

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA

UNAN – León

Área de Conocimiento Ciencias y Tecnología

Área Específica de Conocimiento Ingeniería en Sistemas de Información

Ing. En Telemática



Monografía para optar al título de
INGENIERO EN TELEMÁTICA

Diseño de una red óptica pasiva con capacidad gigabit (GPON) para servicios integrados de televisión, internet y telefonía a través de fibra óptica en la ciudad de Ocotal, Nueva Segovia.

Autor:

Br. Jorge Luis Hernández Ruiz

Tutor:

Msc. Wilmer Moisés Matamoros Cáceres

León, 15 de marzo de 2024

¡A La Libertad Por La Universidad!

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA

UNAN – León

Área de Conocimiento Ciencias y Tecnología

Área Específica de Conocimiento Ingeniería en Sistemas de Información

Ing. En Telemática



Monografía para optar al título de
INGENIERO EN TELEMÁTICA

Diseño de una red óptica pasiva con capacidad gigabit (GPON) para servicios integrados de televisión, internet y telefonía a través de fibra óptica en la ciudad de Ocotol, Nueva Segovia.

Autor:

Br. Jorge Luis Hernández Ruiz

Tutor:

Msc. Wilmer Moisés Matamoros Cáceres

León, 15 de marzo de 2024

¡A La Libertad Por La Universidad!



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme lograr uno de mis objetivos de vida como es obtener mi título universitario, porque me ha guiado, iluminado y bendecido en cada proceso. Este es el momento y el tiempo que él decidió, porque los tiempos de Dios son perfectos.

Asimismo, deseo extender mi sincero agradecimiento a mis padres, familiares y a todas aquellas personas que, de diversas maneras, han brindado su apoyo incondicional para hacer realidad este sueño. Este logro es una bendición y motivo de orgullo para quienes siempre confiaron en mí. Reconozco y valoro los esfuerzos de quienes, con su aprecio, han sido parte fundamental de la materialización de este sueño.

Agradezco de manera especial a mis respetados docentes, quienes han desempeñado un papel crucial en mi formación profesional y en la construcción de mis valores personales. Su entrega incondicional, tiempo y dedicación han dejado una huella indeleble en mi desarrollo académico y personal. Cada experiencia vivida en el aula ha contribuido significativamente a mi crecimiento integral.

Quiero expresar mi gratitud hacia mi tutor, quien ha desempeñado un papel fundamental en este viaje académico. Agradezco sinceramente su tiempo, dedicación y orientación constante, que fueron determinantes para alcanzar la culminación académica en esta prestigiosa y bicentenaria alma mater.



Índice de contenido

I. INTRODUCCION	1
1.1. Antecedentes	3
1.1.1. Antecedentes nacionales	3
1.1.2. Antecedentes internacionales	4
1.2. Planteamiento del problema.....	5
1.3. Justificación.....	6
1.4. Hipótesis.....	7
1.5. Objetivos	8
1.5.1. Objetivo general.....	8
1.5.2. Objetivos específicos	8
II. MARCO TEORICO	9
2.1. Sistemas ópticos.	9
2.1.1. Características físicas de la luz.....	9
2.1.2. Leyes ópticas	10
2.1.3. Ondas electromagnéticas.....	15
2.1.4. Espectro de luz visible.....	17
2.2. Fibra óptica.....	20
2.2.1. Clasificación de la fibra óptica.	23
2.2.2. Fibra de modo único o monomodo.....	24
2.2.3. Fibra multimodo de índice escalonado y de índice gradual.	25
2.2.4. Estructura de un cable de fibra óptica	27
2.2.5. Reflexión interna total en la fibra óptica.....	29
2.3. Sistema de comunicaciones con fibra óptica.....	33
2.3.1. Primera generación de las redes ópticas.....	33
2.3.2. Segunda generación de las redes ópticas.....	34
2.3.3. Tercera generación de las redes ópticas.....	34
2.3.4. Longitudes de onda en la fibra óptica.....	34
2.3.5. Forma de propagación de la información a través de la fibra óptica.	36
2.4. Atenuación en la fibra óptica	37
2.4.1. Absorción intrínseca.....	37



2.4.2.	Absorción extrínsecos.....	37
2.4.3.	Causas de atenuaciones.....	38
2.5.	Redes ópticas activas y pasivas.....	42
2.5.1.	Redes ópticas activas (AONs).....	42
2.5.2.	Redes ópticas pasivas (PON)	43
2.5.3.	Redes ópticas pasivas con capacidad gigabit - GPON.....	45
2.5.4.	Ventajas y desventajas de la fibra óptica.....	46
2.5.5.	Aplicaciones y características de la fibra óptica.....	48
2.6.	Redes de acceso FTTX - GPON	49
2.7.	Aplicaciones de redes FTTX.	50
2.7.1.	FTTN - Fibra Hasta El Nodo.....	50
2.7.2.	FTTC - Fibra Hasta El Gabinete Ó Fibra Hasta La Acera.....	51
2.7.3.	FTTH - Fibra Hasta El Hogar.....	52
2.7.4.	FTTB - Fibra Hasta El Edificio O Negocio	53
2.7.5.	FTTA - Fibra Hasta La Antena	53
2.8.	Redes PON	55
2.9.	Elementos de una red PON.....	56
2.9.1.	OTN (Red de transporte óptico)	56
2.9.2.	ODN (Red de distribución óptica).....	57
2.9.3.	OAN (Red de acceso óptica).....	57
2.9.4.	Interconexión entre OTN, ODN y AON.....	57
2.9.5.	NAP (Punto de acceso a la red)	58
2.9.6.	ONT (Terminación de red óptica) u ONU (Unidad de red óptica)	58
2.9.7.	ODF (Marco de distribución óptica).....	58
2.9.8.	OLT (Terminal de línea óptica).....	59
2.9.9.	MDU (Unidad de vivienda múltiple)	59
2.9.10.	SPLITTERS PLC (Circuito de onda de luz plana / Divisores ópticos pasivos).....	59
2.10.	Estándares PON.....	61
2.10.1.	APON.....	61
2.10.2.	BPON.....	61
2.10.3.	GPON	62
2.10.4.	E-PON	62



2.10.5. Diferencias entre GPON y E-PON.....	63
2.10.6. 10G-EPON.....	64
2.10.7. XG(S)-PON.....	64
2.10.8. NG-PON2.....	65
2.11. Estándar GPON.....	66
2.12. Arquitectura GPON.....	67
2.12.1. Características de funcionamiento GPON.....	67
2.13. Protocolos y tecnologías utilizadas por GPON.....	70
2.13.1. ATM (Modo de Transferencia Asíncrona).....	70
2.13.2. DBA (Asignación dinámica de ancho de banda).....	70
2.13.3. GEM (Método de encapsulación GPON).....	71
2.13.4. Combinación de los protocolos.....	71
2.13.5. Equipos esenciales para los protocolos descritos.....	72
2.14. Redes FTTH - GPON.....	73
2.14.1. Arquitectura general de una red FTTH.....	74
2.14.2. Transmisión de señales en una red FTTH.....	77
2.15. Convergencia de servicios multimedia.....	79
2.16. Fundamentos teóricos.....	80
2.16.1. Multiplexación.....	80
2.16.2. Calidad de Servicio (QoS).....	80
2.16.3. Redes de paquetes.....	80
2.16.4. Tecnologías de multiplexación de ancho de banda.....	80
2.17. Estructura de la convergencia de servicios multimedia.....	81
2.17.1. Capa física.....	81
2.17.2. Capa de enlace de datos.....	81
2.17.3. Capa de red.....	81
2.17.4. Capa de transporte.....	81
2.17.5. Capa de aplicación.....	81
2.18. Redes de acceso existente.....	82
2.18.1. Par de cobre xDSL.....	82
2.18.2. Cable Módem.....	82
2.18.3. Hybrid Fibre Coaxial (HFC).....	82



2.18.4. Packet Cable.....	83
2.18.5. Tecnologías 3G.....	83
2.18.6. Tecnologías 4G.....	83
2.18.7. Tecnologías 5G.....	83
2.18.8. WiFi.....	84
2.18.9. WiMAX.....	84
2.18.10. FTTH.....	84
2.19. Servicios y tecnologías brindadas a través de la red óptica propuesta. ...	85
2.20. Banda ancha	86
2.21. Televisión	87
2.21.1. Servicios de televisión por medio de fibra óptica.	88
2.21.2. Codificación	88
2.21.3. Digitalización.....	89
2.21.4. Compresión.....	89
2.21.5. Modulación.....	90
2.21.6. Estándares.....	90
2.21.7. TV digital.....	90
2.21.8. Estándar de televisión digital en Nicaragua.....	91
2.21.9. IPTV.....	93
2.22. VoIP.....	96
2.22.1. Codificación	96
2.22.2. Estándares.....	97
2.22.3. Compresión.....	98
2.22.4. Modulación.....	98
2.23. Ventajas de triple play	99
2.24. Desventajas de triple play	100
2.25. Elementos necesarios para desplegar una red FTTH.....	101
2.25.1. Herramientas y accesorios para instalación y mantenimiento de redes FTTH.....	101
2.25.2. Instrumentos de medición	108
2.25.3. Kit de instalación domiciliar	115
2.26. Elementos que conforman la ODN.....	116
2.26.1. Fibra óptica feeder - troncal.....	116



2.26.2. Splitters ópticos.....	117
2.26.3. Cajas de empalme	120
2.26.4. Cajas de distribución NAP.....	121
2.26.5. Conectores.....	122
2.26.6. Caja terminal de acceso	125
2.27. Equipos y accesorios requeridos en una central de operaciones de red (NOC) para brindar los servicios previstos.	126
2.27.1. Equipos.....	126
2.27.2. Accesorios	139
III. DISEÑO METODOLOGICO	143
3.1. Tipo de estudio.....	143
3.2. Fuentes de información.....	143
3.3. Etapas de la investigación.....	143
3.3.1. Estudio del arte	143
3.3.2. Búsqueda de herramientas	144
3.4. Operacionalización de variables.....	144
IV. DESARROLLO	147
4.1. Diseño propuesto de una red de acceso FTTH – GPON	147
4.2. Red de fibra óptica como soporte para servicios triple play.	149
4.3. Descripción de la red GPON	150
4.4. Modelo de la infraestructura GPON.....	151
4.5. Cálculos de enlace GPON.....	152
4.6. Criterios de diseño.....	156
4.6.1. Localización del prototipo de red FTTH a desplegar	158
4.7. Descripción del proyecto	159
4.7.1. Cálculos de potencia.....	161
4.7.2. Análisis de pérdida de potencia.....	163
4.7.3. Capacidad de transmisión para el enlace de fibra óptica.....	164
4.8. Características de los componentes en la red propuesta.....	168
4.9. Configuraciones requeridas en los equipos.....	180
4.9.1. Configuración de router.....	182



4.9.2. Configuración de OLT	192
4.9.3. Telefonía sobre red FTTH	197
4.10. Presentación del diseño	200
4.10.1. Diseño del tendido de la red de fibra óptica.....	200
4.10.2. Diagrama de distribución de gabinetes en central de telecomunicaciones.	215
4.10.3. Diagramas esquemáticos de las conexiones entre equipos.	217
4.11. Factibilidad económica	226
V. CONCLUSIONES	230
VI. RECOMENDACIONES.....	233
VII. BIBLIOGRAFIA	235



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mediciones en las Ondas con el tiempo y la distancia	10
Ilustración 2 Reflexión	11
Ilustración 3 Ángulos de reflexión.....	12
Ilustración 4 Ejemplo de la absorción de la Luz.....	12
Ilustración 5 Refracción	14
Ilustración 6 Donde n_1 y n_2 son los índices de refracción de los medios 1 y 2.....	14
Ilustración 7 Espectro electromagnético	16
Ilustración 8 Espectro electromagnético de frecuencias HZ.....	17
Ilustración 9 Espectro electromagnético con luz resaltada	18
Ilustración 10 Estructura Física de un hilo de fibra óptica	21
Ilustración 11 Clasificación de fibra óptica.....	24
Ilustración 12 Transmisión en Fibra Monomodo con Emisor Laser	24
Ilustración 13 Fibra multimodo de índice escalonado	25
Ilustración 14 Fibra multimodo de índice gradual	26
Ilustración 15 Tamaños relativos del núcleo y el revestimiento para ambos tipos de fibra óptica.....	26
Ilustración 16 Estructura de la fibra óptica.....	27
Ilustración 17 Estructura de la fibra monomodo	28
Ilustración 18 Estructura de la fibra multimodo de índice escalonado	29
Ilustración 19 Estructura de la fibra multimodo de índice gradual	29
Ilustración 20 Guía de ondas.....	30
Ilustración 21 Esquema de un filamento de fibra óptica	31
Ilustración 22 Apertura numérica.....	32
Ilustración 23 Modos de transmisión	32
Ilustración 24 Longitudes de onda utilizadas en comunicaciones ópticas.....	35
Ilustración 25 Pérdidas formadas en las curvaturas de la fibra óptica – macro curvaturas	40
Ilustración 26 Pérdidas causadas por la presencia de imperfecciones en la estructura de la fibra óptica - micro curvatura	40
Ilustración 27 Mecanismos de pérdidas en una fibra óptica	41
Ilustración 28 Arquitectura de Red activa	43
Ilustración 29 Arquitectura de Red Pasiva.....	44
Ilustración 30 Estructura de una red GPON	46
Ilustración 31 Estructura de red FTTN - Fibra hasta el nodo.....	50
Ilustración 32 Estructura de red FTTC - Fibra hasta el gabinete	51
Ilustración 33 Estructura de red FTTH - Fibra hasta el hogar.....	52
Ilustración 34 Estructura de red FTTB - Fibra hasta el edificio o negocio	53
Ilustración 35 Estructura de red FTTA - Fibra hasta la antena	54
Ilustración 36 Longitud de onda según el estándar utilizado	55
Ilustración 37 Arquitectura GPON	67



Ilustración 38 ONT con capacidad triple play	69
Ilustración 39 Arquitectura de una red de acceso FTTH con GPON	76
Ilustración 40 Sistema de comunicación óptico	77
Ilustración 41 Cortadora de alta precisión de fibra óptica y sus componentes	102
Ilustración 42 Peladora para cable de fibra óptica diseñada para pelar el revestimiento externo	103
Ilustración 43 Peladora diseñada para cables de fibra óptica con forro de alambre de acero.	103
Ilustración 44 Peladora de cristal de 125 microns con aislamiento de 250 microns.	104
Ilustración 45 Herramienta para pelar el recubrimiento de hilos de fibra óptica	104
Ilustración 46 Localizador Visual de Fallas (VFL)	105
Ilustración 47 Fusionadora de fibra óptica	106
Ilustración 48 Microscopio óptico.....	107
Ilustración 49 Limpiador de fibra óptica para adaptadores y conectores	108
Ilustración 50 Atenuador mecánico	109
Ilustración 51 Identificador de fibra óptica	110
Ilustración 52 Optical Power Meter	111
Ilustración 53 Kit de pruebas con fuente de Luz Óptica OLS	112
Ilustración 54 OTDR	113
Ilustración 55 Multímetro Óptico	114
Ilustración 56 Kit de instalación domiciliar GPON.....	115
Ilustración 57 Splitter óptico 1:8.....	118
Ilustración 58 Arquitectura del uso de splitter nivel 1 y nivel 2.....	119
Ilustración 59 Caja de empalme – mufa	121
Ilustración 60 Caja NAP con splitter 1:8	122
Ilustración 61 Conectores de fibra óptica	123
Ilustración 62 Conectores SC/UPC y SC/APC	124
Ilustración 63 Caja terminal de acceso	125
Ilustración 64 Arquitectura splitter balanceado y desbalanceado	153
Ilustración 65 Mapa de Ocotol, Nueva Segovia.....	158
Ilustración 66 Ruta de la fibra óptica feeder	160
Ilustración 67 Esquema de pérdidas de potencia en GPON.....	162
Ilustración 68 Troncales con más distancia y menor distancia	164
Ilustración 69 Diagrama de conexión entre router y OLT	182
Ilustración 70 Ping para verificar conexión a internet	183
Ilustración 71 Creación de interfaz bridge	184
Ilustración 72 Asignación al bridge1 los 2 puertos que conectan a la OLT	185
Ilustración 73 Asignación al bridge1 los 2 puertos que conectan a la OLT	185
Ilustración 74 Creación de VLAN para los Host.....	186
Ilustración 75 Configuración de direccionamiento IP	187
Ilustración 76 Direccionamiento de la red default de administración	188
Ilustración 77 Direccionamiento IP para red de administración	189



Ilustración 78 Direccionamiento LAN OLT Huawei.....	190
Ilustración 79 Direccionamiento LAN OLT Huawei.....	191
Ilustración 80 Prueba de conexión de router con OLT	191
Ilustración 81 Diagrama de conexión entre router y OLT	192
Ilustración 82 Verificación de conexión entre router y OLT	193
Ilustración 83 Ingreso por SSH a datos default de la OLT.....	193
Ilustración 84 Habilitar telnet en OLT	194
Ilustración 85 Prueba de conexión vía telnet.....	195
Ilustración 86 Softswitch/VoIP Server RT-EIMS5501	199
Ilustración 87 Plataforma para diseño de red FTTH TOMODAT	201
Ilustración 88 Rutas OTN en TOMODAT.....	201
Ilustración 89 Ubicación de la NOC en TOMODAT	202
Ilustración 90 Demostración de opción a editar potencia.	203
Ilustración 91 Conexión de fibra óptica en simulador	204
Ilustración 92 Ubicación de caja de empalme en la OTN para primeras ODN.	205
Ilustración 93 Ejemplo de fusiones simuladas en mufa para crear 5 ODN.....	206
Ilustración 94 Agregando splitter virtual para crear ODN	207
Ilustración 95 Fusión de 1 hilo con derivación desde troncal #3 para ODN 1-1	208
Ilustración 96 Fusión de primer NAP de una ODN para clientes	208
Ilustración 97 Distribución de señal desde splitter 1X8 ODN 3-1 a fibra de distribución	209
Ilustración 98 En la NAP 3-1-2 se toma un hilo de la fibra de DIST ODN 3-1	210
Ilustración 99 Última NAP de la ODN 3-1	211
Ilustración 100 Distribución de primer ODN del troncal 3	212
Ilustración 101 Distribución de 6 ODN del troncal 3	213
Ilustración 102 Distribución de fibra óptica finalizada y cajas de empalme	214
Ilustración 103 Diseño de red finalizado con cajas NAP principales y secundarias ...	214
Ilustración 104 Plano de NOC local.....	215
Ilustración 105 Vista ampliada del cuarto de datos	216
Ilustración 106 Distribución de equipos en MDA	218
Ilustración 107 Distribución de equipos EDA01 para TV Digital	219
Ilustración 108 Distribución de equipos en MDA	221
Ilustración 109 Distribución de equipos en EDA 01 para IPTV.....	222
Ilustración 110 Distribución de equipos en MDA	224
Ilustración 111 Distribución de equipos en MDA para IPTV y TV digital	225



ACRONIMOS

ADSL: Línea de Abonado Digital Asimétrica (Asymmetric Digital Subscriber Line)

AON: red óptica activa (active optical network)

APON: Redes Ópticas Pasivas ATM (ATM Passive Optical Network)

ATM: Modo de Transferencia Asíncrono (Asynchronous Transfer Mode)

CATV: Sistema de Televisión por Antena Colectiva (Community Antenna Television System)

DBA: Asignación Dinámica del Ancho de Banda (Dynamic Bandwidth Assigment)

DSL: Línea Digital de Suscriptor (Digital Subscriber Line)

DWDM: Multiplexación por división en longitudes de onda densas (Dense wavelength Division Multiplexing)

EDA: Área De Distribución De Equipo (Equipment Distribution Area)

EIA: Asociación de Industrias Electrónicas (Electronic Industries Alliance)

FO: Fibra Óptica (Fiber Optical)

FTTH: Fibra hasta el hogar (Fiber to the home)

FTTX: Fibra hasta X(Cualquier Lugar) (Fiber To The X(Any Place))

GEM: Método de Encapsulación GPON (GPON Encapsulation Method)

GPON: Red óptica pasiva gigabit (Gigabit Passive Optical Network)

IP: Protocolo de Internet (Internet Protocol)

ILD: Diodo de inyección laser (injection laser diode)

ISO: Organización Internacional de Normalización (Internacional Organization for Standardization)

ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones (Internacional Telecommunication Union)

LED: diodos emisores de luz (Light Emitting Diode)

MDA: Área de Distribución Principal (Main Distribution Area)

NA: Aperturas numéricas (numerical openings)

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



ODN: Red de distribución óptica (Optical distribution network)

OLT: Terminación de línea óptica (optical line termination)

ONT: Terminación de red óptica (Optical Network Termination)

ONU: Unidad de red óptica (Optical Network Unit)

OTT: Por encima de la red (Over-The-Top)

PDH: Jerarquía Digital Plesicronus (Plesicronus Digital Hierarchy)

PON: Red óptica pasiva (Passive Optical Network)

PSTN: Red Telefónica Conmutada Pública (Public Switched Telephone Network)

SDH: Jerarquía Digital Sincrónica (Synchronous Digital Hierarchy)

SFP: Transceptor enchufable de pequeña forma (Small Form-Factor Pluggable)

TDM: Multiplexación por División de Tiempo (Time Division Multiplexing)

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

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

TIC: Tecnologías de la Información y Comunicaciones

VFL: Localización visual de fallos (Visual Fault Location)

WDM: Multiplexación De Longitud De Onda (Wavelength Division Multiplexing)



I. INTRODUCCION

Las telecomunicaciones han evolucionado de manera exponencial, en la actualidad el desarrollo de las telecomunicaciones constituye un eje fundamental para mejorar la calidad de vida de las personas, principalmente por medio de las redes que permiten transmitir voz, datos y vídeo, generando tecnologías de la información y siendo la base fundamental en el desarrollo de aplicaciones digitales como desarrollo tecnológico de naciones y regiones. Este desarrollo llega a la convergencia de servicios brindados por diferentes tecnologías integrados en un solo medio de transmisión.

Los medios de transmisión son diferenciados por sus capacidades y frecuencias de operación, es decir por las garantías que ofrecen, quedando desplazado el factor económico. Una de las causas que han provocado la evolución en el mercado de las telecomunicaciones ha sido la aparición de internet, que inició como una manera de comunicarse, pero con el paso del tiempo se ha convertido en una herramienta fundamental de las empresas y de la sociedad en general, a tal grado que actualmente se considera indispensable en las actividades diarias de quienes la utilizan, dando origen a nuevas tecnologías y servicios.

Se ha experimentado un alto desarrollo debido a factores muy importantes como: el incremento de la competitividad entre empresas y la aparición de nuevos servicios de banda ancha, los cuales han dado como resultado la necesidad de mejores redes con capacidad de ofrecer mayor ancho de banda manteniendo la calidad de los servicios ofrecidos.

La mayoría de los proveedores de servicios de internet y televisión en el país ofertan a sus clientes métodos de accesos que presentan ciertas desventajas ante las tecnologías más actuales, entre los sistemas que utilizan para proveer servicios se encuentran:

- Líneas telefónicas convencionales mediante módems llamados tecnología ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line, Línea de Abonado Digital Asimétrica)
- CATV (Community Antenna Television System, Sistema de Televisión por Antena Colectiva)



- Enlaces inalámbricos.

La necesidad insaciable por obtener la mayor cantidad de información en el menor tiempo posible ha provocado que los usuarios requieran una mejor calidad en la transmisión de datos y obtener la mayor cantidad de servicios a través de un mismo medio o un solo proveedor.

De acuerdo con lo mencionado, el acceso a servicios de calidad se convierte en una necesidad que debe ser atendida. Es por este motivo que los proveedores de servicios deben desplegar infraestructuras para el acceso de alta velocidad, en el cual la fibra óptica ha sido la solución tecnológica, que además de permitir el acceso a los servicios, representa una propuesta capaz de cubrir la demanda futura.

Es por ello por lo que el reemplazo de redes de cobre por nuevas infraestructuras de redes de fibra óptica hasta el hogar FTTH (Fiber to the home) ha sido lo óptimo para solventar las necesidades de la actualidad.

Entre las arquitecturas FTTH resaltan las redes de fibra óptica pasivas con capacidades Gigabit GPON (Gigabit Passive Optical Network), dicha arquitectura permite emplear elementos que no requieren de alimentación eléctrica externa, además permite abarcar distancias de hasta 20 KM desde la central hasta el cliente y un mayor ancho de banda, cabe resaltar que con el uso de la fibra óptica se incrementa la calidad del servicio por las características de ser inmune a las interferencias electromagnéticas.

Con estas características descritas, la fibra óptica solventa las necesidades de usuarios los cuales requieren de servicios optimizados y de calidad. A si mismo se ha logrado mejorar las transmisiones en general utilizando la tecnología GPON, cuyo estándar da soporte a todos los servicios actuales como voz, datos y video, estándares determinados por la ITU (Internacional Telecommunication Union) proporcionando mayores ventajas sobre redes predecesoras.



1.1. ANTECEDENTES

A continuación, se presentan algunas investigaciones y proyectos que sustentan el tema abordado en el presente trabajo monográfico, con los cuales se aportará una mayor comprensión en lo que respecta al uso de la fibra óptica.

1.1.1. Antecedentes nacionales

1. El Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR) por medio de su programa de Banda Ancha (PBA) y en coordinación con la Empresa Nacional de transmisión Eléctrica (ENATREL) inician a impartir talleres sobre el aprovechamiento de la red de fibra óptica nacional a operadores de televisión por cable, en julio de 2022 se realizó un taller dirigido a operadores que brindan servicios en la zona norte y centro del país. Entre los temas abordados en estas capacitaciones se encuentran:
 - Aspectos básicos de la fibra óptica y la tecnología GPON.
 - Plan de Banda Ancha.
 - Requisitos de TELCOR para obtener licencia comercial para brindar el servicio de Banda Ancha.
2. Erick Alejandro Otero en su tesis titulada “Construcción, Integración, fusión y mantenimiento de red de fibra óptica Zona Metro Managua.” Elaborada en la Universidad Nacional de Ingeniería - Nicaragua en el año 2018, se concluye que mediante el uso de cables de fibra óptica se mejoran los servicios brindados a los clientes, de tal manera que es conveniente la sustitución del cableado de cobre, esto se llevó a la práctica mediante la creación de nuevas redes de fibra óptica en el área metropolitana de Managua, mejorando la ampliación de servicios brindados a los clientes y reduciendo los costos de operaciones de mantenimiento con duración a largo plazo.
3. La Unión Internacional de Telecomunicaciones en colaboración con el Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR) de Nicaragua, publicó



en el año 2018 en Ginebra, Suiza el estudio de caso: “El ecosistema digital y la masificación de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en Nicaragua”. El principal objetivo de este Estudio es proveer al país con un panorama general sobre el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y proponer recomendaciones basadas en la identificación de los principales desafíos y avances para la masificación de las TIC en el país. El mismo fue desarrollado considerando cuatro ejes estratégicos del Ecosistema digital: infraestructura, servicios, usuarios y aplicaciones. En dicho estudio se destaca la importancia de la fibra óptica para el desarrollo del país al necesitar conexiones a largas distancias y transmisiones de alta velocidad.

1.1.2. Antecedentes internacionales

4. Juan David Botero Tabares en su trabajo de grado titulado: “Prototipo para la implementación de servicios de televisión e internet sobre FTTH ” elaborada en la Universidad Católica de Pereira en el país de Colombia en el año 2021, concluye que se ven reflejados los resultados, se evidencia la gran demanda que se logra obtener al ofertar grandes cantidades de megas, el éxito no se evidencia únicamente por el número de usuarios que se puedan captar, sino en el número de problemas que se logran evitar al no tener elementos activos en la red externa, generando así, rendimiento y calidad.
 5. Por otro lado, la Universidad Estatal de Guayaquil – Ecuador publicó el proyecto titulado: “Diseño de una red FTTH en urbanización Villas del Rey etapa Carlos mejorando el servicio de internet”, ofreciendo una revisión teórica y en base a un estudio de campo aplicando una técnica de recolección de información, verificaron que los proveedores de servicios de internet solamente proporcionan a los usuarios una red de cobre donde las personas se conectan al internet a través de la línea telefónica conmutada en lo cual existen diversos problemas de ancho de banda, determinando de esta manera que la urbanización requiere contar con un servicio de internet de alta velocidad que permita cumplir con los requerimientos y necesidades de dichos usuarios. (Moreno Ortega y Moran Domenech, 2018)
-



1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento exponencial de la demanda de comunicaciones de banda ancha en entornos residenciales y corporativos, impulsado por necesidades como el acceso a aplicaciones interactivas, teletrabajo, educación a distancia y videoconferencias, resalta la importancia creciente de la fibra óptica como medio de transmisión. Su capacidad para ofrecer altas velocidades de transmisión de datos y su eficiencia energética la sitúan como la opción óptima para satisfacer las necesidades actuales y futuras de conectividad.

La tecnología continúa evolucionando y la fibra óptica emerge como la solución más adecuada para garantizar servicios estables y de alta calidad en un entorno donde la demanda de conexiones simultáneas a una misma ubicación es cada vez mayor. Su capacidad para ofrecer servicios Gigabit sobre una infraestructura pasiva, sin necesidad de energía adicional, la convierte en una opción eficiente y rentable para los operadores de telecomunicaciones.

La implementación de redes FTTH (Fiber To The Home) utilizando estándares como GPON (Gigabit Passive Optical Network) permite comprender el funcionamiento de las redes ópticas pasivas y ofrecer servicios de entretenimiento y comunicación de manera eficiente y confiable. Además, la tecnología GPON ofrece una mayor capacidad de transmisión de datos, lo que se traduce en velocidades de internet más altas, señales más estables y una mejor calidad en las comunicaciones.

En este contexto, surge la necesidad de diseñar una red GPON en la ciudad de Ocotál, Nueva Segovia, para mejorar la calidad de los servicios de telecomunicaciones. Se plantean interrogantes sobre el alcance geográfico de la cobertura de la red GPON y los costos asociados a su implementación. Es crucial desarrollar una propuesta de diseño integral que aborde estos aspectos y ofrezca una solución efectiva para las necesidades de conectividad en la comunidad.



1.3. JUSTIFICACION

En los últimos años, el sector de las telecomunicaciones ha experimentado un rápido avance, impulsado por la creciente demanda de ancho de banda y servicios de calidad. Los operadores están renovando sus infraestructuras para satisfacer estas necesidades, y la fibra óptica se ha convertido en la opción ideal para mejorar la conectividad.

El aumento en la diversidad y cantidad de información que se transmite ha generado la necesidad de medios de transmisión más eficientes. En este contexto, las redes GPON han destacado como una tecnología superior, ofreciendo ventajas como menor uso de equipos, gestión más organizada y mayor velocidad de transmisión. Además, al ser redes pasivas, no requieren energía externa y son inmunes a interferencias electromagnéticas.

A pesar de la demanda de servicios de internet y televisión por suscripción de alta calidad, muchos operadores aún no han implementado redes de fibra óptica hasta el hogar, optando en su lugar utilizar redes híbridas que combinan fibra óptica y cable coaxial. Sin embargo, estas últimas tienen una vida útil limitada en comparación con la fibra óptica, lo que puede afectar la calidad de los servicios ofrecidos a largo plazo.

Por tanto, este proyecto se enfoca en estudiar y comprender la implementación de redes GPON, para proporcionar mejores velocidades de ancho de banda y servicios de calidad a los usuarios finales, aprovechando las capacidades de la fibra óptica para transmitir múltiples señales y aplicaciones a través de una misma red.



1.4. HIPOTESIS

El diseño de un sistema de telecomunicaciones estructurado por fibra óptica hasta el hogar con tecnología GPON permitirá al usuario final recibir los servicios adquiridos con alta calidad, estabilidad y escalabilidad, presentando de esta manera avances considerables con respecto a las redes de acceso convencionales.



1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

- Diseñar una red GPON para servicios integrados de televisión, internet y telefonía a través de fibra óptica en la ciudad de Ocotál, Nueva Segovia, con el fin de mejorar la calidad y capacidad de los servicios de telecomunicaciones en la zona.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar y comprender la implementación y diseño de redes de fibra óptica hasta el hogar FTTH (Fiber To The Home) para brindar servicios de internet, telefonía y televisión utilizando tecnología GPON para clientes residenciales y corporativos.
- Determinar la cobertura geográfica requerida para la red GPON, identificando las áreas de la ciudad que deben ser cubiertas y evaluando la viabilidad técnica y económica de la expansión de la red.
- Evaluar los costos asociados a la implementación de la red GPON, considerando la adquisición de equipos, la instalación de la infraestructura y el despliegue de la fibra óptica.
- Presentar un diseño de red con fibra óptica para brindar servicios triple play permitiendo que se utilice como guía para ejecutar futuros proyectos que involucren redes con estas características.



II. MARCO TEORICO

En el siguiente capítulo se realiza una descripción sobre la fibra óptica, concentrando la información en las redes FTTH, su estado actual, componentes y aplicaciones.

2.1. SISTEMAS OPTICOS.

2.1.1. Características físicas de la luz

La luz es una radiación electromagnética. Esta radiación se puede describir considerando un modelo corpuscular o bien considerando un modelo ondulatorio. En el primer caso se considera que la luz está compuesta por pequeñas partículas denominadas fotones, cuya masa en reposo es nula. En el segundo caso, la luz al igual que cualquier otra onda, puede ser caracterizada en términos de su longitud de onda (distancia sucesiva entre dos ondas), frecuencia (número de ondas por espacio de tiempo) y amplitud (diferencia entre los picos máximos y mínimos). (Kolb, 1999)

De acuerdo con (Tabalina, 2010) La luz es una onda y una onda es una perturbación, o una variación de una magnitud física, que se propaga en el espacio y en el tiempo. Hay muchos tipos de ondas: sonoras, sísmicas, las olas del mar, etc., y están las electromagnéticas, que son las que aquí se necesitan para ejecutar la explicación del tema. Todas ellas tienen naturaleza diferente, pero muchas características comunes.

Las ondas que resultan más familiares son las armónicas, aquellas cuya oscilación viene representada por una función seno o coseno. Si se coloca en un punto fijo del espacio y representa su evolución en el tiempo, se observa que ésta pasa por un valor máximo, posteriormente baja y se hace cero, tomando un valor mínimo, sube nuevamente, y toma su valor máximo, baja y regresa a cero, dando lugar a repetirse el ciclo. El intervalo de tiempo mínimo transcurrido entre dos estados análogos de oscilación (por ejemplo, dos máximos o dos mínimos), se llama periodo, y su inversa es la frecuencia, f , que representa el número de oscilaciones por unidad de tiempo. Por ejemplo, las ondas de radio, cuya frecuencia es del orden de gigahertzios, realizan alrededor de 109 oscilaciones por segundo. Del mismo modo, si se observa en un instante de tiempo y representa la onda en función del espacio, se constata que oscila de forma similar. En



este caso, la distancia mínima entre dos puntos en el mismo estado de oscilación se denomina longitud de onda y suele denotarse con la letra griega λ . La relación entre λ y f , viene dada por $v = \lambda f$, siendo v la velocidad de propagación de la onda.

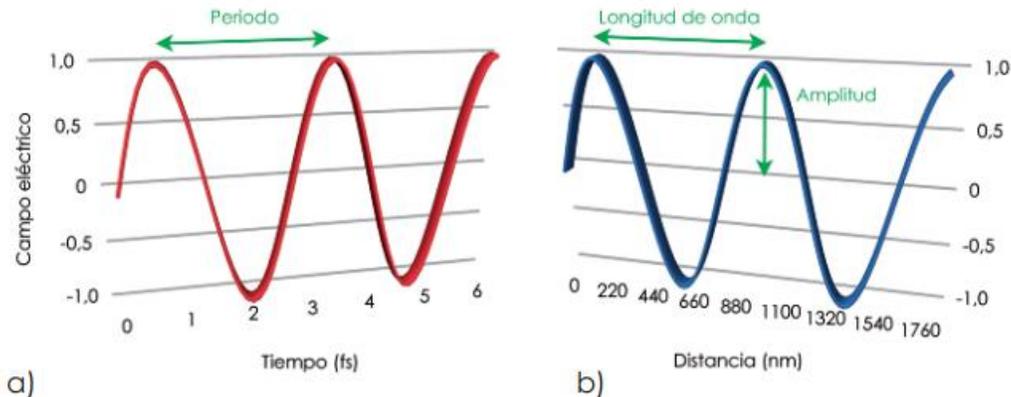


Ilustración 1 Mediciones en las Ondas con el tiempo y la distancia

Fuente: El Láser - La Luz de nuestro tiempo, Tabalina, pág.12

En la Ilustración 1 se presentan dos ejemplos de mediciones que se pueden obtener en las ondas electromagnéticas:

a) Representación de la evolución en el tiempo de una onda armónica en un punto fijo del espacio. El periodo es el intervalo que tarda la onda en volver al mismo estado de oscilación y su inversa es la frecuencia.

b) En este caso se fija un instante de tiempo y se representa el estado de oscilación en los distintos puntos del espacio. La longitud de onda es la distancia entre dos puntos en el mismo estado de oscilación, mientras que la amplitud de la onda es su valor máximo. (Tabalina, 2010)

2.1.2. Leyes ópticas

(Kolb, 1999) La luz no es más que una radiación electromagnética. En el vacío las radiaciones electromagnéticas viajan en línea recta y así pueden ser descritas como rayos de luz.



Los rayos de luz viajan también en línea recta hasta que interaccionan con los átomos o moléculas de la atmósfera y otros objetos. Estas interacciones dan lugar a los fenómenos de reflexión, absorción y refracción.

Reflexión. Cuando los rayos de luz llegan a un cuerpo en el cual no pueden continuar propagándose, salen desviados en otra dirección, es decir, se reflejan. La forma en que esto ocurre depende del tipo de superficie sobre la que inciden y del ángulo que forman sobre la misma.

Así las superficies pulidas reflejan de una forma regular la mayor parte de las radiaciones luminosas que les llegan mientras que las superficies rugosas actúan como si estuvieran formadas por infinidad de pequeñas superficies dispuestas irregularmente y con distinta orientación, por lo que las direcciones de los rayos reflejados son distintas. La mayor parte de lo que se ve en un ambiente es luz que ha sido reflejada por los objetos situados en ese entorno. Por tanto, los objetos reciben directamente la luz del Sol, reflejándola o difundiéndola hacia otros objetos que se encuentran en la sombra. (Kolb, 1999)

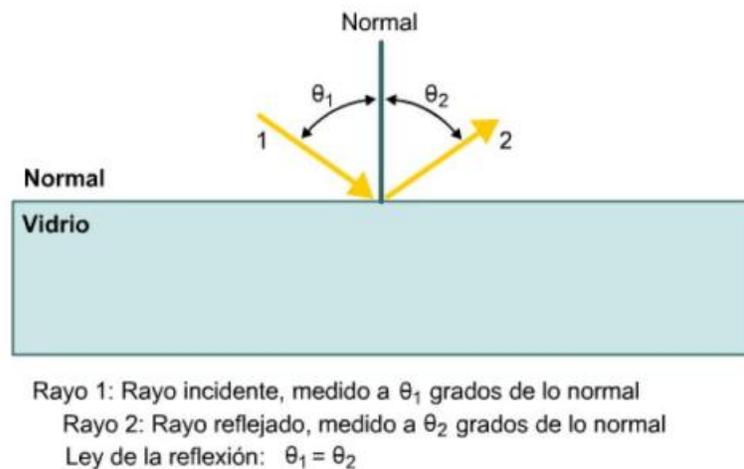


Ilustración 2 Reflexión

Fuente: Academia de Networking CISCO, CCNA 1

(Kolb, 1999) El ángulo que se forma entre el rayo incidente y una perpendicular a la superficie del vidrio, en el punto donde el rayo incidente toca la superficie del vidrio, recibe



el nombre de ángulo de incidencia. Esta línea perpendicular recibe el nombre de normal. El ángulo que se forma entre el rayo de luz y la normal recibe el nombre de ángulo de reflexión. La ley de la reflexión establece que el ángulo de reflexión de un rayo de luz es equivalente al ángulo de incidencia. En otras palabras, el ángulo en el rayo de luz toca una superficie reflectora determina el ángulo en que reflejara el rayo en la superficie.

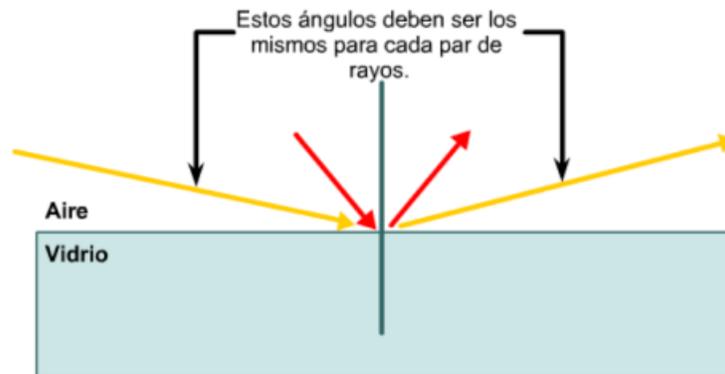


Ilustración 3 Ángulos de reflexión

Fuente: Academia de Networking CISCO, CCNA 1

Absorción: Existen superficies y objetos que absorben la mayor parte de las radiaciones luminosas que les llegan. Estos objetos se ven de color negro. Otros tipos de superficies y objetos absorben sólo una determinada gama de longitudes de onda, reflejando el resto. (Kolb, 1999)

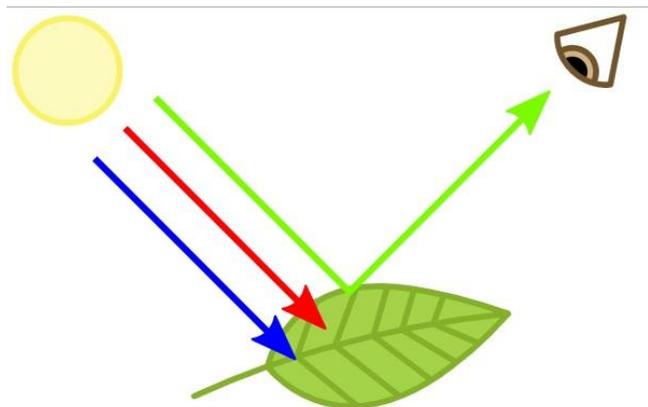


Ilustración 4 Ejemplo de la absorción de la Luz

Fuente: <https://www.lifeder.com/caracteristicas-de-la-luz>



(FotoNostra, 2015) Cuando la luz blanca incide sobre un cuerpo éste absorbe total o parcialmente una parte del espectro y refleja o transmite (según sea opaco o transparente) una determinada gama de longitudes de onda, que constituyen su color. Es entonces cuando la energía luminosa puede convertirse en otro tipo de energías como el calor o la electricidad, o producir una reacción química como la que ocurre en la fotografía analógica y los soportes fotosensibles.

Existen diferentes tipos de absorción de la luz. Ésta puede ser una absorción sencilla total, una absorción parcial o una absorción selectiva.

La absorción sencilla total: no puede ser fotografiada, ya que solamente será "visible" cuando se compara con otras luces en la misma escena que no han sido absorbidas. El terciopelo, por ejemplo, que tiene una gran capacidad de absorción de la luz no es fácil de fotografiar.

La absorción parcial: Este tipo de absorción es uno de los factores que determinan si el objeto que se ve es negro, blanco o gris.

La absorción selectiva: Este es el tipo de absorción que determina los colores del objeto en función de qué longitudes de onda absorbe y cuáles no.

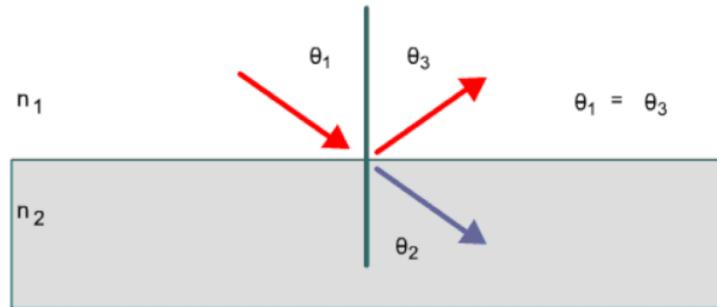
Un material es negro cuando absorbe el 100% de la luz. Sin embargo, no existe un cuerpo 100% blanco ya que todos los cuerpos absorben, al menos, un 10% de luz. (FotoNostra, 2015)

En la Ilustración 4 se muestra un ejemplo claro de absorción mostrando como las plantas se perciben de color verde debido a que la clorofila absorbe principalmente la longitud de onda azul y roja y refleja el color verde. (Rodríguez, 2021)

Según (Kolb, 1999) la **Refracción** es el cambio de dirección que sufren los rayos luminosos al pasar de un medio a otro, donde su velocidad es distinta, da lugar a los fenómenos de refracción. Así si un haz de rayos luminosos incide sobre la superficie de



un cuerpo transparente, parte de ellos se reflejan mientras que otra parte se refracta, es decir penetran en el cuerpo transparente experimentando un cambio en su dirección de movimiento.



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Ilustración 5 Refracción

Fuente: Academia de Networking CISCO, CCNA 1

Leyes de Refracción:

Son la base inicial para entender el principio de cómo trabaja la fibra óptica.

1era ley de refracción: El rayo refractado se encuentra en el plano del rayo incidente y la normal que pasa por el punto de incidencia.

2da ley de refracción: Cuando una onda incide sobre la superficie de separación entre dos medios, parte de la energía se refleja y parte entra en el segundo medio. El rayo transmitido está contenido en el plano de incidencia, pero cambia de dirección (rayo refractado) formando un ángulo con la normal a la superficie, dado por la ley de Snell.

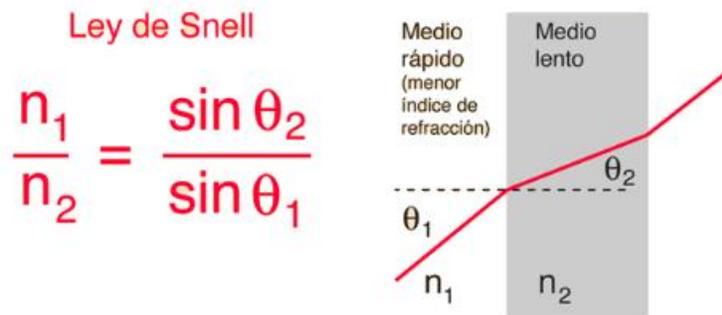


Ilustración 6 Donde n_1 y n_2 son los índices de refracción de los medios 1 y 2

Fuente: Academia de Networking CISCO, CCNA 1



2.1.3. Ondas electromagnéticas.

(NTE.mx, 2021) El espectro electromagnético es muy importante en la vida cotidiana. Se puede decir que todo el tiempo se realizan diferentes actividades donde se utiliza, como usar un teléfono celular, ver televisión, escuchar radio, calentar la comida en un microondas, entre otras.

Las ondas electromagnéticas fueron deducidas de forma matemática por el físico escocés James Clerk Maxwell, en la segunda mitad del siglo XIX. Su nombre se debe a que son campos eléctricos y magnéticos que oscilan y pueden viajar en el vacío.

Maxwell calculó la magnitud de la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío. Encontró que estas viajan a una velocidad de 300 mil kilómetros por segundo, que es igual al valor de la velocidad de la luz. Esto permitió proponer que la luz estaba formada por ondas electromagnéticas, las cuales se podían propagar en el vacío.

Esta es una característica que diferencia a las ondas electromagnéticas, de las mecánicas. Por ejemplo, las ondas sonoras o sísmicas son ondas mecánicas, y requieren de un medio para propagarse.

La velocidad de las ondas electromagnéticas es mayor a cualquier onda mecánica. Por ejemplo, el sonido viaja a 343 metros por segundo en el aire. Es decir que, si una onda sonora compitiera contra una onda electromagnética y se midiera la distancia que avanzan en un segundo, la onda de sonido avanzaría 343 metros, mientras que la onda electromagnética, en el mismo avanzaría una distancia de 300 millones de metros. (NTE.mx, 2021)

Las ondas electromagnéticas, como su propio nombre indica, están compuestas por dos magnitudes físicas: un campo eléctrico y otro magnético, que se propagan de forma coordinada.

A diferencia de otras ondas, como las sísmicas o las sonoras, las electromagnéticas no precisan de un medio material para propagarse. Además, se caracterizan porque en el vacío se propagan a la denominada velocidad de la luz. Si se clasifican las ondas



electromagnéticas en función de su longitud de onda (o frecuencia), se obtiene lo que se conoce como espectro electromagnético. La luz visible es la parte del espectro electromagnético a la que es sensible el ojo humano, aproximadamente de 400 a 700 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9}$, es decir, un metro tiene mil millones de nanómetros). Por debajo de 400 nm tenemos la radiación ultravioleta y por encima de 700 nm la radiación infrarroja.

Por tradición, el término luz engloba no sólo el visible sino también zonas próximas del ultravioleta e infrarrojo, ya que tienen un comportamiento parecido. Por eso un LED (diodo emisor de luz) que emita a 940 nm se considera una fuente de luz, aunque el ojo humano no lo vea. Por otro lado, cada longitud de onda de la radiación visible se percibe como un color distinto. La luz que contiene una sola frecuencia (un solo color) se denomina monocromática, mientras que si contiene más de una es policromática. La expresión luz blanca se utiliza para designar la radiación que contiene todas las frecuencias visibles, por ejemplo, la que proviene del sol o la de una bombilla. (Tabalina, 2010)

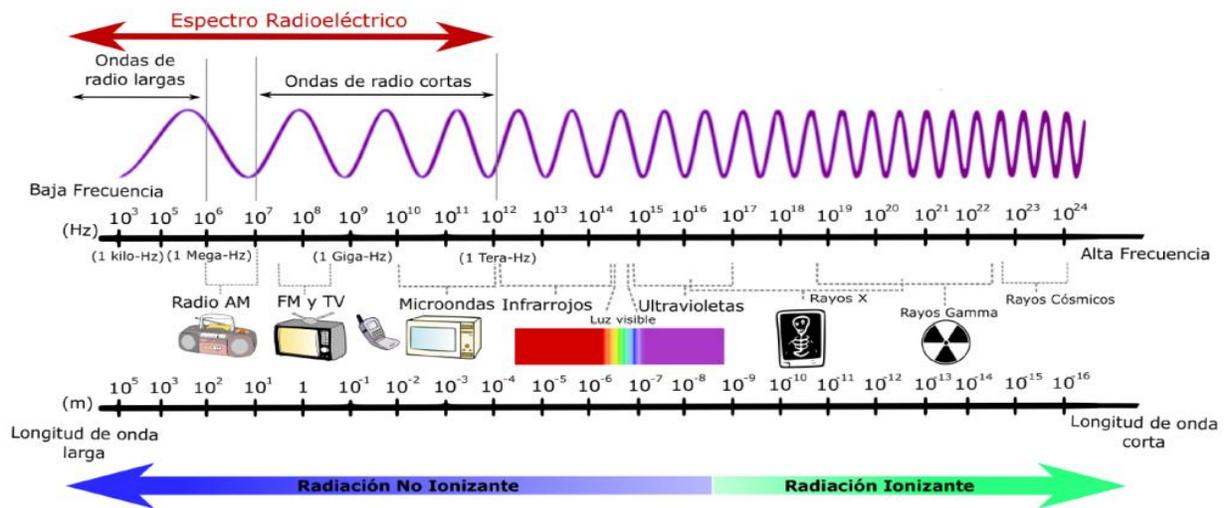


Ilustración 7 Espectro electromagnético

Fuente <https://nte.mx>

(Kolb, 1999) La cantidad de energía de una radiación electromagnética es proporcional a su frecuencia. Las radiaciones emitidas a frecuencias altas (longitudes de onda cortas) poseen la mayor cantidad de energía. Un ejemplo de ello son las radiaciones gamma y los Rayos X, con longitudes de onda menores de 10^{-9} (<1 nm). Por el contrario, las



radiaciones con frecuencias más bajas (longitudes de onda más largas) tales como las emitidas por los radares y las ondas de radio (con longitudes de onda mayores de 1 mm) poseen menor cantidad de energía.

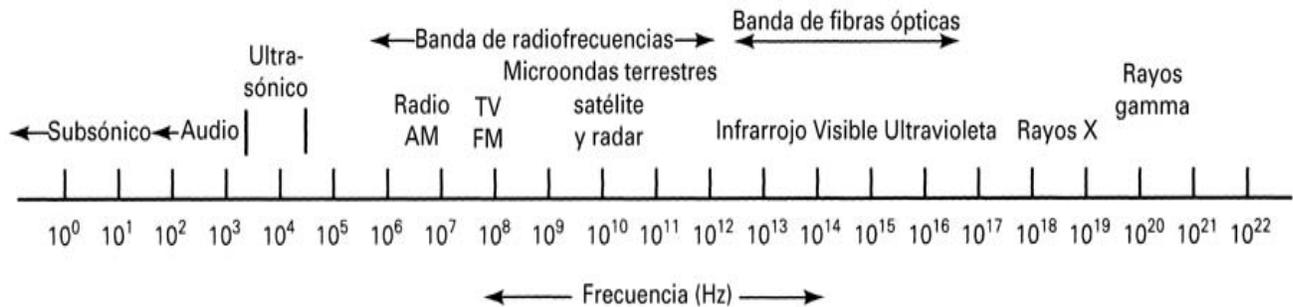


Ilustración 8 Espectro electromagnético de frecuencias HZ

Fuente: Sistemas de comunicaciones electrónicas. Wayne Tomasi, Cuarta Edición, Pág. 4

2.1.4. Espectro de luz visible

El espectro de luz visible es el segmento del espectro electromagnético que el ojo humano puede ver. Por lo general, las personas pueden detectar longitudes de onda de 380 a 700 nanómetros.

Longitudes De Onda De La Luz Visible.

Toda la radiación electromagnética es luz, pero solo se puede ver una pequeña porción de esta radiación, la porción que se le conoce como luz visible.

Las células en forma de cono de los ojos actúan como receptores sintonizados con las longitudes de onda en esta estrecha banda del espectro. Otras porciones del espectro tienen longitudes de onda demasiado grandes o pequeñas y energéticas para las limitaciones biológicas de la percepción humana.

A medida que el espectro completo de luz visible viaja a través de un prisma, las longitudes de onda se separan en los colores del arcoíris porque cada color tiene una longitud de onda diferente. El violeta tiene la longitud de onda más corta, alrededor de 380 nanómetros, y el rojo tiene la longitud de onda más larga, alrededor de 700 nanómetros. (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio NASA, 2010)

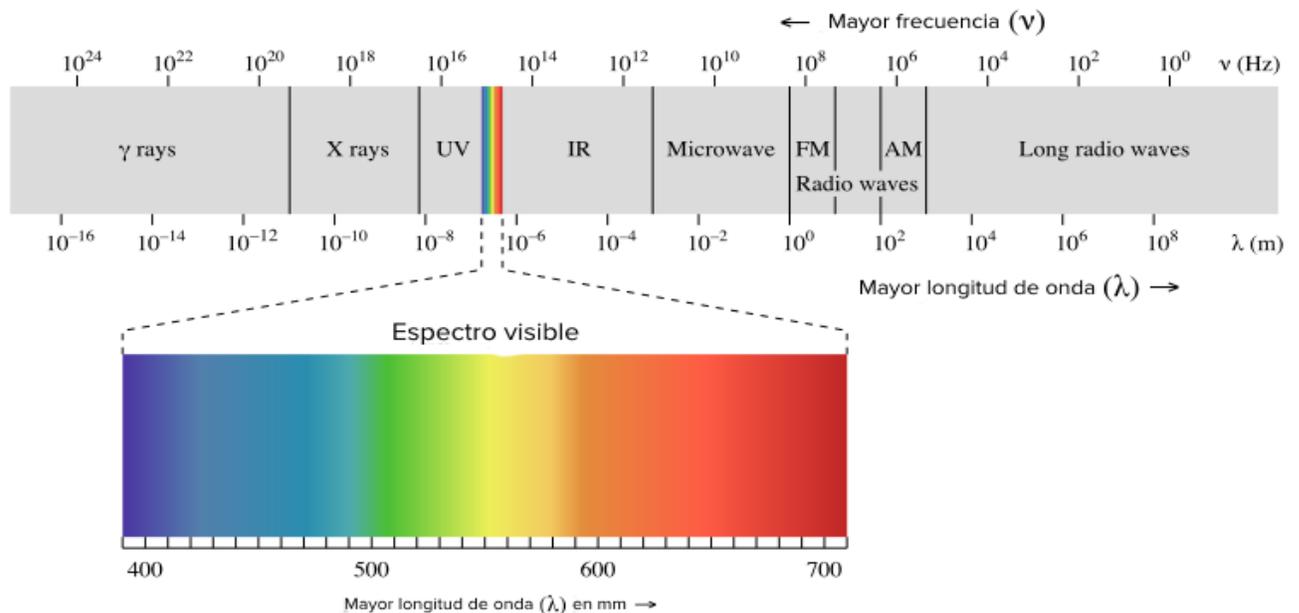


Ilustración 9 Espectro electromagnético con luz resaltada

Fuente: Tomada de la ChemWiki de UC Davis (Universidad de California en Davis), CC-BY-NC-SA 3.0

(Química Web, 2020) La luz es una onda electromagnética, y por ende puede oscilar en diferentes frecuencias, precisamente este define el color.

Propiedades Generales De La Luz.

1. Las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío a la velocidad de 300,000 km/s, que se conoce como "velocidad de la luz en el vacío" y se simboliza con la letra c ($c = 300000$ km/s).
2. La luz puede viajar en el vacío, no así el resto de las ondas que necesitan de un medio material para hacerlo, por ejemplo, el sonido.
3. La velocidad de la luz en el vacío no puede ser superada por la de ningún otro movimiento existente en la naturaleza. En cualquier otro medio, la velocidad de la luz es inferior.
4. La energía transportada por las ondas es proporcional a su frecuencia, de modo que cuanto mayor es la frecuencia de la onda, mayor es su energía.
5. Se propaga en línea recta.



6. Se refleja cuando llega a una superficie reflectante.
7. Cambia de dirección cuando pasa de un medio a otro (se refracta). (Química Web, 2020)

Tabla 1 Velocidad de la luz en distintos medios

Fuente (Departamento de Química Física - Universidad de Cádiz, 2012)

Medio	v (Km/s)
Vacío	300 000
Aire	299 910
Agua	225 564
Etanol	220 588
Cuarzo	205 479
Vidrio Crown	197 368
Vidrio Flint	186 335
Diamante	123 967

Los colores según la frecuencia están dados por la tabla siguiente:

Tabla 2 Longitud de onda de cada color con su respectiva frecuencia.

Fuentes (Gil, 2013) UNAM - (Nassau, 2021)

Color	λ (longitud de onda)	Intervalo de frecuencia
Violeta	380 - 450 nm	~ 790–680 THz
Azul	450 - 495 nm	~ 680–620 THz
Verde	495 - 570 nm	~ 600–530 THz
Amarillo	570 - 590 nm	~ 530–510 THz
Naranja	590 - 620 nm	~ 510–480 THz
Rojo	620 - 750 nm	~ 480–405 THz



2.2. FIBRA OPTICA

(Hayes, 2009) La fibra óptica (FO) es un medio de transmisión clave en las redes de telecomunicaciones de alta capacidad, la transmisión de luz se realiza a través de finos hilos sumamente transparentes, generalmente son fibras de vidrio, en algunos casos son de plástico. La fibra óptica se utiliza en las comunicaciones, la iluminación, la medicina, los controles ópticos y en la fabricación de sensores.

(Montero, 2006) La fibra óptica permite la transmisión de señales luminosas y es insensible a interferencias electromagnéticas externas. Cuando la señal supera frecuencias de 10^{10} Hz se habla de frecuencias ópticas. Los medios conductores metálicos son incapaces de soportar estas frecuencias tan elevadas y son necesarios medios de transmisión ópticos.

La fibra óptica es el medio recomendado por la ISO y la EIA/TIA para la realización de troncales en los sistemas de cableado. Su inmunidad a las perturbaciones electromagnéticas y sus características de transmisión de la señal la convierten en un soporte ideal de las transmisiones de alto tráfico tanto para las conexiones entre edificios, como para la conexión de los puestos de trabajo ("fiber to desk"). (Montero, 2006)

(La Fibra Óptica Perú, 2014) Mientras la tecnología que soporta la fibra óptica es compleja, y su proceso industrial muy sofisticado, el propio producto final es sorprendentemente amistoso al usuario final. Con prácticas normales de campo y equipo no muy complicado, el proceso de instalación de un sistema óptico es simple, rápido siempre y cuando se mantenga orden y limpieza al realizar el montaje de la topología de red. Las pruebas después de la instalación son sencillas, la tecnología de fibra óptica supera de lejos a la del cobre, y realmente es más fácil trabajar con ella manteniendo sumo cuidado y limpieza.

