

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y
AMBIENTAL**
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES



**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED FTTH (FIBRA HACIA EL HOGAR)
CON TECNOLOGÍA GPON Y SERVICIO TRIPLE PLAY PARA EL
SECTOR 10 DEL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR - LIMA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

HUAMANÍ NAJARRO, JHONNY JULIÁN

**Villa El Salvador
2016**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo y esfuerzo a mi querida madre Salustia, por su enorme paciencia y estar siempre a mi lado acompañándome en los momentos más difíciles, enseñándome que a pesar de las adversidades que se presenten en la vida hay que seguir adelante y con más fuerza. Y en especial a mi querido padre Julián, a quien gracias a su gran apoyo y sacrificio he llegado hasta aquí y que me cuida desde el cielo observando cada uno de mis pasos.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, por ser la fuente de mi inspiración y de mis ganas de seguir y superarme día a día ya que con su ejemplo me han enseñado que lo fácil de la vida es vivirla con alegría.

A mi querida madre Salustia, por su enorme paciencia y estar siempre a mi lado acompañándome en los momentos más difíciles, enseñándome que a pesar de las adversidades que se presenten en la vida hay que seguir adelante y con más fuerza.

A mi fallecido y querido padre Julián, por su gran sacrificio y apoyo constante a lo largo de mi carrera y por haberme sido un ejemplo de fuerza y empuje para enfrentar las adversidades. Gracias papá, sin ese cariño y apoyo incondicional que me brindaste no hubiera llegado hasta aquí. Te quiero mucho pá.

Y un agradecimiento especial al ingeniero Rigoberto Picón Acosta, por permitirme trabajar en su empresa Cable Sur Telecomunicaciones S.A.C. para desarrollar mis conocimientos y al ingeniero Wilder Rueda Morales, por haberme brindado los conocimientos requeridos en telecomunicaciones para el desarrollo de este proyecto.

Índice

LISTADO DE FIGURAS.....	XI
LISTADO DE TABLAS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.....	2
1.2 Justificación del problema.....	4
1.3 Delimitación del problema.....	5
1.3.1 Delimitación teórica.....	5
1.3.2 Delimitación temporal.....	5
1.3.3 Delimitación espacial.....	5
1.4 Formulación del problema.....	5
1.4.1 Problema General.....	5
1.4.2 Problemas específicos.....	6
1.4.2.1 Problema específico 1.....	6
1.4.2.2 Problema específico 2.....	6
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
1.5.2.1 Objetivo específico 1.....	6
1.5.2.2 Objetivo específico 2.....	6

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.2 Bases teóricas.....	8
2.2.1 Redes FTTH.....	8

2.2.1.1	Arquitectura.....	10
a.	Sistemas de transmisión	
	Punto a Punto (PP).....	11
b.	Sistemas de transmisión	
	Punto a Multipunto (PMP).....	11
	b.1 Sistemas PMP activos.....	12
	b.2 Sistemas PMP pasivos.....	13
2.2.1.2	Respecto a la arquitectura distribuida.....	16
2.2.1.3	¿Por qué empezar con FTTH?	17
2.2.1.4	Ventajas.....	18
	2.2.1.4.1 Otras ventajas.....	19
2.2.1.5	Comparaciones.....	20
2.2.2	Redes PON.....	21
2.2.2.1	Motivos de la aparición de las redes de fibra óptica.....	23
2.2.2.2	Estructura y funcionamiento de una red PON.....	24
	a. Canal descendente.....	25
	b. Canal ascendente.....	26
	2.2.2.2.1 Aspectos a contemplar.....	26
2.2.2.3	Componentes de una red PON.....	27
	a. Equipo Concentrador (OLT).....	27
	b. Red Óptica de Distribución (ODN).....	27
	c. Equipos Terminales de Red (MDU).....	27
	d. Equipos Terminales de Usuario (ONT).....	27
	2.2.2.3.1 Resumen.....	28
2.2.2.4	Ventajas de las redes ópticas pasivas (PON).....	28
2.2.2.5	Estándares.....	28
	a. APON (ATM ((Asynchronous Transfer Mode) Passive Optical Network) - ITU-T G.983.....	28
	b. BPON (Broadband PON - Red Óptica Pasiva de	

Banda Ancha).....	30
b.1 Características generales.....	31
c. EPON (Ethernet PON) - IEEE 802.3.....	32
c.1 Características generales.....	33
d. GPON (Gigabit-capable PON) - ITU-T G.984.....	34
d.1 Características generales.....	35
e. 10G-EPON - IEEE 802.3av.....	36
2.2.3 Redes GPON.....	36
2.2.3.1 Objetivos.....	40
2.2.3.2 Características y técnicas.....	40
a. Multiplexación de la información.....	40
b. Potencia y alcance.....	41
c. Sentido descendente – TDM.....	44
d. Sentido ascendente – TDMA.....	44
e. Identificación de usuarios.....	45
f. Configuración remota de las ONT.....	46
g. Protocolos de enlace o transporte.....	46
h. Implementación Multicast.....	47
2.2.3.3 Arquitectura.....	47
2.2.3.4 Elementos componentes de la red.....	50
2.2.3.4.1 Cabecera.....	50
a. OLT.....	50
b. Transmisor óptico.....	51
c. Amplificador óptico.....	52
d. Distribuidor óptico (ODF).....	53
2.2.3.4.2 Planta externa.....	54
a. Fibra óptica.....	54
a.1 Fibra multimodal.....	55
a.1.1 Fibra multimodal con índice graduado.....	55
a.2 Fibra monomodal.....	56

b. Splitters ópticos.....	57
c. Mufas o cajas de distribución.....	61
d. Cajas terminales o NAPs.....	62
d.1 Cajas terminales de exterior.....	63
d.2 Cajas terminales de interior.....	63
e. Fibra de acometida.....	64
2.2.3.4.3 Red de abonado.....	64
a. ONT.....	64
2.2.3.4.4 Otros elementos.....	66
a. Conectores.....	66
b. Mangas o tubos termocontraíbles.....	68
c. Pigtailes y jumpers.....	69
d. Adaptadores de fibra.....	70
e. Sistema de gestión de acceso o aprovisionamiento.....	71
2.2.3.5 Estándares.....	72
a. ITU-T G.984.1.....	72
b. ITU-T G.984.2.....	72
c. ITU-T G.984.3.....	73
d. ITU-T G.984.4.....	73
2.2.3.6 Parámetros básicos de rendimiento.....	73
2.2.3.7 Aplicaciones.....	74
2.2.3.8 Servicios que ofrece.....	74
2.2.3.9 Aspectos diferenciales de GPON.....	75
2.2.3.10 ¿Qué hay de nuevo en GPON?	76
2.2.3.11 Resumen de características.....	76
2.2.3.12 Resumen de parámetros principales.....	77
2.2.4 Comparativa de GPON con otras tecnologías PON.....	78
2.2.4.1 Comparación entre EPON y GPON.....	80
a. Ancho de banda.....	81
b. Sistema de gerenciamiento.....	81

c. Seguridad y protección.....	81
d. Cantidad de usuarios por PON.....	82
e. Escalabilidad y flexibilidad.....	82
f. Dimensionamiento de redes GPON y EPON.....	83
g. Resultados de la comparativa EPON y GPON.....	86
2.2.5 Triple Play.....	88
2.2.5.1 Conceptos.....	88
2.2.5.2 Funcionamiento.....	89
2.2.6 Sistema de aprovisionamiento.....	92
2.3 Marco conceptual.....	94

CAPÍTULO III: DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LA RED FTTH CON TECNOLOGÍA GPON Y SERVICIO TRIPLE PLAY

3.1 Análisis de la red FTTH GPON a diseñar.....	97
3.1.1 Análisis del tipo de red y tecnología a diseñar.....	97
3.1.2 Arquitectura y/o topología de red a utilizar.....	99
3.1.2.1 ¿Por qué usar topología distribuida?.....	101
3.1.2.2 Centro de control.....	103
3.1.3 Estructura de la red a diseñar.....	103
3.1.3.1 Red óptica troncal o primario (feeder).....	103
3.1.3.2 Centros de distribución.....	103
3.1.3.3 Red óptica de distribución.....	104
3.1.3.4 Red óptica de acometida.....	104
3.1.3.5 Red interna.....	104
3.1.4 Requisitos de diseño.....	104
3.1.4.1 Zona de despliegue.....	104
3.1.4.2 Características constructivas.....	106
3.1.4.3 Distribución del cableado y descripción de zonas.....	111
3.2 Diseño de la red FTTH GPON.....	115
3.2.1 Dimensionamiento de la red.....	115

3.2.1.1 Escenario donde se realizará el proyecto.....	116
3.2.1.2 Sectorización y distribución de la red FTTH.....	117
3.2.1.3 Delimitación y estructura de componentes en	
cada zona.....	121
a. Zona 1.....	121
b. Zona 2.....	123
c. Zona 3.....	124
d. Zona 4.....	125
e. Zona 5.....	126
f. Zona 6.....	128
g. Zona 7.....	130
h. Zona 8.....	132
i. Zona 9.....	133
j. Zona 10.....	135
k. Zona 11.....	136
l. Zona 12.....	138
3.2.1.4 Análisis de distancias.....	140
3.2.2 Cálculos pertinentes al estudio específico.....	142
3.2.2.1 Dimensionamiento de equipos.....	143
3.2.2.2 Cálculos para el enlace.....	147
a. Ventanas de transmisión para la fibra óptica.....	147
b. Atenuación.....	148
c. Coeficiente de atenuación.....	148
d. Atenuación en un enlace de fibra óptica de tipo	
monomodo.....	149
e. Longitud de enlace (L).....	149
3.2.2.3 Requisitos para el cálculo de enlace.....	150
3.2.2.4 Mejor y peor caso del enlace.....	153
a. Mejor caso del enlace.....	153
b. Peor caso del enlace.....	156
3.2.2.5 Ancho de banda máximo por usuario.....	158

