio con una población estimada de 4593 habitantes según el censo del INE de 2012. Se ubica en la primera sección de la Provincia José Manuel Pando y hasta la fecha cuenta con seis cantones: Santiago de Machaca, Berenguela, Villa Exaltación, General José Ballivián, Bautista Saavedra y Santiago de Huaripujo.

Para tal propósito, tenemos que analizar las ventajas y la estructura de GPON para llevar internet a los domicilios de Santiago de Machaca. Entre los aspectos más relevantes de GPON están:

- **Ancho de banda y distancia.** El medio óptico permite superar los límites de ancho de banda y distancia existentes en las tecnologías xDSL.
- **Economía.** Usar un puerto en la OLT para muchos usuarios además de la posibilidad de suprimir la red de par telefónico y cable coaxial.
- **Calidad de servicio.** GPON dispone de un modelo de QoS que garantiza el ancho de banda necesario para servicio y usuario.
- **Seguridad.** La información en la fibra óptica viaja cifrada en AES.
- **Operación y mantenimiento.** GPON cuenta con un modelo de gestión que facilita al operador la administración remota de los equipos de usuario.
- Las Redes GPON se componen de diferentes equipos para llevar una conexión a la red y a Internet a través de fibra óptica y a continuación los equipos con los que se trabaja cuando se habla de GPON.

GPON (Red Óptica pasiva con capacidad de Gigabit)							
ODN (Red de distribución óptica)	Terminación de red óptica		Divisores	OLT (Terminal de línea óptica)	WDM (Multiplexación por división de longitud de onda)	GEM (Método de encapsulación GEM-PON)	FTTX (Fibra a la X)
Son dispositivos físicos de fibra óptica que distribuyen señales a los usuarios en una red de telecomunicaciones.	ONT (Terminal de nodo óptico)	ONU (Unidades de red óptica)	Se utilizan para agregar o multiplexar señales de fibra óptica.	Dispositivo que agrega todas las señales ópticas de los ONT en un solo haz de luz multiplexado que luego convierte en una señal eléctrica.	Tecnología que multiplexa varias señales portadoras ópticas en una sola fibra óptica utilizando diferentes longitudes de onda de luz láser.	Esquema de transporte de tramas de datos utilizado en sistemas de GPON orientado a la conexión y que admite la fragmentación de las tramas de datos del usuario en fragmentos de transmisión de tamaño variable.	Es una generalización para varias configuraciones de implementación de fibra óptica.
	Son equipos que se instalan en los usuarios finales para conectar a la red GPON la cual proporciona la conversión de la señal óptica a eléctrica.						

Tabla 1.1 Tabla Resumen la tecnología GPON

Fuente: Elaboración propia en base a la información de (Keiser, 2006)

1.3 Situación actual

La educación es uno de los factores más influyentes en el avance y progreso de una región. Además de proporcionar conocimientos, la educación enriquece la cultura y los valores que nos caracterizan como bolivianos. Con este objetivo en mente, el internet se convierte en uno de los principales impulsores para favorecer el crecimiento de una región. De esta manera, se pueden generar empleos y ofrecer educación superior de manera virtual, abriendo paso a la construcción de grandes proyectos en un municipio.

El internet desempeña un papel fundamental en la recuperación económica post COVID-19. Por lo tanto, la transformación digital se vuelve crucial para maximizar los beneficios en la localidad de Santiago de Machaca, permitiendo que la región tenga una mayor capacidad de adaptación ante los desafíos de los años venideros.

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar el servicio de internet hasta los hogares mediante fibra óptica, utilizando la tecnología GPON y una arquitectura FTTH en la localidad de Santiago de Machaca, capital de la provincia José Manuel Pando, con una población estimada de 4593 habitantes según el censo del INE de 2012. Esto contribuirá al crecimiento del municipio como región y al desarrollo general de la comunidad.

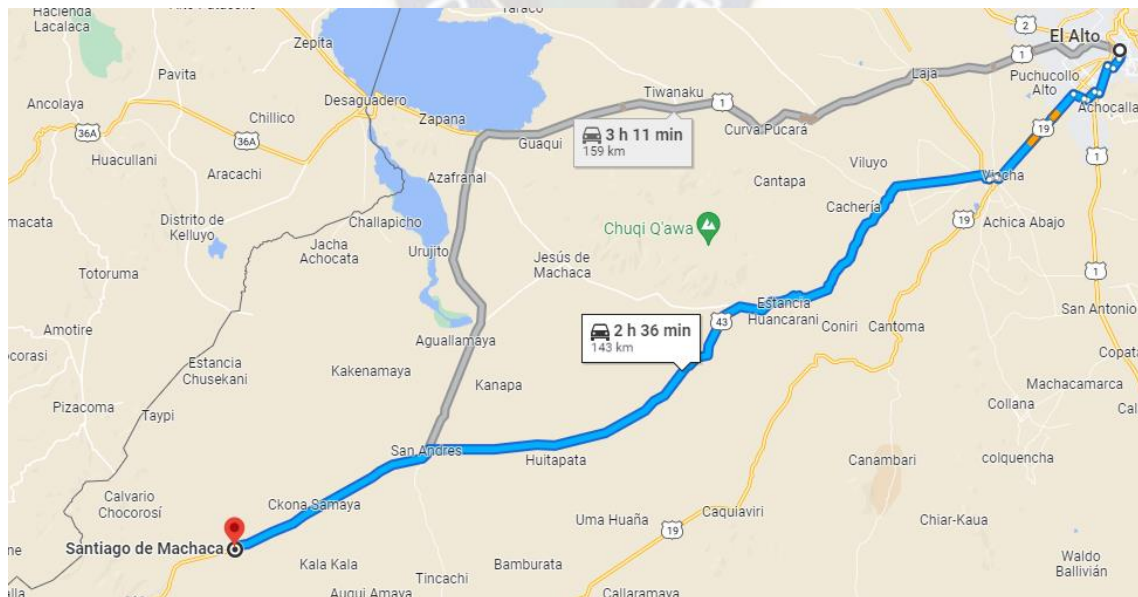


Figura 1.1 Ruta hacia Santiago de Machaca

Fuente: Elaboración propia

La ruta más corta para llegar a Santiago de Machaca es la ruta 43 desde la ciudad de El Alto, con un tiempo aproximado de viaje de 2 horas con 36 minutos, y una distancia estimada de 143 km.



Figura 1.2 Ruta 43 a Santiago de Machaca

Fuente: Elaboración propia

1.4 Descripción del problema

A medida que la sociedad avanza hacia la digitalización, muchas personas se ven limitadas en su capacidad para cursar estudios y acceder a cursos debido a la falta de conectividad a internet confiable. Esta situación no solo afecta el desarrollo personal y profesional de los individuos, sino que también tiene un impacto negativo en el progreso económico y social de la comunidad en su conjunto. Es esencial reconocer que la tecnología ha revolucionado la forma en que aprendemos, brindando oportunidades educativas más allá de los límites físicos de las aulas tradicionales. Sin embargo, para aprovechar al máximo estas oportunidades, es necesario garantizar que cada hogar tenga acceso a una conexión de internet de calidad. Por lo tanto, el desarrollo de una infraestructura

de internet confiable se presenta como una necesidad urgente para abordar este problema y garantizar que todos los miembros de la comunidad tengan igualdad de oportunidades en materia educativa.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseño de Red de acceso por Fibra Óptica para la localidad de Santiago de Machaca provincia José Manuel Pando para servicios de banda ancha usando la tecnología GPON con arquitectura FTTX.

1.5.2 Objetivos específicos

- ✓ Estudio de mercado en la localidad de Santiago de Machaca para la viabilidad económica del Proyecto.
- ✓ Diseñar y trazar los procedimientos de diseño para la ODN en la localidad Santiago de Machaca.
- ✓ Estudio y Diseño de la interconexión a la conexión a la red, materiales y componentes necesarios para desplegar la infraestructura en la red de acceso.
- ✓ Estudio y análisis de fabricantes respecto a los equipos GPON en los nodos y CPEs de clientes.
- ✓ Evaluar el presupuesto de pérdida óptica de la red de acceso.
- ✓ Analizar la valoración económica del proyecto completo detallado por partes.

1.6 Justificación

Para el presente proyecto, se da a conocer las siguientes justificaciones:

1.6.1 Justificación académica

La justificación académica de nuestro proyecto radica en la necesidad de mejorar el acceso a la educación y otros servicios esenciales en áreas donde la conectividad a internet no es confiable.

En la actualidad, un número significativo de personas se encuentran limitadas en su capacidad para realizar estudios y acceder a cursos debido a la falta de una conexión de calidad. Esta situación no solo afecta el desarrollo personal y profesional de los individuos, sino que también tiene un impacto negativo en el progreso económico y social de la comunidad en su conjunto.

1.6.2 Justificación social

La creciente demanda de numerosos municipios por acceder a una variedad de servicios de comunicación ha impulsado a varias empresas de telecomunicaciones a expandir sus redes de acceso. Gracias al progreso tecnológico actual, es factible colaborar con estas empresas en Bolivia para diseñar redes de acceso. Empresas equipadas con tecnología y personal especializado en redes de fibra óptica pueden materializar un diseño en la realidad.

1.6.3 Justificación técnica

Para el presente proyecto, se llevará a cabo una colaboración con empresas especializadas en ferreterías de sujeción, lo que requerirá la consulta de distintas compañías del rubro. En Bolivia, contamos con numerosas empresas certificadas en la comercialización de una amplia gama de materiales de fibra óptica, lo que nos permite realizar una estimación inicial de costos y tener una comprensión clara de qué y cuánto se necesitará. Esto nos posibilitará elaborar un presupuesto y obtener cotizaciones de los materiales requeridos, además de identificar una lista de potenciales proveedores. Posteriormente, procederemos a revisar las especificaciones del producto para asegurarnos de que cumplan con las necesidades del proyecto.

1.7 Límites y alcances del proyecto

1.7.1 Límites del proyecto

- El diseño del proyecto no se extenderá en áreas fuera de la localidad de Santiago de Machaca.
- El presente proyecto de estudio se realizará únicamente de manera teórica y no así su etapa de ejecución e implementación del mismo.

- El diseño del proyecto se realizará en base al proveedor ENTEL S.A., una empresa estatal boliviana de telecomunicaciones con sede en La Paz, por lo que se trabajará en base a su red de transporte de ENTEL S.A.

1.7.2 Alcances del proyecto

- El diseño del proyecto solo se realizará en la ciudad de La Paz, dentro de la localidad Santiago de Machaca de la provincia José Manuel Pando de manera teórica.
- Se establecerán los criterios para la ejecución de cada uno de los subprocesos y sus resultados.
- Se determinará la viabilidad del proyecto, su rentabilidad, sus ventajas, y su monto de inversión.
- Se validará la metodología desarrollada a través del presupuesto óptico.

2 CAPÍTULO 2.- MARCO TEORICO

2.1 Fundamento teórico

2.1.1 Fundamentos de la fibra óptica

A lo largo de este capítulo se desarrollarán aspectos elementales de una red de fibra óptica y los elementos pasivos y activos que participan en ella.

El principal foco de estudio será la fibra óptica, sobre la cual se especificarán los demás elementos clave para una red de comunicaciones ópticas.

En los sistemas tradicionales de comunicación, la información es transmitida mediante señales electromagnéticas; sin embargo, con el paso de los años y el incremento de nuevos usuarios y tecnologías, la fibra óptica y el uso de la luz como portadora de información han recibido una atención especial debido a las grandes ventajas que ofrecen en comparación con otros medios.

2.1.1.1 Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es el conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan de manera ondulatoria y a una velocidad constante de 3×10^8 m/s. Su longitud de onda se extiende desde las más cortas, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud, como las ondas de radio. (Fonrouge, 2016)

El espectro de frecuencias relacionado con la región de las comunicaciones ópticas abarca tres bandas generales:

- ❖ Infrarroja: Esta radiación electromagnética, invisible para nuestros ojos, tiene longitudes de onda que van desde 760 hasta 780 nm.
- ❖ Visible: Estas longitudes de onda de luz son perceptibles por el ojo humano y van desde los 400 nm (azul) hasta los 700 nm (rojo).

- ❖ Ultravioleta: Compuesta por longitudes de onda más cortas que la luz visible, su rango abarca desde los 320 hasta los 400 nm.

Este amplio espectro electromagnético, con sus distintas bandas de frecuencia, juega un papel esencial en diversas aplicaciones tecnológicas y científicas, desde las comunicaciones ópticas hasta la medicina y la exploración espacial. Su comprensión y manipulación son fundamentales para el desarrollo de tecnologías avanzadas en nuestra sociedad.

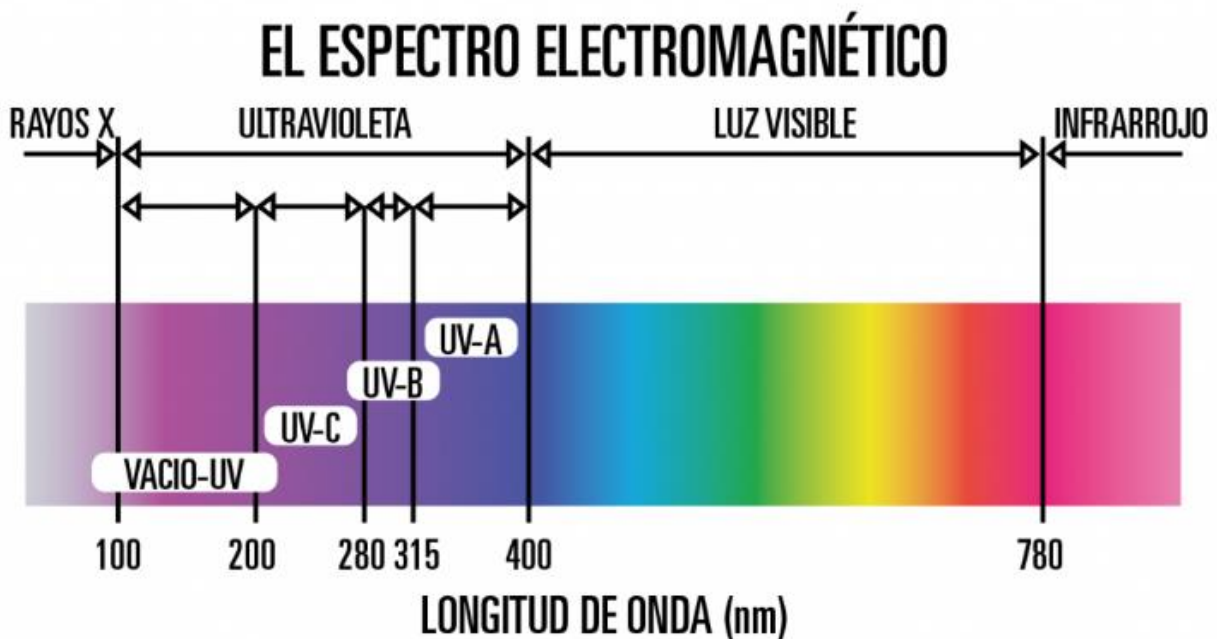


Figura 2.1. Espectro electromagnético
Fuente: A. Halma Company

2.1.2 Características de la fibra óptica

La fibra óptica es un elemento fundamental en la transmisión de información, por donde se envían pulsos de luz, confinado y propagado por el interior de la fibra; compuesto de un núcleo, un revestimiento y una cubierta de plástico resistente.

El núcleo y el revestimiento se diferencian por los dopantes que se agregan, lo que permite que tengan diferentes índices de refracción. En cuanto al diámetro del núcleo este puede ser entre 8 y 9 μm para el caso de la fibra monomodo y de 50 y 62.5 μm en fibras multimodo.

2.1.2.1 Estructura de la fibra óptica

La fibra óptica posee las siguientes características:

- ❖ **Núcleo:** Formado de cristal de silicio de distintas composiciones, el cual tiene una refracción superior a la del manto o revestimiento cuya característica permite que los rayos de luz viajen a través de este medio.
- ❖ **Revestimiento o manto:** Recubierto por un material de similares características que el núcleo, pero con un índice de refracción menor, típicamente de vidrio de este modo los rayos de luz se reflejan al interior de él, evitando así pérdida de información.
- ❖ **Revestimiento de protección (Búfer):** El revestimiento a las dos estructuras de la fibra mencionadas, está formado de un material de polietileno que permite aislar las fibras que están adyacentes en la chaqueta exterior.
- ❖ **Material de refuerzo:** Se utilizan como refuerzos a la tracción del cable de fibra óptica.
- ❖ **Envoltura:** Formado generalmente de polietileno, recubre todos los componentes de la fibra óptica, además impide que los rayos solares penetren en ella. Algunos cables llevan una capa de hilos Kevlar que permite al cable ser más rígido y brindar seguridad y protección.

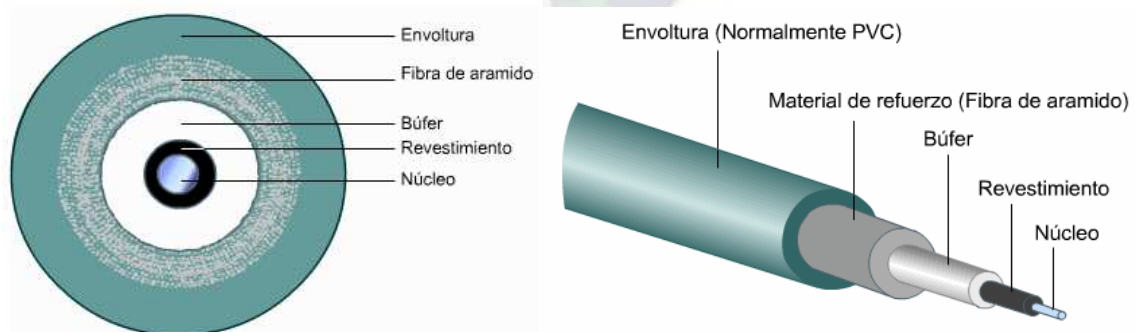


Figura 2.2. Estructura de la fibra óptica

Fuente: Cisco Networking Academy Program – Ing. Edsel Enrique Urueña

León

2.1.2.2 Clasificación de la fibra óptica

Dependiendo de la cantidad de rayos luminosos que se propaguen en la fibra óptica, esta puede ser monomodo o multimodo.

2.1.2.2.1 Fibra óptica monomodo o SM (Single Mode)

En esta clase de fibra, el pulso de luz se propaga en un solo modo, lo que significa que la luz viaja en paralelo al eje de la fibra. Esto se logra gracias a que el núcleo de la fibra es muy delgado y solo permite la propagación de un rayo de luz sin reflejos. El diámetro del núcleo puede ser de alrededor de 8 a 10 micrones, lo que permite alcanzar distancias de hasta 100 kilómetros utilizando un láser de alta intensidad. (Wirth, 2002)

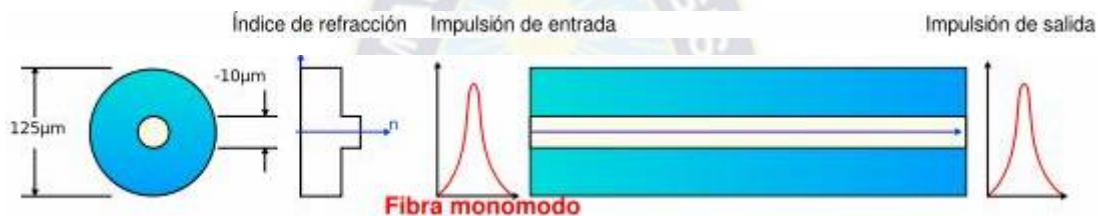


Figura 2.6 Propagación de la luz en la fibra óptica monomodo
Fuente: Wirth A. Fibras ópticas: Teoría e Práctica

2.1.2.2.2 Fibra óptica multimodo o MM (Multi Mode)

Es aquella en que la luz puede circular en más de un modo de propagación, los diámetros comunes de este tipo de fibra son 50/125 y 62.5 / 125 micras. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 o 2 km. (Wirth, 2002)

Existen dos tipos de fibra multimodo, el de índice escalonado y gradual.

- ❖ **Índice escalonado:** Este tipo de fibras permiten la propagación de varias ondas o modos a través de ella, lamentablemente también presenta un fenómeno denominado dispersión, es decir, que por los rebotes sucesivos sufren de una leve dispersión que termina en varios frentes de onda o trayectorias, donde en algunos casos no es posible distinguir fase ni frecuencia.



Figura 2.7 Propagación de la luz en la fibra óptica multimodo índice escalonado
Fuente: Wirth A. Fibras ópticas: Teoría e Práctica

- ❖ **Índice gradual:** se creó para mejorar el ancho de banda de la fibra. Las capas de vidrio de índice de refracción decreciente alejadas del centro del núcleo guían la luz en trayectos sinusoidales en donde viaja a mayor velocidad a medida que se aleja del centro del núcleo.



Figura 2.8 Propagación de la luz en la fibra óptica multimodo índice gradual
Fuente: Wirth A. Fibras ópticas: Teoría e Práctica

2.1.2.3 Ventajas de operación de la fibra óptica

En las comunicaciones mediante fibra óptica, se emplean longitudes de onda que oscilan entre los 800 y 1600 nm. Sin embargo, este rango no se utiliza en su totalidad debido a la alta atenuación en algunas zonas. Por esta razón, se prefieren las áreas de menor atenuación, conocidas como "ventanas", que se centran principalmente en longitudes de onda de 850 nm, 1300 nm y 1550 nm.

Las atenuaciones en los rangos intermedios muestran picos de resonancia aproximadamente en 1000 nm y 1400 nm, debido a impurezas de agua que no pueden eliminarse de la fibra. Las atenuaciones por debajo de los 820 nm se deben a la atenuación de Rayleigh, mientras que las atenuaciones por encima de los 1600 nm se atribuyen a la estructura cristalina y/o molecular del material.

Debido a los avances tecnológicos y al dopaje introducido en la estructura cristalina, en la actualidad la atenuación de la fibra comercial es de 0,23 dB/km. (Wirth, 2002)

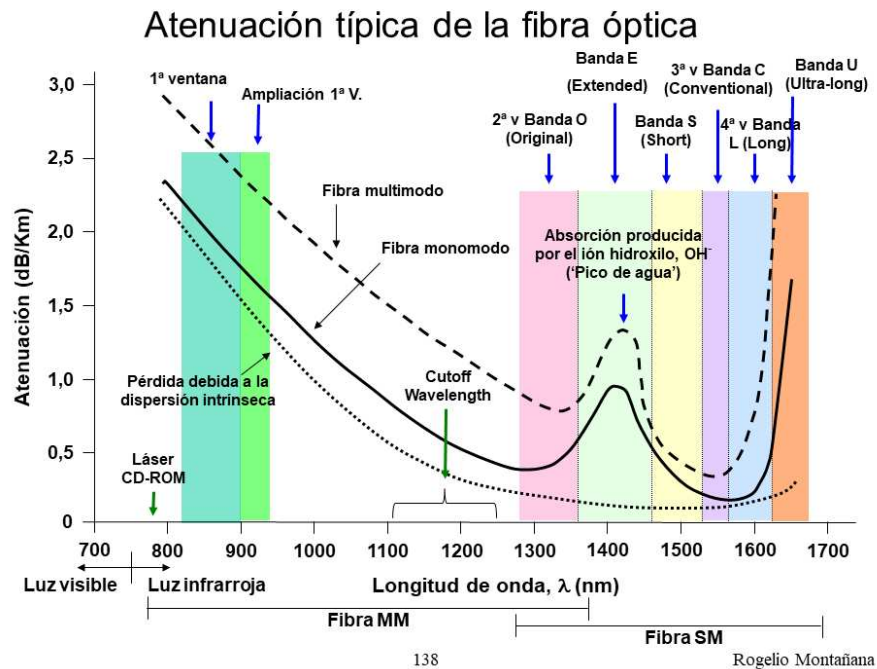


Figura 2.9 Ventanas de operación de la fibra óptica
Fuente: Rogelio Montana

VENTANA	RANGO [nm]	λ CENTRAL	ATENUACION [dB/Km]
Primera	800 a 900	850	2.5
Segunda	1250 a 1350	1310	0.83
Tercera	1500 a 1600	1550	0.25
Cuarta	1600 a 1660	1625	0.20

Tabla 2.1. Espectro óptico en telecomunicaciones
Fuente: Elaboración propia en base a Redes de Rogelio montana

2.1.2.4 Pérdidas en los cables de la fibra óptica

Existen muchos factores que podrían causar pérdida o atenuaciones en una red de fibra óptica, las cuales pueden ir desde el proceso de fabricación hasta los diversos usos a las que es sometida, a continuación, describiremos cada una de ellos.

2.1.2.5.1 Atenuación

La atenuación se refiere a la pérdida de potencia de la onda luminosa al atravesar el cable, lo que resulta en una reducción del ancho de banda y, por ende, en una disminución de la velocidad de transmisión. Sin embargo, la fibra óptica presenta una atenuación considerablemente menor en comparación con otros medios físicos de comunicación. Según varios autores y expertos en redes de fibra óptica, este medio tiene una atenuación promedio de aproximadamente 0,23 dB/Km para las fibras monomodo.

2.1.2.5.6 Dispersión

La dispersión es un fenómeno en el que un pulso de luz se ensancha durante la transmisión por la fibra, lo que puede provocar distorsiones en la información. Este efecto se intensifica en medios más extensos. En fibras monomodo, la dispersión aumenta gradualmente por encima de los 1310 nm, alcanzando aproximadamente 17 (ps/nm-Km) a los 1550 nm.

2.1.2.5 Ventajas y desventajas de la fibra óptica

La fibra óptica sobresale por su rápida velocidad, baja atenuación, inmunidad a interferencias electromagnéticas, tamaño compacto y capacidad excepcional para transportar información. Su uso está creciendo rápidamente debido a la demanda de ancho de banda. A continuación, se presenta una tabla que resumen:

FIBRA OPTICA	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mayor ancho de banda y transmisión	Conversión electro/óptica más costosa
Inmunidad a interferencia estática y electromagnética	Mayor costo de mantenimiento y reparación
Resistente al medio ambiente	Fragilidad de los hilos de fibra
Baja atenuación	Transmisores y receptores más costosos
Mayor seguridad a interceptaciones	Empalmes entre fibra difíciles de realizar
Escalable y más vida útil	
Menor peso, volumen y materia prima	

Tabla 2.2. Espectro óptico en telecomunicaciones
Fuente: Elaboración propia en base a (Tomasi, 2003)

2.2 Redes de acceso FTTX

En esta sección, describiremos la tecnología FTTH en las redes de acceso FTTx, centrándonos en su funcionamiento, estándares y servicios ofrecidos. FTTx se refiere a tecnologías de banda ancha que utilizan fibra óptica en lugar de cobre. La expresión abarca distintas configuraciones, diferenciadas por la última letra que indica el tramo de red implementado con fibra óptica.

Una red de acceso con fibra óptica, conocida como OAN, utiliza dos tecnologías principales: P2P y PON. P2P emplea dos fibras para transmisión y recepción, mientras que PON utiliza una sola fibra para ambos.

Según la ubicación (calle, edificio, hogar u oficina), se distinguen diversos despliegues de redes FTTx, variando en el alcance de la fibra y la proximidad al usuario final.

2.2.1 Red FTTN

En este caso el recorrido de la fibra óptica va desde la oficina central hasta un punto alejado del abonado que es un nodo de conmutación. A partir de donde se brindará servicio a los usuarios por medio de cable coaxial o par de cobre. (Keiser, 2006)

2.2.2 Red FTTC

La tecnología FTTC, se caracteriza por compartir la ONU y el tendido de fibra óptica entre varios usuarios pertenecientes a una zona de edificios o un área urbana de poca extensión. El ancho de banda de cada cliente dependerá del nivel de división. (Keiser, 2006)

2.2.3 Red FTTB

En este caso la fibra óptica va desde la central hasta un cuarto de Telecomunicaciones del Edificio, sin incluir tendido hasta el hogar, los splitters son ubicados en el cuarto de telecomunicaciones de cada piso del edificio, de acuerdo al número de suscriptores. (Keiser, 2006)

2.2.4 Red FTTH

La red FTTH permite que la fibra óptica vaya desde la oficina central hasta el hogar del usuario final; esta red es la más destacada en telecomunicaciones y esta implementado para brindar

servicios avanzados como el conocido " Triple Play ", es decir, Internet de banda ancha, televisión y telefonía. (Keiser, 2006)

En la figura 2.13 podemos visualizar de manera gráfica los tipos de redes FTTx descritos anteriormente.

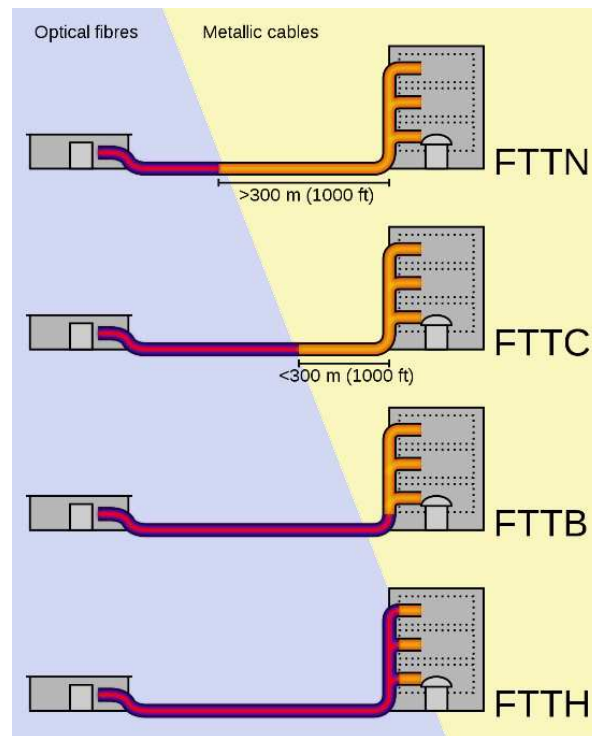


Figura 2.13 Tipos de redes FTTx
Fuente: (Keiser, 2006)

2.2.5 Fibra óptica como elemento pasivo en la red FTTH

La fibra óptica, especialmente la monomodo, es un componente pasivo clave en la red FTTH. Su diseño varía según la sección de la red donde se implementará, ya sea para tendido aéreo, subterráneo o a través de ductos. Para prevenir tensiones que superen la resistencia del cable durante el tendido, este suele incluir elementos como hilos de nylon, alambres de acero o varillas de fibra de vidrio para reforzar su estructura.