La transmisión de fibra óptica involucra el cambio de las señales eléctricas en pulsos de luz, usando un transmisor optoelectrónico, y enviando los pulsos hacia el núcleo de una fibra óptica. Ya que el núcleo y el revestimiento circundante tienen composiciones



diferentes, la luz es atrapada dentro del núcleo. Al extremo opuesto, un receptor cambia los pulsos regresándolos a señales eléctricas.

De aquí se puede decir que los hilos de fibra óptica están compuestos de tres capas concéntricas que difieren en propiedades.

Núcleo ó Core: La parte interna que conduce la luz.

Revestimiento ó Cladding: la capa media que sirve para confinar la luz en el centro.

Buffer ó Recubrimiento: la capa exterior que sirve como un "amortiguador" para proteger al núcleo y al cladding de algún daño. (La Fibra Óptica Perú, 2014)

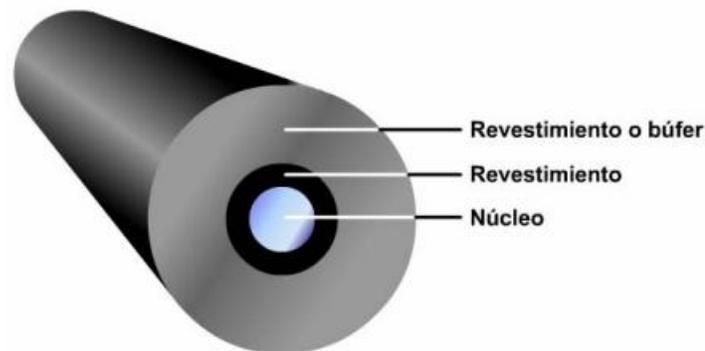


Ilustración 10 Estructura Física de un hilo de fibra óptica

Fuente: Academia de Networking CISCO, CCNA 1-2

La mayor parte de las fibras ópticas se fabrican de dióxido de silicio o sílice, relativamente estas sustancias son más abundantes que el cobre y con muy poca sílice se logran producir varios metros de fibra óptica.

Las dos partes más importantes de la fibra óptica la constituyen el núcleo y el recubrimiento. En el núcleo es donde se guía el haz de luz y el recubrimiento impide que se presenten impurezas.

Los circuitos de fibra óptica son hilos cristalinos con un grosor semejante al de un cabello humano, esta medida es variable entre 10 y 300 μm (micrones). Estos circuitos trasladan mensajes mediante haces de luz que van de un extremo del circuito al otro.



(Caballero, 2015) La transferencia de luz mediante fibra óptica se fundamenta de la siguiente manera: mediante el núcleo de la fibra viaja un haz de luz el cual choca en la cara externa teniendo un ángulo mayor al ángulo crítico, de esta forma el haz de la luz es reflejado hacia el interior de la fibra sin presentar pérdidas.

De esta manera se transmite luz en distancias largas reflejándose una y otra vez. Para la prevención de pérdidas por propagación de luz causadas por residuos presente en la superficie de la fibra, el núcleo de la fibra óptica se recubre con una película cristalina de índice de refracción pequeño, ya que la reflexión se origina entre la superficie de la fibra y el recubrimiento.

El dióxido de silicio es generalmente el elemento constitutivo de las fibras. Este material se conoce en la vida cotidiana con el nombre de “vidrio”. Otro material con el que se hacen filamentos es el plástico (polímeros artificiales)

A diferencia de lo que sucede en la vida cotidiana con el vidrio. El dióxido de silicio se encuentra en un estado de pureza muy alto en la fibra óptica, lo que hace que la luz tenga atenuaciones mucho menores, y por lo tanto recorra distancias más grandes. Alta pureza equivale a concentraciones insignificantes de otros tipos de moléculas “contaminantes”. Para tener una idea sobre la pureza que debe tener el dióxido de silicio en la fibra óptica, imagine transmitir luz a través de un vidrio de 60Km de espesor.

Por lo tanto, la importancia del conocimiento y estudio de la fibra óptica en las comunicaciones y en la transmisión de calidad a gran velocidad de los datos es importante, más aún en la nueva era de los sistemas Cloud (Nube) que marcan la tendencia a nivel mundial con Cloud Communications y es ahí donde cobra una enorme importancia la fibra óptica con el sinfín de ventajas superiores al resto de tendidos de comunicación. (Caballero, 2015)

(Bergés, 2016) Las principales virtudes de las fibras ópticas tienen un costo menor, pesan menos, tienen menos atenuación y dispersión, además proporcionan un mayor ancho de banda. La fibra óptica puede soportar altas velocidades de datos (terabits por segundo) puede ser utilizada para transmitir la luz, y por lo tanto la información, a través de largas



distancias. Por otra parte, no presenta problemas asociados a EMC (Compatibilidad electromagnética) es inmune a las interferencias y la probabilidad de aparición de fuego provocado por el paso de corriente eléctrica. Adicionalmente, las técnicas de multiplexación de longitud de onda (WDM) permite transmitir en paralelo varios canales sobre una única fibra cada, todo esto a velocidades altas. (Bergés, 2016)

La Fibra Óptica es desde hace tiempo el medio de transmisión en redes troncales (Core) y metropolitanas. Los operadores de telecomunicaciones pasaron de utilizar uniones por cable coaxial entre las centrales a reemplazarlo por Fibra Óptica, sin embargo, en la actualidad esta tecnología sigue limitada a darle ese uso cuando hoy en día es posible llegar al usuario final con fibra óptica.

Las pequeñas y medianas empresas operadoras de telecomunicaciones han trabajado en la búsqueda de soluciones que le permitan tener una red de servicios integrada de acceso al abonado, que cumpla con la calidad de servicios brindados y que pueda solventar las necesidades solicitadas o requeridas por los clientes, además que permitan optimizar los gastos operacionales de la red.

2.2.1. Clasificación de la fibra óptica.

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación.

La fibra óptica se clasifica según su perfil de índice de refracción y de acuerdo al modo de propagación de los rayos de luz emitidos dentro de ellas, en esta clasificación existen dos tipos de fibra óptica.

- Modo único o monomodo.
- Multimodo de índice gradual y de índice escalonado.

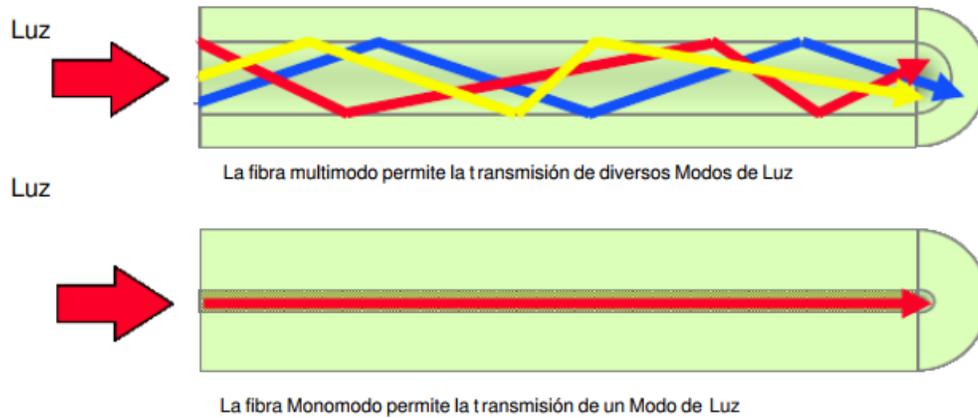


Ilustración 11 Clasificación de fibra óptica

Fuente: Comunicaciones Ópticas – Ing. Gerónimo Mayor pág. 21

Para obtener los índices de refracción distintos entre el revestimiento y el núcleo de la fibra tales que satisfagan las condiciones de guía de luz se agrega impurezas al silicio, tales como el flúor, oxido de fósforo y oxido de germanio que aumentan el índice de refracción.

2.2.2. Fibra de modo único o monomodo

Estas fibras están caracterizadas por poseer un núcleo de diámetro pequeño, brindar un mayor ancho de banda debido a una menor dispersión, baja atenuación, se utilizada para sistemas multiplexados WDM, y su uso es ideal en sistemas de larga distancia. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar, construir y manipular. La Ilustración 12 muestra que solo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de “monomodo” (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único). (Mayor, 2014)



Ilustración 12 Transmisión en Fibra Monomodo con Emisor Laser

Fuente: <https://sisutelco.com/estandares-fibras-opticas/>



El requerimiento básico para tener una fibra monomodo es que el núcleo sea lo suficientemente pequeño para restringir la comunicación a un solo modo. Este modo de orden menor puede propagarse en toda la fibra con núcleo pequeño. Desde que una transmisión en modo único evita la dispersión modal, el ruido modal, y otros efectos típicos de una transmisión multimodo, esta fibra puede transmitir señales de mayor velocidad y es la que se ha adoptado como estándar en las telecomunicaciones.

2.2.3. Fibra multimodo de índice escalonado y de índice gradual.

(Xperts Factory, 2018) Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz circulan por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 2 km.

El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Dependiendo del tipo de índice de refracción del núcleo, se tienen dos tipos de fibra multimodo:

- **Índice escalonado:** en este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica, tiene alta dispersión modal.

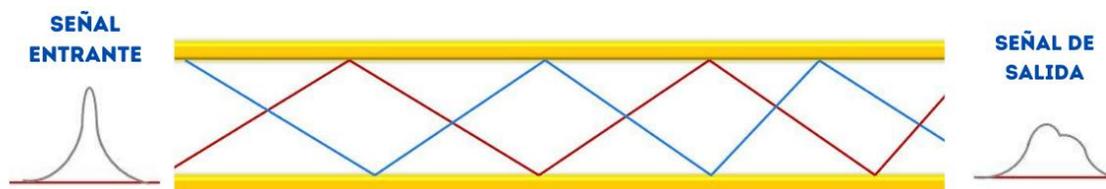


Ilustración 13 Fibra multimodo de índice escalonado

Fuente <https://sisutelco.com/estandares-fibras-opticas/>

- **Índice gradual:** En este tipo de fibra óptica, el índice de refracción no es constante, tiene menor dispersión modal y el núcleo se constituye de distintos materiales (Xperts Factory, 2018)

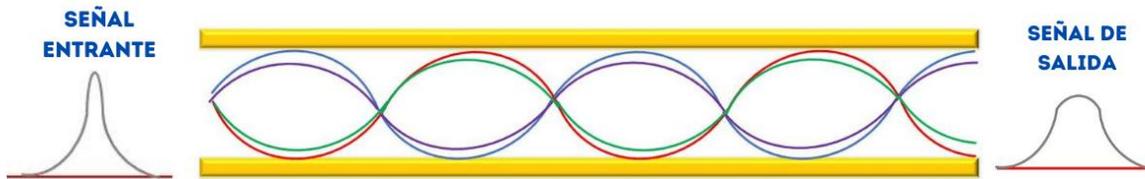


Ilustración 14 Fibra multimodo de índice gradual
Fuente <https://sisutelco.com/estandares-fibras-opticas/>

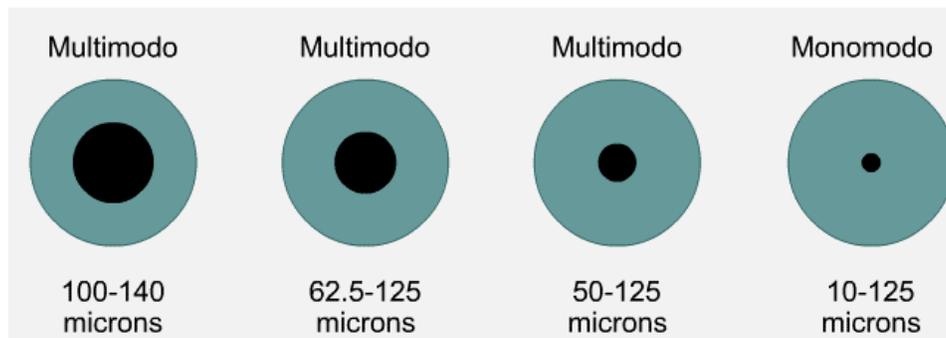


Ilustración 15 Tamaños relativos del núcleo y el revestimiento para ambos tipos de fibra óptica
Fuente: Academia de Networking CISCO, CCNA 1-2

(CCNA, 2006) La mayor diferencia entre la fibra monomodo y la multimodo es que la monomodo permite que un solo modo de luz se propague a través del núcleo de menor diámetro de la fibra óptica. El núcleo de una fibra monomodo tiene de ocho a diez micrones de diámetro. Los más comunes son los núcleos de nueve micrones.

La marca 10/125 que aparece en el revestimiento de la fibra monomodo indica que el núcleo de la fibra tiene un diámetro de 10 micrones y que el revestimiento que lo envuelve tiene 125 micrones de diámetro.

En una fibra monomodo se utiliza un láser infrarrojo como fuente de luz. El rayo de luz que el láser genera ingresa al núcleo en un ángulo de 90 grados.

Como consecuencia, los rayos de luz que transportan datos en una fibra monomodo son básicamente transmitidos en línea recta directamente por el centro del núcleo.

Esto aumenta, en gran medida, tanto la velocidad como la distancia a la que se pueden transmitir los datos.



Por su diseño, la fibra monomodo puede transmitir datos a mayores velocidades (ancho de banda) y recorrer mayores distancias de tendido de cable que la fibra multimodo. (CCNA, 2006)

2.2.4. Estructura de un cable de fibra óptica

En general un cable de fibra óptica se compone de cinco partes. Estas partes son: el núcleo, el revestimiento, un amortiguador, un material resistente y un revestimiento exterior.

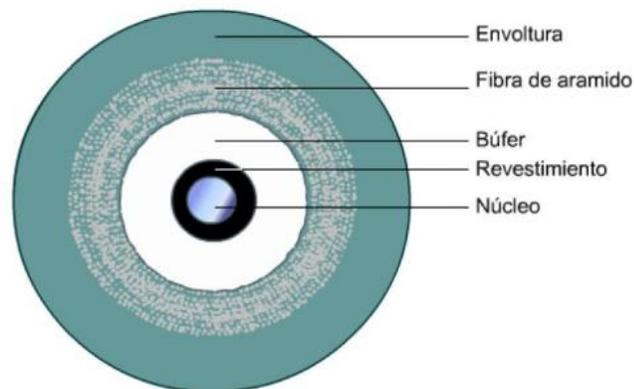


Ilustración 16 Estructura de la fibra óptica
Fuente: Academia de Networking CISCO, CCNA 1-2

Núcleo: El núcleo es el elemento que transmite la luz y se encuentra en el centro de la fibra óptica. Todas las señales luminosas viajan a través del núcleo, en general es vidrio fabricado de una combinación de dióxido de silicio (sílice), cuarzo fundido o plástico. Tiene un diámetro de 50 o 62.5 μm (micrones) para la fibra multimodo y 9 μm (micrones) para la fibra monomodo.

Revestimiento: Recubre a cada una de las fibras del núcleo, está fabricado con sílice, pero con un índice de refracción menor que el del núcleo. Los rayos de luz que se transportan a través del núcleo de la fibra se reflejan sobre el límite entre el núcleo y el revestimiento a medida que se mueven a través de la fibra por reflexión total interna.

Búfer: Alrededor del revestimiento se encuentra un material amortiguador que es generalmente de plástico. El material amortiguador ayuda a proteger al núcleo y al



revestimiento de cualquier daño. Existen dos diseños básicos para cable, los cuales son: los diseños de cable de amortiguación estrecha y de tubo libre.

Los cables con amortiguación estrecha tienen material amortiguador que rodea y está en contacto directo con el revestimiento. La diferencia más práctica entre los dos diseños está en su aplicación. El cable de tubo suelto se utiliza principalmente para instalaciones en el exterior de los edificios mientras que el cable de amortiguación estrecha se utiliza en el interior de los edificios.

Material resistente (fibra de aramida): El material resistente rodea al amortiguador, evitando que el cable de fibra óptica se estire cuando los encargados de la instalación tiran de él. El material utilizado es en general Kevlar, el mismo material que se utiliza para fabricar los chalecos a prueba de bala.

Envoltura o Revestimiento exterior: Este es el último elemento. El revestimiento exterior rodea al cable para así proteger la fibra de abrasión (desgaste), solventes, corrosión, humedad, etc., es decir asegura la protección mecánica de la fibra.

Estructuras de la fibra óptica según su clasificación:

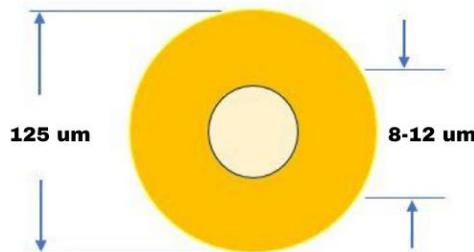


Ilustración 17 Estructura de la fibra monomodo
Fuente <https://sisutelco.com/estandares-fibras-opticas/>

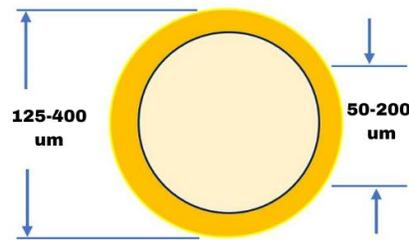


Ilustración 18 Estructura de la fibra multimodo de índice escalonado

Fuente <https://sisutelco.com/estandares-fibras-opticas/>

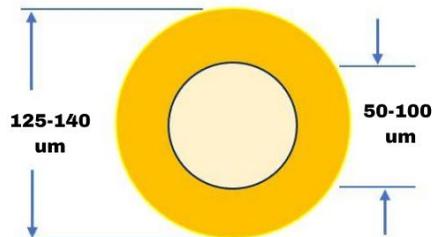


Ilustración 19 Estructura de la fibra multimodo de índice gradual

Fuente <https://sisutelco.com/estandares-fibras-opticas/>

2.2.5. Reflexión interna total en la fibra óptica

Este fenómeno es el más importante el cual determina la eficiencia de la fibra óptica y se explica así:

(Programo Web, 2020) Un rayo de luz que se enciende y apaga para enviar datos (unos y ceros) dentro de una fibra óptica debe permanecer dentro de la fibra hasta que llegue al otro extremo. El rayo no debe refractarse en el material que envuelve el exterior de la fibra. La refracción produce pérdida de una parte de la energía de la luz del rayo. Es necesario lograr un diseño de fibra en el que la superficie externa de la fibra actúe como espejo para el rayo de luz que viaja a través de la fibra. Si un rayo de luz que trata de salir por el costado de la fibra se refleja hacia dentro de la fibra a un ángulo tal que lo envíe hacia el otro extremo de la misma, se formaría un buen «conducto» o «guía de ondas» para las ondas de luz.



Las leyes de reflexión y de refracción ilustran cómo diseñar una fibra que guíe las ondas de luz a través de la fibra con una mínima pérdida de energía. Se debe cumplir las dos siguientes condiciones para que un rayo de luz en una fibra se refleje dentro de ella sin ninguna pérdida por refracción.

- El núcleo de la fibra óptica debe tener un índice de refracción (n) mayor que el del material que lo envuelve. El material que envuelve al núcleo de la fibra recibe el nombre de revestimiento.
- El ángulo de incidencia del rayo de luz es mayor que el ángulo crítico para el núcleo y su revestimiento.

Cuando se cumplen estas dos condiciones, toda la luz que incide en la fibra se refleja dentro de ella. Esto se llama reflexión interna total, que es la base sobre la que se construye una fibra óptica.

La reflexión interna total hace que los rayos de luz dentro de la fibra reboten en el límite entre el núcleo y el revestimiento y que continúen su recorrido hacia el otro extremo de la fibra. La luz sigue un trayecto en zigzag a lo largo del núcleo de la fibra. (Programa Web, 2020)

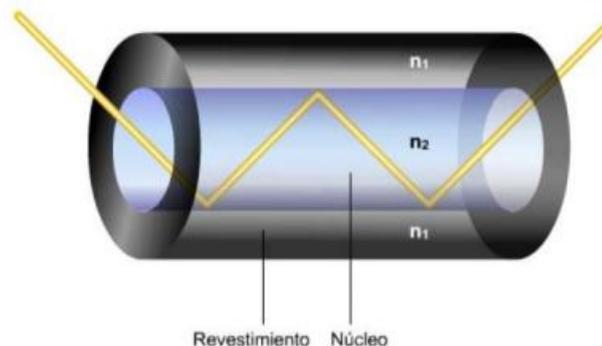


Ilustración 20 Guía de ondas

Fuente: Academia de Networking CISCO, CCNA 1-2



(Cruz, 2001) El núcleo y el recubrimiento de la fibra óptica están compuestos de vidrio silíceo. El núcleo y el recubrimiento se dopan en grado diferente, para que el núcleo tenga un índice de refracción un poco mayor que el recubrimiento.

En el caso más sencillo de la fibra del índice escalonado, el índice de refracción es constante tanto en el núcleo como en el recubrimiento. La luz, guiada en el núcleo de vidrio, al incidir en la separación entre el núcleo y el recubrimiento, es reflejada totalmente cuando el ángulo de incidencia es más pequeño que el ángulo de reflexión total. (Cruz, 2001)

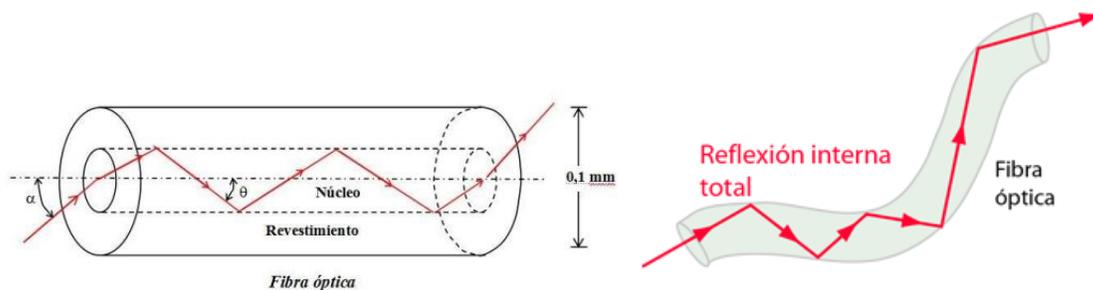


Ilustración 21 Esquema de un filamento de fibra óptica

Fuente: Academia de Networking CISCO, CCNA 1-2

(Programo Web, 2020) El ángulo de incidencia de los rayos de luz que entran al núcleo puede ser controlado. La restricción de los siguientes dos factores permite controlar el ángulo de incidencia:

- **La apertura numérica de la fibra:** La apertura numérica del núcleo es el rango de ángulos de los rayos de luz incidente que ingresan a la fibra y que son reflejados en su totalidad.

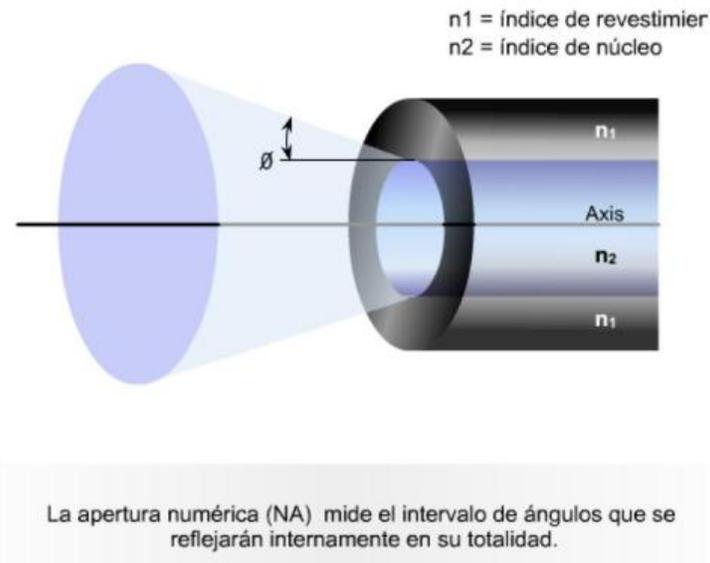


Ilustración 22 Apertura numérica

Fuente: Academia de Networking CISCO, CCNA 1-2

- **Modos:** Los trayectos que puede recorrer un rayo de luz cuando viaja por la fibra.

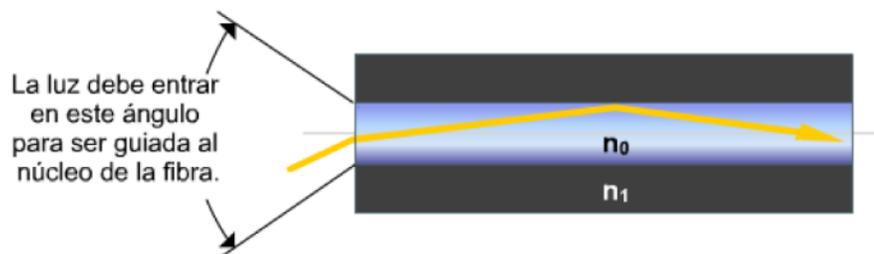


Ilustración 23 Modos de transmisión

Fuente: Academia de Networking CISCO, CCNA 1-2

Al controlar ambas condiciones, el tendido de la fibra tendrá reflexión interna total. Esto sirve de guía a la onda de luz que puede ser utilizada para las comunicaciones de datos. (Programo Web, 2020)



2.3. SISTEMA DE COMUNICACIONES CON FIBRA OPTICA.

Un sistema óptico de comunicaciones es en esencia un sistema electrónico que usa la luz como portadora de información. Sin embargo, es impráctico y difícil propagar ondas luminosas por la atmósfera terrestre. En consecuencia, los sistemas de comunicaciones por fibra óptica usan fibras de vidrio o plástico para guiar las ondas luminosas, tal y como se transmiten ondas electromagnéticas en una guía de onda.

Para las transmisiones por fibra óptica se utilizan las longitudes de onda del infrarrojo, ósea 800 a 1600 nm, siendo los valores preferidos de 850, 1300, 1550 nm que es donde están las menores interferencias.

2.3.1. Primera generación de las redes ópticas.

La necesidad de incrementar la velocidad de los servicios y la capacidad de tener canales libres de ruido para la comunicación hicieron que las redes ópticas fueran atractivas para las empresas de telecomunicaciones. La fibra se hizo necesaria para la transmisión de datos con velocidades de unas cuantas decenas de Mbps sobre distancias que excedían de un kilómetro.

Las características básicas de la primera generación de redes ópticas son:

- La fibra óptica sólo es vista como un medio más de transmisión.
- Es usada con una longitud de onda simple.
- Todos los conmutadores y procesadores son manejados por la electrónica.

Estas redes son muy populares, y las más conocidas son las redes SONET/SDH y empezaron a usarse ampliamente en los años 80. Su propósito es maximizar la capacidad de la infraestructura de los tramos largos de fibra, su punto de máximo desarrollo fue con la utilización de la multiplexación densa de longitud de onda (DWDM). (Victorino, 2009)



2.3.2. Segunda generación de las redes ópticas.

En esta generación se podrá notar que se incorporan muchas de las funciones de ruteo y conmutación que previamente estuvieron en manos de la electrónica en la parte óptica de la red, esta generación ha sido introducida para vencer los obstáculos básicos de la conectividad, también expanden su capacidad con la introducción de los conceptos de topología básicas incluyendo anillos y mallas simples. Este tipo de redes encuentra aceptación en las redes metro donde la fibra es usualmente desplegada en anillos. (Victorino, 2009)

2.3.3. Tercera generación de las redes ópticas.

Esta generación se caracteriza por ofrecer gestión dinámica de las longitudes de onda directamente en el dominio óptico, proporcionando ventajas significativas con respecto a la segunda generación de redes.

Asimismo, el número de canales es mayor y existe una monitorización de prestaciones más sofisticadas que se realiza sobre cada canal óptico. Por medio del láser sintonizable y filtro junto con las tarjetas de interfaz de múltiples velocidades, se puede realizar la gestión dinámica de longitudes de onda en el dominio óptico de una forma rápida y eficiente. Sin embargo, la clave para ganar clientes consiste en su habilidad para proporcionar nuevos servicios o cambiar la capacidad de los existentes de forma rápida. (Victorino, 2009)

2.3.4. Longitudes de onda en la fibra óptica.

En este trabajo investigativo se trata una parte del espectro electromagnético: La región óptica, donde la fibra y los elementos ópticos trabajan. En la Ilustración 24 se muestran las longitudes de onda utilizadas en comunicaciones en fibras de sílice, siendo el rango entre 700nm – 1600nm (0.7mm – 1.6mm).

(Fandiño, 2020) Es posible clasificar y ordenar las ondas electromagnéticas de acuerdo con sus diferentes longitudes de onda y frecuencias, esta clasificación se conoce como «espectro electromagnético».



El espectro visible, es decir, la luz que se puede observar por el ojo humano es tan solo una pequeña fracción de las diferentes clases de radiación que existen.

A la derecha del espectro visible, se encuentran las clases de energía que son menores en frecuencia (y por lo tanto mayores en longitud de onda) que la luz visible, este tipo de radiación por lo general no son dañinos, pues sus frecuencias son muy bajas.

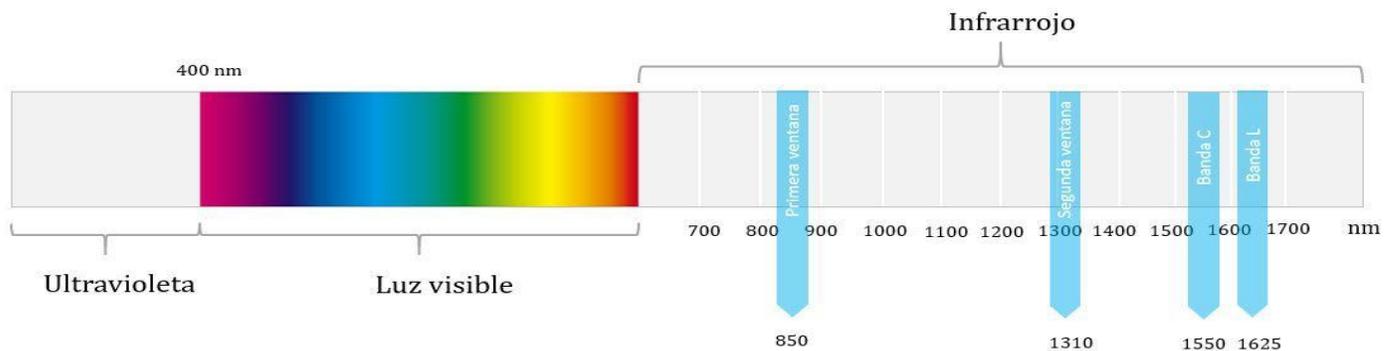


Ilustración 24 Longitudes de onda utilizadas en comunicaciones ópticas.

Fuente: <https://sisutelco.com/redes-dwdm/>

(CCNA, 2006) Las longitudes de onda que son invisibles al ojo humano son utilizadas para transmitir datos a través de una fibra óptica. Estas longitudes de onda son levemente más largas que las de la luz roja y reciben el nombre de luz infrarroja. La luz infrarroja se utiliza generalmente en los controles remotos. La longitud de onda de la luz en la fibra óptica es de 850 nm, 1310 nm o 1550 nm, estas longitudes de onda pasan con mayor facilidad por la fibra óptica.

(Cabezas, 2014) Las fibras plásticas típicas transmiten mejor una longitud de onda visible que la del infrarrojo cercano, por lo que las comunicaciones sobre las fibras plásticas típicas son con luz visible, sin embargo, la fibra plástica no es lo suficientemente transparente como el vidrio de sílice. Las fibras pueden ser fabricadas con otros materiales diferentes a la sílice de tal manera que pueden transmitir longitudes de ondas mayores que el infrarrojo.



2.3.5. Forma de propagación de la información a través de la fibra óptica.

(Cruz, 2001) El sistema de fibra óptica funciona enviando información por medio de rayos de luz. Para esto se compone de un dispositivo fotoemisor que convierte los impulsos eléctricos en rayos de luz, un canal óptico por donde la luz transita y un dispositivo fotodetector que vuelve a transformar la señal luminosa en impulsos eléctricos. (Cruz, 2001)

(PRISMA Tecnológico, 2016) La fibra óptica es el medio de transmisión que consiste en ser un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el cual se envían los pulsos de luz que representan los datos a transmitir. La fuente de luz puede ser laser o un diodo emisor de luz (LED). El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el núcleo de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell.

En una red óptica su diseño e implementación requiere, en general, de una combinación compleja de elementos ópticos y electrónicos, así como el software adecuado para garantizar su correcto funcionamiento. (PRISMA Tecnológico, 2016)



2.4. ATENUACION EN LA FIBRA OPTICA

Las atenuaciones en una fibra óptica pueden ser:

- ❖ Intrínsecas
- ❖ Extrínsecas.

Luego de ser clasificadas las atenuaciones pueden ser provocadas por 5 factores diferentes.

- Absorción por el material.
- Dispersión (lineal y no lineal) en el material.
- Pérdidas por curvaturas de la fibra.
- Pérdidas de acoplamiento.
- Perdas de empalmes.

2.4.1. Absorción intrínseca

(Cervera, 2016) Originada por la interacción con uno o más de los componentes básicos del vidrio, son inevitables, ya que dependen del tipo de material elegido para su fabricación.

Estas pérdidas pueden ser minimizadas por una adecuada elección del material del núcleo, cubierta y calidad de manufacturación.

2.4.2. Absorción extrínsecos

Este tipo de absorción dependen de factores externos al material de la fibra y son posibles de evitar.

- Iones OH (hidróxido)
- Metales
- Hidrogeno
- Curvaturas (Cervera, 2016)



2.4.3. Causas de atenuaciones

2.4.3.1 Absorción del material

Este tipo de absorción es debido principalmente a las siguientes causas:

- Composición del material. La absorción dependerá de los niveles energéticos de la fibra.
- Proceso de fabricación de la fibra.

2.4.3.2 Pérdidas por dispersión lineal.

(Pereda, 2004) Están originadas por la transferencia de potencia de un modo a otro, de forma proporcional a la potencia del modo. Si el nuevo modo es radiante, la energía se pierde.

Hay dos tipos principales, de RAYLEIGH y de MIÉ.

❖ Dispersión De Rayleigh

(Fibra Óptica Blog, 2014) En la construcción de las fibras ópticas se trabaja el silicio en un estado entre líquido y sólido, comúnmente llamado estado plástico, al solidificarse se producen irregularidades, que producen un fenómeno de difracción, lo cual genera pérdidas en la potencia de la luz.

(Pereda, 2004) La dispersión de Rayleigh es originada por inhomogeneidades aleatorias de tamaño menor que la longitud de onda. El índice de refracción sufre unas fluctuaciones de bridas o variaciones de densidad y de composición originadas en la fabricación.

❖ Dispersión De MIE

La dispersión de Mie (RM) se produce cuando la onda de luz se dispersa en las partículas o agregados de moléculas con tamaño comparable o mayor que la longitud de esta onda.

(Pereda, 2004) Debido a las Inhomogeneidades de tamaño comparable al de la longitud de onda, está originada por la estructura cilíndrica no perfecta, irregularidades de la interfase núcleo cubierta, fluctuaciones del diámetro, tensiones, burbujas.



Esta dispersión se puede reducir de las siguientes formas:

- reducción de imperfecciones en la manufactura
- incremento de las diferencias de índices
- extrusión cuidada.

2.4.3.3 Pérdidas por curvaturas de las fibras.

Esta clase de pérdidas se produce cuando la fibra sufre de una curva de radio finito.

Las curvas se dividen en dos clases:

- Curvas de radio superior al diámetro de la fibra.
- Macro curvaturas y aleatorias del eje de la fibra al incorporarse a cables. (Pereda, 2004)

Las pérdidas que se forman en las curvaturas son inevitables, pero se pueden minimizar reduciendo el número de curvaturas, y en los lugares necesarios se realizan curvaturas con el radio más grande posible. Cada fabricante de fibra óptica especifica el radio de curvatura mínimo que debe tomarse en cuenta al tender el cable. Este parámetro no se debe modificar para no deteriorar los parámetros del cable.

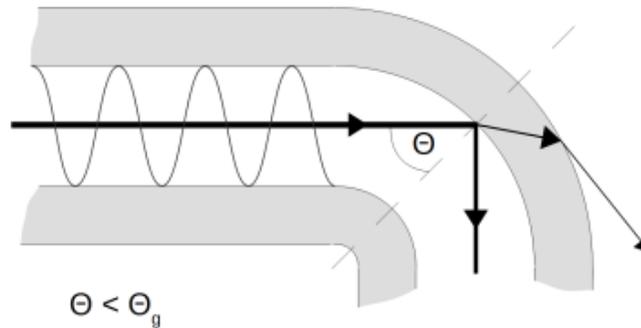


Ilustración 25 Pérdidas formadas en las curvaturas de la fibra óptica – macro curvaturas

Fuente https://shopdelta.eu/atenuacion-de-la-fibra-optica_l6_aid811.html

Las micro curvaturas se presentan en la fase de producción de fibras. Este concepto comprende todos los tipos de irregularidades en la forma del límite entre el núcleo y el revestimiento, que son accidentales (microgrietas, agregados de aditivos, burbujas de gas) o cíclicas (por ejemplo, cambios del diámetro o de la geometría del núcleo o microfisuras debidas al aumento periódico de la tensión durante el enrollamiento de la fibra sobre el tambor).

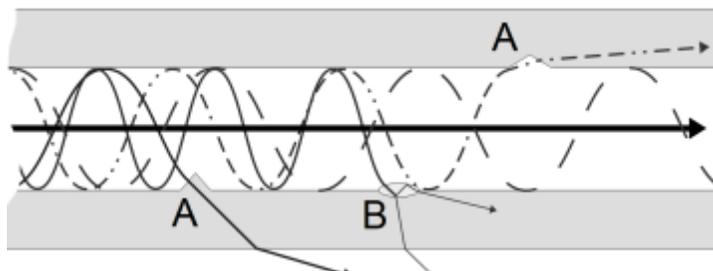


Ilustración 26 Pérdidas causadas por la presencia de imperfecciones en la estructura de la fibra óptica - micro curvatura

Fuente https://shopdelta.eu/atenuacion-de-la-fibra-optica_l6_aid811.html

2.4.3.4 Pérdidas de acoplamiento

Se producen en cualquier tipo de la fibra por uniones imperfectas entre las distintas partes que componen el circuito óptico.



2.4.3.5 Pérdidas de empalmes

(FS Community, 2021) El empalme de fibra óptica puede generar pérdida en la misma. Al unir dos fibras ópticas de extremo a extremo, el empalme tiene como objetivo garantizar que la luz que pasa a través de este sea casi tan fuerte como la fibra original en sí. Pero sin importar lo bueno que sea el empalme, la pérdida de éste es inevitable. Las pérdidas de empalme por fusión de fibra multimodo son 0.1-0.5 dB, siendo 0.3 dB un buen valor promedio. Para la fibra monomodo, la pérdida de empalme por fusión típicamente puede ser inferior a 0.05 dB.

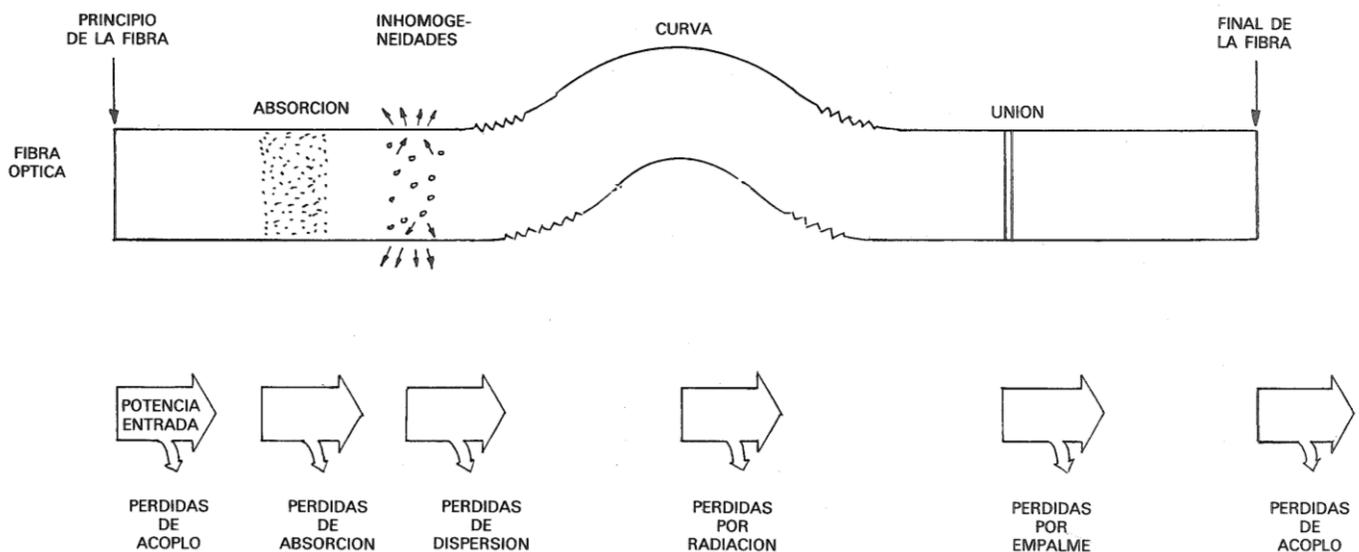


Ilustración 27 Mecanismos de pérdidas en una fibra óptica

Fuente: Sistemas y redes ópticas de comunicaciones, pág. 2019



2.5. REDES OPTICAS ACTIVAS Y PASIVAS

(PRISMA Tecnológico, 2016) La creciente demanda de servicios tales como datos, video y acceso a Internet de alta velocidad por parte de los usuarios hace que los proveedores de dichos servicios tengan que proponer nuevas estrategias en las tecnologías de acceso para satisfacer las exigencias de los clientes.

En este contexto se encuentran las redes de acceso FTTH que permiten un ancho de banda mayor y mejor calidad en el servicio para los clientes. Esta tecnología se divide en dos categorías: activas y pasivas.

2.5.1. Redes ópticas activas (AONs)

(Fiber-Óptico, 2022) El equipo de transmisión de fibra óptica activa (equipo de conversión fotoeléctrica, dispositivos optoelectrónicos activos y fibras ópticas, etc.) también se despliega entre el extremo de la oficina central y el extremo del usuario de la red óptica activa (AON), que se puede dividir basado en PDH - Plesicronus Digital Hierarchy (Jerarquía Digital Plesicronus) y red óptica activa (AON) basada en SDH - Synchronous Digital Hierachy (Jerarquía Digital Sincrónica), actualmente es comúnmente utilizada la red óptica activa (AON) basada en SDH. Tiene una tasa de acceso de 155Mbs o 622Mbs, y la distancia de transmisión puede alcanzar los 70 km sin repetidores.

A diferencia de la red óptica pasiva (PON), la señal recibida por la unidad de red óptica (ONU) en la red óptica activa (AON) es la señal después de la conversión óptica-eléctrica-óptica del equipo activo. La tecnología de red óptica activa (AON) es muy madura, pero su costo de implementación es más alto que el de la red óptica pasiva (PON). (Fiber-Óptico, 2022)

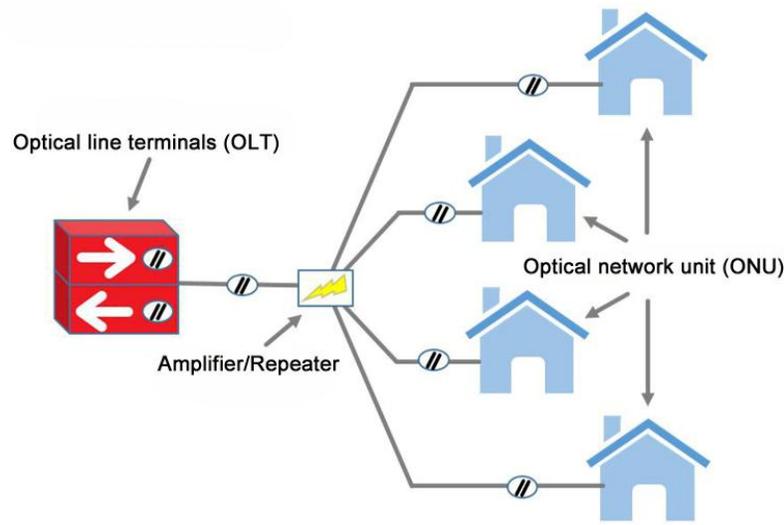


Ilustración 28 Arquitectura de Red activa

Fuente: <https://www.fiber-optic-cable-sale.com/which-one-will-you-choose-for-ffttx-pon-or-aon.html>

2.5.2. Redes ópticas pasivas (PON)

(VIAVI Solutions, 2019) **Una red óptica pasiva (PON)** emplea una topología punto a multipunto, utilizando splitters ópticos para transmitir datos de un punto único de transmisión a varios puntos finales de usuario. En este contexto, “pasiva” se refiere a la ausencia de alimentación eléctrica en la fibra y combinadores.

En comparación con una red óptica activa, se requiere únicamente suministro eléctrico en los puntos de envío y recepción, de modo que la red PON ofrece una gran eficiencia desde el punto de vista de los costos operativos. Las redes ópticas pasivas se emplean para transmitir de forma simultánea señales tanto en dirección ascendente como descendente desde y hasta los puntos finales de usuario.

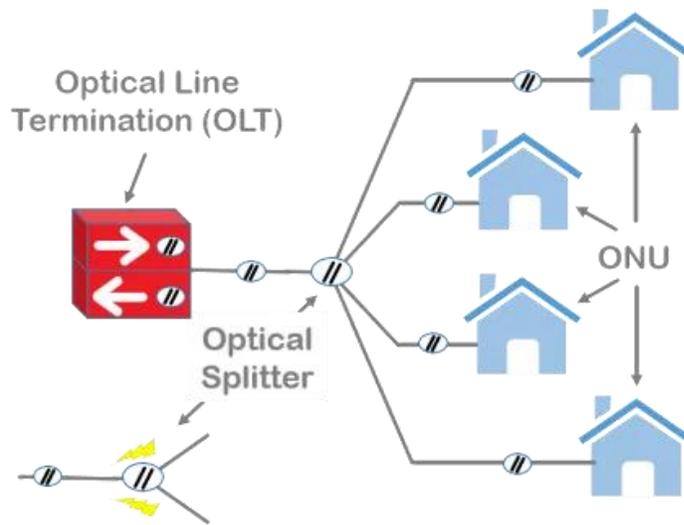


Ilustración 29 Arquitectura de Red Pasiva

Fuente: <https://www.fiber-optic-cable-sale.com/which-one-will-you-choose-for-fttx-pon-or-aon.html>

Una innovación que forma parte del funcionamiento de las redes PON es la multiplexación por longitud de onda (WDM), que se emplea para separar flujos de datos basados en la longitud de onda de la luz láser. Una longitud de onda se utiliza para transmitir datos descendentes y otra, para transportar datos ascendentes. Estas longitudes de onda específicas varían en función de la norma de red PON que se utilice y están presentes a la vez en la misma fibra.

El acceso múltiple por división del tiempo (TDMA) es otra tecnología que se emplea para asignar ancho de banda ascendente a cada usuario final durante un periodo de tiempo específico, tarea que gestiona el OLT y evita colisiones entre la longitud de onda y los datos en los splitters de las redes PON o el OLT debido a la transmisión de datos ascendente de varias ONT u ONU al mismo tiempo. Esto se conoce también como transmisión en modo ráfaga en el caso de las transmisiones ascendentes de las redes PON. (VIAVI Solutions, 2019)

La Red Óptica Pasiva (PON) y la Red Óptica Activa (AON) tienen sus propias características. La red óptica pasiva es más común en las redes de fibra hasta el hogar (FTTH).



2.5.3. Redes ópticas pasivas con capacidad gigabit - GPON

(Alpha Telecom Solutions , 2018) Las redes GPON, o (*Redes Óptica pasivas Gigabit*) son una tecnología de acceso de telecomunicaciones que utilizan cableado de fibra óptica en los tramos hasta el usuario.

GPON surgió con la necesidad de potenciar las redes de cobre y fibra óptica, que, hoy en día pueden ofrecer soluciones para distintos tipos de necesidades.

La principal ventaja de la tecnología GPON es que tiene la capacidad de concentrar todos los servicios IP de una única infraestructura de comunicaciones. Además, esto conlleva que se pueden integrar otro tipo de servicios en una misma infraestructura.

Brinda ventajas como:

- Velocidades de Gigas de bits al usuario final o mayor velocidad de transmisión de datos.
- Reducción de gastos en inversiones.
- Disminución de gastos operativos y funcionales.
- Evita interferencias.
- Garantiza una alta seguridad en la red.
- Mayor alcance de la red, con distancias máximas 20 km.
- Duración promedio de 50 años.

Todas estas ventajas se aplican también a negocios como restaurantes, hoteles entre otros. (Alpha Telecom Solutions , 2018)

La tecnología GPON tiene velocidades de 2.5 Gb/s en sentido descendente hacia los usuarios y de 1.25 Gb/s en sentido ascendente desde el usuario hasta la OLT. Se ha estandarizado una versión de 10 Gb/s (10GPON), puede instalarse en una red GPON en funcionamiento y operar simultáneamente con la GPON, ofreciendo la posibilidad de tener tanto una red de consumo de gigabits de bajo coste como una red comercial de 10G. (The FOA, 2022)



El esquema de una red GPON está compuesto por tres partes fundamentales: la OLT, ODN y ONT. La OLT está ubicada en el nodo del proveedor de servicios y contiene todos los equipos activos. La ODN (Optical Distribution Network) es la red óptica pasiva de distribución que abarca a la red feeder, también conocida como red troncal, a la red de distribución y a la red de dispersión, en donde su elemento más importante es el splitter encargado de dividir las señales a las respectivas ONT de los usuarios. La NAP (Network Access Point), comúnmente llamada caja óptica de distribución es el equipo terminal que conecta la red de distribución con la red de dispersión. Finalmente, en el domicilio del cliente está ubicada la ONT que es el equipo terminal de la red GPON, la cual recibe las señales ópticas y las transforma a señales eléctricas. (Neo Broadband, 2021)

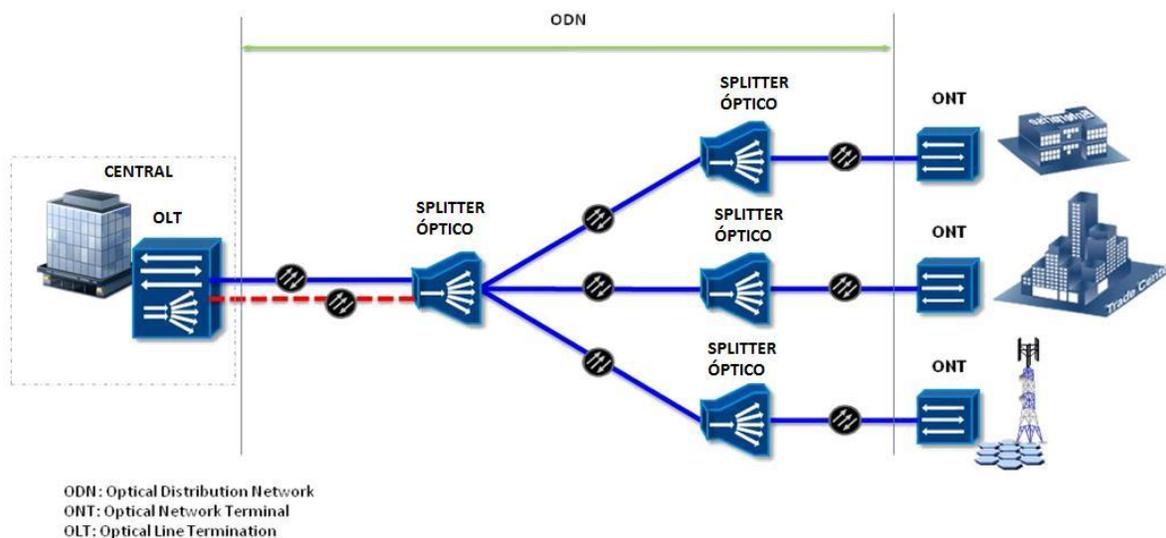


Ilustración 30 Estructura de una red GPON

Fuente: <https://cidecuador.org> congreso internacional de electromecánica y eléctrica 2016

2.5.4. Ventajas y desventajas de la fibra óptica

(Mayor, 2014) Las comunicaciones a través de fibra óptica tienen grandes ventajas sobre las comunicaciones que usan cables metálicos.

Ventajas:

- Mayor capacidad de información debido a su gran ancho de banda (hasta 10Ghz).



- Elevado ancho de banda, lo cual permite una gran capacidad de transmisión de información, que se traduce en un mayor rendimiento de los sistemas.
- Reducido el valor de atenuación sobre las señales que se propagan a través del portador.
- Las características de transmisión son muy poco alteradas por cambios en la temperatura, siendo innecesario y/o simplificada la ecualización y compensación de las variaciones en tales propiedades (estable de -40° a 80°C)
- Las señales se pueden transmitir a través de zonas eléctricamente ruidosas con muy bajo índice de error y sin susceptibilidad alguna a la interferencia eléctrica.
- La diafonía no es problema debido a la no inducción de campos eléctricos y magnéticos.
- Puesto que las fibras no radian energía electromagnética, la señal transmitida por medio de ellas no puede ser captada desde el exterior, además es técnicamente imposible extraer información de una fibra sin alterar notoriamente los parámetros de transmisión.
- No plantea peligros de descarga eléctricas ni de incendios.
- Su reducido tamaño y peso, y relativamente alta resistencia mecánica, los problemas de almacenamiento, transporte, y sobre todo instalación se ven disminuidos.
- Se fabrican cables muy livianos ya que el peso específico del vidrio es la cuarta parte respecto al cobre.
- La materia prima utilizada en la fabricación de fibra óptica, el dióxido de silicio (SiO_2), es uno de los recursos que más abundan en la superficie terrestre.

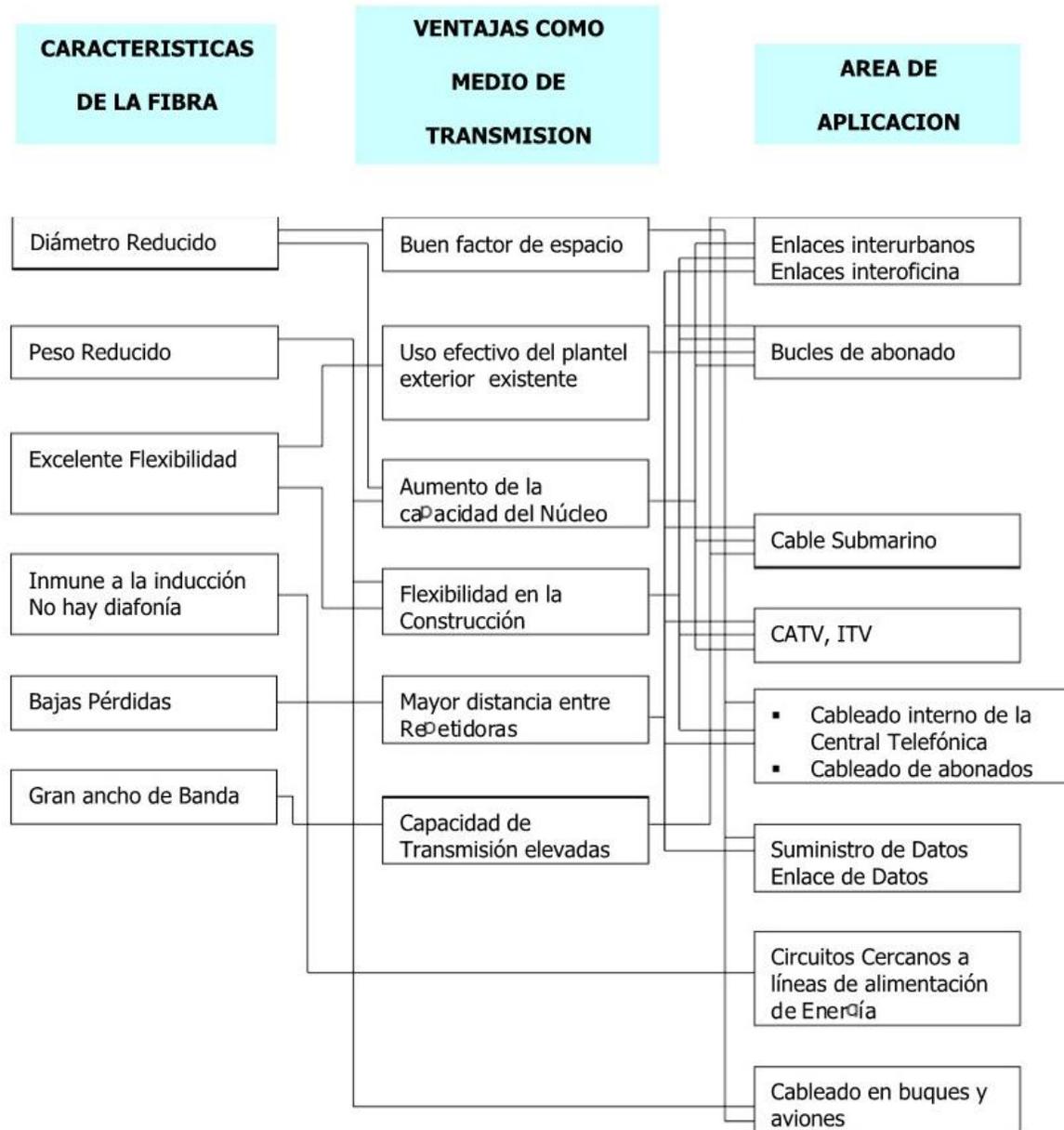
Desventajas:

- Si bien para la fabricación de fibras ópticas existe la materia prima arena de cuarzo como material de partida, se requiere en comparación a la purificación metálica, mucha más energía para obtener un vidrio de la pureza química necesaria.



- Dado que la fibra óptica es un producto muy delicado necesita durante el cableado un tratamiento particularmente cuidadoso y, en parte, una dotación de máquinas y herramientas especiales. (Mayor, 2014)

2.5.5. Aplicaciones y características de la fibra óptica.





2.6. REDES DE ACCESO FTTX - GPON

La siguiente sección está constituida por una recopilación sobre los sistemas de transmisión óptica FTTx, y concretamente en el sistema FTTH sobre el que se basa el diseño y despliegue de la red propuesta en esta investigación. Permitiendo de esta manera tener una visión general de la tecnología FTTH, así como conocer en profundidad las particularidades concretas de este tipo de redes.

El término **FTTx** (Fiber to the «x») fibra hasta «x», se emplea de forma genérica para designar a la tecnología que emplea fibra óptica para comunicar a los usuarios de un acceso de red (normalmente acceso a Internet) con la red de una operadora de telecomunicaciones (o proveedor de servicios de acceso a redes), en algunos tramos.

La familia FTTx, comprende un conjunto de tecnologías basadas en el transporte de señales digitales a través de fibra óptica como medio de transmisión. Existen diferentes niveles de alcances, en función del grado de acercamiento de la fibra óptica hasta el usuario final.

Todas las redes FTTx, admiten una configuración lógica de red en árbol, estrella, en bus o en anillo.

Las redes **FTTH** se encuentran dentro de las tecnologías FTTx, se basa en la utilización de cables de fibra óptica y sistemas de distribución ópticos adaptados a esta tecnología para la distribución de servicios avanzados, como el triple play: telefonía, internet de banda ancha y televisión a los hogares y empresas.



2.7. APLICACIONES DE REDES FTTX.

Las redes FTTx ofrece la ventaja de velocidades de transmisión más altas y consumo de energía menor. Al trasladar la fibra óptica más cerca del usuario, se aprovechan al máximo las técnicas más recientes de construcción, conexión y transmisión, y se disminuye la probabilidad de que se produzcan cuellos de botella en las redes coaxiales convencionales. Para que esto sea factible, se debe aplicar una planificación y una ejecución bien fundamentada en todas las fases del ciclo de vida.

A continuación, se presentan las principales aplicaciones de las redes FTTx las cuales brindan ciertas ventajas y características que las hacen adecuadas para aplicaciones específicas y menos apropiadas para otras.