3.3 Identificación y configuración remota de ONTs mediante sistema de aprovisionamiento.....	158
3.4 Resultados del diseño de la red FTTH GPON.....	167
3.4.1 Comparación de atenuación en peor caso con sensibilidad de OLT.....	167
3.4.2 Tipo de ODN.....	168
3.4.3 Ventajas y desventajas de usar la topología distribuida.....	168
CONCLUSIONES.....	169
RECOMENDACIONES.....	170
BIBLIOGRAFÍA.....	171
ANEXOS.....	175
Anexo 1: Equipamiento de cabecera GPON FiberHome.....	175
Anexo 2: Material de planta externa GPON.....	177
Anexo 3: Equipamiento de usuario GPON FiberHome.....	181
Anexo 4: Planos de las zonas de cobertura GPON del Sector 10 de Villa el Salvador.....	185
Anexo 5: Costos de implementación del sistema FTTH – GPON.....	188
Anexo 6: Costos de servicio al abonado (Triple Play).....	190

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.....	9
Figura 2.....	9
Figura 3.....	10
Figura 4.....	11
Figura 5.....	12
Figura 6.....	13
Figura 7.....	15
Figura 8.....	15
Figura 9.....	16
Figura 10.....	20
Figura 11.....	22
Figura 12.....	22
Figura 13.....	23
Figura 14.....	24
Figura 15.....	25
Figura 16.....	26
Figura 17.....	29
Figura 18.....	32
Figura 19.....	37
Figura 20.....	37
Figura 21.....	38
Figura 22.....	38
Figura 23.....	39
Figura 24.....	39
Figura 25.....	44
Figura 26.....	45
Figura 27.....	50
Figura 28.....	51
Figura 29.....	52

Figura 30.....	53
Figura 31.....	54
Figura 32.....	55
Figura 33.....	56
Figura 34.....	56
Figura 35.....	57
Figura 36.....	57
Figura 37.....	61
Figura 38.....	62
Figura 39.....	63
Figura 40.....	64
Figura 41.....	66
Figura 42.....	67
Figura 43.....	68
Figura 44.....	69
Figura 45.....	70
Figura 46.....	71
Figura 47.....	72
Figura 48.....	85
Figura 49.....	85
Figura 50.....	86
Figura 51.....	90
Figura 52.....	90
Figura 53.....	91
Figura 54.....	91
Figura 55.....	92
Figura 56.....	93
Figura 57.....	94
Figura 58.....	100
Figura 59.....	100
Figura 60.....	105

Figura 61.....	106
Figura 62.....	107
Figura 63.....	107
Figura 64.....	108
Figura 65.....	108
Figura 66.....	110
Figura 67.....	117
Figura 68.....	118
Figura 69.....	120
Figura 70.....	122
Figura 71.....	124
Figura 72.....	125
Figura 73.....	126
Figura 74.....	128
Figura 75.....	130
Figura 76.....	131
Figura 77.....	133
Figura 78.....	135
Figura 79.....	136
Figura 80.....	138
Figura 81.....	139
Figura 82.....	153
Figura 83.....	156
Figura 84.....	159
Figura 85.....	160
Figura 86.....	161
Figura 87.....	162
Figura 88.....	163
Figura 89.....	164
Figura 90.....	165
Figura 91.....	166

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.....	13
Tabla 2.....	21
Tabla 3.....	28
Tabla 4.....	42
Tabla 5.....	42
Tabla 6.....	43
Tabla 7.....	43
Tabla 8.....	59
Tabla 9.....	67
Tabla 10.....	77
Tabla 11.....	78
Tabla 12.....	79
Tabla 13.....	79
Tabla 14.....	83
Tabla 15.....	84
Tabla 16.....	87
Tabla 17.....	109
Tabla 18.....	111
Tabla 19.....	114
Tabla 20.....	119
Tabla 21.....	141
Tabla 22.....	142
Tabla 23.....	143
Tabla 24.....	143
Tabla 25.....	144
Tabla 26.....	144
Tabla 27.....	144
Tabla 28.....	145
Tabla 29.....	145

Tabla 30.....	145
Tabla 31.....	146
Tabla 32.....	146
Tabla 33.....	146
Tabla 34.....	147
Tabla 35.....	148
Tabla 36.....	150
Tabla 37.....	151
Tabla 38.....	151

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación lleva por título “ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED FTTH (FIBRA HACIA EL HOGAR) CON TECNOLOGÍA GPON Y SERVICIO TRIPLE PLAY PARA EL SECTOR 10 DEL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR - LIMA”; para optar el título de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones, presentado por el Bachiller JHONNY JULIÁN HUAMANÍ NAJARRO.

Existen redes de acceso implementadas en el Sector 10 de Villa el Salvador que son efectivas, sin embargo, están sometidas a muchas inconvenientes, como atenuación de señal, ruido térmico y ruido de intermodulación, causantes de problemas como lentitud y retardo en transmisión de televisión, Internet y voz; generando también como consecuencia un incremento de demanda de ancho de banda por parte de la población en dicho sector.

Por este y más motivos, la empresa Cable Sur Telecomunicaciones S.A.C. optó por la necesidad de diseñar una red de Fibra Hasta El Hogar (FTTH) con tecnología GPON (Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit), ya que ésta no posee las desventajas presentes en las otras redes y posee la capacidad de ofrecer ancho de banda de mayores velocidades y acceso a servicios Triple Play. Todos estos, integrados en un solo equipo llamado ONU.

La estructura de este proyecto se compone de 3 capítulos. El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, el segundo capítulo el desarrollo del marco teórico y el tercer capítulo corresponde al desarrollo del proyecto.

El Autor.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En el Sector 10 del distrito de Villa el Salvador, existe un número de pobladores que cuenta con servicios de televisión por cable, Internet y telefonía, propios de las redes de acceso implementadas en dicha zona, ya sean pertenecientes a operadoras (Movistar, Claro, Entel, etc.) o cableoperadores (Cablemas); sin embargo, con el paso del tiempo, estas redes de acceso han comenzado a tener problemas debido a las desventajas que poseen, haciendo que los servicios brindados a los pobladores se vean afectados.

Por otra parte, hay pobladores de dicho sector que desean contratar los servicios ya mencionados y debido a que las limitadas redes de acceso instaladas en la zona son las que operan en todo el sector, optan por contratar sus servicios, sometiéndose al frecuente uso de éstos, los cuales ya se ven afectados por los problemas de dichas redes.

Considerando como primer ejemplo la red HFC de la empresa cableoperadora Cablemas, esta red de acceso, cuya estructura incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial y cuyo uso implica a brindar múltiples servicios como televisión por cable, Internet (DOCSIS) y telefonía para necesidad del cliente; es

una red de banda ancha caracterizada por ser fiable, flexible, compleja y segura; sin embargo, con el paso del tiempo ha perdido inmunidad ante muchos inconvenientes como la atenuación de señal, ruido térmico y ruido de intermodulación, causantes de problemas como lentitud y retardo en transmisión de televisión, Internet y voz; generando inconformidad hacia el abonado, por lo que éste exigirá un servicio de ancho de banda mayor.

Se tiene como segundo ejemplo a la red de acceso móvil de la empresa operadora Claro, en la cual el servicio de ancho de banda o Internet es brindado a través de pequeños módems USB. Las velocidades empleadas para este servicio con buenas, sin embargo, son limitadas, por lo que siempre habrá gente que demande mayor ancho de banda con el fin de acceder a descargas de información y datos más amplios que requieran mayor velocidad en transferencia de datos.

Como último ejemplo se tiene a la red de telefonía de la empresa operadora Telefónica, cuyo servicio de telefonía es bueno pero sin embargo es inmune a interferencias.

Cabe mencionar que los servicios que se brindan en el Sector 10 de Villa el Salvador están siendo afectados debido a los problemas existentes en las redes de acceso implementadas en determinada zona. Esto como consecuencia, genera incomodidad hacia los abonados, los cuales exigen la mejora de estos servicios, llegando además a demandar un mejor servicio de ancho de banda e incluso mayor velocidad.

Como estas redes de acceso implementadas están sujetas a limitaciones, las cuales generan impedimentos para brindar adecuadamente tales servicios a los abonados, Cable Sur Telecomunicaciones S.A.C. optó por la alternativa de diseñar una nueva red de mayores ventajas que sea capaz de superar a estas tecnologías a fin de implementarla y minimizar los inconvenientes, mejorando la calidad de servicio y que a la vez tenga la suficiente capacidad de brindar un mayor ancho de

banda. Todo esto suma a la integración de los tres servicios demandados (televisión, Internet y telefonía) en un solo equipo.

1.2 Justificación del problema

Debido a que las redes de acceso implementadas en el Sector 10 del distrito de Villa el Salvador presentan vulnerabilidades, limitaciones y otras desventajas; siendo éstas causantes de que los servicios brindados por cada una de estas tecnologías se estén volviendo obsoletos, la exigencia de mejora de estos servicios y demanda de mayor ancho de banda crecen, por lo que surge la necesidad de diseñar una nueva red que desplace a estas redes, demostrando ésta tanto inmunidad a las inconvenientes presentadas en ellas, como mejora en calidad de servicio y mayor capacidad.

Esta nueva red es la llamada FTTH (Fibra Hacia El Hogar). Es un sistema de banda ancha compuesto fundamentalmente por fibra óptica y que posee la capacidad de transportar gran cantidad de datos e información a velocidades binarias muy elevadas hasta un punto próximo al usuario final.