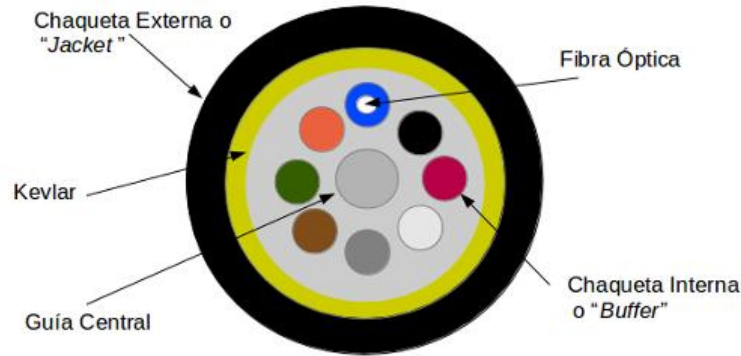


Figura 2.14 Estructura y características de cable de fibra óptica
Fuente: Recuperado de (Keiser, 2006)

Los tubos que resguardan las fibras son más largos que el cable principal, ofreciendo protección adicional durante el tendido aéreo. Se utilizan principalmente en exteriores, mientras que los más simples se emplean en instalaciones internas. Los cables pueden contener hasta 432 hilos y se distinguen mediante un código de colores bajo el estándar TIA/EIA-598-B. Cada grupo de 12 fibras comparte un color principal. La información detallada se presenta en una tabla para mayor claridad.

NUM. DE FIBRA	COLOR
1	Azul
2	Naranja
3	Verde
4	Café
5	Gris
6	Blanco
7	Rojo
8	Negro
9	Amarillo
10	Violeta
11	Rosa
12	Celeste

Tabla.2.3. Fibra óptica estándar e identificación de color de tubo holgado de 12 hilos
Fuente: Elaboración propia en base a la información de (Keiser, 2006)

2.2.6 Redes de acceso FTTH

Para lograr una red eficiente y proporcionar un excelente servicio a los usuarios, la arquitectura de la red debe ser lo más sencilla posible, con el fin de minimizar al máximo los costos de despliegue y mantenimiento. Por eso, se utilizan elementos pasivos para evitar realizar inversiones fuertes, y todo esto es posible gracias a las redes FTTH.

Una red de acceso FTTH es aquella que nos permite establecer una conexión física con fibra óptica desde la central o nodo hasta los abonados o usuarios finales. Este tipo de red es el más utilizado en la actualidad debido a su capacidad para transportar y transmitir datos y servicios a grandes distancias. La red es pasiva y cuenta con una arquitectura punto a punto o punto a multipunto.

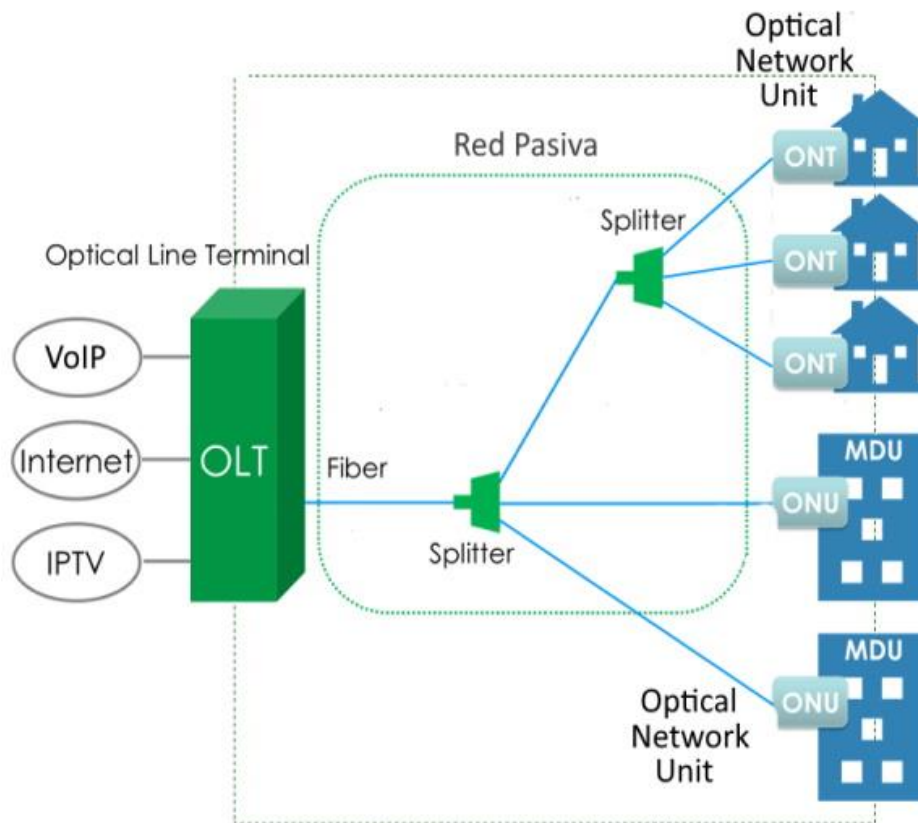


Figura 2.15 Red general FTTH

Fuente: Recuperado de (Networks 4it S.A., 2022)

2.2.7 Arquitectura general de una red FTTH

Una red FTTH, independientemente de su configuración y arquitectura final, utiliza la multiplicación por longitud de onda (WDM) desde la central hasta el usuario. La conexión entre el abonado y el nodo de distribución de servicios puede establecerse mediante diversas configuraciones físicas, denominadas topologías, que se detallan a continuación.

2.2.7.1 Arquitectura punto a punto

Esta arquitectura, de alto costo debido a sus enlaces dedicados, rara vez se utiliza para la distribución hasta los hogares, ya que implica una conexión directa desde la OLT a los ONT mediante fibra óptica dedicada y suele emplear un sistema bidireccional. Los equipos utilizados en estas topologías punto a punto incluyen PDH o SDH, junto con WDM, ofreciendo una alta capacidad y siendo especialmente beneficiosos en entornos empresariales. La configuración de esta topología se muestra en la Figura 2.16.

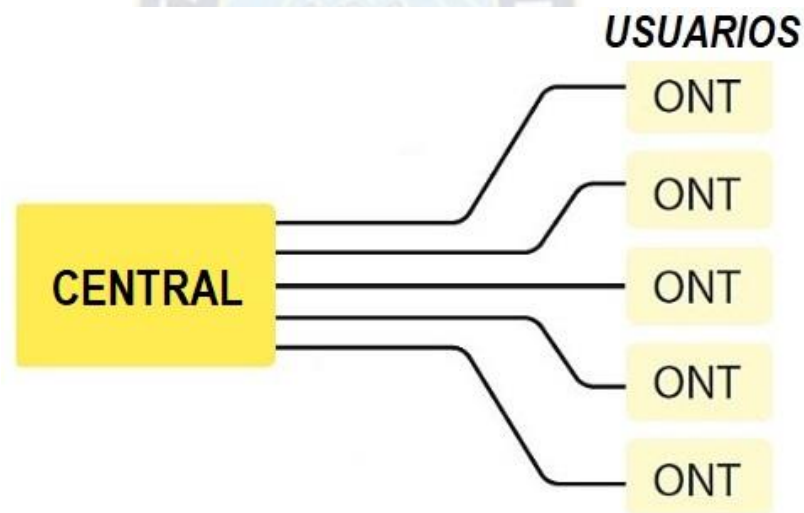


Figura 2.16 Arquitectura punto a punto

Fuente: Elaboración propia en base a la información de John, F.S. Community

2.2.7.1.1 Arquitectura tipo árbol

Esta arquitectura, representada en la figura 2.17, es la más utilizada en las redes FTTH debido a su bajo costo y gran eficiencia. Consiste en un tramo único desde la OLT hasta el nodo óptico, donde habrá un divisor óptico desde donde se distribuirá la señal hasta el usuario final.

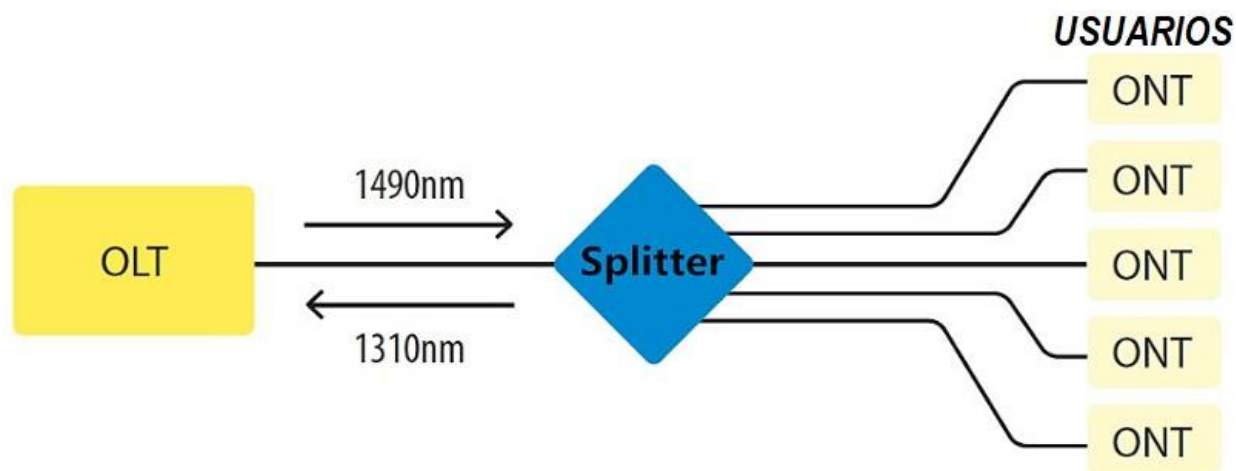


Figura 2.17 Arquitectura tipo árbol
Fuente: elaboración propia en base a la información de (John, 2021)

2.2.8 Elementos pasivos de la red FTTH

Además de fibras, fuentes de luz y fotodetectores, muchos otros componentes son utilizados en una red de comunicación óptica para dividir, enrutar y procesar la señal de luz. Los dispositivos se pueden clasificar en términos generales como componentes pasivos y activos. Los componentes ópticos pasivos juegan un papel importante en las redes FTTH, ya que no requieren de una fuente de energía externa para funcionar. Por ejemplo, un splitter óptico divide la luz que ingresa en dos o más salidas de potencia de nivel inferior. Los elementos activos requieren algún tipo de energía externa, ya sea para realizar sus funciones o ser utilizada en una operación de más amplio alcance que un dispositivo pasivo, ofreciendo así una mayor flexibilidad. Sin embargo, estos generalmente se usan entre puntos finales en una red PON.

2.2.8.1 Distribuidor de fibra óptica (ODF)

El ODF es un distribuidor óptico donde se encuentran los conectores de cada hilo de fibra, así como los empalmes y patch cords. Este elemento proporciona a la red la posibilidad de que los elementos conectados a él logren una escalabilidad adecuada, ordenamiento y manejo adecuado.



Figura 2.20 Distribuidor de fibra óptica (ODF)
Fuente: Recuperado de (TTI Fiber Communication Tech. Co., 2022)

2.2.8.2 Acoplamiento WDM para redes PON

El multiplexor de longitud de onda es un componente clave en los sistemas WDM. En la dirección de operación de izquierda a derecha, combina flujos de señales independientes en diferentes longitudes de onda en una sola fibra, teniendo en cuenta las diferencias en tasas y formatos de señal. En la dirección opuesta, separa las longitudes de onda para transmitir o recibir datos de manera independiente.

Antes del año 2000, la velocidad de transmisión en enlaces DWDM era de 2.5 Gbps. Posteriormente, las aplicaciones de alta velocidad utilizaron muchas longitudes de onda, con densidades de hasta 10 Gbps y canales espaciados a 50 GHz, 25 GHz o 12.5 GHz. Por otro lado, las redes PON se basan en CWDM en lugar de paquetes de canales comprimidos utilizados en DWDM para enlaces en telecomunicaciones.

En una red PON, se emplean tres longitudes de onda fundamentales: 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm para diferentes servicios. Estas longitudes se combinan o separan utilizando un acoplador de longitud de onda. Aunque los multiplexores de longitud de onda para aplicaciones CWDM son menos exigentes que los de DWDM en algunos parámetros, como los cambios de temperatura y la nitidez espectral, todavía requieren un excelente aislamiento de reflexión y baja pérdida por inserción.

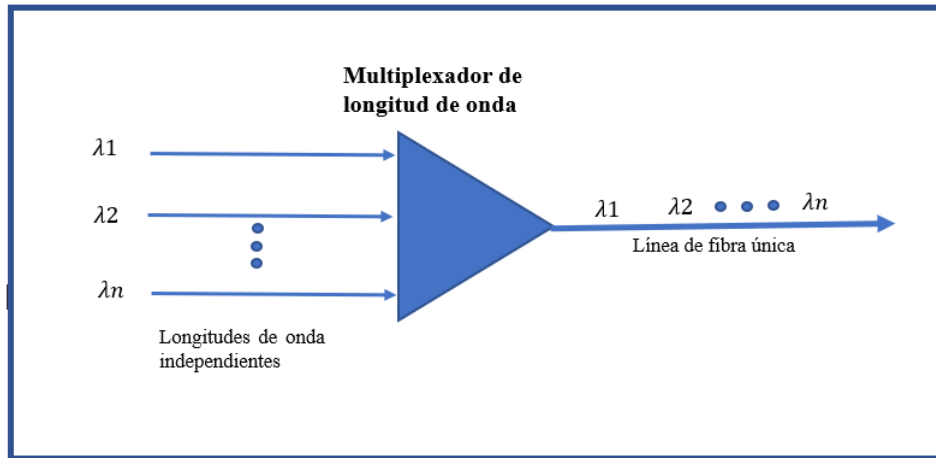


Figura 2.21 Concepto de multiplexación por división de longitud de onda (WDM)
Fuente: Elaboración propia en base a (Keiser, 2006)

2.2.8.3 Divisor óptico (Splitter)

Estos dispositivos son un componente clave en una red óptica pasiva para distribución de las señales ópticas. Su función es dividir la señal óptica; debido a su capacidad de multiplexar y demultiplexar la señal dividen la potencia en partes iguales. Otra característica que tienen es dividir la potencia recibida entre los múltiples puertos de salida y viceversa.

Los splitters vienen en distintos tipos de división representado de forma 1: N donde N puede ser: 2, 4, 8, 16, 64 e inclusive 128. Por ejemplo, un divisor de 1:2 que tiene dos ramificaciones tiene una pérdida de 3dB, uno de 1:4 donde se agregan otras dos ramificaciones a cada ruta se añaden otros 3 dB de pérdida sumando o teniendo una pérdida total de 6 dB; en la tabla 2.4 se muestra las pérdidas por inserción de los splitters.

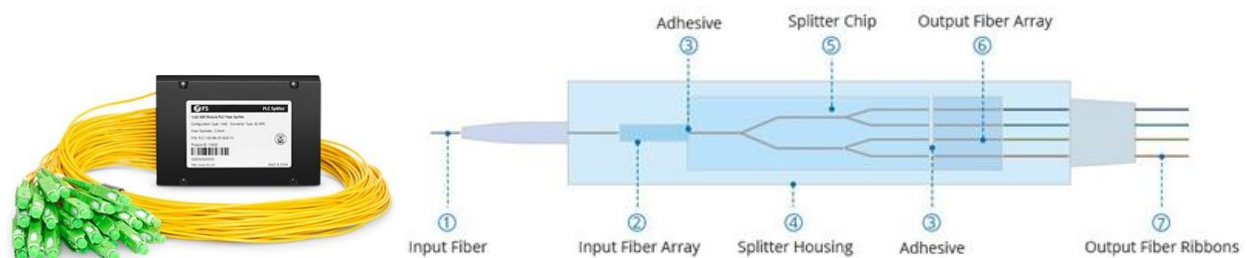


Figura 2.22 Splitter de tecnología PLC y su estructura
Fuente: Recuperado de (John, 2021)

El splitter basado en PLC que se muestra en la figura 2.20, se compone de una serie de guías de onda tipo Y unidas. El funcionamiento de este dispositivo es recíproco, es decir, que pueden funcionar como splitters para dividir una fuente de luz en varios haces o multiplexar flujos ópticos de las fibras individuales en una fibra óptica común.

NUMERO DE SPLITTEO	ATENUACION [dB]
1:2	-3.7
1:4	-7.1
1:8	-10.7
1:16	-13.7
1:32	-16.9
1:64	-21.0

Tabla.2.4 Atenuación de splitter's

Fuente: Elaboración propia en base a (Metrocom Bolivia, 2015)

2.2.8.4 Empalmes ópticos

Un factor significativo en cualquier instalación de una red de fibra óptica es el empalme óptico con una baja pérdida. Estos se realizan en la cabecera de red, en la red de distribución, en puntos intermedios dentro de un cable en el que dos fibras se unen y en puntos intermedios en un enlace donde se conectan dos cables. Existen dos tipos de empalmes, permanente o temporal. La unión permanente de dos fibras se conoce como empalme, mientras que una unión desmontable en el extremo de un cable generalmente se denomina conector.

Las técnicas de empalme óptico más importantes son las siguientes:

- ❖ Empalme por fusión, en el que se usa un equipo para la soldadura de las fibras a unir, las pérdidas nominales son del orden del 0.01 a 0.1 dB.
- ❖ Empalme mecánico, se usa un conector para unir las fibras, las pérdidas en este tipo de empalmes son del orden de 0.2 a 1 dB.
- ❖ Empalme con métodos adhesivos, en el que se unen las fibras con pegamentos especiales.

2.2.8.5 Conectores ópticos para fibra óptica

Los conectores son elementos que se encuentran en los extremos del cable de fibra óptica, como los patch cords, y permiten a la fibra una interfaz conveniente para la inserción en algún equipo o elemento de la red. Estos son de diferentes tipos, algunos se atornillan, giran o encajan. Los diseños a presión son los más utilizados para las aplicaciones PON, ya que permiten reconectarse varias veces según las exigencias de la red.

Estos conectores ópticos no solo facilitan la conexión de enlaces dentro de la red, sino que también tienen algunos efectos en la red, como la atenuación, las pérdidas por retorno y la clase de longitud de onda; la atenuación oscila entre 0.2 y 0.5 dB.

Están compuestos por tres elementos: un cuerpo exterior de plástico o metal, un mecanismo de soporte del conector al acoplador tipo rosca o de inserción "push-pull" y, por último, una férula o casquillo.

Además de su función básica de facilitar la conexión de los cables de fibra óptica, los conectores juegan un papel crucial en la integridad y el rendimiento de la red. La elección del tipo de conector adecuado puede influir en la calidad de la señal transmitida y en la eficiencia general del sistema. Por ejemplo, los conectores a presión son preferidos en aplicaciones PON debido a su capacidad para soportar múltiples reconexiones sin comprometer la estabilidad de la conexión. Sin embargo, cada tipo de conector tiene sus propias características y consideraciones específicas. Algunos pueden ser más susceptibles a la contaminación o a las fluctuaciones de temperatura, lo que podría afectar la atenuación de la señal y aumentar las pérdidas por retorno. Por lo tanto, es importante seleccionar cuidadosamente los conectores adecuados según las necesidades particulares de la red y realizar un mantenimiento regular para garantizar un rendimiento óptimo. Además, la evolución continua en el diseño y la tecnología de los conectores ópticos sigue siendo un área de interés activo, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la confiabilidad y la durabilidad de las conexiones en las redes de fibra óptica.

En la tabla 2.5 se describen las características de los conectores más utilizados dentro de las redes GPON/FTTH.






TIPO DE CONECTOR	PERDIDAS (DB)	TIPO DE F.O.	CARACTERÍSTICAS
	0.25	SM/MM	Suscriptor Conector (SC), tipo de conector push-pull que proporciona inserción y alineación al mismo tiempo de la conexión.
	0.1	SM/MM	Lucent Conector (LC), conector tipo push-pull, es más seguro y compacto que SC.
	0.25	MM	Straight Tip (ST), su ajuste es similar un conector BNC.
	0.3	SM/MM	Ferrule Conector (FC), es un conector roscado con una fijación resistente a vibraciones se usa en instrumentos como el OTDR y en sistemas CATV.
	0.25	MM	Mechanical Transfer-Registered Jack (MTRJ), es un conector duplex, es decir sostiene dos fibras.

Tabla.2.5 Características de conectores ópticos típicos
Fuente: Elaboración propia en base a (John, 2021)

2.2.8.6 Cajas de empalme o muflas

Las cajas de empalme o muflas proporcionan un medio de protección contra las inclemencias del ambiente a los empalmes o conexiones realizadas en la fibra. Existen una variedad de estas dependiendo de si se usarán para montajes exteriores o interiores. Las muflas para uso externo están fabricadas con un material resistente y cuentan con un sellado impermeable que permite resguardar empalmes de hasta cuatro cables de diferentes diámetros.

Existen muflas tipo domo, como se observa en la figura 2.23, que se utilizan para dar continuidad al enlace de la fibra y pueden albergar de 12 hasta 288 hilos, algunos de ellos con un sistema de puesta a tierra.



Figura 2.23 Cajas de empalme o muflas
Fuente: (TTI Fiber Communication Tech. Co., 2022)

2.2.8.7 Caja de distribución óptica (NAP)

Las cajas de empalme o muflas proporcionan un medio de protección contra las inclemencias del ambiente a los empalmes o conexiones realizadas en la fibra. Existen una variedad de estas dependiendo de si se usarán para montajes exteriores o interiores. Las muflas para uso externo están fabricadas con un material resistente y cuentan con un sellado impermeable que permite resguardar empalmes de hasta cuatro cables de diferentes diámetros.

Desde estas cajas, los técnicos pueden llevar a cabo actividades como la supervisión del rendimiento de la red, la resolución de problemas y la realización de cambios o actualizaciones según sea necesario.



Figura 2.24 Caja de distribución NAP
Fuente: (TTI Fiber Communication Tech. Co., 2022)

2.2.8.8 Roseta óptica

La roseta óptica es el punto donde termina una red de acceso óptico y conecta la red de dispersión con el equipo activo ONT mediante un patch cord. En este elemento se realizan mediciones o pruebas de pérdidas en todo el enlace.

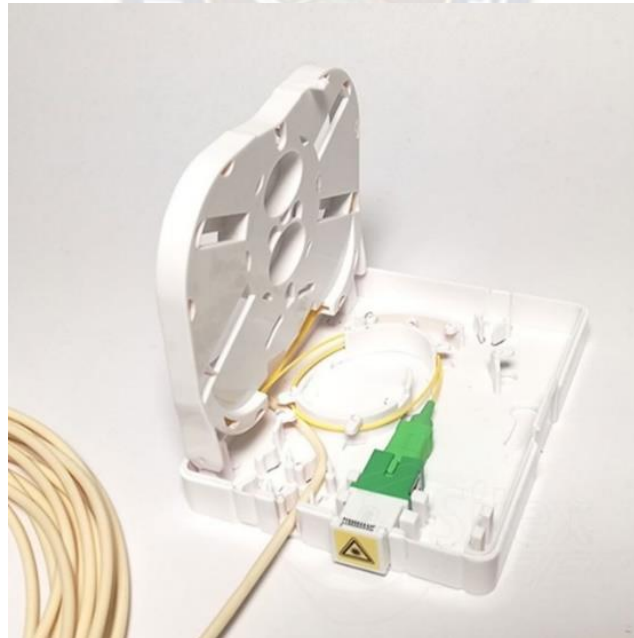


Figura 2.25 Roseta óptica
Fuente: (TTI Fiber Communication Tech. Co., 2022)

2.2.8.9 Ferrería para tendido aéreo

En el tema de la ferretería usada en las redes de telecomunicaciones, en lo general afectan en medida al precio de la instalación por la cantidad de elementos que se usan, mismos que se suman a los costos de adquisición y la mano de obra. A continuación, realizaremos una breve descripción de la ferretería para tendido aéreo.

2.2.8.9.1 Ferrería de retención (Tipo terminal)

Se usa en el inicio o fin de un enlace, así como en los cambios de dirección de la ruta. Se denomina Duplo, colocado en tramos mayores o iguales a 90 metros. Este tipo de herrajes está constituido por varillas de extensión, material de sujeción y herraje terminal para poste.

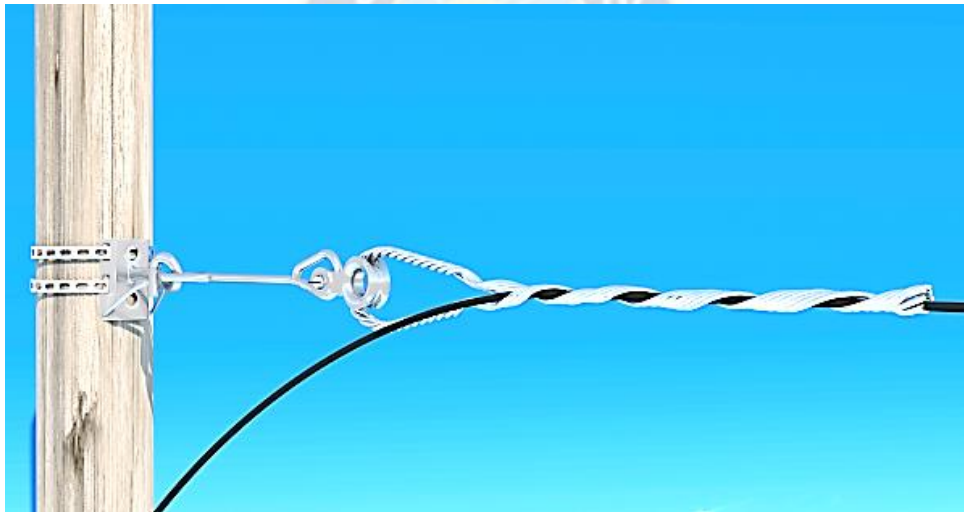


Figura 2.26 Ferrería de retención de fibra tipo terminal
Fuente: (Conimel, 2020)

2.2.8.9.2 Malla preformada

Este tipo de ferretería sostiene la fibra óptica ADSS en el herraje terminal o duplo de un guarda cabos llamado Thimble Clevis, protegiendo la zona del lazo de retención. Al adquirir material para el tendido aéreo, es esencial asegurarse de que los preformados sean específicamente para cable óptico.

Las varillas del preformado tienen puntas pulidas para evitar daños en el cable durante el montaje y llevan en su interior un material antideslizante para prevenir el deslizamiento del cable.



Figura 2.27 Malla preformada para agarre de cable óptico

Fuente: (Conimel, 2020)

2.2.8.9.3 Ferrería de suspensión de fibra (Tipo paso)

Este elemento para tendido aéreo se usa en tramos rectos en la ruta del despliegue para distancias menores a 100 metros.

Está constituido por lo siguiente:

- ❖ Un elemento de soporte del cable de forma cilíndrica, misma que en su interior tiene un material antideslizante para evitar que el cable de fibra óptica resbale.
- ❖ Una ferrería básica de soporte, que además incluye un material de sujeción al poste.

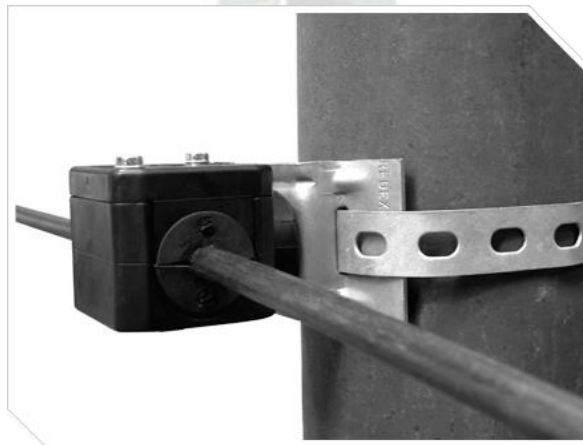


Figura 2.28 Ferrería tipo paso para tendido óptico

Fuente: (Bolcompany, 2014)

2.2.8.9.4 Cruceta de reserva

La Cruceta es un elemento para almacenamiento o reserva técnica del cable ADSS a lo largo del enlace de fibra óptica, de tal manera que permite almacenar el excedente de cable ADSS. La ubicación en el poste o torre se realiza a través de un soporte de fijación a compresión.

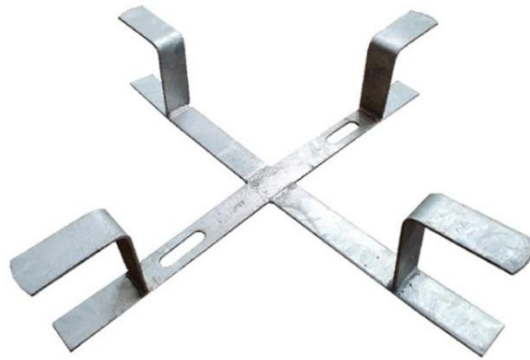


Figura 2.29 Cruceta para reserva de vanos de cable óptico ADSS
Fuente: (Bolcompany, 2014)

2.2.8.9.5 Cruce americano

El cruce americano se usa en aquellos tramos donde los postes presentan una trayectoria que invade los límites de terrenos en esquinas de manzanos o tramos donde la ruta debe formar ángulos rectos para evitar obstáculos.

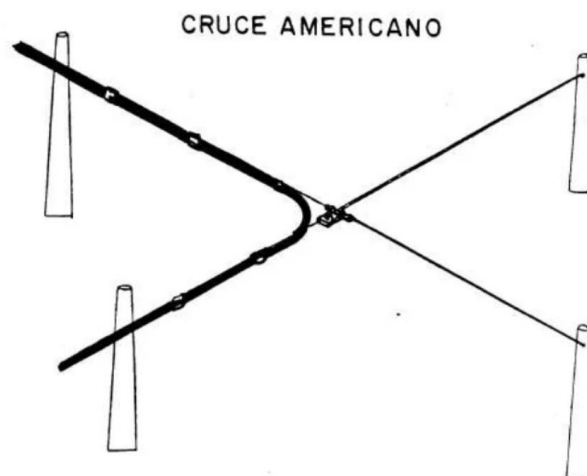


Figura 2.30 Cruce americano para tendido óptico
Fuente: (Bolcompany, 2014)

2.2.9 Red de distribución óptica (ODN)

Una ODN está formada por la red Feeder, la red de distribución y la red de dispersión, donde también se ubican los armarios (FDH), splitters, las cajas de distribución óptica (NAP) y la roseta.

2.2.9.1 Red feeder

Se refiere a la red troncal que conecta el distribuidor óptico ODF ubicado en el nodo central con el armario FDH en caso de que haya uno o directamente hasta una NAP o mufla que alberga un splitter primario.

La red feeder generalmente va canalizado por ductos PVC hasta llegar al armario donde se encuentran los Splitters y en algunos casos es aéreo.

2.2.9.2 Red de distribución

La red de distribución generalmente une el armario FDH con la caja NAP, estas cajas pueden estar ubicadas en postes o cámaras subterráneas y el cableado puede ser aéreo o canalizado, dependiendo de los criterios que se manejen durante el diseño de la red GPON.

2.2.9.3 Red de dispersión

Es el segmento de la red que va desde las cajas de distribución NAP hasta la roseta óptica donde se ubica en el usuario final, el cable usado es del tipo drop que generalmente puede contener uno, pero se pueden encontrar de dos o más hilos de fibra óptica.

2.3 Redes ópticas pasivas

El acceso de fibra óptica hasta el usuario, llamado fibra hasta el hogar (FTTH), se está convirtiendo en una tecnología preparada para el futuro que podrá soportar los próximos servicios multimedia interactivos, y hoy en día los operadores están invirtiendo en redes de este tipo.