2.7.1. FTTN - Fibra Hasta El Nodo

Este término hace referencia al empleo de fibra desde la central principal de la red del operador hasta un nodo intermedio, es decir, una central secundaria del operador. Se puede considerar una central principal la que concentra la conectividad de una región, y las centrales secundarias las desplegadas en pueblos pequeños. Si la ciudad es grande, puede existir una central principal, y luego varias centrales secundarias por barrios.

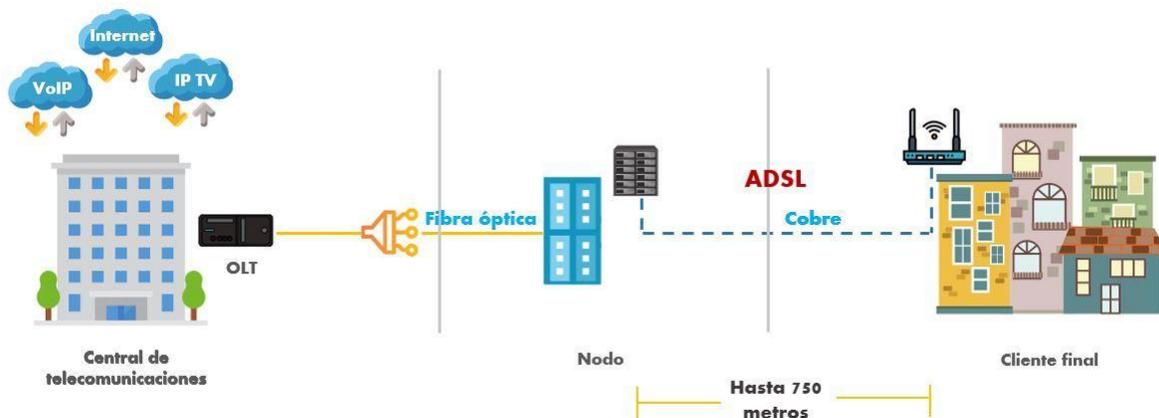


Ilustración 31 Estructura de red FTTN - Fibra hasta el nodo

Fuente: <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/>



2.7.2. FTTC - Fibra Hasta El Gabinete Ó Fibra Hasta La Acera

Hace referencia al empleo de fibra desde la central de la red del operador hasta un nodo intermedio, no se refiere a una acera de concreto. Sino al armario que alberga el dispositivo de comunicaciones montado como un pedestal o una central pequeña que da servicio a varias manzanas, el resto del trayecto habitualmente se emplea el par de cobre de telefonía (para ofrecer accesos ADSL, VDSL, etc.) o cable coaxial.

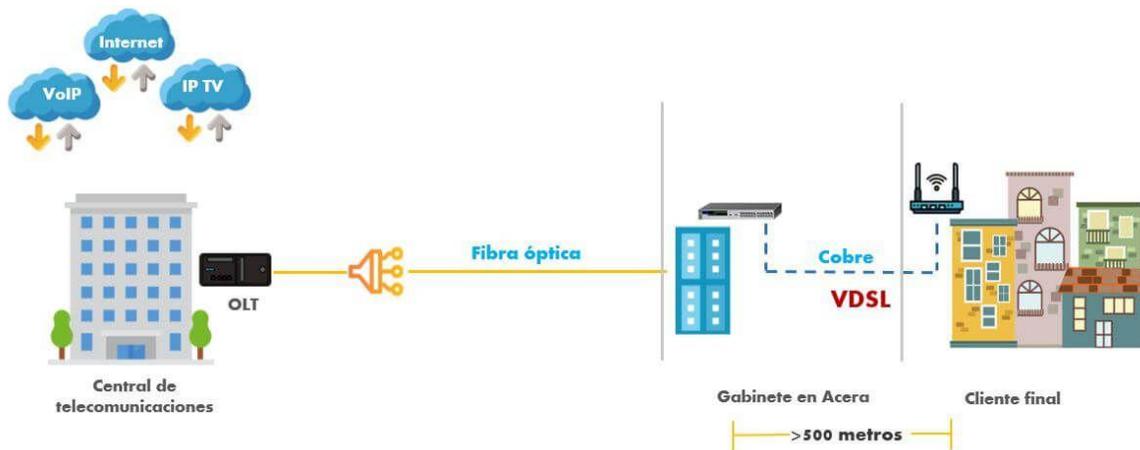


Ilustración 32 Estructura de red FTTC - Fibra hasta el gabinete

Fuente: <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/>



2.7.3. FTTH - Fibra Hasta El Hogar

Se trata del tipo de redes más desarrolladas en el mercado residencial, de forma que dejan en la vivienda una caja terminal óptica y un equipo receptor denominado ONT.

La conexión va directamente a residencias individuales, ofrece un mayor ancho de banda.

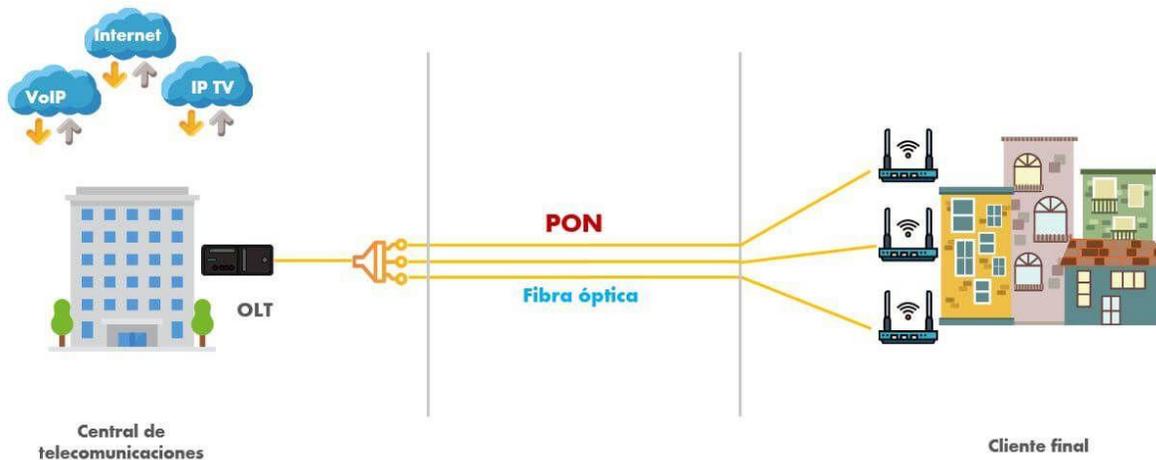


Ilustración 33 Estructura de red FTTH - Fibra hasta el hogar

Fuente: <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/>

La instalación de fibra óptica como medio de transmisión hasta los hogares, y por tanto, a los usuarios finales, garantiza una red completamente adaptada tanto a las necesidades actuales, como futuras. La reutilización de esta infraestructura física supone un ahorro económico a lo largo del tiempo.

La televisión de alta definición, la realidad virtual y otras aplicaciones que consumen una gran cantidad de ancho de banda ya hacen avanzar la necesidad de utilizar esta tecnología. El IoT (Internet de las cosas), la tecnología 5G, las ciudades inteligentes y la tecnología de cadena de bloques ganan terreno rápidamente a medida que las aplicaciones de alta velocidad y baja latencia para la FTTx continúan multiplicándose.

Documentarse para comprender el uso de la fibra óptica en las telecomunicaciones es de suma importancia para tener un conocimiento sólido, sobre todo si pertenece al gremio de redes, telecomunicaciones, informática o carreras afines, debió al crecimiento en la utilización y requerimiento de esta tecnología.



Anteriores tecnologías de comunicación como xDSL, HFC, etc. lograron tener un alto grado de despliegue, sin embargo, la demanda exponencial de aumento de ancho de banda y velocidad de transmisión es superior al que esas tecnologías son capaces de ofrecer, y en línea evolutiva, están llegando a la limitación más importante: el medio físico no soporta tanto caudal de datos a tales velocidades. Por tal motivo se vuelve necesario un cambio en las redes de transmisión de datos

2.7.4. FTTB - Fibra Hasta El Edificio O Negocio

La conexión de fibra óptica hasta el edificio hace referencia a la conexión por fibra que llega hasta un lugar dentro del edificio, por ejemplo, a la caja de distribución principal de un edificio. Desde ese punto la conexión hasta el usuario reutiliza la infraestructura existente, bien redes LAN basadas en Ethernet, distribuciones basadas en cable telefónico o coaxial. Es común su uso en grandes urbanizaciones residenciales privadas, edificios empresariales, hospitales, complejos hoteleros, centros deportivos, etc.

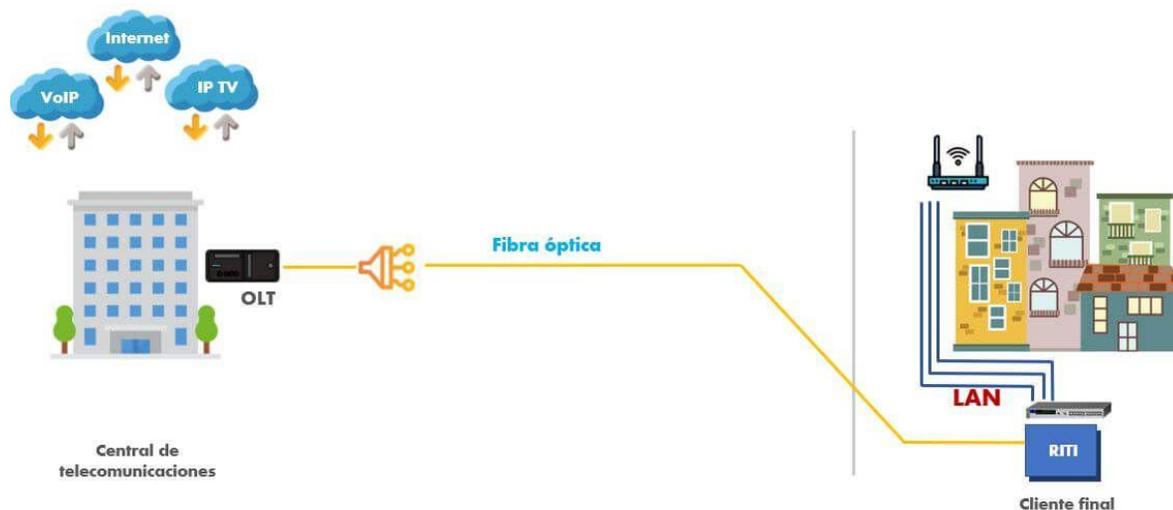


Ilustración 34 Estructura de red FTTB - Fibra hasta el edificio o negocio

Fuente: <https://sisutelco.com/introduccion-redes-ffttx/>

2.7.5. FTTH - Fibra Hasta La Antena

Es una arquitectura inalámbrica donde la fibra óptica se distribuye hasta la torre de comunicación, de modo que sustituye gran parte de lo que tradicionalmente se solía completar con cableado coaxial más pesado.

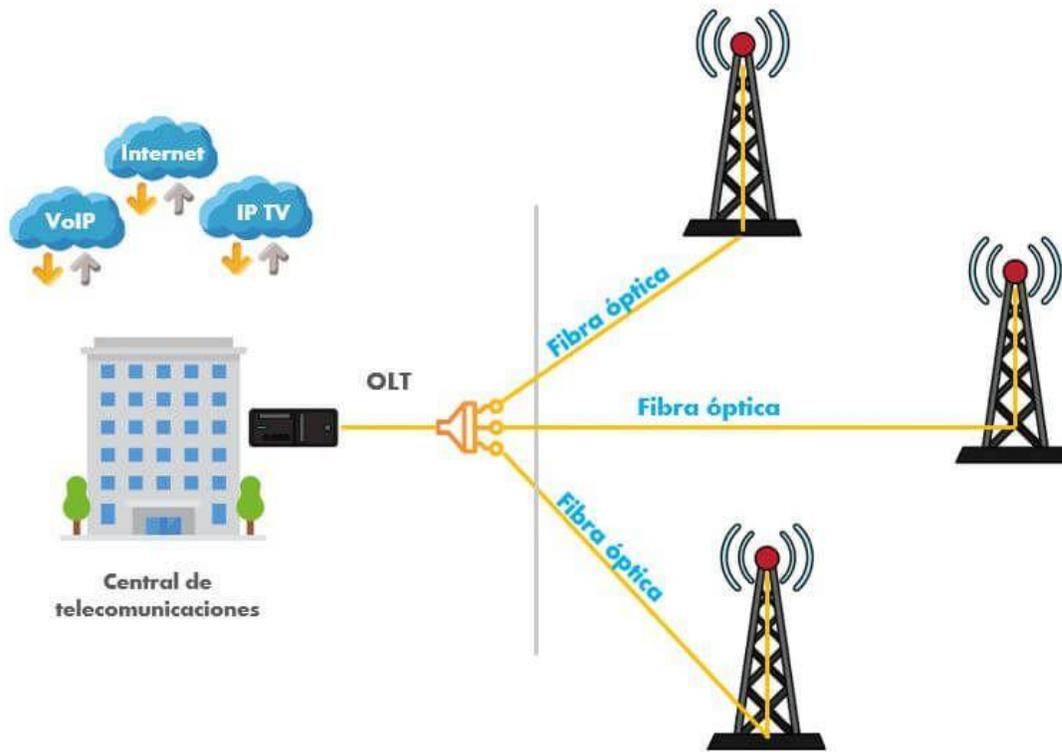


Ilustración 35 Estructura de red FTTH - Fibra hasta la antena

Fuente: <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fft/>



2.8. REDES PON

Las redes PON son una configuración de red que se caracteriza por proveer una gran variedad de servicios de banda ancha a los usuarios mediante accesos de fibra y componentes ópticos.

Desde su introducción en la década de los 90, la tecnología PON ha continuado evolucionando y se han ido formando diversas series de topologías de redes PON. Los estándares de las redes ópticas pasivas originales, APON y BPON, han ido dejando paso progresivamente a las ventajas de rendimiento general y ancho de banda de las versiones nuevas.

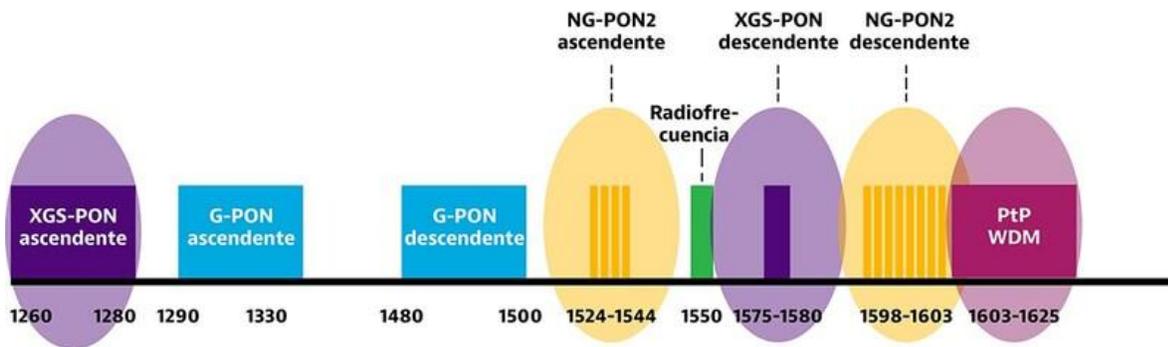


Ilustración 36 Longitud de onda según el estándar utilizado
Fuente: <https://www.viavisolutions.com/es-es/red-optica-pasiva-pon>



2.9. ELEMENTOS DE UNA RED PON

2.9.1. OTN (Red de transporte óptico)

La red de transporte óptico (OTN) es una red de fibra óptica que se utiliza para transportar señales de telecomunicaciones a través de grandes distancias. La OTN es responsable de transmitir señales de telecomunicaciones desde la central de telecomunicaciones. La OTN es esencial para garantizar el servicio de telecomunicaciones a través de grandes distancias y para proporcionar una transmisión de alta velocidad y capacidad.

La OTN es capaz de multiplexar, es decir combinar varias señales de telecomunicaciones en una sola señal óptica. Esto se logra mediante el uso de técnicas de multiplexación, como la multiplexación por división de tiempo (TDM) o la multiplexación por división de longitud de onda (WDM). Con la multiplexación, se transmiten varias señales a través de un solo hilo de fibra óptica, lo que permite un uso más eficiente del ancho de banda y una mayor capacidad de transmisión de datos, además es capaz de conmutar es decir tiene la función cambiar o dirigir las señales a través de diferentes rutas de la red. Con la conmutación, se pueden dirigir las señales a través de la red de forma dinámica, lo que permite una mayor flexibilidad en la gestión de la red, además permite gestionar señales esto se logra mediante el uso de herramientas de gestión de red, como el software de gestión de red (NMS) y el protocolo de gestión de red (SNMP).

Con la gestión de señales, se logra monitorear y controlar las señales de telecomunicaciones, lo que permite una mayor seguridad y calidad de servicio en la red de varios protocolos y niveles de velocidad en una sola señal óptica, permitiendo una mayor eficiencia en el uso del ancho de banda y la gestión de la red. También proporciona una mayor flexibilidad en la gestión de la red al permitir que se añadan, eliminen o modifiquen servicios de forma dinámica.

La OTN permite la creación de la ODN, debido a que la OTN transporta la señal a largas distancias y luego se crea la red ODN para distribuir las señales hasta llegar a las cajas NAP cercana a la ubicación de los clientes.



2.9.2. ODN (Red de distribución óptica)

La red de distribución óptica (ODN) es una red de fibra óptica que se utiliza para transportar las señales desde la central de telecomunicaciones hasta los puntos de terminación finales, como hogares y edificios comerciales.

La ODN se compone de varios componentes, como conectores y splitters ópticos. Estos componentes trabajan juntos para conectar la red principal de fibra óptica con los puntos de terminación finales..

2.9.3. OAN (Red de acceso óptica)

La red de acceso óptica (OAN, por sus siglas en inglés) es una red de telecomunicaciones que se utiliza para conectar a los usuarios finales (como hogares y negocios) a una red de conmutación central, es decir la OAN (Optical Access Network) es la red desde la caja NAP (Punto de Acceso a la Red) hasta el cliente.

La OAN es una red de fibra óptica que se utiliza para conectar los puntos de terminación finales de la red, como hogares y edificios comerciales, con la red principal de telecomunicaciones realizando una interconexión con la ODN.

La OAN se compone principalmente de fibra óptica y equipos de terminación de fibra su funciones es interconectar la red de distribución óptica (ODN) y la ONU (Optical Network Unit). La ONU también se conoce como ONT, ambos dispositivos representan y realizan la misma actividad, la diferencia únicamente es de terminología y no de funcionalidad, la ONT es un término del Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (UIT-T), mientras que la ONU es un término del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers).

2.9.4. Interconexión entre OTN, ODN y AON.

En una red GPON (Gigabit Passive Optical Network), la señal óptica se transmite desde la central (Central Office) hasta el hogar del usuario a través de varios niveles de división de la señal óptica. El primer nivel es la OTN (Optical Transport Network), que se encarga de transportar la señal óptica desde la central hasta la ODN (Optical Distribution Network). La ODN, a su vez, se encarga de distribuir la señal óptica a varios hogares y edificios a



través de la AON (Access Optical Network). La AON es el último nivel de división de la señal óptica y se encarga de llevar la señal óptica desde la ODN hasta el hogar del usuario.

2.9.5. NAP (Punto de acceso a la red)

Las Cajas NAP son dispositivos de red que se utilizan en una red de acceso de fibra óptica para conectar la red de distribución óptica (ODN) y la red de acceso óptico (OAN).

La NAP está clasificada como elemento pasivo, es decir, no tiene fuente de alimentación propia y se alimenta con la señal óptica de la red. Es una caja metálica o de material plástico ABS que se encuentra en la calle o en un lugar cercano al cliente, y que contiene los componentes necesarios para distribuir la señal óptica de la red principal a varios clientes.

Dentro de esta caja se encuentran los SPLITTER PLC que son los que se encargan de dividir la señal óptica, y permiten que varios clientes accedan a servicios de telecomunicaciones de alta velocidad, tales como internet de alta velocidad, televisión y telefonía.

2.9.6. ONT (Terminación de red óptica) u ONU (Unidad de red óptica)

La ONT (Optical Network Terminal) también conocida como ONU (Optical Network Unit), es un dispositivo que se encuentra en el extremo de una red de acceso óptica, conectando una red de fibra óptica a los dispositivos de usuario final como computadoras, televisores, teléfonos, etc.

La ONT/ONU es responsable de convertir las señales ópticas en señales eléctricas y viceversa, permitiendo la conexión de servicios de telecomunicaciones como internet, televisión y telefonía.

2.9.7. ODF (Marco de distribución óptica)

El ODF (Optical Distribution Frame) es un elemento utilizado en una red óptica para organizar y conectar los hilos de fibra óptica.



Es un elemento que se debe ensamblar en un rack, en el ODF se lleva a cabo la interconexión de los patch cord de fibra óptica que salen desde la OLT o desde el EDFA con los cables de fibra óptica que se distribuyeron como cableado feeder o también llamados troncales.

El ODF tiene una estructura de paneles y bandejas que proporcionan una organización fácil de usar para la conexión de hilos de fibra óptica. También tiene un sistema de etiquetado para identificar fácilmente cada conexión. El ODF es esencial para garantizar una conexión confiable, organizada y segura en una red óptica.

2.9.8. OLT (Terminal de línea óptica)

OLT (Optical Line Terminal) es un dispositivo de red que se encuentra en la central de telecomunicaciones y es responsable de conectar los puntos de terminación de la red (como hogares y edificios comerciales) con la red principal de telecomunicaciones. Es el punto de conexión entre la red de transporte óptico (OTN) y la red de distribución óptica (ODN).

La OLT es responsable de realizar una serie de tareas, como la conmutación y el enrutamiento de señales, la gestión de recursos, la gestión de usuarios y la gestión de servicios. También puede incluir funciones como la auto-provision, la gestión de calidad de servicio (QoS) y la gestión de seguridad, además es esencial para garantizar una transmisión confiable y segura de señales de telecomunicaciones en una red de fibra óptica.

2.9.9. MDU (Unidad de vivienda múltiple)

MDU (Multiple Dwelling Unit) es un término utilizado para describir un edificio que alberga varias unidades de vivienda, como un apartamento, un condominio o un edificio de apartamentos. Es un término amplio que se utiliza para describir cualquier tipo de edificio que aloja varias unidades de vivienda en un solo lugar.

2.9.10. SPLITTERS PLC (Circuito de onda de luz plana / Divisores ópticos pasivos)

Los SPLITTERS PLC (Planar Lightwave Circuit) son dispositivos ópticos pasivos que se utilizan en una red de distribución óptica (ODN) para dividir una señal óptica en varias



señales. Son conocidos también como divisores ópticos pasivos o simplemente como splitter.

Los SPLITTERS PLC funcionan mediante el uso de un circuito planar de luz, que es una tecnología óptica avanzada para dividir señales ópticas. Estos dispositivos son pasivos, lo que significa que no requieren alimentación externa y no afectan al rendimiento de las señales ópticas divididas. Los SPLITTERS PLC son esenciales para garantizar una distribución equitativa de las señales ópticas en una red de distribución óptica Y son ampliamente utilizados en redes de fibra óptica, especialmente en redes de acceso GPON, ya que estos dispositivos son capaces de dividir las señales ópticas de manera eficiente y confiable, permitiendo a los usuarios tener acceso a servicios de telecomunicaciones de alta velocidad.



2.10. ESTANDARES PON

2.10.1. APON

APON (ATM Passive Optical Network) es un estándar de red de fibra óptica que se utiliza para transportar tráfico ATM (Asynchronous Transfer Mode) desde una central hasta los usuarios finales.

Fue desarrollado por la ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunications Standardization Sector) y establece las especificaciones para la transmisión de datos a través de redes de fibra óptica pasivas, en las que no se utilizan dispositivos activos para amplificar o regenerar la señal óptica.

APON se utiliza principalmente para aplicaciones de banda ancha, como el acceso a Internet y la transmisión de vídeo. Sin embargo, es importante mencionar que APON ha sido reemplazado por GPON (Gigabit Passive Optical Network) que es más reciente y ofrece mayor capacidad de transmisión de datos.

2.10.2. BPON

Red Óptica Pasiva de Banda Ancha (Broadband Passive Optical Network), es un estándar de red de fibra óptica que se utiliza para transportar tráfico de banda ancha desde una central hasta los usuarios finales. Al igual que APON, BPON es una red de fibra óptica pasiva que no utiliza dispositivos activos para amplificar o regenerar la señal óptica. Sin embargo, BPON ofrece una mayor capacidad de transmisión de datos que APON, permitiendo una mayor velocidad de transmisión y una mayor cantidad de servicios de banda ancha. BPON se utiliza principalmente para aplicaciones de banda ancha, como el acceso a Internet de banda ancha, la transmisión de vídeo y la telefonía IP.

Utiliza ATM como tecnología de transmisión de datos, alcanzando velocidades de subida (sentido ONT > OLT) de hasta 155 Mbps y de bajada (sentido ONT > OLT) de hasta 622 Mbps. Algunos proveedores de equipos soportan una versión en donde se puede utilizar tráfico simétrico (igual velocidad de subida y de bajada) a 622 Mbps.



2.10.3. GPON

Las redes PON con capacidad Gigabit, o GPON, desarrolladas por el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones ITU-T utilizan protocolos basados en IP y son conocidas por su extraordinaria flexibilidad con respecto a los tipos de tráfico, incluidas las aplicaciones Triple-Play para voz, Internet y televisión. El método de encapsulación de redes G-PON genérico es capaz de empaquetar tipos de datos IP, Ethernet y VoIP, entre muchos otros.

La red G-PON se considera hoy en día el estándar de facto de red PON, con redes que abarcan distancias de hasta 20 km, en función de la relación de segmentación que se adopte, con fibra monomodo. La longitud de onda descendente se establece en 1490 nm y la longitud de onda ascendente de 1310 nm, con una velocidad de bajada de 2.4 Gbps y una velocidad de subida de 1.2 Gbps.

Al igual que APON y BPON, GPON es una red de fibra óptica pasiva que no utiliza dispositivos activos para amplificar o regenerar la señal óptica. Sin embargo, GPON ofrece una mayor capacidad de transmisión de datos que APON y BPON, permitiendo velocidades de transmisión más altas y una mayor cantidad de servicios de banda ancha. GPON se utiliza principalmente para aplicaciones de banda ancha, como el acceso a Internet, la transmisión de vídeo y la telefonía IP, también puede utilizarse para servicios de internet de las cosas IoT. GPON es uno de los estándares más populares para redes de acceso ópticas y es considerado como la evolución de las redes APON y BPON.

2.10.4. E-PON

E-PON (Ethernet Passive Optical Network) es un estándar de red de fibra óptica que se utiliza para transportar tráfico Ethernet desde una central hasta los usuarios finales. Al igual que GPON, APON y BPON, E-PON es una red de fibra óptica pasiva que no utiliza dispositivos activos para amplificar o regenerar la señal óptica.

E-PON utiliza el protocolo Ethernet para transportar la información, lo que significa que puede transportar una variedad de servicios de banda ancha, incluyendo datos, voz y vídeo, y ofrece una mayor flexibilidad en la gestión de tráfico. E-PON ofrece una mayor



capacidad de transmisión de datos que GPON, permitiendo velocidades de transmisión más altas y una mayor cantidad de servicios de banda ancha.

E-PON es una de las tecnologías más populares para redes de acceso ópticas y es utilizado en redes de banda ancha, redes de hogar, empresas, y redes de IoT.

Las redes E-PON convencionales pueden admitir velocidades simétricas de hasta 1.25 Gbps de subida y bajada. De forma muy similar a las redes G-PON, las redes E-PON proporcionan una cobertura de entre 20 y 40 km, también en función de la relación de segmentación, y emplean longitudes de onda similares (ascendente de 1310 nm y descendente de 1490 nm), por lo que estas redes E-PON y G-PON no pueden implementarse en la misma red PON.

2.10.5. Diferencias entre GPON y E-PON

EPON y GPON son dos estándares de red de fibra óptica que se utilizan para transportar tráfico de banda ancha desde una central hasta los usuarios finales, ambas son redes de fibra óptica pasiva que no utilizan dispositivos activos para amplificar o regenerar la señal óptica. Sin embargo, hay algunas diferencias importantes entre estos dos estándares:

- **Protocolo de transporte:** EPON utiliza el protocolo Ethernet para transportar la información, mientras que GPON utiliza el protocolo GEM (Método de encapsulación GPON). Esto significa que EPON puede transportar una variedad de servicios de banda ancha, incluyendo datos, voz y vídeo, y ofrece una mayor flexibilidad en la gestión de tráfico y GPON permite soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, TDM, ATM, entre otros.) en un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125 ms.
- **Capacidad de transmisión de datos:** GPON tiene una capacidad de transmisión de datos de hasta 2.4 Gbps (en ambos sentidos), mientras que EPON tiene una capacidad de transmisión de datos de hasta 1 Gbps (en ambos sentidos).
- **Alcance:** GPON tiene un alcance máximo de 20 km entre la central y el usuario final, mientras que EPON tiene un alcance máximo de 40 km entre la central y el usuario final.



- **Diferentes niveles de servicio:** GPON tiene diferentes niveles de servicio que se pueden utilizar para proporcionar servicios de banda ancha a diferentes usuarios. Mientras que EPON no tiene una opción de nivel de servicio.

En resumen, GPON ofrece una mayor capacidad de transmisión de datos, mientras que EPON ofrece una mayor flexibilidad en la gestión de tráfico y un alcance más extenso en aspecto de distancias.

2.10.6. 10G-EPON

10G-EPON (10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network) es un estándar de red de fibra óptica que se utiliza para transportar tráfico Ethernet a velocidades de 10 Gbps desde una central hasta los usuarios finales. Al igual que GPON y EPON, 10G-EPON es una red de fibra óptica pasiva que no utiliza dispositivos activos para amplificar o regenerar la señal óptica. 10G-EPON utiliza el protocolo Ethernet para transportar la información, lo que significa que puede transportar una variedad de servicios de banda ancha, incluyendo datos, voz y vídeo, y ofrece una mayor flexibilidad en la gestión de tráfico.

10G-EPON ofrece una mayor capacidad de transmisión de datos que GPON y EPON, permitiendo velocidades de transmisión más altas y una mayor cantidad de servicios de banda ancha. Por otro lado, 10G-EPON también ofrece una mayor eficiencia en el uso de espectro y mayor densidad de terminales. 10G-EPON es una de las tecnologías más recientes para redes de acceso ópticas y es considerado como la evolución de las redes GPON y EPON, se está utilizando en redes de banda ancha, redes de hogar, empresas, y redes de IoT.

2.10.7. XG(S)-PON

XG(S)-PON (10G/40G Passive Optical Network) es un estándar de red de fibra óptica que se utiliza para transportar tráfico de banda ancha a velocidades de 10Gbps o 40Gbps desde una central hasta los usuarios finales. Es una evolución de GPON, EPON y 10G-EPON, ya que ofrece velocidades de transmisión más altas y una mayor capacidad de transmisión de datos. Al igual que GPON, EPON y 10G-EPON, XG(S)-PON es una red



de fibra óptica pasiva que no utiliza dispositivos activos para amplificar o regenerar la señal óptica.

XG(S)-PON utiliza el protocolo Ethernet para transportar la información, lo que significa que puede transportar una variedad de servicios de banda ancha, incluyendo datos, voz y vídeo, y ofrece una mayor flexibilidad en la gestión de tráfico. Algunas de las ventajas de XG(S)-PON son mayor eficiencia en el uso de espectro, mayor densidad de terminales, mayor escalabilidad y flexibilidad en la configuración de los servicios.

2.10.8. NG-PON2

Por encima del estándar XG(S), está la red NG-PON2, que utiliza la multiplexación por longitud de onda con diversas longitudes de onda 10G, tanto para la subida como para la bajada, a fin de proporcionar un servicio simétrico de 40 Gbps. Nuevamente, las redes NG-PON2 emplean longitudes de onda distintas a las de las redes G-PON y XG/XGS-PON para permitir la coexistencia de los servicios de las tres en la misma red PON.

NG-PON2 (Next Generation Passive Optical Network 2) es un estándar de red de fibra óptica que se utiliza para transportar tráfico de banda ancha a velocidades de varios gigabits por segundo desde una central hasta los usuarios finales. Es una evolución de GPON, EPON, 10G-EPON y XG(S)-PON, ya que ofrece velocidades de transmisión más altas y una mayor capacidad de transmisión de datos. Al igual que GPON, EPON, 10G-EPON y XG(S)-PON, NG-PON2 es una red de fibra óptica pasiva que no utiliza dispositivos activos para amplificar o regenerar la señal óptica.

NG-PON2 utiliza el protocolo Ethernet para transportar la información, lo que significa que puede transportar una variedad de servicios de banda ancha, incluyendo datos, voz y vídeo, ofreciendo una mayor flexibilidad en la gestión de tráfico.

Algunas de las ventajas de NG-PON2 son mayor eficiencia en el uso de espectro, mayor densidad de terminales, mayor escalabilidad, mayor flexibilidad en la configuración de los servicios y mayor capacidad de transmisión de datos.



2.11. ESTANDAR GPON

El significado de GPON es Gigabit Passive Optical Network. La red óptica pasiva (PON) es un sistema que entrega señales de cableado de fibra óptica al hogar o negocio (FTTx) con una arquitectura punto a multipunto. Permite a los usuarios acceder a video, audio, internet, etc.

Las redes GPON tienen distintas alternativas de tecnología FTTx para su implementación; sin embargo, la red FTTH (fiber to the home) es la que mejor se adapta a su tipo de usuarios predominantemente residencial, ya que esta tecnología permite llegar con fibra óptica hasta el hogar de cada cliente y tiene la capacidad suficiente para soportar hasta 64 usuarios por hilo principal (feeder) de manera simultánea.

Principales características:

- La velocidad de upstream es de 1.2 Gbps en longitud 1310 nm.
- La velocidad de downstream es de 2.4 Gbps en longitud 1490 nm.
- Servicios de triple reproducción: VoIP, datos, video.
- Distancias de hasta 20 km

El método de encapsulación que emplea GPON es GEM (GPON Encapsulation Method) que permite soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, TDM, ATM, etc.) es un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125 μ s.

GEM se basa en el estándar de procedimiento de encuadre genérico (GFP Generic Framing Procedure) del ITU-T G.7041, con modificaciones menores para optimizarla para las tecnologías PON. De este modo GPON, no solo ofrece mayor ancho de banda que sus tecnologías predecesoras, es además mucho más eficiente y permite a los operadores continuar ofreciendo sus servicios tradicionales.

Además, GPON implementa capacidades OAM (Operation Administration and Maintenance) avanzadas, ofreciendo una potente gestión del servicio extremo a extremo, entre otras funcionalidades incorporadas como: monitorización de la tasa de error, alarmas, eventos, descubrimiento y ranging automático, etc.



2.12. ARQUITECTURA GPON

GPON consta de una OLT (Optical Line Terminal), ubicado en las dependencias del operador, y las ONT (Optical Networking Terminal) en las dependencias de los abonados para FTTH.

La OLT consta de varios puertos de línea GPON, cada puerto soportando de 64-128 ONT, esto en dependencia a las características y especificaciones del fabricante, sin embargo, dependerá de la distancia y potencia de recepción final.



Ilustración 37 Arquitectura GPON

Fuente: <https://es.vsolcn.com/blogs-detail/what-is-gpon-gpon-networks-22?ad-es>

Para conectar la OLT con la ONT, se emplea un cable de fibra óptica para transportar una longitud de onda downstream. Mediante un pequeño divisor pasivo que divide la señal de luz que tiene a su entrada en varias salidas, el tráfico downstream originado en la OLT puede ser distribuido. Puede haber una serie de divisores pasivos 1 x n (donde n = 2, 4, 8, 16, 32, o 64) en distintas ubicaciones hasta alcanzar a los clientes.

Los datos upstream desde la ONT hasta la OLT son distribuidos en una longitud de onda distinta para evitar colisiones en la transmisión downstream, es agregado por la misma unidad divisora pasiva, que hace las funciones de combinar en la otra dirección del tráfico. Esto permite que el tráfico sea recolectado desde la OLT sobre la misma fibra óptica que envía el tráfico downstream.

2.12.1. Características de funcionamiento GPON

En la actualidad existe un desarrollo tecnológico enfocado en la integración de las telecomunicaciones, se le denomina Triple Play, y consiste en la convergencia de los



servicios de televisión, telefonía fija y transmisión de datos o internet, todo eso por medio de una misma red basada en protocolos de comunicación IP (Internet Protocol) y otros auxiliares, utilizando el mismo medio para satisfacer las tres necesidades.

Para el tráfico downstream se realiza un broadcast óptico, aunque cada ONT solo será capaz de procesar el tráfico que le corresponde o para el que tiene acceso por parte del operador, gracias a las técnicas de seguridad AES (Advanced Encryption Estándar).

Para el tráfico Upstream los protocolos basados en TDMA (Time División Multiple Access) aseguran la transmisión sin colisiones desde la ONT hasta la OLT. Además, mediante TDMA solo se transmite cuando sea necesario, por lo cual, no sufre de la ineficiencia de las tecnologías TDM donde el periodo temporal para transmitir es fijo e independiente de que se tengan datos o no disponibles.

Una de las características clave de PON es la capacidad de sobresuscripción. Esto permite a los operadores ofrecer a los abonados más tráfico cuando lo necesiten y la red esté con capacidad ociosa, es decir, cuando no haya otros abonados en el mismo PON que están empleando todo su ancho de banda disponible. Esta funcionalidad es denominada ubicación dinámica del ancho de banda o DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) del PON punto a multipunto.

En una red GPON, se asigna una longitud de onda para el tráfico de datos (Internet, VoIP, IPTV, etc.)

Downstream: 1490 nm

Upstream: 1310 nm

Además, a través del uso WDM (Wavelength División Multiplexing) se asigna una tercera longitud de onda:

Broadcast de Video RF: 1550 nm

La longitud de onda 1550 engloba el broadcast analógico, digital y HDTV. De este modo, el video/TV es ofrecido mediante dos métodos distintos simultáneamente: RF (radio



frecuencia) e IPTV. En el caso de ser señal por RF, las ONT disponen de una salida para vídeo RF coaxial que se conecta al STB tradicional.

Con IPTV la señal de video, es transformada por la cabecera en una cadena de datos IP y se transmite sobre el mismo enlace IP como datos para acceso a internet de banda ancha. El decodificador conectado mediante Gigabit Ethernet al ONT, convierte de nuevo la cadena de datos en una señal de video como se muestra en la Ilustración 38.

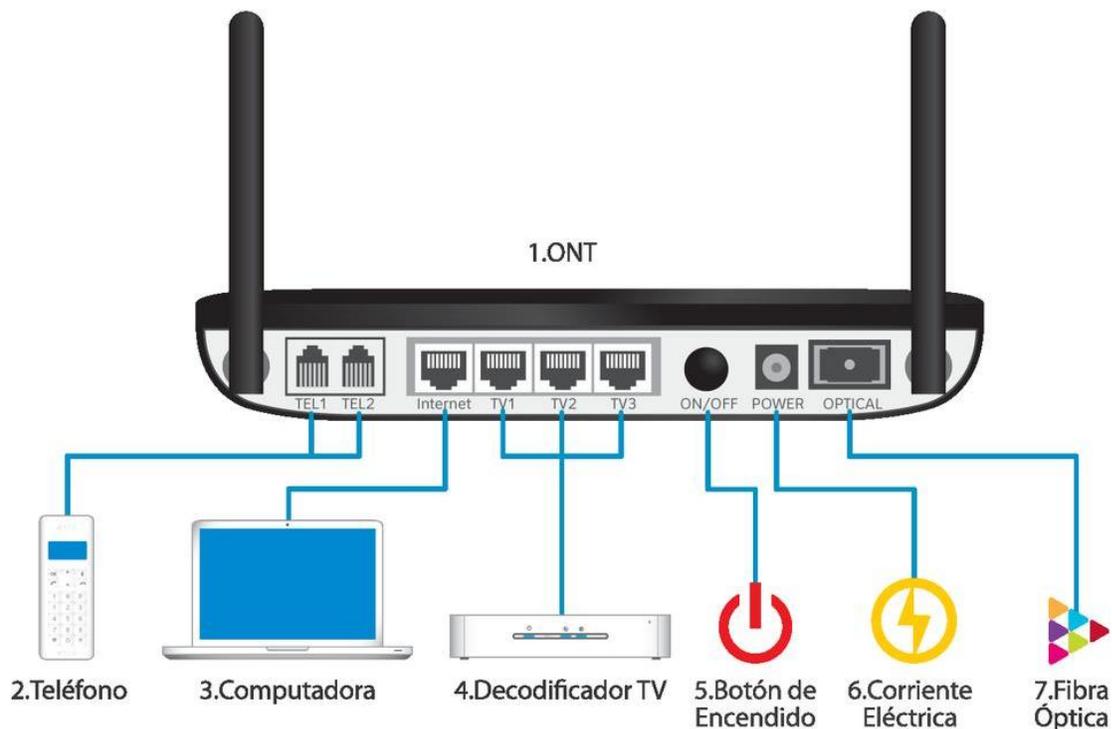


Ilustración 38 ONT con capacidad triple play

Fuente: <https://docplayer.es/70429407-Hola-atentamente-equipo-totalplay.html>

Los operadores pueden ofrecer varios canales de alta calidad de imagen y sonido, mediante IPTV utilizando GPON, cuyos equipos incorporan capacidades de QoS y multicast IP avanzadas, incluidos HDTV, así como brindar servicios interactivos y personalizados, lo cual no es posible con video RF.



2.13. PROTOCOLOS Y TECNOLOGIAS UTILIZADAS POR GPON

2.13.1. ATM (Modo de Transferencia Asíncrona)

ATM (Asynchronous Transfer Mode) es un protocolo de transmisión de datos que divide los datos en pequeños paquetes o células y los transmite a través de la red. Cada célula tiene un tamaño fijo de 53 bytes, lo que permite una gestión eficiente de la transmisión de datos y una mejor gestión de la congestión en la red.

El ATM es adecuado para redes de alta velocidad y se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo redes metropolitanas, redes privadas virtuales (VPN) y redes de acceso a internet. También se utiliza en la transmisión de servicios multimedia, como voz, datos y vídeo, debido a su capacidad para manejar diferentes tipos de tráfico con diferentes requisitos de ancho de banda y tiempos de retardo.

En el contexto de GPON, el ATM se utiliza para proporcionar una conexión de alta velocidad para el tráfico de datos y otros tipos de tráfico.

2.13.2. DBA (Asignación dinámica de ancho de banda)

DBA es el acrónimo de Dynamic Bandwidth Allocation (Asignación Dinámica de Ancho de Banda). Se trata de un enfoque de gestión de ancho de banda en redes de comunicaciones que permite asignar automática y dinámicamente el ancho de banda disponible a los usuarios y aplicaciones en función de sus requisitos y prioridades.

El objetivo principal del DBA es asegurar que el ancho de banda disponible en la red se utiliza de manera eficiente y equitativa, permitiendo a los usuarios y aplicaciones obtener el ancho de banda necesario para funcionar de manera óptima. La asignación dinámica de ancho de banda también ayuda a prevenir la congestión en la red y mejorar la calidad de servicio para los usuarios.

Hay varios algoritmos de DBA que se utilizan en diferentes redes y tecnologías, cada uno con sus propios requisitos y objetivos. Algunos ejemplos incluyen el DBA basado en colas, el DBA basado en conteo de tokens y el DBA basado en reserva de ancho de banda.



2.13.3. GEM (Método de encapsulación GPON)

GEM es el acrónimo de GPON Encapsulation Method (Método de Encapsulación GPON). Se trata de un estándar que define la forma en que los datos se encapsulan en paquetes y se transmiten a través de una red GPON.

El objetivo de GEM es proporcionar una encapsulación eficiente y flexible para la transmisión de datos en una red GPON, permitiendo la transmisión de diferentes tipos de tráfico, como voz, datos y vídeo de manera eficiente. GEM utiliza una estructura de paquetes basada en frames y un mecanismo de multiplexación para transmitir varios flujos de tráfico simultáneamente a través de la misma red GPON.

GEM también permite la separación de diferentes servicios y aplicaciones, lo que permite una gestión eficiente de la calidad de servicio (QoS) y una mejor gestión de la congestión en la red.

GEM es un estándar clave en la tecnología GPON que define la forma en que los datos se encapsulan y transmiten a través de la red, permitiendo una transmisión eficiente y flexible de diferentes tipos de tráfico.

2.13.4. Combinación de los protocolos

En una red FTTH GPON (Fiber To The Home - Gigabit Passive Optical Network), los protocolos ATM, DBA y GEM trabajan juntos para proporcionar una transmisión eficiente y de alta calidad de datos. Aquí está una descripción detallada de cómo funcionan:

ATM: El protocolo ATM divide los datos en pequeñas células de 53 bytes y los transmite a través de la red. Cada célula se encarga de un flujo de tráfico específico y se transmite de manera independiente, lo que permite una gestión eficiente de la congestión en la red y una mejor gestión de la calidad de servicio (QoS).

DBA: El protocolo DBA se encarga de asignar automática y dinámicamente el ancho de banda disponible en la red a los diferentes flujos de tráfico, se basa en la medición en tiempo real del tráfico y los requisitos de ancho de banda, y permite asegurar que cada flujo de tráfico reciba el ancho de banda necesario para funcionar de manera óptima.



GEM: El protocolo GEM se encarga de encapsular los datos en paquetes y de transmitirlos a través de la red, utiliza una estructura de paquetes basada en frames y un mecanismo de multiplexación para permitir la transmisión simultánea de varios flujos de tráfico. GEM también permite separar los diferentes servicios y aplicaciones y gestionar la calidad de servicio de manera eficiente.

2.13.5. Equipos esenciales para los protocolos descritos

Los siguientes equipos son esenciales para hacer posible los protocolos ATM, DBA y GEM en una red GPON:

OLT (Optical Line Terminal): La OLT es el punto de acceso principal a la red GPON y es responsable de gestionar la transmisión de datos desde el proveedor de servicios hasta los usuarios finales. La OLT utiliza los protocolos ATM, DBA y GEM para controlar y optimizar la transmisión de datos.

ONT (Optical Network Terminal): La ONT es el punto de acceso a la red GPON desde el hogar o el edificio de los usuarios finales. La ONT convierte la señal óptica en una señal eléctrica y los transmite a los dispositivos de red en el hogar o el edificio.

Switch de borde: El switch de borde es un dispositivo de red que se encuentra en la frontera entre la red GPON y otras redes, como la red LAN o WAN. El switch de borde utiliza los protocolos ATM, DBA y GEM para controlar y optimizar la transmisión de datos a otras redes.

Routers: Los routers son dispositivos de red que se encargan de enrutar los paquetes de datos a su destino correcto. Los routers utilizan los protocolos ATM, DBA y GEM para controlar y optimizar la transmisión de datos a través de la red GPON.

Los equipos OLT, ONT, switch de borde y routers son esenciales para hacer posible los protocolos ATM, DBA y GEM en una red GPON. Estos equipos trabajan juntos para garantizar una transmisión eficiente y de alta calidad de datos a través de la red.



2.14. REDES FTTH - GPON

La característica definitoria de FTTH es que desde la central de comunicaciones conecta con fibra óptica las residencias.

Las redes de acceso FTTH están básicamente estructuradas de la siguiente manera: los cables de fibra óptica se ejecutan desde una oficina central a través de un distribuidor de fibra óptica (ODF), luego a través de un punto de acceso a la red (NAP), y finalmente al hogar a través de una terminal que sirve como caja de unión.

La red de acceso entre el abonado y el último nodo de distribución puede realizarse con una o dos fibras ópticas dedicadas a cada usuario resultando ser una conexión punto a punto en una topología en estrella o la siguiente manera es una red pasiva – PON, que usa una estructura punto a multipunto, con una fibra en el lado de la red y varias fibras en el lado de los clientes.

La topología de red de las PON es la siguiente:

- Un terminal de línea óptica (OLT) en la oficina central del proveedor.
- Terminales de red óptica (ONT) en las instalaciones del usuario final.
- Una red de distribución óptica (ODN) entre la OLT y la ONT para dividir y distribuir la señal que viaja a lo largo de la PON.

Para la instalación y mantenimiento de redes FTTH se utilizan instrumentos electrónicos de precisión denominados analizadores FTTH que efectúan medidas sobre diferentes parámetros de las señales utilizadas en la tecnología de telecomunicaciones FTTH. Entre los parámetros a medir se deben encontrar la potencia óptica, MER, VER, velocidad de símbolo, etc.

La fibra ha ganado aceptación en la última frontera de las redes de telecomunicaciones, la "última milla", la conexión con el hogar. Muchas casas, apartamentos y empresas siguen conectadas con cable telefónico de cobre envejecido y de bajo rendimiento que no puede soportar velocidades de conexión para el acceso de banda ancha. Además, los



costos de mantenimiento de estas viejas instalaciones de cable de cobre son muy elevados y con interrupciones constantes.

Incluso cuando se abandonan las líneas telefónicas fijas por los teléfonos móviles, el hogar necesita una conexión capaz de proporcionar acceso a Internet de alta velocidad y la fibra óptica es la opción más ideal para satisfacer los requerimientos de un mundo que opera de la mano con la tecnología, ya que proporciona velocidades gigabit con mucho margen de mejora.

La posibilidad de prestar servicios como el “triple-play”: teléfono, Internet y TV hacen que las redes FTTH sean una opción atractiva para los proveedores de servicios debido a la posibilidad de brindar dichos servicios por un único medio de transmisión.

El uso de la tecnología GPON se ha expandido en la región centro americana debido a que es ideal para conexiones FTTH modernas, ganando espacio tanto en grandes centros urbanos como en regiones más alejadas.

Debido a sus características, es muy probable que se utilicen durante muchos años. En un escenario donde el estándar de conexiones gira alrededor de 300 Mbps y 600 Mbps, una infraestructura con soporte de hasta 2.5 Gbps (download) y 1.5 Gbps (Upload) de datos se coloca como una apuesta cómoda para quien desea crear o expandir una red. Además, la tecnología GPON está avanzando, y con eso tendremos conexiones de 10 Gbps y también 40 Gbps sobre la misma infraestructura de una red FTTH como se mencionó en la **sección 2.8**.

Las infraestructuras de TI modernas, y especialmente en el crecimiento del Internet de las Cosas (IoT), que amplía considerablemente el número de dispositivos conectados, las redes FTTx son las opciones más adecuadas para sustituir los cables coaxiales o cables de cobre.

2.14.1. Arquitectura general de una red FTTH

La red de acceso FTTH basada en la red óptica pasiva Gigabit es una arquitectura de red de punto a multipunto de fibra hasta las instalaciones finales, en la que se utilizan



divisores ópticos sin alimentación eléctrica para permitir que una única fibra óptica sirva para varias instalaciones, de 32 a 128 clientes por cada hilo de fibra.

Las arquitecturas basadas en divisores ópticos pasivos se definen como un sistema que no tiene elementos electrónicos activos en el recorrido y cuyo elemento principal es el dispositivo divisor de haz (splitter) que, dependiendo de la dirección del haz de luz divide el haz entrante y lo distribuye hacia múltiples fibras o lo combina dentro de una misma fibra. Esta arquitectura se basa en compartir los costes del segmento óptico entre las diferentes terminales, de forma que se pueda reducir el número de fibras ópticas.

La red FTTH utiliza la baja atenuación y el alto ancho de banda de la fibra monomodo para proporcionar un ancho de banda mucho mayor que el disponible con las tecnologías de banda ancha existentes.

Con una topología de árbol, GPON maximiza la cobertura con un mínimo de divisiones de red, reduciendo así la potencia óptica. Una red de acceso FTTH consta de cinco áreas: un área de red central, una de la oficina central, una de alimentación, una de distribución y un área de usuario. **ver Ilustración 39.**

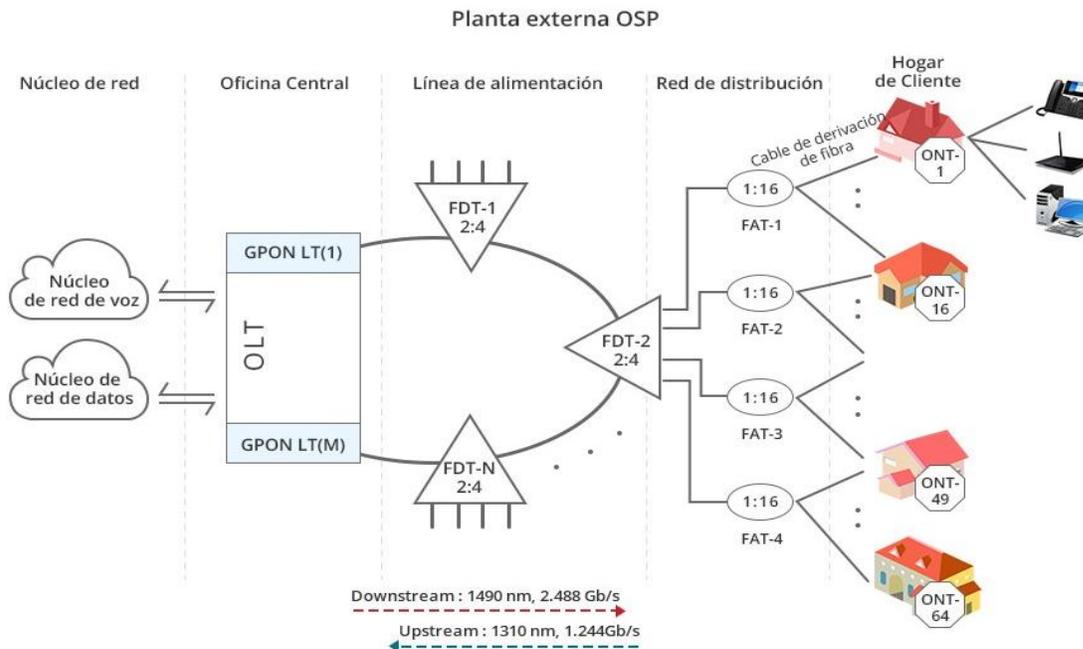


Ilustración 39 Arquitectura de una red de acceso FTTH con GPON
Fuente: https://miro.medium.com/max/1100/0*GV8dBiVRgR2rCisc.jpg

Núcleo de red

El núcleo de red incluye el equipo ISP del proveedor de servicios de Internet, PSTN, red telefónica conmutada por sus siglas en inglés, (commutación de paquetes o la commutación heredada de circuitos) y el equipo del proveedor de televisión por cable.

Oficina central

La función principal de la oficina central es alojar las OLT y ODF (marcos de distribución óptica) y proporcionar la alimentación necesaria. A veces, esta incluso puede incluir algunos de los componentes del núcleo de red.

Red de alimentación

La red de alimentación se extiende desde el ODF, en la oficina central, hasta los puntos de distribución. En estos puntos, que normalmente se tratan de cajas para empalme y derivación situadas en la calle, llamadas marcos de interrupción de la fibra, FDT por sus siglas en inglés, es en donde se suelen situar los divisores de nivel 1.



Si la red será redundante, es decir los splitter se alimentarán por dos rutas de comunicación, entonces el cable de alimentación se conecta como una topología de anillo a partir de un puerto GPON y con una terminación en otro puerto GPON para así poder proporcionar protección de tipo B, tal y como se muestra en la Ilustración 39.

Red de distribución

El cable de distribución conecta el splitter de nivel 1 (dentro de la caja de distribución, FDT por sus siglas en inglés) con el divisor de nivel 2. El divisor de nivel 2 se encuentra normalmente en una caja terminal para fibra óptica, CTO, montada en un poste y normalmente situada en la entrada del vecindario, también conocidas como cajas NAP.

Área de usuario

En el área del usuario, los cables de derivación se utilizan para conectar el splitter de nivel 2, que se encuentra dentro de la caja terminal, a las instalaciones del suscriptor. A partir de la caja NAP se utiliza un cable de derivación o acometida de fibra óptica que se conecta a la caja terminal de acceso (ATB por sus siglas en inglés) popularmente conocida como roseta óptica instalada dentro de la casa.

2.14.2. Transmisión de señales en una red FTTH.

Los tres bloques principales que forman un sistema de comunicaciones por fibra óptica son: El transmisor, el receptor y el medio de transmisión

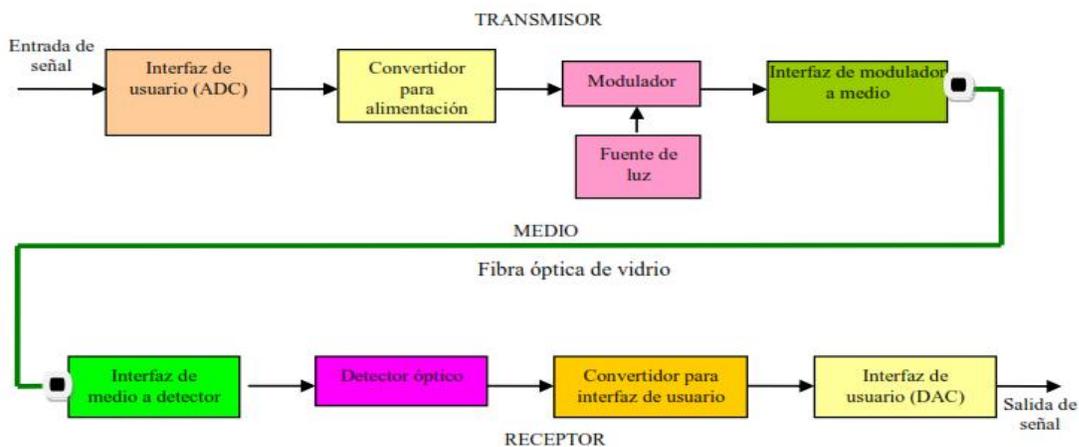


Ilustración 40 Sistema de comunicación óptico



Transmisor: En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original.

Medio de transmisión – Fibra Óptica: Los cables de fibra óptica transmiten información en forma de destellos de luz, pero a mayor velocidad y en mayor capacidad que los cables de cobre.

La fibra óptica en este proceso realiza la función de transportar la señal luminosa, generada por el transmisor de diodos LED o láser, siendo estos últimos las fuentes más adecuadas para la transmisión mediante la fibra óptica

El receptor comprende los siguientes bloques:

- Un dispositivo acoplador de la fibra al detector óptico.
- Un detector fotoeléctrico. El detector de luz puede ser un diodo PIN (tipo P-N intrínseco) o un fotodiodo de avalancha (APD: Avalanche Photodiode) dependiendo de las velocidades de información que se procesen. Cualquiera de los dos convierte la energía lumínica en corriente eléctrica.
- Un convertidor de corriente a voltaje (señal de salida) y amplificador para alimentar la interfaz de usuario.



2.15. CONVERGENCIA DE SERVICIOS MULTIMEDIA

La convergencia de servicios multimedia en una red GPON es la capacidad de transmitir diferentes tipos de información, como voz, datos y vídeo, a través de una misma red óptica. En una red GPON, la convergencia de servicios multimedia se logra mediante la utilización de protocolos como ATM, DBA y GEM.

ATM es el protocolo que permite la transmisión de datos de diferentes tipos y tamaños a través de una misma red, mientras que DBA se encarga de asignar dinámicamente el ancho de banda disponible para diferentes servicios multimedia. GEM es el protocolo que permite el encapsulamiento de diferentes tipos de datos en paquetes ópticos, para su transmisión a través de la red.

La convergencia de servicios multimedia en una red GPON permite a los proveedores de servicios ofrecer una amplia gama de servicios, como voz, datos y vídeo a través de una misma red, reduciendo así los costos y mejorando la eficiencia de la red. Además, los usuarios finales pueden disfrutar de una experiencia de usuario más satisfactoria, ya que pueden acceder a una amplia gama de servicios multimedia a través de una misma conexión.



2.16. FUNDAMENTOS TEORICOS

2.16.1. Multiplexación

La multiplexación es un proceso que permite la transmisión de múltiples señales a través de una misma línea física. La multiplexación se logra mediante la utilización de protocolos como ATM, que permite la transmisión de diferentes tipos de datos a través de una misma red.

2.16.2. Calidad de Servicio (QoS)

La QoS es un aspecto clave de la convergencia de servicios multimedia. La QoS se refiere a la capacidad de garantizar un nivel de servicio específico para diferentes tipos de datos, asegurando así una transmisión eficiente y de alta calidad de diferentes servicios multimedia.

2.16.3. Redes de paquetes

Las redes de paquetes utilizan el protocolo de Internet (IP) para transmitir paquetes de datos a través de la red. La convergencia de servicios multimedia en una red GPON se basa en la utilización de redes de paquetes, que permiten la transmisión eficiente y de alta calidad de diferentes tipos de datos a través de una misma red.