Presenta múltiples ventajas en comparación con las otras redes de acceso, las cuales son: Mayor capacidad de ancho de banda, mayor alcance, vida útil de mayor duración, inmunidad a interferencias electromagnéticas, bajos costos de mantenimiento, mayor fiabilidad, flexibilidad y escalabilidad de red; entre otras.

Por otra parte, la tecnología GPON (Red Óptica Pasiva Con Capacidad De Gigabit / ITU-T G.984), propia de la red FTTH y conformada por componentes pasivos en planta externa, posee capacidad suficiente para poder brindar un mayor ancho de banda en Gigabits (1.25 Gbps en upstream y 2.50 Gbps downstream para 64 usuarios), garantizando la navegación en Internet a grandes velocidades. También se suma el alcance máximo de 20km y la capacidad de soportar los 3 servicios básicos (televisión, Internet y telefonía / Triple Play), incluyendo servicios

como voz sobre IP, televisión digital de alta definición, vídeo bajo demanda, Internet de banda ancha sin restricciones de distancias y velocidad, juegos en red, etc.; todos estos integrados en un solo equipo (ONU), el cual pueda ser controlado remotamente por un sistema de aprovisionamiento, sin necesidad de tener al mencionado equipo cerca.

Aplicar la tecnología GPON es una alternativa que se suma al diseño de la red FTTH para el espacio ya mencionado.

1.3 Delimitación del problema

1.3.1 Delimitación teórica: Comprende la teoría de redes FTTH y tecnología GPON, así como servicio Triple Play y sistemas de aprovisionamiento.

1.3.2 Delimitación temporal: Este proyecto se realizó en el periodo desde el 15 de Abril del año 2014 al 15 de Mayo del año 2014.

1.3.3 Delimitación espacial: Este proyecto se realizó en el Sector 10 del distrito de Villa el Salvador, en la provincia de Lima.

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Problema general

¿Es posible analizar y diseñar una red FTTH con tecnología GPON y servicio Triple Play para una pequeña zona, la cual es el Sector 10 del distrito de Villa el Salvador?

1.4.2 Problemas específicos

1.4.2.1 Problema específico 1

¿Cómo se realizará el análisis de una red FTTH con tecnología GPON y servicio Triple Play para el respectivo diseño?

1.4.2.2 Problema específico 2

¿Cómo se realizará el diseño de una red FTTH con tecnología GPON y servicio Triple Play para una pequeña zona, la cual es el Sector 10 del distrito de Villa el Salvador?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar y diseñar una red FTTH con tecnología GPON y servicio Triple Play para una pequeña zona, la cual es el Sector 10 del distrito de Villa el Salvador.

1.5.2 Objetivos específicos

1.5.2.1 Objetivo específico 1

Analizar una red FTTH con tecnología GPON y servicio Triple Play para el respectivo diseño.

1.5.2.2 Objetivo específico 2

Diseñar una red FTTH con tecnología GPON y servicio Triple Play para una pequeña zona, la cual es el Sector 10 del distrito de Villa el Salvador.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

A lo largo de la investigación, se encontraron varios proyectos de investigación y tesis que sirvieron de ayuda para el presente trabajo, entre ellas están:

- **Diseño de una red de fibra óptica para la implementación de servicios de una banda ancha en una zona de viviendas en casco urbano – 2012, de Andrés Barroso García, que concluyó:**

“Se logra realizar el diseño e instalación de la red, sustituyendo al vigente sistema de comunicación del cable de cobre ya implementada”.

- **Diseño de una red de fibra óptica FTTH para brindar servicio de voz, video y datos para la Urbanización Los Olivos ubicada en el sector Toctesol en la parroquia Borrero de la ciudad de Azogues – 2011, de Juan Diego Tinoco Alvear, que concluyó:**

“Se demuestra que la red FTTH es muy superior a las redes que utilizan cobre en su arquitectura y redes activas que tienen electrónica compleja en la planta

externa, aparte que esta red FTTH posee muchas ventajas en comparación con las redes en base cobre y redes activas; por lo que se recomienda implementar redes en base a fibra óptica (FTTH)”.

- **Diseño y simulación de una RED ÓPTICA PASIVA (PON) para prestar servicios Triple Play a un conjunto residencial – 2009, de Paula Andrea Carmona Giraldo y Paola Andrea Montes Torres, que concluyó:**

“Los servicios ‘Triple Play’ benefician directamente a los consumidores, ya que pueden acceder a un amplio rango de servicios integrados de voz, datos y video, así como servicios ‘Video bajo Demanda (VoD), TV interactiva en tiempo real, video conferencia, entre otros; siendo la arquitectura GPON la más adecuada para impulsar la masificación de los servicios Triple Play, ya que el factor de calidad de este servicio se mide principalmente en términos de velocidad de transmisión en cada uno de los sentidos de la comunicación de los servicios que soporta la red, disponibilidad del servicio y cobertura; mitigando los problemas de ruido, atenuación e interferencia porque se utilizan equipos pasivos que requieren como fuente de energía emisores de luz, sin condicionar al uso de repetidores y atendiendo a una mayor cantidad de usuarios gracias a la tecnología de transmisión WDM”.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Redes FTTH

La tecnología de telecomunicaciones FTTH (del inglés Fiber To The Home), también conocida como fibra hasta la casa o fibra hasta el hogar, enmarcada 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 negocios de los abonados.

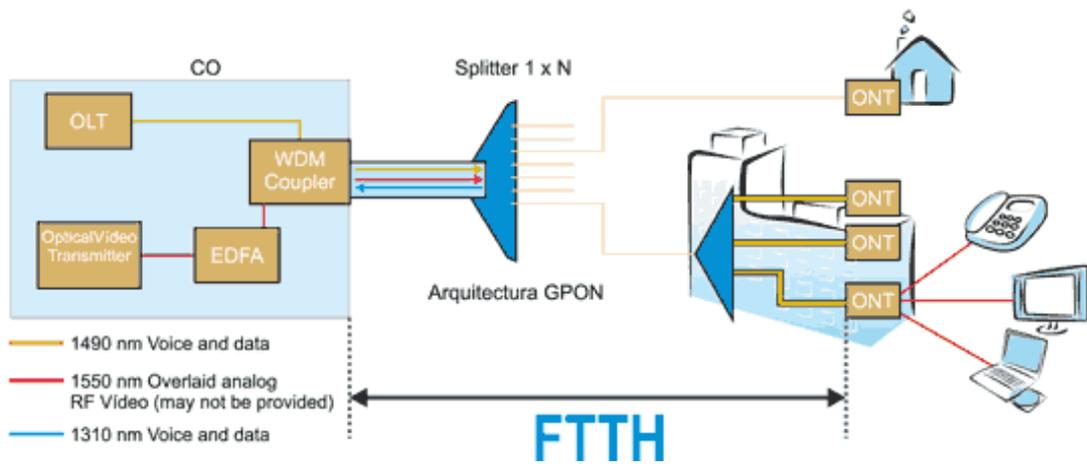


Figura 1. Esquema de una red FTTH.

Fuente: Imágenes de Google.

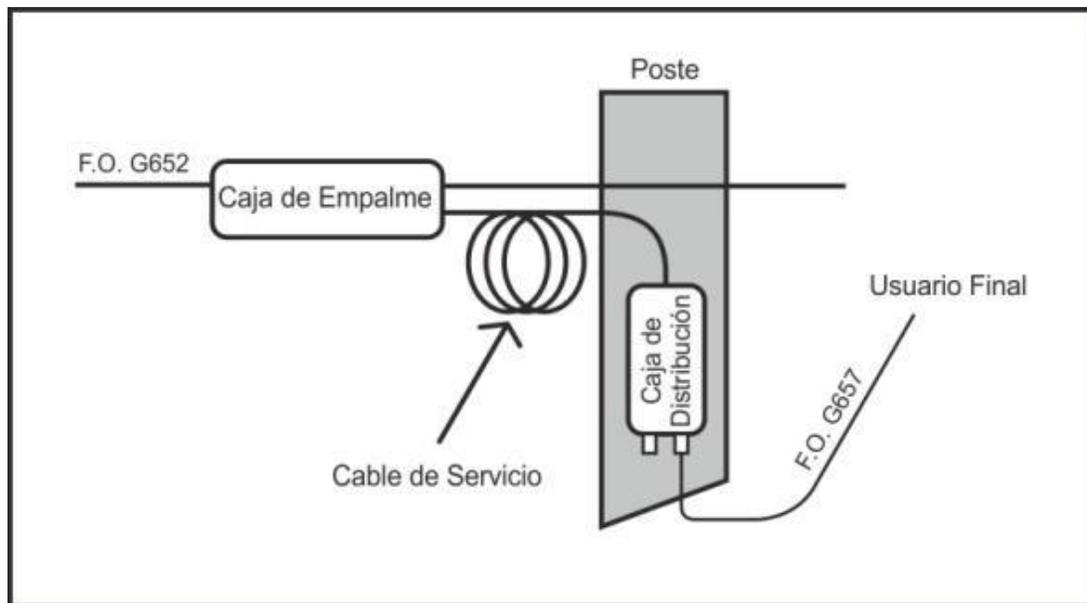


Figura 2. Ejemplo de plantel externo.

Fuente: TecnoRed - Redes FTTH.