Una red óptica pasiva (PON) resulta atractivo, ya que este tipo de red contiene componentes no activos (pasivos) entre la oficina central y los abonados finales. Estos elementos son ubicados la red de transmisión para conducir las señales de tráfico que son contenidas dentro de longitudes de onda específica hasta los usuarios y de vuelta a la oficina central.

El reemplazo de los componentes activos por pasivos dentro de una red de fibra óptica supone un ahorro de costos para el proveedor de servicios, pues elimina la necesidad de energizar y administrar los componentes activos dentro de la red y, con la probabilidad baja de presentar problemas o fallas lo que también reduce costos de mantenimiento general.

2.3.1 Red PON

En la figura 2.31 se muestra la arquitectura básica de una red PON, donde la fibra óptica conecta un equipo de conmutación en la oficina central con los usuarios finales. Esta oficina central está equipada con conmutadores de telefonía pública, servidores de video, routers IP y switches Ethernet y ATM. Allí, los datos y la voz son digitalizados, combinados y enviados a través de la red óptica utilizando longitudes de onda específicas: 1490 nm para la transmisión y 1310 nm para el retorno. El servicio de video se envía a través de 1550 nm desde la central, sin retorno desde el usuario.

El equipo principal de transmisión es el OLT, ubicado en la oficina central, mientras que en el lugar del usuario se encuentra la ONT. Desde la oficina central, un hilo de fibra óptica monomodo se dirige hacia un splitter óptico cercano a los usuarios finales, edificios, etc. Este dispositivo divide la señal en varias salidas, generalmente entre 2 y 64, pero típicamente son 8, 16 o 32. La red de transmisión óptica puede extenderse hasta 20 km desde la oficina central hasta el usuario, por lo que los elementos activos de la red PON se limitan a la oficina central y al usuario final.

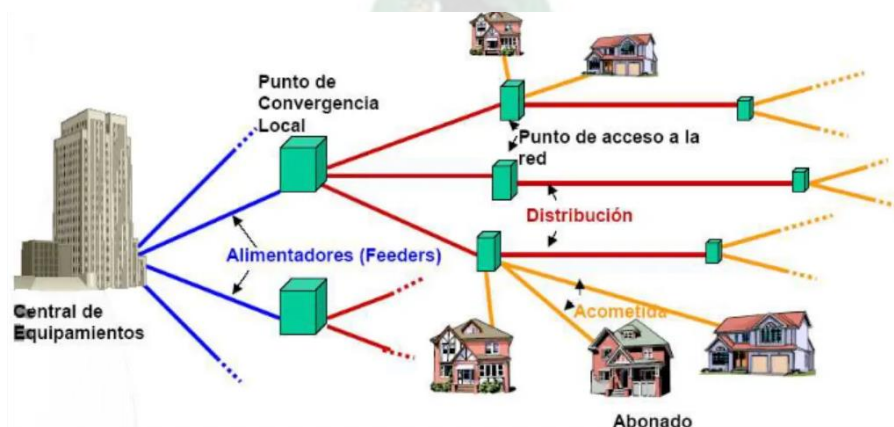


Figura 2.31. Arquitectura típica de una red óptica pasiva
Fuente: (John, 2021)

2.3.2 Estándares de las redes ópticas pasivas (PON)

Constituyen una familia de redes (xPON), cuyo origen se encuentra definido por FSAN, un grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones, esto con el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas. Así pues, describiremos las distintas arquitecturas o estándares de las redes PON existentes como sus características. (Kramer, 2005)

CARACTERÍSTICAS	BPON	GPON	EPON
Tasa de bits (Mbps)	Down: 1.224, 622, 155 Up: 622, 155	Down: 2.488, 1.244 Up: 2.488, 1.244, 622. 155	Down: 1.250 Up: 1.250
Razón de división máxima	1:32	1:128 (1:64 en la práctica)	1:32
Alcance máximo	20Km	60Km (con 20Km de distancia entre ONT's)	20Km
Estándares	G.983.x de la UIT-T	G.984.x de la UIT-T	IEEE 802.3ah
Tipo de fibra	G.652 de la UIT (un hilo de fibra)	G.652 de la UIT (uno o dos hilos de fibra)	1000BASEPX10 1000BASEPX20
Soporte TDM	TDM sobre ATM	TDM nativo, TDM sobre ATM, TDM sobre paquetes	TDM sobre paquetes
Eficiencia típica (depende del servicio)	83% downstream 80% upstream	93% downstream 94% upstream	61% downstream 73% upstream

Tabla.2.6. Comparativa entre los estándares BPON, GPON, EPON
Fuente. Elaboración propia en base a (Kramer, 2005)

2.4 Redes GPON

GPON mejora las características de redes basadas en tecnologías PON (Passive Optical Network). Es una red de fibra óptica con elementos pasivos que maneja amplios anchos de banda para servicios comerciales y residenciales. Con estándares de la UIT, destaca por su versatilidad en el transporte de servicios IP y su capa de transporte diferenciada. Los estándares que regulan GPON están definidos por las recomendaciones de la UIT en los apartados 1, 2, 3, 4 y 5 de la UIT-T G.984.

El objetivo de estas recomendaciones es establecer un proceso de desarrollo simple y garantizar la compatibilidad entre dispositivos dentro y fuera de la red.

2.4.1 Recomendaciones UIT-T G.984.X para redes GPON

2.4.1.1 Recomendaciones UIT-T G.984.1

Esta recomendación introduce el estándar GPON, describiendo sus características y función en la convergencia de equipos y topología. Incluye ejemplos de servicios, interfaces de usuario (UNI) y de nodo de servicio (SIN) para operadores de red. GPON transporta servicios como Ethernet, telefonía analógica, tráfico E1, ATM de 155 Mbps, etc., con longitudes de onda específicas (1480 a 1550 nm para bajada y 1260 a 1360 nm para subida).

Los sistemas GPON tienen una terminación de línea óptica (OLT) y una unidad de red óptica (ONU) o una terminación de red óptica (ONT), conectadas por una red de distribución óptica (ODN) pasiva en una configuración punto a multipunto entre la OLT y las ONU/ONT. (UIT-T, G.984.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Características Generales, 2008)

2.4.1.2 Recomendaciones UIT-T G.984.2

La recomendación trata especificaciones técnicas para gestionar la capa física de GPON. Incluye tasas de velocidad de 1.25 Gbps y 2.5 Gbps en bajada, y de 155 Mbps, 622 Mbps, 1.25 Gbps y 2.5 Gbps en subida. También aborda el manejo de señales, especificaciones optoelectricas, recuperación de reloj y corrección de errores. La tabla 2.7 resume características clave. (UIT-T, G.984.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos, 2019)

PARÁMETRO	ESPECIFICACIONES
Velocidad de acceso	Down: 1.2/2.5 Gbps Up: 155/622 Mbps y 1.244/2.448 Gbps
Clases ópticas	A-B-C
Encabezado	La misma es específica para cada velocidad
Nivel de potencia	La salida de la potencia óptica se puede operar en tres diferentes niveles de acuerdo a la tolerancia del receptor
Confiabledad de datos	Se puede utilizar FEC como opción de la corrección de errores

Tabla.2.7. Resumen de características más importantes de la recomendación UIT.

Fuente: Elaboración propia en base a la (UIT, 2019)

Otra recomendación que nos menciona la UIT es la especificación del desempeño de transmisores y receptores ópticos a distancias de transmisión de 10 y 20 Km, para este cálculo se usan los siguientes valores:

TIPO DE CLASE	RANGOS
Clase A	5 a 20 dB
Clase B:	10 a 25 dB
Clase B+	13 a 28 dB
Clase C	15 a 30 dB
Clase C+	17 a 32 dB

Tabla.2.8. Rango de pérdidas de las clases en GPON
Fuente: elaboración propia en base a la (UIT, 2019)

En dichos rangos están incluidas las pérdidas generadas por empalmes, conectores, divisores ópticos y fibra óptica. Debemos notar que la arquitectura que se analiza en el manejo de la PMD es una del tipo punto a multipunto o tipo árbol. (UIT-T, G.984.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos, 2019)

2.4.1.3 Recomendaciones UIT-T G.984.3

La especificación de la capa de convergencia de transmisión (TC) describe capacidades en Gigabits para la transmisión en redes GPON, incluyendo servicios de banda ancha, el plano de longitud de onda y principios de diseño de la red. (UIT-T, G.984,3: Especificación de la capa de convergencia de transmisión, 2014)

Otra recomendación aborda formatos de trama, control de acceso al medio y seguridad en redes GPON. Está directamente relacionada con aspectos de la fibra óptica, describiendo características de las PON y consideraciones en el diseño como distancia, funcionalidad y seguridad. (UIT-T, G.984,3: Especificación de la capa de convergencia de transmisión, 2014)

2.4.1.4 Recomendaciones UIT-T G.984.4

La especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica describe la gestión de la ONT y la interfaz de control OMCI en FTTH. Además, especifica entidades gestionadas de una base de información independiente del protocolo MIB para el manejo de la configuración e intercambio de información entre la terminación de línea OLT y la ONT. (UIT-T, G.984.4: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica, 2008)

Los servicios en la operación de una red GPON para la gestión de fallos y rendimiento incluyen la capa de transferencia asíncrona (ATM), la capa de adaptación GEM, servicios de emulación de circuitos, Internet, voz y multiplexación de longitud de onda (WDM).

OMCI permite a la OLT controlar las ONT, establecer conexiones, gestionar interfaces usuario-red (UNI), solicitar información de configuración y estado de operación, e informar fallos en los enlaces sin intervención externa. En general, las especificaciones G.984.4 ofrecen un entendimiento detallado de la administración de servicios y tramas.

2.4.1.5 Recomendaciones UIT-T G.984.5

Esta recomendación describe la ampliación de bandas WDM, los rangos de longitud de onda reservadas para aplicaciones adicionales, señales que se superponen a través de la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para maximizar el valor de las redes de distribución óptica (ODN). (UIT-T, G984.5: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Banda de ampliación, 2014)

2.4.2 Arquitectura y funcionalidad de la red GPON

La arquitectura de una red GPON sigue el mismo concepto de una red PON, el cual se describió en una sección anterior, conserva muchas de las funcionalidades de los esquemas BPON y EPON, por ejemplo, la asignación dinámica de ancho de banda (DBA), el uso de mensajes de operación, administración y mantenimiento (OAM). Sin embargo, el esquema operacional de la red está más orientado hacia el usuario final; esto se lo verifica en la recomendación de las características generales descrita en la UIT - T G.984.1.

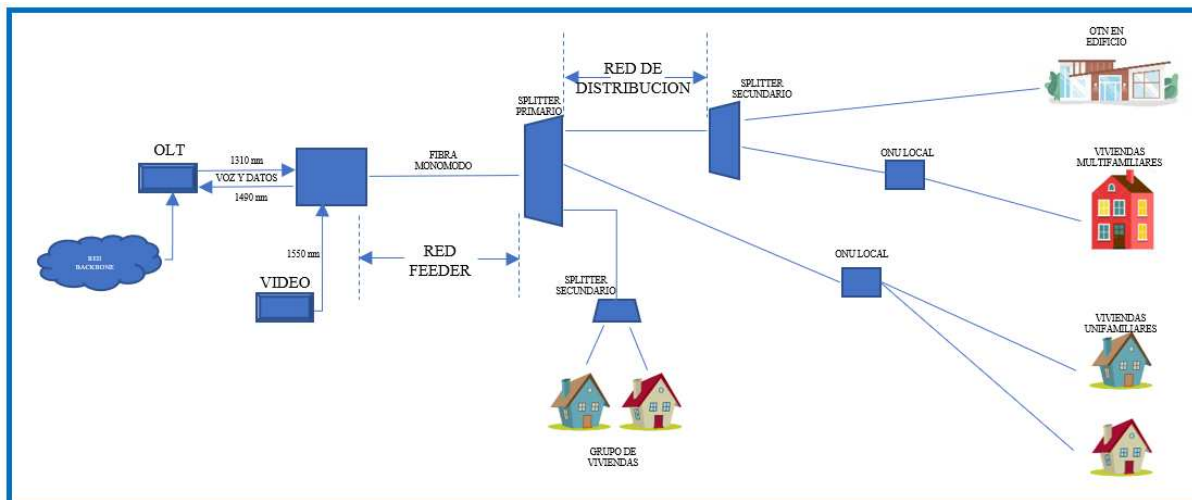


Figura 2.32. Arquitectura general de la red GPON

Fuente: Elaboración propia en base a (Keiser, 2006)

En la figura 2.32, se observan los módulos activos de la red GPON. Una terminal de línea óptica (OLT) está en la oficina central, y en el extremo opuesto se encuentra una terminal de red óptica (ONT) o una unidad de red óptica (ONU). La ONT se emplea en el lado del usuario, mientras que la ONU se ubica en una red o gabinete cercano a los hogares o usuarios finales.

La conexión de la ONU a los usuarios finales puede realizarse con medios físicos como cables de par trenzado, cable coaxial o, actualmente, cables del tipo "Drop".

La arquitectura de una red GPON es ventajosa desde el punto de vista económico, permitiendo ahorro en costos al llevar una sola fibra desde el splitter hasta un punto alejado donde se encuentran los usuarios finales. Esto evita la saturación del tendido aéreo o subterráneo con cables, y un pequeño divisor óptico se coloca al final de la red de fibra para los enlaces de última milla hacia los usuarios.

2.4.2.1 Funcionalidad de la red GPON

En redes GPON, la Red de Distribución Óptica (ODN) incluye fibras y splitters/acopladores entre la OLT, ONU y ONT. El cable alimentador (Feeder) conecta la oficina central al divisor óptico. Un splitter (2 a 128 usuarios) ubicado a 5-20 km de la oficina central o a 1 km de abonados en vecindarios. Los cables de distribución van del splitter a abonados o a una caja llamada terminal de acceso, desde donde salen cables individuales.

Una red GPON brinda servicios completos como Ethernet, telefonía, tráfico digital (T1/E1) y tramas ATM a 155 Mbps. Velocidades: 1.25 Gbps y 2.5 Gbps en downstream, 155 Mbps, 622 Mbps, 1.25 Gbps y 2.5 Gbps en upstream, simétricas o asimétricas. Distancias de transmisión según UIT: 10-20 km con máximo de 64 splitters.

Dependiendo de la capacidad de los transmisores y receptores ópticos, la recomendación de la UIT para redes GPON especifica distancias máximas de transmisión que van desde los 10 hasta los 20 Km, con splitter máximo de 64.

2.4.3 Elementos activos de una red GPON

En esta sección describiremos las funciones y composiciones básicas de los elementos activos que conforman una red GPON como son: OLT, ONT, ONU, Tx Video, RF, EDFA y DWDM.

2.4.3.1 Terminal de línea óptica (OLT)

La OLT, en la oficina central, gestiona la ODN para transmitir hasta 20 km. En bajada, dirige datos, voz y video desde la red metro a todos los módulos ONT en la ODN. En subida, acepta y distribuye varios tipos de voz y datos desde la red del usuario.

Compuesta por tres partes:

- ❖ Bloque núcleo PON: Interfaz ODN y TC PON con funciones de entramado, control de acceso, operación, administración y mantenimiento.
- ❖ Bloque de conexión cruzada: Enlace entre el bloque núcleo PON y el bloque de servicio, con funcionalidad de conexión cruzada y conformidad con GEM o ATM.
- ❖ Bloque de servicio: Traducción entre interfaces de servicio y la interfaz de trama TC de la sección PON.

Durante la transmisión en la ODN, diferentes servicios utilizan longitudes de onda distintas. En este caso, las transmisiones usan longitudes de onda de 1490 nm, 1310 nm y 1550 nm. Los acopladores pasivos WDM realizan combinación y separación de longitudes de onda.

2.4.3.2 Terminal de red óptica (ONT)

La ONT se ubica en los usuarios finales, su propósito es brindar la conexión óptica hacia la red GPON en el canal de subida e interactuar con el equipo del cliente. Indica que dependiendo de los requisitos que se maneje en la red, la ONT admite una combinación de servicios de telecomunicaciones, incluidas Ethernet, T1, enlaces telefónicos, E1 (1.544 o 2,048 Mbps), E3 (44.736 o 34.368 Mbps), interfaces ATM (155 Mbps) y formatos de video analógico y digital.

Los bloques funcionales que constituyen el ONT de GPON son comúnmente similares a los bloques funcionales de la OLT. Puesto que la ONU opera solamente con una interfaz PON (o máximo dos por tema de protección), la función de conexión cruzada puede ser omitida. Sin embargo, en lugar de esta función, se especifica el servicio MUX y DEMUX para manejar el tráfico.

2.4.3.3 Unidad de red óptica (ONU)

La ONU generalmente se ubica en la planta externa de la red GPON, y se ubica cerca a lugares céntricos. La ONU debe ser resistente al medio ambiente y soportar la variación de temperatura y ser a prueba de vándalos. Debe tener una fuente de alimentación local para el funcionamiento del equipo y tener respaldo a través de baterías. El enlace de la ONU hacia los usuarios puede ser realizado mediante cables de par trenzado (UTP), cable coaxial, fibra óptica o conexiones inalámbricas.

2.4.3.4 Transmisión de video RF

Este equipo se encarga de convertir una señal eléctrica RF de entrada en una señal óptica modulada en la longitud de 1550 nm. De esta manera se puede proveer a la red FTTH de una señal de TV analógica / digital sobre un mismo medio físico, que transporta también servicios de internet. La longitud de onda de 1550 nm es modulada con la señal RF de video y posteriormente se multiplexa con la señal de 1490 nm que se envía en downstream desde la OLT hasta las ONT'S.

2.4.3.5 Multiplexor WDM

Este equipo unifica las señales del Tx Video RF y la OLT en una única fibra hacia la red GPON, y dirige la señal de las ONTs hacia la OLT. Recibe señales de los puertos PON de la OLT y un puerto del EDFA, las multiplexa y las envía a la red FTTH.

A continuación, describiremos el procedimiento de planificación y recomendaciones para diseñar e implementar una red GPON/FTTH, cumpliendo con parámetros de calidad y bajo costo en la infraestructura.

2.4.4 Planificación y diseño de una red FTTH

Para llevar a cabo un despliegue de la red debemos diferenciar o dividir la red en dos partes:

- ❖ La cabecera de red, donde se encuentran los elementos activos de la red.
- ❖ La red de planta externa, formado por los elementos pasivos de una red GPON / FTTH que ya describimos en una sección anterior.

Para el proceso de planificación y diseño de la red debemos empezar explicando las tareas que nos permiten conseguir la información necesaria para la correcta planificación de la red, posteriormente expondremos en dos secciones diferentes, el diseño de la red de planta externa y diseño de la cabecera de red.

2.4.4.1 Planificación de la red

Se utilizará una metodología basada en un análisis crítico del estado actual de la planificación y diseño de redes FTTH, en combinación con redes GPON, para respaldar este trabajo.

La recopilación de información y replanteo es esencial para obtener los datos necesarios para el despliegue de la red y la toma de decisiones basada en los resultados obtenidos. Se requiere un análisis de la zona, estudios de mercado que demuestren la viabilidad del proyecto y la aceptación del producto en la zona de implementación.

La planificación de la red considerará aspectos como las topologías de redes, el número de usuarios, la distribución de bloques, puntos de referencia para el trazado e instalación de la fibra óptica, así como la distribución de splitters de primer y segundo nivel.

Este proceso de planificación abarcará aspectos relacionados con el área geográfica, elementos de red, servicios a proporcionar, infraestructura tecnológica, arquitecturas y técnicas. Para el diseño de la red, se considerarán elementos como el diseño del nodo de acceso, la cantidad de puertos, la cantidad de tarjetas por puerto, nodos de acceso, entre otros.

2.4.4.2 Análisis geográfico y demográfico de la zona

Para esto es necesario el estudio estadístico para estimar un impacto que tendrá el producto en el usuario final, así como el análisis de la composición geográfica del lugar y de las características constructivas para determinar los elementos de la zona.

Las redes indistintamente de como este configurada su infraestructura como un sistema y considerando una serie de elementos propios, debe garantizar antes y después un correcto funcionamiento.

Sin embargo, para brindar y mantener los servicios a nivel de las redes FTTH, es importante contar con un plano o planimetría geográfica o topográfica del lugar, donde se pueda esquematizar las distribuciones por zonas y servicios que serán implementados y atendidos por el proveedor de servicios

2.4.4.2.1 Estudio sociocultural - estadístico

Debemos conocer el número aproximado de potenciales consumidores del servicio y la distribución en la zona, esta información es esencial para el diseño de la red; obtener estos datos generalmente se hace a través de un estudio socio - estadístico que nos pueda aportar datos reales sobre el índice de penetración en los usuarios finales. Las encuestas realizadas de manera presencial o remota a través de llamadas telefónicas ayudan a obtener una estimación porcentual y obtener buenos resultados.

2.4.4.2.2 Geografía y características constructivas de la zona

Uno de los aspectos a considerar es la geografía de la zona, las construcciones e infraestructura de la misma, datos que se obtienen realizando una visita física al sector donde se

desplegara la red conocida como “Site Survey”, con este conocimiento en la zona de despliegue podrá determinarse la decisión correcta de donde se implantara la cabecera de la red, la red de distribución y la red de dispersión. A continuación, daremos referencia a los aspectos más relevantes que serán empleados en el diseño de la red:

- ❖ **Topología y concentración de viviendas:** Según Lozano Blanco (2014), es necesario conocer si la zona es de alta densidad poblacional o se trata de una zona rural dispersa. Además, se debe obtener información sobre el tipo de edificaciones que existen en el lugar como edificios, casas residenciales, bloque de viviendas, etc.
- ❖ **Número de viviendas por edificio residencial y oficinas:** Este dato es relevante en el caso de una zona urbana o rural que cuenta con varias construcciones multifamiliares (edificios), pues conociendo estos datos se podrán determinar el tipo de despliegue e instalación que se realizara y la red se dimensionara de un modo más óptimo.
- ❖ **Distribución de infraestructura de telecomunicaciones (planta externa):** En función a este parámetro se definirá si el despliegue de la red hacia los usuarios se realizara por medio de canalizaciones subterráneas o por vía aérea.
- ❖ **Existencia de una central de telecomunicaciones próxima:** La existencia de alguna central de telecomunicaciones que permitiera compartir su espacio con equipos de un nuevo operador sería un factor importante a considerar, ya que su influencia en el diseño de la nueva red sería bastante, pues se convertiría en el origen de la misma.

2.4.4.2.3 Análisis de los datos obtenidos

Con la información recopilada, definiremos los siguientes parámetros para el despliegue de la red:

- ❖ Datos de concentración de viviendas, infraestructura y topología de la zona para determinar la arquitectura de red y la clase de servicio ofrecida.
- ❖ Distribución de canalizaciones e infraestructura de telecomunicaciones en el exterior, junto con la existencia de una central de telecomunicaciones en la zona, para determinar la ubicación de la cabecera y los nodos de la red.

- ❖ Conocimiento del índice de penetración del servicio mediante un estudio estadístico para definir el método de despliegue de última milla y obtener una aproximación de los equipos (pasivos y activos) necesarios para un despliegue eficiente y escalable.

2.4.4.2.4 Permisos

Otro de los aspectos que se deben considerar al momento de realizar un diseño y planificación de una red GPON / FTTH es la obtención de permisos, pues es un factor que podría retrasar la puesta en obra. Son destacables los siguientes:

- ❖ Para operar e instalar la red de fibra óptica, es necesario obtener el permiso correspondiente de las autoridades de telecomunicaciones, siguiendo la Ley General de Telecomunicaciones, Tecnologías de la Información y Comunicación en Bolivia. El artículo 36 de dicha ley, referente a la "Otorgación de licencias en el área Rural", detalla las condiciones para la concesión de licencias en estas zonas:

- I. *"Para la operación de redes públicas y provisión de servicios de telecomunicaciones y tecnologías de información y comunicación en el área rural, se podrá obtener licencia bajo el procedimiento de otorgación directa, conforme al reglamento".*
- II. *"Cualquier persona individual o colectiva, legalmente establecida en el país, interesada en operar redes y proveer servicios de telecomunicaciones y tecnologías de información y comunicación en el área rural, deberá presentar una solicitud a la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes, acompañando los requisitos e información mínima de acuerdo a lo establecido en reglamento".*
- III. *"Por su carácter social, la operación de redes públicas y provisión de servicios de telecomunicaciones en el área rural, están exentas del pago de tasas y derechos de asignación y uso de frecuencias y de los aportes al financiamiento de los proyectos de telecomunicaciones orientados al acceso universal de las telecomunicaciones y tecnologías de información y comunicación"*

- ❖ Permiso de la Comunidad de vecinos para la instalación de la red de última milla y los cables de paso.
- ❖ Permiso otorgado por las autoridades de la ciudad, zona o comunidad publica para ocupar espacios de la vía pública, postación, etc.

2.4.5 Criterios de diseño para redes FTTH

El índice de penetración refleja el número de abonados potenciales una vez implementada la red de fibra y disponibles los servicios, no limitándose al porcentaje de viviendas en la zona de despliegue.

El diseño de la red debe contemplar una penetración del 100%, ofreciendo disponibilidad para cualquier abonado en cualquier vivienda. Se recomienda dejar fibras ópticas de reserva en el despliegue, permitiendo futuras conexiones ante aumentos de demanda o expansiones de la red. El criterio puede variar según los datos de la fase de planificación y replanteo.

2.4.5.1 Áreas con densidad elevada de viviendas multifamiliar

Estas áreas, comunes en ciudades medianas, abarcan un radio de 100 a 1000 metros con un alto número de viviendas. Las redes de alimentación y distribución se canalizan en ductos subterráneos, con cables de fibra de numerosos hilos. Estos ductos contienen diversos cables de fibra en tubos de PVC de distintas pulgadas. La red incluye arquetas y cámaras de registro estratégicamente ubicadas para instalar cajas de empalme y splitters.

Además, se utilizan armarios de distribución al aire libre para conexiones de fibras y splitters, optimizando espacio en cámaras subterráneas.

2.4.5.2 Áreas rurales de escasa población

Se refiere que son zonas donde existen viviendas unifamiliares con una densidad de edificaciones baja. En estas áreas las redes de distribución y alimentación suelen desplegarse por vía aérea a través de postación. Se selecciona cables multifaria especiales para el despliegue.

En este contexto las cajas de terminación óptica suelen ser mucho más pequeña que en el caso anterior, ya que los usuarios finales están alejados el uno del otro y sería más costoso llegar desde una caja terminal óptica (CTO) a un cliente muy lejano, lo que dificultaría los trabajos.

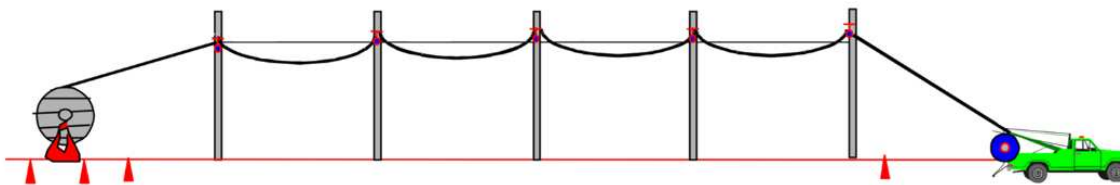


Figura 2.33. Despliegue aéreo de la red de fibra óptica
Fuente: Tendido aéreo- ATMinterserv

2.5 Pruebas de certificación

En el despliegue de una red GPON/FTTH, la operación y mantenimiento requieren técnicas de medición para verificar su correcto funcionamiento. Con la presencia de un splitter óptico pasivo en una red GPON, se necesitan instrumentos de prueba específicos capaces de medir el rendimiento del enlace de fibra bidireccional con tres longitudes de onda.

Los instrumentos para la certificación de la red deben medir el nivel de potencia óptica en varios puntos, incluyendo medidores de potencia óptica, fuentes de luz, indicadores de fallas visuales, refractómetros ópticos en el dominio del tiempo (OTDR), etc.

2.5.1 Instrumentos de prueba básicos

Estos instrumentos permiten realizar diversas mediciones en la red al presionar un botón, una vez que el responsable de la certificación ha ingresado los parámetros en el rango de medición deseado. Desde dispositivos portátiles para uso en el campo hasta equipos montados en bastidor para aplicaciones de oficina, estos equipos deben ser resistentes para garantizar mediciones confiables y precisas en condiciones ambientales extremas. La tabla 2.12 muestra algunos de estos utilizados para el despliegue, operación y mantenimiento de una red GPON.

2.5.1.1 Medidor de potencia óptica

Realiza medidas de potencia óptica en bandas espectrales específicas, como 1260 a 1360 nm para mediciones a 1310 nm, 1480 a 1500 nm para mediciones a 1490 nm y 1540 a 1565 nm

para mediciones a 1550 nm. Este instrumento se utiliza ampliamente en la implementación, operación y mantenimiento de la red GPON/FTTH.

Los medidores de potencia utilizan fotodetectores, con salidas expresadas en dBm ($0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW}$) o dB μ ($0 \text{ dB}\mu = 1 \mu\text{W}$). La figura 2.52 muestra un equipo para redes FTTH, y la figura 2.53 destaca los puntos clave al realizar mediciones, ya sea para configuraciones de red, solución de problemas o durante el despliegue:

- ❖ Niveles de transmisión PT(ONT) desde una ONT o PT(OLT) desde la OLT.
- ❖ Nivel de señal recibido PR(ONT) de un ONT o PR(OLT) de un OLT.
- ❖ Niveles de potencia en la entrada y salida del Splitter Ps(in) o Ps(out)



Figura 2.35. Power meter para redes FTTH
Fuente: ALIBABA

2.5.1.2 Reflectómetro óptico en dominio de tiempo (OTDR)

Un OTDR es un instrumento versátil para evaluar enlaces de fibra óptica, localizar fallas, medir la atenuación, longitud, pérdidas en conectores y empalmes, y el nivel de reflectancia de la luz.

Funciona lanzando pulsos de luz en un extremo de la fibra y analizando la amplitud en la red. El equipo incluye un módulo de adquisición y procesamiento de datos, una unidad de almacenamiento y una pantalla. En la figura 2.54 se muestra un trazado típico con escala vertical logarítmica que mide la señal reflejada en decibelios, mientras que el eje horizontal indica la distancia al punto de medición en la fibra. Algunos eventos visualizables en el OTDR son:

- ❖ Un pulso largo como resultado de la reflexión de Fresnel en el extremo de la entrada.
- ❖ Una señal de ruido como resultado de la dispersión de Rayleigh al final del punto de medición.
- ❖ Picos o curvas abruptas por la pérdida óptica en los conectores o uniones mecánicas dentro de la red.
- ❖ Picos positivos en el extremo más alejado de la fibra, en empalmes e imperfecciones.