2.16.4. Tecnologías de multiplexación de ancho de banda

Las tecnologías de multiplexación de ancho de banda permiten asignar dinámicamente el ancho de banda disponible para diferentes servicios multimedia. Esto se logra mediante la utilización de protocolos como DBA, que se encarga de asignar dinámicamente el ancho de banda disponible para diferentes servicios multimedia.



2.17. ESTRUCTURA DE LA CONVERGENCIA DE SERVICIOS MULTIMEDIA

2.17.1. Capa física

Esta capa se encarga de la transmisión de señales a través de los medios de transmisión, como cables de fibra óptica o coaxiales.

2.17.2. Capa de enlace de datos

Esta capa se encarga de garantizar la transmisión confiable de paquetes de datos entre los dispositivos de la red. Aquí se utilizan protocolos como Ethernet o Wi-Fi.

2.17.3. Capa de red

Esta capa se encarga de enrutar los paquetes de datos a través de la red, utilizando protocolos como el Protocolo de Internet (IP).

2.17.4. Capa de transporte

Esta capa se encarga de garantizar la transmisión eficiente y confiable de los paquetes de datos, utilizando protocolos como TCP o UDP.

2.17.5. Capa de aplicación

Esta capa se encarga de proporcionar los servicios multimedia, como la transmisión de voz, datos y vídeo, utilizando protocolos como SIP o RTSP.

En resumen, la estructura de la convergencia de servicios multimedia se compone de cinco capas, cada una con una función específica en la transmisión de servicios multimedia a través de la red. Cada capa trabaja de forma integrada con las otras capas para garantizar una transmisión eficiente y de alta calidad de diferentes servicios multimedia.



2.18. REDES DE ACCESO EXISTENTE

2.18.1. Par de cobre xDSL

El xDSL (Digital Subscriber Line) es una tecnología de transmisión de datos que utiliza las líneas telefónicas de cobre existentes para proporcionar acceso a Internet de alta velocidad. La tecnología xDSL permite la transmisión simultánea de voz, datos y vídeo a través de una única línea telefónica. Hay varios tipos de xDSL, incluyendo ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line) y VDSL (Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line), que ofrecen diferentes velocidades de transmisión de datos y capacidades.

2.18.2. Cable Módem

El Cable Módem es un dispositivo que permite la conexión de una red de cable de televisión a Internet. Utiliza la infraestructura de cable coaxial existente en la mayoría de los hogares para proporcionar acceso a Internet de alta velocidad. La señal de Internet se modula en una frecuencia diferente a la utilizada en la televisión y se transmite por el mismo cable, permitiendo una separación de los servicios de televisión y de Internet en el equipo de terminación en el hogar. Un cable módem descodifica la señal y la convierte en información legible para un ordenador o dispositivo. Es una de las tecnologías de acceso de banda ancha más utilizadas en todo el mundo y ofrece velocidades de transmisión de datos significativamente más rápidas que las de las tecnologías de acceso por línea telefónica tradicionales.

2.18.3. Hybrid Fibre Coaxial (HFC)

Es una tecnología de acceso a banda ancha que combina fibra óptica y coaxial. La señal de datos se transmite a través de la fibra óptica hasta un nodo cercano al usuario, y luego se envía a través del cable coaxial hasta el hogar del usuario. La ventaja de HFC es que permite una gran capacidad de transmisión de datos y una mejor calidad de la señal, comparado con otras tecnologías de acceso como DSL o dial-up.



2.18.4. Packet Cable

PacketCable es un estándar de la industria para la transmisión de voz, datos y vídeo sobre redes de cable. Está diseñado para permitir que los proveedores de servicios de cable ofrezcan servicios de banda ancha y de comunicación unificados a sus clientes. PacketCable utiliza la infraestructura de cable existente para proporcionar acceso a Internet de alta velocidad, telefonía por Internet (VoIP) y servicios de televisión por cable interactivos, Packet Cable funciona sobre redes de cable HFC (Hybrid Fibre Coaxial).

2.18.5. Tecnologías 3G

3G es la tercera generación de tecnologías móviles y es una evolución de la tecnología 2G. 3G permite una velocidad de transmisión de datos mucho mayor que 2G, lo que lo hace ideal para aplicaciones multimedia como video, mensajería de texto, transmisión de datos y voz. Esta tecnología también permite a los usuarios acceder a Internet desde sus dispositivos móviles, lo que es una de las principales ventajas de 3G.

2.18.6. Tecnologías 4G

4G es la cuarta generación de tecnologías móviles y es una evolución de la tecnología 3G. 4G ofrece velocidades de transmisión de datos aún más altas que 3G, lo que la hace ideal para aplicaciones multimedia intensivas como la transmisión en tiempo real de video y audio. 4G también permite una mayor eficiencia en la gestión de la red, lo que resulta en un mejor rendimiento y menos interrupciones en la transmisión de datos.

2.18.7. Tecnologías 5G

5G es la quinta generación de tecnologías móviles y es una evolución de la tecnología 4G. 5G ofrece velocidades de transmisión de datos mucho más altas que 4G, lo que permite una transmisión más rápida y confiable de datos multimedia y una mayor capacidad de la red para manejar grandes cantidades de usuarios y dispositivos al mismo tiempo. 5G también mejora la eficiencia energética y reduce el tiempo de latencia en la transmisión de datos.



2.18.8. WiFi

WiFi es una tecnología de red inalámbrica que permite a los dispositivos electrónicos como computadoras, smartphones, tablets y otros dispositivos acceder a Internet sin necesidad de cables. La señal de WiFi se transmite a través de un router o punto de acceso y puede ser recibida por cualquier dispositivo compatible dentro del alcance de la señal.

2.18.9. WiMAX

WiMAX es una tecnología de red inalámbrica que permite una transmisión de datos de alta velocidad a larga distancia. WiMAX utiliza la misma tecnología que WiFi, pero ofrece un alcance mucho mayor y velocidades de transmisión más rápidas, lo que lo hace ideal para aplicaciones como el acceso a Internet de banda ancha en áreas rurales o remotas.

2.18.10. FTTH

FTTH (Fiber to the Home) es una tecnología de acceso que provee servicios de internet de alta velocidad a través de fibra óptica hasta el hogar de los usuarios. En una red FTTH, la señal óptica viaja desde la central hasta el hogar a través de un cable de fibra óptica, lo que brinda una conexión más rápida y confiable que otras tecnologías de acceso. Además, la fibra óptica permite una transmisión de datos más rápida y a largas distancias sin la necesidad de repetidores. Estas redes son esenciales para la implementación de servicios multimedia y aplicaciones que requieren alta velocidad de transmisión de datos.



2.19. SERVICIOS Y TECNOLOGÍAS BRINDADAS A TRAVÉS DE LA RED ÓPTICA PROPUESTA.

En el diseño de la red se ha contempló el servicio "triple play" el cual se refiere a un paquete de servicios de telecomunicaciones que incluye tres servicios principales: televisión por cable, acceso a Internet y servicios telefónicos. Las compañías de telecomunicaciones que ofrecen servicios de fibra óptica suelen ofrecer paquetes "triple play" que incluyen esos tres servicios.

Una red FTTH GPON (Fiber to the Home con protocolo GPON) puede ofrecer una variedad de servicios multimedia y de comunicación, incluyendo:

Banda ancha - Internet de alta velocidad: brinda velocidades de transmisión de datos mucho más rápidas que otras tecnologías de acceso.

Televisión: permite la transmisión de señales de televisión analógica, digital y programación en alta definición, la cual se puede brindar de manera convencional por señales RF o por medio de IPTV permitiendo mayor capacidad de servicios de calidad e interactivos.

VoIP (Voz sobre IP): ofrece servicios de telefonía basados en internet.

Estos son solo algunos ejemplos de los servicios que se pueden ofrecer a través de una red FTTH GPON. La tecnología GPON permite a las operadoras de telecomunicaciones ofrecer servicios de alta velocidad y fiables a los usuarios, lo que contribuye a una mejor experiencia de usuario.



2.20. BANDA ANCHA

Los servicios de banda ancha a través de fibra óptica ofrecen una conexión a Internet de alta velocidad y confiabilidad. Logrando velocidades de descarga y carga mucho más rápidas que las ofrecidas por otras tecnologías, como el cobre o el satélite.

Los servicios de banda ancha por fibra óptica incluyen:

Internet de alta velocidad: Los usuarios pueden acceder a Internet y navegar por la web a velocidades más rápidas que las ofrecidas por otras tecnologías, permitiendo mejor experiencia en cloud computing o servicios de entretenimiento.

Televisión CATV e IPTV: Los usuarios pueden ver televisión de manera tradicional con el servicio en señales RF a través de la fibra óptica o por medio de Televisión sobre IP con programas de televisión en línea o programación bajo demanda.

VoIP: Los usuarios pueden realizar llamadas telefónicas a través de la red e interconectarse con otros proveedores, utilizando la central telefónica para conectarse a la red pública de telefonía

La principal ventaja de los servicios de banda ancha por fibra óptica es la velocidad y confiabilidad de la conexión a Internet. Además, debido a que la fibra óptica no está sujeta a las interferencias electromagnéticas que pueden afectar a otras tecnologías, esto ayuda a que los usuarios disfruten de una conexión a Internet constante y estable.



2.21. TELEVISION

La televisión a través de fibra óptica es una tecnología que permite la transmisión de señales de televisión digital y programación en alta definición. Este sistema de transmisión se ha vuelto cada vez más popular en todo el mundo debido a sus múltiples ventajas, incluyendo una mayor calidad de imagen, una mayor capacidad de transmisión y una mayor fiabilidad.

Una red CATV emplea una arquitectura que nace de un nodo cabecera donde se reúnen todos los canales que se envían por la red de distribución que traslada las señales hasta los lugares de repartición enlazados a los usuarios.

Ventajas de la televisión a través de fibra óptica:

La televisión a través de fibra óptica ofrece una serie de ventajas sobre otras tecnologías de transmisión de televisión, como la transmisión por cable o por satélite. Algunas de las ventajas incluyen:

Calidad de imagen superior: La fibra óptica permite una transmisión de señales más clara y nítida, lo que se traduce en una mejor calidad de imagen en la televisión.

Capacidad de transmisión mayor: La fibra óptica permite una mayor capacidad de transmisión de datos, lo que significa que pueden transmitirse más canales y contenido de alta definición a los usuarios.

Fiabilidad: La fibra óptica es más fiable que otras tecnologías de transmisión, ya que es menos propensa a fallos causados por la interferencia electromagnética o a la degradación de la señal.

Funcionamiento:

Las señales se transmiten a través de la fibra óptica utilizando la tecnología de luz. La señal se recibe en el hogar a través de una ONT o un micronodo óptico que convierte la señal en imágenes y sonido para su visualización en un televisor.



2.21.1. Servicios de televisión por medio de fibra óptica.

En una red FTTH GPON, los servicios de televisión que se pueden demandar incluyen:

- 1) **Televisión tradicional:** canales de televisión en vivo.
- 2) **Video en demanda:** películas y programas de televisión que se pueden ver cuando se desee.
- 3) **Televisión interactiva:** servicios de televisión que permiten al usuario interactuar con el contenido, como elegir un canal, ver información adicional, o jugar videojuegos.
- 4) **Televisión por internet (IPTV):** servicios de televisión en línea que se transmiten a través de internet, similares a las opciones de plataformas como Netflix, Hulu, y Amazon Prime Video.
- 5) **Televisión de alta definición (HD):** televisión con una resolución superior a la estándar, que ofrece una experiencia de visualización más clara y detallada.

Estos servicios pueden ser ofrecidos en diferentes paquetes y precios, dependiendo de la operadora de telecomunicaciones. La oferta de servicios también puede variar dependiendo de la ubicación geográfica y la regulación local.

2.21.2. Codificación

La codificación es un proceso que convierte una señal analógica en una señal digital. En el caso de la televisión por fibra óptica, la señal se codifica para ser transmitida a través de la fibra óptica, lo que permite una mejor calidad de imagen y sonido, así como también una mayor interacción con el usuario. Hay diferentes codificaciones utilizadas en la televisión por fibra óptica, como MPEG-2, MPEG-4, y H.264, cada una con diferentes niveles de calidad y compatibilidad. La elección de la codificación depende de la demanda de los servicios de televisión por fibra óptica.



2.21.3. Digitalización

La digitalización de la televisión por fibra óptica se refiere al proceso de convertir la señal analógica a formato digital para su transmisión a través de una red de fibra óptica. Este proceso permite ofrecer una mayor calidad de imagen y sonido, además de la posibilidad de ofrecer nuevos servicios y contenido interactivo.

Para la digitalización de la televisión por fibra óptica, se requieren los siguientes equipos:

Encoder: Convierten la señal de televisión analógica en un formato digital para su transmisión a través de la fibra óptica.

Modulador: Modula la señal digital para su transmisión en la red de fibra óptica.

Decodificador / ONT: Decodifica la señal de televisión digital para su visualización en el televisor.

Estos equipos permiten una transmisión de señal más confiable y eficiente, y son esenciales para ofrecer servicios de televisión por fibra óptica a los usuarios finales.

2.21.4. Compresión

La compresión es un proceso importante en la televisión digital por fibra óptica. La compresión permite reducir el tamaño de los datos que se transmiten, lo que aumenta la eficiencia de la transmisión y permite ofrecer una mayor cantidad de canales y servicios en una misma frecuencia.

Existen diferentes estándares de compresión utilizados en la televisión digital, como MPEG-2, MPEG-4, H.264, H.265, entre otros. Cada estándar ofrece diferentes niveles de calidad y eficiencia, por lo que es importante seleccionar el adecuado para cada situación.

La compresión también permite ofrecer servicios interactivos y multimedia adicionales, como la grabación de programas, la pausa y reanudación en tiempo real, el acceso a contenido en línea, entre otros.



2.21.5. Modulación

La modulación es un proceso en el que se convierte una señal digital en una señal analógica para su transmisión a través de la fibra óptica. Esto se realiza para adaptar la señal digital a las propiedades de la fibra óptica, ya que esta solo puede transmitir señales de luz.

Hay varios tipos de modulación, como la modulación por amplitud (AM), la modulación por frecuencia (FM) y la modulación óptica (OM). En una red de fibra óptica para televisión, se utiliza la modulación óptica, ya que permite una mayor capacidad de transmisión de datos y una mejor calidad de señal.

La modulación permite transmitir la señal de televisión desde el proveedor hasta el hogar del suscriptor a través de la fibra óptica, lo que permite una transmisión más clara y sin interferencia. Esto a su vez permite a los proveedores ofrecer una amplia gama de servicios de televisión, como transmisiones en alta definición, contenido interactivo y servicios de video en demanda.

2.21.6. Estándares

Los estándares son normas y especificaciones técnicas que se utilizan para asegurar la compatibilidad e interoperabilidad de los dispositivos y sistemas en una red de telecomunicaciones. En el caso de la televisión por fibra óptica, los estándares incluyen la modulación, la compresión de video, la codificación y otros aspectos técnicos que deben cumplirse para garantizar una transmisión de video clara y sin interrupciones, mencionados en la sección anterior.

Por ejemplo, el estándar ITU-T G.989, conocido como " Gigabit Passive Optical Network (GPON)", es un estándar que especifica las características técnicas y los requisitos para las redes GPON. Este estándar establece la modulación y la codificación utilizadas en la transmisión de video y otros servicios a través de la fibra óptica.

2.21.7. TV digital

La televisión digital es un sistema de transmisión y recepción que utiliza tecnologías digitales para mejorar la calidad de imagen y sonido.



Existen diferentes estándares para la televisión digital, algunos de los más conocidos son:

ATSC (Advanced Television Systems Committee): Este estándar se utiliza en Norteamérica y Corea del Sur para la transmisión de televisión terrestre digital.

DVB (Digital Video Broadcasting): Este estándar se utiliza en Europa y otros países para la transmisión de televisión terrestre, por satélite y por cable.

ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting): Este estándar se utiliza en Japón, Brasil y otros países de América Latina para la transmisión de televisión terrestre digital.

DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting): Este estándar se utiliza en China para la transmisión de televisión terrestre digital.

En general, los estándares de televisión digital tienen como objetivo mejorar la calidad de imagen y sonido, ofrecer una mayor cantidad de canales, servicios interactivos y permitir una mejor utilización del espectro de frecuencias, cada uno de los estándares son en realidad un conjunto de normas que abarcan diversos aspectos de la modulación, transmisión, recepción e interacción en el equipo terminal.

2.21.8. Estándar de televisión digital en Nicaragua

Nicaragua ha iniciado la modernización de la tecnología para el servicio de televisión abierta. El primer paso fue la adopción de la norma para Televisión Digital Terrestre llamada Sistema de Radiodifusión Digital de Servicios Integrados – Terrestre (ISDB-T por sus siglas en inglés) en la versión japonesa-brasileña ISDB-Tb, la cual es también adoptada en la mayoría de los países de Latinoamérica. El proyecto de implementación de la Televisión Digital Terrestre en Nicaragua se está llevando a cabo con el apoyo del Gobierno de Japón.

Desde el año 2018 está al aire la señal digital de Canal 6 con formato ISDB-Tb, lanzada el 23 de marzo y cubriendo el casco urbano de la ciudad capital Managua. Desde entonces se ha venido desarrollando las bases técnicas, jurídicas, sociales y financieras



necesarias para comenzar la implementación con el encendido digital hasta llegar al apagón analógico proyectado para el año 2026.

Con ISDB-T los televidentes nicaragüenses pueden disfrutar de una mejor calidad de imagen y sonido, así como de nuevos servicios interactivos.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, por sus siglas en inglés) ha definido la HDTV (Televisión en alta definición) como un sistema de televisión que ofrece una resolución significativamente mayor que la televisión estándar y que proporciona una calidad de imagen más detallada y realista. La HDTV también se caracteriza por una relación de aspecto de 16:9, en lugar de 4:3 en la televisión estándar, lo que significa que la imagen se ve más ancha. La UIT ha definido HDTV en la ITU-R BT.709 bajo las siguientes características:

- HDTV23 (alta definición total o “Full HD”): 1080 X 1920.
- HDTV (Alta definición): 720 x 1280.
- EDTV (Enhanced Definition Television) apareció con la finalidad de solventar las carencias del SD (estándar definición) y tiene la misma cantidad de líneas que al PAL (Phase Alternating Line) o el NTSC (National Television Standards Committee) pero de aspecto 16:9 y con barrido progresivo.
- SD NTSC: 480 X 640.
- SD PAL: 576 x 768.

La identificación de las definiciones de imagen sigue un estándar, por ejemplo 1080p25 corresponde a una definición de 1080 líneas (1920 píxeles por líneas) en que los cuadros se presentan progresivamente uno tras otro y a 25 cuadros por segundo, es decir se reproducen a razón de un cuadro (frame) por cada 0.04 segundo. De la misma forma 720p25 es de una imagen de 720 líneas (y por tanto 1280 píxeles por línea) a la misma velocidad que la anterior.

El formato 720i50 es similar al 720p25 salvo que como es entrelazado se reproduce la mitad de las líneas en cada barrido y la otra mitad en el siguiente. De esta forma se barre



totalmente la imagen en el siguiente. De esta forma se barre totalmente la imagen a $50/2=25\text{Hz}$. (de León, 2009)

2.21.9. IPTV

IPTV es el acrónimo de "Televisión por Protocolo de Internet". IPTV es una tecnología que permite la transmisión de señales de televisión a través de una red de internet en lugar de la tradicional transmisión a través de señales de televisión por cable o satélite.

Con IPTV, los canales de televisión se transmiten a través de internet en formato de paquetes de datos, lo que permite una mayor flexibilidad y una amplia gama de funciones y servicios adicionales. Esto incluye la posibilidad de ver programas y películas a pedido, pausar, reanudar y retroceder la transmisión en tiempo real, y de acceder a una guía electrónica de programación detallada.

IPTV es una forma cada vez más popular de acceder a la televisión y se utiliza en todo el mundo, es una tecnología innovadora que combina la calidad de la televisión tradicional con la flexibilidad y las funciones adicionales de internet, lo que permite una experiencia de visualización más enriquecedora para los usuarios.

Los componentes clave de IPTV incluyen:

Servidor de transmisión: Este es el corazón del sistema IPTV, encargado de codificar los contenidos multimedia y transmitirlos a través de la red IP.

Red IP: La red IP es la infraestructura que permite la transmisión de los paquetes de datos que contienen los contenidos multimedia.

Decodificador: El decodificador es un dispositivo que se conecta a la red IP y recibe los paquetes de datos codificados, descodificándolos y convirtiéndolos en contenidos multimedia visualizables.

Contenidos multimedia: Los contenidos multimedia incluyen programas de televisión en directo, programas a la carta, películas, música y otros contenidos multimedia.

Sistema de gestión de contenidos (CMS): Este es un sistema de software que permite la gestión, la distribución y la programación de los contenidos multimedia.



Interfaz de usuario: La interfaz de usuario es la parte visible del sistema IPTV y proporciona una experiencia de visualización fácil de usar para los usuarios.

Sistema de facturación: Este sistema se encarga de llevar un registro de las suscripciones y los pagos de los usuarios.

Estos componentes trabajan juntos para proporcionar una experiencia de televisión digital de alta calidad y accesible para los usuarios. La interacción entre los componentes es crucial para garantizar la eficiencia y la estabilidad del sistema IPTV.

En cuanto a los anchos de banda, estas son variables según el tipo de contenido, siendo necesarios mayores ancho de banda para deportes o películas con muchos cambios de imagen.

Tabla 3 Velocidades requeridas para IPTV

Calidad	MPEG2	MPEG4
Estándar Definition (SD)	4 Mbps	1.5 Mbps
High Definition (HD)	15 Mbps	8 Mbps

MPEG-2 y MPEG-4 son dos estándares de codificación de video que se utilizan en IPTV.

A continuación, se describen las principales diferencias entre los dos estándares:

- **Compresión de video:** MPEG-2 utiliza una técnica de compresión de video menos eficiente que MPEG-4, lo que significa que MPEG-2 requiere un ancho de banda mayor para transmitir el mismo contenido que MPEG-4.
- **Calidad de video:** MPEG-4 proporciona una calidad de video superior a MPEG-2, ya que utiliza una técnica de compresión más eficiente que permite una mejor resolución y detalle en la imagen.
- **Interactividad:** MPEG-4 permite una mayor interactividad en el contenido, como la capacidad de incluir elementos multimedia adicionales, como imágenes y texto, en la pantalla.



- **Eficiencia en la gestión de recursos:** MPEG-4 es más eficiente en la gestión de recursos que MPEG-2, lo que significa que es posible transmitir más canales simultáneamente con una menor cantidad de ancho de banda.

MPEG-4 ofrece una calidad de video superior, una mayor interactividad y una mejor eficiencia en la gestión de recursos que MPEG-2. Por esta razón, muchos proveedores de IPTV están migrando hacia MPEG-4 para ofrecer una experiencia de televisión más avanzada a sus usuarios.



2.22. VOIP

VoIP (Voz sobre IP) es una tecnología que permite hacer llamadas telefónicas a través de una red de datos, en este caso la fibra óptica. Esta tecnología convierte la señal de voz en paquetes de datos y los transmite a través de la red, permitiendo una transmisión más eficiente y con mejor calidad de sonido que la tradicional telefonía por circuito, las funciones básicas que debe realizar un sistema de voz sobre IP son: digitalización de la voz, empaquetado de la voz y enrutamiento de paquetes, esto permitirá que el tráfico de Voz sobre IP pueda circular por cualquier red IP.

La fibra óptica ofrece una mayor capacidad de ancho de banda y menos pérdidas de señal que otras tecnologías de redes de datos, lo que permite una transmisión de audio más clara y sin interrupciones. Además, el uso de fibra óptica permite la implementación de características avanzadas de VoIP, como la transmisión de video, la conferencia de audio y la integración con otras aplicaciones de comunicación.

VoIP en una red de fibra óptica está estructurado de la siguiente manera:

- **Servidor VoIP:** administra las llamadas y las características avanzadas de VoIP.
- **Gateway VoIP:** convierte la señal de voz en paquetes de datos y los transmite a través de la red.
- **Router/ONT:** permite la conexión de los equipos a la red.
- **Teléfonos:** Dispositivos que permiten hacer y recibir llamadas a través de la red.

En una red FTTH, la señal óptica se envía directamente desde la central hasta la vivienda del usuario, lo que significa que la velocidad y la calidad de la conexión a Internet son muy superiores a las de otras tecnologías. Esto permite una experiencia de VoIP de alta calidad, con llamadas claras y sin interrupciones.

2.22.1. Codificación

La codificación es un proceso crucial para la conversión de la señal de audio analógica en datos digitales para su transmisión por la red. Existen varios estándares de codificación utilizados en VoIP, como G.711, G.722, G.723, G.729, etc. Cada uno de ellos ofrece diferentes niveles de calidad de audio y ancho de banda.



La elección de un estándar de codificación depende de varios factores, como la necesidad de calidad de audio, ancho de banda disponible y la cantidad de recursos que se disponen para procesamiento de señal. En general, la codificación G.711 es la más comúnmente utilizada en redes de fibra óptica, ya que ofrece una calidad de audio excelente, pero requiere más ancho de banda que otros estándares.

G.722 es un estándar de codificación de audio que utiliza un ancho de banda de hasta 7 kHz para proporcionar una alta calidad de audio.

G.723 es un estándar de codificación de audio que utiliza un ancho de banda más estrecho (5.3 kHz) para proporcionar una compresión más eficiente del ancho de banda.

G.729 es un estándar de codificación de audio que utiliza una compresión más avanzada para proporcionar una mayor eficiencia del ancho de banda, lo que permite una mayor cantidad de conversaciones por unidad de ancho de banda.

La elección de un estándar de codificación en particular depende de las necesidades específicas de la implementación, incluyendo el ancho de banda disponible, la calidad de audio requerida y la eficiencia del ancho de banda deseada.

2.22.2. Estándares

Para VoIP (Voz sobre IP) existen estándares entre los que destacan:

SIP (Session Initiation Protocol): es un protocolo de señalización de nivel de aplicación utilizado para iniciar, modificar y finalizar sesiones multimedia en redes IP.

H.323: es un estándar internacional para la comunicación de voz y video en redes IP, especialmente en redes LAN y WAN.

RTP (Real-time Transport Protocol): es un protocolo de transporte de tiempo real que permite la transmisión de audio y video sobre IP.

RTCP (Real-time Transport Control Protocol): es un protocolo que acompaña a RTP y proporciona información de control sobre la calidad y la entrega de los datos transmitidos.



Estos estándares establecen las normas y especificaciones técnicas para la transmisión de voz y video sobre IP, permitiendo la interoperabilidad entre diferentes sistemas y dispositivos VoIP.

2.22.3. Compresión

La compresión de VoIP en fibra óptica es un proceso que reduce el tamaño de los paquetes de datos de audio que se transmiten a través de la red. Esto permite una transmisión más eficiente de los datos, lo que se traduce en una mejor calidad de llamada y un uso más eficiente del ancho de banda. Hay diferentes estándares de compresión utilizados en VoIP, como G.711, G.722, G.723, G.729, los cuales fueron abordados en la sección anterior, estos estándares se encargan de especificar la tasa de bits y la forma en que se comprimen los paquetes de datos de audio.

Al elegir un estándar de compresión, es importante tener en cuenta factores como la calidad de la llamada, la tasa de bits requerida y la eficiencia del ancho de banda.

2.22.4. Modulación

Para VoIP en fibra óptica, la modulación se refiere a la técnica utilizada para transmitir señales de audio digitales a través de la red. La modulación se utiliza para convertir los datos de audio en una forma que pueda ser transmitida a través de la fibra óptica. Algunos de los estándares más comunes utilizados en VoIP por fibra óptica incluyen modulaciones de frecuencia (FM) y modulaciones de amplitud (AM). La modulación se utiliza para mejorar la calidad de la señal de audio y para evitar la interferencia con otros sistemas de comunicación.



2.23. VENTAJAS DE TRIPLE PLAY

El triple play en fibra óptica ofrece una serie de ventajas que mejoran la experiencia del usuario en términos de calidad de servicio y conveniencia.

Algunas de las principales ventajas incluyen:

Mayor velocidad y fiabilidad: La fibra óptica proporciona una mayor capacidad de transmisión de datos, lo que permite una mayor velocidad de internet, telefonía y televisión de alta definición.

Mejor calidad de servicio: Es menos propensa a las interferencias electromagnéticas y no sufre pérdida de señal con la distancia, lo que garantiza una mejor calidad de servicio en comparación con otros medios de transmisión.

Mayor oferta de servicios: Con el triple play en fibra óptica, los usuarios pueden tener acceso a una amplia variedad de servicios, incluyendo internet de alta velocidad, telefonía y televisión de alta definición, además de servicios adicionales como video en demanda y servicios de juegos en línea.

Mayor conveniencia: Los usuarios pueden acceder a una amplia variedad de servicios a través de una sola conexión, lo que simplifica la gestión y pago de los servicios.

Ahorro de costos: Al tener acceso a múltiples servicios a través de una sola conexión, los usuarios pueden ahorrar costos en comparación con tener que contratar servicios individuales de diferentes proveedores.

El triple play en fibra óptica ofrece una solución completa y conveniente para los usuarios que buscan mejorar su experiencia de servicios de telecomunicaciones.



2.24. DESVENTAJAS DE TRIPLE PLAY

Dominio del funcionamiento: Actualmente existe poco conocimiento teórico y práctico del funcionamiento correcto de las redes de fibra óptica, se requieren realizar mayores capacitaciones sobre todo en el ámbito de instalación domiciliar.

Competencia: La implementación de un servicio de triple play puede encontrar competencia con proveedores de servicios existentes, lo que hace que sea difícil para los nuevos proveedores de entrada en el mercado, sin embargo, la decisión de migrar a triple play por fibra óptica ya le ofrece amplias ventajas a una empresa de telecomunicaciones con la actualización de su red.

Requerimientos de hardware y software: Si es un proveedor ya existente es necesario actualizar o reemplazar el hardware y el software existente para brindar servicios triple play de alta calidad.



2.25. ELEMENTOS NECESARIOS PARA DESPLEGAR UNA RED FTTH

La limpieza, la inspección, las pruebas y la monitorización de la fibra óptica requieren equipos y capacidades de diversa índole para garantizar su efectividad en el variado panorama de las tecnologías de comunicación de hoy en día. Las herramientas avanzadas para fibra óptica permiten la certificación de expedientes, la solución de problemas y el mantenimiento, mientras que los equipos de monitorización y los dispositivos OTDR de vanguardia aseguran la sólida integridad de las delicadas redes de fibra óptica.

En conjunto, estas herramientas proporcionan los medios para implementar y sostener redes de fibra óptica vitales y mantenerlas en óptimo funcionamiento. (VIAVI SOLUTIONS, 2015)

En esta sección se clasifican las herramientas y los equipos de medición necesarios para desplegar una red FTTH y certificarse que todo el despliegue se encuentra acorde a lo previsto en cuanto a potencias como en calidad de distribución e instalación de la fibra óptica.

2.25.1. Herramientas y accesorios para instalación y mantenimiento de redes FTTH

2.25.1.1 Cortadora de fibra

Es una herramienta que se utiliza para cortar la fibra óptica de manera limpia y precisa, son esenciales para garantizar que los extremos de las fibras estén limpios y libres de daños.

La mejor forma de clasificar estos dispositivos mecánicos es por el sistema de corte.

Automáticas. Se realiza el movimiento del corte desplazando la cuchilla de manera automática, generalmente tras haber realizado un movimiento previo de carga del muelle, como abrir la tapa o pulsar el botón.

Manuales. El corte del núcleo de la fibra se realiza mediante el empuje de una parte mecánica de la cortadora, este tipo de cortadoras son las más populares y se incluye en kits de instalación domiciliar.



Ilustración 41 Cortadora de alta precisión de fibra óptica y sus componentes

Fuente: <https://defibraoptica.com/cortadoras-fibra-optica/>

- 1) Regla.
- 2) Dispositivo móvil con cuchilla (pulsador en el caso de las manuales).
- 3) Cuchilla redonda.
- 4) Tapa de la cortadora.
- 5) Almohadilla de caucho para la fibra
- 6) Resorte de tapa.
- 7) Contenedor para las fibras sobrantes.
- 8) Ranura para la fibra.
- 9) Prensa con imanes.

2.25.1.2 Peladoras de fibra

Son herramientas que se utilizan para pelar el revestimiento externo de la fibra óptica hasta subdividirse llegando al hilo de fibra que transmite la señal. La peladora de fibra ayuda a preparar la fibra para el empalme, la terminación o el sangrado de la fibra, término que se utiliza para realizar fusiones en cajas de empalme durante el recorrido y obtener un cambio de ruta o conexión de la fibra.



Ilustración 42 Peladora para cable de fibra óptica diseñada para pelar el revestimiento externo
Fuente: <https://toolboom.com/es/fiber-optic-cable-stripper-dvp-10zh/>



Ilustración 43 Peladora diseñada para cables de fibra óptica con forro de alambre de acero.
Fuente: <https://toolboom.com/es/fiber-optic-cable-stripper-pro-skit-cp-fb01/>
Esta peladora se utiliza principalmente en fibra drop para instalar servicios domiciliarios.



Ilustración 44 Peladora de cristal de 125 micrones con aislamiento de 250 micrones.
Fuente: <https://store.realoptic.com/product/herramienta-peladora-de-fibra-optica/>

Esta herramienta se utiliza para preparar la fibra óptica al momento de instalar los conectores o antes de realizar fusiones.



Ilustración 45 Herramienta para pelar el recubrimiento de hilos de fibra óptica
Fuente: <https://www.openetics.com/p.1021.0.0.1.1-herramientas-para-instalacion-de-fibra-optica.html>

Esta herramienta se utiliza en zonas donde se realizará sangrado de fibra óptica, eso permite realizar un corte paralelo al recubrimiento de la fibra óptica sin afectar los hilos internos, manteniendo la comunicación continua de los demás hilos en un área que se instalará una caja de empalme para realizar una ramificación a la red.



2.25.1.3 Localizador visual de fallos (VFL)

Es una herramienta que se utiliza para detectar problemas en las fibras ópticas, como empalmes mal hechos o roturas. El localizador visual de fallos emite una luz roja que se utiliza para identificar los problemas en la fibra óptica.



Ilustración 46 Localizador Visual de Fallas (VFL)

Fuente: <https://www.dintek.com.tw/es/index.php/dintek-pen-type-visual-fault-locator-vfl.html>

2.25.1.4 Fusionadoras de fibra óptica

Las fusionadoras son herramientas esenciales para la instalación y mantenimiento de redes de fibra óptica. Su función principal es fusionar dos extremos de fibra óptica para crear una conexión continua, lo que permite que la señal de luz pase a través de la fibra con la menor pérdida posible. Las fusionadoras utilizan un arco eléctrico para fundir los extremos de las fibras ópticas y unirlos de manera precisa y permanente.

Algunas de las ventajas del uso de una fusionadora de fibra óptica son:

- **Baja pérdida de inserción:** Las fusionadoras permiten la creación de conexiones de fibra óptica con una baja pérdida de inserción, lo que significa que la señal de luz se transmite con muy poca atenuación.
- **Alta fiabilidad:** Las fusiones de fibra óptica hechas con una fusionadora son permanentes y no requieren mantenimiento, lo que las hace más fiables que las conexiones mecánicas.



- **Ahorro de tiempo:** Ahorran tiempo en comparación con otros métodos de empalme, ya que se realizan en cuestión de segundos y no requieren herramientas adicionales.
- **Amplia gama de aplicaciones:** Se pueden utilizar en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo telecomunicaciones, transmisión de datos, medicina, investigación y muchas otras áreas.

Es importante tener en cuenta que las fusionadoras de fibra óptica son herramientas de alta precisión y deben ser operadas por personal capacitado y con experiencia. Además, a las fusionadoras se les debe realizar mantenimientos regularmente para garantizar su funcionamiento óptimo.



Ilustración 47 Fusionadora de fibra óptica

Fuente: <https://www.promax.es/esp/productos/fusionadoras-de-fibra-optica/PROLITE-41/fusionadora-compacta-de-fibra-optica/>



2.25.1.5 Microscopio de inspección de fibra

Es una herramienta que se utiliza para inspeccionar los extremos de las fibras ópticas para detectar cualquier daño o contaminación, estos pueden ser manuales o automatizados.



Ilustración 48 Microscopio óptico

Fuente: <https://www.fibraoptica hoy.com/cableado-de-fibra-optica-para-comunicaciones-de-datos-8%C2%AA-parte/>

2.25.1.6 Limpiador de adaptadores y conectores de fibra óptica

Los limpiadores de adaptadores y conectores son herramientas utilizadas para limpiar las caras de los conectores de fibra óptica, lo que ayuda a garantizar la calidad y la fiabilidad de las conexiones ópticas, esto generalmente solo se realiza cuando se hacen revisiones a servicios de clientes ya existentes y presentan deficiencia en la señal, esto podría ser una causa ya que sus conectores no son nuevos, sin embargo, si la instalación es nueva y la señal se encuentra baja respecto a lo indicado en el puerto de la caja NAP se puede proceder a la limpieza de los conectores para descartar que sea suciedad en dichos accesorios, se debe dejar claro que no solo eso provoca pérdida de señal entre la caja NAP y el domicilio del cliente, también en algunas ocasiones lo pueden causar la mala instalación de los conectores con el cable drop de servicio domiciliario.

Los limpiadores de adaptadores y conectores de fibra óptica utilizan una variedad de técnicas de limpieza, como la limpieza con alcohol isopropílico, la limpieza con aire comprimido y la limpieza con cepillos especiales. Estas técnicas ayudan a eliminar la



suciedad, el polvo y otros contaminantes que pueden acumularse en las caras de los conectores de fibra óptica y afectar la calidad de la señal.



Ilustración 49 Limpiador de fibra óptica para adaptadores y conectores

Fuente: <https://store.realoptic.com/wp-content/uploads/2020/07/oneclick-cleaner1-1.jpg>

2.25.2. Instrumentos de medición

2.25.2.1 Atenuadores

La función de los atenuadores es reducir la intensidad de la señal en una red de fibra óptica, se conectan en línea con la fibra óptica y reduciendo la intensidad de la señal en los puntos donde la señal es demasiado fuerte, estos atenuadores generalmente tienen un conector en cada extremo para que se puedan conectar fácilmente a la fibra óptica, sin embargo, en la sección 4.5 Calculos de enlace GPON se refleja que en la práctica no es utilizado este tipo de conectores para atenuar, lo que se realiza es análisis de cálculos utilizando splitters resultado en aprovechamiento optimizado de la red, sin embargo es importante conocerlo para tenerlo en cuenta si en algún momento es requerido para una situación en específico.



Ilustración 50 Atenuador mecánico

Fuente: <http://www.opticomfiber.com/info/what-is-an-optical-attenuator-what-are-the-ty-50082441.html>

2.25.2.2 Identificadores de fibra

Los identificadores de fibra óptica son herramientas utilizadas para identificar y marcar la dirección de una señal en una fibra óptica sin interrumpir la señal que está siendo transmitida. Estos identificadores se colocan directamente sobre la fibra óptica y utilizan una técnica conocida como "detección de tono" para identificar y marcar la dirección de la señal.

Para utilizar un identificador de fibra óptica, se coloca un clip o un adaptador sobre la fibra óptica y se inyecta un tono de prueba en la fibra. El tono de prueba viaja a lo largo de la fibra y puede ser detectado por un receptor que se coloca en otra parte de la red. El receptor utiliza el tono para identificar y marcar la dirección de la señal que se está transmitiendo a través de la fibra.

Existen otras variantes de identificadores de fibra óptica que no requieren la colocación de clips o adaptadores en la fibra, estos identificadores utilizan una técnica conocida como "detección de potencia" para identificar la presencia de una señal en una fibra óptica.

Para utilizar este tipo de identificador, se sostiene el dispositivo cerca de la fibra óptica que se desea identificar y se detecta la presencia de la señal óptica en la fibra midiendo la cantidad de potencia óptica que se está transmitiendo. Una vez que se detecta la señal, el identificador puede indicar la dirección de la señal y puede ser utilizado para identificar la fibra óptica correcta en una red de múltiples fibras.



Ilustración 51 Identificador de fibra óptica

Fuente: <https://www.fibramarket.com/wp-content/uploads/2019/05/Identificador-de-fibra-optica.jpg>

Los identificadores de potencia son útiles en una variedad de aplicaciones, incluyendo la instalación y mantenimiento de redes de fibra óptica, la identificación de fibras ópticas en sistemas de cableado de múltiples fibras y la resolución de problemas de la fibra óptica.

Es importante destacar que la detección de potencia tiene algunas limitaciones, ya que no puede identificar la dirección de la señal con tanta precisión como la detección de tono, y no funciona con señales que tienen niveles de potencia muy bajos. Por lo tanto, es importante elegir el tipo adecuado de identificador de fibra óptica para la tarea específica que se está realizando.

2.25.2.3 Optical power meter

Un Optical Power Meter (OPM) es un instrumento de medición óptica que se utiliza para medir la potencia óptica en la fibra.

Los OPM están diseñados para medir la potencia óptica en diferentes longitudes de onda de la luz y en diferentes tipos de fibra. Estos equipos son capaces de medir la potencia óptica en diferentes rangos, desde micro vatios (μW) hasta mili vatios (mW) y también pueden medir la potencia óptica en diferentes unidades de medida, como decibelios (dBm) y porcentaje (%).



Ilustración 52 Optical Power Meter
Fuente: <https://m.media-amazon.com/images/I/51g8mu9d9aL.jpg>

Los OPM son esenciales para la instalación, mantenimiento y resolución de problemas de redes de fibra óptica, ya que permiten a los técnicos medir la potencia óptica de la señal que se transmite a través de la fibra y asegurar que la señal óptica se transmita de manera eficiente, además, los OPM se utilizan para medir la atenuación lo que permite a los técnicos identificar y solucionar problemas relacionados con la pérdida de señal en una fibra óptica.

2.25.2.4 OLS - Optical Light Source

OLS es el acrónimo de "Optical Light Source" (Fuente de luz óptica, en español). Es un equipo utilizado en la industria de las telecomunicaciones para generar una señal que se utiliza en la medición de la pérdida de inserción de una fibra óptica o la atenuación de un enlace de fibra óptica.

El OLS es utilizado en combinación con un medidor de potencia óptica para medir la atenuación, la señal generada por el OLS se inyecta en una extremidad de la fibra óptica, mientras que el medidor de potencia se utiliza para medir la potencia óptica en la otra extremidad de la fibra. La diferencia de potencia entre las dos extremidades de la fibra óptica se utiliza para calcular la atenuación del enlace de la fibra óptica.



Ilustración 53 Kit de pruebas con fuente de Luz Óptica OLS

Fuente: <https://www.viavisolutions.com/es-mx/productos/smartpocket-v2-ols-35v2-ols-36v2-fuentes-de-luz-optica>

Los OLS son importantes en la instalación y mantenimiento de redes de fibra óptica, ya que permiten a los técnicos medir la atenuación y asegurar que la señal óptica se transmita de manera eficiente a través de la fibra.

2.25.2.5 OTDR - Optical Time Domain Reflectometer

Los Reflectómetros ópticos en el dominio del tiempo OTDR por sus siglas en inglés (Optical Time Domain Reflectometers) son herramientas de medición que se utilizan para caracterizar y analizar la fibra óptica. Estos dispositivos emiten pulsos de luz hacia la fibra óptica y miden la cantidad de luz que se refleja y la cantidad que se transmite, lo que permite a los técnicos determinar la longitud, atenuación y ubicación de los problemas de la fibra óptica.

El principio de funcionamiento de un OTDR se basa en la reflectometría en el dominio del tiempo, estos equipos emiten pulsos de luz en la fibra óptica y miden la cantidad de luz reflejada en cada punto de la fibra. La señal reflejada por un punto específico de la fibra óptica depende de las propiedades ópticas de ese punto, como la reflectividad y la pérdida de señal, el OTDR utiliza esta información para crear un perfil de la fibra óptica, que muestra la longitud y la atenuación, así como la ubicación y la magnitud de cualquier pérdida o reflectividad anormal.



Ilustración 54 OTDR

Fuente: <https://m.media-amazon.com/images/I/71sg4RuDBJL.jpg>

El perfil generado por el OTDR se representa gráficamente como una curva que muestra la atenuación de la señal en función de la longitud de la fibra óptica. Esta curva se conoce como una "traza OTDR". Los técnicos utilizan las trazas OTDR para identificar y solucionar problemas, tales como empalmes mal realizados, roturas en la fibra, curvas excesivas y otros problemas que puedan afectar la calidad de la señal óptica.

2.25.2.6 Multímetro óptico

Un multímetro óptico, también conocido como multímetro de fibra óptica (OFM) o medidor de fibra óptica, es una herramienta portátil integrada y avanzada de pruebas que reúne en una única solución las características y las funciones de numerosas herramientas de fibra óptica convencionales. Entre estas funciones, se incluyen la inspección de la fibra óptica, la medición de la potencia, la certificación de enlaces de fibra y la localización visual de fallos (visual fault location, VFL).

El multímetro óptico representa una categoría nueva de instrumentos de fibra óptica que encaja a la perfección entre las herramientas de VFL básicas, y los medidores de potencia óptica y dispositivos OTDR más avanzados que requieren una configuración y una formación complejas.



Ilustración 55 Multímetro Óptico

Fuente: <https://www.viavisolutions.com/es-mx/productos/optimeter>

Potencia óptica, pérdida óptica y pérdida óptica por retorno (ORL): estos valores de un enlace se pueden medir de manera precisa con una única conexión y con solo pulsar un botón, las funciones de pruebas de detección de fallos de los mejores multímetros ópticos pueden centrarse en la presunta causa raíz de los problemas del enlace.

Solución de problemas “sobre la marcha”: con ayuda de un multímetro óptico, los técnicos pueden identificar y localizar fácilmente componentes defectuosos de un enlace de fibra, conexiones defectuosas, curvaturas excesivas en la fibra o roturas de la fibra cuando las pruebas de campo de OTDR no son viables.

Su práctica pantalla ayuda a identificar correctamente los fallos, de modo que el diagnóstico y, si es necesario, la reparación se pueda completar mientras el técnico aún se encuentre en el proceso de instalación. Así se minimizan los errores en las derivaciones y los trasposos, así como el despliegue de la fibra realizado por los técnicos.

Prácticas de detección de fallos ciegos: los segmentos de fibra óptica, los conectores o los dispositivos de los equipos de las instalaciones del cliente, por ejemplo, las ONU y ONT de las redes PON/FTTH, se sustituyen en base a conjeturas fundamentadas del modo de fallos, por lo que son métodos que resultan caros y exigen mucho tiempo, y que se pueden evitar mediante un multímetro portátil de fibra óptica que caracterice completamente el enlace de fibra.



Características de automatización: junto con la conectividad inalámbrica, simplifican el almacenamiento de datos, el envío de informes y el seguimiento de las órdenes de trabajo, lo que permite a los técnicos centrarse en las tareas que tienen entre manos. Los resultados de las pruebas se pueden guardar y organizar en informes de manera automática.

2.25.3. Kit de instalación domiciliar

Los kits de instalación FTTH GPON son conjuntos de equipos y herramientas necesarios para la instalación de una red de fibra óptica hasta el hogar utilizando la tecnología de red óptica pasiva.



Ilustración 56 Kit de instalación domiciliar GPON

Fuente: <https://tiendasmart.pe/wp-content/uploads/2021/10/Kit-de-instalacion-FTTH.jpg>

Es importante destacar que la instalación de una red FTTH GPON requiere de conocimientos y habilidades especializadas, por lo que es importante contar con profesionales capacitados y certificados en la instalación y configuración de estas redes.



2.26. ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA ODN.

2.26.1. Fibra óptica feeder - troncal

La fibra óptica troncal es una parte crítica de un Centro de Operaciones de Red (NOC) que brinda servicios de internet, televisión y telefonía, este es el medio de comunicación de alta velocidad y capacidad que conecta los diferentes nodos de la red, permitiendo la transmisión de grandes cantidades de datos a través de largas distancias.

En la fibra óptica que funciona como feeder o también llamada troncal se utilizan técnicas avanzadas de multiplexación para maximizar la capacidad de la fibra óptica troncal, lo que permite que múltiples señales de datos se transmitan simultáneamente a través de un solo hilo de fibra óptica.

La elección de la fibra óptica troncal dependerá de la cantidad de hilos necesarios para cubrir las zonas de despliegue de la señal y de la capacidad de la red, es importante considerar la reserva de hilos para su utilización en caso de fallas o para futuras expansiones, estos hilos de reserva se pueden utilizar para interconectar puntos en la ruta de la red, retransmitir señal hacia la central o incluso para reutilización de un hilo cuando otro ha sufrido problemas en la ruta.

No hay una norma específica que indique el porcentaje de hilos que se debe utilizar y el porcentaje de reserva que se debe dejar en un cable de fibra óptica, el número de hilos y la cantidad de reserva dependerán de las necesidades específicas de la red.

Sin embargo, se recomienda que se deje una cantidad adecuada de hilos de reserva para garantizar que la red pueda manejar cualquier problema o cambio futuro en la demanda del servicio, el porcentaje de reserva dependerá de diversos factores, como el tipo de servicio que se proporciona, la cantidad de tráfico que se espera en la red y el número de usuarios finales.

La línea de cable feeder es el cable óptico que conecta la central de telecomunicaciones (OLT) con los puntos de acceso (ONT) en el último kilómetro, la línea de cable feeder es la parte principal de la red de fibra óptica y se encarga de transportar los flujos de datos, es importante que esta línea cumpla con las especificaciones técnicas necesarias para



garantizar un correcto funcionamiento de la red y una buena calidad de servicio para los usuarios finales.

Por lo tanto, es importante que los proveedores de servicios de telecomunicaciones realicen un análisis cuidadoso de las necesidades de su red y utilicen las mejores prácticas de la industria al diseñar y construir la red de fibra óptica.

2.26.2. Splitters ópticos

Los splitters ópticos son dispositivos pasivos que se utilizan para dividir una señal de fibra óptica en varias señales de menor potencia, lo que permite que una señal de fibra óptica se distribuya a múltiples destinos, un splitter óptico recibe una señal de entrada y la divide en múltiples salidas, cada una de las cuales tiene una potencia reducida en comparación con la señal de entrada original.

Los splitters ópticos pueden tener diferentes ratios de división, que se refieren a la relación entre la señal de entrada y las salidas divididas. Por ejemplo, un splitter óptico con un ratio de división de 1:2 dividirá una señal de entrada en dos salidas, cada una con la mitad de la potencia de la señal de entrada original. Otro ejemplo es un splitter óptico con un ratio de división de 1:8, que dividirá una señal de entrada en ocho salidas, cada una con una octava parte de la potencia de la señal de entrada original.

Los splitters ópticos se utilizan en muchas aplicaciones de fibra óptica, como en sistemas de telecomunicaciones, redes de cableado estructurado, redes de área local, sistemas de seguridad y monitoreo, entre otros.

Son una solución rentable y eficiente para distribuir señales de fibra óptica en múltiples ubicaciones sin necesidad de utilizar varios transmisores y receptores.

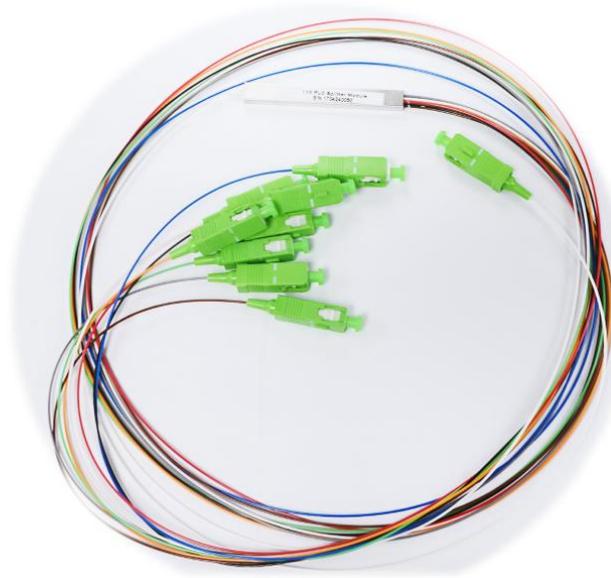


Ilustración 57 Splitter óptico 1:8

Fuente: <https://preyco.com.co/wp-content/uploads/2019/06/1x8.png>

El uso común que se le da a los splitter en una GPON es utilizar uno como splitter de nivel 1 para crear la ODN, y un splitter de nivel 2 que se encuentra en la caja NAP para brindar servicios a los usuarios.

La combinación de splitter de nivel 1 y nivel 2 lo determinara la potencia recibida, entre las combinaciones más comunes existen las que se muestran en la Tabla 4, la primera combinación no es muy recomendable utilizarla, por la poca cobertura que puede llegar a lograr, causando mayor gasto en fibra drop.

Tabla 4 Combinación de splitter de nivel 1 y nivel 2

Splitter Nivel 1	Splitter Nivel 2
1x4	1x16
1x8	1x8
1 x 8	1x16

A continuación, se muestra un diagrama básico para comprender el uso de los splitter de Nivel 1 y Nivel 2, cabe destacar que estos splitter no tienen algo en especial, únicamente



se les llama así para comprender y tener orden al momento de crear la red, al utilizar un splitter 1x8 en el nivel 1 permite crear una ODN con 8 cajas NAP, dichas cajas NAP contiene un splitter de 1x8 para obtener 8 clientes por caja, dando un total de 64 clientes por cada hilo feeder desde la central, de igual manera al utilizar un splitter de 1x4 en el nivel 1 se complementa con 4 cajas NAP conteniendo un splitter de 1 x 16, que al realizar los cálculos resultan 64 clientes, ya que se tiene una ODN de 4 cajas con 16 puertos cada una, $4 \times 16 = 64$, esta combinación no es recomendable por la poca cobertura física que se logra en una zona, sin embargo si es una ODN más cercana a la central se puede aprovechar el exceso de potencia para lograr 128 clientes con algunas combinaciones como un splitter 1 x 8 en el nivel 1, y 8 cajas NAP con splitter 1x16, dando un resultado de $8 \times 16 = 128$ clientes.

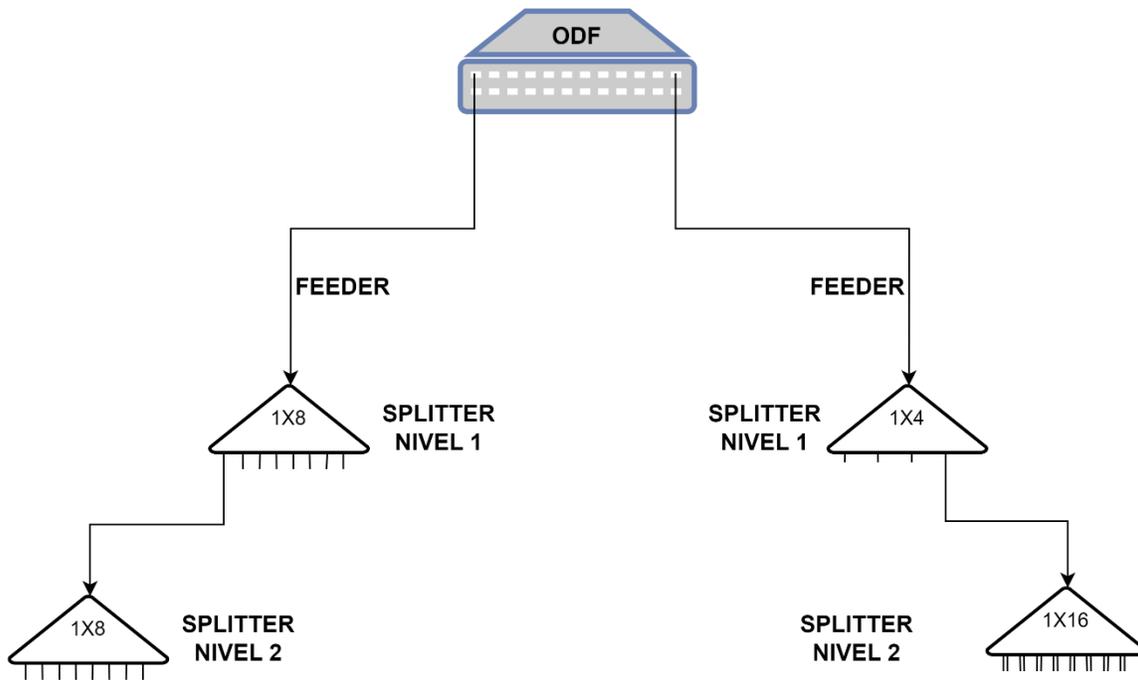


Ilustración 58 Arquitectura del uso de splitter nivel 1 y nivel 2
Fuente: Diseño propio – Software Drawio

Es importante tener en cuenta que los splitters ópticos son dispositivos pasivos y no amplifican la señal de entrada original, lo que significa que la señal se divide en múltiples



salidas, pero su potencia se reduce, por esta razón, es importante calcular el ratio de división adecuado para evitar una pérdida de señal excesiva en las salidas.

2.26.3. Cajas de empalme

Las cajas de empalme, también conocidas como mufas, son dispositivos utilizados en redes de fibra óptica resistentes a golpes, que alojan y protegen las fusiones de dos o más cables de fibra óptica protegiendo de esta manera contra condiciones ambientales como clima y agentes externos manteniendo herméticamente las uniones internas, estas cajas de empalme son esenciales para la instalación de redes de fibra óptica y son muy importantes para garantizar que la señal óptica se transmita de manera efectiva sin interrupciones.

Las cajas de empalme o mufas vienen en diferentes tamaños y formas, se utilizan para diferentes aplicaciones, dependiendo de las necesidades específicas de la red, pueden ser cajas de empalme para interiores o exteriores, y pueden ser utilizadas de manera subterráneas o instaladas en postes.

Las cajas de empalme suelen estar equipadas con bandejas de empalme en las que se colocan los extremos de los cables de fibra óptica para su unión, estas bandejas de empalme pueden contener uno o varios empalmes, según el tamaño de la caja y la cantidad de cables que se requiere empalmar.

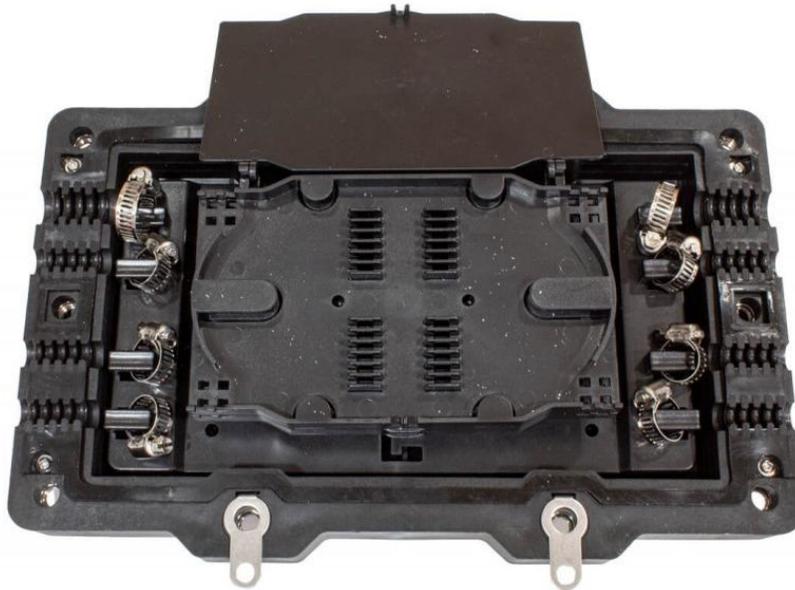


Ilustración 59 Caja de empalme – mufa
Fuente: <https://merocompsolutions.com/>

El proceso de fusión en una caja de empalme o mufa suele requerir de herramientas especializadas y capacitación técnica, ya que los empalmes deben ser precisos y limpios para garantizar una transmisión óptica adecuada.

2.26.4. Cajas de distribución NAP

Las cajas NAP permiten la interconexión entre la red feeder y la última milla hacia los clientes, están diseñadas para permitir el direccionamiento de los hilos de la fibra óptica en el tendido de la red de acceso y, también para alojar splitter de primer y segundo nivel, protegiéndolos de los agentes externos, generalmente su instalación se realiza en postes.



Ilustración 60 Caja NAP con splitter 1:8

Fuente: <https://preyco.com.co/producto/caja-nap-ref-vkob-008f2/>

Los puntos de acceso a la red, también llamadas cajas NAP deberán estar colocadas en un lugar donde se encuentran posibles clientes, es por ello que la mejor manera de aprovechar cobertura es utilizando cajas de 1:8, ya que permiten tener más áreas de cobertura con un solo hilo troncal.