2.2.1.1 Arquitectura

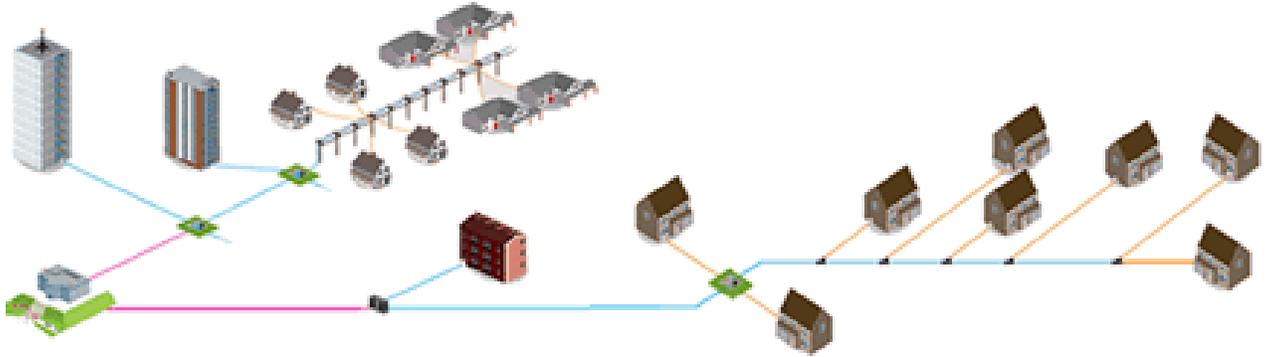


Figura 3. Red FTTH.

Fuente: Tesis de Cristina Castillo Jaramillo y Santiago Figueroa Torres –
Universidad Politécnica Salesiana.

Una red de telecomunicaciones que utiliza como medio de transmisión es la fibra se compone de manera general de los siguientes bloques:

Transmisor ➡ Amplificador óptico ➡ Regenerador ➡ Amplificador óptico
Receptor

Teniendo en cuenta que para las redes de acceso (caracterizadas por ser tramos cortos de fibra) el uso de amplificadores o regeneradores ópticos no es necesario.

En relación a los tipos de topología existentes, se tiene dos tipos de sistemas de transmisión:

- Sistema de transmisión Punto a Punto.
- Sistema de Transmisión Punto a Multipunto.

a. Sistemas de transmisión Punto a Punto (PP)

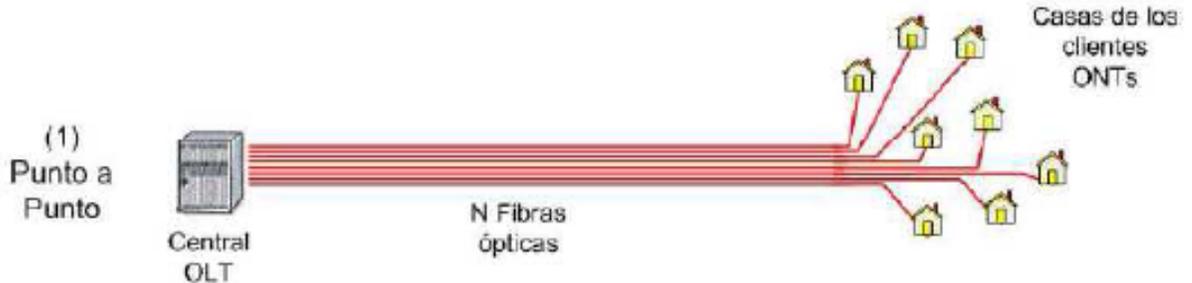


Figura 4. Topología de acceso FTTH PP.

Fuente: Tesis de Cristina Castillo Jaramillo y Santiago Figueroa Torres – Universidad Politécnica Salesiana.

En esta topología intervienen solamente la OLT y la ONT, siendo la central aquella que contiene al nodo de acceso del operador de la red. Como se puede ver se tienen N clientes que requieren una fibra propia a través del trayecto que tiene mayor distancia (longitud L), se requiere además dos transreceptores ópticos por cliente, uno en la OLT y otro en la ONT por esta razón es la topología más costosa.

b. Sistemas de transmisión Punto a Multipunto (PMP)

Se puede dividir en dos tipos dependiendo del tipo de elementos que se utilicen en la red (pasivos o activos).

b.1 Sistemas PMP activos

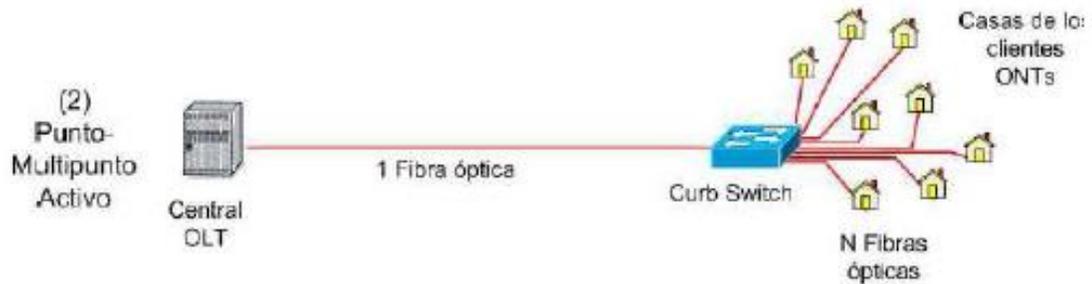


Figura 5. Topología de Acceso FTTH PMP Activa.

*Fuente: Tesis de Cristina Castillo Jaramillo y Santiago Figueroa Torres –
Universidad Politécnica Salesiana.*

Como se puede apreciar en la figura 5, entre la OLT y la ONT se tiene un nodo intermedio que está representado por un curbswitch o hub, el cual es un elemento activo que se encarga de tomar la señal óptica multiplexada que proviene de la OLT, realizar la conversión eléctrica para demultiplexar la señal y una vez demultiplexada la convierte nuevamente en una señal óptica y la envía a la ONT de cada cliente. Realiza también el proceso inverso para la comunicación en sentido contrario. Se requiere además de energía para alimentar el elemento activo (curbswitch o hub).

b.2 Sistemas PMP pasivos



Figura 6. Topología de Acceso FTTH PMP Pasiva.

Fuente: Tesis de Cristina Castillo Jaramillo y Santiago Figueroa Torres – Universidad Politécnica Salesiana.

Este tipo de topología corresponde a la estructura de las redes PON. Entre la OLT y la ONT se coloca un splitter óptico pasivo el cual no requiere convertir las señales ópticas a eléctricas para realizar el proceso de multiplexado/demultiplexado y no requiere de alimentación eléctrica.

	PP	PMP Activa	PMP Pasiva
Requerimientos	N x L fibras y 2 x N transreceptores	(1 x L + N x 1) fibras, y (2 x N + 2) transreceptores	(1 x L + N x 1) fibras, y (N + 1) transreceptores
Costos	Costo elevado	Costo Intermedio	Costo Relativamente Bajo

Tabla 1. Comparación de las diferentes tecnologías de acceso FTTH.

Fuente: Tesis de Cristina Castillo Jaramillo y Santiago Figueroa Torres – Universidad Politécnica Salesiana.

La tecnología FTTH propone utilizar la fibra óptica hasta la casa del usuario o cliente de fibra (usuario final). 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 (una conexión punto-punto que resulta en una topología en estrella) o una red óptica pasiva (del inglés Passive Optical Network, PON) que usa una estructura arborescente con una fibra en el lado de la red y varias fibras en el lado usuario.

- Las arquitecturas basadas en divisores ópticos pasivos se definen como un sistema que no tiene elementos electrónicos activos en el bucle 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. La filosofía de esta arquitectura se basa pues en compartir los costes del segmento óptico entre los diferentes terminales, de forma que se pueda reducir el número de fibras ópticas. Así, por ejemplo, mediante un splitter óptico, una señal de vídeo se puede transmitir desde una fuente a múltiples usuarios.
- La topología en estrella provee de 1 ó 2 fibras dedicadas a un mismo usuario, proporcionando el mayor ancho de banda pero requiriendo cables con mayor número de fibras ópticas en la central de comunicaciones y un mayor número de emisores láser en los equipos de telecomunicaciones.

Arquitectura Básica de Red

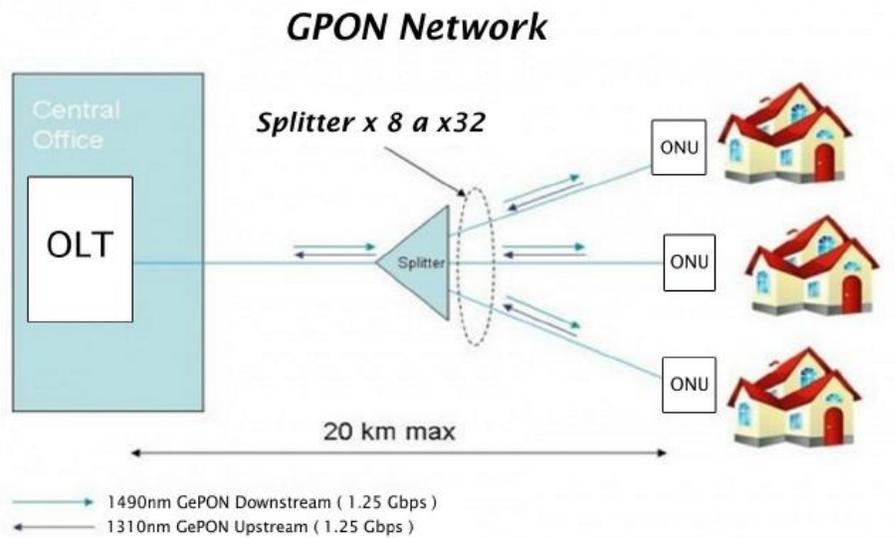


Figura 7. Arquitectura básica de red GPON.

Fuente: Tecnoled - Redes FTTH.