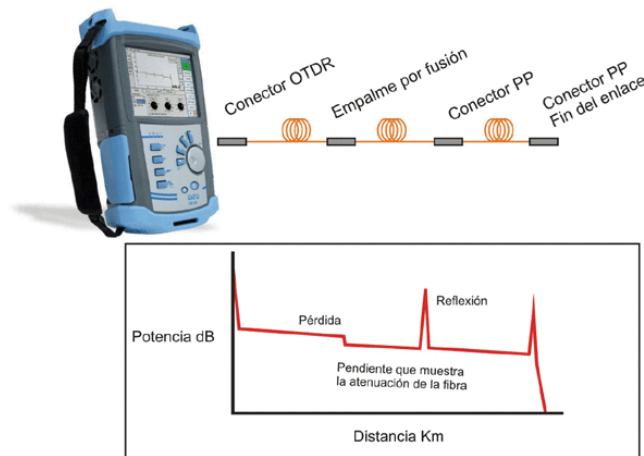


Figura 2.36. Traza representativa de potencia óptica reflejada y retro dispersada
Fuente: Conectónica, tecnología y elementos de conexión y conectividad

Otro parámetro relevante al usar el OTDR es la "Zona Muerta", que representa la distancia donde el fotodetector se satura momentáneamente después de medir una reflexión. Esta zona indica cuánto debe recuperarse el fotodetector en un OTDR tras un evento reflexivo antes de poder detectar un empalme, con una longitud típicamente entre 10 a 25 metros.

Actualmente, algunos proveedores de equipos OTDR utilizan una fibra especial llamada "supresor de pulso óptico", reduciendo la zona muerta para permitir la detección de anomalías en una red más corta.

2.5.1.3 Localizador visual de fallas (VFL)

Instrumento parecido a una linterna pero que utiliza una fuente de luz láser visible para detectar eventos tales como una rotura de fibra, curvaturas cerradas en la fibra o conectores mal acoplados. Este equipo emite una luz dentro de la fibra de color rojo a una potencia de 1 mW, el

cual puede ser lanzado de manera constante o intermitente y permite que el usuario detecte visualmente un problema hasta en 5 km; es útil para encontrar fallas dentro de la zona muerta de un OTDR.

2.5.2 Pruebas de red FTTH

Las pruebas en la red son necesarias para que se cumplan con las especificaciones de diseño, se deben realizar mediciones generales entre la OLT en la oficina central y la ONT en las instalaciones del cliente. Estas pruebas o mediciones incluyen:

- ❖ Prueba 1, caracterización individual de los enlaces en la oficina central como en el cable de salida de la planta.
- ❖ Prueba 2, verificar que las pérdidas de extremo a extremo bidireccionales se satisfagan.
- ❖ Prueba 3, medir la pérdida de los conectores, empalmes de fibra y acopladores de longitud de onda.
- ❖ Prueba 4, verificar que la ONT reciba los niveles de señal óptica adecuados desde la OLT y del equipo de video de la oficina central.
- ❖ Prueba 5, verificar que la OLT reciba los niveles de señal óptica de cada ONT en longitud de 1310 nm.

3 CAPÍTULO 3.- INGENIERIA DEL PROYECTO

3.1 Estado de situación del internet en Bolivia

El acceso al servicio de Internet presenta una mayor demanda últimamente en los hogares, ya que se ha empezado a usar como una herramienta de trabajo, educación o entretenimiento. Por otro lado, los usuarios del sector industrial, comercial y los cafés internet demandan el servicio de manera continua. La mayoría de las empresas proveedoras solo tienen sus redes de acceso en las zonas más comerciales o de alto crecimiento poblacional.

Según datos de la ATT (Autoridad de Fiscalización y Control Social de Telecomunicaciones y Transportes) en la publicación "Estado de situación del Internet en Bolivia" de diciembre de 2020, señala:

“En el periodo de diciembre de 2019 a diciembre 2020, la tecnología con mayor despliegue fue la de FTTx, que experimentó un crecimiento del 29,26%, vale decir de 598.199 a 773.258 conexiones.

En el mismo periodo, las conexiones móviles presentaron un crecimiento de 2,63% de 9.498.454 a 9.774.786.”

Las conexiones del servicio de acceso a Internet a diciembre 2020 alcanzaron a 10.909.280 conexiones a Internet y el departamento mejor conectado en el país es Oruro, región que cuenta con la mayor cantidad de líneas activas móviles y la mayor cantidad de accesos a Internet tanto fijo como móvil. El Departamento de Potosí es la región menos atendida con ambos servicios.

Las conexiones de acceso a Internet a nivel nacional a través de los años se muestran en la figura 3.3, se puede observar una tendencia creciente.

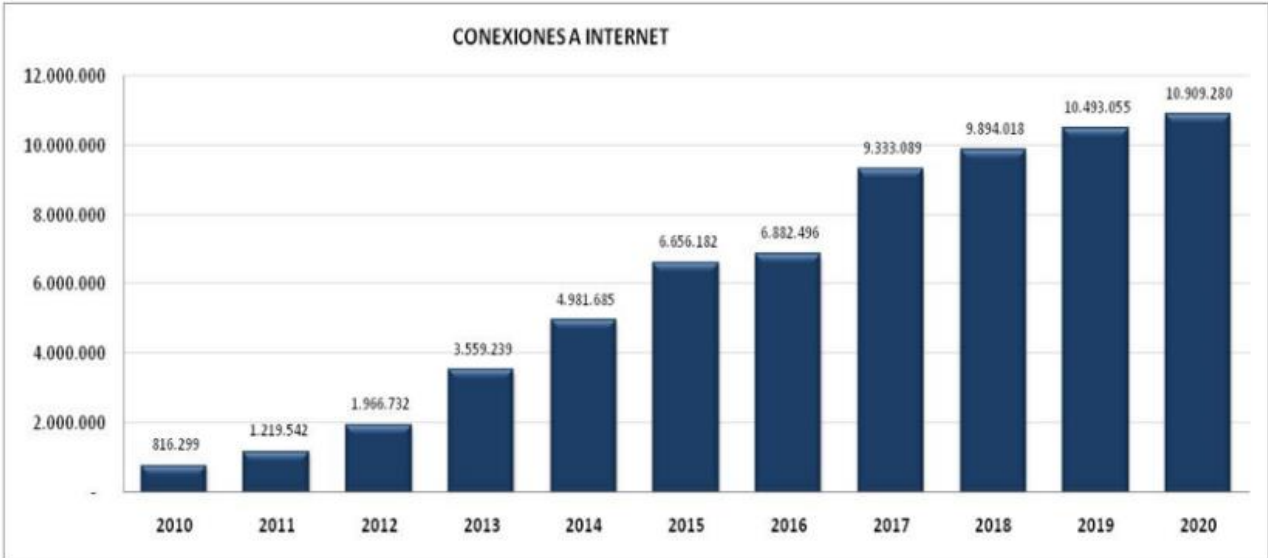


Figura. 3.10 Evolución de conexiones del Servicio de Acceso a Internet - segundo semestre 2020
Fuente: Autoridad de Fiscalización y Control Social de Telecomunicaciones y Transportes – ATT

CLASIFICACION	TECNOLOGIA	CANTIDAD DE CONEXIONES DICIEMBRE 2019	%	%T	CANTIDAD DE CONEXIONES DICIEMBRE 2do. 2020	%	%T
FIJAS	Dial-Up	239	0,00%	7,12%	186	0,00%	8,54%
	ADSL	94.283	0,90%		80.180	0,79%	
	VDSL	20.291	0,19%		36.419	0,36%	
	Cable Modem	33.026	0,31%		41.141	0,40%	
	On-line	834	0,01%		734	0,01%	
	FTTx	598.199	5,70%		773.258	7,61%	
INALAMBRICA FIJA	LTE Fijo	10.789	0,10%	0,12%	4.489	0,04%	0,09%
	Wireless	723	0,01%		536	0,01%	
	Satelital	649	0,01%		4.804	0,05%	
	SID	13	0,00%		13	0,00%	
	WiMax	361	0,00%		66	0,00%	
MOVILES	GPRS/EDGE	174.894	1,67%	92,76%	146.889	1,44%	91,37%
	MODEM USB (2,5 - 4G)	60.300	0,57%		45.779	0,45%	
	TERMINAL (2,5 - 4G)	9.498.454	90,52%		9.774.786	96,15%	
TOTALES		10.493.055	100,00%		10.909.280	100,00%	

Tabla 3.2 Conexiones por tecnología de acceso de 2019 al segundo semestre de 2020
Fuente: Autoridad de Fiscalización y Control Social de Telecomunicaciones y Transportes – ATT

En la tabla 3.2 se puede observar el comportamiento de las conexiones a Internet para el período 2019-2020 a través de diversas tecnologías de acceso. La tecnología con el crecimiento más rápido fue la de acceso a través de tecnologías FTTx, que experimentó un aumento del 5.70% al 7.61% en este período, es decir, de 598,199 a 773,258 conexiones.

Para el segundo semestre del año 2020, se puede concluir que la tecnología con la mayor cantidad de conexiones es el Internet móvil de Banda Ancha en terminales, que ahora representan el 90.52% del total, con un crecimiento de 276,332 smartphones en un año. Este crecimiento podría deberse a las nuevas ofertas de los ISP móviles de smartphones a precios más económicos, al crecimiento económico del país y a una mejor redistribución del ingreso.

Al cierre del segundo semestre del 2020, la distribución de conexiones por departamento sitúa a La Paz como la región con más conexiones al Servicio de Acceso a Internet, con 3,162,292 conexiones. El segundo departamento con mayor número de conexiones es Santa Cruz, con 3,147,324.

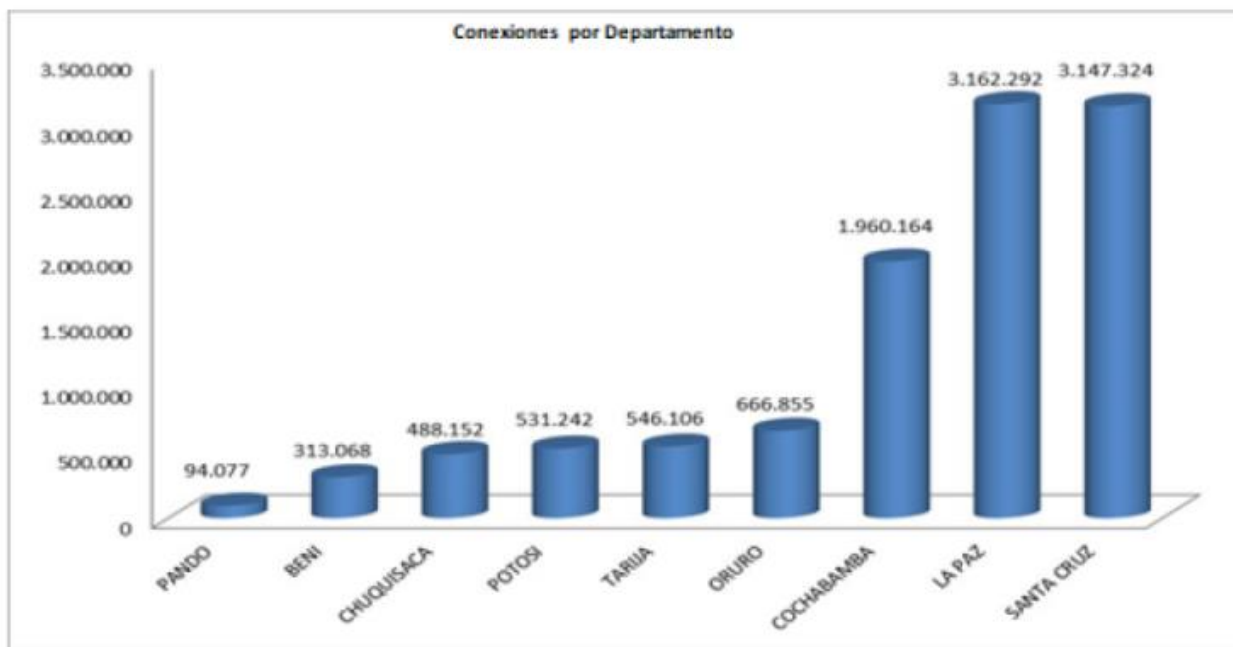


Figura. 3.10 Conexiones por departamento – segundo semestre 2020

Fuente: Autoridad de Fiscalización y Control Social de Telecomunicaciones y Transportes – ATT

Para el caso particular del presente proyecto en la localidad de Santiago de Machaca, se cuenta con el servicio de Internet móvil a través de Fibra Óptica de Entel, lanzado al mercado a finales de 2017.

3.2 Situación actual en ENTEL S.A.

La Empresa Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL S.A.) logró en la gestión 2021 un rendimiento económico de Bs 807 millones, monto que supera en un 58% al registrado en 2020, considerando condiciones equivalentes de comparación entre ambas gestiones.

“El rendimiento económico de la empresa se ha manifestado en Bs 807 millones, monto superior en 58% a lo obtenido en 2020 en las mismas condiciones”, destacó el Gerente General de ENTEL S.A., Ing. Roy Méndez Soletto.”

De esta manera, ENTEL S.A. contribuye decisivamente a la reactivación económica que encara el gobierno del presidente Luis Arce Catacora y, además, impacta positivamente en la economía de las personas adultas mayores del Estado Plurinacional de Bolivia.

3.2.1 Cobertura de ENTEL S.A.

Las primeras implementaciones de redes de fibra óptica internacional en el país datan de la época de la capitalización de ENTEL, como parte del proyecto Nautilus dirigido por TELECOM ITALIA, que formaba parte de los proyectos de inversión acordados por ENTEL. La infraestructura de fibra óptica del proveedor ENTEL S.A. abarca el eje principal del país, con conexiones internacionales. Esta red troncal de fibra óptica facilita la gestión del tráfico de comunicaciones de alto volumen informático y telemático.

Además de su papel en la gestión del tráfico de comunicaciones de alta capacidad, la red troncal de fibra óptica también juega un papel fundamental en la mejora de la conectividad y el acceso a Internet en regiones remotas y rurales del país. Al extender su alcance a áreas anteriormente desatendidas, ENTEL S.A. contribuye significativamente a reducir la brecha digital y a promover el desarrollo económico y social en todo el territorio nacional.



Figura 3.1. Anillo óptico nacional de fibra óptica
Fuente: Oferta Básica de Interconexión de ENTEL

Actualmente, se tienen conexiones de fibra óptica con las fronteras de Perú (vía Desaguadero), Chile (vía Tambo Quemado), Argentina (vía Villazón, Bermejo y Yacuiba) y más recientemente, se llega hasta Brasil (vía Puerto Quijarro, San Matías, Guayaramerín y Cobija).

Del mismo modo, se ha puesto en marcha la ampliación de la red de fibra óptica por todos los departamentos de Bolivia.

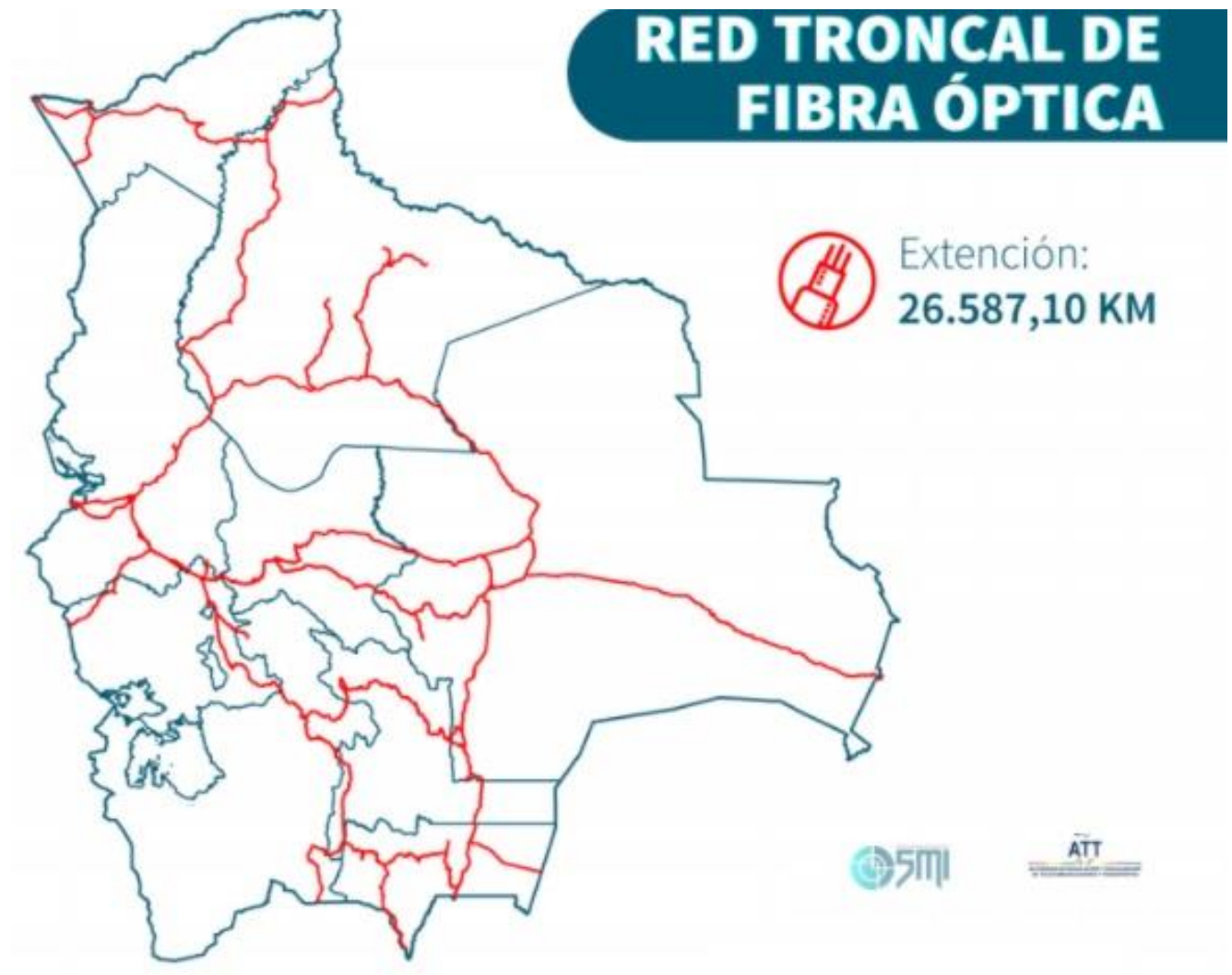


Figura 3.2. Fibra óptica red fundamental de Bolivia

Fuente: Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes

Tras la nacionalización, la empresa estatal asegura que cuenta con 6.3 millones de líneas móviles activas y 360,000 conexiones a servicios de fibra óptica para hogares (FTTH). Esta amplia cobertura se ve respaldada por las 9,607 radiobases instaladas en todo el territorio nacional, lo que coloca a Entel como líder indiscutible en el sector de las telecomunicaciones en el país. Esta posición de liderazgo no solo se traduce en números impresionantes, sino que también refleja el compromiso de Entel en proporcionar servicios de calidad y acceso a la tecnología a todos los rincones de Bolivia, contribuyendo así al desarrollo social y económico del país.

Para Roy Méndez, gerente general de la Empresa Nacional de Telecomunicaciones (Entel), menciono:

“Estas cifras son el resultado de la nacionalización, la cual ha permitido el crecimiento de la estatal hasta ubicarse como líder en este mercado. Pero además ha hecho posible el cumplimiento de las políticas del Estado referidas a la inclusión social y el acceso universal a las telecomunicaciones”.

El 1 de mayo de 2008, mediante Decreto Supremo 29544, se nacionalizó la totalidad del paquete accionario de la empresa ETI Euro Telecomunicaciones International NV en favor del Estado boliviano, convirtiéndola en Entel S.A.

Tras ese proceso, entre 2018 y 2021, la empresa estatal invirtió con recursos propios más de \$us 2,500 millones en beneficio de la población boliviana, además de modernizar y expandir sus servicios para garantizar las telecomunicaciones desde cualquier punto del país.

Los multicentros de Entel en la ciudad de El Alto están presentes en zonas como:

- Multicentro 16 de julio
- Multicentro La Ceja
- Multicentro Rio Seco
- Multicentro Villa Adela
- Multicentro Cielo Mall
- Multicentro Viacha

3.3 Descripción general del escenario

3.3.1 Ubicación geográfica

La localidad de Santiago de Machaca se ubica en la primera sección de la Provincia José Manuel Pando, en la ciudad de La Paz. Para llegar allí desde la ciudad de El Alto, se debe tomar la ruta 43, con un tiempo de viaje aproximado de 2 horas y 36 minutos, y una distancia de 143 kilómetros, a una altitud promedio de 3900 metros sobre el nivel del mar.



Figura. 3.3 Localización de Santiago de Machaca en La Paz
Fuente: Wikimedia Commons

3.3.2 Longitud y latitud

Santiago de Machaca se encuentra geográficamente ubicado entre las coordenadas $17^{\circ} 3' 55''$ de latitud sur y $69^{\circ} 11' 38''$ de longitud oeste. Esta localidad está situada en la primera sección de la Provincia José Manuel Pando.



Figura. 3.4 Santiago de Machaca según coordenadas
Fuente; Google Earth

3.3.3 Extensión territorial

La localidad de Santiago de Machaca cuenta con una superficie total aproximada de 1255 km². En el marco de la norma constitucional, está conformada por 27 Subcentrales y 6 cantones, los cuales son: Santiago de Machaca, Berenguela, Villa Exaltación, General José Ballivián, Bautista Saavedra y Santiago de Huaripujo. La población total asentada en esta jurisdicción territorial, según los datos del CENSO de población y vivienda 2012, es de 4,593 habitantes, correspondiente a la unidad sociocultural Aymara.

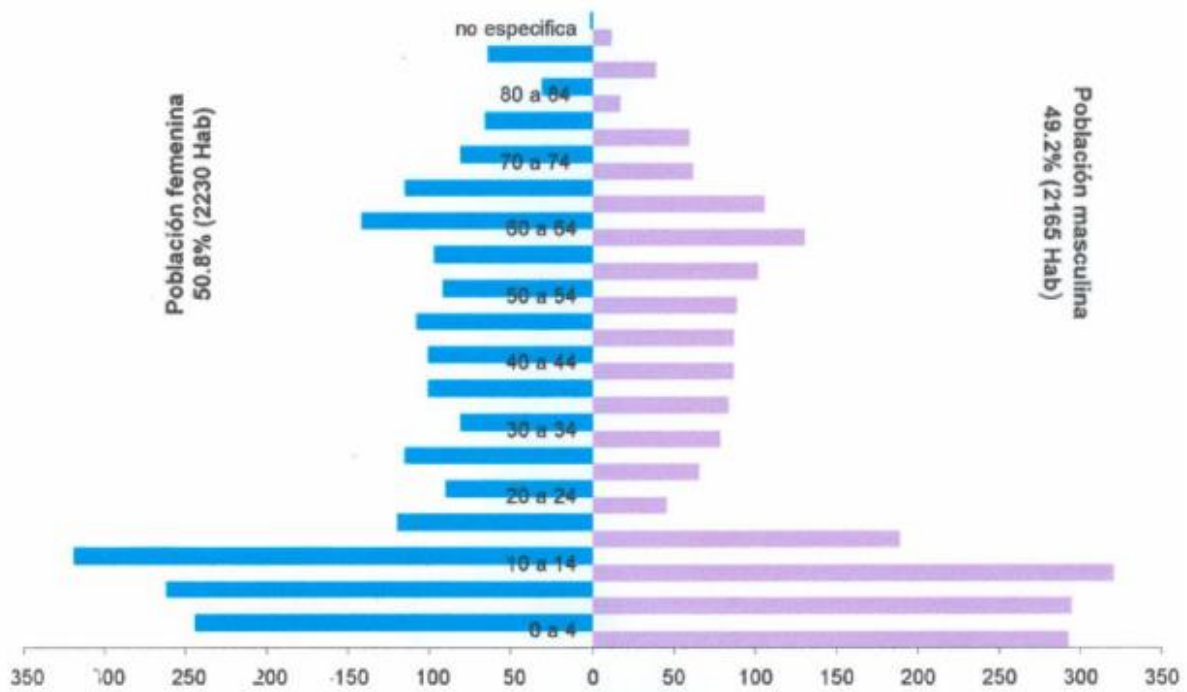


Figura. 3.5 Población por grupos etarios del municipio de Santiago de Machaca
Fuente: Datos del INE 2012

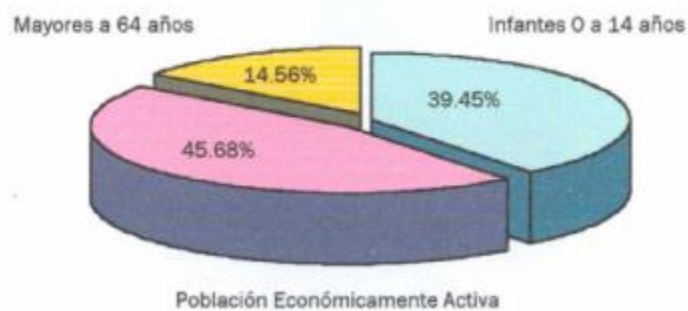


Figura. 3.6 Distribución por grupos etarios
Fuente: Datos del INE 2012

Como se puede apreciar en los datos estadísticos, la población presenta una gran cantidad de jóvenes entre 10 y 20 años, así como una población económicamente activa que representa el 45.68% del total. El resto de la población se distribuye entre niños menores de 10 años y adultos de entre 50 y 60 años, quienes conforman el resto del porcentaje.

3.3.4 Límites territoriales

Los límites territoriales de Santiago de Machaca son los siguientes:

- ❖ Al Norte con el cantón Laquinamaya y Villa Artasiwi de la Primera Sección Viacha de la provincia Ingavi.
- ❖ Al Este con el cantón Achiri del municipio Caquiaviri de la provincia Pacajes, y el cantón San Andrés de Machaca de la provincia Ingavi.
- ❖ Al Sur con la Quinta Sección municipal Charaña de la provincia Pacajes. Charaña.
- ❖ Al Oeste con la hermana república del Perú y la Segunda sección Catacora de la provincia José Manuel Pando.

Por su situación limítrofe, esta sección se ubica estratégicamente, ya que tiene un extenso límite internacional con Perú y se encuentra próximo al límite tripartito con Perú y Chile, lo que de una u otra forma beneficia a la sección a través del intercambio comercial y cultural.

3.3.5 Demografía

El Instituto Nacional de Estadística (INE) de 2012 reporta una población provincial de 6,137 habitantes, de los cuales 3,088 son hombres y 3,049 son mujeres. Del total de esta población, 4,593 habitantes pertenecen al municipio de Santiago de Machaca, lo que representa el 71.72%. De estos, 2,180 son varones y 2,413 son mujeres.

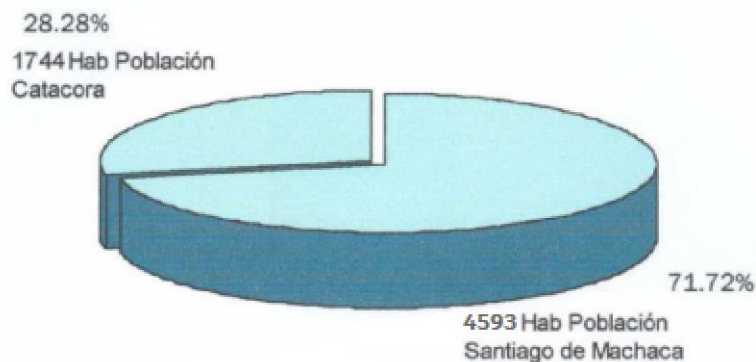


Figura. 3.7 Distribución poblacional de la provincia José Manuel Pando
Fuente: Datos del INE 2012

3.3.6 Vivienda

En la localidad de Santiago de Machaca, se registran 1,130 viviendas, de las cuales 1,027 están habitadas de forma permanente, 38 viviendas están ocupadas de manera temporal y 65 se encuentran en las afueras del pueblo. La mayoría de estas viviendas cuenta con espacios adyacentes aprovechados como corrales para animales y para el almacenamiento de productos agrícolas. El patio de la casa cumple múltiples funciones, siendo utilizado para la instalación de implementos destinados al tejido de uso familiar y al procesado de alimentos. La diversidad de actividades refleja la versatilidad de las viviendas en la localidad, no solo como lugares de residencia, sino también como centros para actividades agrícolas y familiares.

En el área urbana, algunas viviendas se han construido con ladrillo, adobe, cubierta de calamina, pisos de cemento y ventanas más amplias de madera o metal. También se han observado viviendas remodeladas con mejoras en pisos y cubiertas, especialmente cerca de la plaza de Santiago de Machaca. El índice de hacinamiento es del 63.3%, lo que indica que la mayoría de las viviendas albergan a más de dos personas por habitación.

3.3.7 Transportes y comunicaciones

3.3.7.1 Red vial

La red vial del municipio comprende caminos que vinculan internamente a los seis cantones de la sección, así como las vías camineras que conectan la sección con otras secciones y provincias (Pacajes e Ingavi). También se señala que Santiago de Machaca es un tramo intermedio hacia la hermana república del Perú (provincia Pisacoma) y la localidad fronteriza de Charaña, provincia Pacajes, que limita con la república de Chile (tripartito). Para acceder a la sección por vía terrestre existen dos rutas principales:

La primera comprende la carretera asfaltada La Paz - Viacha, para luego continuar por un camino de tierra hacia Central Chama - Santo Domingo de Machaca - Nazacara - San Andrés de Machaca - Santiago de Machaca, y se prolonga hacia la segunda sección municipal de la provincia José Manuel Pando, Catacora - Thola Kollo - Hito IV (182 Km.), desde donde se prosigue hacia Tacna y los puertos 110 y Matarani en el Perú. Desde

Santiago de Machaca se puede continuar hacia Ventilla Hito 22, que es vecina de la provincia Pisacoma de la república del Perú.

El otro tramo se inicia desde La Paz - Viacha - Caquiaviri - Vichaya - Achiri - Berenguela, con prolongación hasta Charaña (210 Km.), que continúa hasta el puerto chileno de Arica.

Según los transportistas, la red troncal se mantiene transitable durante todo el año, aunque se deben tener algunas precauciones durante la época de lluvias que comprende los meses de diciembre a marzo, debido principalmente a la crecida de los ríos Katari, cerca de la ciudad de Viacha, y Pallina, en el tramo Chama - Santo Domingo, ya que sobre estos ríos no existen puentes.

3.3.7.2 Red de comunicación

Actualmente, la localidad de Santiago de Machaca cuenta con una radio base que utiliza la fibra óptica como medio de transmisión, cubierta por la Empresa Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL S.A.), ofreciendo un servicio de punto de acceso de red de comunicación fija.



Figura. 3.8 Estación base situado en la localidad Santiago de Machaca por parte de la empresa de Telecomunicaciones ENTEL S.A.

Fuente: Elaboración propia

3.3.8 Fuentes y usos de energía

De acuerdo con datos oficiales del censo de 2012 del Instituto Nacional de Estadística (INE), en lo que respecta a los servicios, el 27.8% de las viviendas del municipio de Santiago de Machaca no cuentan con energía eléctrica provista por la empresa DELAPAZ, mientras que un 62.1% tiene acceso a este servicio, como se muestra en la figura 3.9.