2.26.5. Conectores

Los conectores ópticos son dispositivos utilizados para unir los extremos de los cables de fibra óptica para permitir la transmisión de la señal de luz de un cable a otro, estos conectores se utilizan comúnmente en aplicaciones de telecomunicaciones, redes de datos y sistemas de cableado estructurado.

Los conectores ópticos pueden ser de diferentes tipos, pero todos ellos tienen un diseño común que incluye un núcleo de fibra óptica rodeado por una capa de revestimiento y



una carcasa de plástico que se utiliza para proteger el extremo de la fibra. Algunos de los tipos más comunes de conectores ópticos son el conector LC, SC, MTP, ST, FC.

Cada tipo de conector óptico tiene su propia configuración de punta y mecánica de acoplamiento, lo que significa que cada tipo de conector es compatible solo con ciertos tipos de cables de fibra óptica y receptáculos de conexión. Además, los conectores ópticos pueden tener diferentes grados de pulido de la punta, como el pulido PC (conector de pulido físico), el pulido UPC (conector de pulido ultrafino) y el pulido APC (conector de pulido angular).



Ilustración 61 Conectores de fibra óptica

Fuente: <https://community.fs.com/es/blog/understanding-fiber-optic-connector-types.html>

En el caso específico de esta investigación se concentra en los dos tipos de conectores que tienen mayor uso e incidencia al momento de crear la red FTTH.

Los dos tipos de conectores más populares en redes FTTH son el conector SC (Subscriber Connector) y el conector LC (Lucent Connector). El conector SC es de tamaño estándar y cuenta con un mecanismo de acoplamiento de "empuje y tire", mientras que el conector LC es más pequeño y utiliza un mecanismo de acoplamiento de clic.

Ambos tipos de conectores pueden venir en diferentes colores de carcasa, pero en general, el conector azul se utiliza para identificar la conexión de fibra óptica que proporciona servicios de internet en una red FTTH. Por otro lado, el conector verde a menudo se utiliza para identificar la conexión de fibra óptica que proporciona servicios de



televisión en una red FTTH, sin embargo, la elección del color de los conectores puede variar según la normativa de cada empresa o región, por lo que no es una regla universal.

Es importante tener en cuenta que el color de los conectores no afecta la funcionalidad ni la capacidad de estos, la elección del color se utiliza simplemente como una forma de identificación visual para facilitar el mantenimiento y la solución de problemas en la red FTTH.

Al momento de trabajar con fibra óptica en una NOC, será evidente el mayor uso que se le da a los conectores SC, pero estos se subclasifican en dos tipos:

- conectores SC/APC
- conectores SC/UPC

Ambos conectores tienen un diseño rectangular y están fabricados con materiales resistentes y duraderos, sin embargo, la diferencia principal entre ellos es la terminación de la punta.

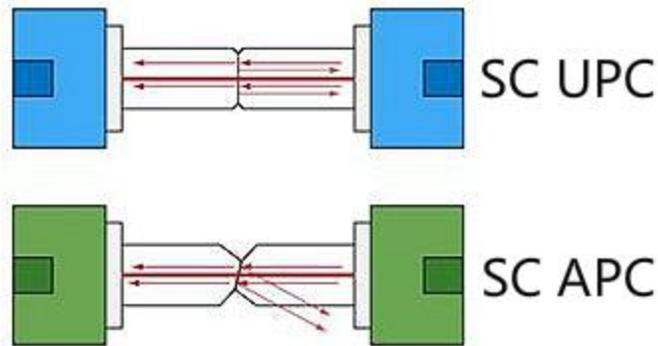


Ilustración 62 Conectores SC/UPC y SC/APC

Fuente: <http://www.fibresplitter.com/news/fiber-sfp-module-compatibility-with-apc-upc-24260379.html>

El conector SC/APC (Angled Physical Contact) se caracteriza por tener una terminación en ángulo oblicuo, lo que permite reducir las pérdidas de señal y aumentar la calidad de la transmisión, esto se debe a que la superficie en ángulo oblicuo del conector reduce la reflexión de la luz en la punta, disminuyendo así la pérdida de señal.



El conector SC/APC se utiliza comúnmente en aplicaciones donde se requiere una transmisión de alta calidad, como en sistemas de televisión por cable, telefonía y transmisión de datos a larga distancia.

Por otro lado, el conector SC/UPC (Physical Contact) tiene una terminación plana en la punta, lo que lo hace más económico y fácil de fabricar en comparación con el conector SC/APC. El conector SC/UPC se utiliza principalmente en aplicaciones de corta distancia, como en redes de área local (LAN) y sistemas de fibra óptica para edificios.

En cuanto al color, el conector SC/APC generalmente se identifica con una tapa verde, mientras que el conector SC/UPC se identifica con una tapa azul, el color de la tapa no tiene relación directa con el tipo de señal que se transmite a través del conector, sino que es más bien una convención de la industria para ayudar a identificar rápidamente el tipo de conector que se está utilizando.

2.26.6. Caja terminal de acceso

La caja terminal de acceso permite colocar la fusión de la fibra de acceso o cable de acometida con el patchcord de fibra que se conecta en la ONT. Comúnmente está diseñada para montaje en pared en el interior de la casa del cliente.



Ilustración 63 Caja terminal de acceso
Fuente: <https://merocompsolutions.com/producto/>



2.27. EQUIPOS Y ACCESORIOS REQUERIDOS EN UNA CENTRAL DE OPERACIONES DE RED (NOC) PARA BRINDAR LOS SERVICIOS PREVISTOS.

La Central de Operaciones de Red (NOC, por sus siglas en inglés), también conocida como Centro de Control de Red es un centro de operaciones donde se monitorea y se controla la red de fibra óptica, incluyendo los servicios de internet, televisión y telefonía que se ofrecen a través de ella, en la NOC se realizan tareas como la gestión de la red, la detección y resolución de problemas técnicos, el monitoreo del rendimiento de la red y la seguridad de esta, entre otras funciones.

2.27.1. Equipos

2.27.1.1 Decodificadores de TV

Los decodificadores de televisión son dispositivos electrónicos que se utilizan para decodificar señales de televisión digital o satelital y permitir su visualización en un televisor o monitor, para el caso de la central de operaciones de red se necesitan los decodificadores para captar las señales de televisión y redistribuirlas a los moduladores.

Existen diferentes tipos de decodificadores de televisión, entre ellos:

Decodificadores de televisión digital terrestre (TDT): se utilizan para recibir y decodificar las señales de televisión digital terrestre.

Decodificadores de televisión satelital: se utilizan para recibir y decodificar las señales de televisión de un proveedor de servicios de televisión satelital.

2.27.1.2 Moduladores de televisión

En una NOC los moduladores de TV se utilizan para convertir las señales de video y audio de los canales de televisión en señales de radiofrecuencia que pueden ser transmitidas a través de la red de distribución de televisión.

Es ahí donde se da la primera unión de equipos, desde el decodificador de los canales de tv se conectan a los modulares de televisión, en los cuales se asigna la numeración para los canales.



Existen varios tipos de moduladores de TV, entre los cuales se incluyen:

- a) **Moduladores de televisión analógicos:** Estos moduladores convierten señales de video y audio en señales analógicas de radiofrecuencia para distribución a través de una red de distribución de televisión.

- b) **Moduladores de televisión digitales:** Estos moduladores convierten señales de video y audio en señales digitales de radiofrecuencia para distribución a través de una red de distribución de televisión digital.

El proceso de modulación digital implica varios pasos:

- **Codificación:** La señal de video y audio digitales se codifica para comprimir la información y reducir la cantidad de datos que se transmiten. El estándar de televisión digital más común es el MPEG-2, aunque también existen otros estándares, como el MPEG-4 y el H.264.
- **Modulación:** La señal de video y audio digital codificada se modula en una señal de radiofrecuencia, la modulación convierte la señal digital en una señal analógica, que puede ser transmitida a través de la red de distribución de televisión digital.
- **Multiplexación:** Varios canales de televisión digital se combinan en una sola señal de radiofrecuencia para su transmisión a través de la red de distribución, la multiplexación se utiliza para maximizar la eficiencia del ancho de banda de la red de distribución, en la multiplexación, cada canal de televisión digital se divide en múltiples flujos de datos, incluyendo la señal de video, la señal de audio y los datos de control, estos flujos de datos se combinan en una sola señal de transporte, que se multiplexa con otros flujos de datos para formar una sola señal.

Una vez que la señal de video y audio digital se ha convertido en una señal de radiofrecuencia, puede ser transmitida a través de la red de distribución de televisión digital, en el extremo receptor, la señal de radiofrecuencia se convierte nuevamente en una señal de video y audio digital para su reproducción en un televisor o receptor digital.



En ausencia de moduladores de TV en una NOC, no sería posible distribuir las señales de televisión a través de la red de distribución.

2.27.1.3 Combinador

La pieza donde se conectan los moduladores y se une la señal se llama un "combinador" o "mezclador", este dispositivo se utiliza para combinar dos o más señales de entrada en una sola señal de salida, en el caso de la televisión por cable, los moduladores de diferentes canales se conectan al combinador para que la señal de todos los canales se combine en una sola señal que se transmite a través de la red de cable.

Hay diferentes tipos de combinadores, incluyendo combinadores de frecuencia y combinadores de potencia, los combinadores de frecuencia se utilizan para combinar señales de diferentes frecuencias, mientras que los combinadores de potencia se utilizan para combinar señales de diferentes niveles de potencia. En cualquier caso, el combinador es una parte importante de la infraestructura de una red de telecomunicaciones que se utiliza para combinar o separar señales de manera eficiente y efectiva.

Los combinadores se pueden utilizar tanto en una cabeza de red (headend) analógica como en una digital, aunque en una red digital se utilizan tecnologías diferentes para concertar las señales.

En una red de televisión digital, las señales de video, audio y datos se comprimen y se adoptan en un flujo de datos digital que se transmite a través de la red de cable, en este caso, los combinadores no se utilizan para combinar las señales individuales, sino para combinar los flujos de datos digitales.

Por lo tanto, aunque los combinadores son comunes en redes analógicas, en redes digitales se utilizan tecnologías diferentes para combinar las señales y transmitirlas a través de la red de cable.

2.27.1.4 Servidores de contenido

En la presente investigación no se implementa el sistema de video bajo demanda (VOD), pero si se deja una introducción breve en cuanto al funcionamiento del servicio VOD, en



los cuales se requieren de servidores de contenido los cuales son equipos informáticos que se utilizan para almacenar, administrar y distribuir contenido multimedia, como video, audio, imágenes y otros datos a través de una red de telecomunicaciones, estos servidores pueden ofrecer servicios de transmisión de video bajo demanda (VOD), televisión en vivo, música y otros tipos de contenido multimedia.

El servidor de contenido funciona como un repositorio centralizado de contenido multimedia que puede ser accedido por los usuarios a través de la red, los usuarios pueden solicitar el contenido mediante un navegador web o una aplicación especializada, y el servidor de contenido se encarga de enviar el contenido solicitado al dispositivo del usuario.

Los servidores de contenido suelen estar equipados con discos duros de alta capacidad y software de administración de contenido para gestionar y distribuir el contenido multimedia a través de la red de telecomunicaciones, también pueden utilizar tecnologías de compresión de video y otros algoritmos de procesamiento de señales para optimizar la transmisión de datos y mejorar la calidad del contenido.

2.27.1.5 Transmisor 1550

El transmisor 1550 se utiliza en sistemas de fibra óptica para transmitir señales de datos, voz y video a través de largas distancias, la longitud de onda 1550 nm es muy utilizada en aplicaciones de telecomunicaciones debido a que presenta una menor atenuación en la fibra óptica, lo que permite una transmisión de señales a mayores distancias con una menor pérdida de señal.

El transmisor 1550 está diseñado para convertir una señal eléctrica en una señal óptica, estos transmisores pueden ser de diferentes tipos, como los transmisores directos o los transmisores externos.

En el caso de los transmisores directos, la señal eléctrica se convierte directamente en una señal óptica mediante un diodo láser o LED (diodo emisor de luz) que se encuentra dentro del mismo transmisor, por otro lado, los transmisores externos utilizan un diodo



láser externo para generar la señal óptica, la cual es luego inyectada en el transmisor para su transmisión a través de la fibra óptica.

El transmisor 1550 se conecta a la entrada de fibra óptica del EDFA (Amplificador Óptico de Fibra Dopada con Erblio), el cual amplifica la señal óptica y la distribuye a través de la red de fibra óptica.

En general, los transmisores 1550 son ampliamente utilizados en sistemas de telecomunicaciones, ya que su longitud de onda es compatible con la mayoría de los amplificadores ópticos, como los EDFA, lo que permite una transmisión de alta calidad a largas distancias.

Algunas marcas y modelos de transmisores 1550 populares para CATV son:

- Thor Fiber H-HDMI-RF
- Blonder Tongue HDE-4S-PRO
- PVI VECASTER-HD-HDMI
- ZeeVee HDb2620
- Thor Broadcast H-HDMI-RF
- C-COM Satellite CHAMELEON-1-DUAL

Es importante tener en cuenta que existen muchas otras marcas y modelos de transmisores de 1550 nm en el mercado, y la elección de un modelo específico dependerá de las necesidades y requisitos de cada red en particular.

2.27.1.6 Central telefónica

La central telefónica en una NOC (Network Operations Center) es un dispositivo que se utiliza para conectar las llamadas telefónicas entre los usuarios de una red de telefonía.

En una NOC, los equipos se conectan a la central telefónica a través de una serie de dispositivos de red como routers, switches y multiplexores, los routers se utilizan para enrutar los datos de manera eficiente y segura a través de la red, mientras que los switches se utilizan para conectar los dispositivos de red en la misma red local, los multiplexores se utilizan para combinar varios canales de señales en una sola fibra óptica.



Una vez que se recibe una llamada, el equipo que opera como central telefónica procesa la información del número de teléfono del llamante para determinar a qué destino debe ser enrutada la llamada. El enrutamiento de la llamada puede ser a otro número de teléfono dentro de la misma red telefónica o a un número externo en otra red telefónica de otra compañía o región.

Este equipo también se encarga de controlar y supervisar el tráfico de llamadas en la red telefónica, además, el equipo telefónico puede proporcionar servicios de valor añadido a los usuarios de la red telefónica, como la identificación de llamadas, el desvío de llamadas, la conferencia telefónica, entre otros.

En una red óptica, la comunicación se realiza mediante pulsos de luz que se envían a través de la fibra óptica representando los datos hasta llegar a la central telefónica.

Los datos se reciben y se procesan en la central telefónica, donde se realizan operaciones como la conmutación de paquetes y la multiplexación de señales.

Para conectar una central telefónica en una red GPON de televisión, internet y telefonía, se necesitan varios componentes y una configuración específica.

La señal eléctrica de la central telefónica se conecta a un router o switch que se encarga de la gestión de la red de datos, este router o switch debe estar configurado para permitir el tráfico de voz a través de la red.

Existen varios modelos de centrales telefónicas, pero los más comunes son los siguientes:

- **Centrales telefónicas basadas en tecnología IP (Internet Protocol):** Estas centrales utilizan señales de voz convertidas a paquetes de datos para su transmisión a través de la red IP, para conectar estas centrales a la red GPON, se necesita un Gateway de voz que convierta la señal de voz en paquetes de datos compatibles con la red.



- **Centrales telefónicas basadas en tecnología TDM (Time Division Multiplexing):** Estas centrales utilizan señales eléctricas para transmitir la voz a través de la red telefónica, para conectar estas centrales a la red GPON, se necesita un convertidor de medios que convierta la señal eléctrica en señal óptica.

A continuación, se mencionan algunos modelos y marcas según la clasificación de diseño para trabajar con redes ópticas:

Centrales telefónicas basadas en tecnología IP:

- Avaya IP Office
- Cisco Unified Communications Manager (CUCM)
- Asterisk PBX
- 3CX
- XORCOM
- Mitel MiVoice

Centrales telefónicas basadas en tecnología TDM:

- Alcatel-Lucent OmniPCX Enterprise
- NEC SV9100
- Panasonic KX-TDE600
- Siemens HiPath 4000
- Nortel Meridian

Es importante tener en cuenta que la compatibilidad de estas centrales telefónicas con la red GPON dependerá de varios factores, como las especificaciones técnicas de cada equipo y las necesidades específicas de la red.

2.27.1.7 Terminal de línea óptica – OLT

OLT son las siglas de "Optical Line Terminal" (Terminal de Línea Óptica, en español), y se refiere a un equipo utilizado en las redes de fibra óptica para proporcionar servicios de banda ancha a los usuarios finales. La OLT es el punto de conexión entre la red de fibra óptica y los equipos de usuario, como las ONT.



- a) **Funcionamiento de la OLT:** La OLT se encarga de gestionar y controlar la conexión de los equipos de usuario a la red de fibra óptica, recibiendo las señales ópticas de los usuarios y las convierte en señales eléctricas para procesarlas en la red de telecomunicaciones.
- b) **Estructura de la OLT:** La OLT es un equipo de alta capacidad que cuenta con un procesador central, módulos de transmisión óptica, módulos de gestión y otros componentes necesarios para gestionar la red de fibra óptica, la estructura de la OLT depende del modelo y del fabricante, pero generalmente se compone de varios slots que permiten la expansión del equipo según las necesidades de la red.
- c) **Control de ancho de banda:** La OLT es responsable de controlar el ancho de banda de la red y de garantizar la calidad del servicio (QoS), permite limitar el ancho de banda de los usuarios según sus contratos de servicio y priorizar el tráfico de datos para garantizar una calidad de servicio adecuada, para controlar el ancho de banda también se utiliza de manera más tradicional en conexión directa de la OLT con un router con características más avanzadas.
- d) **Seguridad y autenticación:** Es responsable de garantizar la seguridad y autenticación de los usuarios en la red de fibra óptica. La OLT utiliza protocolos de seguridad, como encriptación de datos y autenticación de usuario para proteger la información y evitar el acceso no autorizado a la red.

Algunas de las OLT más populares actualmente en el mercado son:

- Huawei SmartAX MA5680T
- ZTE C320
- Nokia ISAM FX
- Adtran Total Access 5000 Series
- Cisco ME 4600 Series
- TP-Link P1201-16
- FiberHome AN5516
- Dasan Zhone MXK
- Calix E-Series



- UFiber OLT
- Edgecore Networks ASXvOLT16

2.27.1.8 Routers

Los routers que se utilizan en las NOC para administrar los clientes de la OLT son equipos especializados que se encargan de interconectar diferentes redes y proporcionar conectividad a Internet a los clientes.

Los routers en las NOC pueden variar en términos de su capacidad, características y funcionalidades, pero generalmente incluyen lo siguiente:

- a) Interfaz de red:** Los routers tienen una o más interfaces de red que les permiten conectarse a diferentes redes, como la red de fibra óptica de la OLT, la red de telefonía, la red de televisión, la red de datos, etc.
- b) Procesador y memoria:** Los routers tienen un procesador y memoria que les permiten gestionar el tráfico de red y ejecutar diferentes protocolos de comunicación.
- c) Sistema operativo:** Utilizan un sistema operativo especializado que les permite ejecutar diferentes servicios y aplicaciones, como DHCP, DNS, NAT, firewall, VPN, etc.
- d) Gestión de tráfico:** Gestionan el tráfico de red, priorizando y limitando el ancho de banda para diferentes aplicaciones y usuarios.
- e) Seguridad:** Incluyen diferentes medidas de seguridad, como firewalls, encriptación, autenticación de usuarios, control de acceso, etc.

Entre algunos modelos y marcas de Routers más utilizados en pymes del ramo de telecomunicaciones son:

- Cisco ASR 9000
- Juniper MX Series
- Huawei NE40E
- Mikrotik CCR1009
- Mikrotik CCR1036



- Nokia 7750 SR
- ZTE ZXR10

Cabe mencionar que esta lista no es exhaustiva y hay muchos otros modelos y marcas de routers que se utilizan en las NOCs, la elección del modelo dependerá de las necesidades y requisitos específicos de cada proveedor de servicios de red.

2.27.1.9 Firewalls y sistemas de seguridad

Los firewalls y sistemas de seguridad son componentes críticos de cualquier NOC y central de comunicaciones, ayudan a proteger la red contra ataques externos y a garantizar la integridad de los datos de los clientes.

Algunos de los firewalls y sistemas de seguridad más utilizados en NOCs y centrales de comunicaciones para servicios FTTH incluyen:

- **Firewall de red:** El firewall de red es el primer nivel de defensa en una red, se encarga de controlar el tráfico entrante y saliente además de bloquear cualquier tráfico malintencionado.
- **Firewall de aplicación:** El firewall de aplicación se encarga de proteger las aplicaciones y servicios específicos que se ejecutan en la red, es capaz de detectar y bloquear ataques específicos a aplicaciones y servicios.
- **Sistema de prevención de intrusiones (IPS):** El IPS monitorea el tráfico de red en busca de patrones de actividad maliciosa y puede bloquear el tráfico sospechoso antes de que llegue al destino.
- **Sistema de detección de intrusiones (IDS):** El IDS es similar al IPS en que monitorea el tráfico de red en busca de patrones de actividad maliciosa. Sin embargo, en lugar de bloquear el tráfico, alerta a los administradores de red sobre cualquier actividad sospechosa para su investigación.
- **Sistemas de gestión de seguridad (SMS):** Los SMS se utilizan para gestionar y supervisar la seguridad de la red de forma centralizada, proporcionan herramientas para el monitoreo y análisis de los registros de seguridad, el manejo de políticas de seguridad y la identificación de vulnerabilidades.



- **Sistemas de autenticación y autorización:** Estos sistemas se encargan de la autenticación y autorización de los usuarios en la red, aseguran que solo los usuarios autorizados tengan acceso a los recursos y servicios de la red.

Algunos de los proveedores más populares de soluciones de seguridad para la NOC incluyen Cisco, Juniper Networks, Fortinet, Palo Alto Networks y Check Point. Es importante tener en cuenta que la elección de un sistema de seguridad dependerá de las necesidades específicas de la red y de las políticas de seguridad de la organización.

2.27.1.10 EDFA

EDFA es el acrónimo de "Amplificadores de Fibra Dopados con Erblio".

Un EDFA es un tipo de amplificador óptico utilizado en redes de fibra óptica para amplificar la señal óptica y multiplexar servicios.

La señal óptica que viaja por una fibra óptica puede perder potencia a medida que se propaga por la fibra, esto se debe a la atenuación natural de la señal, así como a las pérdidas causadas por las conexiones y empalmes de fibra, para contrarrestar estas pérdidas se utilizan amplificadores ópticos como los EDFA.

Este equipo utiliza una fibra óptica dopada con erbio y bombea la señal óptica a través de ella para amplificar la señal, el erbio absorbe la luz a una longitud de onda específica y emite luz a una longitud de onda más larga, lo que amplifica la señal, es capaz de amplificar la señal óptica sin necesidad de convertirla en señal eléctrica y volver a convertirla en señal óptica, lo que simplifica el proceso de amplificación.

El EDFA es una tecnología clave en las redes de fibra óptica de larga distancia, ya que permite que la señal óptica se transmita a mayores distancias sin necesidad de regeneración de la señal, también se utiliza en aplicaciones como la distribución de señales de televisión por cable y satélite, así como en sistemas de comunicación por fibra óptica para empresas y centros de datos.

Algunas marcas y modelos de EDFAs (Amplificadores de Fibra Dopados con Erblio) populares son:



- Fujitsu FLASHWAVE 9500
- Ciena 4200 Series
- Huawei OSN 9800
- ZTE NetNumen U31
- Alcatel-Lucent 1626 Light Manager (LM)

2.27.1.11 Terminales de red óptica

Los Terminales de Red Óptica (ONT, por sus siglas en inglés) son dispositivos que se utilizan en las redes de fibra óptica para conectar los dispositivos del usuario final, como computadoras, teléfonos y televisores.

La ONT se encuentra en la ubicación del usuario final y convierte la señal óptica en una señal eléctrica que puede ser utilizada por los dispositivos de red del usuario final. Además, la ONT proporciona funciones de gestión y configuración para la conexión a la red de fibra óptica.

Las ONT pueden variar en función de las necesidades de la red, pero suelen incluir puertos Ethernet para la conexión a los dispositivos de red del usuario final, puertos de telefonía para la conexión a teléfonos y salida RF para la conexión a televisores.

Algunas marcas y modelos populares de ONT incluyen Huawei EchoLife HG8240H, ZTE F660, Nokia G-240W-B y Alcatel-Lucent G-010G-A.

2.27.1.12 Ordenadores

Los ordenadores son esenciales en una NOC (Network Operations Center). Se utilizan para monitorear y administrar los equipos de red, realizar diagnósticos, actualizar firmware, realizar respaldos y restauraciones de configuraciones, entre otras tareas.

Además, también se utilizan para gestionar la base de datos de clientes y para realizar el seguimiento de las incidencias y solicitudes de los clientes, en resumen, los ordenadores son herramientas indispensables en una NOC para el correcto funcionamiento de la red y la atención al cliente.



2.27.1.13 UPS

Un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS) es un dispositivo que se utiliza para proteger los equipos de una NOC y otros dispositivos electrónicos sensibles de las fluctuaciones de voltaje y de las interrupciones del suministro eléctrico. Las UPS están diseñadas para proporcionar energía de respaldo durante un tiempo limitado en caso de que se produzca una interrupción del suministro eléctrico.

Las UPS pueden ser de diferentes tipos, incluyendo:

UPS en línea: Estas UPS proporcionan energía de respaldo continua y limpia, ya que la energía de la red eléctrica pasa a través del UPS en todo momento, la energía de la batería se utiliza solo cuando se produce una interrupción del suministro eléctrico.

UPS con modo de espera: Estas UPS pasan la energía de la red eléctrica directamente a los equipos electrónicos hasta que se produce una interrupción del suministro eléctrico. En ese momento, la UPS activa la batería y proporciona energía de respaldo.

UPS con regulación de voltaje: Protegen los equipos electrónicos de las fluctuaciones de voltaje al proporcionar una salida de voltaje estable y constante.

Las UPS son especialmente importantes en una NOC que proporciona servicios críticos como Internet, televisión y telefonía por fibra óptica. Si hay una interrupción del suministro eléctrico proporcionará energía de respaldo durante un tiempo limitado para garantizar que los equipos de la NOC sigan funcionando y que los clientes puedan seguir utilizando los servicios de comunicación.

Es importante que sean de alta calidad y que se mantengan adecuadamente para garantizar su correcto funcionamiento en caso de una interrupción del suministro eléctrico, también es importante que la capacidad sea adecuada para la carga que se va a proteger.



2.27.2. Accesorios

2.27.2.1 Patch cord de fibra óptica

Los patch cords de fibra óptica son cables de conexión cortos que se utilizan para conectar dispositivos en una NOC de telecomunicaciones, los patch cords tienen conectores de fibra óptica en ambos extremos y se utilizan para establecer una conexión óptica entre dos dispositivos, los cuales pueden ser OLT, EDFA, routers, switch, servidores y otros dispositivos que utilizan tecnología de fibra óptica. Estos cables son esenciales para garantizar una conexión de alta velocidad y baja latencia entre los dispositivos.

Los patch cords se seleccionan de acuerdo con el tipo de conector utilizado en los dispositivos a conectar, así como con el tipo de fibra óptica que se utiliza en la red, están disponibles en diferentes longitudes y tipos de fibra óptica, como monomodo y multimodo.

Es importante utilizar patch cords de alta calidad y correctamente instalados para garantizar una conexión óptica confiable y sin pérdida de señal, si se utilizan patch cords defectuosos o mal instalados, puede haber interrupciones en la señal de fibra óptica, lo que puede afectar el rendimiento de la red y los servicios que se brindan a los usuarios.

2.27.2.2 Marco de distribución óptica ODF

Un ODF (Optical Distribution Frame) es un panel de interconexión de fibra óptica utilizado para la distribución y administración de señales de fibra óptica en una red, es un componente esencial en cualquier sistema de telecomunicaciones basado en fibra óptica.

El ODF está diseñado para proporcionar una conexión centralizada para todos los cables de fibra óptica que entran y salen del equipo de transmisión y recepción, el panel de ODF consta de múltiples bandejas o cajones que contienen conectores de fibra óptica para permitir la conexión y desconexión de los cables de fibra óptica.

Los ODF pueden variar en tamaño y capacidad, desde pequeños paneles para aplicaciones de fibra óptica de baja densidad hasta grandes armarios de distribución de fibra óptica para aplicaciones de alta densidad, algunos ODF también pueden contener



componentes adicionales de la red, como splitters ópticos y amplificadores, para permitir una mayor flexibilidad en la distribución de la señal.

Los marcos de distribución óptica también son importantes para la administración y mantenimiento de la red, ya que permiten la identificación y el seguimiento de los cables de fibra óptica, lo que facilita la solución de problemas y la realización de reparaciones en caso de fallas, también permiten una mejor organización y protección de los cables y empalmes, lo que ayuda a garantizar la integridad y fiabilidad de la señal.

2.27.2.3 Gabinetes

Los gabinetes en una NOC u oficina central son estructuras metálicas diseñadas para alojar y proteger los equipos de telecomunicaciones y electrónicos, estos gabinetes pueden variar en tamaño y forma, dependiendo de la cantidad y tipo de equipos que se necesiten alojar.

En general, los gabinetes se dividen en dos tipos principales: los gabinetes de pared y los gabinetes de piso. Los gabinetes de pared se montan directamente en la pared y son ideales para instalaciones en áreas pequeñas o para alojar equipos de baja densidad, mientras que los gabinetes de piso, por otro lado, se colocan directamente en el piso y pueden ser de tamaño grande, capaces de alojar muchos equipos de alta densidad.

Los gabinetes suelen estar equipados con puertas, paneles laterales y estantes para facilitar el acceso a los equipos y su mantenimiento, también pueden incluir sistemas de enfriamiento y ventilación, como ventiladores o unidades de aire acondicionado, para evitar que los equipos se sobrecalienten, por lo general suelen alojar equipos como Routers, switches, servidores y almacenamiento de datos, OLT y otros equipos de red.

Los gabinetes deben estar diseñados para cumplir con las normas y regulaciones de seguridad, como la protección contra incendios y la gestión de cables, para garantizar la seguridad y la eficiencia de la red.



2.27.2.4 Dispositivos de seguridad física

Los dispositivos de seguridad física son herramientas utilizadas para proteger los equipos y sistemas de una NOC o de una red de telecomunicaciones en general, contra accesos no autorizados, robos o daños físicos, estos dispositivos pueden incluir cerraduras, sistemas de control de acceso, sistemas de videovigilancia, alarmas de intrusión, sensores de movimiento, entre otros.

La protección física es fundamental para garantizar la disponibilidad, integridad y confidencialidad de la información y servicios que se ofrecen a través de una red de telecomunicaciones, por lo tanto, son elementos clave para mantener la seguridad y continuidad de las operaciones de la NOC. Además, pueden ser requeridos por normativas o regulaciones que obligan a las empresas de telecomunicaciones a proteger adecuadamente sus infraestructuras y servicios.



III. DISEÑO METODOLOGICO

3.1. TIPO DE ESTUDIO.

La presente investigación tiene un tipo de estudio de carácter cualitativo puesto que se busca desarrollar el tema mediante una guía de observación implicando recopilar y analizar datos no numéricos que nos lleven a la posible solución del problema establecido.

3.2. FUENTES DE INFORMACION.

- Libros
- Revistas
- Artículos en línea
- Monografías
- Experiencias propias en el rubro

3.3. ETAPAS DE LA INVESTIGACION

La metodología que se ha utilizado para llevar a cabo el presente trabajo se basa en un diseño por fases el cual se desglosa de la siguiente manera:

3.3.1. Estudio del arte

Como principal punto del proceso de recolección de datos se hizo empleo de las fuentes primarias previamente establecidas por otros autores, entre ellos:

- Libros que abordan la temática.
- Revistas
- Monografías realizadas en otras universidades de la región latinoamericana.
- Sitios oficiales de organizaciones que estandarizan las telecomunicaciones (ITU, IEEE, TELCOR, ENATREL, entre otras)
- Artículos científicos.



3.3.2. Búsqueda de herramientas

Para la presentación de la investigación se tomaron en cuenta algunos softwares que ayudan de manera visual la comprensión del trabajo investigativo.

- Aplicación WEB TOMODAT, utilizado para la distribución de la red FTTH y simulación de conexión entre elementos que conforman la red.
- Software Draw.io utilizado para mostrar de manera visual la organización de los gabinetes en la NOC.
- Software AutoCad requerido para realizar el plano de la central de comunicaciones

3.4. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.

Variables de investigación	Propósito específico	Definición conceptual	Fuente de información	Técnica de recolección de información	Ejes de análisis
Accesibilidad a los fundamentos teóricos de las principales características de las tecnologías de Redes Ópticas Pasivas con capacidad Gigabit - GPON y su campo de aplicación.	Suministrar información que facilite la documentación del tema planteado.	Las redes GPON, o (<i>Redes Ópticas pasivas con Capacidad Gigabit</i>) son una tecnología de acceso de telecomunicaciones que utilizan cableado de fibra óptica en los últimos tramos hasta el usuario. (Alpha Telecom Solutions , 2018).	Secundaria Artículos en línea	Guía de observación Documentos de archivos	-Transmisión de datos. -Calidad de servicios. -Requerimientos actuales: velocidad, estabilidad, escalabilidad.



Variables de investigación	Propósito específico	Definición conceptual	Fuente de información	Técnica de recolección de información	Ejes de análisis
Accesibilidad a la obtención de información acerca de los componentes de una red de fibra óptica hasta el hogar.	Especificar las funciones y elementos que posee una red de fibra óptica.	Los componentes de una red de fibra óptica realizan funciones específicas que permiten el correcto funcionamiento de la misma.	Primaria Guía de observación	Guía de observación Libros Monografías	<ul style="list-style-type: none">- Componentes, equipos y accesorios.- Infraestructura de la red.
Ejemplificación del diseño de una red FTTH.	Graficar un modelo de red adaptado al urbanismo habitual que prevalece en el país.	El diseño de la red de fibra óptica es el proceso especializado que culmina con la instalación y el funcionamiento exitoso de una red de fibra óptica. (The FOA, 2014)	Secundaria Artículo en línea	Documentos de archivos Guía de observación	<ul style="list-style-type: none">- Distribución y cobertura optima de una red GPON.- Segmentación de servicios planteados.- Equipo de personal involucrado en un proyecto.



IV. DESARROLLO

4.1. DISEÑO PROPUESTO DE UNA RED DE ACCESO FTTH – GPON

En este capítulo se presenta una descripción detallada del prototipo de red FTTH, incluyendo los criterios de diseño, la localización del prototipo y la infraestructura necesaria para su despliegue, también se aborda el aspectos económico y técnico del proyecto.

La implementación de una red FTTH GPON es un proceso complejo que requiere una planificación cuidadosa y una documentación detallada, la documentación es fundamental para asegurarse de que la solución de red sea eficiente, efectiva y cumpla con los estándares técnicos requeridos, con el fin de lograr esto, se decidió crear esta investigación que recopile toda la información necesaria para la realización de proyectos de diferentes infraestructuras o requerimientos puntuales.

Este documento incluye una descripción detallada de la solución de red, el diseño y las especificaciones técnicas, así como los requisitos específicos de la red, además, incluye información valiosa sobre el proceso de implementación y despliegue de la red, incluyendo la arquitectura, los componentes, las configuraciones y los procedimientos de mantenimiento. La documentación consistente y completa proporciona una visión clara de la red y permite a los profesionales de TI implementar y mantener la red de manera eficiente.

Este capítulo proporciona una documentación detallada de las características técnicas requeridas para el despliegue efectivo de una red FTTH con tecnología GPON, se abordan aspectos clave como el diseño, la distribución de la fibra óptica y la implementación de elementos pasivos, siendo una herramienta valiosa tanto para la planificación, la instalación, la puesta en marcha y la provisión, como para el mantenimiento de la red. Es una guía esencial para todos aquellos involucrados en la implementación de redes de acceso FTTH GPON.

Los múltiples y constantes avances tecnológicos en los que se han visto envueltos los sistemas de telecomunicaciones actuales han permitido al ser humano estar a la



vanguardia de las comunicaciones; estar en permanente contacto con el mundo y bien informado, es un elemento clave para el desarrollo económico y social de los pueblos, porque contribuyen a elevar la eficiencia de producción y comercialización de un país.

En la actualidad las telecomunicaciones constituyen la columna vertebral de la economía mundial, la fibra óptica es el principal soporte de transmisión para la prestación de servicios que brindan las empresas informáticas a nivel mundial.

Las redes ópticas son esenciales en el mundo moderno debido a las siguientes razones:

Acceso a la información: Las redes ópticas proporcionan un acceso rápido y eficiente a la información y a los servicios en línea, como el correo electrónico, la navegación en la web y las redes sociales.

Comunicaciones de alta velocidad: permiten la transmisión de grandes cantidades de información a altas velocidades, lo que es esencial para las aplicaciones de comunicaciones en tiempo real, como la transmisión de video y audio.

Banda ancha: Estas redes brindan servicios de banda ancha a hogares y empresas, lo que les permite acceder a servicios en línea y aplicaciones que requieren grandes cantidades de ancho de banda.

Eficiencia en la transmisión de datos: Ofrecen una calidad de transmisión superior a la de otras tecnologías, lo que mejora la eficiencia en la transmisión de datos.

Conectividad global: Permiten la conexión de redes y sistemas en todo el mundo, lo que facilita la comunicación y la colaboración entre personas y organizaciones en todo el mundo.

Crecimiento económico: Contribuyen al crecimiento económico al proporcionar un acceso eficiente a la información y a los servicios en línea, lo que facilita la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías.



4.2. RED DE FIBRA OPTICA COMO SOPORTE PARA SERVICIOS TRIPLE PLAY.

La red de fibra óptica es un medio ideal para el soporte de servicios Triple Play, que incluyen televisión, internet y telefonía, esto se debe a las siguientes características de la fibra óptica:

- **Ancho de banda:** La fibra óptica permite la transmisión de grandes cantidades de información a altas velocidades, lo que es esencial para servicios Triple Play que requieren una gran cantidad de ancho de banda.
- **Calidad de transmisión:** Ofrece una calidad de transmisión superior a la de otras tecnologías, lo que permite una transmisión de video y audio de alta calidad.
- **Fiabilidad:** Es un medio altamente fiable que ofrece una transmisión constante y estable de datos, lo que es importante para servicios como la televisión y la telefonía.
- **Escalabilidad:** Es un medio escalable, lo que significa que se puede aumentar la capacidad de la red fácilmente para satisfacer la creciente demanda de servicios Triple Play.
- **Seguridad:** La fibra óptica es un medio seguro que ofrece una protección adicional contra la interferencia y la interceptación de datos, lo que es importante para servicios sensibles de comunicaciones.



4.3. DESCRIPCION DE LA RED GPON

La implementación de un sistema de fibra óptica en una red de acceso local puede ser realizada mediante una arquitectura activa o pasiva, y puede ser una configuración punto a punto o punto a multipunto, existen diferentes opciones para el tendido de la fibra óptica, como FTTH (fibra hasta el hogar), FTTB/C (fibra hasta el edificio o acometida), y FTTCab (fibra hasta el armario).

Una de las tecnologías más importantes en el mercado actual de telecomunicaciones es GPON (Gigabit-Passive Optical Network), que permite llegar con fibra óptica hasta el usuario final, GPON es una tecnología de acceso flexible con fibra óptica que ofrece tasas nominales de 2.4 Gbits en el flujo de bajada y 1.2 Gbits en el flujo de subida, dichas tasas nominales por puerto en una OLT (Optical Line Terminal), esto significa que cada puerto de la OLT tiene un ancho de banda asignado para la transmisión de datos en ambas direcciones, cabe destacar que la capacidad total de la red GPON depende del número de puertos en la OLT y de la cantidad de usuarios conectados a cada puerto.

Las redes GPON tienen un costo efectivo más bajo que las redes punto a punto, lo que permite satisfacer una mayor cantidad de demandas de servicios y atender necesidades en banda ancha hasta ahora no atendidas.

GPON se compone principalmente de una OLT ubicada en una Central Office que está interconectada con una ONT a través de una red pasiva llamada ODN, en el camino las señales de la fibra son distribuidas mediante el uso de splitters, que son elementos pasivos que forman parte del tendido de fibra óptica, al elegir la ubicación para instalar los splitters, es importante considerar la relación división/eficiencia para preparar la red para futuras adaptaciones tecnológicas. La posibilidad de reconfigurar el sistema para aceptar nuevos tipos de transmisión en el futuro sin necesidad de reconstruir la ODN, significa que la tecnología GPON tiene un gran potencial para evolucionar.



4.4. MODELO DE LA INFRAESTRUCTURA GPON

GPON es una tecnología de redes de acceso de fibra óptica que permite proveer servicios de telecomunicaciones a usuarios finales, la infraestructura GPON está compuesta por una serie de elementos que trabajan en conjunto para brindar una solución eficiente y de alta capacidad.

El corazón de la infraestructura GPON es la OLT (Optical Line Terminal), que se encuentra en una NOC o Central Office y es la encargada de gestionar los servicios y recursos para los usuarios finales; desde la OLT se envía la señal a través de la ODN que se encarga de distribuir las señales de fibra hasta cada hogar o edificio a través de elementos pasivos como los splitters.

La ONT es el dispositivo que se instala en el hogar o en el edificio y se encarga de convertir la señal óptica en señal eléctrica y viceversa, la ONT es el punto de interconexión entre la red GPON y el usuario final, permitiendo la conexión de los dispositivos y servicios en el hogar.

Estos elementos trabajan juntos para brindar una conexión de alta velocidad y fiabilidad a los usuarios finales, cumpliendo con los requerimientos técnicos necesarios para el despliegue de una red GPON.



4.5. CALCULOS DE ENLACE GPON

Los cálculos de enlace GPON son una parte importante del diseño y planificación de una red FTTH, estos cálculos determinan las capacidades y limitaciones de la red, permitiendo garantizar un buen rendimiento y disponibilidad de esta.

Los cálculos de enlace incluyen la evaluación de diversos factores, como la longitud de la fibra óptica, la atenuación y dispersiones, la capacidad del transmisor y receptor, y la capacidad del sistema.

Además, es importante realizar pruebas y verificaciones en la red para asegurarse de que cumpla con los requisitos especificados y ofrezca una calidad de servicio adecuada.

La inclusión de los splitters en una red de fibra óptica es vital, pero a la vez se debe realizar con cálculos para el despliegue de la red.

Los splitters dividen la señal óptica y pueden causar atenuación en la ODN. esta atenuación puede ser causada por los splitters, empalmes, ODF, conectores y la propia fibra óptica.

Tabla 5 Perdidas promedio por splitter simétrico de acuerdo con el número de vías

Splitter	Atenuación (Db)
1:2	4.0 db
1:4	7.3 db
1:8	10.5 db
1:16	13.8 db
1:32	16.8 db
1:64	20.5 db
2:4	7.6 db
2:8	11.2 db
2:16	14.2 db
2:32	17.2 db
2:64	21.3 db



Los porcentajes de perdida mostrados en la Tabla 5 son valores promedios de splitter simétricos o balanceados, esto significa que, que si tiene un splitter de 1x8 de característica simétrico dicho divisor óptico tendrá una pérdida de 10.5 db en las 8 vías de salida, al ser valores promedio los que se muestran, para obtener un cálculo de perdida real debe verificar la ficha técnica del fabricante, el cual define su producto con la leyenda **Insertion Loss (DB)** en la etiqueta del divisor óptico.

Existen otros modelos que son asimétricos pero se les conoce popularmente como desbalanceados, es decir, sus salidas no tienen la misma perdida, por ejemplo, existen 1x2 que son 20|80 lo que indican es que una salida contiene el 20% y la otra el 80%, son útiles para pruebas y mediciones en el campo, sin embargo, se debe tener mucho cuidado de no confundir las conexiones de salidas, porque puede atraer problemas en el funcionamiento de nuestra red óptica, en ocasiones, se utilizan asimétricos para obtener más clientes, esto lo determinará la calidad y cantidad de potencia recibida en una zona de la red.

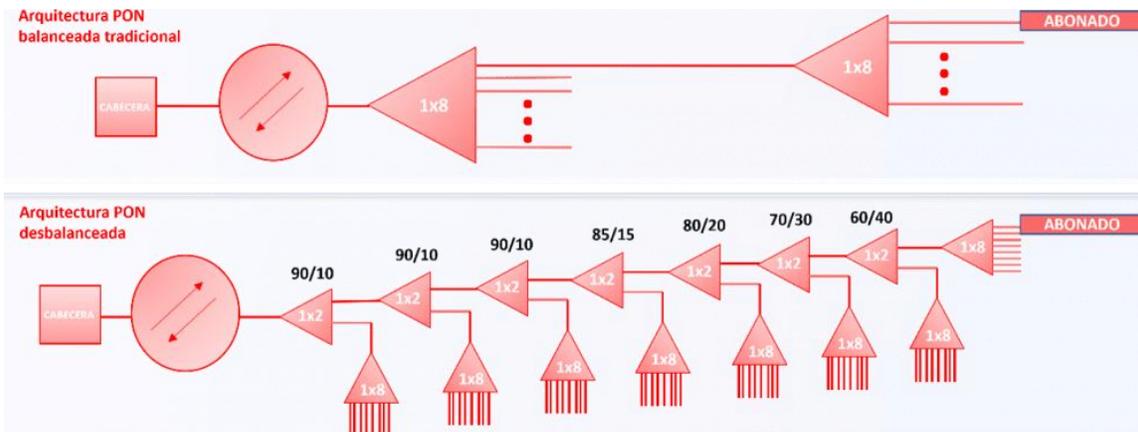


Ilustración 64 Arquitectura splitter balanceado y desbalanceado

Fuente: <https://comtec.cl/2021/08/11/redes-pon-desbalanceadas-estamos-listos-para-medirlas/>

El presente diseño se basa en valores teóricos provenientes de los fabricantes de los componentes que conforman la red ODN, este modelo de diseño es aplicable a cualquier topología de red y considera la longitud total de la ODN (feeder + distribución + usuario final). La intención es brindar una guía que sirva como referencia para aquellos que buscan implementar una red de acceso con fibra óptica GPON en diferentes entornos,



incluyendo masivos, corporativos y multiacceso, estos valores son determinados a partir de las normas ITU-T que rigen GPON, tales como:

- G.984.1: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics.
- G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification ITU-T.
- G.984.3: Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission convergence layer specification.
- G.984.4: Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): ONT management and control interface specification.
- G.984.5: Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Enhancement band ITU-T”

Para el alcance particular de este diseño, las definiciones se encuentran en las Normas G.984.1 & G.984.2. En base a lo anterior se definen los siguientes valores:

Longitud de Onda para el flujo de bajada (Downstream) en 1490 [nm] y para el flujo de subida (Upstream) en 1310 [nm].

Pérdida Promedio para el flujo de bajada por kilómetro de fibra óptica en 0.25 [dB] y para el flujo de subida en 0.31 [dB].

Además, es importante destacar que la Norma G.984.2 también establece los valores mínimos y máximos para la potencia óptica en la conexión entre la OLT y la ONT, que son los que determinan los puntos críticos para el establecimiento y caída de la conexión, así como también para la saturación. En definitiva, el modelo de cálculo se enfoca en relacionar la potencia emitida con la sensibilidad y la atenuación (pérdidas de potencia óptica) entre ambos extremos.

Debe tener en cuenta que la distancia máxima entre la OLT y la ONT es crucial para garantizar un rendimiento óptimo de la red de fibra óptica FTTH-GPON. Para asegurarse de que la señal óptica se transmite sin problemas y con una atenuación mínima, se recomienda seguir la restricción de 20 km, además es necesario considerar las pérdidas



adicionales que pueden ocurrir debido a componentes ópticos pasivos como empalmes, conectores y ODF, y agregar un margen de seguridad de 3 dB para absorber cualquier posible aumento en la atenuación de la red en el futuro.

Con el fin de garantizar una transmisión confiable y eficiente, es importante cumplir estos valores y umbrales establecidos en las Normas ITU-T.

La atenuación máxima de la red ODN no debe superar los -28 dB, esta restricción obedece a los umbrales de trabajos de los equipos OLT y ONT, para cumplir con el objetivo planteado, se considera para estos efectos el peor caso en cuanto a niveles de atenuación.



4.6. CRITERIOS DE DISEÑO

Antes de desplegar la red FTTH (Fiber To The Home), es importante tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:

Cobertura y demanda: es necesario determinar la cobertura que se ofrece y la demanda de los usuarios para garantizar una red con capacidad suficiente para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Topología de la red: la topología de la red es cuidadosamente planificada para minimizar la pérdida de señal y garantizar una alta disponibilidad.

Tipo de fibra: elegida según la longitud de onda de la señal a transmitir y la distancia a cubrir.

Equipos de red: los equipos adecuados garantizan una operación sin problemas y una capacidad suficiente para manejar el tráfico de datos.

Protección y seguridad: la red FTTH debe contar con medidas de protección y seguridad adecuadas para garantizar la privacidad y seguridad de los datos de los usuarios.

Escalabilidad: diseñada con la capacidad de escalarse en el futuro para atender las necesidades de los usuarios y la creciente demanda de datos.

Costo y presupuesto: el costo y presupuesto debe ser planificado para garantizar la viabilidad del proyecto y maximizar el retorno de inversión.

Normativas y regulaciones: considerar las normativas y regulaciones locales para garantizar el cumplimiento de las leyes y regulaciones aplicables.

Mantenimiento y soporte: contar con un plan de mantenimiento y soporte adecuado para garantizar la disponibilidad y rendimiento de la red.

Hacer una planificación adecuada antes de desplegar una red FTTH ofrece una serie de beneficios, entre los que se incluyen:



- **Reducción de costos:** la planificación cuidadosa ayuda a reducir los costos al evitar errores y retrabajos que pueden surgir debido a una mala planificación.
- **Mayor eficiencia:** una planificación adecuada permite la identificación de oportunidades de mejora y optimización de la red.
- **Mejora del rendimiento:** ayuda a garantizar la calidad y el rendimiento óptimo de la red, lo que se traduce en una mejor experiencia del usuario.
- **Reducción del tiempo de implementación:** Se reduce el tiempo de implementación, lo que permite la entrega de servicios más rápidamente.
- **Mejora de la escalabilidad:** una planificación adecuada ayuda a garantizar que la red se adapte y crezca para satisfacer las necesidades de los usuarios a medida que cambian con el tiempo.

La planificación adecuada permite garantizar que la red FTTH sea robusta, eficiente, confiable y escalable, lo que significa mayor satisfacción del usuario y, en última instancia, en un aumento en el retorno de inversión.

Para seleccionar la localización, se lleva a cabo un análisis de mercado para identificar las áreas con mayor demanda de servicios de banda ancha y donde la competencia no ofrece una calidad de servicio adecuada. Además, se analiza la infraestructura existente en la zona, incluyendo la disponibilidad de postes, ductos y otros elementos que faciliten o dificulten el despliegue de la red.

Se toma en cuenta el presupuesto disponible y la viabilidad económica del proyecto en la zona seleccionada, en algunos casos se requieren inversiones adicionales para garantizar que el proyecto sea viable y rentable.

Una vez seleccionada la zona de servicio para el prototipo, se realiza un diseño detallado de la red FTTH, que incluye el tendido de la fibra óptica y la conexión a los hogares y negocios. Es importante considerar la capacidad de la red para satisfacer las necesidades actuales y futuras de los usuarios, así como la redundancia necesaria para garantizar la confiabilidad de la red.



4.7. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El diseño de red FTTH presentado se desarrolló en la ciudad de Ocotlán, Nueva Segovia, donde se desplegó de manera virtual el tendido GPON.

Como primer paso se conoció la ruta adecuada para la Red de Transporte Óptica(OTN), verificando desde el estado de postes a utilizar, como el acceso a las áreas por donde pasó la fibra óptica, por ejemplo, si existía un incidente con la red, debería poder acceder a esa zona con facilidad, o tener las facilidades de trabajar con menor interferencia vehicular o de personas, evitar lo más posible los cambios de dirección en escuadra, eso ayuda al momento de hacer el despliegue de la fibra óptica.

Una vez realizadas las visitas al campo de trabajo y el análisis determinando las áreas para crear la ruta se procedió a plasmar dicha distribución en el software Google Earth, obteniendo de esa manera la distancia que recorrerían los cables de fibra óptica feeder que son la columna vertebral de la red, dicha OTN abastecen a las redes de distribución ópticas ODN, para el caso de esta investigación se definió el uso de fibra óptica monomodo de 48 hilos para la red de transporte óptica, la cual se deriva hacia otros sectores por medio de fibra óptica monomodo de 24 y 12 hilos dando origen a las ODN, lo que permite optimizar los recursos económicos, pues lo requerido para las demás zonas es solventado con fibra de esas capacidades, además se tomó en consideración que para las distribuciones de cajas NAP de cada ODN se utilizó únicamente fibra de 12 y 6 hilos en cualquier ubicación de la red, esto también permitió no desperdiciar recursos y poder optimizar el presupuesto.

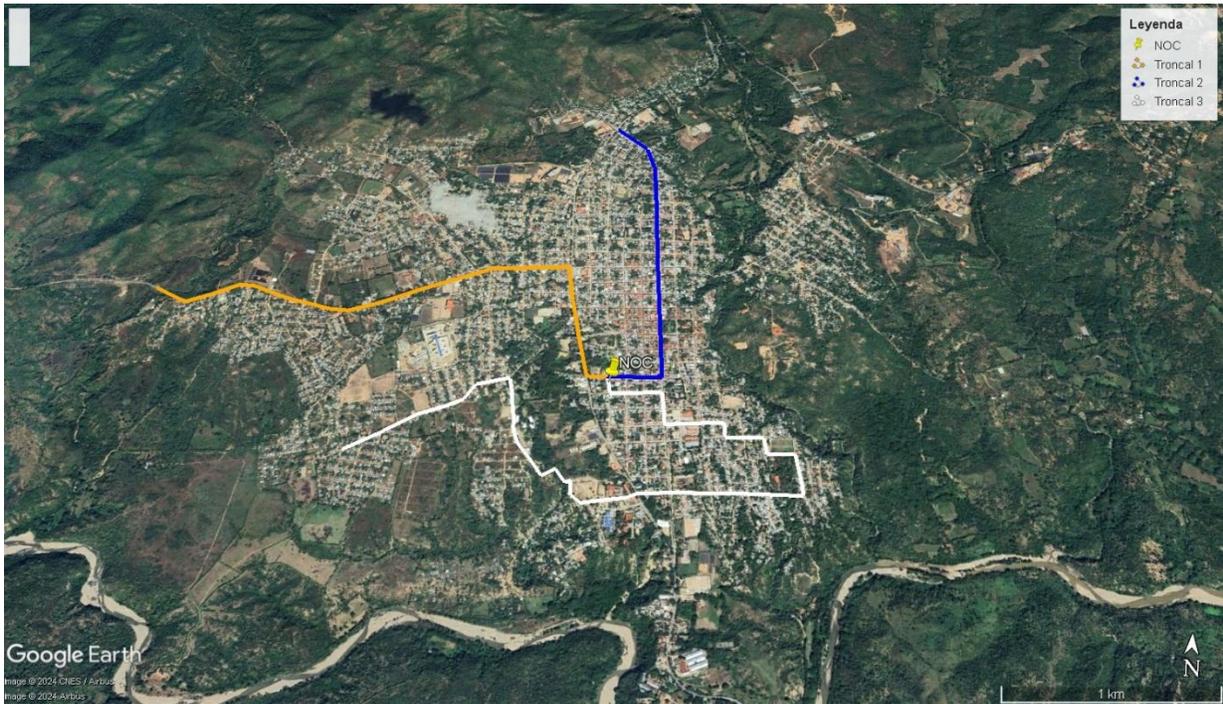


Ilustración 66 Ruta de la fibra óptica feeder
Fuente: Diseño propio – Google Earth

En la Ilustración 66 se agregó la ruta de 3 cables de fibra óptica que salen de la central de telecomunicaciones que se ubica geográficamente en las coordenadas 13°37'42.1"N 86°28'37.5"W.

Estas 3 fibras funcionan como feeder o troncal, las cuales se van redistribuyendo con otros cables ópticos de distribución de 24 y 12 hilos, los cuales continúan portando señal desde la oficina central pero derivado de uno de los troncales plasmados en la ruta principal.

La ubicación más extensa del prototipo de red se ubica en el troncal 3 el cual indica 4.77 km desde el centro de operaciones de la red – NOC, eso se observa de manera lineal, sin embargo, se convirtieron esos km a metros lo que equivale a 4,770 metros, adicional a eso se dividió esa cantidad de metros entre 200, esos 200 representan la distancia en metros en las cuales se recomienda dejar reservas de fibra óptica, para el caso de la mayor distancia se realiza la fórmula $4,770/200 = 23.85 \approx 24$, lo que indicó que ese troncal tiene 24 reservas cada 200 metros, estas reservas deben ser entre 35 a 50



metros, para este caso se utilizaron 50 metros de reserva, lo cual dió la cantidad necesaria de fibra óptica al multiplicar 24×50 , donde 24 representa la cantidad de reservas y 50 el metraje de cada una de ellas. $24 \times 50 = 1200$, esos 1200 metros se suman a las 4770 iniciales, dando como resultado $4,770 + 1,200 = 5,970$ metros, sin embargo, ese es un dato se puede redondear a 6,000 metros o más, todo en dependencia del presupuesto, pero siempre a mayor, no ha reducirlo o eliminar reservas.

Tabla 6 Cantidad de fibra troncal de 48 hilos

NO. DE TRONCAL	CANTIDAD DE RESERVAS	DISTANCIA TOTAL CON RESERVAS
1	18	4,400 metros
2	12	2,900 metros
3	24	6,000 metros
Total, de metros de fibra óptica de 48 hilos		13,300 metros

Como información importante se obtuvo el primer dato para tenerlo en cuenta en el aspecto económico, y es la cantidad de fibra óptica que se utilizó como feeder, dando un total de 13,300 metros lo que se convierte en 13.3 km de fibra óptica monomodo de 48 hilos.

4.7.1. Cálculos de potencia

Es primordial realizar cálculos de las posibles pérdidas de potencia que se tienen en una red de transmisión óptica, para calcular las potencias ópticas en una red FTTH Triple Play, es necesario tener en cuenta varios factores importantes, entre ellos:

- La distancia entre el equipo de transmisión y el receptor: cuanto mayor es la distancia, menor es la potencia óptica recibida y, por lo tanto, mayor es la pérdida de señal.
- La atenuación en los conectores, empalmes y otros elementos de la red: estos elementos causan pérdidas de señal, lo que afecta la potencia óptica recibida.
- La calidad de la fibra óptica utilizada: afecta la pérdida de señal y, por lo tanto, la potencia óptica recibida.



- La potencia de salida del equipo de transmisión: la potencia óptica del equipo de transmisión debe ser lo suficientemente alta para superar la pérdida de señal en la red y alcanzar el receptor con la potencia óptica requerida.

Si una de las variantes no cumple con las especificaciones requeridas, el rendimiento de la red se ve seriamente afectado e incluso, provocar fallas en el sistema. La ODN es la parte más vulnerable a las fallas ya que está compuesta por varios elementos pasivos que contribuyen a aumentar las pérdidas de la señal a medida que viaja por el sistema.

La señal que llega al receptor debe tener un nivel mínimo adecuado para garantizar que la señal recuperada sea idéntica a la emitida por el transmisor.

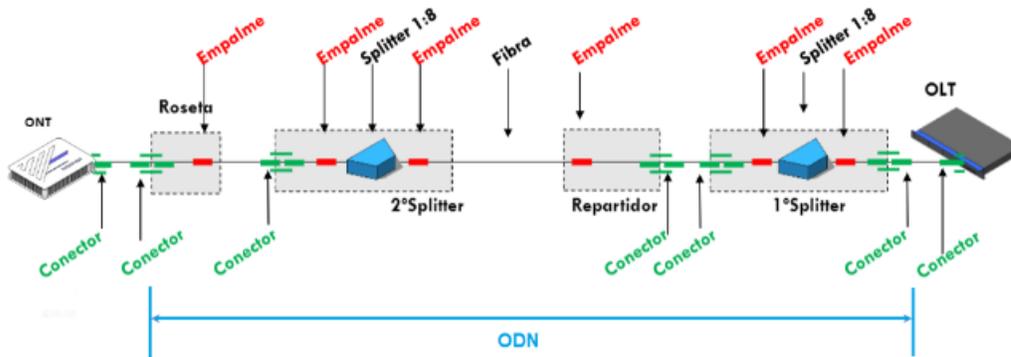


Ilustración 67 Esquema de pérdidas de potencia en GPON

Para calcular la pérdida de señal en todo el recorrido se realizaron los siguientes cálculos:

- Distancia total del recorrido de la fibra óptica en km.
- Cantidad de fusiones.
- Cantidad de conectores mecánicos.
- Cantidad y tipo de splitter que se utilizaron en el recorrido.
- Potencia de salida del EDFA ubicado en la central.