Arquitectura de red Distribuida

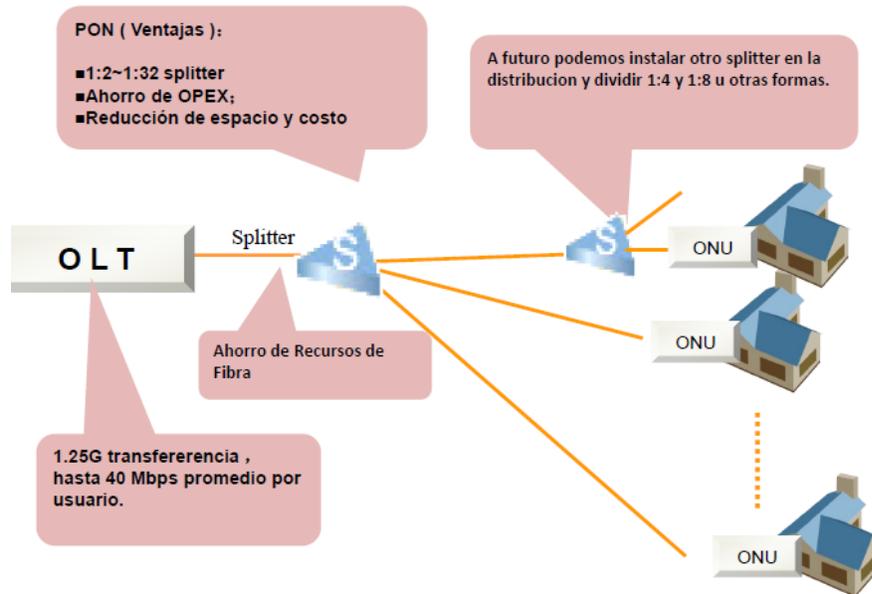


Figura 8. Arquitectura de red distribuida

Fuente: Tecnoled - Redes FTTH.

Arquitectura de red Centralizada



Figura 9. Arquitectura de red centralizada.

Fuente: TecnoRed - Redes FTTH.

2.2.1.2 Respecto a la arquitectura distribuida

Se recomienda la arquitectura distribuida en las redes. Es decir, los elementos pasivos se distribuirán lo más cerca del cliente final, minimizando los gastos de fibra óptica. Sin embargo, su principal objetivo no es minimizar los gastos de fibra, sino diseñar una red que sea fácilmente escalable a futuro, aprovechando los recursos del diseño inicial. Permitirá que, con la menor inversión posible, a futuro se puedan aumentar las zonas de cobertura en caso de crecimiento urbano de la localidad. Se recomienda distinguir tres ramales, con las siguientes características en la distribución de la fibra óptica:

- Feeder o troncal. Es la ruta por cada par de fibra óptica desde el Central Switch Point, hasta el primer elemento pasivo o splitter. Es indispensable y obligatorio que la ruta de feeder permita múltiples fibras ópticas, con el objetivo de permitir que la red GPON pueda ser usada por varios operadores.

- **Distribución**, Es la ruta entre el feeder y el último punto de distribución, a partir del cual parten las fibras ópticas individuales hacia cada ONT o cliente. Mientras las fibras de distribución se acercan más a la zona que se pretende cubrir, se reducen las cantidades de fibra óptica con la que se llega al abonado final. De ser posible, se recomienda la instalación de un ODF o cajas de distribución cuyas dimensiones se adapten a la infraestructura civil, por ejemplo: ODF en forma de gabinetes de pared o de piso para accesos a edificios con alta densidad de clientes, o cajas de distribución pequeñas que permitan ubicarse sobre los postes, en manzanas con baja densidad de clientes finales.
- **Acceso al Abonado**. Corresponde a la ruta desde la ubicación del ONT del cliente hasta el empalme con el poste más cercano, o punto de conexión. En zonas con poca densidad de vivienda, el tramo final del abonado puede hacerse por cableado aéreo desde la casa del cliente hasta el poste más cercano que se conecta con la red de distribución GPON. En zonas con mayor densidad de vivienda como edificios, se recomienda instalar un gabinete u ODF, al pie del cual partirán las fibras de acceso al abonado.

2.2.1.3 ¿Por qué empezar con FTTH?

- ✓ Aumento de la necesidad de ancho de banda en el cliente.
- ✓ Crecimiento de nuevas tecnologías como IPTV, Video on Demand, vigilancia, etc.
- ✓ Opción por excelencia para brindar Triple Play.
- ✓ Inversión a prueba de futuro.
- ✓ Proyecciones a futuro muestran FTTH como la única capaz de soportar todos los servicios.
- ✓ Actualmente gran parte del mundo, USA, Europa y Asia están apostando fuertemente a esta tecnología.

- ✓ Posibilidad de brindar a un cliente en particular un servicio de Internet dedicado.
- ✓ Posibilidad de crear vlans sobre vlans para interconectar a toda una empresa, de manera que pase por nuestra red de forma transparente (QinQ).
- ✓ Servicio de conexión entre clientes remotos de nuestra red, de hasta 1Gbps dedicado.

2.2.1.4 Ventajas

- ✓ Enorme capacidad de transmisión de información.
- ✓ Baja atenuación: Largas distancias sin repetidores (hasta 20 Km).
- ✓ Posibilidad de brindar N-Play sin limitaciones, y servicios futuros de gran ancho de banda.
- ✓ Red totalmente pasiva, sin necesidad de instalar equipos activos en la planta externa.
- ✓ Posibilidad de actualizar una red CATV a FTTH, y seguir brindando televisión ya sea analógica o digital utilizando RFoG.
- ✓ Soporta no solo Televisión digital, sino también Televisión convencional analógica (CATV), bajando los costos de mantenimiento de la red (OPEX), entre otros.
- ✓ Opción ideal para cable operadores que tienen que actualizar su planta externa, debido al deterioro con el paso del tiempo de la misma.
- ✓ Ampliación del ancho de banda (futuro, escalable a 10Gbps) con nuevas tecnologías 10Gepon, solo cambiando el equipo en la cabecera, sin necesidad de actualizar la red.

2.2.1.4.1 Otras ventajas

- ✓ Mayor Cantidad de usuarios por hilo de Fibra Óptica.
- ✓ Mayor ancho de banda para el usuario.
- ✓ Mayor cobertura desde la central, hasta 20 Km según estándar.
- ✓ Mayor Calidad de servicio.
- ✓ Inmunidad a interferencias eléctricas o electromagnéticas.
- ✓ Menor número de fallas de la red cada año.
- ✓ Menor costo por abonado conectado.
- ✓ Menor costo de operación y mantenimiento.
- ✓ No hay consumo de potencia eléctrica en la red.
- ✓ Facilidad de operar y gestionar la red y los servicios.
- ✓ No hay mercado negro para los cables de fibra óptica.

En conclusión, la red FTTH es la única tecnología que cumple todos los requisitos actuales y futuros respecto de las proyecciones de ancho de banda, ya que posee:

- ✓ Mayor capacidad de ancho de banda.
- ✓ Mayor alcance.
- ✓ Vida útil de mayor duración.
- ✓ Inmunes a interferencias electromagnéticas.
- ✓ Bajos costos de mantenimiento.
- ✓ Mayor fiabilidad.
- ✓ Flexibilidad y escalabilidad de red.

2.2.1.5 Comparaciones

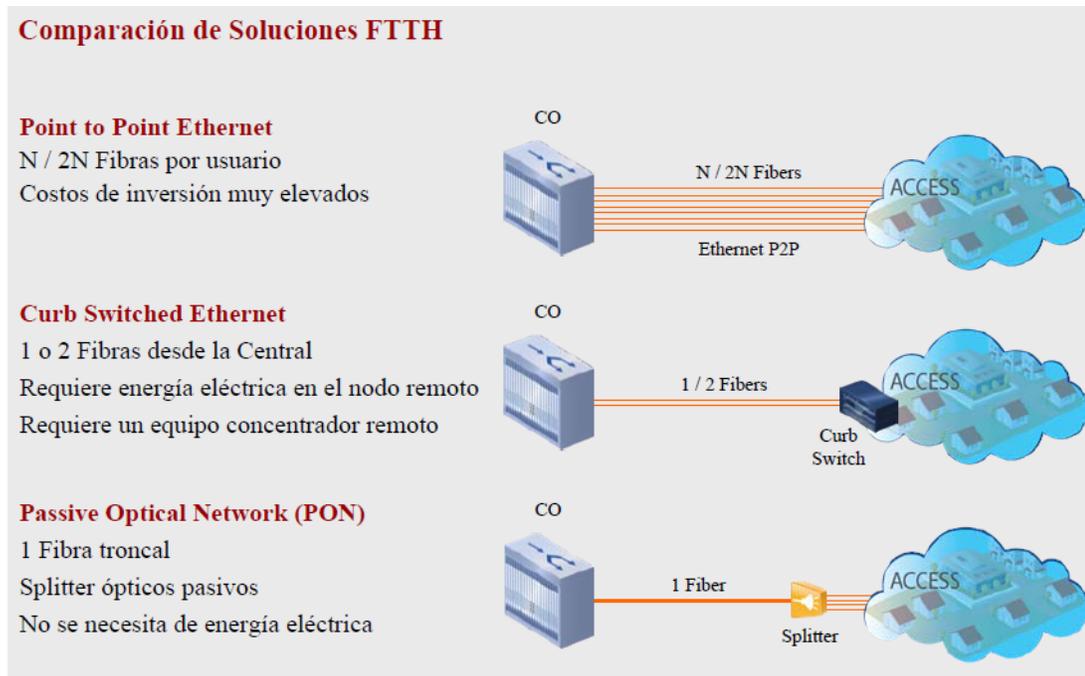


Figura 10. Comparación de soluciones FTTH.