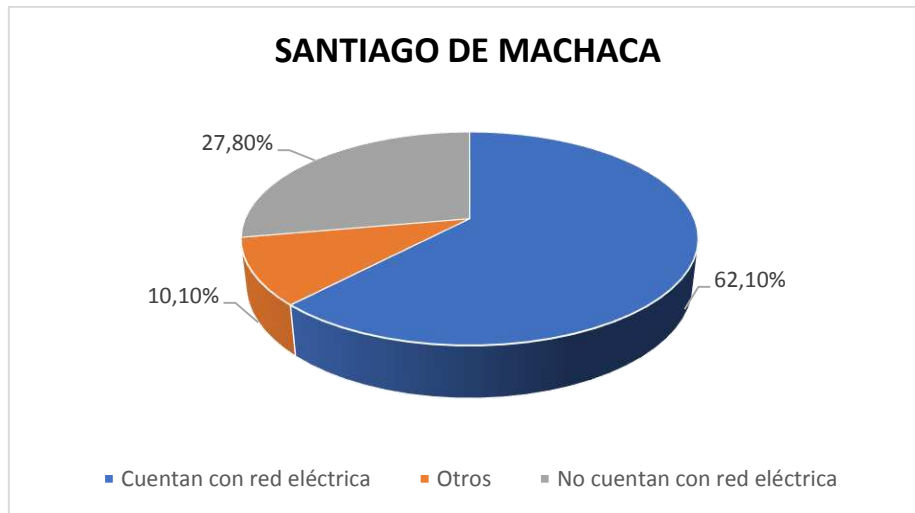


Figura. 3.9 Disponibilidad de energía eléctrica en la localidad de Santiago de Machaca
Fuente: Elaboración propia en base a los datos INE 2012

En el año 2021, la empresa DELAPAZ realizó una inversión de Bs245.856 que benefició a los municipios de Jesús de Machaca, Nazacara, San Andrés de Machaca, Charaña y Santiago de Machaca. Esta inversión logró cubrir a más del 80% de las viviendas beneficiadas con energía eléctrica.

3.3.9 Situación socioeconómica

Debido a las condiciones medioambientales, como el clima seco y los suelos medianamente fértiles, así como la relativa abundancia de recursos naturales y amplia biodiversidad, los pobladores del municipio se dedican principalmente a actividades productivas como la agricultura, la ganadería y el comercio.

La disponibilidad de mano de obra asalariada en la sección se concentra en el sector educativo y en dependencias del Estado, tales como profesores, policías, militares, personal de salud y funcionarios municipales. También se incluyen los empleados del Fondo Rotatorio de

Inversión Productiva (FRIP), con sede en Santiago de Machaca, así como albañiles y jornaleros eventuales. El resto de la población trabaja por cuenta propia en actividades agrícolas, ganaderas, artesanales, comerciales y de transporte.

3.4 Estimación de poblaciones futuras

Existen varios métodos para estimar poblaciones futuras, pero ninguno es completamente preciso debido a la incertidumbre, la cual puede ser influenciada por diversos factores como el clima y el nivel socioeconómico. La estimación dependerá del grado de "estabilización" de la comunidad o población estudiada en ese momento, así como de las posibilidades de expansión del sector analizado.

3.4.1 Método geométrico

En este método de estimación, el crecimiento obedece a las siguientes expresiones:

$$Pf = Puc * (1 + r)^{Tf - Tuc}$$

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci}\right)^{\frac{1}{Tuc - Tci}} - 1$$

Dónde:

Pf = Población final (Proyección)

Tf = Tiempo de años final (Proyección)

Puc = Población último censo

Tuc = Tiempo en años último censo

Pci = Población censo inicial

Tci = Tiempo en años censo inicial

r = Taza de crecimiento anual

El uso de esta expresión puede llevar a resultados algo exagerados, especialmente en poblaciones en desarrollo con tasas de crecimiento elevadas mientras alcanzan la estabilización. Este método es recomendable para poblaciones en pleno desarrollo y a corto plazo en el futuro (10-15 años).

El método geométrico se emplea para estimar la población de Santiago de Machaca, que está en constante crecimiento con una tasa intercensal del 0.20%.

3.5 Análisis de mercado y proyección de demanda

3.5.1 Valoración de la demanda mediante encuestas

El gran interés por los servicios de telecomunicaciones por parte de los usuarios en la localidad de Santiago de Machaca es elevado.

Se realizaron encuestas en el área urbana de la localidad, demostrando el interés de la población en el servicio ofrecido.

VALORACION DE ENCUESTA DE LA LOCALIDAD DE SANTIAGO DE MACHACA			
ZONA	ENCUESTADOS	INTERESADOS EN EL SERVICIO DE BANDA ANCHA	PORCENTAJE
Norte	80	47	58.75%
Sur	80	51	63.75%
TOTAL	160	98	61.25%

Tabla. 3.1 Interesados en el servicio de banda ancha
Fuente. Elaboración propia en base a los resultados de la encuesta realizada

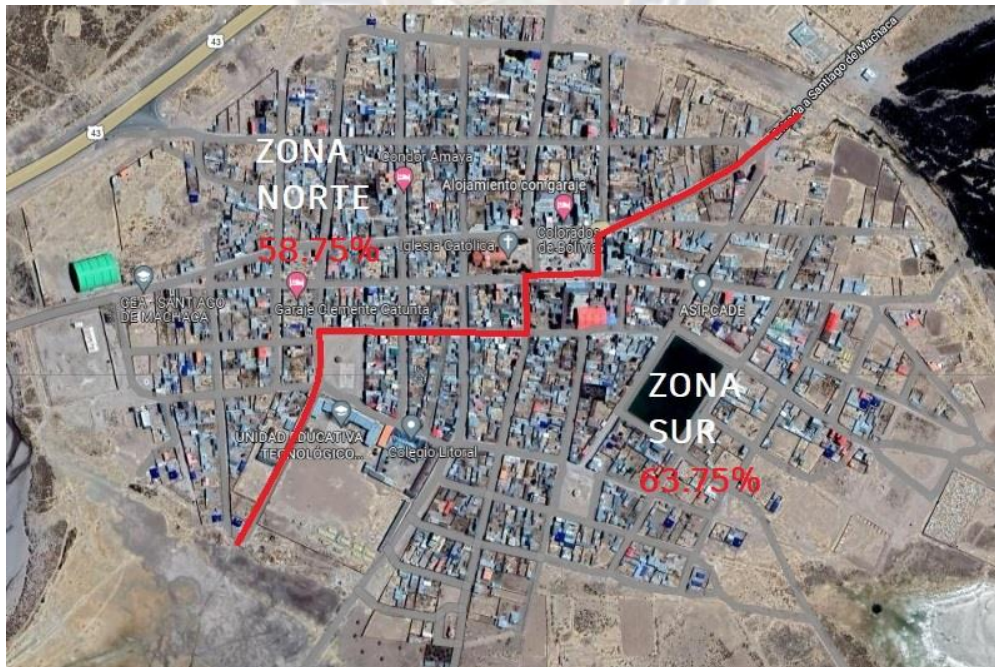


Figura. 3.10 Porcentaje de interesados por zona en el área de cobertura
Fuente. Elaboración propia en base a la encuesta realizada

Como se puede observar en la tabla 3.1, más de la mitad de las personas encuestadas están interesadas en adquirir el servicio de banda ancha. En la zona sur, este interés alcanza un porcentaje del 63.75%, mientras que en la zona norte es ligeramente menor, con un 58.75% de interesados.

3.6 Conexiones del servicio de Internet en la localidad de Santiago de Machaca

Para estimar las conexiones en Santiago de Machaca para el diseño de la red GPON, se utilizarán datos del INE correspondientes al Censo de 2001 y 2012, los cuales muestran la población en la localidad. Además, se usarán las ecuaciones del método geométrico. Los resultados se presentan en la tabla 3.2:

AÑO	POBLACION ESTIMADA POR EL METODO GEOMETRICO	NUMERO DE VIVIENDA PROYECTADAS	Tuc	Tci	Puc	Pci	Tf	r	Pf
2001	4402		2012	2001	4500	4402	2024	0.002	4609
2012	4500	1130							
2024	4609	1157							

Tabla. 3.2 Estimacion de la poblacion y viviendas por el metodo geometrico para el 2024
Fuente. Elaboración propia en base a los datos del INE

El número de viviendas según el censo 2012 en la zoca de despliegue de red de acceso es:

LOCALIDAD	NÚMERO DE VIVIENDAS
Santiago de machaca	1130

Tabla. 3.3 Numero de viviendas según Censo 2012
Fuente. Elaboración propia en base a los datos del INE

Se utilizará método geométrico para la estimación de población, ya que la localidad de Santiago de Machaca está en pleno desarrollo, se proyectará la población desde diciembre de 2024 a diciembre de 2029.

FECHA		POBLACION ESTIMADA POR EL METODO GEOMETRICO	NUMERO DE VIVIENDAS PROYECTADAS	NUMERO DE CONEXIONES ESTIMADAS AL 61.25% DEL TOTAL
2025	mar-24	4611	1158	709
	jun-24	4614	1158	709
	sep-24	4616	1159	710
	dic-24	4618	1159	710
2026	mar-25	4620	1160	710
	jun-25	4623	1160	711
	sep-25	4625	1161	711
	dic-25	4627	1162	711
2027	mar-26	4630	1162	712
	jun-26	4632	1163	712
	sep-26	4634	1163	713
	dic-26	4637	1164	713
2028	mar-27	4639	1165	713
	jun-27	4641	1165	714
	sep-27	4644	1166	714
	dic-27	4646	1166	714
2029	mar-28	4648	1167	715
	jun-28	4651	1167	715
	sep-28	4653	1168	715
	dic-28	4655	1169	716

Tabla. 3.4 Conexiones estimadas en Santiago de Machaca
Fuente. Elaboración propia

De acuerdo a la encuesta que se realizó en la localidad de Santiago de Machaca, se adquirió la muestra de 61.25% de la población estarían dispuestas a adquirir el servicio de internet, es decir que el número de conexiones en Santiago de Machaca será equivalente al número de viviendas multiplicado por 61.25%.

En el mercado de telecomunicaciones se tiene un comportamiento bastante dinámico con los abonados, es decir que no se podría predecir con exactitud a futuro, ya que el mismo dependerá de las promociones, la tecnología utilizada, el costo y la calidad del servicio.

3.7 Dimensionamiento del tráfico para el proyecto

Para el dimensionamiento del tráfico que soportara la red se tomará la capacidad que utiliza cada servicio o aplicación en Upstream y Downstream por separado, estas capacidades dependen de la cantidad de Mbps que necesita cada servicio para que este se pueda ofrecer de manera óptima. A continuación, se van a describir las capacidades que necesita cada servicio para los abonados residenciales y los corporativos.

Estos datos fueron recopilados de documentos técnicos, donde se evidencia que los clientes últimamente utilizan servicios como ser: juegos en línea, plataformas de streaming de video y música e IPTV o Video bajo demanda (VOD), el mejor ejemplo para estos servicios es NETFLIX donde a mayor calidad de video se necesita mayor ancho de banda.

3.7.1 Capacidad para un usuario residencial

Los servicios y aplicaciones que un usuario residencial de la localidad de Santiago de Machaca puede utilizar son detallados a continuación en la tabla 3.5, con su capacidad máxima de uso.

TIPOS DE SERVICIO	USUARIO RESIDENCIAL	
	DOWNSTREAM	UPSTREAM
INTERNET	30 Mbps	12 Mbps
VoIP	1 Mbps	1 Mbps
IPTV	5 Mbps	2 Mbps
TOTAL	36 Mbps	15 Mbps

Tabla. 3.5 Capacidad de servicio para usuarios residenciales
Fuente. Elaboración propia

Para los servicios que pueden utilizar los abonados residenciales, se tomarán los valores dados por la suma de los anchos de banda por servicio, así se tiene que la capacidad para Downstream es de 36 Mbps y de 15 Mbps en Upstream.

3.7.2 Estimación del ancho de banda por usuario

Según la recomendación UIT-T G.983.1, en Downstream, el valor estándar es 2,488 Gbps, y en Upstream es 1,244 Gbps, por lo tanto, podemos determinar el ancho de banda que se podría brindar al usuario, esto depende de la relación en la distribución de splitter's, pero para el presente diseño se considera tener 64 usuarios por puerto PON del OLT, por lo que el cálculo del ancho de banda disponible para cada usuario se podrá estimar de la siguiente manera.

Velocidad por usuario en Downstream:

$$\frac{2488 \text{ Mbps}}{64 \text{ usuarios}} = 38.88 \text{ Mbps/usuario}$$

Velocidad por usuario en Upstream:

$$\frac{1244 \text{ Mbps}}{64 \text{ usuarios}} = 19.44 \text{ Mbps/usuario}$$

Con estos cálculos se puede observar que teniendo 64 usuarios por puerto PON se puede asegurar los anchos de banda de la tabla 3.5.

3.7.3 Dimensionamiento de la capacidad de la red a cinco años

Para la demanda a 5 años, se deberá proyectar la cantidad de posibles clientes según lo estimado en la tabla 3.4. Además, se considerará que habrá 64 usuarios por puerto PON. Con estas consideraciones, se elaboraron las tablas 3.6 y 3.7, donde se muestra la capacidad de la red a 5 años.

En la tabla 3.7 se estima el ancho de banda por puerto. Para el diseño, se utilizarán 25 puertos GPON, lo que da un valor de 2304 Mbps por puerto. Esto se basa en la distribución igualitaria del total del tráfico para el quinto año de 4295 Mbps entre cada uno de los puertos. Como se puede observar, este ancho de banda no supera los 2,488 Gbps en Downstream y 1,244 Gbps en Upstream teóricos, por lo que se podrá incrementar los anchos de banda en el futuro.

PROYECCION DE LA CAPACIDAD		Año 0 (2024)	Año 1 (2025)	Año 2 (2026)	Año 3 (2027)	Año 4 (2028)	Año 5 (2029)
Usuarios Residenciales	Conexiones por año al 61.25%	240	480	720	960	1200	240
	Downstream [Mbps]	147	294	441	588	735	147
	Ancho de banda vendido [Mbps]	36	36	36	36	36	36
	Rehusó de ancho de banda 1:6 [Mbps]	5292	10584	15876	21168	26460	5292
Ancho de banda neto para 5 años [Mbps]							4410

Tabla. 3.6 Dimensionamiento de la capacidad de la red a 5 años
Fuente. Elaboración propia

CONEXIONES PROYECTADAS A 5 AÑOS	ANCHO DE BANDA PROYECTADAS A 5 AÑOS [Mbps]	TOTAL PUERTOS OLT PROYECTADAS A 5 AÑOS	PUERTOS DE RESERVA PARA AMPLIACIONES	ANCHO DE BANDA POR PUERTO USADO [Mbps]
716	4295	11	5	2304

Tabla. 3.7 Estimación de la capacidad por puerto PON
Fuente. Elaboración propia

3.7.4 Competencia y oferta de mercado

La localidad de Santiago de Machaca no cuenta con datos históricos para proyectar la curva de demanda de los servicios propuestos. Esto se debe a que aún no existen estadísticas sobre la instalación de servicios de banda ancha. Por lo tanto, se tomarán en cuenta los datos obtenidos en la encuesta y las proyecciones de conexiones realizadas a lo largo de 5 años para determinar la cantidad de usuarios interesados en el servicio de banda ancha.

3.8 Área a cubrir con GPON/FTTH

La localidad de Santiago de Machaca se encuentra aproximadamente a 165 km al suroeste de la ciudad de La Paz, limitando al norte con la provincia de Ingavi, al sur y este con Pacajes, y al oeste con la República del Perú. Su altitud promedio oscila entre los 3.890 msnm, experimentando precipitaciones pluviales más frecuentes en verano, con un promedio anual de 409 a 509 mm de agua. Las temperaturas extremas registradas varían desde los 20°C hasta los -10°C.

Con una población en constante crecimiento y su proximidad al límite tripartito con Perú y Chile, Santiago de Machaca se beneficia del intercambio comercial y cultural, haciendo el proyecto aún más atractivo. Aunque está aislado de la ciudad de La Paz, la localidad cuenta con servicio de internet móvil por fibra óptica proporcionado por ENTEL S.A.

Basándonos en el último censo nacional, proyecciones de crecimiento poblacional y encuestas locales, determinamos que el diseño de la red GPON/FTTH en esta localidad es un negocio rentable. Según la tabla 3.1, existe un interés significativo en adquirir servicios de acceso de banda ancha, según la encuesta realizada en la localidad.

Este dato es crucial para iniciar el diseño del proyecto y tener una idea de la capacidad que se manejará en cuanto al ancho de banda y dimensionamiento de la red. Además, el site survey revela una alta densidad de viviendas continuas, facilitando la elección de los puntos de acceso, también conocidos como NAP'S.

El proyecto no solo beneficiará a ENTEL S.A. sino también a la población de Santiago de Machaca. Al proporcionar servicios de TV e internet, se ofrece no solo entretenimiento a los usuarios, sino también oportunidades educativas para niños, jóvenes y adultos. A través de internet, se pueden realizar transacciones financieras, recibir servicio al cliente y trabajar desde casa, contribuyendo al desarrollo económico y mejorando la calidad de vida de la comunidad.

3.9 Diseño de la red GPON/FTTH

En este capítulo, desarrollaremos el proceso para el diseño de la red GPON/FTTH para la localidad de Santiago de Machaca.

En la actualidad, las telecomunicaciones en Santiago de Machaca están cubiertas por la Empresa Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL S.A.) y la empresa privada TIGO, proporcionando servicios de llamadas nacionales e internacionales. El diseño de la red de acceso por banda ancha para la localidad se realizará con base en los datos de la Empresa Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL S.A.).

La topología que se utilizará para desarrollar el diseño de la red GPON es la de tipo árbol. Esta tecnología nos proporciona la facilidad de que una OLT pueda dar servicio a una decena de usuarios, siendo el destino final las ONU's, gracias a los splitters, ya sean de primer o segundo nivel. Como se observa en la figura 3.11.

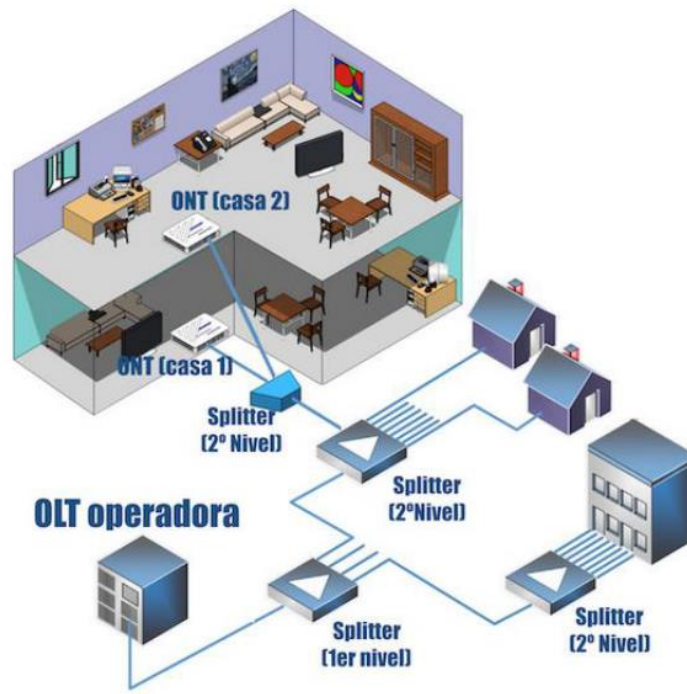


Figura. 3.11 Topología tipo árbol de una red GPON
Fuente. Naseros.com

Para la conexión a la OLT y la red de ENTEL se tendrá que tomar el nodo en Viacha este nodo es parte de la red metro de la ciudad de El Alto, además existe postración de la empresa DELAPAZ en la carretera a Santiago de Machaca por lo que ya existe tendido aéreo de la fibra óptica por parte de la empresa ENTEL y llega a una radio base en la localidad de Santiago de Machaca

3.9.1 Ubicación y características de la OLT

Para determinar la ubicación óptima del OLT, es crucial seleccionar un sitio que facilite la eficiente distribución de la fibra. Con el objetivo de evitar un uso excesivo de fibra óptica, se tomó la decisión de instalar el OLT en el corazón de la localidad de Santiago de Machaca, específicamente en el recinto de reuniones de los comunarios, situado frente al Colegio Fiscal Mixto Santiago de Machaca en la plaza principal. Esta localización estratégica permitirá minimizar los recursos empleados.

Para una mejor visualización de esta ubicación, se puede hacer referencia a la Figura 3.12, la cual proporciona detalles detallados sobre la posición exacta del OLT en relación con los puntos clave de la localidad. Este enfoque garantiza no solo eficiencia en la distribución de la fibra, sino también una cobertura efectiva de los servicios en toda la comunidad.



Figura. 3.12 Ubicación de la OLT en el corazón de Santiago de Machaca
Fuente. Elaboración propia

3.9.2 Características de la OLT ZTE ZXA10 C320

La OLT es el hardware fundamental para la elaboración de redes GPON, la empresa Entel trabaja desde 2014 con la empresa ZTE, el cual usan equipos de última generación como los ZXA10 C300 de ZTE para frente a las necesidades de una rápida construcción y evolución fluida de las redes, en ese sentido se escogió este modelo de OLT



Figura. 3.13 OLT ZTE ZXA10 C320
Fuente. Wireless and Security Solutions, Aire.ec

El ZXA10 C320 es una plataforma de acceso óptico con 10 puntos clave:

1. Plataforma Convergente y Compacta: Se trata de una plataforma de acceso óptico de pequeño tamaño que ofrece servicios completos.
2. Cumplimiento de Estándares: Es compatible con los estándares GPON (ITU G.984.x) y P2P (ITU G.985/G.986).
3. Dimensiones Compactas: Su diseño compacto en un estante de 19" mide 86.1 x 482.6 x 270 mm, facilitando su instalación.
4. Arquitectura de Alto Ancho de Banda: Ofrece una arquitectura de alto ancho de banda y multiplano.
5. Alta Capacidad de Banda: Utiliza un bus 10G y una interfaz Nx10GE Upstream para una conmutación sin bloqueo en todo el sistema, con un ancho de banda físico de 420G en el bus de datos del backplane.

6. Flexibilidad de Puertos GPON: La tarjeta GPON puede tener 8 o 16 puertos por tarjeta, lo que permite adaptarse a diferentes necesidades.
7. Configuraciones de Capa 2 y Capa 3: Admite configuraciones de capa 2 y puede actualizarse a configuraciones de 16 puertos GPON/EPON o xPON.
8. División Óptica Avanzada: Soporta una relación de división óptica de 1:128 para GPON, lo que permite compartir la señal óptica eficientemente.
9. Conectividad Óptica: Utiliza conectores SC/PC (SFP) para facilitar la conectividad óptica.
10. Interfaz PON de Alto Rendimiento: La interfaz PON ofrece velocidades de 2.488 Gbps en sentido descendente y 1.244 Gbps en sentido ascendente por puerto, con protección y corrección de errores, lo que asegura un rendimiento confiable en una amplia gama de condiciones de operación.

3.9.3 Optical Distribution Frame (ODF)

Se utilizarán bandejas de fibra óptica con una capacidad de 48 puertos. Esto facilitará el acceso al nodo óptico, especialmente en situaciones que requieran una expansión de la red.



Figura. 3.14 Distribuidor de fibra óptica (ODF)
Fuente. Wireless and Security Solutions, Aire.ec

3.9.4 Selección del cable de fibra óptica

En el presente proyecto, se utilizará fibra monomodo debido a sus ventajas en términos de alcance, menor pérdida y mayor ancho de banda en comparación con la fibra multimodo. Además, es una opción más económica.

Se optará por el uso de cables de fibra óptica de estructura holgada, que contienen una mayor cantidad de hilos de fibra por tubo y permiten un radio de curvatura más amplio en comparación con los cables de estructura ajustada.

Existen dos opciones principales para el tendido de la fibra óptica:

1. Tendido subterráneo: Implica la construcción de ductos a lo largo del trayecto de la fibra, lo que puede ser complicado y costoso debido a los permisos necesarios y los gastos adicionales asociados.
2. Tendido aéreo: Utiliza postes existentes a lo largo del recorrido del cable, lo que resulta en un costo menor en comparación con el tendido subterráneo. Por estas razones, se ha elegido la opción de tendido aéreo para este proyecto.

En el tendido aéreo, se consideran tres opciones de cables de fibra óptica:

1. OPGW (Optical Power Ground Wire): Estos cables presentan una estructura metálica que cumple un doble propósito. En primer lugar, actúan como cables de guarda para proteger contra las descargas atmosféricas en torres de alta tensión. Además, transportan el servicio de fibra óptica en el núcleo del cable.
2. ADSS (All Dielectric Self Supported): Son cables ópticos autosustentados totalmente dieléctricos que cumplen con las normas G.652 y G.655 de la UIT-T. Estos cables son inmunes a interferencias de las redes eléctricas y no son susceptibles a la caída de rayos debido a la falta de elementos metálicos. El cable incluye un revestimiento adicional de polietileno que rodea al cable dieléctrico y al elemento de sustentación externo no metálico.

3. Figura en 8: El cable de estructura holgada se caracteriza por su resistencia a las fuerzas externas, gracias al cable guía de acero, y su diseño que permite que el cable óptico y el cable guía estén separados, creando una forma similar a un "8" en la sección transversal del cable.

PARÁMETROS	OPGW	ADSS	FIGURA EN 8
Instalación en sistemas nuevos	Simple	Simple	Simple
Facilidad de mantenimiento	Difícil	Fácil	Fácil
Costo del cable	Alto	Bajo	Bajo
Costo de instalación	Alto	Bajo	Bajo
Acceso a fibras ópticas	Alto	Bajo	Bajo
Inmunidad a caída de rayos	Ninguna	Total	Total

Tabla. 3.8 Comparación entre cables OPGW, ADSS y FIGURA EN 8
Fuente. Elaboración propia

Basado en el análisis de la Tabla 3.8, se ha elegido el cable ADSS para el tendido de fibra en este proyecto. En cuanto al diseño de la red, se optó por la fibra monomodo estándar G.652.D de la ITU-T debido a su menor atenuación y coeficiente de dispersión en comparación con otros estándares. Esta elección se justifica por la ausencia de picos de atenuación causados por la presencia de hidroxilos de agua.

Se considerarán los siguientes tipos de fibra óptica:

- ❖ Patch Cord (SC/UPC-SC/UPC-SM-DX-2.0MM-2M)
- ❖ F.O. de 48 hilos (YOFC, ADSS-SS-120m-24B1.3)
- ❖ F.O. de 24 hilos (YOFC, ADSS-PE-120m-48B1.3)
- ❖ F.O. de 1 hilo DROP (YOFC, GJYXFCH-1B6a2)

Para una mejor comprensión de las conexiones con los cables de fibra óptica, se proporciona un diagrama detallado y se mencionan los posibles cables que se emplearán en el proyecto.



Figura. 3.15 Esquema de cables de fibra óptica
Fuente. Elaboracion propia

3.9.5 Elección y disposición de los divisores

Los divisores ópticos pasivos juegan un papel crucial en la distribución de la red, facilitando la conectividad punto a multipunto para los usuarios. Estos divisores se instalarán en las terminales NAP (Punto de Acceso a la Red), en compañía de divisores secundarios en situaciones específicas. Estos últimos se colocarán en postes, asegurando la protección de los divisores, las uniones y los acoplamientos en la red de Fibra Óptica.

3.9.6 Cantidad de splitters a usar

El divisor óptico, una pieza fundamental en las redes GPON, cumple la función esencial de fragmentar la señal óptica de entrada en múltiples salidas, lo que posibilita su distribución eficiente. Es imperativo considerar las pérdidas asociadas a este proceso, dado que estas están estrechamente relacionadas con la cantidad de salidas. Las pérdidas varían en función de la división del divisor, y se detallan en la tabla 3.15, que presenta las atenuaciones correspondientes.

SPLITTERS	ATENUACIÓN DB
1x2	3.50
1x4	7.00
1x8	10.50
1x16	14.00
1x32	17.50
1x64	21.00

Tabla. 3.9 Atenuación de divisores opticos por numero de divisiones
Fuente. Elaboración propia en base al Proyecto de Grado de “Diseño de una red de Acceso que utiliza tecnología FTTB con VDSL2 para La Paz y El Alto -Universidad Mayor de San Andrés

Dado que cada puerto GPON tiene la capacidad de atender a un máximo de 128 abonados, en este diseño en particular se considerará una asignación de 80 abonados por puerto. Esto se hace con el propósito de mantener dos puertos disponibles para futuras expansiones o para respaldo. En consecuencia, se utilizarán 14 puertos, lo que resulta en una capacidad máxima de 716 abonados proyectados para un período de 5 años.

3.9.7 Ubicación de los splitters primarios

Para conocer la región de atención que tendrán nuestros splitters primarios y secundarios, es necesario realizar cálculos basados en el número de viviendas según la tabla 3.3. Contamos con un índice de penetración del 61.25%. Además, en las cajas NAP de primer nivel habrá un splitter de segundo nivel. A continuación, llevaremos a cabo los cálculos correspondientes.

Para determinar la longitud de un hexágono en función del área o región de atención, utilizaremos la siguiente fórmula:

$$L = \sqrt{\frac{2 * A}{3 * \sqrt{3}}}$$

Donde:

A= Área del hexágono

L= Longitud de los lados del hexágono

Para calcular el área del hexágono, primero tenemos que multiplicar el número de viviendas por el índice de penetración:

*Nro. viviendas * índice de penetración*

$$716 * 61.25\% = 692$$

El resultado se dividirá por los puertos que nuestra Nap pueda brindar, para este proyecto se usaran splitters de 1x16

$$\frac{692}{16} = 43$$

El área que se desea cubrir es de 467885 m² este dato se obtuvo por Google Earth,

$$A = \frac{467885 \text{ m}^2}{43} = 10881 \text{ m}^2$$

Calculando la longitud del hexágono:

$$L = \sqrt{\frac{2 * 10881 \text{ m}^2}{3 * \sqrt{3}}}$$

$$L = 64.71\text{m} \cong 65\text{m}$$

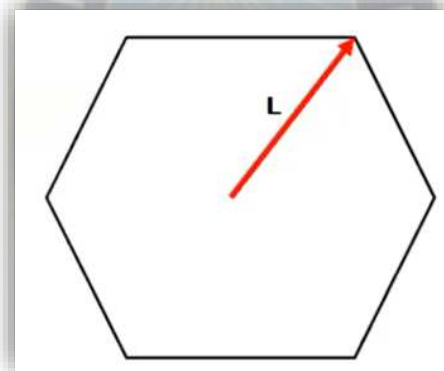


Figura. 3.16 Longitud del hexágono desde el centro hasta un vértice
Fuente. Elaboracion propia

En la figura 3.17 se representa la región de atención mediante hexágonos de 65 m de lado, desde el centro hasta cualquiera de sus vértices. Se lleva esta representación a Visio para obtener el área a cubrir a escala. Al colocar todos los hexágonos dentro del área a cubrir, se logra visualizar la distribución de las Naps en la localidad de Santiago de Machaca.