Con el OTDR se mide la distancia real de la red de fibra óptica, reflejando los empalmes, calidad de los mismo y calidad de la instalación de la fibra óptica, desde la NOC se conecta el OTDR por medio de la salida correspondiente para la prueba utilizando un patchcord el cual se conecta al ODF en el puerto según el área a testear.



4.7.2. Análisis de pérdida de potencia.

Una vez que se obtuvieron esos datos se realizaron los cálculos de potencia que recibirá el cliente.

El análisis de pérdida de potencia es fundamental para evaluar la calidad de la señal de la red y asegurar una transmisión adecuada de datos desde la NOC hasta los abonados, utilizando la fibra óptica como medio de transmisión. Las pérdidas de potencia se calculan en base a los valores de atenuación de los elementos según lo indicado por el fabricante del equipo, así como las distancias de la red de distribución del cable de fibra óptica.

Como se mencionó en la sección 4.5 Cálculos de enlace GPON, se deja un margen de seguridad de 3db de pérdida tomando en cuenta cualquier afectación a futuro como un corte a la fibra el cual ameritará una o más fusiones nuevas, además permite dar respaldo para atención a una disminución de señal, al realizar las pruebas de rutina y detectar menor potencia en una área o zona genera alerta que algo está sucediendo en la red, por lo cual se debe revisar toda la ruta con ayuda del OTDR en el hilo del sector afectado, la causa puede ser en una mufa de empalmes, la caja NAP principal o la propia NAP que se está midiendo en el momento, particularmente en las cajas de empalmes cuando se organiza la fibra es probable que en algún momento dicha fibra se desorganice y cree atenuaciones por curvas muy cerradas, en otros casos en la caja NAP principal de una ODN se presentan elementos externos como agua de lluvia o insectos, los cuales causan daños a la fibra o atenuaciones al desorganizar el splitter de nivel 1 o nivel 2, estas son solo algunas posibles causas de pérdidas de señal encontradas en el manteniendo de una red GPON.

Se propusieron dos escenarios distintos para calcular las pérdidas de potencia en el sistema. En el primer escenario se midieron las variables sobre el cliente que se encuentra más alejado de la OLT, mientras que en el segundo se midieron sobre el cliente que se encuentra más cercano a la OLT, de esta manera, se comparan los resultados entre ambos abonados y se consideraron el mejor como el peor escenario en cuanto a las distancias recorridas por el cable de fibra óptica.

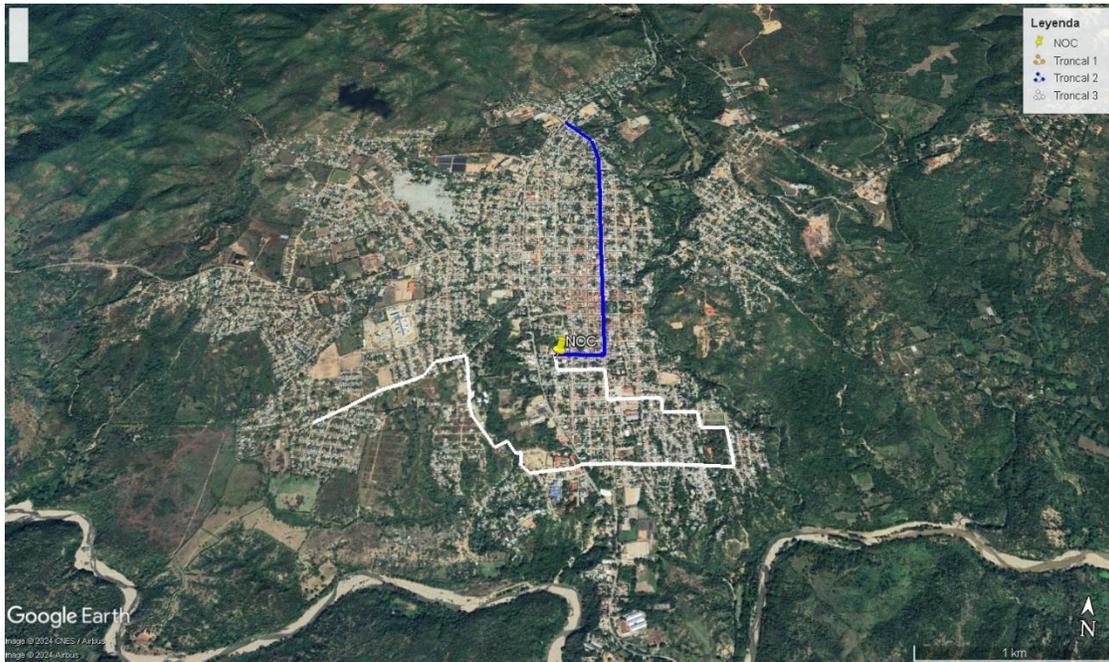


Ilustración 68 Troncales con más distancia y menor distancia
Fuente: Diseño propio – Google Earth

4.7.3. Capacidad de transmisión para el enlace de fibra óptica.

La capacidad de transmisión de un sistema de fibra óptica es su ancho de banda o su velocidad de transmisión máxima.

Por tal razón para garantizar que un enlace de fibra óptica se encuentra correctamente dimensionado se debe cumplir la relación de la siguiente ecuación, donde se considera todos los parámetros que influyen en la atenuación total del enlace.

$$p_{Rx} \leq P_{Tx} - a_{TOTAL}$$

$$p_{Rx} \leq P_{Tx} - (a_c \times n_c + a_e \times n_e + a_p \times n_p + a_s \times n_s + a \times D + M_s)$$

Donde,

p_{Rx} : Potencia de sensibilidad mínima de recepción del equipo (dBm)

P_{Tx} : Potencia de transmisión (dBm)

a_c : Atenuación para un conector óptico (dB)



n_c : Número de conectores de extremo a extremo del enlace.

a_e : Atenuación para un empalme de fusión (dB)

n_e : Número de empalmes

a_p : Atenuación de un Patch Cord (dB)

n_p : Número de Patch Cord

a_s : Atenuación de un splitter (dB)

n_s : Número de splitters

a : Atenuación para el cable óptico(dB/km)

D : Distancia total efectiva del cable de fibra óptica. (km)

M_s = Margen de seguridad (dB)

4.7.3.1 Cálculo de potencia a cliente más lejano.

En este escenario se utilizó la distancia del troncal 3 indicado en la Tabla 6, el cual muestra 6 km en la ruta de la fibra troncal que es únicamente la distancia de la Red de Transmisión Óptica OTN, pero se asumieron 1.3 km que incluye la Red de Distribución Óptica ODN y Red Óptica de Acceso AON, 3 conectores mecánicos, 4 fusiones, 2 Splitter balanceado de 1x8 y 2 Patch Cord de fibra, este ejercicio se realiza como introducción para la comprensión del cálculo de potencia, el cual se replica para las demás ubicaciones y datos de distancia real hasta el punto de acceso a la red (NAP) de ser requerido por el equipo técnico.

Tabla 7 Datos para calcular pérdida en potencia óptica del cliente más lejano

Descripción	Cantidad	Perdida Estimada	Perdida Total	Uso/Ubicación
Fibra óptica	7.3 km	0.3 db x km	2.19 db	Conexión desde la central hasta el punto de acceso.
Fusiones	4	0.1 db c/u	0.4 db	1 en el ODF. 1 en el sangrado para redistribución desde la feeder. 1 para crear la ODN.



Descripción	Cantidad	Perdida Estimada	Perdida Total	Uso/Ubicación
				1 para alimentar la NAP.
Conectores mecánicos	3	0.3 db c/u	0.9 db	1 conector mecánico interno en el ODF. 2 conectores en la acometida del cliente.
Patch Cord de fibra	2	0.6 db c/u	1.2 db	1 Patch Cord en la central. 1 Patch Cord en el cliente.
Splitter Balanceado 1x8	2	10.5 db c/u	21 db	1 Splitter 1x8 para crear la ODN 1 Splitter 1x8 del punto de acceso
Porcentaje de seguridad	1	3 db	3 db	Recomendación ante cualquier eventualidad a futuro.
TOTAL, DE PERDIDA			28.69 db	Esto se deberá restar a la potencia que transmite el EDFA.

Una vez que se conoció la pérdida total de potencia se logró saber con cuanta calidad estaría llegando hasta el cliente, en el caso de estudio se trabajó con un EDFA de 23db de potencia, luego se procedió a realizar el cálculo final que serían esos 23 db – 28.69 db que se obtuvieron en el cálculo de pérdida en la ODN de prueba realizados en la Tabla 7, $23 \text{ db} - 28.69 \text{ db} = -5.69$ lo cual indicó que está en el rango ideal, ya que la señal de televisión trabaja en rangos desde -1 a -12 ya sea digital o análoga, pero también depende de la sensibilidad de la ONT, ya que el exceso de potencia la puede dañar, en las especificaciones del equipo indica cual es el rango de potencia que es capaz de recibir, por lo general operan a cantidades a partir de -2 db, en cuanto a la señal de internet y telefonía puede ser captada de manera correcta en mediciones de potencia de hasta -28 db, tomando en cuenta que el cálculo se realizó al feeder más extenso se tiene la seguridad que en las demás zonas debe llegar excelente señal sin tener que agregar un gabinete con OLT y EDFA en otra área de la ciudad.

4.7.3.2 Cálculo de potencia a cliente más cercano.

En este escenario se utilizó la distancia del cliente más cercano el cual se consideró como el más cercano a la NOC, se tomó únicamente 100 metros lo que equivale a 0.1 km ya



que la red cubre toda la ciudad incluido el sector cercano a la oficina central de telecomunicaciones, se asumieron 3 conectores mecánicos, 4 fusiones, 2 Splitter de 1x8 balanceado y 2 patch cord de fibra óptica.

Tabla 8 Datos para calcular pérdida en potencia óptica del cliente más cercano

Descripción	Cantidad	Pérdida Estimada	Pérdida Total	Uso/Ubicación
Fibra óptica	0.1 km	0.3 db x km	0.03 db	Conexión desde la central hasta el punto de acceso.
Fusiones	4	0.1 db c/u	0.4 db	1 en el ODF. 1 en el sangrado para redistribución desde la feeder. 1 para crear la ODN. 1 para alimentar la NAP.
Conectores mecánicos	3	0.3 db c/u	0.9 db	1 conector mecánico interno en el ODF. 2 conectores en la acometida del cliente.
Patch Cord de fibra	2	0.6 db c/u	1.2 db	1 Patch Cord en la central. 1 Patch Cord en el cliente.
Splitter Balanceado 1x8	2	10.5 db c/u	21 db	1 Splitter 1x8 para crear la ODN 1 Splitter 1x8 del punto de acceso
Porcentaje de seguridad	1	3 db	3 db	Recomendación ante cualquier eventualidad a futuro.
TOTAL, DE PERDIDA			26.53 db	Esto se deberá restar a la potencia que transmite el EDFA.

Una vez que ya se conoció la pérdida total de potencia se logró saber con cuanta calidad se llega hasta el cliente, en el caso de estudio se trabajó con un EDFA de 23db de potencia, ahora se debe proceder a realizar el cálculo final que serían esos 23 db – 26.53 db que se obtuvieron en el cálculo de pérdida en la ODN de prueba realizados en la Tabla 8, $23 \text{ db} - 26.53 \text{ db} = -3.53$ lo cual indicó que se encuentra en el rango necesario para operar aun en áreas cercanas a la NOC, sin causar problemas a la ONT.



4.8. CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES EN LA RED PROPUESTA.

En la siguiente tabla se muestran las características de los elementos que conforman la red propuesta, clasificados en elementos activos y pasivos.

Tabla 9 Elementos activos propuestos

CARACTERISTICAS ELEMENTOS ACTIVOS UTILIZADOS	
<p>OLT</p> 	<p>Marca: Huawei</p> <p>Modelo: MA5680T</p> <ul style="list-style-type: none"> • Operar bajo el cumplimiento del estándar IEEE 802.3ah. • Puertos PON con una tasa máxima de spliteo 1:128 • Mínimo 2 puertos uplink GE (Gigabit Ethernet) para que se conecten mediante módulos SFP a un nodo de acceso del distribuidor principal. • Tasa de transmisión de 1.2 Gbps para subida (upstream) y 2.4 Gbps bajada (downstream). • Trabajar con WDM para operar en longitudes de onda de 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm que permiten ofrecer el servicio triple play. • Detector óptico de transmisión: IDL (Injection Laser Diode). • Sensibilidad de recepción: -28dBm • Potencia de transmisión: +5dBm • Tarjeta de administración remota bajo la utilización de protocolos como SNMP, telnet, SSH, CLI que permitan configurar a los clientes de cada puerto PON, monitorear el tráfico respectivo para la detección de fallas en la red. • Tarjeta de alimentación eléctrica a 110 – 220V AC, 47 – 63 Hz.



CARACTERISTICAS ELEMENTOS ACTIVOS UTILIZADOS	
<p>EDFA</p> 	<p>Marca : FullWell</p> <p>Modelo: FWAP-1550H-64x23</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencia nominal de salida: 23 dBm por puerto • Rango de potencia óptica de entrada: -10~+10 • Estabilidad de salida de potencia óptica: <math>\leq \pm 0.5</math> • Longitud de onda PON: 1310/1490 nm • Conectores SC/APC
<p>ROUTER</p> 	<p>Marca : Mikrotik</p> <p>Modelo : CCR1036-12G-4S-EM</p> <ul style="list-style-type: none"> • CPU 36 núcleos @ 1.2GHz, • 12 puertos Ethernet Gigabit, • 4 puertos SFP a 1.25Gbps, • Throughput de 16Gbps • Licencia RouterOS L6 • Memoria RAM 8GB, • Almacenamiento interno 1GB • Fuente de poder dual • montaje en rack • Pantalla LCD frontal
<p>TRANSMISOR OPTICO 1550</p> 	<p>Marca : FullWell</p> <p>Modelo : FWT-1550DT-N</p>



CARACTERISTICAS ELEMENTOS ACTIVOS UTILIZADOS

- Máxima calidad: el láser AOI de baja linealidad y alta linealidad y el circuito de precorrección de RF se utilizan para mantener los índices C/CTB, C/CSO y C/N en el mejor estado.
- Rango de transmisión: 20 ~ 50 kilómetros para transmisión de corta distancia.
- Fiabilidad: rack estándar de 19" 1U, fuente de alimentación de respaldo en caliente 1 + 1 de alto rendimiento incorporada, que puede funcionar en una red de ciudad de 90 ~ 265 Vac. Conmutación automática MS y control automático de temperatura del chasis.
- Excelente relación precio-rendimiento: adecuado para FTTH triple play CATV desde la cabecera hasta el usuario final.
- Intuitivo: El láser es el componente más caro del dispositivo. El software del microprocesador incorporado monitorea el estado de trabajo del láser y los parámetros de trabajo se muestran en el panel LCD.
- Tipo de administración de red: administración de red SNMP, puede realizar la función de monitoreo WEB de administración de red.

IPTV GATEWAY



Marca: SOFTEL

Modelo: SFT3508S-M

Combina la puerta de enlace IP y el servidor IPTV en una unidad. Se utiliza para escenarios de conversión de protocolo y escenarios de distribución de medios de transmisión. Puede convertir el flujo IP de la red de transmisión a través de archivos HTTP, UDP, RTP, RTSP,



CARACTERISTICAS ELEMENTOS ACTIVOS UTILIZADOS

HLS y TS en protocolos HTTP, UDP, HLS y RTMP. Además, integra un sistema IPTV y los usuarios pueden cargar fuentes de VOD en él con una gran memoria.

Entrada IP

- Datos CH 1-7(1000M): Entrada IP sobre HTTP UDP(SPTS) RTP(SPTS)
- RTSP (sobre UDP de carga útil: mpeg TS) y su
- Carga de archivos TS a través de la gestión Web

Salida IP

- Primer puerto de datos (1000M): Salida IP sobre HTTP (Unicast), UDP (SPTS, Multicast) HLS y RTMP (H.264 y programa debe ser la fuente del AAC).
- Codificación)
- Datos CH 1-7(1000M): IP sobre HTTP/su/RTMP (Unicast)

Sistema

- Memoria: 4G
- Disco de estado sólido (SSD): 120G
- Disco Duro mecánico: 4T

MODULADOR DIGITAL ISDB-T



Marca: Catcast

Modelo: HPM316

Modulación

- Estándar ARIB STD-B31 ISDBT
- Ancho de banda 6M
- Constelación QPSK... 16QAM... 64QAM
- Modo de transmisión 2K, 4K 8K
- Frecuencia RF 50 ~ 900MHz 1kHz paso



CARACTERISTICAS ELEMENTOS ACTIVOS UTILIZADOS

	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de salida de RF -20dBm ~ + 10dBm (87 ~ 117 dbμV), paso a paso de 0.1db • De salida de RF 16 salidas de transporte no adyacentes <p>Múltiplex</p> <ul style="list-style-type: none"> • Max PIDs 256 por canal • Las funciones Remapeo PID (opcional automático/manual) • PCR precisa ajuste La tabla PSI/SI genera automáticamente <p>Entrada IP</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3*128 IP(SPTS/MPTS) Entrada sobre UDP y RTP RJ45 1000M/100M • Unidifusión/Multicast
<p style="text-align: center;">ONT</p> 	<p>Marca : Huawei</p> <p>Modelo : EchoLife HG8247H</p> <ul style="list-style-type: none"> • GPON puerto WAN con 1.244Gbps / 2.488uplink <p>Funciones de enrutamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Función NAT • Internet, IPTV y VoIP se asignan automáticamente a los puertos ONT. • Servidor virtual, puerto de activación, DMZ y DDNS <p>puerto GPON</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clase B+ • Recepción sensible: -27 dBm • Longitud de onda: US 1310 nm, DS 1490 nm



CARACTERISTICAS ELEMENTOS ACTIVOS UTILIZADOS	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modo de autenticación segura: SN, contraseña o SN + contraseña • Upstream/downstream FEC <p>Puerto Ethernet</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 puertos 10/100/1000 BASE-T (RJ45) • Filtrado • VLAN Transmisión VLAN transparente <p>puerto CATV</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho de banda 54-870 MHz • Resistencia de salida 75 ohmios <p>Puerto POTS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dos puertos telefónicos • Protocolos SIP y H.248 • Separación de flujo de medios y flujo de señalización
<p>MICRONODO CATV</p> 	<p>Marca : Softel</p> <p>Modelo : SR100-WD</p> <p>CATV trabajo longitud de onda (Nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1540 ~ 1563 <p>Conector de fibra óptica</p> <ul style="list-style-type: none"> • SC/APC <p>Potencia óptica</p> <ul style="list-style-type: none"> • + 2 ~-18 (tv analógica) • + 2 ~-20 (tv digital)
<p>SERVIDOR TELEFONÍA SOFTSWITCH</p>	<p>Marca: Roytel</p> <p>Modelo: RT-EIMS5501</p>



CARACTERÍSTICAS ELEMENTOS ACTIVOS UTILIZADOS



- Roytel RT-EIMS5501 es un servidor VoIP / SIP, que proporciona una plataforma de conmutación suave con un máximo de 100,000 suscriptores y 10,000 usuarios actuales, integrando voz, datos y ricos servicios de valor agregado en un solo sistema (todo en uno) Con servicios de telefonía enriquecidos integrados, permite funciones tradicionales de PABX a su plataforma convergente VoIP

Características:

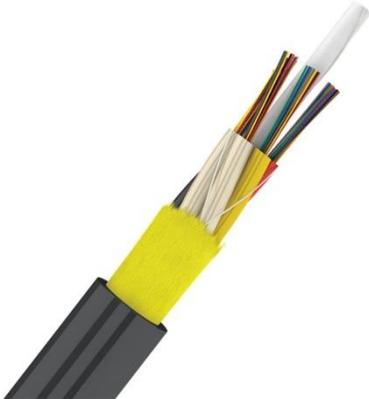
- Admite funciones de llamadas completas, conferencia, IVR, ACD, AA, grabación de llamadas y otros
- Configuración y gestión basadas en la web.
- Usuario multinivel d
- Admite voz y fax.

Funciones seleccionadas:

- Transferencia de llamada
- Desvío de llamadas
- Colgando
- Restricción de llamada
- Marcación abreviada
- Recogida de llamadas
- No molestar
- ID de la persona que llama
- Múltiples números en un teléfono
- Restricción de tiempo para llamadas salientes
- Llamar de vuelta automáticamente
- Servicio de secretaria
- Lista negra

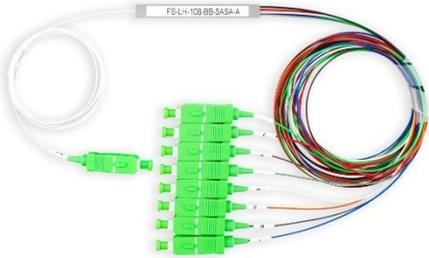


Tabla 10 Elementos pasivos propuestos

CARACTERISTICAS ELEMENTOS PASIVOS A UTILIZAR	
<p>ODF</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibra óptica de trabajo monomodo (Rec. UIT-T G.652D). • Tipo patchcord de conexión SC-SC. • Capacidad de conexión 48 hilos cada uno. • Ambiente de instalación interno. • Ubicación de instalación rack estándar 19'
<p>FIBRA ÓPTICA</p> 	<p style="text-align: center;">HILO</p> <ul style="list-style-type: none"> • El tipo de fibra debe ser monomodo, ya que son optimizadas especialmente para la transmisión en el rango de longitud de onda de 1310 nm a 1550nm. • Operar bajo el cumplimiento de la recomendación UIT-T G.652, de acuerdo con la subcategoría G.652D. • Diámetro del núcleo 8.6 μm – 9.2 μm. • Diámetro del cladding 125 μm. • Coeficiente de dispersión cromática 0.092 ps/nm² x km. • Pérdida máxima por macrocurvatura de 0.1 dB a 1625 nm

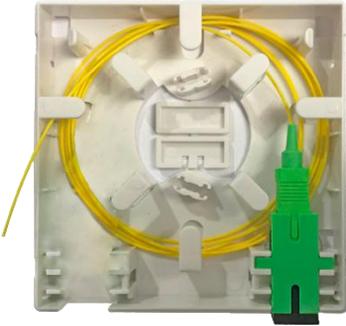


CARACTERISTICAS ELEMENTOS PASIVOS A UTILIZAR

 <p>CABLE</p>	<ul style="list-style-type: none">• Número de hilos por cable para cada red utilizada:<ul style="list-style-type: none">❖ 48 para troncal (feeder).❖ 24 para Sub-distribución.❖ 12 y 6 para ODN❖ 1 para acometida (drop).• Operar bajo el cumplimiento de las recomendaciones UIT-T G.652D (troncal y distribución) y, UIT-T G.652A1 (acometida).• Rango de longitud de onda de trabajo 1310 nm a 1625 nm.• Atenuación 1310 nm \leq 0.40 dB/km y 1550 nm \leq 0.30 dB/km.• Temperatura de operación -20 a +65°C.• Tendido aéreo.
<p>SPLITTER ÓPTICO</p> 	<ul style="list-style-type: none">• La principal misión que cumplen los splitter es dividir un hilo GPON en 64 clientes o usuarios, es decir compartir el mismo hilo de fibra óptica.• Permitir una relación de división 1x8 para cada nivel de spliteo asignado.• Conectorización mediante SC simplex, sin embargo, se recomienda realizarlo por fusión.• Operar en las longitudes de onda de 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm.• Pérdidas de inserción de aproximadamente 10.5 dB al operar con 1x8.• Presentar fácil instalación y mantenimiento.



CARACTERISTICAS ELEMENTOS PASIVOS A UTILIZAR

	<ul style="list-style-type: none">• Ambiente de instalación externo en cajas de dispersión o distribución
<p>CAJAS DE EMPALME</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Tipo domo y tipo horizontales para tendido de la fibra óptica.• Mínimo 4 puertos oval (ingreso cables fibra óptica).• Sangrado de la fibra óptica con capacidad de empalme de 48 hilos.• Ambiente de instalación externo (postes).• Tipo de instalación aérea.
<p>PUNTO DE ACCESO A LA RED - CAJAS NAP</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Ambiente de instalación externo.• Número de bandejas (cassettes) mínimo 1 para splitters 1x8.• Conectorización con SC simplex
<p>CAJA TERMINAL DE ACCESO</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Fabricada con material de plástico ABS109 con tapa desmontable.• Ambiente de instalación interno.• Tipo de conector SC simplex.• Máximo 2 puertos, 1 para conexión con la ONT y otro para adaptador óptico tipo SC o LC.• Accesorios incluidos como un pigtail (tramo pequeño de fibra pre-conectorizado), termo retráctil para empalme y adaptador.

**CARACTERÍSTICAS ELEMENTOS PASIVOS A UTILIZAR****MICRONODO PASIVO**

- Entrada de potencia óptica: -15 ~ 0 dBm
- Recibido de longitud de onda de luz: 1310 ~ 1550 nm
- Entrada de interfaz óptica : SC/APC

El servicio Triple Play se proporciona por medio de una conexión de ancho de banda de 1.25 Gbps para subida (upstream) y 2.4 Gbps de bajada (downstream), para ello se utiliza los recursos de la red para brindar los tres servicios al mismo tiempo bajo un equipo terminal único.

Por tanto, en la red GPON se utiliza tres longitudes de onda (λ), para separar los tipos de señales acordes a cada servicio que se empaqueta.

Internet y telefonía

- 1310 nm para las señales de datos y voz, en conexión upstream desde el ONT al OLT (del cliente final al nodo).
- 1490 nm para las señales de datos y voz, en conexión downstream desde el OLT al ONT (del nodo al cliente final).

Televisión

- 1550 nm para la señal de video, en conexión downstream desde la oficina central al ONT.

Par el diseño de la red de acceso se propusieron equipos que permiten generar las señales de voz, datos y video, conllevando a satisfacer la demanda del servicio Triple Play.



- ❖ El transmisor óptico 1550 se ubica en la oficina central Head End, el cual permite entregar la señal de video al cliente final, para esto, se realiza una conversión electro-óptica de la señal eléctrica de RF (transmitida en un rango de frecuencia entre 45 – 870 MHz, con un nivel de entrada RF entre 20 - 30 dBm y potencia de salida entre 4 – 20 mW) y garantiza que esta señal de salida alcance niveles ópticos funcionales en la longitud de onda de 1550 nm para poder ser emitida por la red FTTH, este elemento es solo una parte del proceso.
- ❖ El EDFA permite amplificar la señal y multiplexar los demás servicios, recibiendo la respectiva señal óptica de video RF desde el transmisor 1550 y la conexión de desde la OLT, estas señales se amplifican a niveles de potencia adecuados para la transmisión óptica.
- ❖ Un softswitch para poder brindar el servicio de telefonía. Este equipo se encarga de provisionar los números y gestionar las llamadas, permitiendo así establecer las llamadas que un cliente desea realizar. El cliente puede realizar una llamada a otro cliente de la misma red o a otro cliente que se encuentre fuera de la red de la empresa, pero dentro del país, por lo que el softswitch envía el tráfico a la PSTN (Public Switched Telephone Network) desde la red bajo la conversión de IP a TDM que usa la telefonía tradicional.
- ❖ Un router core para ofrecer el servicio de Internet de banda ancha, este equipo es el encargado de enrutar el tráfico de la FTTH, asignar IP a los clientes, ancho de banda y hace la conexión con la red del distribuidor principal de internet.

Es necesario que el equipo OLT instalado disponga de puertos (interfaces) con capacidad Gigabit Ethernet de 1 GE o 10 GE, estos puertos se usan para enlaces uplink a la red del distribuidor principal de internet o también disponer de puertos SFP (Small Form-Factor Pluggable) para las interfaces ópticas con capacidad de 10 Gbps o más.



4.9. CONFIGURACIONES REQUERIDAS EN LOS EQUIPOS

Para iniciar las configuraciones de los equipos se debe tener en cuenta que el proveedor principal del internet llega en fibra óptica hasta la NOC, posterior a eso se debe conectar por medio de un Patch cord de fibra óptica desde el proveedor principal hasta un puerto SFP del router mikrotik, si el modelo a utilizar no permite la inserción de Patch cord de fibra óptica esto se puede reemplazar por Patch cord ethernet a través de puertos Gigabit.

Una vez conectado el router a la conexión de fibra óptica del proveedor de internet, se configura para que actúe como un dispositivo de red de borde para la red de clientes. Para hacer esto, se conecta el router a la OLT (Optical Line Terminal) a través de un enlace de fibra óptica y se configura la conexión para que pueda recibir y distribuir el tráfico de internet a los clientes.

Para configurar la OLT MA5680 de Huawei se toma en cuenta que se conecta a un puerto de consola RJ45 a RS232, además de insertar el módulo SFP en la interfaz correspondiente de la OLT MA5680 y al router mikrotik, en los cuales se configuran los servicios de red necesarios en ambos equipos como el protocolo PPPoE o el protocolo DHCP.

Por ejemplo, si se utiliza el protocolo PPPoE para autenticar a los clientes en la red, se configuran los siguientes elementos:

En la OLT MA5680 de Huawei:

1. Configurar una instancia PPPoE:

```
pppoe-instance add instance-name=pppoe1
```

2. Asociar la instancia PPPoE a una interfaz física o lógica:

```
pppoe-interface add instance-name=pppoe1 gpon-olt_0/0/0:1
```

3. Configurar un perfil de servicio PPPoE que especifique la velocidad de conexión y otros parámetros:

```
pppoe-service add service-name=pppoe1 profile-name=pppoe_profile
```

4. Configurar una VLAN y asignarla a la instancia PPPoE:

```
vlan add vlan-id=100 port=gpon-olt_0/0/0:1
```



```
ont-srvprofile gpon profile-id 10 service-type internet gempport-id 1 vlan-id 100 bind-type vlan
```

```
service-port gpon 0/0 ont-port 1 gempport 1 multi-service user-vlan 100 vlan-mode tag service-profile 10
```

5. Asociar el perfil de servicio PPPoE a la instancia PPPoE:

```
pppoe-instance bind instance-name=pppoe1 service-name=pppoe1
```

En el router MikroTik:

1. Configurar una interfaz PPPoE que se conecta a la instancia PPPoE en la OLT MA5680:

```
/interface pppoe-client add add-default-route=yes disabled=no interface=sfp1 name=pppoe-out1 password=contraseña user=nombre_de_usuario service-name=pppoe1
```

2. Configurar una dirección IP para la interfaz PPPoE:

```
/ip address add address=192.168.2.1/24 interface=pppoe-out1
```

3. Configurar un servidor DHCP para asignar direcciones IP a los clientes de la red:

```
/ip dhcp-server add address-pool=dhcp-pool disabled=no interface=bridge-local name=dhcp1
```

```
/ip dhcp-server network add address=192.168.2.0/24 dns-server=8.8.8.8 gateway=192.168.2.1
```

Es importante tener en cuenta que esta configuración es solo un ejemplo y estas son variables en base a las necesidades de la red y equipos elegidos.

En la siguiente sección se describe con mayor detalle las configuraciones requeridas.



4.9.1. Configuración de router

En la siguiente sección se muestran capturas de pantallas del sitio web de referencia en cada una de las fuentes de información donde se obtuvieron las imágenes, esto debido a la dificultad para que una empresa pueda otorgar acceso a la configuración de un equipo y poder realizarlas personalmente para mostrarlas en esta investigación monográfica, como es evidente no es algo que se realiza de manera cotidiana o rutinariamente, sin embargo en base a la experiencia se puede validar que efectivamente así es como se configuran dichos equipos. (ADMIN OLT, 2021)

Router a ser configurado = Mikrotik CCR1036-12G-4S-EM

Los datos IP ingresados en este capítulo son de ejemplo. El diagrama presenta la conexión física a seguir cuando se cuenta con fibra óptica para hacer una conexión SFP.

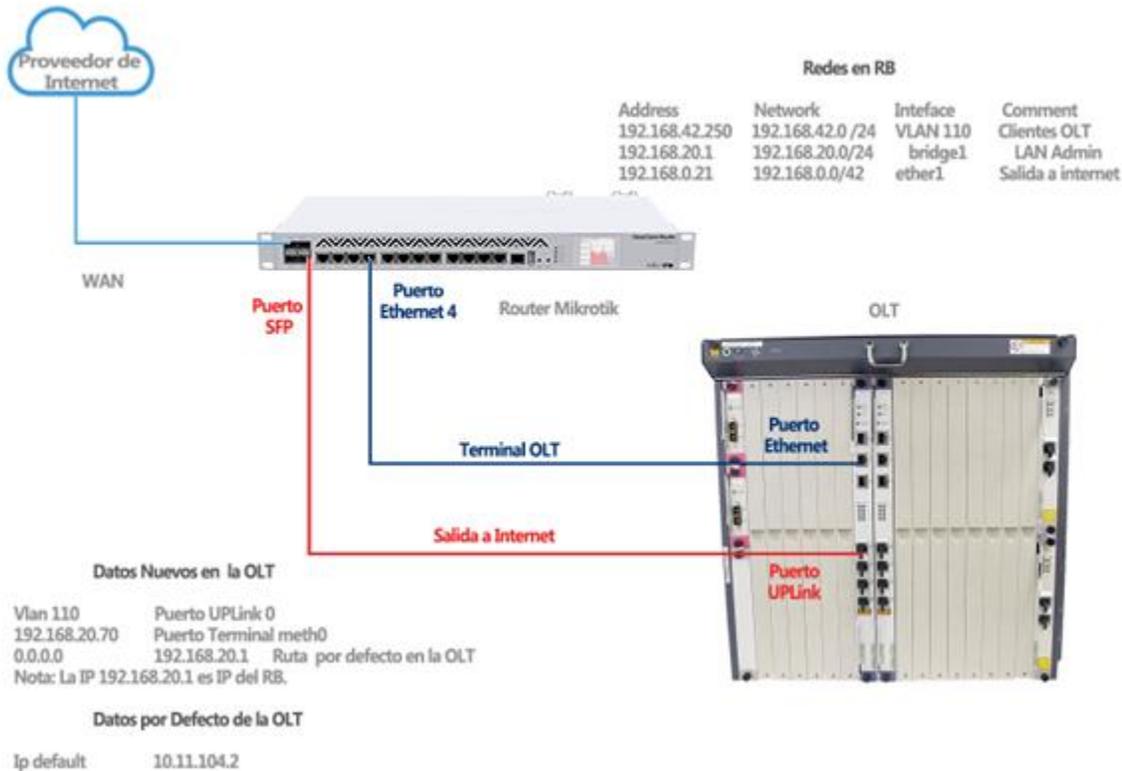


Ilustración 69 Diagrama de conexión entre router y OLT

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>

Adaptada con el router core en photoshop



Primeramente, se comprueba que el router mikrotik tiene acceso a internet, el router recibe el internet del proveedor principal.

Esta prueba se realiza desde la consola de mikrotik realizando un ping:

Comando requerido:

```
ping 8.8.8.8
```

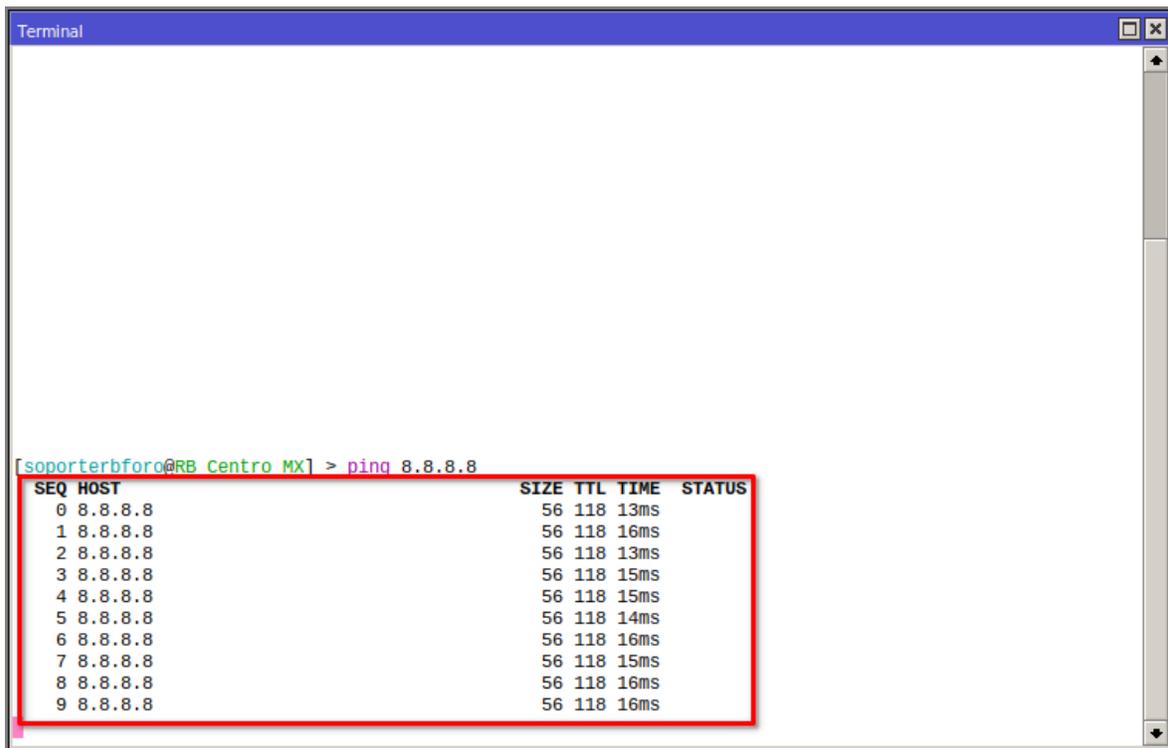


Ilustración 70 Ping para verificar conexión a internet

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>



BRIDGE

Se crea un bridge para poder asignar una IP de la red default de administración de la OLT y también poder asignar una IP para cambiar a la red default.

En el apartado de Bridge en el menú del Router se crea la interfaz bridge1 y así poder agrupar los puertos que estarán trabajando en la red de la OLT.

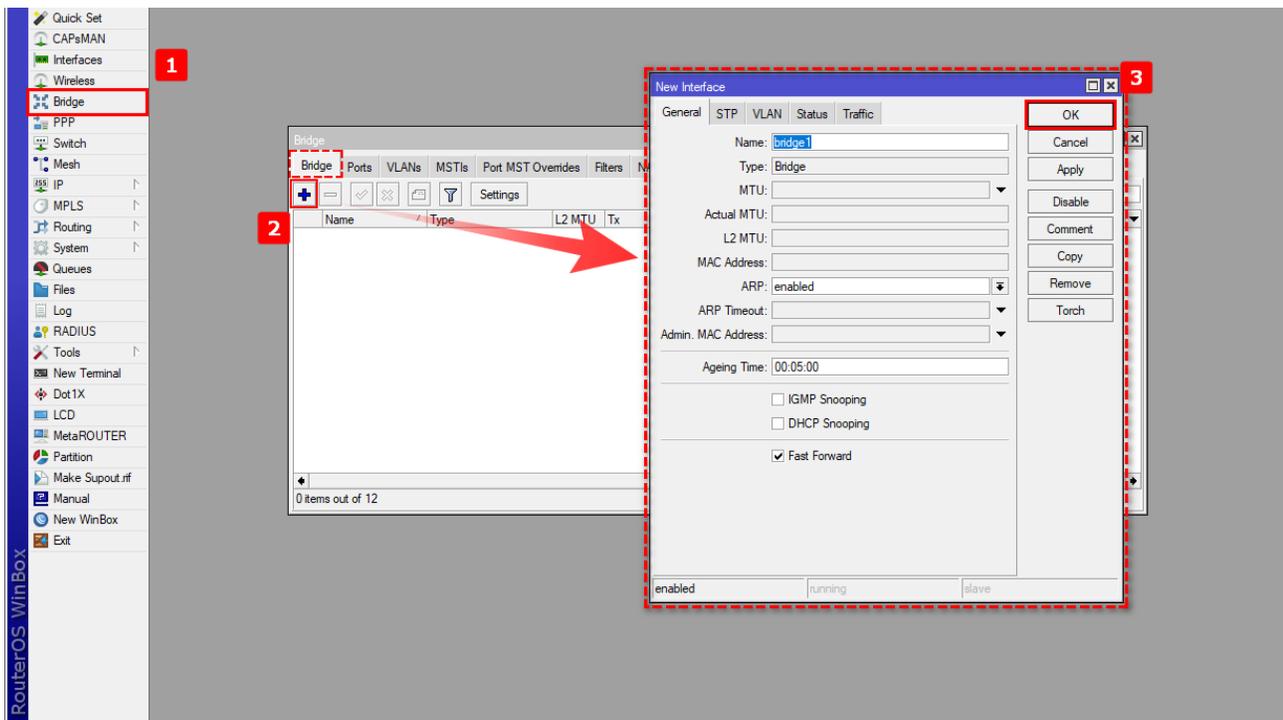


Ilustración 71 Creación de interfaz bridge

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>

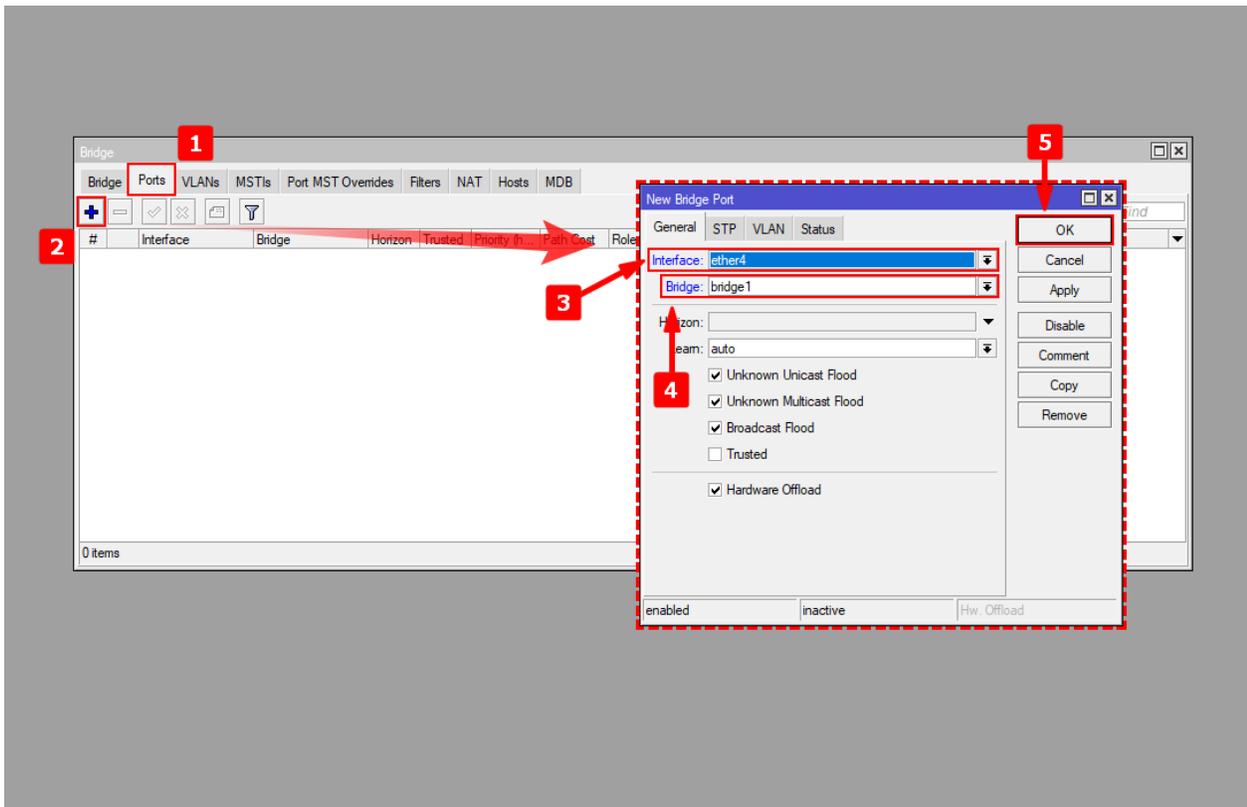


Ilustración 72 Asignación al bridge1 los 2 puertos que conectan a la OLT

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>

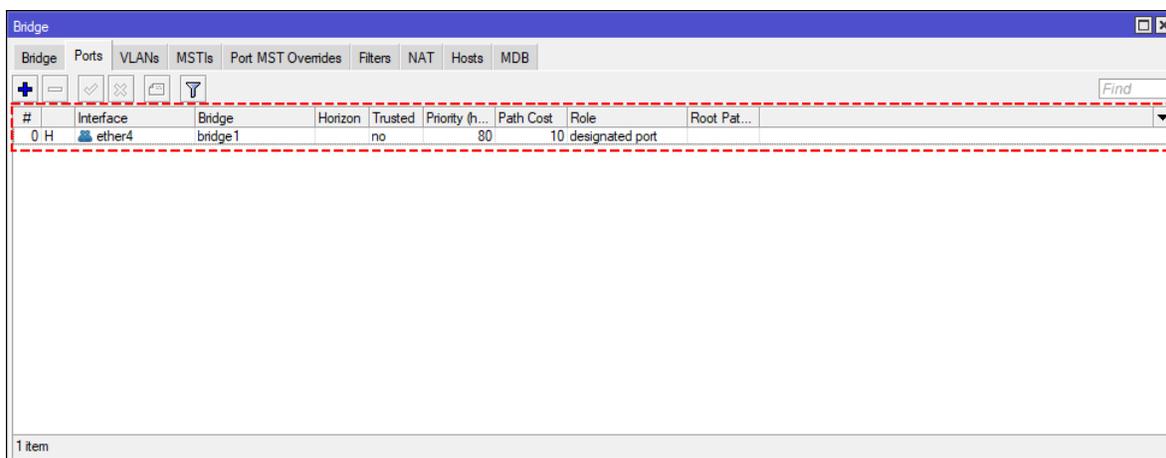


Ilustración 73 Asignación al bridge1 los 2 puertos que conectan a la OLT

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>



Creación de VLAN para los hosts

En las configuraciones de las interfaces y en el apartado de VLAN, se crea una VLAN con nombre vlan110 con ID 110, que es donde se realiza la subred para los hosts.

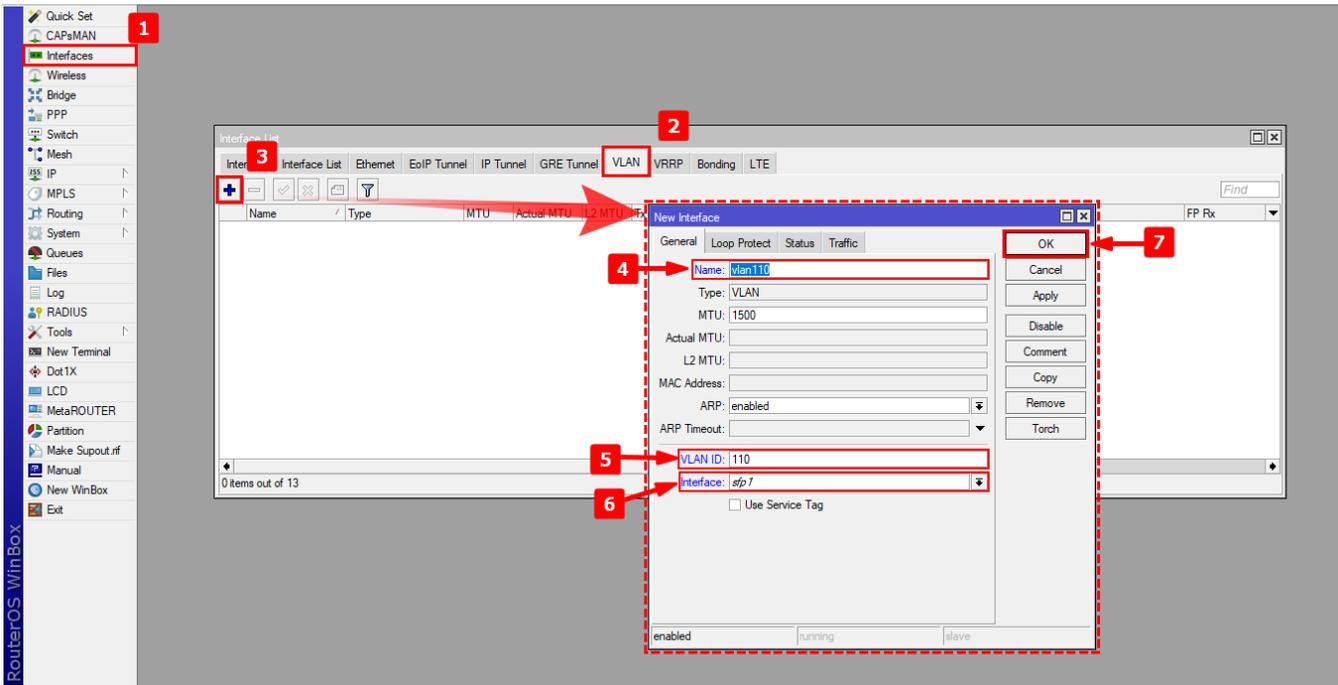


Ilustración 74 Creación de VLAN para los Host

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>



Direccionamiento IP

En IP Address se asigna la IP a cada interfaz como indica la siguientes imagen, la cual se basa en la topología mostrada al inicio.

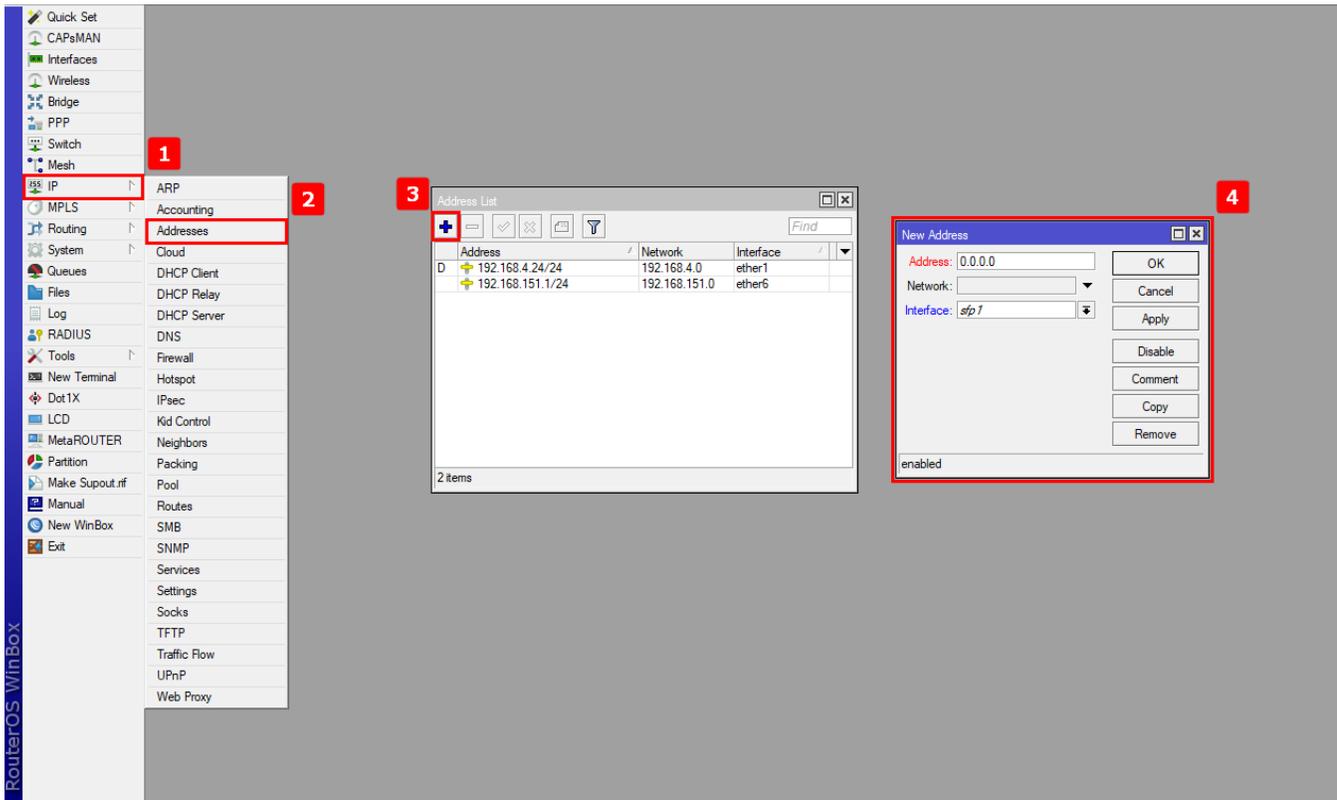


Ilustración 75 Configuración de direccionamiento IP

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>



Direccionamiento para la red default de Administración

Esta es la red que viene en las OLT Huawei nuevas o que se restablecieron a los valores por defecto. Esta IP solamente sirven para conectarse por primera vez al equipo, ya que posteriormente en la configuración de la OLT se cambia por nuestra red de administración.

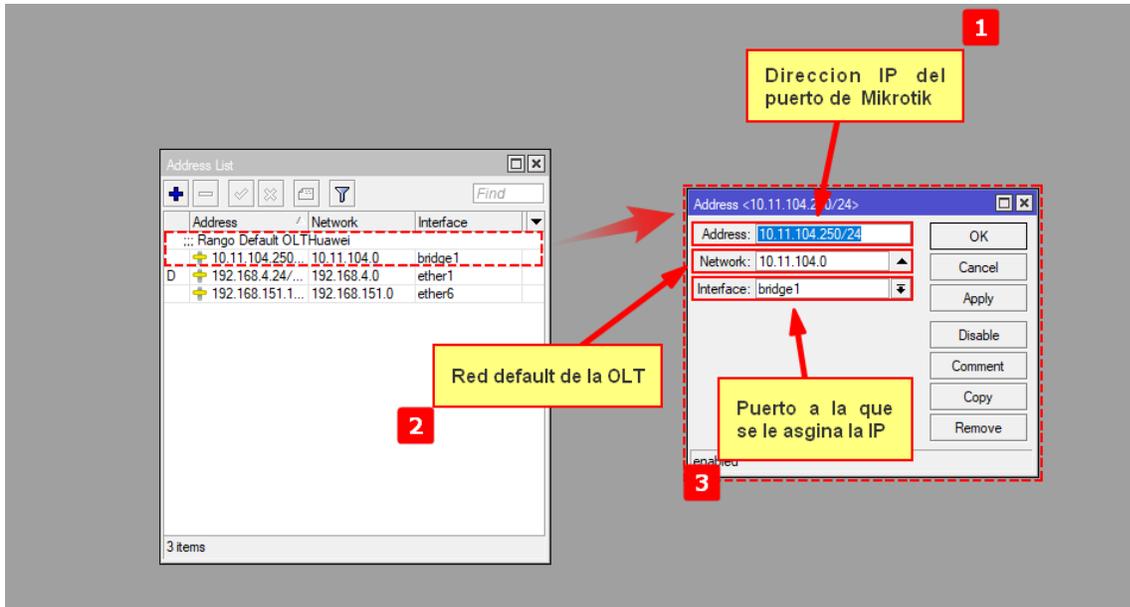


Ilustración 76 Direccionamiento de la red default de administración

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>



Direccionamiento IP para red de administración.

Este es la IP que utilizará para trabajar la nueva red de administración.

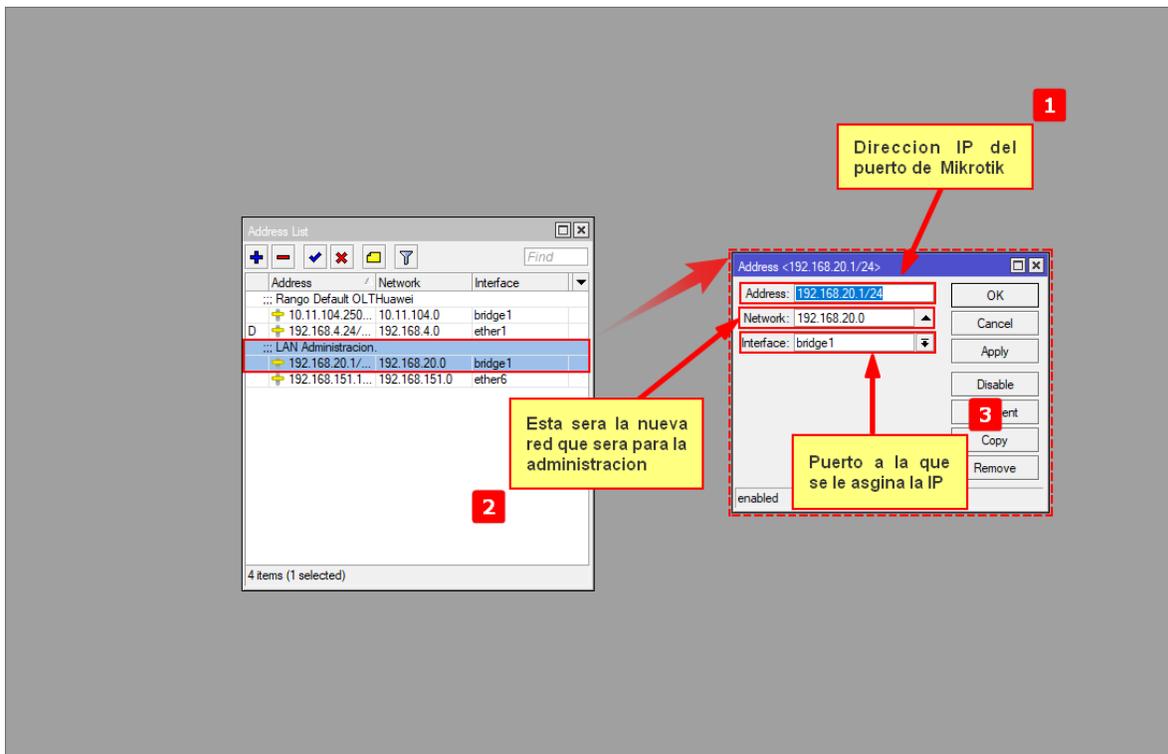


Ilustración 77 Direccionamiento IP para red de administración

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>



Direccionamiento LAN OLT Huawei.

Esta dirección es el Gateway de la red LAN para lo Host (ONT's) de la Vlan110, la cual sirve para darle direccionamiento de maneará estática, por DHCP o por un servidor PPPoE.