Fuente: Lattanzi y Graf – Redes FTTx: Conceptos y aplicaciones.

	ADSL	HFC	FTTH
Costo red externa	Alto	Medio	Medio/Alto
Apto para IPTV	✓	✗	✓
Ancho de Banda por usuario	16 a 24Mbps	40 Mbps	40 a 1.25Gbs
Costo del equipo de Cliente	Bajo	Medio	Medio/Alto
Red Totalmente pasiva (sin necesidad activos en planta externa)	✗	✗	✓
Duración de la red de planta externa	10 años	10 años	30 años ó mas
Loop de Abonado	600m	600m	20kms
Soporte para NGN	✓	✗	✓
Velocidad independiente de la distancia hasta el usuario	✗	✗	✓
Inmune a ruido, Interferencia, y otros factores eléctricos	✗	✗	✓
Costo del mantenimiento de la red (OPEX)	Alto	Medio	Bajo
Preparada para nuevos servicios de gran ancho de banda	✗	✗	✓
Apta para servicios de HDTV	✗	✓	✓
Apta para Video On Demand	✓	✗	✓
Apta para Juegos Online a alta velocidad	✗	✗	✓
Apta para Servicios de Vigilancia/Seguridad	✗	✗	✓
Ancho de Banda de subida simétrico	✗	✗	✓
Consumo de electricidad	Alto	Alto	Bajo

Tabla 2. Comparación con otras tecnologías – FTTH vs ADSL y HFC.

Fuente: TecnoRed - Redes FTTH.

2.2.2 Redes PON

Una red óptica pasiva (del inglés Passive Optical Network, conocida como PON) permite eliminar todos los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente introduciendo en su lugar componentes ópticos pasivos (divisores ópticos pasivos) para guiar el tráfico por la red, cuyo elemento principal es el dispositivo divisor óptico (conocido como splitter). La utilización de estos sistemas pasivos reduce considerablemente los costes y son utilizados en las redes FTTH.

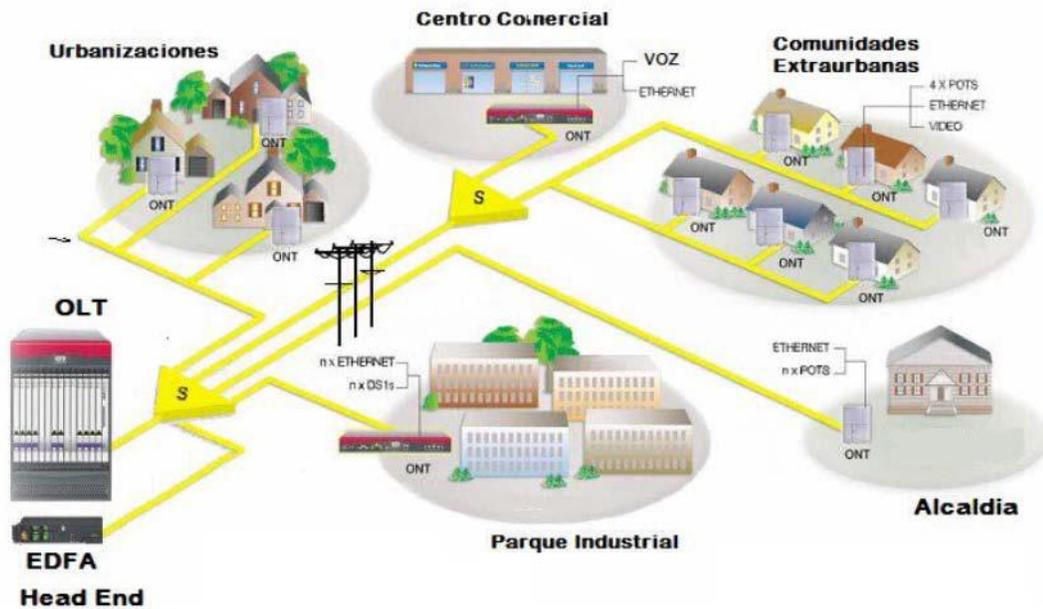


Figura 11. Arquitectura de una red PON.

Fuente: Proyecto de grado de Paula Andrea Carmona Giraldo y Paola Andrea Montes Torres – Universidad Católica Popular del Risaralda.

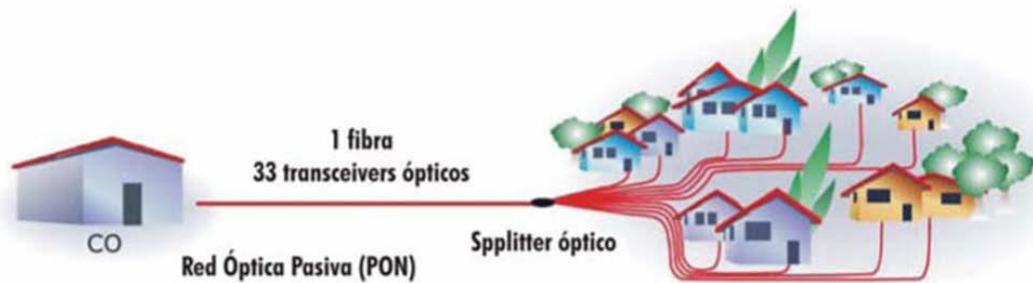


Figura 12. Topología de una red PON.

Fuente: Proyecto de grado de Paula Andrea Carmona Giraldo y Paola Andrea Montes Torres – Universidad Católica Popular del Risaralda.

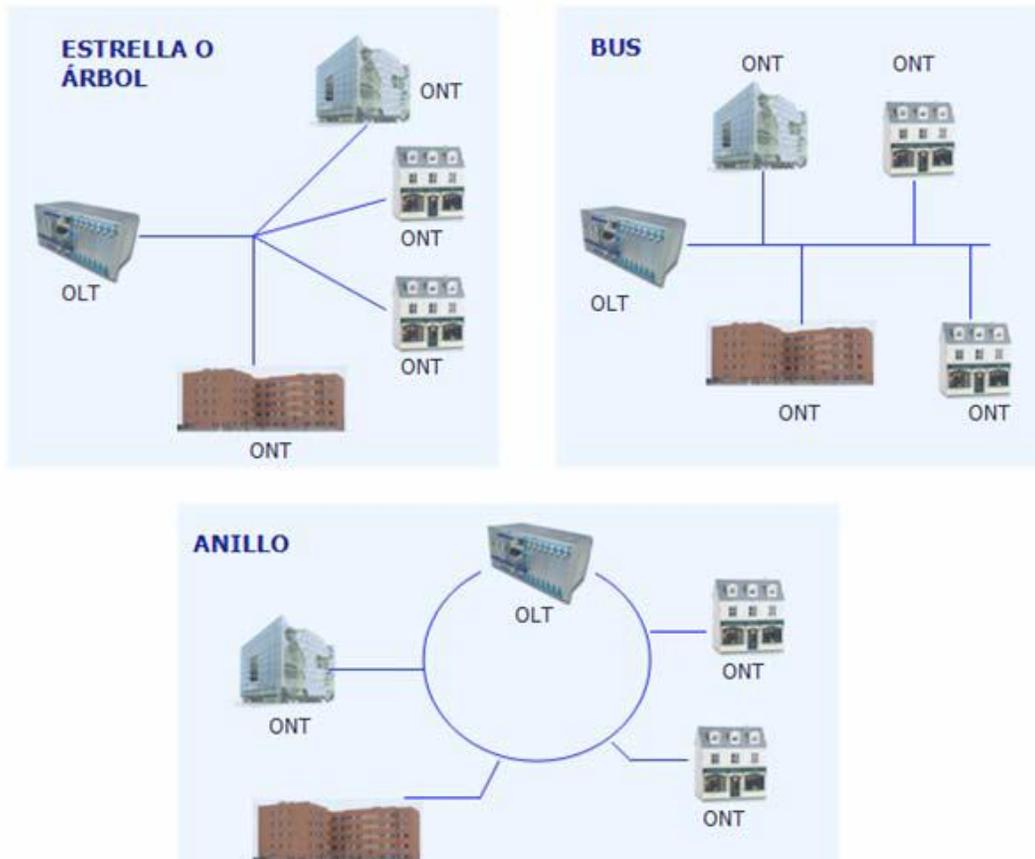


Figura 13. Topologías de redes PON.

Fuente: Proyecto fin de carrera de Jesús Galeano Corchero – Universidad Carlos III de Madrid.

2.2.2.1 Motivos de la aparición de las redes de fibra óptica

En la actualidad seguimos trabajando con tecnologías que explotan el bucle de abonado de cobre (como por ejemplo el Cable Modem y el ADSL); pero, aun así, es necesario cubrir la continua demanda de los usuarios de un ancho de banda más grande. Es en este punto donde se halla el inconveniente de las tecnologías basadas en cobre: sólo pueden ofrecer a lo sumo un ancho de banda en canal descendente de 100 Mbps y en ascendente hasta los 50 Mbps. Además, a esto es necesario sumarle el hecho que estos valores disminuyen rápidamente a medida que la distancia entre el usuario y la central aumenta.

Las redes de fibra óptica surgen como la gran solución al problema debido a dos aspectos en concreto:

- Un ancho de banda mucho más grande.
- El descenso continuo de los precios de los láseres.