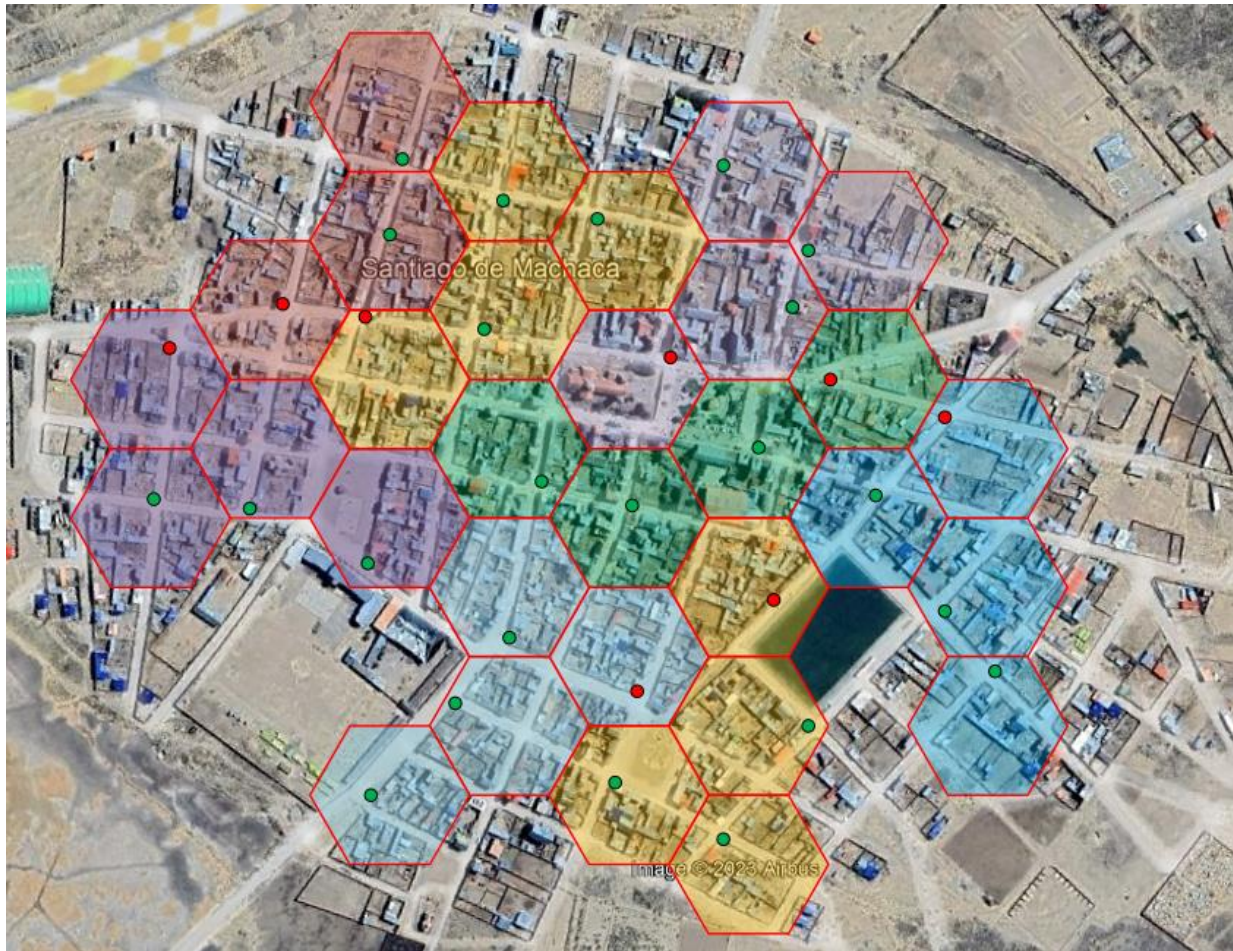


Figura. 3.17 Distribución de Naps primarias y secundarias
Fuente. Elaboracion propia en Visio

En la Figura 3.18 se muestra la disposición de los 8 splitters primarios. Estos componentes se han colocado estratégicamente según la densidad de viviendas en cada sector y se instalarán en las cajas NAP, las cuales se fijarán posteriormente en los postes. Además de la ubicación de los splitters primarios, se ha sectorizado el área de cobertura del diseño en 8 sectores. Para fines prácticos y de diseño, se establecen troncales que conectan los splitters primarios. Estas troncales se ramifican hacia los splitters secundarios, representados por los hexágonos del mismo color de cada sector. Esta segmentación de la fibra garantiza una distribución eficiente de la señal y una conectividad óptima para los residentes de Santiago de Machaca, en la Ciudad de La Paz.

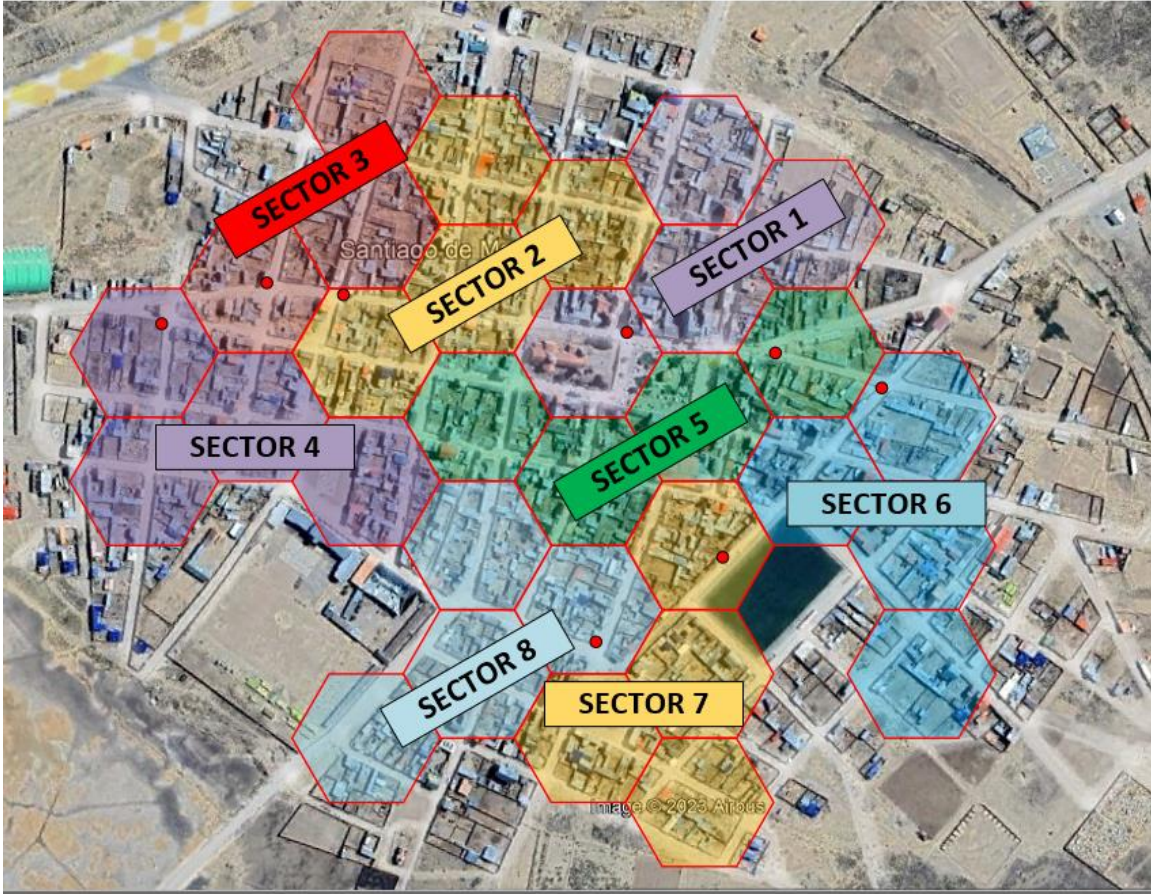


Figura. 3.18 Área a cubrir dividido por sectores
Fuente. Elaboración propia en Visio

En la Tabla 3.10, se detallan las distancias que la fibra deberá recorrer para conectar desde el OLT hasta los splitters primarios.

	SPLITTER PRIMARIO	DISTANCIA DESDE EL OLT HASTA EL SPLITTER PRIMARIO
SECTOR 1	1:4	121m
SECTOR 2	1:4	353m
SECTOR 3	1:4	414m
SECTOR 4	1:4	526m
SECTOR 5	1:4	87m
SECTOR 6	1:4	187m
SECTOR 7	1:4	395m
SECTOR 8	1:4	541m

Tabla. 3.10 Distancia desde la OLT a los splitters primarios
Fuente. Elaboración propia

En cada uno de los sectores, se conectarán 4 splitters secundarios de 1:16. Estos dispositivos se instalarán en las cajas NAP y, a su vez, se fijarán a los postes. La distancia aproximada entre estos splitters secundarios y el splitter primario se detalla en la Tabla 3.11.

	SPLITTER SECUNDARIO	DISTANCIA DEL SPLITTER PRIMARIO AL SPLITTER SECUNDARIO		SPLITTER SECUNDARIO	DISTANCIA DEL SPLITTER PRIMARIO AL SPLITTER SECUNDARIO
SECTOR 1	1:16	1m	SECTOR 5	1:16	1m
	1:16	137m		1:16	112m
	1:16	183m		1:16	308m
	1:16	127m		1:16	379m
SECTOR 2	1:16	1m	SECTOR 6	1:16	1m
	1:16	90m		1:16	86m
	1:16	191m		1:16	267m
	1:16	263m		1:16	321m
SECTOR 3	1:16	1m	SECTOR 7	1:16	1m
	1:16	183m		1:16	143m
	1:16	222m		1:16	250m
				1:16	352m
SECTOR 4	1:16	1m	SECTOR 8	1:16	1m
	1:16	115m		1:16	112m
	1:16	181m		1:16	173m
	1:16	286m		1:16	266m

Tabla. 3.11 Distancia del splitter primario a los splitters secundarios
Fuente. Elaboración propia

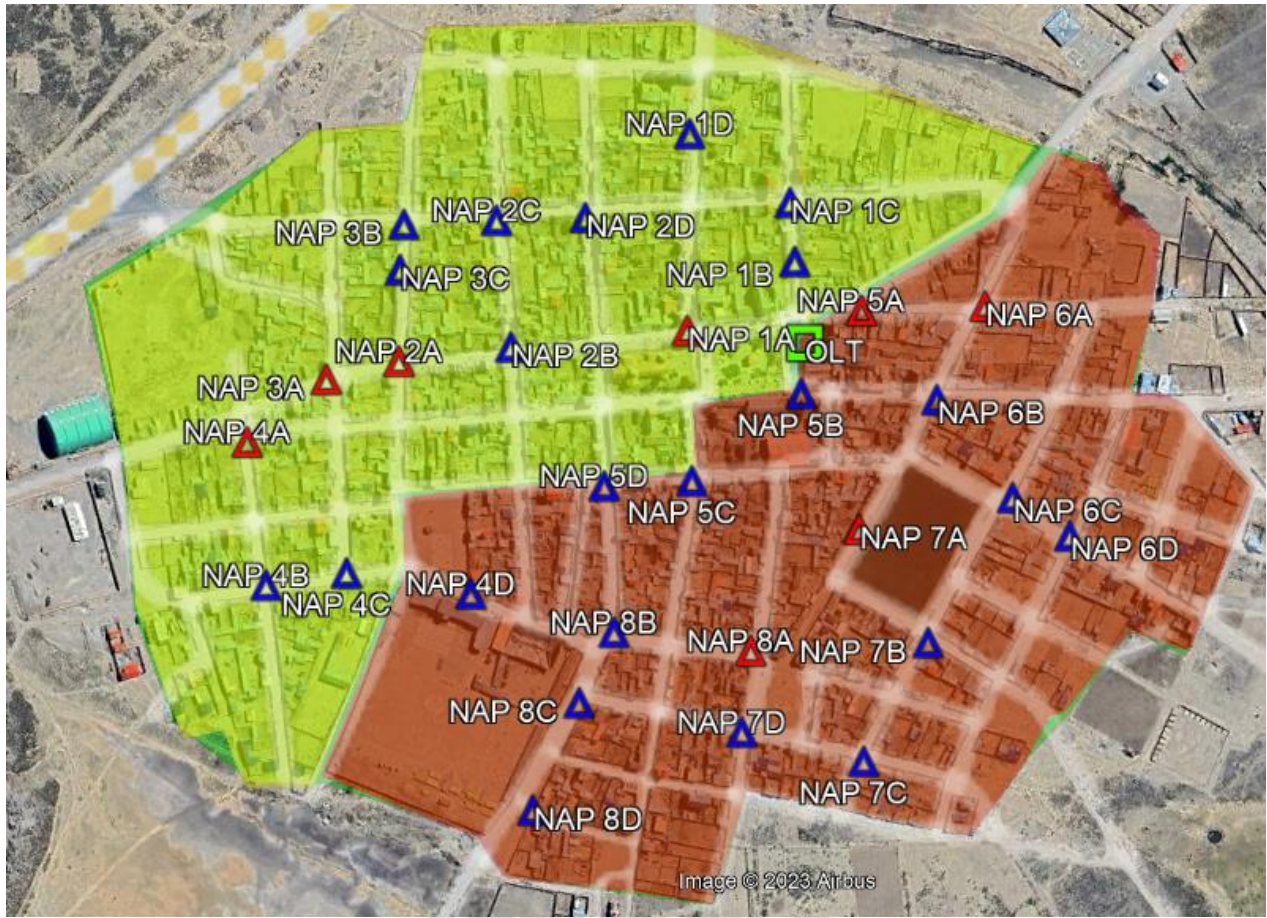


Figura. 3.19 Ubicación de los splitters primarios y secundarios de la Troncal 1 y 2
Fuente. Elaboración propia en Google Earth

3.9.8 Distribución del servicio a los usuarios

Con 16 puertos disponibles en la OLT, nuestro proyecto tiene el potencial de abastecer a un total de 1024 abonados en un plazo de cinco años. A partir de los splitters 1x16 ubicados en las terminales NAP, se llevará a cabo el acceso a las viviendas a través de cables de fibra óptica de un solo filamento, conocidos como "cables Drop". Este tipo de cable de fibra óptica destaca por su flexibilidad, lo que permite su instalación adecuada hasta las rosetas de los usuarios.

Se prevé que la longitud del cable de bajada desde el splitter secundario o NAP hacia la ONU sea de aproximadamente 200 metros.

3.9.9 ONU ZXHN F660

La empresa ENTEL Bolivia S.A. trabaja con la ONU (Unidad de Red Óptica) de la empresa ZTE, específicamente el modelo ZXHN F660. Este terminal de red óptica GPON (ONT) está diseñado para satisfacer las necesidades de usuarios domésticos, y es especialmente adecuado para la tecnología FTTH (Fiber To The Home). El ZXHN F660 cumple con el estándar ITU-T G.984 y ofrece un enlace descendente de 2.488 Gbps y un enlace ascendente de 1.244 Gbps en el lado de la red.



Figura. 3.20 ONU ZXHN F660
Fuente. AliExpress

Este dispositivo proporciona una variedad de puertos, incluyendo 4 puertos GE (Ethernet Gigabit), dos puertos telefónicos, así como una interfaz Wi-Fi 802.11b/g/n (2*2 a 2.4GHz) con dos antenas externas y un puerto USB en el lado del usuario. Esto permite a los usuarios domésticos acceder fácilmente a una amplia gama de servicios, que incluyen voz, video y otros servicios de banda ancha de alta velocidad.

El ZXHN F660 también es versátil en cuanto a su montaje, ya que puede ser instalado en un escritorio o en la pared según las necesidades de la ubicación. Este dispositivo es esencial para

proporcionar conectividad confiable y servicios de alta calidad a los usuarios en el contexto de proyectos GPON como el que se está realizando en Santiago de Machaca, en la Ciudad de La Paz.

PARÁMETRO	VALOR NOMINAL
Tipo de conector	SC/APC
Numero de puertos PON	1
Tipo de fibra	Fibra monomodo
Longitud de onda	Transmisión en: 1310 nm (interfaz PON), Recepción en: 1490 nm (interfaz PON)
Estándar de cumplimiento de la interfaz PON	ITU-T 984.x
Velocidad de recepción de la interfaz óptica	2.488 Gbps
Velocidad de transmisión de la interfaz óptica	1.244 Gbps
Rango de longitud de onda de transmisión	1290 nm–1330 nm
Potencia óptica de salida	Mínimo 0.5 dBm, Máximo 5 dBm
Potencia óptica del transmisor en estado de salida OFF	Menos que -45 dBm
Relación de extinción	Menos que 10 dB
Rango de recepción	1480 nm–1500 nm
Sensibilidad del receptor	-28 dBm
Potencia óptica de saturación del receptor	-8 dBm
Longitud del enlace óptico	20 km

Tabla. 3.12 Parametros de la ONU ZAXHN
Fuente. Manual 2018 routers ZTE

3.9.10 Planta externa de la red GPON diseñada

Considerando que la OLT y el gabinete de empalmes ODF estarán ubicados en la sede comunitaria de Santiago de Machaca, ya que Entel tiene cobertura en esa zona específica, la ubicación del ODF y OLT se detalla en la figura. Como se observa en las figuras, la ubicación de los splitters primarios y secundarios ya está determinada. Se utilizará un cable de fibra óptica con 24 hilos para la implementación del tendido aéreo. Se ha considerado un vano de 80 m como máximo para garantizar la eficiencia de la sujeción de la fibra óptica. La instalación aérea se llevará a cabo utilizando los postes suministrados por la empresa de servicios eléctricos DELAPAZ.

En la localidad de Santiago de Machaca, se constató la presencia de dos tipos distintos de postes en uso, de metal y de madera, lo que ha sido tomado en cuenta para la planificación detallada del despliegue de la infraestructura. Este análisis facilitará una integración eficiente con la infraestructura existente y garantizará la estabilidad y seguridad de la red en la implementación del tendido aéreo.

La gran mayoría de estos son postes de madera, y se utilizarán para la concepción del cableado aéreo. En contraste, la presencia de postes de concreto es limitada. Se planificarán dos rutas troncales para la distribución del servicio en los 8 sectores, así como los ramales que se derivarán de las troncales. En la ruta troncal, se llevarán a cabo derivaciones utilizando el método del sangrado de fibra óptica, enfocándose exclusivamente en las fibras específicas destinadas a la derivación.

A continuación, se presentarán las figuras correspondientes a las rutas especificadas. Es imperativo tener presente lo siguiente:

- Los círculos de color verde, son los postes a utilizar.
- Los triángulo de color azul y rojo son postes donde se tendrán las cajas NAP con al menos un splitter.
- La línea roja es la ruta troncal 1.
- La línea amarilla es la ruta troncal 2.
- La línea azul es la derivación de la ruta de los troncales.

Estas representaciones gráficas sirven como guía visual para la planificación y ejecución del tendido de fibra óptica en las distintas rutas de distribución del servicio en los 8 sectores de la localidad de Santiago de Machaca.

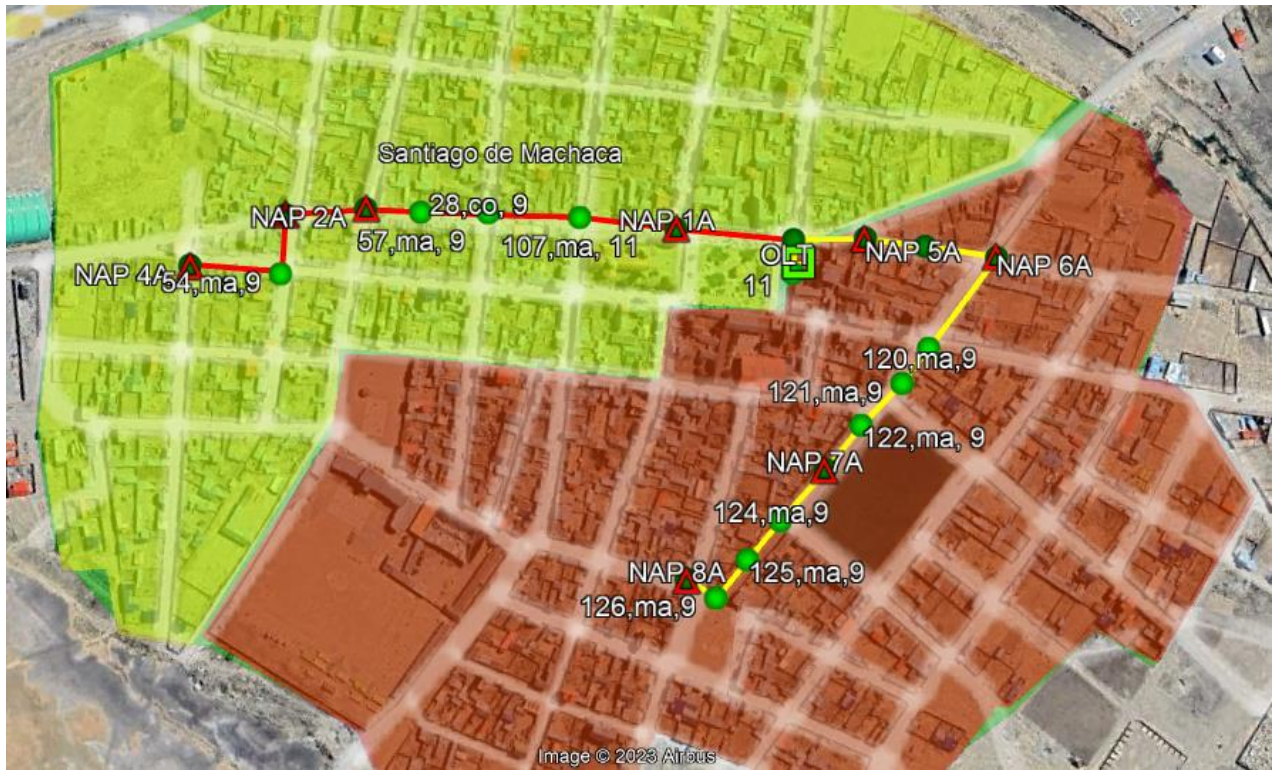


Figura. 3.21 Rutas troncales y la postacion para los 8 sectores
Fuente. Elaboracion propia en Google Earth

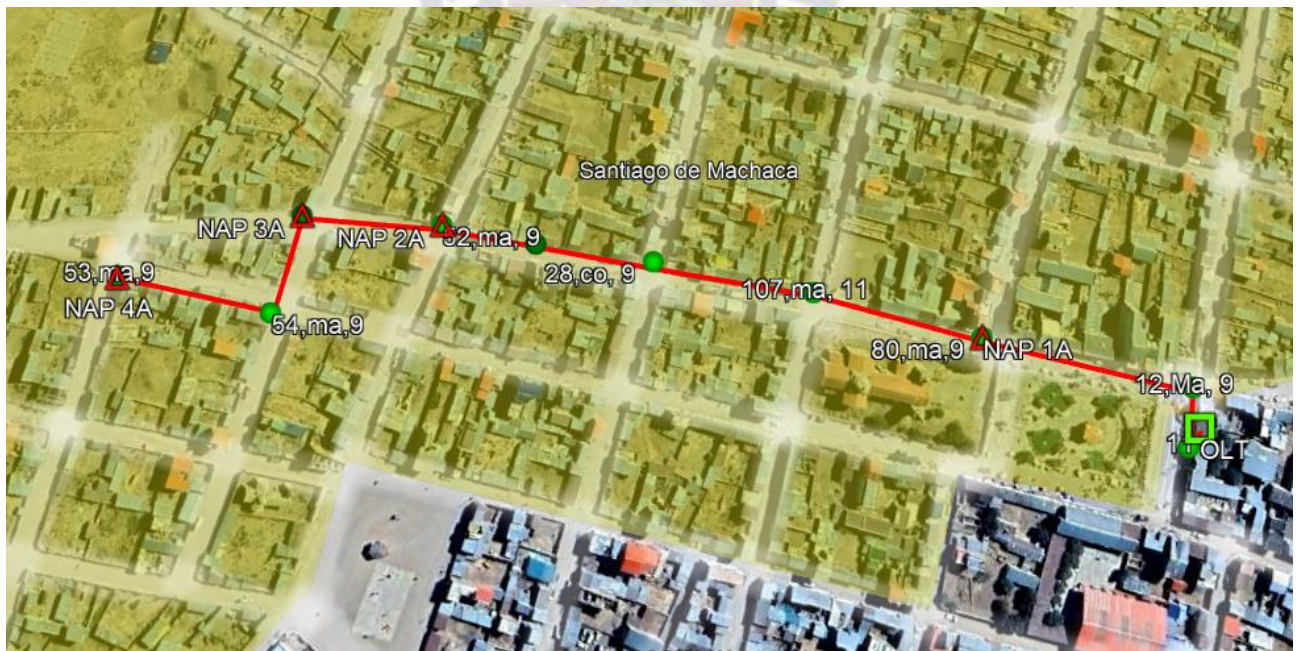


Figura. 3.22 Troncal 1 y la postacion a utilizar
Fuente. Elaboracion propia en Google Earth



Figura. 3.23 Troncal 2 y la postacion a utilizar
Fuente. Elaboracion propia en Google Earth

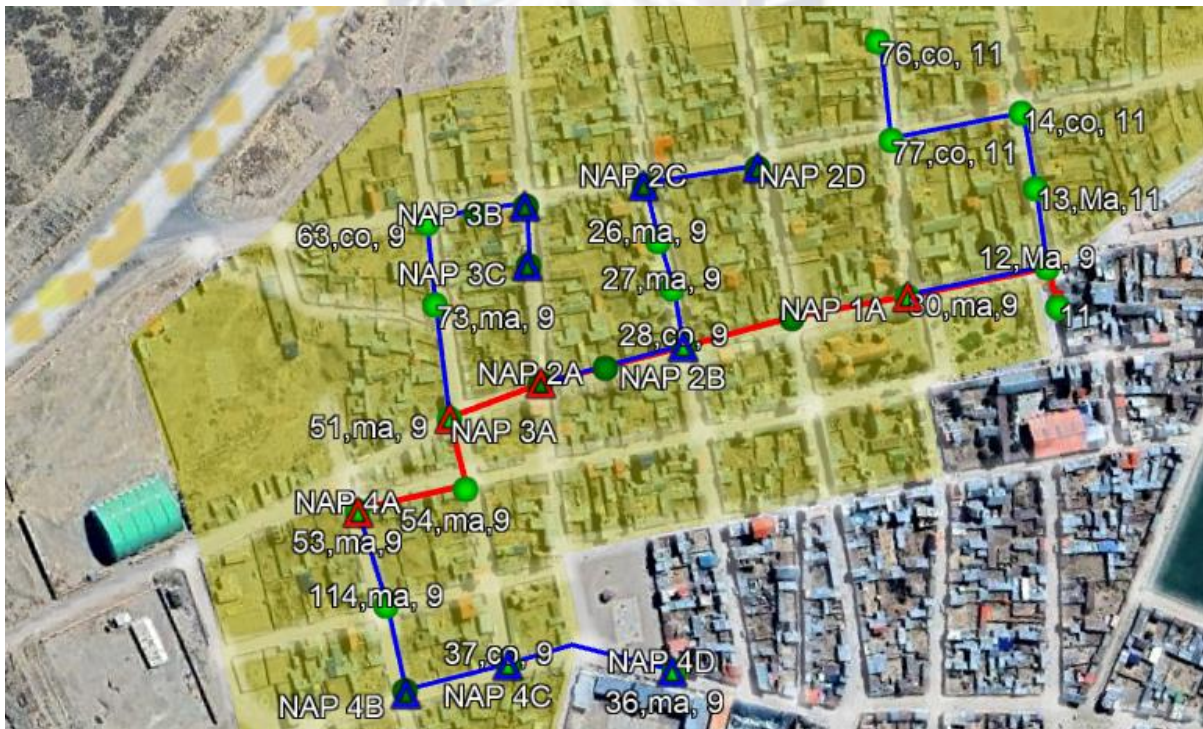


Figura. 3.24 Troncal 1, ramificaciones y la postacion a utilizar
Fuente. Elaboracion propia en Google Earth

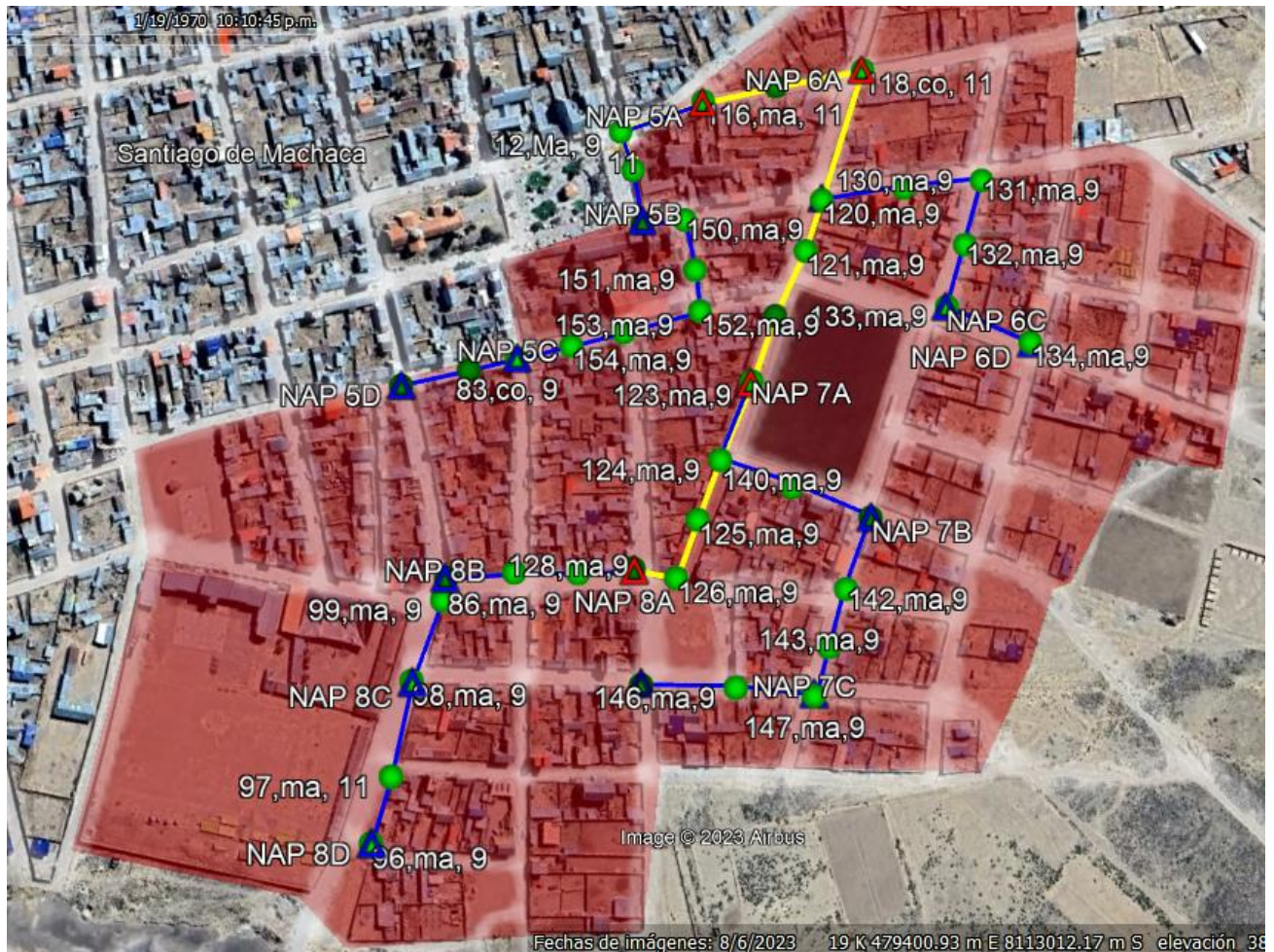


Figura. 3.25 Troncal 2, ramificaciones y la postacion a utilizar
 Fuente. Elaboracion propia en Google Earth

Realizando la suma de las rutas, se determina que se emplearán 3,362 km de fibra óptica, a lo que se debe agregar un 20% de holgura, considerando criterios de previsión y reserva de cable. Por ende, se contará con un total de 4035 km para el despliegue de la planta externa.