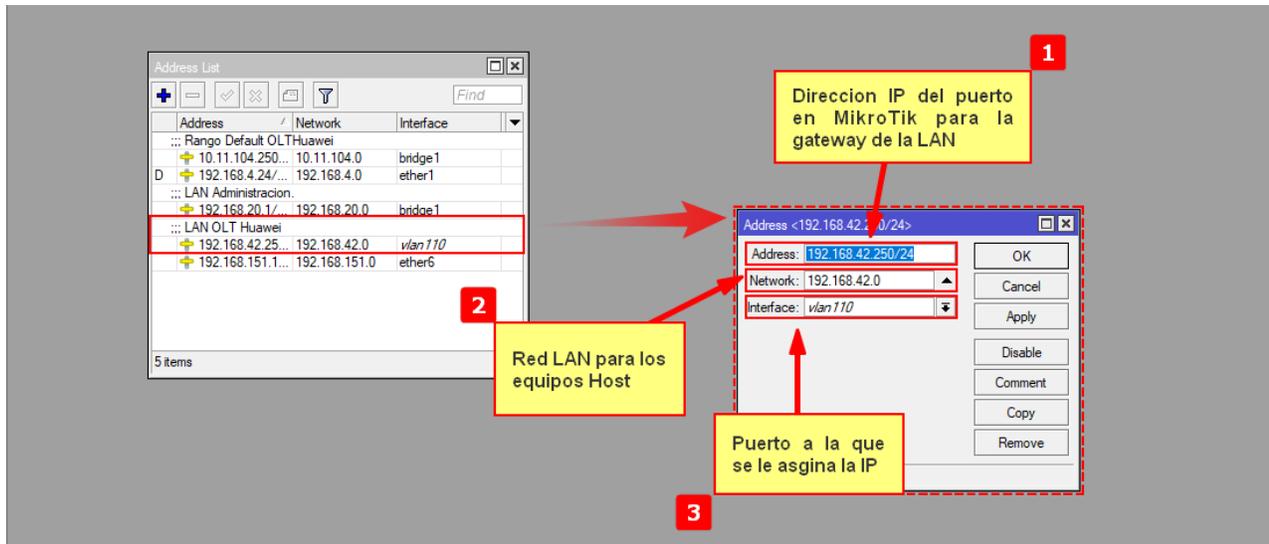


Ilustración 78 Direccionamiento LAN OLT Huawei

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>

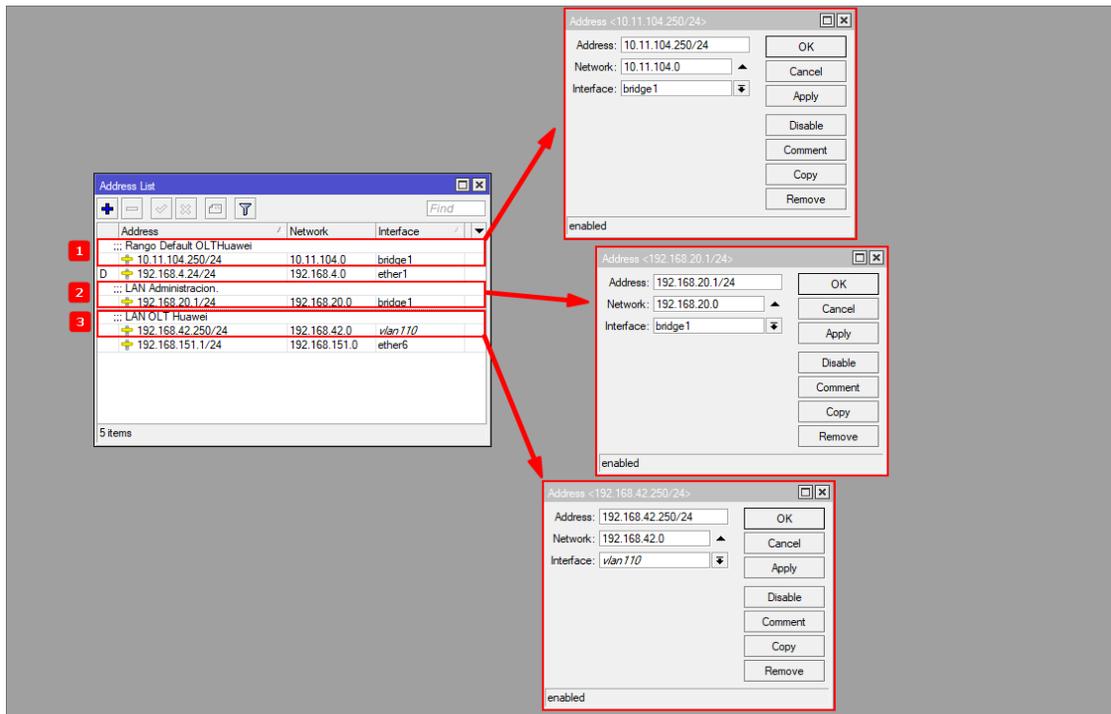


Ilustración 79 Direccionamiento LAN OLT Huawei

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>

- 1) Se agrega el segmento default de la OLT: 10.11.104.0/24 para que el mikrotik tenga comunicación con la OLT.
- 2) Se agrega la LAN Administración de la OLT es la: 192.168.20.0/24 más adelante le colocará la ip 192.168.20.70 al OLT.
- 3) Se agrega la VLAN y se asigna el segmento de Red para las ONT: 192.168.42.0/24 (puerto sfp o puerto ethernet según sea el caso).

Por último, se prueba la conexión con la OLT con la ip default que se asignó.

```
[soporterbfor@RB Centro MX] > ping 10.11.104.2
```

SEQ	HOST	SIZE	TTL	TIME	STATUS
0	10.11.104.2	56	255	0ms	
1	10.11.104.2	56	255	0ms	
2	10.11.104.2	56	255	0ms	
3	10.11.104.2	56	255	0ms	

IP Default de la OLT

Ilustración 80 Prueba de conexión de router con OLT

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>



4.9.2. Configuración de OLT

En la siguiente sección a como se aclaró en la anterior unidad también se muestran capturas de pantallas del sitio web de referencia en cada una de las fuentes de información donde se obtuvieron las imágenes, esto debido a la dificultad para que una empresa pueda otorgar acceso a la configuración de un equipo y poder realizarlas personalmente para mostrarlas en esta investigación monográfica, como es evidente no es algo que se realiza de manera cotidiana o rutinariamente, sin embargo en base a la experiencia se puede validar que efectivamente así es como se configuran dichos equipos. (ADMIN OLT, 2021)

El diagrama presenta la conexión física a seguir cuando se cuenta con fibra óptica para hacer una conexión SFP.

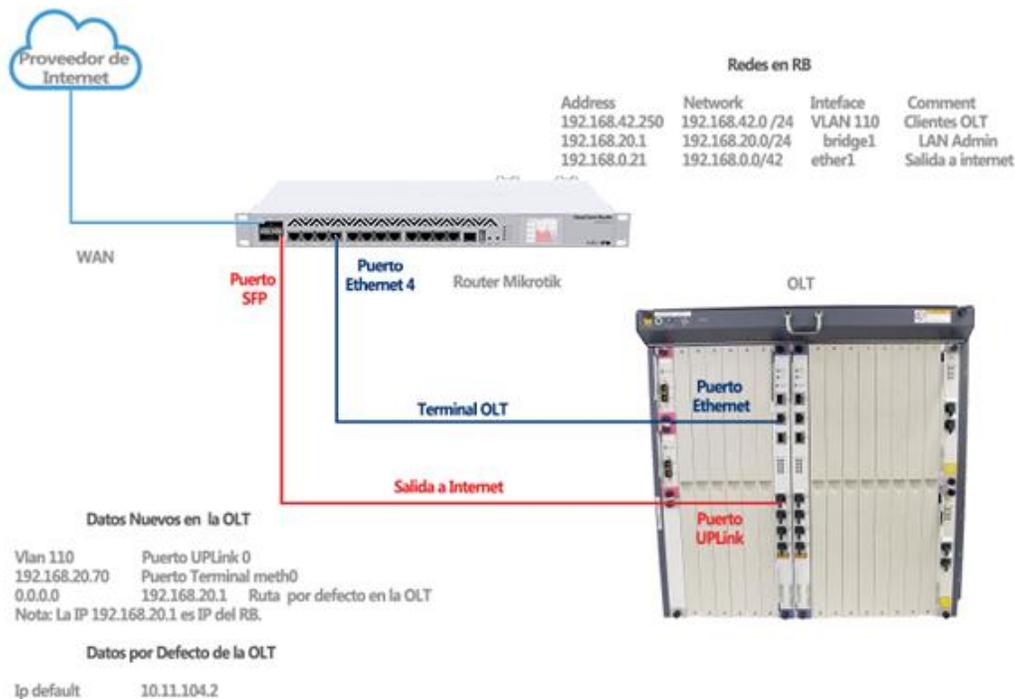


Ilustración 81 Diagrama de conexión entre router y OLT

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-inicia-olt-1/#1-1>

Adaptada con el router core en photoshop

En la sección anterior se realizó la asignación de la ip default para la OLT, una vez que se inicia la configurar de la OLT el primer pasó es verificar la conexión entre router y OLT.



```
[soporterbfor@RB Centro MX] > ping 10.11.104.2
```

SEQ	HOST	SIZE	TTL	TIME	STATUS
0	10.11.104.2	56	255	0ms	
1	10.11.104.2	56	255	0ms	
2	10.11.104.2	56	255	0ms	
3	10.11.104.2	56	255	0ms	

IP Default de la OLT

Ilustración 82 Verificación de conexión entre router y OLT
 Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-inicia-olt-1/#1-1>

Habilitar el servicio Telnet, solo aplica para la serie MA5800.

Para las OLT's con los modelos: MA5800-x2,MA5800-x7,MA5800-x15,MA5800-x17 primero se tiene que habilitar el servicio telnet para poder conectarse por medio de este servicio, si la OLT a configurar no es está en los modelos anteriores se omite este paso y se continua con el paso donde se conecta por telnet.

Para habilitar el servicio telnet se deben seguir los siguientes pasos:

❖ **Ingresar por SSH con los datos default de la OLT.**

```
/system ssh 10.11.104.2 user=root
admin123
```

```
[adminrb@RB Centro MX] > /system ssh 10.11.104.2 user=root
User Authentication
User password:

Huawei Integrated Access Software (MA5800).
Copyright(C) Huawei Technologies Co., Ltd. 2002-2019. All rights reserved.

-----
User last login information:
-----
Access Type : Telnet
IP-Address : 10.11.104.250
Login Time : 2020-08-06 03:27:58+08:00
Logout Time : 2020-08-06 03:32:58+08:00
-----

MA5800-X15>
Warning: Using the default user password is not recommended. Please change the password.

MA5800-X15>
```

Ilustración 83 Ingreso por SSH a datos default de la OLT
 Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-inicia-olt-1/#1-1>



❖ Habilitar Telnet.

```
enable
config
sysman service telnet enable
```

```
[adminrb@RB Centro MX] > /system ssh 10.11.104.2 user=root
User Authentication
User password:

Huawei Integrated Access Software (MA5800).
Copyright(C) Huawei Technologies Co., Ltd. 2002-2019. All rights reserved.

-----
User last login information:
-----
Access Type : Telnet
IP-Address : 10.11.104.250
Login Time : 2020-08-06 03:27:58+08:00
Logout Time : 2020-08-06 03:32:58+08:00
-----

MA5800-X15>
Warning: Using the default user password is not recommended. Please change the password.

MA5800-X15>enable

MA5800-X15#config

MA5800-X15(config)#sysman service telnet enable
Warning: Telnet is not a secure protocol, and it is recommended to use Stelnet

MA5800-X15(config)#
```

Ilustración 84 Habilitar telnet en OLT

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-inicia-olt-1/#1-1>



❖ Conectarse por telnet con la IP Default

```
/sys telnet 10.11.104.2  
root  
admin123
```

```
[soporterbfor@RB Centro MX] > /sys telnet 10.11.104.2  
Trying 10.11.104.2...  
Connected to 10.11.104.2.  
Escape character is '^]'.  
  
Warning: Telnet is not a secure protocol, and it is recommended to use Stelnet.  
  
>>User name: root  
>>User password:  
  
Huawei Integrated Access Software (MA5680T).  
Copyright(C) Huawei Technologies Co., Ltd. 2002-2016. All rights reserved.  
  
-----  
User last login information:  
-----  
Access Type : Telnet  
IP-Address : 10.11.104.250  
Login Time : 2020-08-03 15:58:59+08:00  
Logout Time : 2020-08-03 15:59:02+08:00  
-----  
  
All user fail login information:  
-----  
Access Type IP-Address Time Login Times  
-----  
Telnet 10.11.104.250 2020-08-03 15:11:39+08:00 1  
-----  
  
MA5680T>  
Warning: Using the default user password is not recommended. Please change the password.  
MA5680T>
```

IP Default de la OLT

User: root
Password: admin123

Ilustración 85 Prueba de conexión vía telnet

Fuente: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-inicia-olt-1/#1-1>

**❖ Visualizar y confirmar las placas OLT detectadas.**

```
enable
config
display board 0
```

❖ Confirmar todas las tarjetas

```
board confirm 0
```

❖ Configurar la nueva IP de la OLT

```
MA5608T> enable
MA5608T> config
MA5608T(config)# interface meth0
MA5608T(config-if-meth0)# ip address 192.168.20.70 255.255.255.0
```

Esto lo expulsa de la terminal y se debe definir la red en ip address de mikrotik.

❖ Ahora se conecta con la nueva ip. Para esto se usa el siguiente comando.

```
/sys telnet 192.168.20.70
```

❖ Una vez establecida la conexión, se configuran las rutas por defecto.

```
MA5608T> enable
MA5608T> config
MA5608T(config)# undo ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0
MA5608T(config)# ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.20.1
MA5608T(config)# save
```



❖ **Ahora se creará un usuario, para esto debe usar los siguientes comandos.**

```
MA5608T> enable
MA5608T> config
MA5608T(config)# terminal user name
usuario
password
Nivel: 3 # administrador
Conexiones: 4
```

❖ **Cambiar contraseña del usuario root**

```
MA5608T> enable
MA5608T> config
MA5608T(config)# terminal user password
root
admin123/vieja_contraseña
nueva_contraseña
```

4.9.3. Telefonía sobre red FTTH

El funcionamiento de la telefonía IP es el siguiente: cuando una llamada entrante se recibe en la central telefónica, la red es capaz de detectar si la línea de destino se encuentra ocupada en una sesión y en ese caso inmediatamente la re enruta a un servidor especializado que la digitaliza y la convierte en una trama de datos, convierte el número telefónico a la dirección Internet de destino e inmediatamente envía un mensaje que se representa en un icono en la pantalla del terminal indicando que hay una llamada en espera, pidiendo su aceptación.

Para las llamadas salientes se realiza el proceso inverso. Si el usuario dispone del ancho de banda mínimo requerido, puede hablar y mantener la sesión al mismo tiempo, despreocupándose del tiempo que emplea, teniendo la tranquilidad de que no va perder ninguna llamada.



Los pasos básicos que tienen lugar en llamada a través de VoIP son:

- 1) Conversión de la señal de voz analógica a formato digital y compresión de la señal a protocolo de Internet (IP) para su transmisión.
- 2) En la recepción se realiza el proceso inverso para poder recuperar de nuevo la señal de voz analógica.

Para lograrlo se requiere de una central telefónica o Gateway de voz en la central de telecomunicaciones que se conecta al router core, que a su vez se conecta a la OLT, el EDFA se encarga de combinar las señales en una sola salida de fibra óptica por cada puerto.

La central telefónica debe traer puertos para conectarse a la red PSTN

PSTN significa Red Telefónica Conmutada Pública (Public Switched Telephone Network en inglés). Se refiere a la red de telecomunicaciones convencional que se ha utilizado tradicionalmente para proporcionar servicios telefónicos de línea fija a través de hilos de cobre.

La PSTN es una red de conmutación de circuitos que utiliza una jerarquía de centrales telefónicas para enrutar las llamadas telefónicas a través de una red de líneas telefónicas, siendo una infraestructura crítica para muchos usuarios que dependen de la comunicación telefónica convencional, es por ello que para poder salir al exterior desde una llamada dentro de una red FTTH se requiere que la central tenga la posibilidad de conectarse a la red convencional para lograr llegar a números telefónicos de usuarios de otros ISP.

4.9.3.1 Uso de softswitch

El softswitch es un dispositivo de red utilizado en sistemas de telecomunicaciones que actúa como un conmutador de llamadas en una red de voz sobre IP (VoIP). A diferencia de los conmutadores tradicionales de telefonía, el softswitch es un software que se ejecuta en un servidor y utiliza protocolos de comunicación de Internet para enrutar las llamadas telefónicas.



Un softswitch posee un software que permite realizar llamadas VoIP que actúa como una centralita, conectando llamadas entre sí, suele ser parte de un Sistema VoIP, en una red de telecomunicaciones, es el componente que controla y señala las llamadas entrantes y salientes, así como proceso de los flujos de medios.

Este equipo proporciona una variedad de funciones, como la gestión de llamadas, la tarificación, la autenticación de usuarios, la gestión de la calidad del servicio y la conexión entre redes VoIP y PSTN, también es capaz de manejar una gran cantidad de llamadas simultáneas a través de la asignación de recursos de red y la optimización del ancho de banda.

Es importante destacar que existen diferentes tipos de softswitches, como los de nivel de operador, de nivel empresarial y de nivel de consumidor, que ofrecen diferentes capacidades y funciones según las necesidades de la red y los usuarios.



Ilustración 86 Softswitch/VoIP Server RT-EIMS5501

Este equipo permite realizar llamadas VoIP entre teléfonos VoIP, así como entre teléfonos VoIP con teléfonos tradicionales y se puede usar para proporcionar un servicio VoIP a una red telefónica tradicional.

Se utiliza un sistema de hardware electrónico dedicado para la mayoría de las llamadas de teléfono fijo, ganando popularidad gracias al avance de la tecnología VoIP, así como a los servidores de uso general.

El servidor VoIP RT-EIMS5501 ofrece una plataforma softswitch admitE hasta 100,000 suscriptores y 10,000 usuarios concurrentes, con protocolo SIP, haciéndolo ideal para intercambios de telecomunicaciones de clase Carrier.



4.10. PRESENTACION DEL DISEÑO

4.10.1. Diseño del tendido de la red de fibra óptica

Para iniciar en el diseño del tendido de la red de fibra óptica se utilizó software y herramientas de uso libre como Google Earth, en el cual se obtuvo una previa idea de las rutas, y distancias recorridas, localizando el punto de inicio en la ubicación física de la central de telecomunicaciones.

En el caso del diseño de red para esta investigación se utilizó la herramienta TOMODAT la cual está diseñada para el desarrollo de redes GPON. Dicha plataforma cuenta con una prueba gratis de 30 días para diseño de redes de hasta 20 km de despliegue, además posee las herramientas necesarias para crear el diseño, cabe destacar que existen otras plataformas avanzadas como: Comsoft, QGIS, Net2Plan, OptiSystem, FiberPlan IT, FTTH Planner. Esos son algunos sistemas existentes para el diseño de redes FTTH, pero no es accesible poder utilizarlos con versiones de prueba, al crear esta investigación se hace con la finalidad de no tener que depender de cálculos de esos sistemas, y tener la facilidad de comprender de manera visual con TOMODAT, el cual permite crear la red con cables de fibra óptica, cajas de empalme, equipos emisores en una central, ver conexiones entre cajas y georreferenciarse, los cálculos reales se realizan de manera manual pero efectiva.

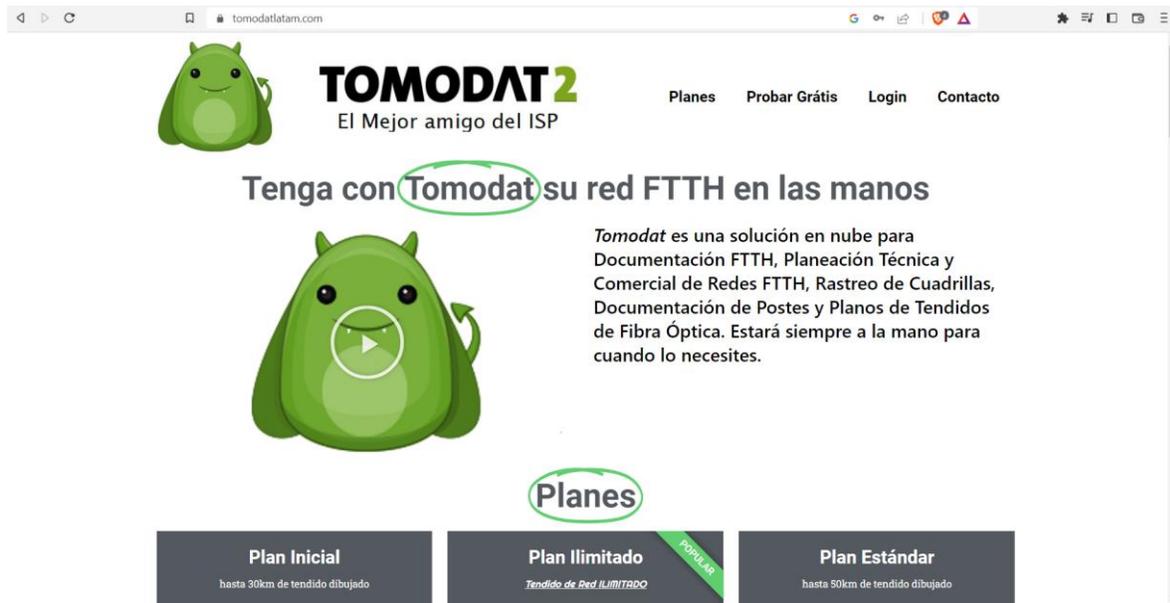


Ilustración 87 Plataforma para diseño de red FTTH TOMODAT
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

Para crear una cuenta se ingresa al sitio web <https://www.tomodatlatam.com>

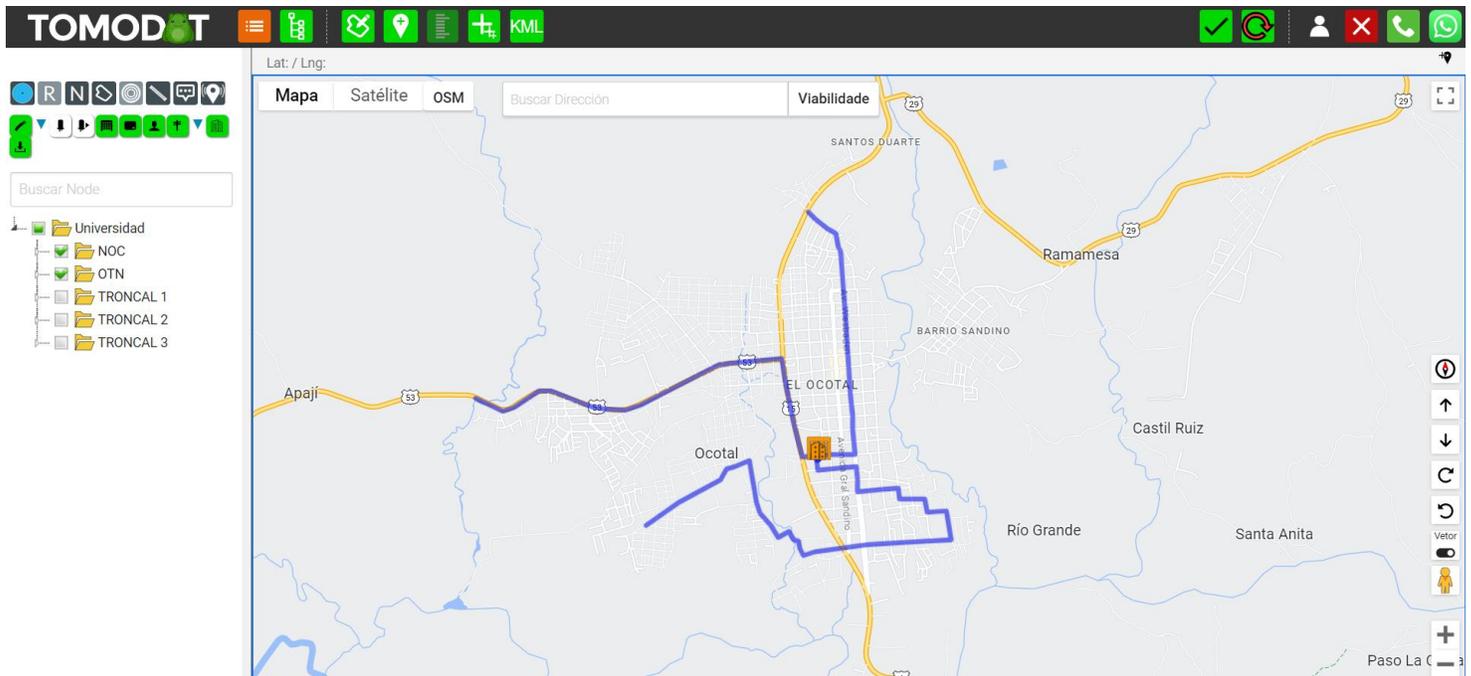


Ilustración 88 Rutas OTN en TOMODAT
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>



En la Ilustración 88 se muestran las rutas troncales que distribuyen la señal en toda la ciudad a través de 3 troncales de 48 hilos cada fibra.

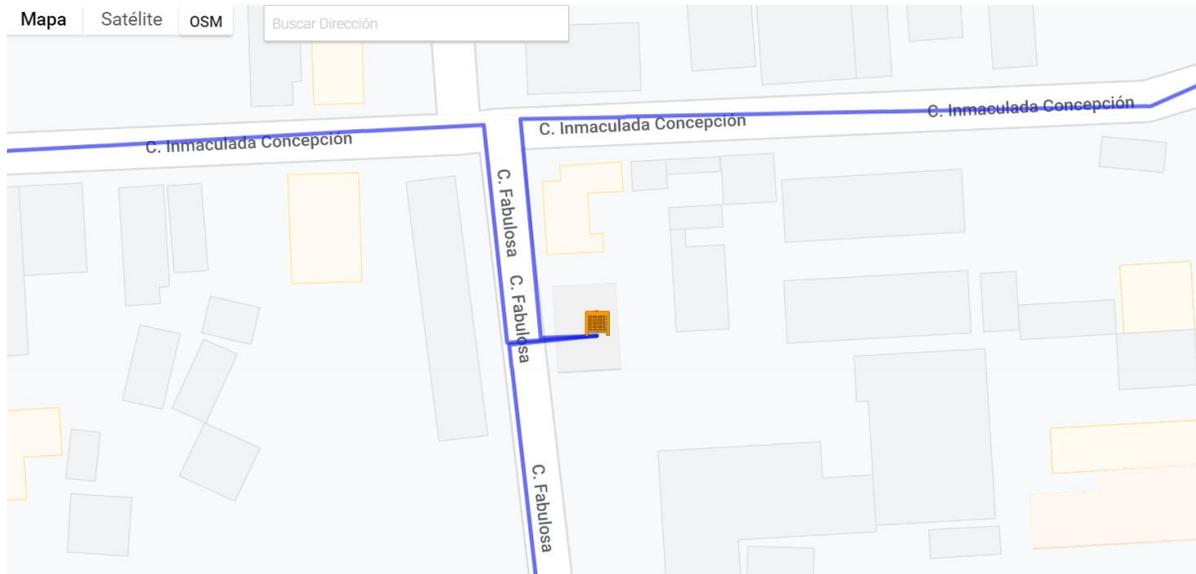


Ilustración 89 Ubicación de la NOC en TOMODAT
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

Al realizar un acercamiento en el mapa como se muestra en la Ilustración 89 se logra ver más ampliado donde está ubicada la central de comunicaciones, TOMODAT permite simular la instalación de equipos y agregar la potencia de salida según indiquen las fichas técnicas de los equipos, en el siguiente ejemplo se agregó la potencia de salida del EDFA FWAP-1550H-64x23 el cual indica que cada puerto tiene 23 db de salida, al hacer doble clic en el armario se accede al equipo en el cual también se conectan los hilos de fibra óptica.

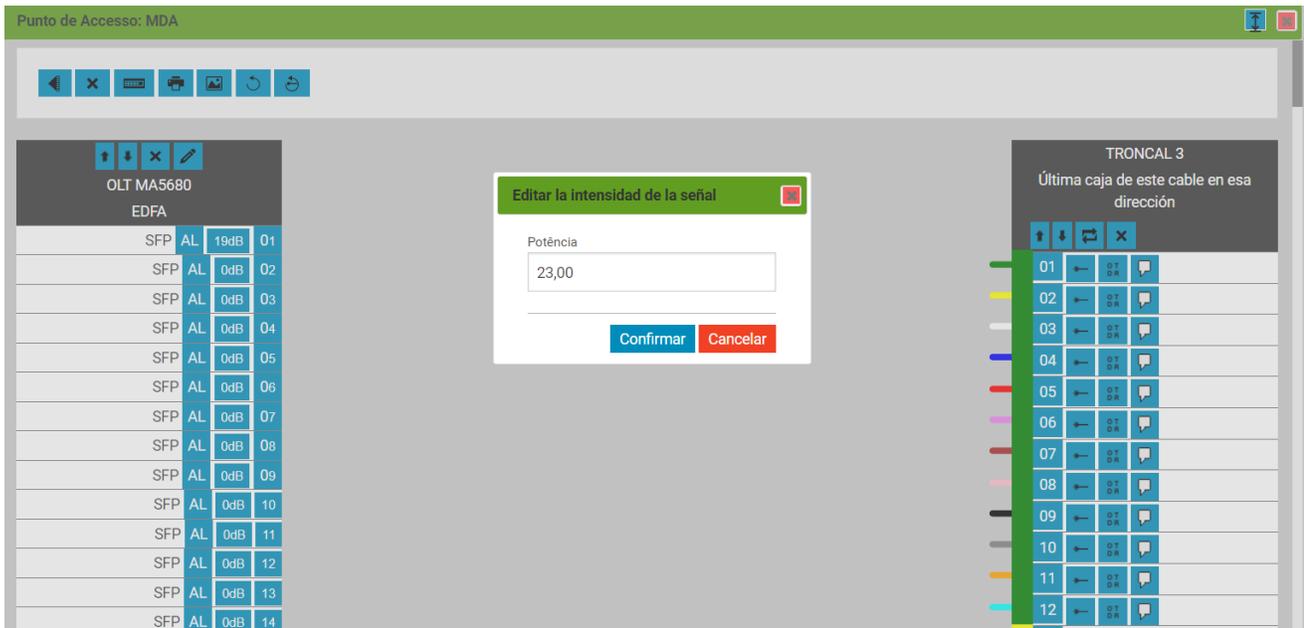


Ilustración 90 Demostración de opción a editar potencia.
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>



Una vez que se realizó la configuración de potencia a cada puerto, se inició a conectar los hilos de fibra óptica.

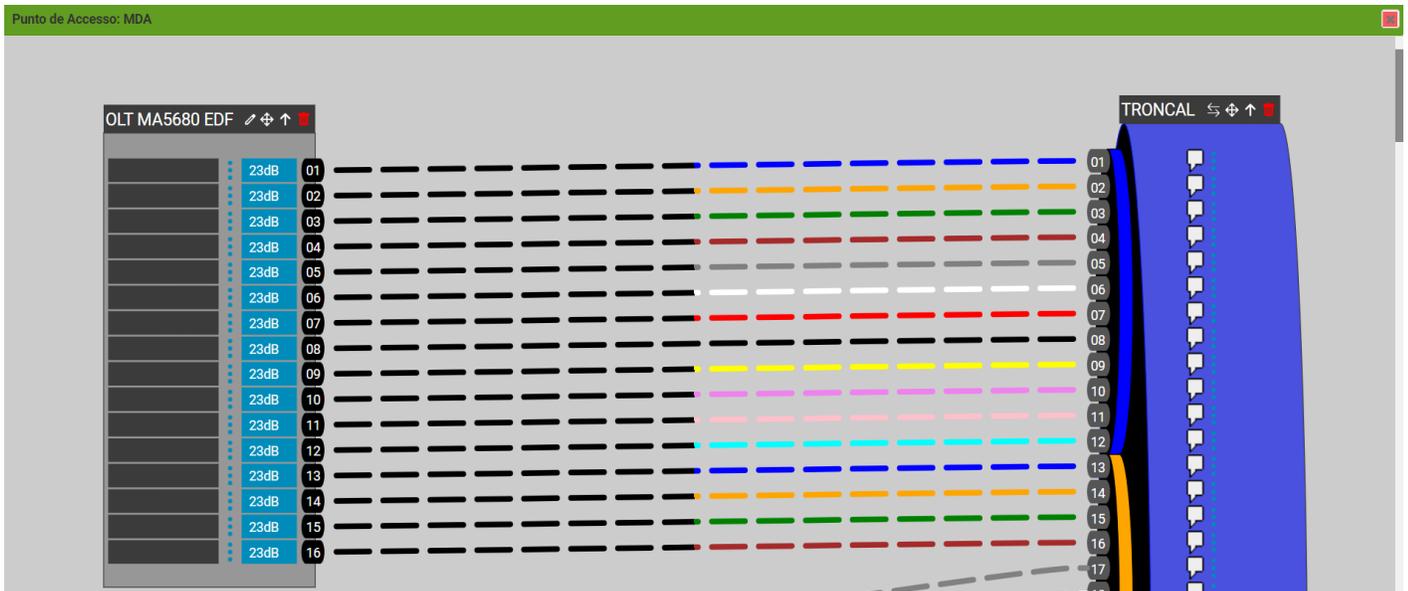


Ilustración 91 Conexión de fibra óptica en simulador
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

Después de realizar las conexiones de los cables de fibra óptica, se realizaron las derivaciones necesarias para las redes ODN. Dependiendo del caso, se utilizaron fibras de 12 o 6 hilos. Sin embargo, si la señal troncal es derivada hasta una ubicación más lejana y se pretende llevar señal a más de 14 ODN, se recomienda utilizar fibra de 24 hilos para tener hilos de reserva disponibles, estos casos se reflejarán en los troncales 1 y 2, los cuales la fibra de 48 hilos es la columna vertebral de la señal y durante su recorrido distribuyó a sectores altamente poblados.

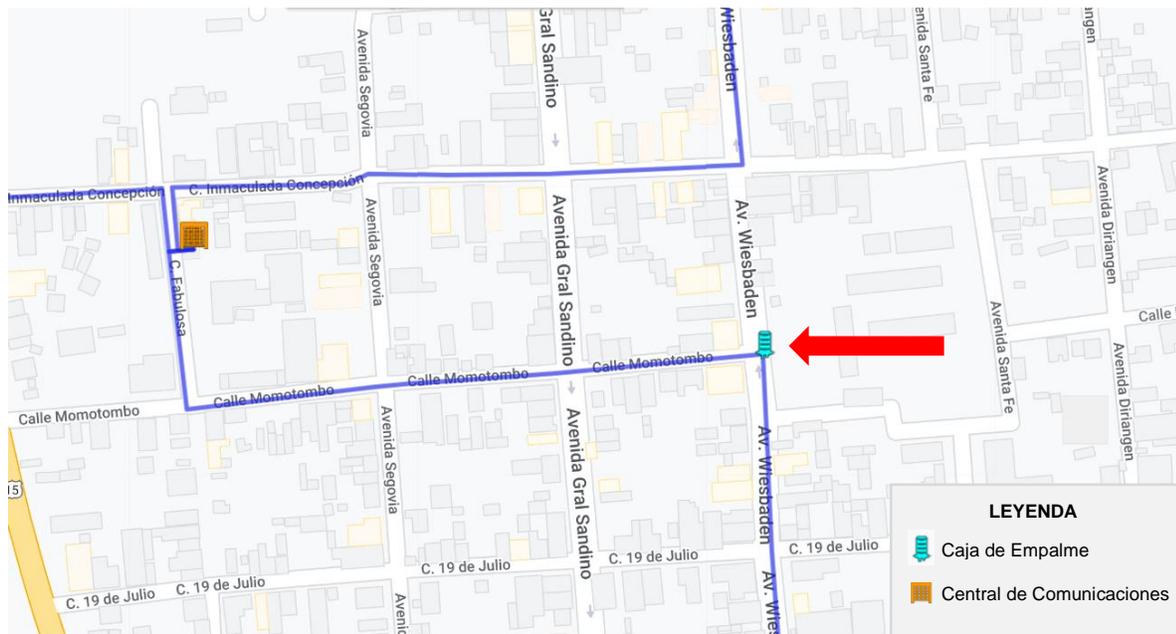


Ilustración 92 Ubicación de caja de empalme en la OTN para primeras ODN.

Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

En la Ilustración 92 se muestra un ejemplo donde se ubicó una caja de empalme para iniciar a crear las ODN, desde esta caja de empalme se utilizó una fibra de 12 hilos para aprovechar el sangrado a la fibra evitando el uso excesivo de cajas de empalme (mufas) y evitar los riesgos de poder dañar la fibra principal en dichas actividades.

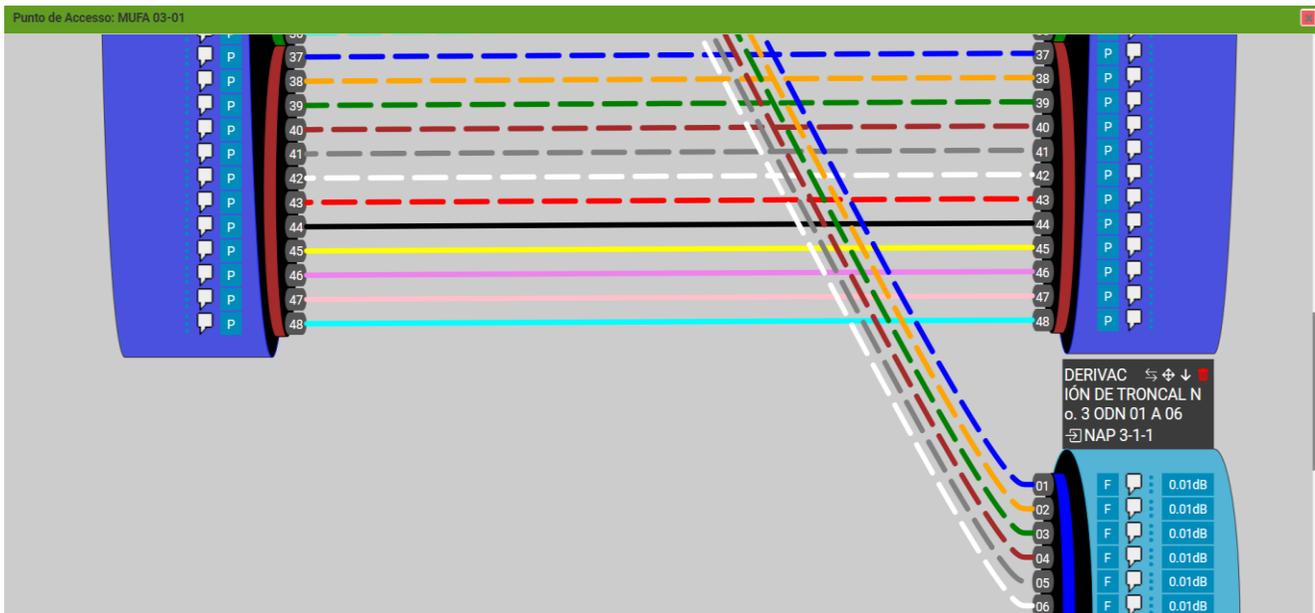


Ilustración 93 Ejemplo de fusiones simuladas en mufa para crear 5 ODN
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

En la Ilustración 93 se muestran las fibras que pasan por medio de esa caja de empalme, la cual se renombró como mufa 03-01, el 03 significa que es el troncal número 03 y 01 por ser la primera mufa instalada en ese feeder, la codificación depende de la elección del cliente, a esta mufa ingresaron el troncal número 3 y la fibra de 12 hilos para crear una derivación para las ODN de ese sector, se crearon las ODN desde la número 1 a la número 5.

Una vez que se realizó la fusión de 5 hilos desde la fibra de 48 a la fibra de 12 hilos, esta última fibra ingresa a 5 NAP que son las principales de cada ODN, es decir a partir de esta nueva fibra se crean 5 ODN, dentro de estas cajas se encuentra un splitter de nivel 1 de 8 puertos los cuales se encargan de distribuir la señal a todas las cajas que componen cada ODN.

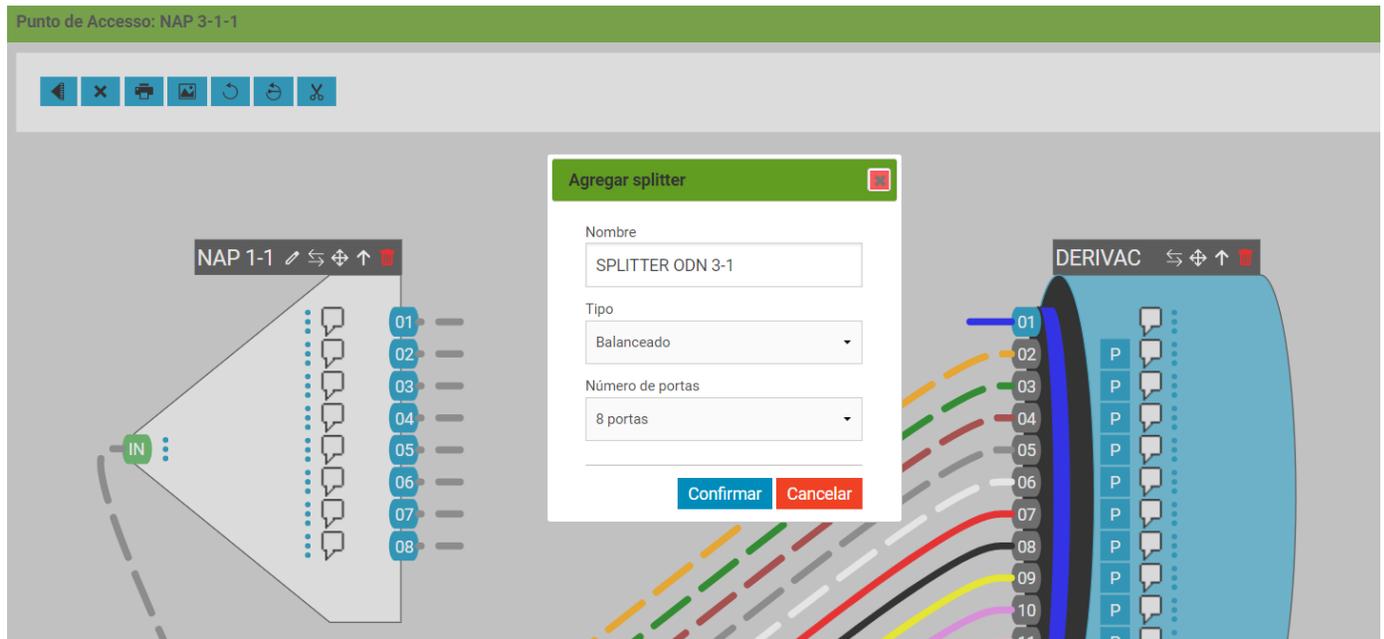


Ilustración 94 Agregando splitter virtual para crear ODN
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

La NAP 3-1-1 funciona como principal en la ODN #1, el primer número indica el identificador del troncal, en este ejemplo es troncal 3, el siguiente es el 1 que refleja a la ODN, y el último número indica la caja de esa red, en esta NAP que funciona como principal se colocó un splitter 1x8 para distribuir la señal a las 8 cajas que componen la ODN 1 incluyendo la misma señal de ella, en esta caja debe pasar la derivación que salió del troncal #3 ya que es la fibra que trae a la señal para alimentar la primer ODN.

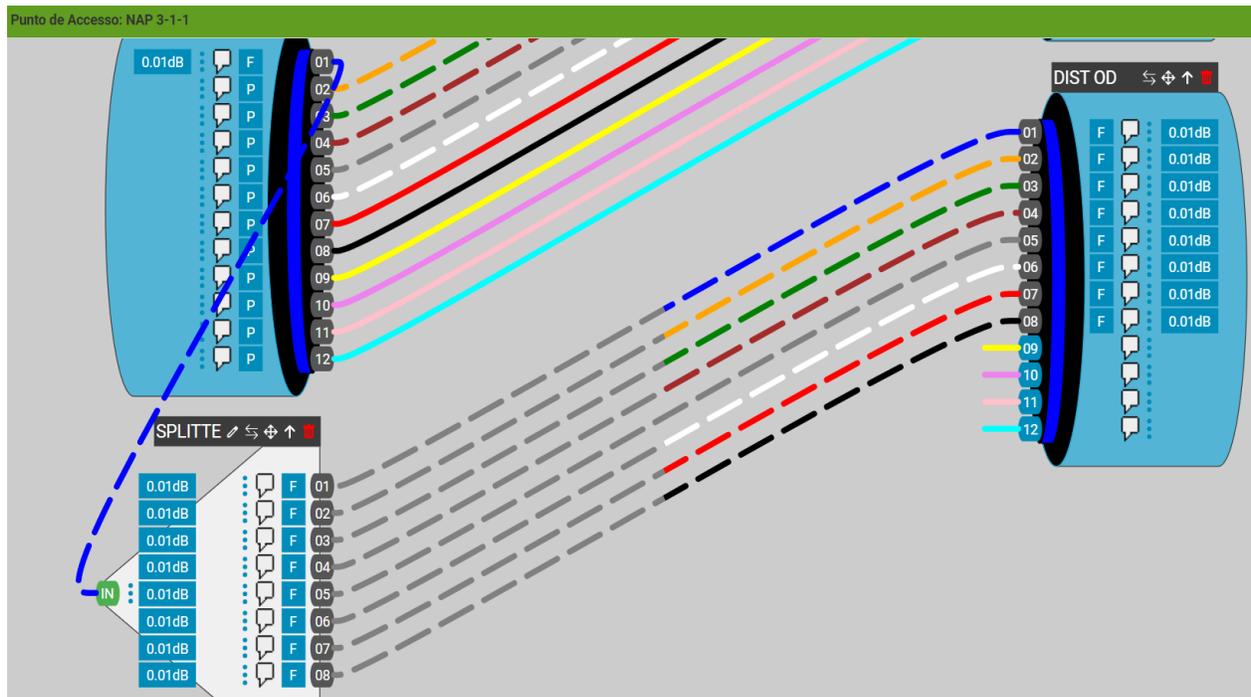


Ilustración 95 Fusión de 1 hilo con derivación desde troncal #3 para ODN 1-1
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

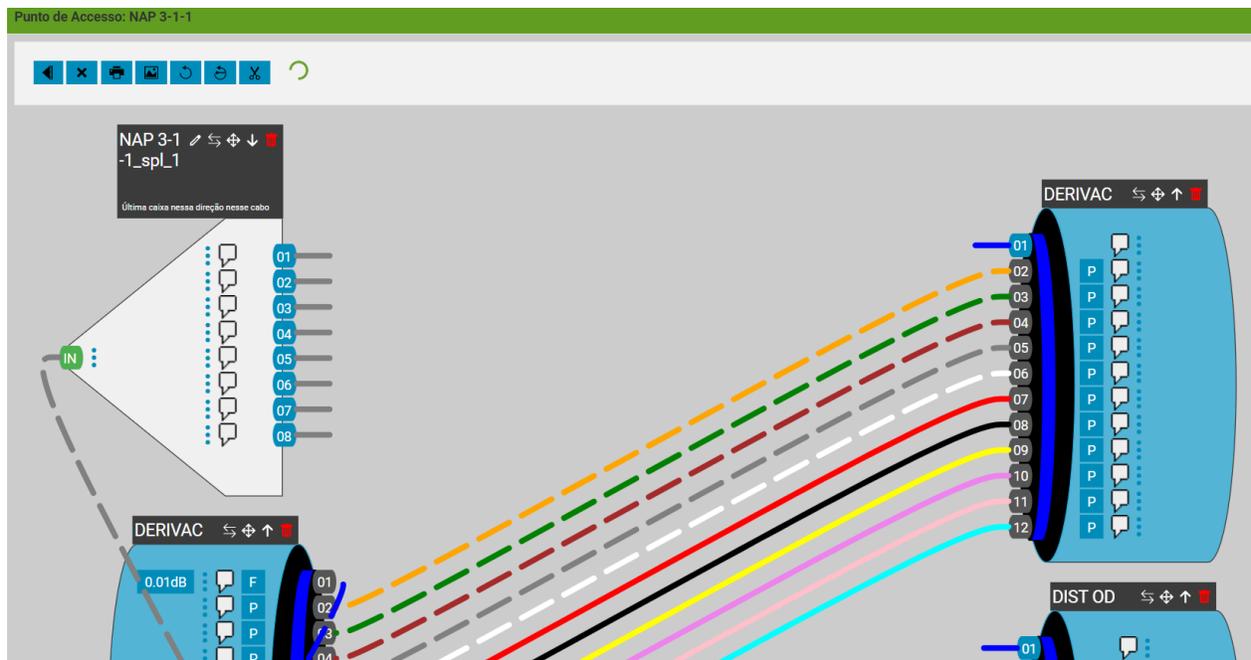


Ilustración 96 Fusión de primer NAP de una ODN para clientes
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>



Luego en esa caja NAP identificada como NAP 3-1-1 que es la principal de la ODN 3-1 se ingresó una fibra que puede ser de 6 a 12 hilos dependiendo de la ruta para alimentar las cajas ya que pueden ser distribuidas en secuencia por una misma ruta o hacia diferentes avenidas geográficas.

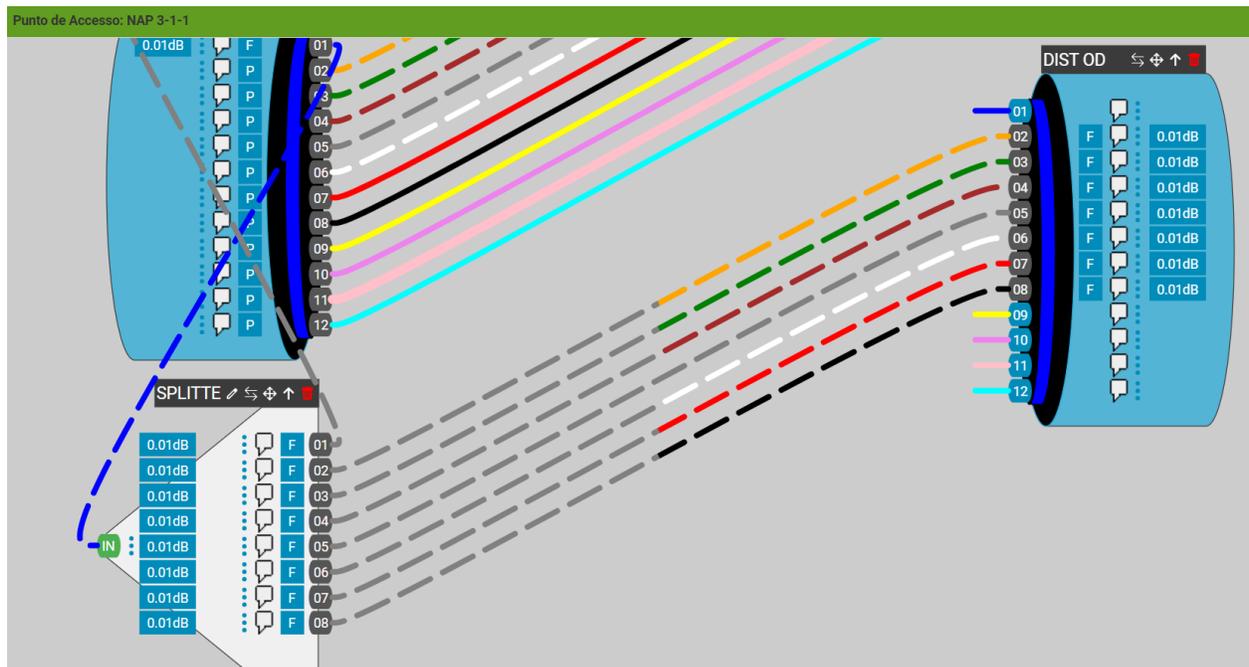


Ilustración 97 Distribución de señal desde splitter 1X8 ODN 3-1 a fibra de distribución
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

Según el área y distribución de NAP para este ejemplo fue más factible distribuir una sola fibra de 12 hilos que nació desde la NAP 3-1-1 e inició a alimentar las demás cajas desde la 3-1-2 hasta la 3-1-8. (ver Ilustración 98)

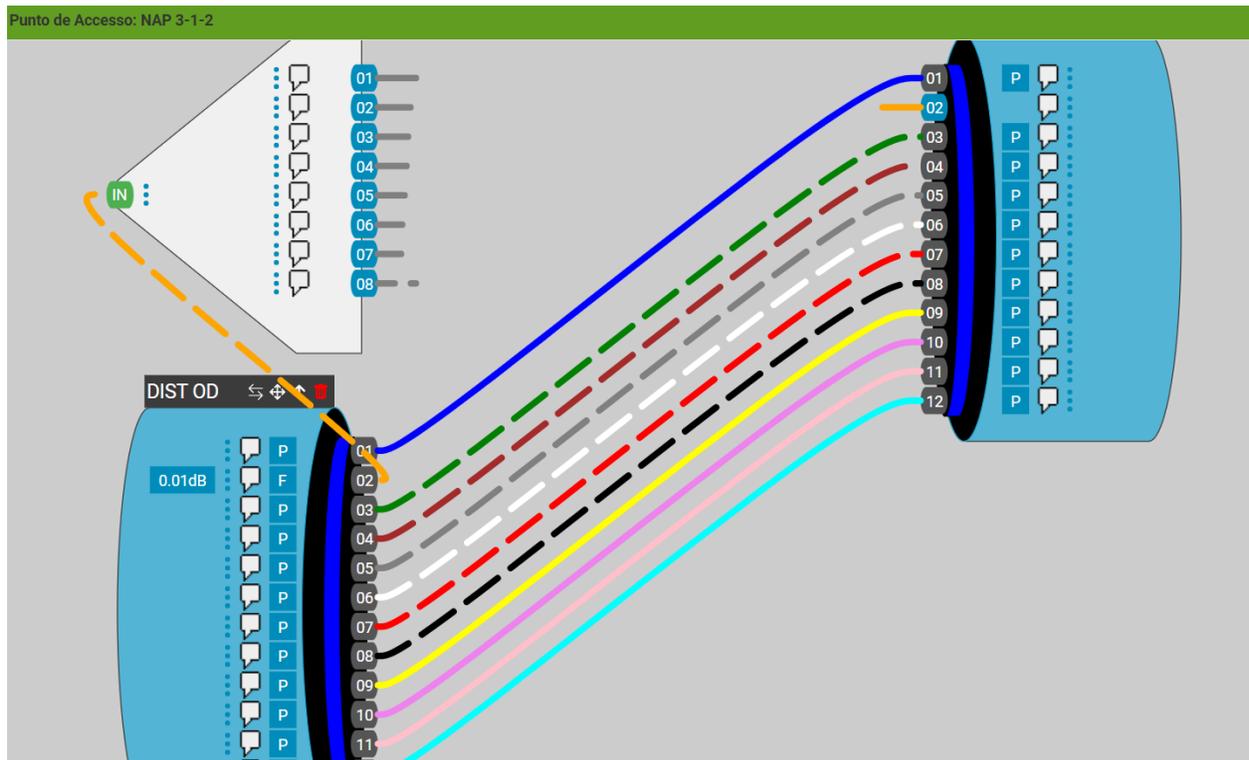


Ilustración 98 En la NAP 3-1-2 se toma un hilo de la fibra de DIST ODN 3-1
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

Cuando la fibra de distribución llega a las NAP se utiliza un hilo para ser fusionado al splitter 1x8 de dicha NAP el cual distribuye la señal a los clientes, en la Ilustración 98 se muestra que se utilizó un hilo de fibra y perdió la continuidad ya que se utilizó en la caja actual. Esto se replica hasta llegar a la última NAP, en la cual solo deberá llegar un hilo con señal, para este caso de ejemplo la NAP 3-1-8 solamente recibe un hilo con señal.

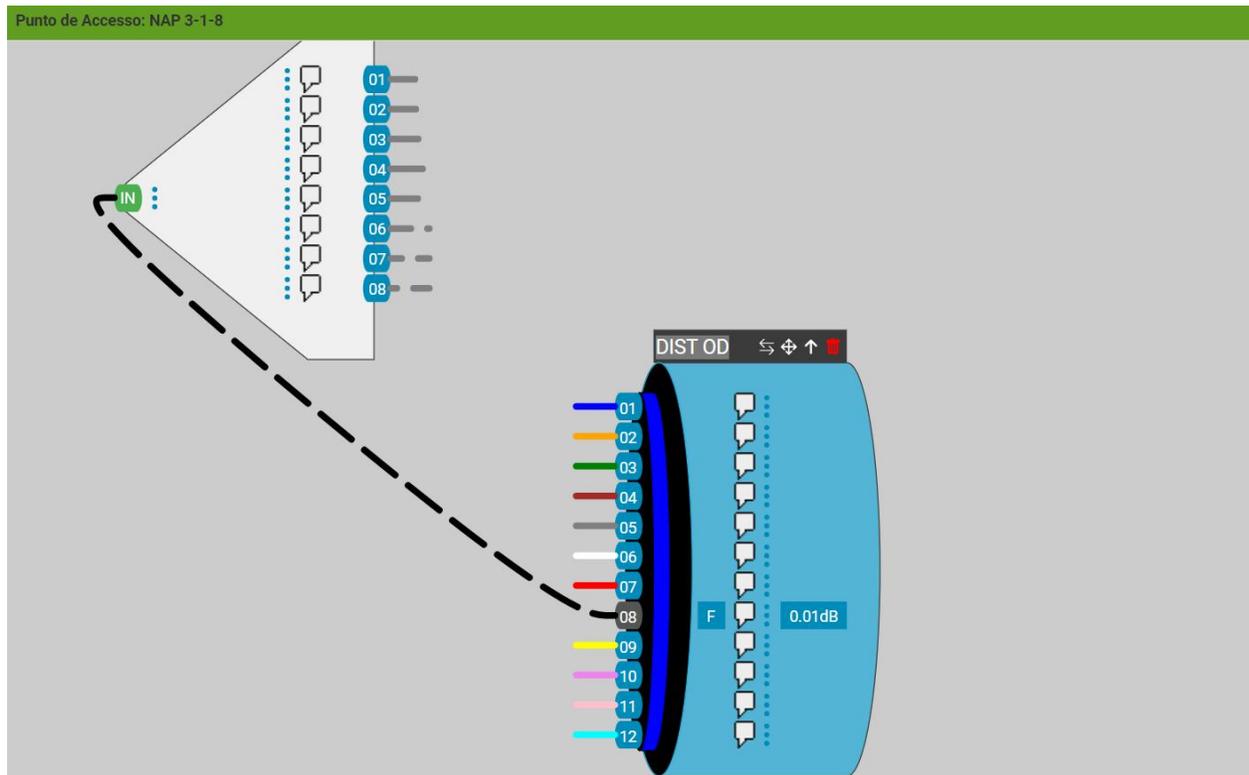


Ilustración 99 Última NAP de la ODN 3-1
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

Como se aprecia en la Ilustración 99 ahí termina la fibra de distribución ODN 3-1 y se observa que solo el hilo 8 posee señal, eso a causa de que los demás hilos se utilizaron para alimentar las cajas de acceso anteriores.

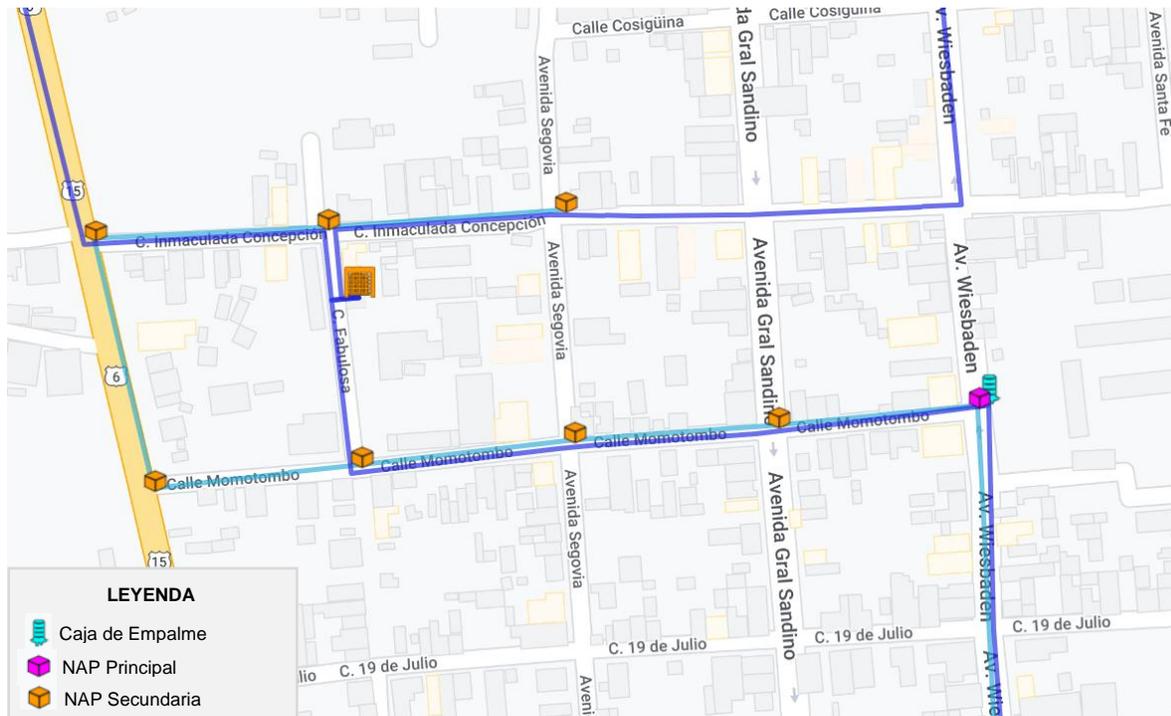


Ilustración 100 Distribución de primer ODN del troncal 3
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

Como se muestra en la Ilustración 100 se observan las 8 cajas que conforman la ODN, que en el ejemplo se ha enumerado como ODN 3-1, para identificar la NAP principal se ha agregado color fucsia y las secundarias en color anaranjado, la ubicación se debe adaptar a los requerimientos de cobertura de las zonas, es por ello de vital importancia hacer un diseño previo para no dejar zonas sin cobertura, ya que no todos los barrios o sectores tienen la misma organización urbana.