2.2.2.2 Estructura y funcionamiento de una red PON

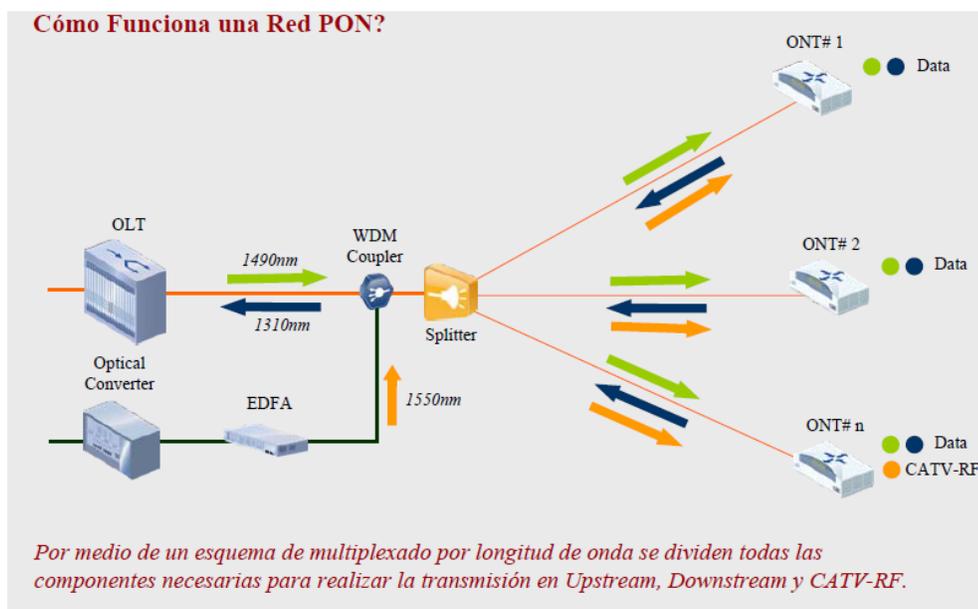


Figura 14. Funcionamiento de una red PON.

Fuente: Lattanzi y Graf – Redes FTTx: Conceptos y aplicaciones.

Una red óptica pasiva está formada básicamente por:

- Un módulo OLT (Optical Line Terminal - Unidad Óptica Terminal de Línea) que se encuentra en el nodo central.
- Un divisor óptico (splitter).
- Varias ONUs (Optical Network Unit - Unidad de Red Óptica) que están ubicadas en el domicilio del usuario.

La transmisión se realiza entonces entre la OLT y la ONU que se comunican a través del divisor, cuya función depende de si el canal es ascendente o descendente.

En definitiva, PON trabaja en modo de radiodifusión utilizando splitters (divisores) ópticos o buses.

a. Canal descendente

En canal descendente, una red PON es una red punto-multipunto donde la OLT envía una serie de contenidos que recibe el divisor y que se encarga de repartir a todas las unidades ONU, cuyo objetivo es el de filtrar y sólo enviar al usuario aquellos contenidos que vayan dirigidos a él. En este procedimiento se utiliza la multiplexación en el tiempo (TDM) para enviar la información en diferentes instantes de tiempo.

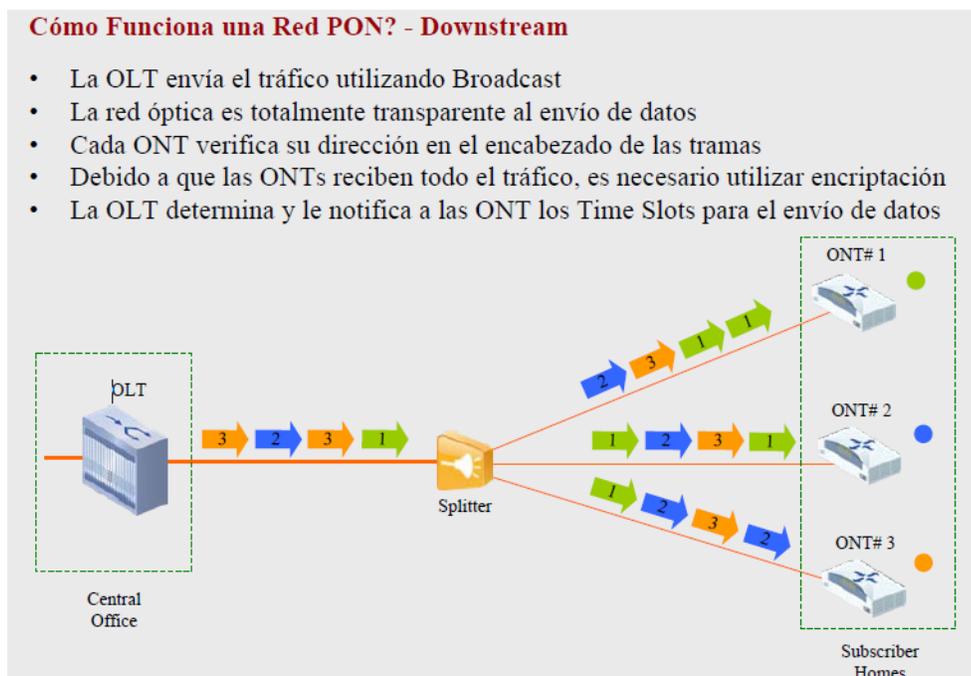


Figura 15. Funcionamiento de una red PON en canal descendente (Downstream).

Fuente: Lattanzi y Graf – Redes FTTx: Conceptos y aplicaciones.

b. Canal ascendente

En canal ascendente una PON es una red punto a punto donde las diferentes ONUs transmiten contenidos a la OLT. Por este motivo también es necesario el uso de TDMA para que cada ONU envíe la información en diferentes instantes de tiempo, controlados por la unidad OLT. Al mismo tiempo, todos los usuarios se sincronizan a través de un proceso conocido como "Ranging".

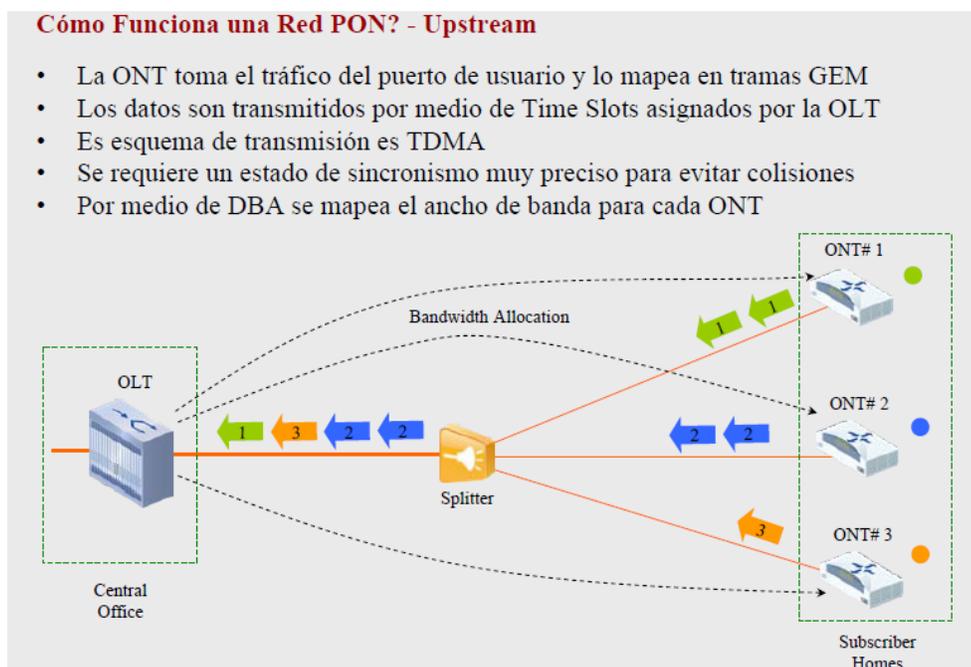


Figura 16. Funcionamiento de una red PON en canal ascendente (Upstream).

Fuente: Lattanzi y Graf – Redes FTTx: Conceptos y aplicaciones.

2.2.2.2.1 Aspectos a contemplar

Para que no se produzcan interferencias entre los contenidos en canal descendente y ascendente se utilizan dos longitudes de onda diferentes superpuestas utilizando técnicas Multiplexación por división de longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing). Al utilizar longitudes diferentes es necesario, por lo tanto, el uso de filtros ópticos para separarlas después.

Finalmente, las redes ópticas pasivas contemplan el problema de la distancia entre usuario y central; de tal manera, que un usuario cercano a la central necesitará una potencia menor de la ráfaga de contenidos para no saturar su fotodiodo, mientras que un usuario lejano necesitará una potencia más grande. Esta condición está contemplada dentro de la nueva óptica.

2.2.2.3 Componentes de una red PON

a. Equipo Concentrador (OLT)

- Provee enlaces de fibra óptica hacia la red del operador.
- Provee enlaces de fibra óptica hacia los usuarios.

b. Red Óptica de Distribución (ODN)

- Fibras ópticas.
- Splitters pasivos.
- Empalmes.
- Conectores.

c. Equipos Terminales de Red (MDU)

- Proveen interfaces de fibra óptica hacia la red ODN.
- Proveen interfaces xDSL hacia los usuarios.

d. Equipos Terminales de Usuario (ONT)

- Proveen interfaces de fibra óptica hacia la red ODN.
- Proveen interfaces FE / GE, POTS y CATV-RF a los abonados.

2.2.2.3.1 Resumen

Elementos Activos	Elementos Pasivos
OLT	Splitters
MDU	Fibra Óptica
ONT	Empalmes

Tabla 3. Elementos activos y pasivos de la red PON.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.4 Ventajas de las redes ópticas pasivas (PON)

- ✓ Aumento de la cobertura hasta los 20 km (desde la central). Con tecnologías DSL como máximo se cubre hasta los 5,5 km.
- ✓ Ofrecen mayor ancho de banda para el usuario.
- ✓ Mejora en la calidad del servicio y simplificación de la red debido a la inmunidad que presentan a los ruidos electromagnéticos.
- ✓ Minimización del despliegue de fibra óptica gracias a su topología.
- ✓ Reducción del consumo gracias a la simplificación del equipamiento.
- ✓ Más baratas que las punto a punto.