En la figura 3.37, se presenta el diagrama que ilustra las conexiones destinadas a los splitters mediante la técnica del sangrado de fibra óptica. Este enfoque proporciona una visualización clara de la distribución de las conexiones y facilita la comprensión del despliegue de la red en el contexto de los splitters.

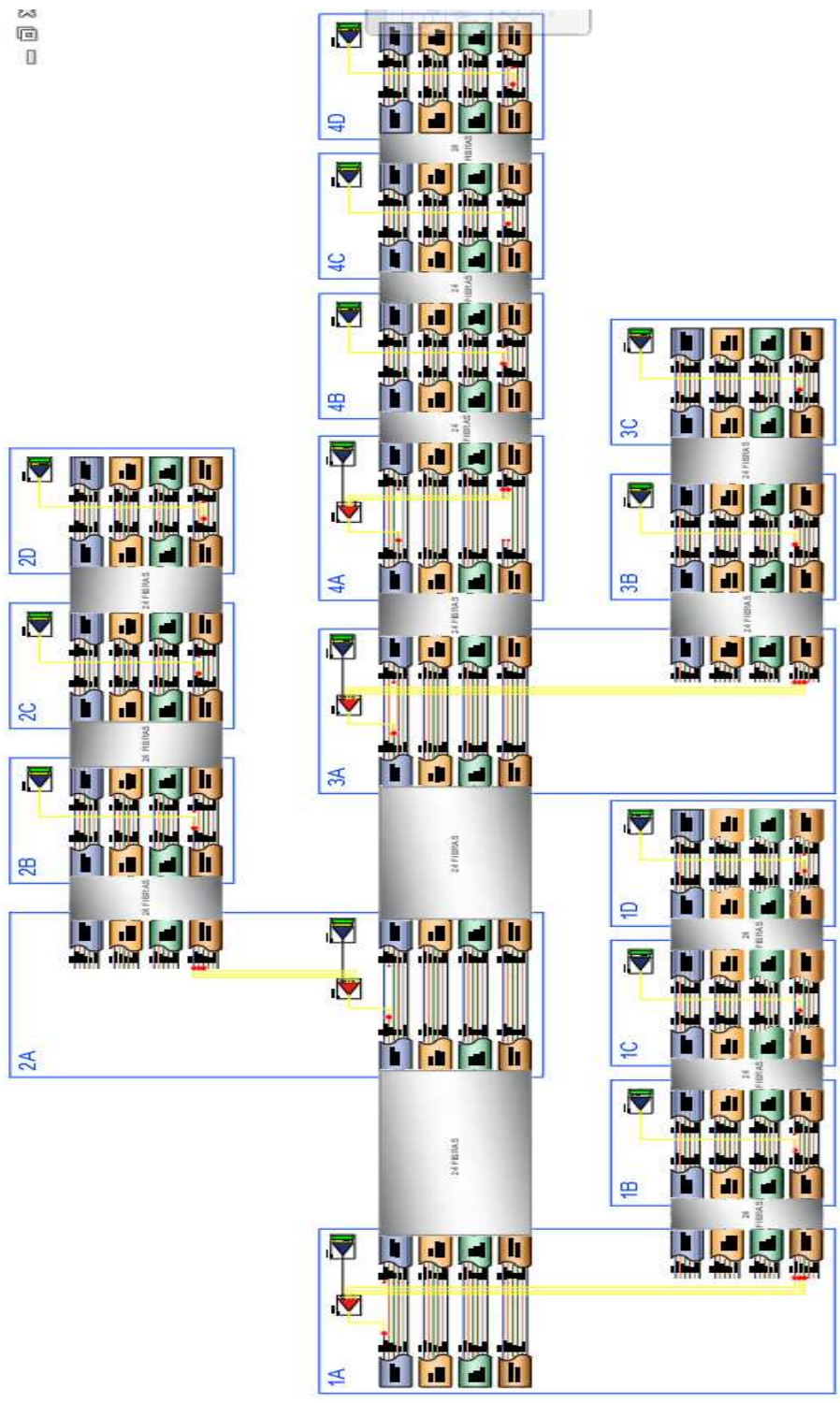


Figura. 3.26 Troncal 1, diagrama de conexiones para los splitters primarios y secundarios
Fuente. Elaboracion propia en AutoCAD

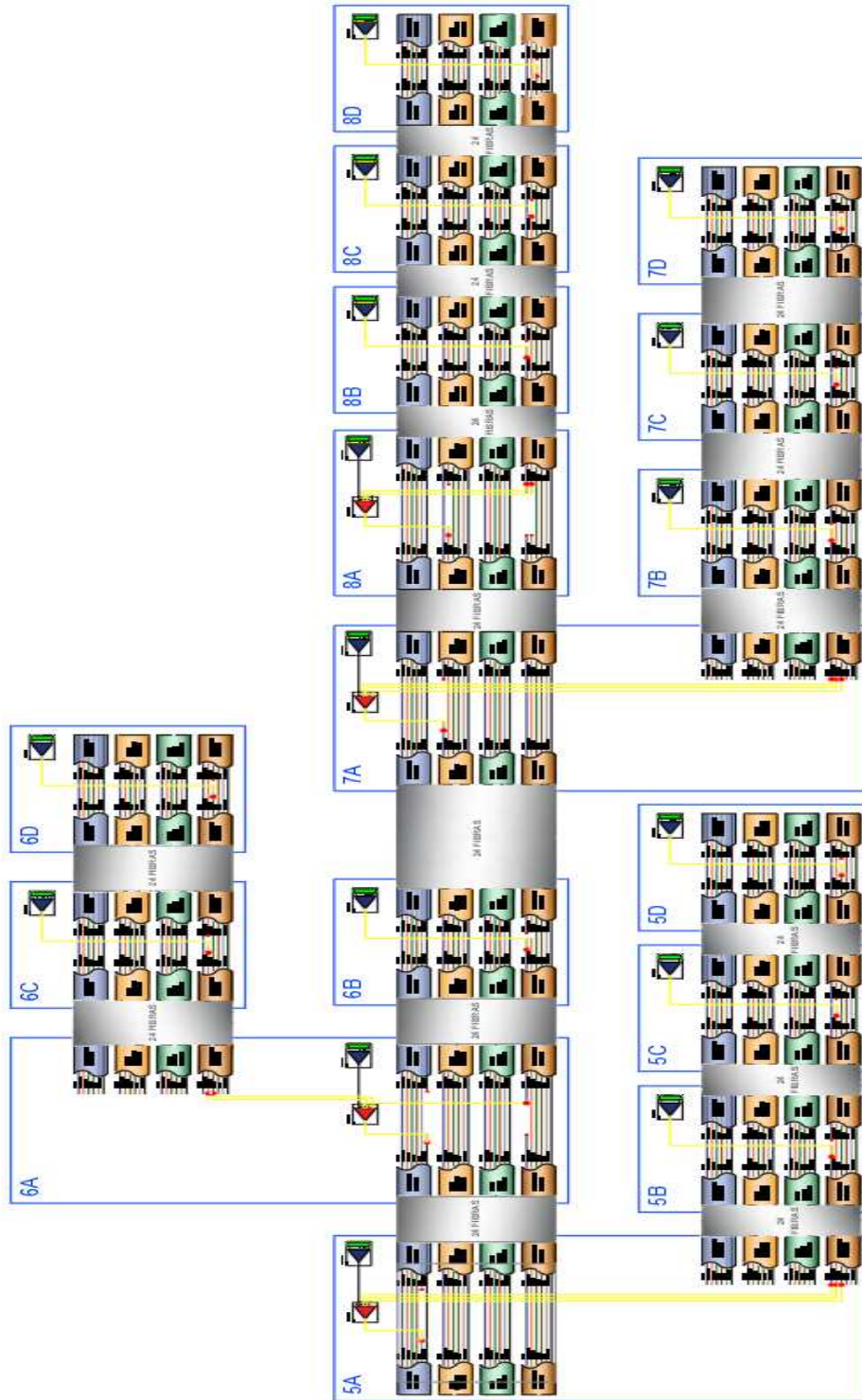


Figura. 3.27 Troncal 2, diagrama de conexiones para los splitters primarios y secundarios

Fuente. Elaboración propia en AutoCAD

La red final de la etapa de diseño se elaboró en Visio y muestra la red construida lógicamente con valores de AB.

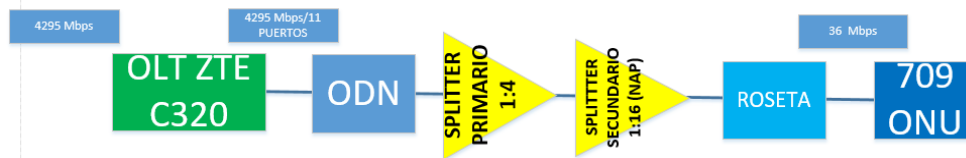


Figura. 3.28 Red final con valores de ancho de banda
Fuente. Elaboración propia en Visio

Para el tendido aéreo de fibra óptica, se necesitan diversos elementos de ferretería para asegurar el cable en postes duplos, terminales y de paso. Es esencial disponer del equipo adecuado para una instalación correcta y segura en todas las etapas del proceso. Este conjunto de materiales facilitará la implementación eficiente del cableado en los distintos tipos de postes, garantizando estabilidad y seguridad en la infraestructura.

FERRETERÍA PARA EL TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA AÉREA	
	<p>Ferretería para poste duplo (cable ADSS)</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Abrazadera regulable Bap + perno J 2 anclajes con sus respectivos accesorios <ul style="list-style-type: none"> 2 guardacabos 2 Mallas perforadas
	<p>Ferretería para poste de paso (cable ADSS)</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Abrazadera regulable Bap + perno J 1 Soporte de suspensión dieléctrico ADSS + base de soporte
	<p>Ferretería para poste terminal (cable ADSS)</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Abrazadera regulable Bap + perno J 1 Anclajes con sus accesorios <ul style="list-style-type: none"> 1 Guardacabos 1 Mallas perforadas
	<p>Ferretería para reserva de fibra óptica</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 Abrazadera regulable Bap + perno J 1 cruceta

Tabla. 3.13 Ferretería para el tendido de aéreo de fibra optica
Fuente. Elaboración propia

ELEMENTO DE TENDIDO AEREO DE F.O.	CANTIDAD
Duplo	44
Paso	12
Terminal	17
Cruceta	30

Tabla. 3.14 Elementos de ferreteria para el tendido aereo de fibra optica
Fuente. Elaboración propia

3.10 Calculo de pérdidas en la red GPON

Evaluar la viabilidad del proyecto implica calcular las pérdidas de potencia en la señal. Es crucial considerar todas las pérdidas en la red para garantizar que la señal entregada al usuario se mantenga dentro de un rango óptimo de potencia. Los valores de atenuación y ganancia de los elementos de la red, junto con las recomendaciones de la ITU-T, serán fundamentales para el diseño de la red GPON. La precisión en el cálculo de pérdidas y la implementación adecuada de las recomendaciones de diseño son clave para el éxito del proyecto. Se proporcionará información adicional sobre los factores críticos a considerar.

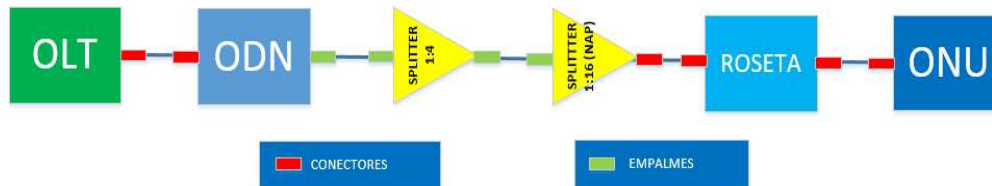


Figura. 3.28 Diagrama de empalmes o conectores de la red GPON
Fuente. Elaboracion propia en Visio

De la figura 3.27, podemos determinar que se tendrán 4 empalmes y 6 conectores estos datos nos servirán en cálculos posteriores.

Se examinó detalladamente la cantidad de empalmes necesarios en el trayecto de la fibra óptica. Los empalmes son puntos críticos que pueden afectar la calidad de la señal y la confiabilidad de la red. Por lo tanto, se identificaron estratégicamente los lugares donde se deben realizar empalmes, considerando factores como la distancia entre la OLT y los splitters primarios.

TRONCAL 1			
TRAZA 1	TRAZA 2	DISTANCIA DESDE LA TRAZA 1 A TRAZA 2 (m)	EMPALMES
OLT	NAP 1A	119	4
NAP 1A	NAP 1B	135	1
NAP 1B	NAP 1C	48	1
NAP 1C	NAP 1D	138	1
NAP 1A	NAP 2A	231	4
NAP 2A	NAP 2B	90	1
NAP 2B	NAP 2C	103	1
NAP 2C	NAP 2D	70	1
NAP 2A	NAP 3A	61	4
NAP 3A	NAP 3B	189	1
NAP 3B	NAP 3C	36	1
NAP 3A	NAP 4A	109	4
NAP 4A	NAP 4B	113	1
NAP 4B	NAP 4C	64	1
NAP 4C	NAP 4D	104	1
TOTAL PARCIAL		1610	27
Holgura del 20%		322	
TOTAL		1932	27

Tabla. 4.1 Resumen del analisis en el capitulo 3
Fuente. Elaboracion propia

TRONCAL 2			
TRAZA 1	TRAZA 2	DISTANCIA DESDE LA TRAZA 1 A TRAZA 2 (m)	EMPALMES
OLT	NAP 5A	84	4
NAP 5A	NAP 5B	113	1
NAP 5B	NAP 5C	190	1
NAP 5C	NAP 5D	69	1
NAP 5A	NAP 6A	99	4
NAP 6A	NAP 6B	83	1
NAP 6B	NAP 6C	180	1
NAP 6C	NAP 6D	57	1
NAP 6A	NAP 7A	205	4
NAP 7A	NAP 7B	140	1
NAP 7B	NAP 7C	112	1
NAP 7C	NAP 7D	102	1
NAP 7A	NAP 8A	146	4
NAP 8A	NAP 8B	110	1
NAP 8B	NAP 8C	61	1
NAP 8C	NAP 8D	94	1
TOTAL PARCIAL		1845	28
Holgura del 20%		369	
TOTAL		2214	28

Tabla. 4.2 Resumen del analisis en el capitulo 3
Fuente. Elaboracion propia

La atenuación total se define en la siguiente formula:

$$At=Af+As+Ac+Ae+Ms$$

At = Atenuación Total

Af =Atenuación por la F.O.

As = Atenuación por la inserción de Splitters

A_c = Atenuación por los conectores

A_e =Atenuación por los empalmes

M_s =Margen de seguridad

3.10.1 Atenuación de la fibra óptica

Tomaremos en consideración los valores de la recomendación G.652D, específicamente diseñada para cables de fibra óptica ADSS.

La norma G.652D es una referencia fundamental en la selección y uso de cables de fibra óptica ADSS. Proporciona especificaciones detalladas sobre las características ópticas y mecánicas que deben cumplir estos cables para garantizar un rendimiento óptimo en diferentes entornos y condiciones. Al utilizar esta recomendación, se asegura una alineación con los estándares internacionales, lo que contribuye a la fiabilidad y eficiencia de la infraestructura de fibra óptica implementada.

Para 1490 nm: 0.35dB/Km (Tx)

Para 1310 nm: 0.40dB/Km (Rx)

3.10.2 Atenuación por splitters

Para calcular la atenuación de los splitters, es necesario sumar los valores correspondientes a los splitters seleccionados para el diseño de la red GPON, los cuales se detallan en la tabla 3.14:

TIPO DE SPLITTER	ATENUACION (dB)
Splitter primario 1:4	7
Splitter secundario 1:16	14
Atenuación total de los splitters	21

Tabla. 3.15 Perdidas por splitter
Fuente. Elaboración propia

3.10.3 Atenuación por conectores

Se considerará un valor estándar de 0,4 dB por conector, ya sea de tipo SC o FC, al evaluar las pérdidas de inserción en la red. Este valor se suma a las atenuaciones y pérdidas asociadas con otros componentes de la red, como los splitters, para obtener una estimación precisa de las pérdidas totales en el sistema.

3.10.4 Atenuación por empalmes

Para calcular la atenuación causada por empalmes realizados mediante fusión, se deben tener en cuenta los valores proporcionados en la tabla 3.23:

EMPALME POR FUSION		
Mínimo	0.01 dB	Situaciones optimas
Promedio	0.05 dB	Situaciones normales
Máximo	0.1 dB	Situaciones menos favorable

Tabla. 3.16 Empalmes por fusion
Fuente. Elaboración propia

En consecuencia, optaremos por considerar la atenuación estándar de un empalme promedio de 0,05 dB por fusión para calcular la atenuación total en la red GPON. Esta elección se basa en la premisa de condiciones normales y proporcionará una estimación razonable de las pérdidas asociadas a los empalmes en la fibra óptica.

3.10.5 Márgenes de seguridad

La incorporación de un margen de seguridad es esencial para garantizar la robustez del enlace. Este margen se vuelve crucial ya que la atenuación podría incrementarse en el futuro debido a empalmes de mantenimiento, degradación de los conectores, envejecimiento de los componentes del sistema y posibles requerimientos futuros no contemplados en la planificación inicial. El valor adecuado para este margen de seguridad se establece en 3 dB.

3.10.6 Márgenes de pérdidas para el usuario más lejano

Se llevará a cabo el cálculo para los usuarios más distantes, dado que se asume que las otras atenuaciones serán de un valor inferior. Para determinar la longitud de la fibra óptica hasta el usuario más alejado, se emplearán las mediciones de las tablas 3.10 y 3.11. Posterior a ello se debe agregar un 20% de holgura, considerando criterios de previsión y reserva de cable. Según estos datos, se determina que los usuarios más lejanos se encuentran a una distancia de:

RUTA DE LA FIBRA OPTICA	DISTANCIA (m)
TRONCAL 1- NAP 4D	977
TRONCAL 2- NAP 8D	966

Tabla. 3.17 Distancia al usuario mas alejado añadiendo una holgura del 20%
Fuente. Elaboración propia

A estas distancias, se añadirá la longitud máxima del cable de bajada hasta el usuario, que es de 200 m.

RUTA DE LA FIBRA OPTICA	DISTANCIA (m)
TRONCAL 1- NAP 4D	1177
TRONCAL 2- NAP 8D	1166

Tabla. 3.18 Distancia al usuario mas alejado añadiendo 200m de acometida
Fuente. Elaboración propia

El usuario más alejado está ubicado a una distancia de 1,177m en la troncal 1 desde la OLT. Por lo tanto, se empleará esta distancia para representar al usuario más lejano de la troncal 1, tanto en la banda de 1310 nm como en la de 1490 nm. Este cálculo asegura una planificación apropiada al tener en cuenta las variables de distancia y las pérdidas en el enlace de la red GPON.

PRESUPUESTO OPTICO PARA EL USUARIO MAS LEJANO TRONCAL 1					
ELEMENTOS DE RED		CANTIDAD	UNIDAD	ATENUACION POR UNIDAD (dB)	ATENUACION TOTAL (dB)
Conectores		6	u	0.5	3
Empalmes		4	u	0.05	0.2
Splitters	1:4	1	u	7	7
	1:16	1	u	21	14
Fibra óptica	1310nm	1.177	Km	0.40	0.47
	1490nm	0	Km	0.35	0
Margen de seguridad					3
PERDIDA TOTAL					24.67

Tabla. 3.19 Presupuesto optico para el usuario mas lejano a 1310m
Fuente. Elaboración propia

PRESUPUESTO OPTICO PARA EL USUARIO MAS LEJANO TRONCAL 1					
ELEMENTOS DE RED		CANTIDAD	UNIDAD	ATENUACION POR UNIDAD (dB)	ATENUACION TOTAL (dB)
Conectores		6	u	0.5	3
Empalmes		4	u	0.05	0.2
Splitters	1:4	1	u	7	7
	1:16	1	u	21	14
Fibra óptica	1310nm	0	Km	0.40	0.41
	1490nm	1.177	Km	0.35	0
Margen de seguridad					3
PERDIDA TOTAL					24.61

Tabla. 3.20 Presupuesto optico para el usuario mas lejano a 1490m
Fuente. Elaboración propia

3.10.7 Clase de la red GPON

Para determinar la categoría de la red GPON diseñada, es esencial conocer la atenuación total de la red, que en este caso es de 31.902 dB para 1.310 nm. Las diversas categorías de redes GPON se detallan en la siguiente tabla.

CLASE	RANGO DE ATENUACION OPTICA	RECOMENDACIÓN ITU'T
Clase A	5-20dB	G.984.2 (2003)
Clase B	10-25dB	G.984.2 (2003)
Clase C	15-30dB	G.984.2 (2003)
Clase B+	13-28dB	G.984.2 Amendment1 (2006)
Clase C+	17-32dB	G.984.2 Amendment2 (2008)

Tabla. 3.21 Clases de redes GPON

Fuente. Capitalia.net- introducción a conceptos GPON

Como se evidencia en la tabla previa, la categoría de GPON para nuestra red es C+. Al analizar los datos técnicos, se observa que el OLT ZAX10 C320 puede tener dos valores de potencia según la categoría que se utilice. En nuestro caso, los valores son los siguientes:

Potencia óptica de transmisión: +3~+7 dBm (Categoría C+)

Máxima sensibilidad de recepción: -32 dBm (Categoría C+)

3.10.8 Clase de la red GPON

Se tiene la siguiente formula:

$$Pm = Pt - Pr \geq At$$

Donde:

Pm = Margen de potencia en dB

Pt = Potencia mínima de salida del transmisor en dBm

Pr = La sensibilidad mínima del receptor en dBm

At = Atenuación total máxima

De los datos obtenidos del equipo OLT tenemos:

Potencia mínima de salida del transmisor= $3dBm$

La sensibilidad del receptor= $-32dBm$

Para: $1.310nm$

$Pm=3 dBm - (-32 dBm) \geq At (1.310 nm) Pm=35 dBm \geq 24,67 dB$

Para: $1.490nm$

$Pm=3 dBm - (-32 dBm) \geq At (1.490 nm) Pm=35 dBm \geq 24,61 dB$

Por ende, en ambos casos $Pm \geq At$, por lo tanto se garantiza la implementación.



4 CAPÍTULO 4.- ANALISIS DE COSTOS

4.1 Introducción

El diseño de la red de acceso se basó en estimaciones de demanda y requisitos de usuarios, identificando los equipos y materiales necesarios para la implementación. Para evaluar la viabilidad económica, este capítulo se enfoca en determinar el costo inicial de la inversión, comparando precios de proveedores competitivos.

El capítulo aborda la rentabilidad del proyecto, aplicando herramientas financieras y contables. Tras un análisis técnico detallado, se estudia la financiación del sistema de telecomunicaciones, considerando el capital requerido. El análisis económico se centra en los costos de materiales, mano de obra y mantenimiento a lo largo del tiempo.

El capítulo se dedica a determinar el costo inicial de la inversión, abarcando materiales y costos de instalación tanto para la planta interna como externa. Para evaluar la rentabilidad, se emplean variables financieras como TMAR, VAN, TIR, B/C y PRI, permitiendo una evaluación integral del proyecto desde una perspectiva económica y financiera.

4.2 Costo referencial del proyecto

De acuerdo con los requisitos necesarios para la implementación de la infraestructura de la red de acceso y los costos asociados a los equipos, se realiza el cálculo del monto necesario que debe ser invertido en el proyecto. Es importante señalar que se solicitó proformas a diversas empresas proveedoras de equipos y materiales de fibra óptica, sin embargo, no se obtuvo respuesta de muchas de ellas y, debido a políticas restrictivas, no fue posible obtener documentos de respaldo. Ante esta situación, se tomó la decisión de presentar costos referenciales obtenidos de diversas fuentes.

4.2.1 Consideraciones en la etapa de diseño

4.2.2 Costo preliminar

En esta sección se contempla el levantamiento topográfico georreferenciado y la confección del diseño definitivo, junto con el plan de despliegue de fibra óptica. También se tienen en cuenta las

consideraciones previas al despliegue de la fibra y el gasto asociado al traslado de las bobinas desde los almacenes de ENTEL Bolivia hasta Santiago de Machaca.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$us	TOTAL \$us
Relevamiento topográfico geo referenciado y elaboración del diseño final – Plan de tendido	GLOBAL	1	780	780
Instalación de faenas como almacenes	GLOBAL	1	350	350
Traslado de hasta 5 kilómetros de cable de fibra óptica desde almacén regional a sitio destino	BOBINA	1	60	60
COSTO TOTAL [\$us]				1190

Tabla. 4.3 Costos preliminares
Fuente. Elaboracion propia

4.2.3 Costo de equipos y materiales a utilizar

En este desglose, se presentan los costos relacionados con los equipos y materiales esenciales para la implementación de la red de acceso GPON. Cabe destacar que componentes no contemplados, como acopladores, termo contraíbles, entre otros, son provistos de manera integral por los fabricantes junto con el ODF, terminal NAP y roseta, en correspondencia con las necesidades del proyecto.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
OLT ZTE ZAX10 C320	Pieza	1	5000	5000
Gabinete OLT de 19"	Pieza	1	400	400
ODF	Pieza	1	160	160
Splitter 1:4	Pieza	8	21	168
Splitter 1:16	Pieza	23	79	1817
Roseta de usuario	Pieza	512	6	3072
Patch cord de F.O. 3m	Pieza	512	11	5632
ONU ZTE ZXHN F660	Pieza	512	20	10240
COSTO TOTAL [\$us]				26489

Tabla. 4.4 Costos de equipos y materiales a utilizar
Fuente. Elaboracion propia

4.2.4 Costo de trabajos en el nodo

En esta sección, se proporciona una explicación detallada de las tareas planificadas para llevar a cabo en el OLT.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$us	TOTAL \$us
Instalación OLT y de gabinete de 19"	Pieza	1	85	85
Instalación de ODF y bandejas para 48 posiciones SC/PC	Pieza	1	35	35
Ejecución de empalme en el ODF	Pieza	48	10	480
COSTO TOTAL [\$us]				600

Tabla. 4.5 Costos de trabajo en el nodo
Fuente. Elaboracion propia

4.2.5 Costo de instalación de fibra óptica

En la tabla a continuación se presentan de manera específica los costos relacionados con el tendido de fibra óptica, los gastos vinculados al empalme entre fibras, el alquiler de postes y los componentes de sujeción adquiridos en ferretería.

ENLACE	COSTOS								
	TENDIDO DE FIBRA OPTICA		EMPALMES		ALQUILER DE POSTES		HERRAJE		COSTOS FINALES [\$us]
TRONCAL 1	1932	9660	27	270	27	162	27	16200	26292
	5		10		6		600		
TRONCAL 2	2214	11070	28	280	39	234	39	23400	34984
	5		10		6		600		
COSTO TOTAL [\$us]									61276

Tabla. 4.6 Costos de instalación
Fuente. Elaboracion propia

4.2.6 Costos de servicios de instalación

En este apartado, se proporciona un desglose preciso de los costos vinculados a la instalación del servicio.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$us	TOTAL \$us
Provisión de Cable DROP	Pieza	5	50	250
Instalación de Cable DROP	Pieza	512	23	11776
Instalación de Roseta Óptica de 1 Salida	Pieza	512	2	1024
COSTO TOTAL [\$us]				13050

Tabla. 4.7 Costos de servicio de instalación
Fuente. Elaboracion propia

4.2.7 Costos totales de la red GPON

En este análisis, se tiene en cuenta tanto el costo de los materiales utilizados como las tareas realizadas para la implementación de la red GPON. La cantidad total estimada para esta red en la localidad de Santiago de Machaca se presenta en la tabla 4.6. El cálculo muestra que la inversión necesaria asciende a aproximadamente \$us 61276.

Nro	DESCRIPCION	COSTO \$us
1	Costo preliminar	1190
2	Costo de equipos y materiales a utilizar	26489
3	Costos de trabajos en el nodo	600
4	Costos para el tendido de fibra óptica	61276
5	Costo del servicio de instalación	13050
COSTO TOTAL [\$us]		102605

Tabla. 4.7 Costos total de la red GPON
Fuente. Elaboracion propia

4.3 Estimación de ingresos

Los ingresos generados por ENTEL Bolivia provienen de los pagos realizados por los suscriptores a cambio de los servicios proporcionados. En el marco de este proyecto, se analizarán los ingresos potenciales de los posibles abonados durante un periodo de cinco años a partir de la implementación de la red.

Con base en la información suministrada por ENTEL Bolivia, la tarifa más popular entre los abonados es de Bs. 149, a una velocidad de 30 Mbps. Se seleccionará esta tarifa como referencia para la estimación mínima de ingresos durante el diseño de la red GPON en la localidad de Santiago de Machaca.

Además, se considerará que el 50% de las conexiones proyectadas por año serán suscritas por los usuarios que contraten el servicio. Este factor se integra para obtener una evaluación más precisa de los ingresos estimados durante el periodo especificado.