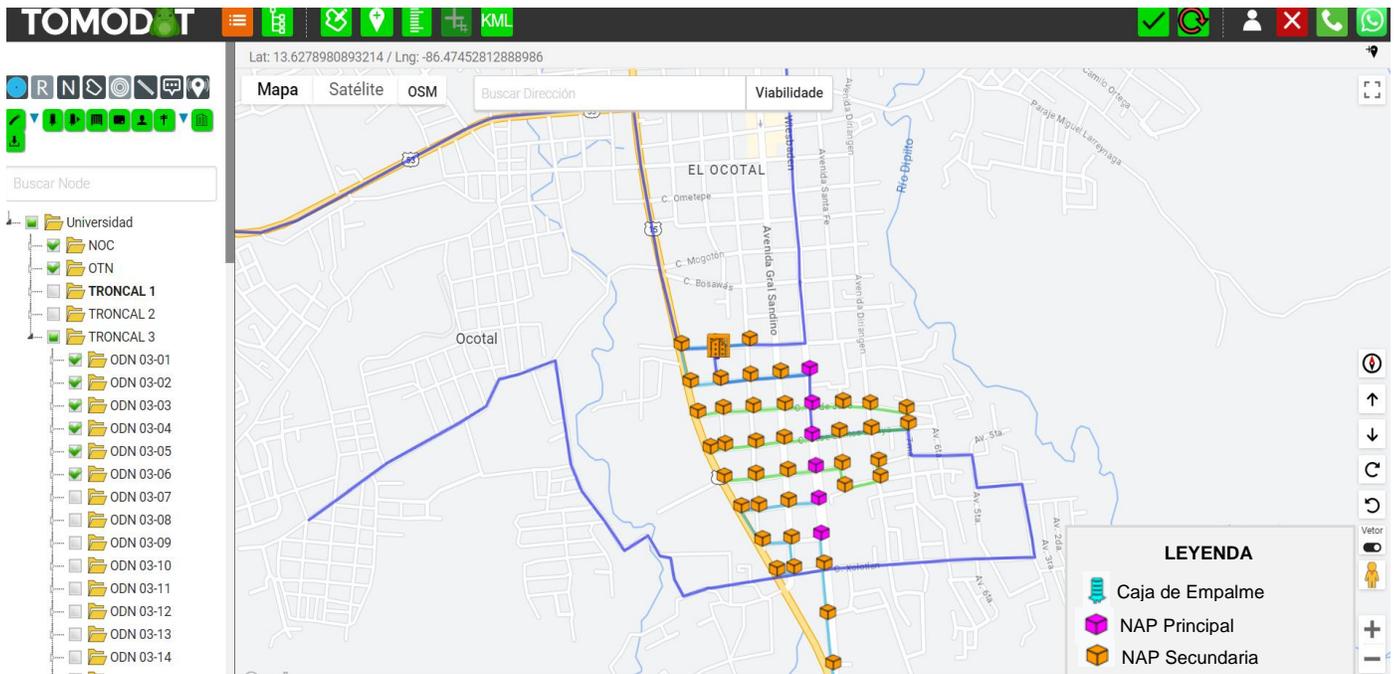


Ilustración 101 Distribución de 6 ODN del troncal 3
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

En la Ilustración 101 se muestra el avance de la red FTTH, donde se crearon 6 ODN con 48 cajas NAP en total, todo esto creado a partir de 1 mufa, es ahí donde se muestra que se puede avanzar lo suficiente aprovechando puntos clave para colocar una caja de empalme, lo cual permite la distribución de la red a diferentes sectores.

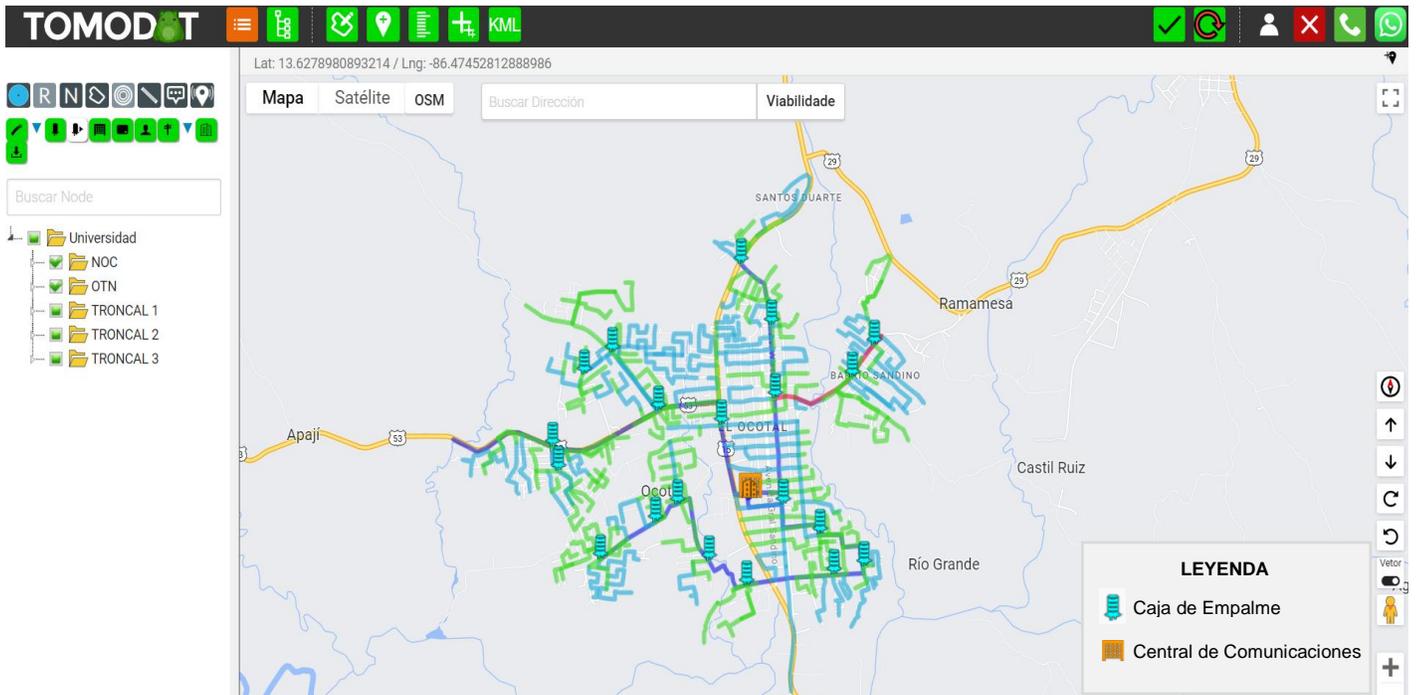


Ilustración 102 Distribución de fibra óptica finalizada y cajas de empalme
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>

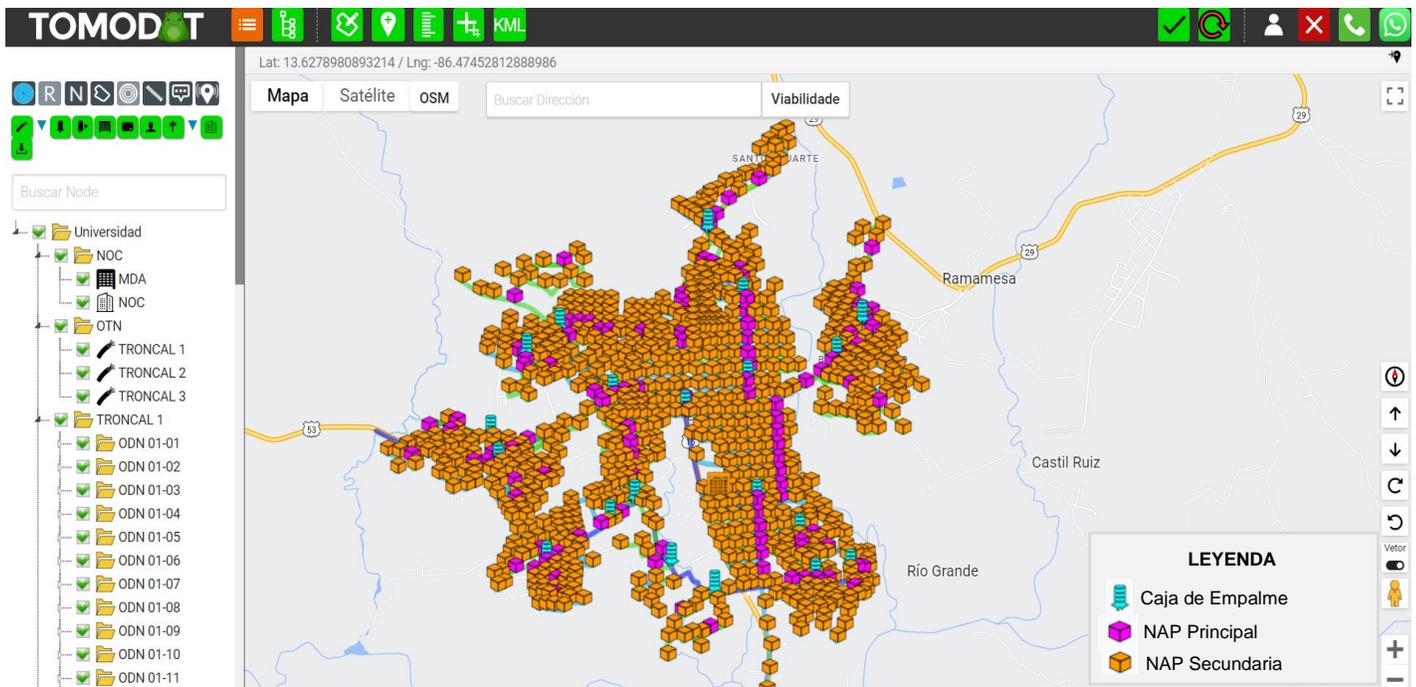


Ilustración 103 Diseño de red finalizado con cajas NAP principales y secundarias
Fuente: Diseño propio en <https://www.tomodatlatam.com/>



4.10.2. Diagrama de distribución de gabinetes en central de telecomunicaciones.

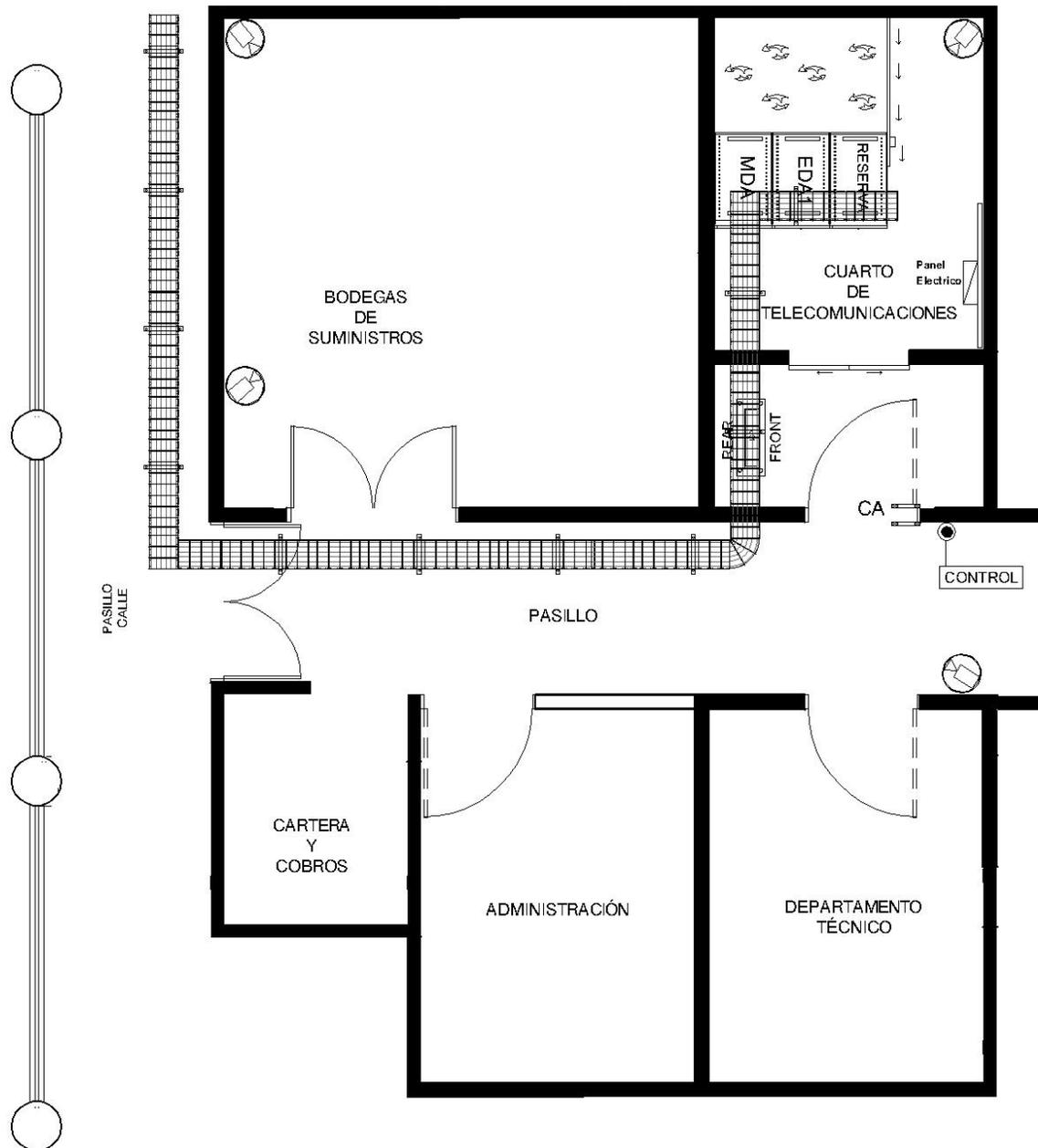


Ilustración 104 Plano de NOC local
Fuente: Diseño propio realizado en AutoCad



Ilustración 105 Vista ampliada del cuarto de datos
Fuente: Diseño propio realizado en AutoCad



4.10.3. Diagramas esquemáticos de las conexiones entre equipos.

En esta sección se menciona como se proponen las conexiones para brindar servicios triple play a través de una red GPON, se debe destacar que se presentan diferentes alternativas triple play que varían únicamente en el servicio televisivo, ya que se incluye diagrama de conexiones para servicio de CATV digital, IPTV, y se presenta una opción de incluir IPTV más servicio de CATV digital, este último servicio también puede ser televisión análoga, pero debido al apagón analógico que se irá dando gradualmente no es recomendable concentrarse en este tipo de servicio, en cuanto a los demás servicios como internet y telefonía no se varían los equipos y diagrama de conexión ya que dichos servicios siempre están presente en la propuesta de red sin importar la solución televisiva a ser implementada, de esta manera se cumple la propuesta de servicios triple play.

4.10.3.1 Servicio triple play con televisión digital.

En el servicio de televisión se propuso emitir 40 canales en señal HD y 56 en SD, con el uso de un sintonizador digital de 24 canales para captar señal satelital de los canales nacionales, 4 Encoder HDMI de 24 canales cada uno, 24 decodificadores satelitales de una marca, 48 decodificadores satelitales de otra marca popular en el mercado, 14 decodificadores de otra marca diferente, para un total de 86 canales adquiridos satelitalmente vía decodificadores los cuales alimentan de contenido a los 4 Encoder HDMI, quedando en el Encoder No. 4 10 espacios disponibles para ingresar más canales a futuro.

Los canales nacionales se captan con el sintonizador digital por medio de satélite de banda libre o conocidos como FTA, por lo cual no requieren ser ingresados a un Encoder HDMI.

Una vez que se capta la señal de cada canal se conectan los Encoder HDMI y el sintonizador digital a los moduladores 16 ISDB-T vía cable ethernet, en los moduladores se asigna la numeración de los canales y salen en señal digital, posterior a eso, la señal de los moduladores se combina como una sola salida por medio de la combinadora RF que se ubica en la parte superior del gabinete, para lograrlo se utiliza la salida RF de los



moduladores y se conectan en la parte trasera de la combinadora por medio de cable coaxial.

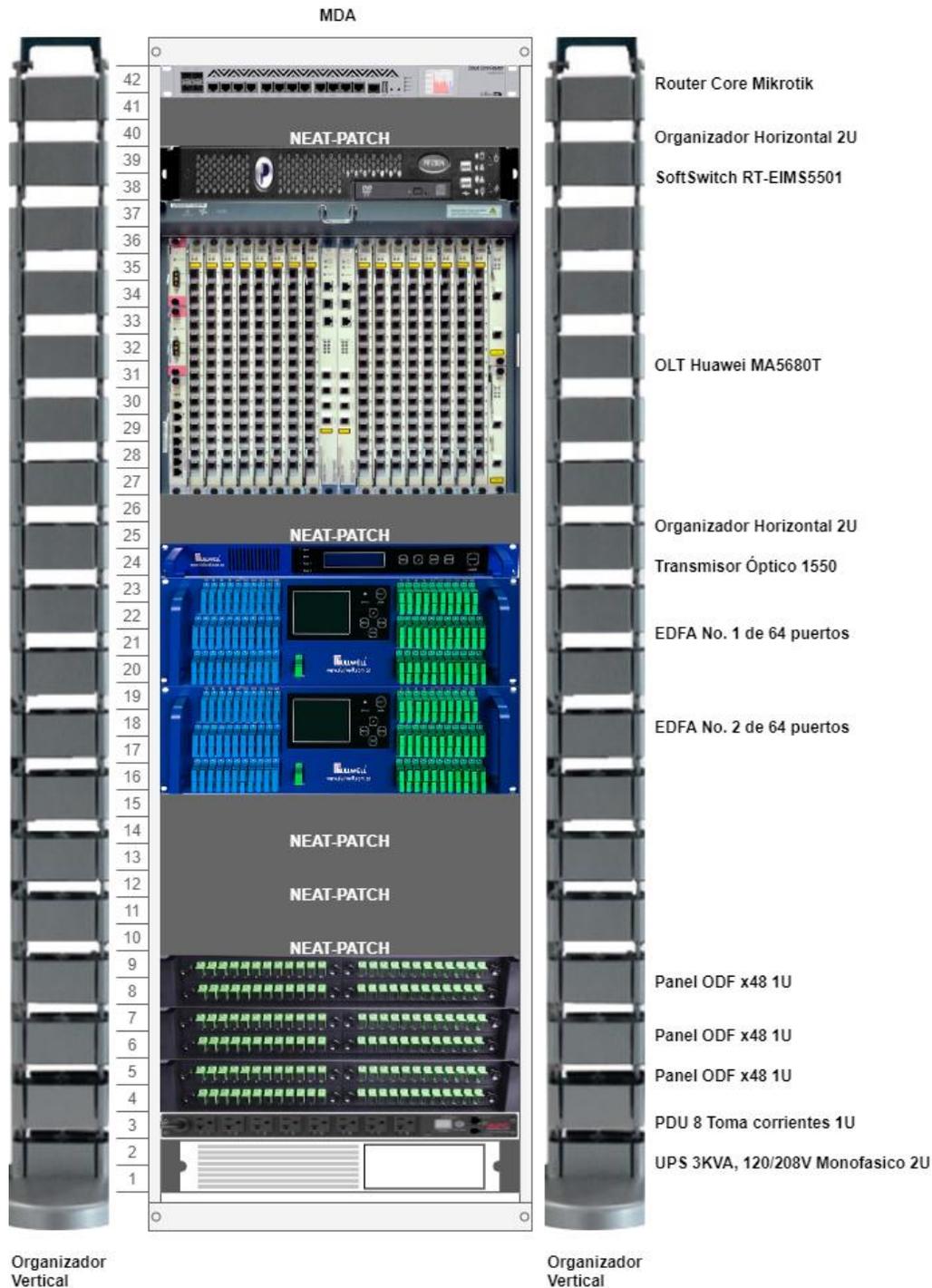


Ilustración 106 Distribución de equipos en MDA
Fuente: diseño propio realizado en Drawio

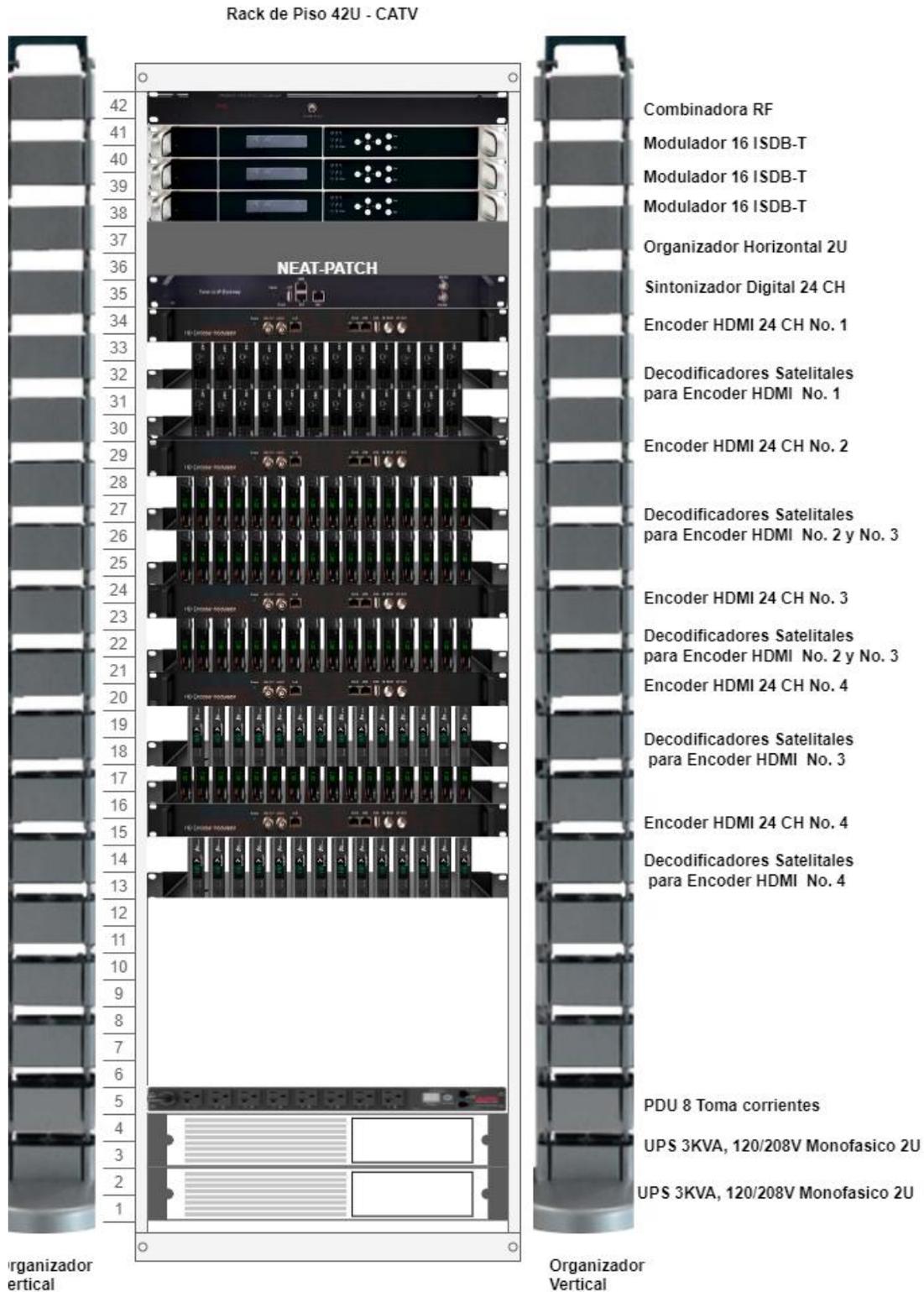


Ilustración 107 Distribución de equipos EDA01 para TV Digital
Fuente: diseño propio realizado en Drawio



4.10.3.2 Servicio triple play con IPTV.

El servicio de IPTV puede ser implementado tanto en redes locales como en redes externas, pero cuando se ofrece a través de internet se conoce como OTT (over-the-top, "por encima de la red" en español). Para una implementación de alta calidad, se sugirió el uso de la red de fibra óptica y la creación de una VLAN exclusiva para IPTV. De esta manera, se evita que la transferencia de datos se consuma desde la velocidad contratada de internet. La red de fibra óptica puede ser vista como una red privada, en la que la distribución de internet se ubica en un rango de IP y la IPTV en otro rango de red. Por ejemplo, si un usuario contrata una velocidad de 20 Mbps, para que la visualización de IPTV no consuma esos 20 megas de internet se crea un segmento de red con una VLAN.

En la implementación de servicios IPTV no se requiere el uso de un transmisor óptico 1550, por lo que se omitió. En la Ilustración 108 se observan los equipos del MDA sin el uso de este transmisor, y en el EDA 01 se excluyeron los moduladores de señal digital y la combinadora. En su lugar, se agregó en la parte superior el IPTV Gateway, el cual recibe la señal de los Encoder a través de ethernet, cada canal envía la señal a través del protocolo UDP, y desde el IPTV Gateway se combinan las señales que llegan desde los Encoder, este equipo permite ser administrado vía web, donde se configuran los canales, eventos VOD, y también se pueden agregar discos duros con archivos multimedia como películas y series.

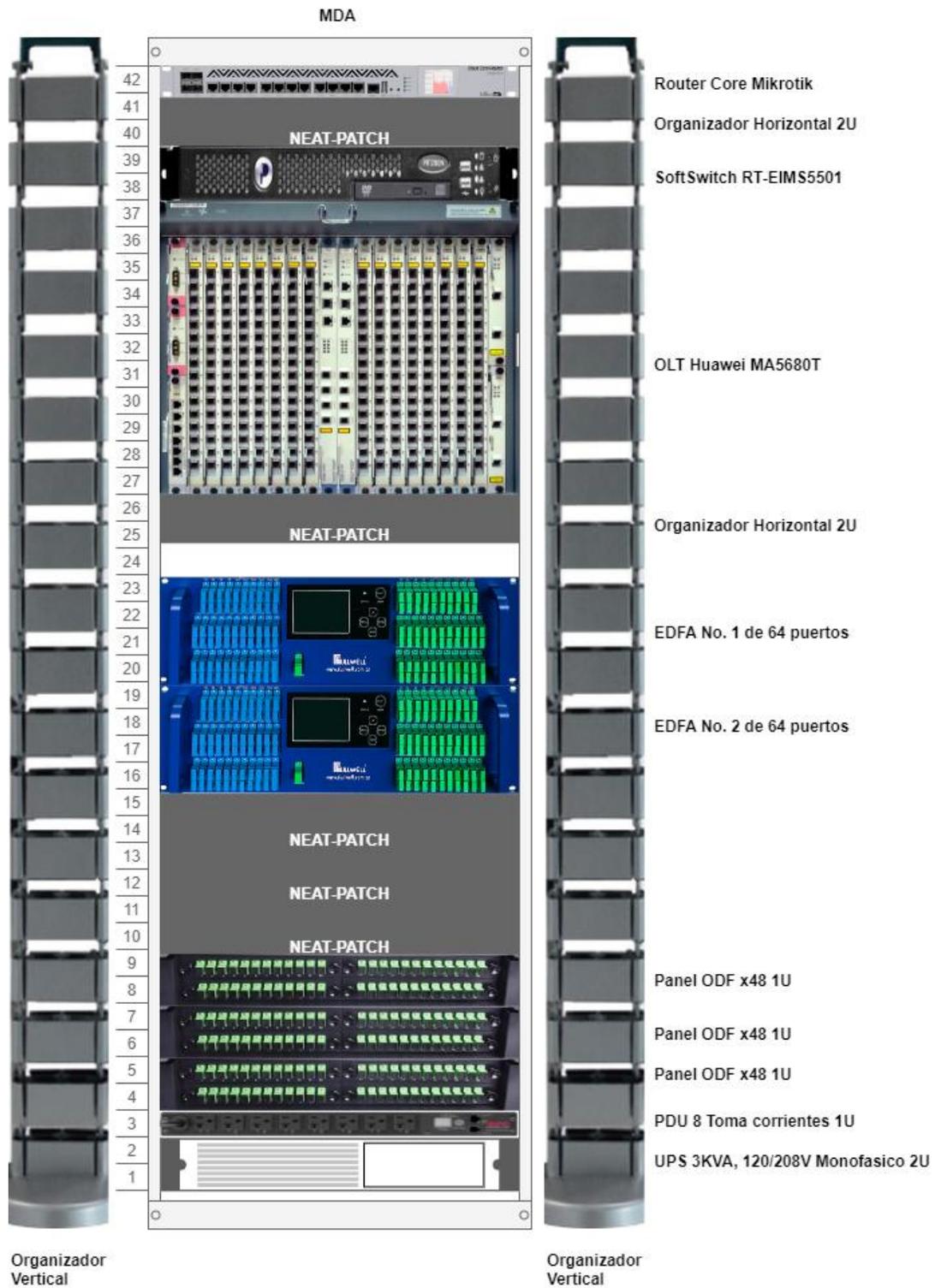


Ilustración 108 Distribución de equipos en MDA
Fuente: diseño propio realizado en Drawio

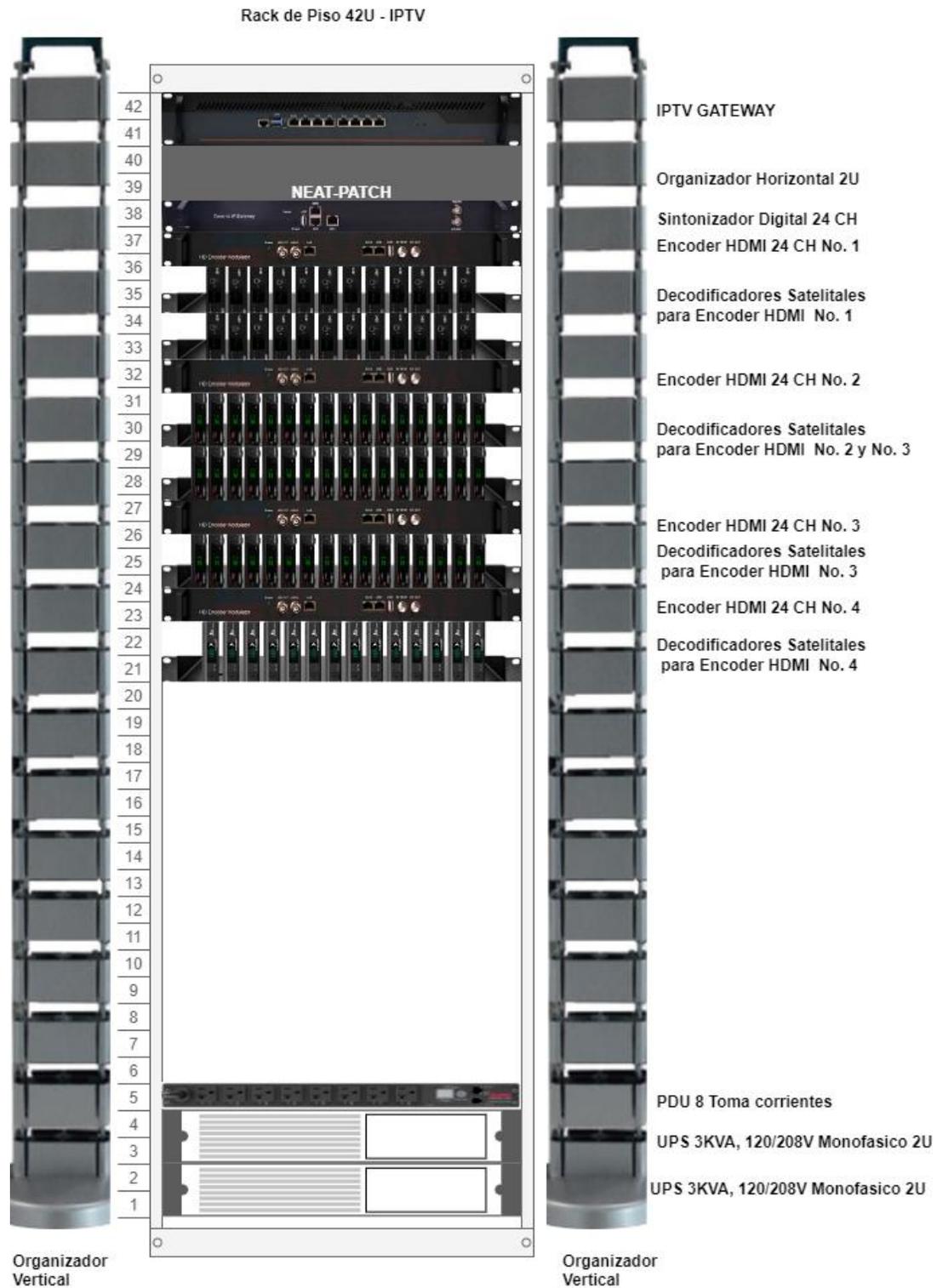


Ilustración 109 Distribución de equipos en EDA 01 para IPTV
Fuente: diseño propio realizado en Drawio



4.10.3.3 Servicio triple play con IPTV más televisión digital

El servicio Triple Play con IPTV más televisión digital es una solución de telecomunicaciones integral que combina tres servicios en uno: telefonía, internet de alta velocidad y televisión. Además, se incluye la tecnología de televisión digital para ofrecer una mejor calidad de imagen y sonido, el cual se puede ofrecer en hogares donde no se dispone de una ONT o contratación de servicios de internet, esto debido que para recibir el servicio IPTV se debe tener un punto de acceso con capacidad de obtener una IP, lo cual no lo ofrece un micro nodo óptico.

El servicio Triple Play con IPTV la señal se transmite a través de la red de internet, lo que permite un mayor control de calidad y una mayor cantidad de canales. Además, el servicio IPTV también ofrece la posibilidad de grabar programas de televisión y verlos en el momento que se desee, lo que aumenta la flexibilidad y la comodidad para los usuarios.

La televisión digital, por su parte, permite una imagen y sonido de alta definición, además, también ofrece una mayor cantidad de canales.

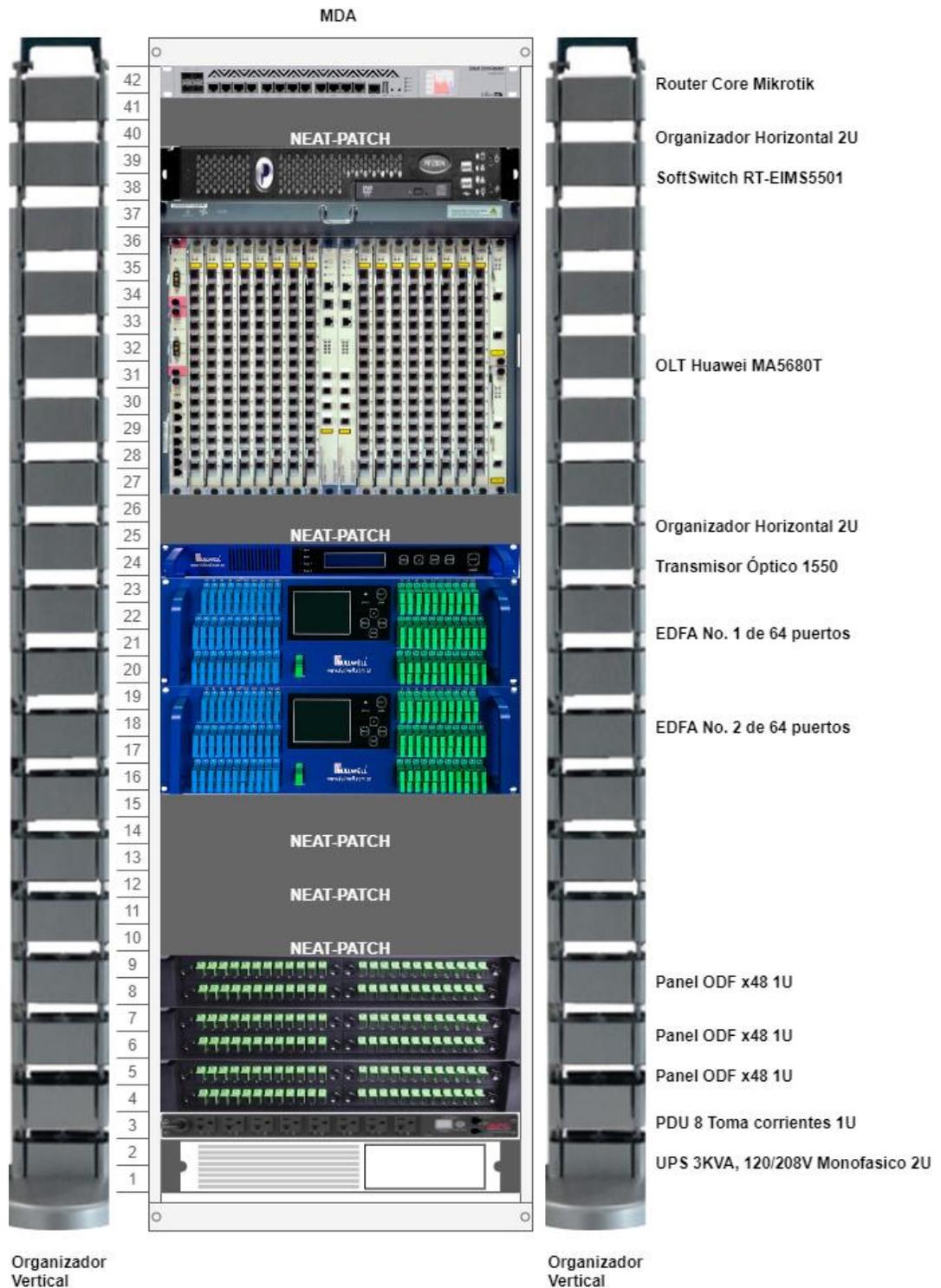


Ilustración 110 Distribución de equipos en MDA
Fuente: diseño propio realizado en Drawio

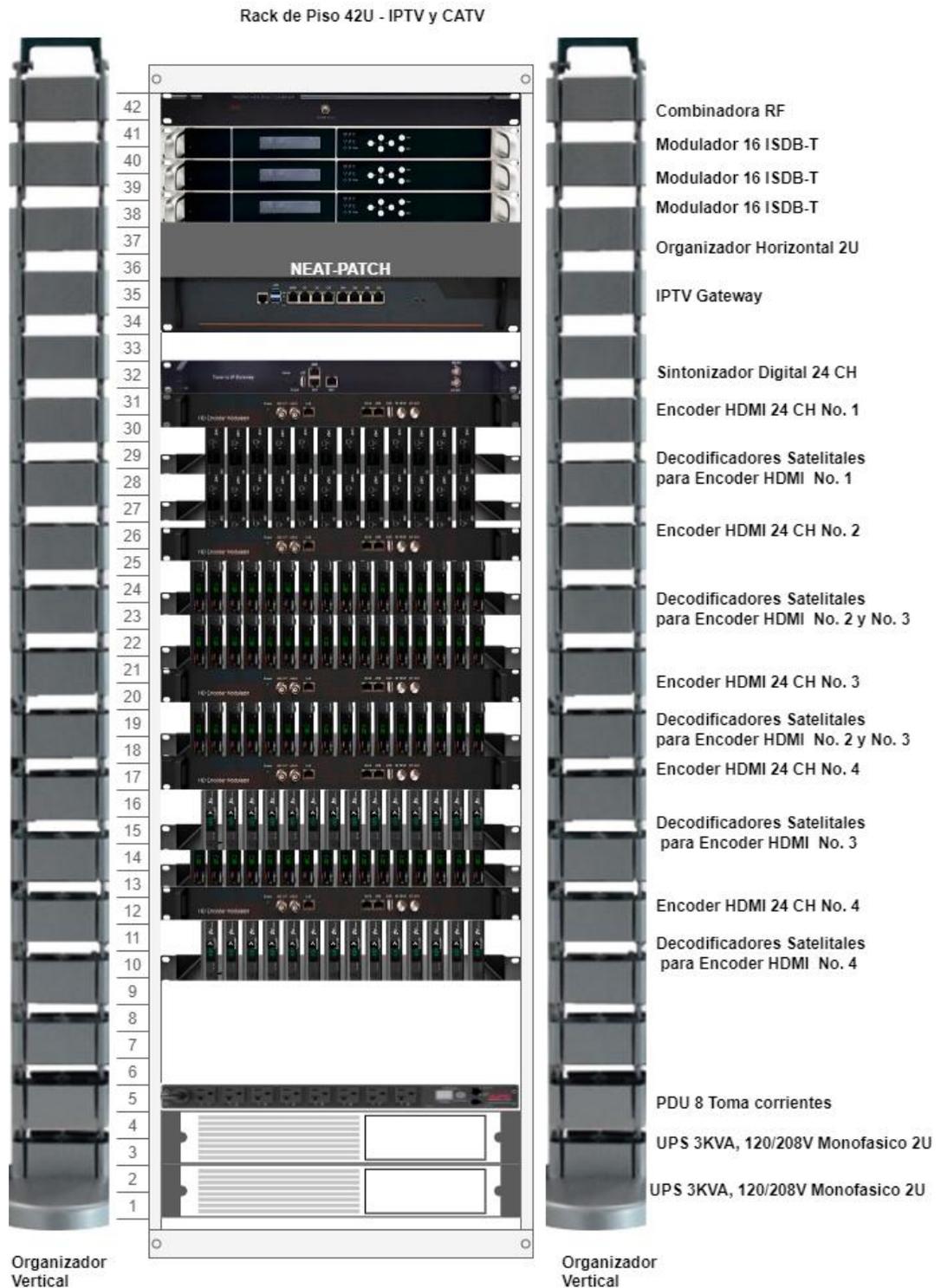


Ilustración 111 Distribución de equipos en MDA para IPTV y TV digital
Fuente: diseño propio realizado en Drawio



4.11. FACTIBILIDAD ECONOMICA

Después de exponer el diseño de la red, se procedió a realizar un análisis económico con el objetivo de evaluar el costo del proyecto en función de la propuesta presentada.

Los datos económicos presentados consisten en los costos directos obtenidos de proveedores en sitios de compras en línea, esto se debe a que las empresas nacionales no proporcionaron proformas que pudieran haber sido incluidas en la presente investigación. En consecuencia, se ha incorporado el costo del producto directamente desde el sitio web, incluyendo el costo de envío, que contempla la entrega directa al comprador. No obstante, es importante destacar que, para la importación de equipos activos de telecomunicaciones al país, se requiere una carta de autorización y validación por parte del Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR), junto con otros documentos necesarios, este proceso certifica y acredita que la empresa está aprobada para brindar servicios de telecomunicaciones dentro del país.

Tabla 11 Análisis de costos de equipos activos

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
ELEMENTOS ACTIVOS					
CENTRAL DE COMUNICACIONES					
1	OLT Marca: Huawei Modelo: MA5680T	c/u	1	U\$2,380.80	U\$2,380.80
2	PLACA GPFD 16 puertos, módulos SFP para HUAWEI MA5680T.	c/u	16	U\$261.52	U\$4,184.32
3	ROUTER Marca : Mikrotik Modelo : CCR1036-12G-4S-EM	c/u	1	U\$1,115.00	U\$1,115.00



ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
4	SERVIDOR TELEFONÍA SOFTSWITCH Marca: Roytel Modelo: RT-EIMS5501	c/u	1	U\$18,300.00	U\$18,300.00
5	TRANSMISOR ÓPTICO 1550 Marca : FullWell Modelo : FWT-1550DT-N	c/u	1	U\$300.00	U\$300.00
6	EDFA Marca : FullWell Modelo: FWAP-1550H-64x23	c/u	2	U\$1,475.00	U\$2,950.00
7	IPTV GATEWAY Marca: SOFTEL Modelo: SFT3508S-M	c/u	1	U\$1,200.00	U\$1,200.00
8	MODULADOR DIGITAL ISDB-T Marca: Catcast Modelo: HPM316	c/u	3	U\$1,300.00	U\$3,900.00
9	SINTONIZADOR DIGITAL 24 CH	c/u	1	U\$750.00	U\$750.00
10	COMBINADORA RF	c/u	1	U\$125.00	U\$125.00
11	ENCODER HDMI 24 CH	c/u	5	U\$680.00	U\$3,400.00
12	UPS 3KVA	c/u	3	U\$2,039.98	U\$6,119.94
13	LAPTOP	c/u	1	U\$1,254.00	U\$1,254.00
COSTO TOTAL DE EQUIPOS ACTIVOS EN CENTRAL DE COMUNICACIONES					U\$45,979.06
EQUIPOS DE MEDICION/TECNICO INSTALADOR					
13	OTDR	c/u	1	U\$630.00	U\$630.00



ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
14	OPTICAL POWER METER	c/u	1	U\$20.00	U\$20.00
15	IDENTIFICADOR DE FIBRA	c/u	1	U\$85.00	U\$85.00
16	FUSIONADORA DE FIBRA	c/u	1	U\$835.00	U\$835.00
COSTO TOTAL DE EQUIPOS DE MEDICION/TECNICO INSTALADOR					U\$1,570.00
EQUIPOS DE RECEPCION/USUARIO FINAL (presupuesto para mil usuarios)					
17	ONT Marca : Huawei Modelo : EchoLife HG8247H	c/u	1000	U\$20.00	U\$20,000.00
18	MICRONODO CATV	c/u	1000	U\$6.50	U\$6,500.00
19	TELEFONO FIJO	c/u	1000	U\$4.80	U\$4,800.00
COSTO TOTAL DE EQUIPOS DE RECEPCION/USUARIO FINAL					U\$31,300.00

Tabla 12 Análisis de costos de equipos pasivos

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
ELEMENTOS PASIVOS					
1	ODF de 48 puertos	c/u	3	U\$30.50	U\$91.50
2	FIBRA OPTICA 48 HILOS	metros	13,300	U\$5.09	U\$67,697.00
3	FIBRA OPTICA 24 HILOS	metros	1,196	U\$3.05	U\$3,647.8
4	FIBRA OPTICA 12 HILOS	metros	46,439	U\$1.81	U\$84,054.59
5	FIBRA OPTICA 6 HILOS	metros	50,870	U\$1.10	U\$55,957
6	SPLITTER (PLC) 1x8	c/u	111	U\$8.20	U\$910.2



ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
7	PATCH CORD DE FIBRA OPTICA SC/UPC 2mtrs	c/u	144	U\$1.10	U\$158.40
8	PATCH CORD DE FIBRA OPTICA SC/APC 2mtrs	c/u	144	U\$1.10	U\$158.40
9	CAJAS DE EMPALME 48 hilos	c/u	20	U\$29.57	U\$ 591.40
10	CAJAS DE DISTRIBUCION NAP (INCLUYE SPLITTER OPTICO 1x8)	c/u	888	U\$22.88	U\$20,317.44
11	CAJA TERMINAL DE ACCESO FTTH	c/u	100	U\$0.80	U\$80.00
12	GABINETE 42U	c/u	3	U\$853.20	U\$2,559.60
13	KIT DE INSTALACION DOMICILIAR	c/u	4	U\$125.10	U\$500.40
14	Soporte de suspensión para Cable de fibra óptica.	c/u	1,000	U\$3.65	U\$3,650.00
15	Renta de postes	c/u	1,000	U\$5.00	U\$5,000.00
COSTO TOTAL DE ELEMENTOS PASIVOS					U\$245,373.73

Tabla 13 Resumen de costos del proyecto

CONCEPTO	PRECIO TOTAL
Equipos Activos En Central De Comunicaciones	U\$45,979.06
Equipos De Medición/Tecnico Instalador	U\$1,570.00
Equipos De Recepción/Usuario Final (presupuesto para mil usuarios)	U\$31,300.00
Costo Total De Elementos Pasivos	U\$245,373.73
COSTO TOTAL	U\$ 324,222.79



V. CONCLUSIONES

Para finalizar, se afirma que el diseño de una red de fibra óptica hasta el hogar con tecnología GPON se presenta como una solución eficiente y efectiva para proveer servicio triple play a los usuarios que demandan comunicaciones y entretenimiento de alta calidad.

- El diseño de la red GPON en la ciudad de Ocotal, Nueva Segovia, representa una solución integral para mejorar la calidad y capacidad de los servicios de telecomunicaciones en la zona, debido a las amplias ventajas que caracterizan a la fibra óptica y las múltiples posibilidades de aprovechamiento de un mismo medio de transmisión de datos.
- Durante el desarrollo de la investigación se realizó una descripción de los principales elementos que constituyen una red de fibra óptica con tecnología GPON, destacando la función de cada uno de ellos para lograr el éxito del proyecto, pero sobre todo brindando conocimiento que permite identificar las mejores prácticas y optimización de la infraestructura para brindar servicios eficientes tanto a clientes residenciales como corporativos.
- Para el desarrollo de la red propuesta se analizó cada área geográfica, debido a que la ciudad presenta distribución urbana irregular, por lo cual estudiar la condiciones en el terreno y la distribución geográfica es imprescindible para determinar las rutas ideales para la cobertura de la red GPON de manera que se garantice la accesibilidad de los servicios de telecomunicaciones en toda la ciudad sin incurrir en desperdicio de material optimizando las mejores rutas lo que se traduce en una mejor administración del presupuesto.
- Después de indicar los servicios de entretenimiento y comunicación que se pueden brindar por medio de la fibra óptica y la tecnología GPON es muy importante la evaluación de los costos asociados a la implementación de la red, siendo esto un aspecto crítico en la planificación del proyecto ya que se debe tomar en cuenta la



optimización de recursos y priorizar áreas de cobertura, esto dependerá en gran medida de los planes de inversión y la capacidad tecnológica que se aspire a alcanzar en una iniciativa de esta envergadura. Es fundamental considerar estas variables para asegurar una implementación eficiente y sostenible de la infraestructura de red en Ocotal, Nueva Segovia, maximizando así el retorno de la inversión y los beneficios para la comunidad.

- El diseño presentado para la implementación de la red GPON en Ocotal ofrece una guía detallada y completa en el cual se abordaron detalles técnicos de los equipos activos, equipos pasivos y herramientas para poder llevar a cabo un proyecto de este tipo, donde la base inicial y primordial es tener un diseño optimizado y documentado, de igual manera se analizaron y expusieron las combinaciones existentes para ofrecer servicios triple play.

- Es crucial contar con profesionales capacitados en el funcionamiento de redes ópticas, en línea con la implementación del programa de banda ancha y digitalización liderado por el Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR). La interconexión digital mediante fibra óptica se está expandiendo en todo el país, lo que reducirá la brecha digital y resaltarán la importancia de tener personal especializado en esta tecnología



VI. RECOMENDACIONES

- a) Antes de comenzar la implementación de la red de fibra óptica, es importante realizar una planificación cuidadosa para garantizar la eficiencia en el uso de recursos y una ejecución exitosa. Esto incluye la evaluación de los requisitos de los usuarios, la definición del alcance, rutas de distribución de fibra óptica, objetivos del proyecto y la selección de los equipos con tecnologías apropiados.
- b) Es fundamental que el diseño de la red esté basado en las necesidades y requisitos de los usuarios finales. Por ello, se deben considerar aspectos como la cantidad de usuarios que se espera conectar, la distancia, calidad y capacidad de transmisión, entre otros factores. Además, es recomendable contar con una red óptica pasiva con capacidades gigabit para minimizar los costos de operación y mantenimiento, dicha red también permitirá la escalabilidad a futuro.
- c) Es importante asegurarse de contar con materiales y equipos de calidad que cumplan con los estándares requeridos para una red de fibra óptica de alta velocidad y confiabilidad. Esto incluye desde la selección de los cables de fibra óptica hasta los equipos activos, como la OLT y las ONT. Contar con equipos y materiales de calidad garantizará una conexión confiable y sin interrupciones para los usuarios finales.
- d) Para garantizar un rendimiento óptimo de la red, es crucial seleccionar la fibra adecuada que cumpla con las especificaciones técnicas necesarias. La fibra óptica ideal debe presentar una baja atenuación y menor dispersión, lo que garantiza una transmisión de señal estable a largas distancias. Además, ser adecuada para aplicaciones que requieren un ancho de banda elevado. Es recomendable elegir una fibra que ya esté disponible en el mercado y haya sido probada para cumplir con estos requisitos técnicos.



- e) Los empalmes ópticos son puntos de conexión críticos en una red de fibra óptica y deben ser llevados a cabo con alta precisión y resistencia para minimizar las pérdidas y evitar desajustes de núcleos que puedan causar atenuación de la señal óptica. Una mala conexión o una alineación deficiente de fibra-núcleo puede incrementar significativamente la pérdida de inserción de elementos como divisores ópticos, entre otros, lo que contribuirá a la variación del presupuesto de potencia total. Si hay demasiadas conexiones deficientes o si alguna de ellas presenta una pérdida excesiva, el presupuesto óptico de potencia podría no cumplirse, lo que puede afectar el funcionamiento correcto de la red de acceso y la prestación de los servicios triple play. Por ello, es esencial asegurar que los empalmes ópticos estén fusionados con alta calidad.

- f) Se sugiere realizar inspecciones visuales periódicas cada tres meses en los tramos de las estructuras físicas para prevenir y detectar posibles fallas. De esta manera, se podrán identificar de forma temprana cualquier problema y proceder a su reparación o mantenimiento oportuno, evitando posibles interrupciones en los servicios de telecomunicaciones. Es importante asegurarse de contar con los equipos y herramientas necesarias para llevar a cabo estas inspecciones de forma segura y eficiente.

- g) Una red de acceso GPON permite tener en su estructura grupos de 64 o 128 usuarios finales por cada hilo de fibra. Permitiendo tener una red bien organizada, por lo que es crucial sectorizar a los clientes de manera equitativa y bien identificados como documentados, lo cual proporcionará una mejor administración de los equipos activos en la central hacia cada uno de los usuarios. Esto también facilitará el control ante posibles fallas relacionadas con la fibra óptica, permitiendo una atención más eficiente en los sectores afectados y determinando exactamente que troncal y que hilo de fibra está causando un problema de comunicación.



VII. BIBLIOGRAFIA

- ADMIN OLT. (20 de Enero de 2021). *ADMIN OLT*. Obtenido de ADMIN OLT: <https://adminolt.com/documentacion/articulo/configuracion-en-routerboard-mikrotik-para-olt-huawei-50/>
- Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio NASA. (2010). *NASA*. Obtenido de NASA: https://science.nasa.gov/ems/09_visiblelight
- Alpha Telecom Solutions . (27 de Noviembre de 2018). *Alpha Telecom Solutions* . Obtenido de Alpha Telecom Solutions : <https://alphaenginyeria.com/redes-gpon>
- Bergés, S. (2016). *Optoelectrónica, fotónica y sensores*. Praha 6, República Checa: České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnick.
- Caballero, R. C. (2015). *La Fibra Óptica en la Telefonía IP*. Lima: Universidad Nacional de San Marcos.
- Cabezas, A. F. (2014). *Sistemas de comunicaciones Ópticas*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- CCNA. (2006). *Conceptos Básicos Sobre Networking V3.1*. CISCO Networking.
- Cervera, V. (11 de mayo de 2016). *Academia*. Obtenido de Academia: https://www.academia.edu/29689361/Fibra_%C3%B3ptica_TEMA_3_Atenuaci%C3%B3n_Dispersi%C3%B3n
- Cruz, I. O. (2001). *Modulo Introductorio Principios Generales del Sistema de Fibra Óptica*. Argentina: Universidad Nacional Tecnológica.
- DELTA Eu. (25 de Julio de 2002). *DELTA Eu*. Obtenido de DELTA Eu: https://shopdelta.eu/atenuacion-de-la-fibra-optica_l6_aid811.html
- Departamento de Química Física - Universidad de Cádiz. (20 de 06 de 2012). *OCW Universidad de Cadiz*. Obtenido de OCW Universidad de Cadiz: https://ocw.uca.es/pluginfile.php/225/mod_resource/content/1/Tema_3._La_Luz_y_el_Color.pdf
- Fandiño, A. (15 de Diciembre de 2020). *SISUTELCO*. Obtenido de SISUTELCO: <https://sisutelco.com/redes-dwdm/>
- Fiber-Óptico. (19 de Enero de 2022). *Red Óptica Pasiva (PON) VS Red Óptica Activa (AON)*. Obtenido de FIBER-ÓPTICO: <https://www.fiber-optico.com/es/blog/passive-optical-network-pon-vs-active-optical-network-aon/>
- Fibra Óptica Blog. (14 de julio de 2014). *Fibra Óptica Blog*. Obtenido de Fibra Óptica Blog: <https://fibropticablog.wordpress.com/2014/07/14/aspectos-generales/>



- FotoNostra. (13 de 05 de 2015). La absorción de la luz y sus propiedades. *La absorción de la luz*.
- FS Community. (9 de julio de 2021). *FS Community*. Obtenido de FS Community: <https://community.fs.com/es/blog/how-to-reduce-various-types-of-losses-in-optical-fiber.html>
- Gil, E. H. (15 de 08 de 2013). *UNAM.MX*. Obtenido de UNAM.MX: http://blogs.fad.unam.mx/asignatura/elva_hernandez/wp-content/uploads/2013/08/teoria-de-los-colores-luz-y-tipos-de-luz-e.pdf
- Hayes, J. (2009). *Guía de Referencia de la Asociación de Fibra Óptica*. Carolina del Sur: BookSurge Publishing.
- Kolb, D. H. (18 de 08 de 1999). *Retina UMH Webvision*. Obtenido de Retina UMH Webvision: <http://retina.umh.es/webvision/spanish/fisicaluz.html>
- La Fibra Óptica Perú. (2014). LA FIBRA OPTICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN. LIMA, LIMA, PERÚ.
- Mayor, I. C. (2014). *Manual de Comunicaciones por Fibras Ópticas*. Perú.
- Montero, A. S. (17 de Febrero de 2006). *Departamento de Electronica I.E.S La Fuensanta*. Obtenido de Departamento de Electronica I.E.S La Fuensanta: [http://asanmon.webcindario.com/Archivos\(2\)/Fibra.pdf](http://asanmon.webcindario.com/Archivos(2)/Fibra.pdf)
- Nassau, K. (17 de Noviembre de 2021). *Encyclopedia Britannica*. Obtenido de Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/color/The-visible-spectrum>
- Neo Broadband. (12 de julio de 2021). *Neo Broadband*. Obtenido de Neo Broadband: <https://neobroadband.net/elementos-de-la-red-gpon/>
- NTE.mx. (16 de Diciembre de 2021). *nte.mx*. Obtenido de nte.mx: <https://nte.mx/espectro-electromagnetico-fisica-segundo-de-secundaria-2/>
- Pereda, J. A. (2004). *SISTEMAS Y REDES OPTICAS DE COMUNICACIONES*. Madrid: Pearson Educación.
- PRISMA Tecnológico. (2016). *Planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios*. Ciudad de Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.
- Programo Web. (01 de 10 de 2020). *Programo Web*. Obtenido de Programo Web: <https://programoweb.com/reflexion-interna-total/>
- Quimica Web. (27 de 08 de 2020). *Química Web*. Obtenido de Química Web: http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_ccnn_2/tema5/
-



- Rodríguez, D. (2021 de 03 de 2021). *Lifeder*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/caracteristicas-de-la-luz/>
- Tabalina, I. A. (2010). *El láser, la luz de nuestro tiempo*.
- The FOA. (21 de Febrero de 2014). *The Fiber Optic Association*. Obtenido de The Fiber Optic Association: <https://www.thefoa.org/ESP/Diseno.htm#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20de%20la%20red%20de%20fibra%20%C3%B3ptica%20es%20el,una%20red%20de%20fibra%20%C3%B3ptica.>
- The FOA. (23 de julio de 2022). *The FOA*. Obtenido de The FOA: <https://www.thefoa.org/tech/ref/appln/FTTH-ESP/Introduccion%20a%20la%20FTTH.html>
- VIAVI SOLUTIONS. (13 de 06 de 2015). *VIAVI SOLUTIONS* . Obtenido de <https://www.viavisolutions.com/es-mx/productos/herramientas-para-fibra-optica>
- VIAVI Solutions. (11 de Septiembre de 2019). *VIAVI Solutions INC*. Obtenido de VIAVI Solutions INC: <https://www.viavisolutions.com/es-es/red-optica-pasiva-pon>
- Victorino, E. A. (2009). *Telefonía con fibra óptica*. México D.F: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- Xperts Factory. (08 de 2018). *Xperts Factory*. Obtenido de Xperts Factory: <https://xpertsfactory.com/wp-content/uploads/2018/08/Libro-de-Fibra-optica-pdf.pdf>