DETALLE	Año 1 - 2025 (1er Trim)	Año 1 - 2025 (2do Trim)	Año 1 - 2025 (3er Trim)	Año 1 - 2025 (4to Trim)	Año 1 (2025)	Año 2 (2026)	Año 3 (2027)	Año 4 (2028)	Año 5 (2029)
Conexiones proyectadas por año	60	60	60	60	240	480	720	960	1200
Conexiones al 50% del total proyectado	30	30	30	30	120	240	360	480	600
Ingresos mensuales del plan a 149 Bs/mes a 30 Mbps	4470	4470	4470	4470	17880	35760	53640	71520	89400
Ingresos anuales del plan 149 Bs/mes	13410	13410	13410	13410	214560	429120	643680	858240	1072800
Ingresos anuales en (\$us)					30651.43	61302.86	91954.29	122605.71	153257.14

Tabla. 4.8 Estimacion de ingresos
Fuente. Elaboracion propia

4.4 Estimación de egresos

Para estimar los desembolsos de la red proyectada, se deben considerar los siguientes elementos:

- ❖ Arrendamiento del espacio para la instalación del OLT y ODF, con un costo mensual de 400 dólares, incluyendo los gastos de energía eléctrica.
- ❖ Alquiler de los postes proporcionados por la empresa DELAPAZ, a un costo de 6 USD anuales por poste. Dado que se usarán 66 postes, el monto total ascenderá a 2376 USD al año.
- ❖ Mantenimiento operativo de la red, estimado en un 10% del total de la inversión.
- ❖ Impuestos sobre los ingresos anuales, que incluyen IVA e IT.

$$\text{Impuesto} = \text{IVA} + \text{IT}$$

Donde:

IVA (Impuesto al Valor Agregado): Se computará como el 13% del valor neto.

IT (Impuesto a las Transacciones): Se determinará como el 3% del valor neto.

El porcentaje total de impuestos será del 16%, y se calculará en función de las ganancias netas anuales.

DETALLE	Año 1 (2025)	Año 2 (2026)	Año 3 (2027)	Año 4 (2028)	Año 5 (2029)
Alquiler de la sala de equipos y energía eléctrica (USD)	4800	4800	4800	4800	4800
Alquiler de postación empresa DELAPAZ (USD)	2376	2376	2376	2376	2376
Costo de operación y mantenimiento (USD)	4681.7	4681.7	4681.7	4681.7	4681.7
Impuesto a los ingresos (USD)	4904.23	9808.46	14712.69	19616.91	24521.14
Total egresos anuales (USD)	16761.93	21666.16	26570.39	31474.61	36378.84

Tabla. 4.9 Estimación de egresos
Fuente. Elaboración propia

4.5 Análisis de rentabilidad y factibilidad

En toda organización, resulta imperativo llevar a cabo la evaluación del proyecto con el fin de determinar su viabilidad, teniendo en cuenta diversos aspectos que posibiliten evaluar en qué medida el proyecto resultará rentable.

Existen métricas que facilitan la toma de decisiones acerca de la viabilidad de invertir en un proyecto. Estos indicadores indican si el proyecto es factible o no, según los resultados obtenidos en cada uno de ellos. Se emplearán los siguientes indicadores: Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR), Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno de la Inversión Total (TIR).

4.6 TMAR (Taza Minina Aceptable de Rendimiento)

La tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) constituye un indicador de referencia utilizado para evaluar si el proyecto puede generar beneficios para el inversionista. En caso de que el proyecto no alcance una tasa de rendimiento superior, el inversionista no aprobará su ejecución.

- Si la TMAR es menor que la tasa de inflación, el proyecto resultará no rentable y no se procederá con la inversión, ya que generaría pérdidas.
- Si la TMAR es igual a la inflación, el proyecto no generará pérdidas ni beneficios significativos.
- En caso de que la TMAR supere la tasa de inflación, el proyecto podría ser rentable, suscitando así el interés de los inversionistas.

La tasa se expresa en porcentaje y se calcula mediante la fórmula: $TMAR = Tasa\ de\ Inflación\ Anual + Riesgo\ País$.

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), la inflación registrada en octubre de 2018 fue del 0,18%, y la inflación anual a 12 meses se situó en 1,31%. En cuanto al riesgo país,

este se percibe como un índice que simplifica la evaluación de un país como un solo factor en la toma de decisiones.

En este proyecto, se considerará el riesgo país proporcionado por la calificadora Moody's, que asigna a Bolivia una clasificación "Ba3" para inversiones a largo plazo, tanto en moneda extranjera como nacional. Esta clasificación se traduce a un valor porcentual del 4,00%. Por lo tanto, para el cálculo de la TMAR, se tiene:

$$\text{TMAR} = 1,31\% \text{ (inflación)} + 4\% \text{ (riesgo país)} = 5,31\%$$

4.7 VAN (Valor Actual Neto)

El Valor Actual Neto (VAN) es el método más reconocido y aceptado por todos los evaluadores de proyectos, dado que evalúa la rentabilidad del proyecto en términos monetarios que exceden la rentabilidad deseada tras recuperar la inversión.

Según el criterio del VAN, el proyecto deberá ser aceptado si su valor neto es positivo o supera el desembolso inicial de la inversión. Es decir:

- Si el $\text{VAN} \geq 0$, se considera conveniente aceptar la inversión, ya que se estaría generando un beneficio superior a la inversión solicitada.
- Si el $\text{VAN} \leq 0$, se debe rechazar la inversión, ya que no se lograría alcanzar el retorno mínimo de la inversión solicitada.

La ecuación para calcular el VAN es la siguiente:

$$\text{VAN} = -V_i + \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - E_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

VAN: Valor Actual Neto

V_i : Inversión Inicial

Y_t : Representa el flujo de ingresos del proyecto.

Et: Representa el flujo de egresos.

i: Tasa de interés, en este caso, se utilizará el TMAR en función del riesgo país en Bolivia.

n: Período de evaluación

Sustituyendo los valores en la fórmula, se tiene:

$$\begin{aligned} VAN = & -102605 + \frac{30651.43 - 16761.93}{(1 - 0.531)^1} + \frac{61302.86 - 21666.16}{(1 - 0.531)^2} \\ & + \frac{91954.29 - 26570.39}{(1 - 0.531)^3} + \frac{122605.71 - 31474.61}{(1 - 0.531)^4} + \frac{153257.14 - 36378.84}{(1 - 0.531)^5} \\ & VAN = 7775291.22 \text{ USD} \end{aligned}$$

Un VAN positivo indica que la rentabilidad proyectada supera la tasa de retorno esperada, por lo tanto, se considera que este proyecto es factible.

4.8 R/C (Relacion Beneficio Costo)

La Relación Beneficio-Costo (B/C) constituye un criterio de rentabilidad para la inversión realizada en un proyecto. El resultado de este cálculo expresa los dólares ganados por cada dólar invertido, de manera que a mayor B/C, mayor será la ganancia del proyecto.

Para llevar a cabo el cálculo de la relación B/C, se divide la suma de los valores actuales netos entre el valor de la inversión total inicial. La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$-Vi + \sum_{t=1}^n \frac{FFA}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Donde:

TIR: Tasa Interna de retorno.

Vi: Inversión Inicial.

FFA: Flujo de fondos anual (Ingresos-Egresos).

n: Periodo de evaluación

DETALLE	Año 1 (2025)	Año 2 (2026)	Año 3 (2027)	Año 4 (2028)	Año 5 (2029)
Ingresos (\$us)	30651.43	61302.86	91954.29	122605.71	153257.14
Egresos (\$us)	16761.93	21666.16	26570.39	31474.61	36378.84
FLUJO DE FONDOS (\$us)	13889.50	39636.70	65383.90	91131.10	116878.30

Tabla. 4.10 Flujo de fondos para un periodo de 5 años
Fuente. Elaboracion propia

Sustituyendo los valores en la fórmula, se tiene:

Haciendo el uso de la calculadora de TIR tenemos: **TIR=60,13 %**

El TIR es mayor que la TMAR, que es del 5,31%, lo que indica que el proyecto es altamente viable y rentable para la empresa.

4.9 Relación costo beneficio

La relación B/C es un criterio de rentabilidad de la inversión en un proyecto. Se calcula dividiendo la suma de los valores actuales netos entre el valor de la inversión inicial total. La fórmula para este cálculo es la siguiente:

$$B/C = \frac{\sum_1^n In - En}{Vi}$$

Donde:

B/C: Relación beneficio costo

In: Ingresos netos anuales

En: Egresos netos anuales

Vi: Inversión Inicial

n: Periodo de evaluación

$$\frac{B}{C} = \frac{13889.50 + 39636.70 + 65383.90 + 91131.10 + 116878.30}{102605}$$

$$\frac{B}{C} = 3.19$$

El proyecto tiene un beneficio mayor que el costo durante un periodo de 5 años, por lo tanto, se determina que el proyecto es viable y rentable.

4.10 PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión)

El Período de Recuperación de la Inversión (PRI) se calcula de la siguiente manera:

Flujo del año 0 + Flujo del año 1 = Flujo acumulado año 1

$$(-102605) + (13889.50) = -88715.5 (\$us)$$

Flujo acumulado año 1 + Flujo del año 2 = Flujo acumulado año 2

$$(-88715.5) + (39636.70) = -49078.8 (\$us)$$

Flujo acumulado año 2 + Flujo del año 3 = Flujo acumulado año 3

$$(-49078.8) + (65383.90) = 16305.1 (\$us)$$

Flujo acumulado año 3 + Flujo del año 4 = Flujo acumulado año 4

$$(16305.1) + (91131.10) = 107436.2 (\$us)$$

Flujo acumulado año 4 + Flujo del año 5 = Flujo acumulado año 5

$$(107436.2) + (116878.30) = 224314.5 (\$us)$$

A partir de estos resultados, el periodo de recuperación se calcula de la siguiente manera:

El número de años será aquellos cuyos flujos acumulados obtuvieron un valor negativo, en este caso el flujo acumulativo del año 1 y 2, por lo que serán 2 años.

- El número de meses se calcula dividiendo el flujo acumulado del último año negativo entre el flujo normal del año siguiente, y este resultado se multiplica por el número de meses en un año.

$$\frac{\text{Ultimo flujo acumulado negativo}}{\text{Flujo del año siguiente}} * 12 = \text{Numero de meses}$$

$$\frac{49078.8 (\text{Flujo acumulado año 1})}{65383.90 (\text{Flujo año 2})} * 12 = 9 \approx 9 \text{ meses}$$

PRI = 9 meses

Por lo tanto, el PRI para el presente proyecto es de 2 años y 9 meses. En conclusión, el retorno de la inversión es óptimo y cumple con las expectativas de inversión.



5 CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1 Conclusiones

Los objetivos establecidos en el primer capítulo del proyecto se han cumplido satisfactoriamente:

Se diseñó la red de acceso GPON para la localidad de Santiago de Machaca provincia José Manuel Pando de la ciudad de La Paz.

Para el estudio de mercado, se utilizaron informes de conexiones a Internet de la ATT y datos del censo de población y vivienda de 2001 y 2012 del INE. Estos datos proporcionaron estimaciones de conexiones y tráfico para el área de cobertura, así como proyecciones a cinco años para el diseño de la red GPON.

La topología de la red de acceso sigue un diseño en árbol, común en redes PON, utilizando 11 de los 16 puertos disponibles en el OLT, con 5 puertos adicionales reservados para futuras ampliaciones. Cada puerto PON está asignado a un sector, dividiendo el área de cobertura en 8 sectores.

En el diseño de la red de planta externa, se aprovechó la infraestructura de postación de la empresa DELAPAZ en los 14 sectores. Se optó por el tendido aéreo y se aplicó la técnica de sangrado de fibra para minimizar el tendido de fibra óptica.

Para calcular las pérdidas en la red GPON, se tomó la distancia del usuario más lejano al OLT, 1177 m, con una atenuación de 24.67 dB a 1310m y 24.61 a 1490m, asegurando así la calidad de la señal.

El análisis de costos indica la factibilidad del proyecto. El VAN es positivo, el TIR es 60,13%, mayor que la TMAR, y la relación B/C es 3.19. El PRI sugiere una recuperación de la inversión en 2 años y 9 meses.

Los resultados del estudio de mercado, presupuesto óptico y análisis financiero respaldan la implementación de la red GPON en la localidad de Santiago de Machaca para ofrecer una conexión de calidad y ancho de banda satisfactorios.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda utilizar equipos del mismo fabricante para garantizar la compatibilidad y evitar posibles problemas de software.

Este proyecto solo ofrece servicio a la localidad de Santiago de Machaca. Sin embargo, se sugiere evaluar la posibilidad de extender el servicio a las demás localidades, para una futura expansión de la red.

Para calcular los ingresos de la red GPON diseñada, se consideró una tarifa mínima de Bs. 149. Se recomienda verificar los planes de servicio y las tarifas actuales antes de implementar el proyecto.

Los costos de equipos e infraestructura pueden variar con el tiempo. Para futuras implementaciones, se deben actualizar las cotizaciones antes de realizar el análisis financiero.





6 BIBLIOGRAFÍA

- Bolcompany. (2014). *bolcompany.com*. Obtenido de bolcompany.com: <https://bolcompany.com/shop/category/productos-planta-externa-1#attr=>
- Castro Lechtaler, A., & Fusa, R. (1999). *Teleinformática para ingenieros en sistemas de informacion. II*. Barcelona.
- Choque Tacuña , A. (2021). Diseño de una red GPON/FTTH para la localidad de coripata caso: Telecomunicaciones Yungueña.
- Conimel. (2020). *conimel.com.br*. Obtenido de conimel.com.br: <https://conimel.com.br/pt/produtos/pre-formados>
- Fernandez, J., & Gregorio, C. (2013). *Reflexión y refracción de la luz* .
- Fonrouge, S. (2016). Ondas electromagneticas y la rapidez de la luz.
- Green, P. (2006). *Fiber To The Home the new empowerment*.
- Huidobro Moya, J. (2014). *Tecnologías, Redes y Servivios. 2da edicion actualizada*. Madrid.
- Ishii, Y., & Yamashita, H. (2009). *Optical Access Transport System-GE-PON*.
- John. (2021). *community.fs.com*. Obtenido de community.fs.com.
- Keiser, G. (2006). *FTTX Concepts and Applications*.
- Kramer, G. (2005). Ethernet Passive Optical Networks.
- Lozano Blanco, A. (2014). *Estudio de las redes FTTH y despliegue de una red (Proyecto de Grado)*. Sevilla, España.
- Metrocom Bolivia. (2015). *facebook.com/MetrocomOficial*. Obtenido de facebook.com/MetrocomOficial: <https://www.facebook.com/MetrocomOficial>
- Networks 4it S.A. (2022). *4itn.mx*. Obtenido de 4itn.mx: https://4itn.mx/wp-content/uploads/2022/11/pon_01.jpg
- Nina Tola, A. (2019). Diseño de una red de acceso GPON para la ciudad de viacha.
- Sirpa, G. (2013). *Diseño de una red de acceso que utiliza tecnologia FTTH con VDSL2 para La Paz y EL Alto*.
- The Fiber Optic Association, Inc. (2014). *Fiber Optic*. California, USA.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*.
- TTI Fiber Communication Tech. Co. (2022). <https://www.fiberopticpatch-cord.com/>. Obtenido de <https://www.fiberopticpatch-cord.com/>: https://www.fiberopticpatch-cord.com/buy-fiber_terminal_box-page7.html

- UIT-T, U. (2008). G.984.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Características Generales.
- UIT-T, U. (2008). G.984.4: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica.
- UIT-T, U. (2014). G.984.3: Especificación de la capa de convergencia de transmisión.
- UIT-T, U. (2014). G.984.5: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Banda de ampliación.
- UIT-T, U. (2019). G.984.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T), & UIT-T, U. (2014). G.984.3: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión.
- Wirth, A. (2002). *Tudo Sobre Fibras Ópticas Teoria e Pratica*.

7 ANEXOS

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA</p> 
<p>Distinguido(a) vecino(a) de la localidad de Santiago de Machaca:</p> <p>Me permito informarle, que se realiza encuesta acerca del servicio de acceso de banda ancha mediante la fibra óptica, lo cual me permitirá obtener información para un diseño de red de acceso por fibra óptica hasta sus domicilios, por lo cual le invito a responder a las siguientes preguntas, sin antes agradecerle por su valiosa colaboración en la encuesta.</p>
<p>1.- Le gustaría contar con el servicio de acceso de banda ancha por fibra óptica hasta su hogar o negocio?</p> <p>SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p>
<p>2.- ¿Cree usted que el internet es necesario, como herramienta de trabajo?</p> <p>SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p>
<p>3.- Usted dispone de un teléfono inteligente (smartphone)?</p> <p>SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p>
<p>4.- Usted dispone de una computadora?</p> <p>SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p>
<p>5.- Estaría dispuesto a pagar Bs. 149 como monto mínimo para el servicio de acceso de banda ancha?</p> <p>SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p>
<p>6.- La vivienda es:</p> <p>PROPIA <input type="checkbox"/> ALQUILADA <input type="checkbox"/></p>

ZXA10 C320 Datasheet

With the requirements of communication services increasing, the value-added services (VAS) including 3D network games, video conference/phone, Video on Demand (VoD) and IPTV are key means for operators to provide differential services to attract more subscribers, and gain income growth.

ZTE ZXA10 C320, a small size, full-service optical access convergent platform, provides carrier class QoS and reliable network to meet the requirements for small-scale implementation of FTTx services.



Key Features

- Unified platform for GPON, XG-PON1 and P2P
- Small size and compact design, flexible network and fast deployment
- 2U frame with 2 service slots, compatible with ZXA10 C300 line cards
- Abundant service support capability: IPTV, VoIP, HSI, VPN, mobile backhaul, etc
- Higher security assurance: ONT authentication, user ID identification, port isolation, address binding, packet filtering, and broadcast packet suppression.
- High reliability: key parts redundancy; support Type B and Type C protection for PON downlink and LACP/ UAPS/STP/ERPS for uplink
- Service differentiation: Comprehensive QoS mechanisms for voice, video and high speed Internet services.
- Support DC input redundancy
- Support AC power supply
- Support 1:1 protection for PON interfaces
- Support 1:1 protection for SW (core card) card
- Support 1588V2 and Synchronous Ethernet
- Support embedded OTDR in SFP

Technical Specifications

System Architecture

- Capacity
 - GPON up to 32 ports
 - Uplink interfaces up to 4 *GE (Optical)+2*GE(Electronic) or 2*10GE(Optical)+2*GE(Optical)+2*GE(Electronic)
- Chassis Configuration (19")
 - Total 5 slots
 - 2 slots for universal line cards
 - 2 slots for switch& control cards
 - 1 slot for fan module
- Subscriber Card Density
 - GPON card: 8/16 ports per card
 - XG-PON1 card: 8 ports per card
 - P2Pcard: 24/48 ports per card

ZXA10 C320 Datasheet

- Uplink interface card
 - 1*10GE optical port (Configurable 1*GE optical port)
 - 1*GE optical port
 - 1*10 M/100 M/1000 M electrical Ethernet port
- Common interfaces
 - 1*environment detecting interface
 - 1*management interface
 - 1*maintenance serial interface

■ PON Features

- GPON compliant with ITU G.984.x
- P2P compliant with ITU G.985/G.986
- XG-PON1 compliant with ITU G.987.x and G.988
- Support 1:128 optical split ratio for xPON
- Support OLS (Optical Laser Supervising)
- Max logical reach: 60km
- Max physical reach: 20km
- Max link difference: 20km
- High-efficient DBA: NSR-DBA,SR-DBA
- Synchronous Ethernet
- GPON Transceiver power: Class B+ or class C+
- XG PON1 Transceiver power: Class N1 and N2a
- Type B and type C optical uplink protection
- Support FEC
- Support AES128
- Support SCB
- GPON MCM(Multi-Copy Multicast)
- Support 1550nm for third party CATV broadcasting

■ L2/L3 Features

- 4K VLAN
- 1:1/N:1 VLAN
- 802.1ad, SVLAN, Selective QinQ, VLAN stacking
- Line-rate forwarding
- STP/RSTP/MSTP compliant to IEEE 802.1d/802.1w/802.1s
- UAPS/EAPS/LACP protection
- Link aggregation IEEE 802.3ad
- L3 routing:
 - 12K IPv4 routing forwarding entries
 - IPv4 and IPv6 statistic routing
- Multicast – IPTV
 - 1K Multicast groups
 - IGMP Snooping and proxy (v1/v2/3)
 - MLD V1/ V2, snooping/proxy
 - MVLAN: 256
 - Channel Access Control (CAC), Preview (PRV) and Call Detail Record (CDR) for IPTV
 - Less than 50ms channel zapping delay
- QoS
 - 8 queues per port
 - Queue & scheduling mechanism: SP, WRR, SP+WRR
 - IPv4 DSCP Diffserv
 - Stream classification, rate limiting, shaping and priority setting

ZXA10 C320 Datasheet

- Traffic statistics
- WRED and triple color
- SLA: CIR, PIR, EIR

■ Security

- L2- L4 ACL
- IP and MAC source guard
- Resistance against DOS attacks
- MAC/IP anti-spoofing (MAC binding, IP binding, DHCP snooping)
- Anti-flooding: broadcast packet suppression, IGMP packet suppression, DHCP packet suppression
- MAC address number limit based on VLAN or GEM-port
- Port mirroring
- User port identification such as PPPOE+ and DHCP Option 82

■ O&M

- Operator security, Multi-privileged operator, SSH, FTP/TFTP, ACL
- Management protocol and interface: CLI, Telnet, SNMP V1/V2C/V3, MIBII
- Remote firmware download and upgrade
- Environment detecting, control and alarm

■ Environment

- Operating temperature: -40°C ~ 65°C
- Operating humidity: 5% ~ 95%
- Air pressure: 70 kPa - 106 kPa

■ Power Supply

- DC: $-48\text{V} \pm 20\%$, $-60\text{V} \pm 20\%$;
- AC: 100V~240V

■ Dimensions

- 86.1mm (H) * 482.6mm (W) * 270mm (D)
(19 inch shelf)
- 2200 mm (H) x 600 mm (W) x 300 mm (D)
(Rack)
- 1035 mm(H) x 770 mm(W) x 460 mm(D)
(Outdoor Cabinet)

ZXHN F660 Datasheet

ZXHN F660 is a GPON Optical Network Terminal designed for FTTH scenario. It supports L3 function to help subscriber construct intelligent home network. It provides subscribers rich, colorful, individualized, convenient and comfortable services including voice, video (IPTV) and high speed internet access.

GPON Interface

- Optical port : 1 x GPON interface (SC/APC)
- Transmission Distance: 0 ~ 20km
- Transmit rate: 2.488Gbps downstream; 1.244Gbps upstream

User Network Interface

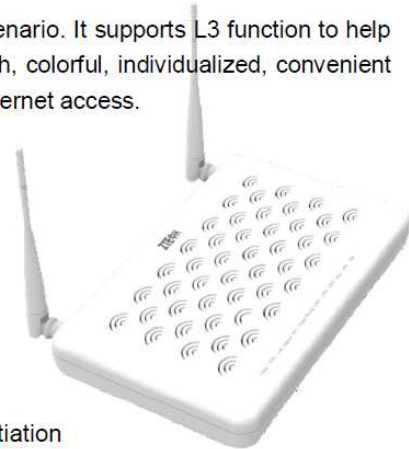
- 4 x 10/100/1000Base-T: Half/full duplex; Auto MDI/MDIX; Auto negotiation
- 2 x POTS interfaces
- 1 x Wi-Fi interface: IEEE 802.11b/g/n @2.4G Hz
- 1 x USB host interface

Optical Module

- Wavelength:
 - Receiving: 1480~1500 nm
 - Transmitting: 1290~1330 nm
- Receiving Sensitivity: -28dBm
- Transmitting Optical Power: 0.5~5dBm

Physical Performance

- Power consumption: <10W
- Dimensions: 220mm(W) x 44mm(H) x 160mm(D)
- Working temperature: 0°C ~ 40°C
- Working humidity: 5% ~ 95%
- Weight: about 380g
- Power supply: 12 V DC
- Mounting mode: Desktop/Wall mounting
- Supports hidden and coiled fiber

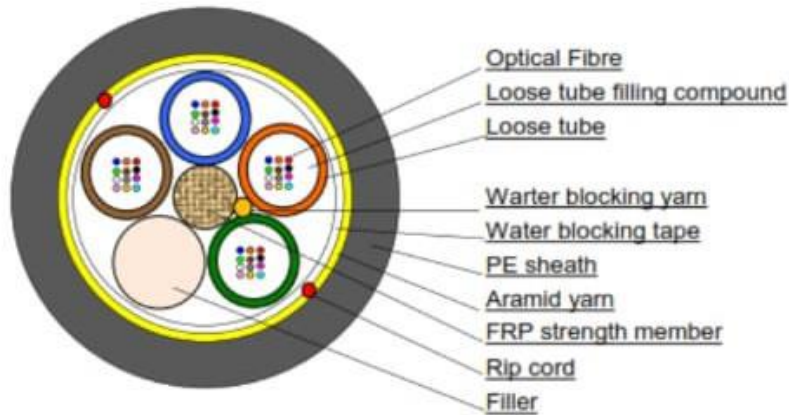


Main Function

- Supported service: VoIP, Internet, IPTV
- GPON: 8 T-CONTs, 32 GEM Ports
- VLAN: 802.1Q, 802.1P, 802.1ad
- MAC address table: 1k
- L3 function: DHCP server/Client, DNS Client/Relay, NAT
- IPv6: Dual Stack, DS-Lite
- VoIP: SIP/H.248, G.711/G.729, T.30/T.38
- Wi-Fi: 4 SSIDs, 2x2 MIMO, WPS
- Wi-Fi authentication: Shared key, 128-bit WEP, WPA-PSK, WPA2-PSK, WPA-PSK + WPA2-PSK, WPA2-Enterprise
- Multicast: IGMP v1/v2 Snooping/Proxy, MLD v1 Snooping
- Multicast group per user port: 256
- QoS: service flow classification based on physical port, MAC address, VLAN ID, VLAN priority level, IP address; SP/WRR/SP+WRR
- Management: local web management, OMCI, TR069
- USB: DLNA DMS, USB backup, 3G dongle

YOFC CABLE STRUCTURE DESIGN

All Dielectric Self Supporting (ADSS) Optical Cable Aerial Type
ADSS-SS-120M-48B1.3



Dimensions of Cable constructions

Items		Descriptions
Optical fibre		Optical fibre ITU-T G.652.D 12 fibre per tube
Central strength member	material	FRP (Fiberglass-Reinforced Plastics)
	diameter	nom: 2.0 mm
Loose tube	material	PBT (Polybutylene terephthalate)
	diameter	nom: 2.4 mm outside
Strength member	material	Aramid Yarn
Outer sheath	material	HDPE
	thickness	nom: 2.0 mm
Cable diameter		nom: 11.5mm
Cable weight		nom: 95kg/km

Color Code and Fibre Distribution

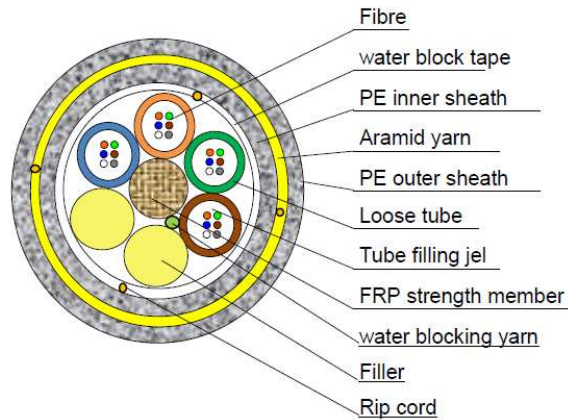
Number of fibres In the cable	Number of loose tube	1	2	3	4	5
		Blue	Orange	Green	Brown	Filler
48	4	12 G.652.D	12 G.652.D	12 G.652.D	12 G.652.D	

Fibre In tube	No.	1	2	3	4	5	6
	Color	Blue	Orange	Green	Brown	Grey	White
	No.	7	8	9	10	11	12
	Color	Red	Black	Yellow	Violet	Rose	Aqua

YOFC CABLE CONSTRUCTIONS

All dielectric self-supporting aerial cable

ADSS-PE-120M-24B1.3



Dimensions

Items		descriptions
central strength member	material	FRP
	diameter	nominal: 2.25 mm FRP
loose tube	material	PBTP
	diameter	nominal: 2.1 mm
inner sheath	material	HDPE
	thickness	nominal: 0.8 mm
strength member	material	Aramid yarn
outer sheath	material	HDPE
	thickness	nominal: 1.5 mm
cable diameter		appro. 11.8 mm
cable weight		appro. 105kg/km

Color Code and Fibre Distribution

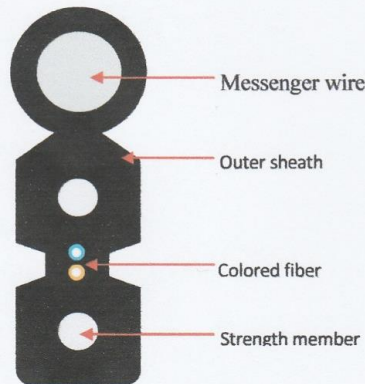
Number of fibres in the cable	Number of loose tube	1	2	3	4	5	6
		Blue	Orange	Green	Brown	filler	filler
24	4	6	6	6	6		
		G.652D	G.652D	G.652D	G.652D		

Fibre in tube	No.	1	2	3	4	5	6
	Color		Blue	Orange	Green	Brown	Grey

SELF-SUPPORTING TYPE DROP CABLE

GJYXFCH-1/2B6a2

1. Structure Diagram



2. Fiber Attenuation after cabled

Items	Description	
G657A2 Fiber	atten.1310	0.40 dB/km
	atten.1550	0.30 dB/km

3. Cable Dimensions and Constructions

Items	Descriptions	
Optical Fiber	Fiber count	2
Strength Member	Material	GFRP
	Diameter	0.50mm
Messenger wire	Material	Steel wire
	Diameter	1.0mm
Sheath	Material	LSZH
Cable Diameter		5.3 (±0.2) *2.0 (±0.2) mm
Cable Weight	Net Weight	18±2 kg/km



2024-TTES-1095-D-1

DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-2445/2024
La Paz, 07 de agosto de 2024

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **30 de julio de 2024**, por **ORLANDO CLEMENTE ALEJO** con C.I. N° **10910876 LP**, con número de trámite DA **1398/2024**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: "**DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO POR FIBRA ÓPTICA PARA LA LOCALIDAD DE SANTIAGO DE MACHACA PROVINCIA JOSÉ MANUEL PANDO DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ CON ARQUITECTURA FTTH**", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO:

Que, en observación al Artículo 4° del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "*Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración*".

Que, el Artículo 16° del Decreto Supremo N° 27938 establece "*Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión*". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6° de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26° inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4° de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18° de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18° de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "*la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios*".

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4° de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7° de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: "*...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial*".



Que, el artículo 4, inciso e) de la ley N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena

fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO:

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: "**DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO POR FIBRA ÓPTICA PARA LA LOCALIDAD DE SANTIAGO DE MACHACA PROVINCIA JOSÉ MANUEL PANDO DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ CON**

ARQUITECTURA FTTH" a favor del autor y titular: **ORLANDO CLEMENTE ALEJO** con C.I. N° **10910876 LP** bajo el seudónimo **ORLANDO CLEMENTE ALEJO**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/lm

Firmado Digitalmente por:

Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI
CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS
LA PAZ - BOLIVIA



Firma:



DsArt9Vw7Rt96J

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB www.senapi.gob.bo/verificacion Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACIÓN O ESCANEAR CÓDIGO QR.



Autor: Orlando Clemente Alejo

Correo Electrónico: clementeorlando8585@gmail.com

Celular: 69708633