2.2.2.5 Estándares

a. APON (ATM ((Asynchronous Transfer Mode) Passive Optical Network) - ITU-T G.983:

A-PON o ATM-PON (Redes Ópticas Pasivas ATM) está definida en la revisión del estándar de la ITU-T G.983, el cual fue el primer estándar desarrollado para las redes PON. Las especificaciones iniciales definidas para las redes PON fueron hechas por el comité FSN (Full Service Access Network), el cual utiliza el

estándar ATM como protocolo de señalización de la capa 2 (Enlace de Datos). Los sistemas APON usan el protocolo ATM como portador. A-PON se adecua a distintas arquitecturas de redes de acceso, como, FTTH (Fibra hasta la vivienda), FTTB/C (fibra al edificio/a la acometida) y FTTCab.

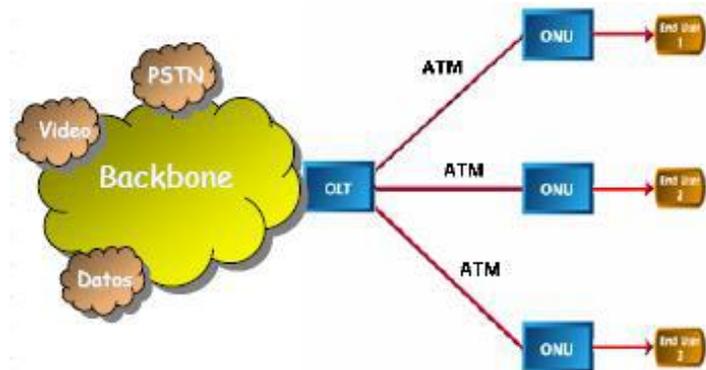


Figura 17. Arquitectura básica de una red APON.

Fuente: Juan Sebastián Guevara Henao – Tecnología de redes PON.

Fue la primera red que definió la FSAN, un grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones con el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas.

APON basa su transmisión en canal descendente en ráfagas de celdas ATM (Modo de transferencia asíncrona) con una tasa máxima de 155 Mbit/s que se reparte entre el número de ONUs que estén conectadas. En canal descendente, a la trama de celdas ATM, se introducen dos celdas PLOAM para indicar el destinatario de cada celda y otra más para información de mantenimiento.

La transmisión de datos en el canal de bajada se da por una corriente de ráfagas de celdas ATM de 53 bytes cada una con 3 bytes para la identificación del equipo generador (ONU o unidad óptica del usuario). Estas ráfagas van a una tasa de bits de 155.52 Mbps que se reparten entre el número de usuarios que estén conectados al nodo óptico, es decir al número de ONU's existentes.

Para el canal de subida, la trama está compuesta por 54 celdas ATM en las cuales hay dos celdas PLOAM (Capa física – operación de administración y mantenimiento) que están destinadas para tener información de los destinos de cada celda y también información para efectos de operación y mantenimiento de la red.

Entre las tecnologías PON existentes, la APON es la que más características en cuanto a OAM (operación y administración) ofrece.

Su inconveniente inicial era la limitación de los 155 Mbit/s que más adelante se aumentó hasta los 622 Mbit/s.

b. BPON (Broadband PON - Red Óptica Pasiva de Banda Ancha):

Esta tecnología de las redes PON surgió como una mejora de la tecnología A-PON para integrar y obtener acceso a más servicios como Ethernet, distribución de video, VPL, y multiplexación por longitud de onda (WDM) logrando un mayor ancho de banda, entre otras mejoras.

Aparte de ser una mejora de A-PON también basa su arquitectura en dicha tecnología. Broadband-PON se define en varias revisiones al estándar ITU-T 983 de las cuales están desde la G.983.1 que es la original de esta tecnología, hasta la G.983.8. La especificación G.983.1 de B-PON define una arquitectura de forma simétrica, es decir, que la velocidad para la transmisión de datos en el canal de bajada es el mismo para el canal de subida (155 Mbps).

Esta norma fue revisada un tiempo después para lograr un aumento en las velocidades de transmisión y para permitir arquitecturas asimétricas (155 Mbps de subida y 622 Mbps de bajada).

Las otras revisiones relacionadas con el estándar son las siguientes: G.983.2 para la capa de gestión y mantenimiento, G.983.3 para QoS, G.983.4 para la asignación de ancho de banda dinámico, G.983.5 para mecanismos de protección, G.983.6 para la capa de control de red OTN, G.983.7 para la capa de gestión de red para el ancho de banda dinámico, G.983.8 para dar soporte al protocolo IP, Video, VALN y VC.

En conclusión, las redes BPON se basan en las redes APON pero con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha. Originalmente estaba definida con una tasa de 155 Mbit/s fijos tanto en canal ascendente como descendente; pero, más adelante, se modificó para admitir:

1. Tráfico asimétrico: Canal descendente -> 622 Mbit/s // Canal ascendente -> 155 Mbit/s.
2. Tráfico simétrico: Canal descendente y ascendente -> 622 Mbit/s.

No obstante presentaban un coste elevado y limitaciones técnicas.

b.1 Características generales

- Estándar ITU-T G.983.
- Primer draft hecho en 1995.
- Tasa de transmisión en Downstream: 155/622/1244 Mbps.
- Tasa de transmisión en Upstream: 155/622 Mbps.
- Splitting Factor de 1:32.
- Eficiencia del 70%.
- Transporte por medio de celdas ATM.
- Permite el transporte de señales CATV-RF.
- Provee protección de los puertos PON.
- Provee seguridad en Downstream por medio de AES.
- No posee corrección de errores por FEC.

c. EPON (Ethernet PON) - IEEE 802.3:

Ethernet – PON es un sistema desarrollado por un grupo de estudio de la IEEE de Ethernet en la última milla (EFM). Este sistema se basa principalmente en el transporte de tráfico Ethernet en vez del transporte por medio de celdas de ATM, que en muchos casos resulta ser muy ineficiente. Este sistema aplica los beneficios que trae usar la fibra óptica en el transporte vía Ethernet. EPON se apega a la norma de IEEE 802.3 y funciona con velocidades de Gigabit, por lo cual la velocidad con la que dispone cada usuario final depende del número de ONU's que se interconecten a cada OLT. Una ventaja de este sistema es que ofrece QoS (Calidad del servicio) en ambos canales (Downstream y upstream).

En cuando a la gestión y administración de la red, EPON se basa en el protocolo SNMP, reduciendo la complejidad de los sistemas de gestión de otras tecnologías.

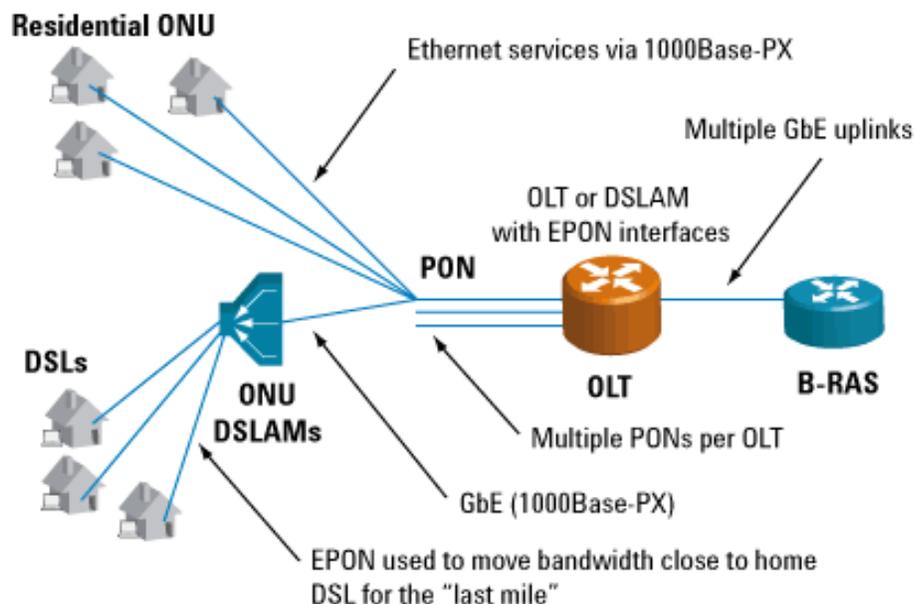


Figura 18. Arquitectura básica de una red EPON.

Fuente: Juan Sebastián Guevara Henao – Tecnología de redes PON.

La red EPON es una especificación realizada por el grupo de trabajo EFM (Ethernet in the First Mile - Ethernet en la primera milla) constituido por la IEEE y descrito en la sección 5 de la norma, para aprovechar las características de la tecnología de fibra óptica y las redes pasivas y aplicarlas a Ethernet.

La arquitectura de una red EPON se basa en el transporte de tráfico Ethernet manteniendo las características de la especificación 802.3. Las ventajas que presenta son:

1. Trabaja directamente a velocidades de gigabit (que se tiene que dividir entre el número de usuarios).
2. La interconexión de islas EPON es más simple.
3. La reducción de los costes debido a que no utilizan elementos ATM y SDH, sino que se transmiten tramas Ethernet puras.

c.1 Características generales

- Estándar IEEE 802.3ah.
- Primer draft hecho en el 2000.
- Tasa de transmisión en Downstream: 1.2 Gbps.
- Tasa de transmisión en Upstream: 1.2 Gbps.
- Splitting Factor de 1:16 / 1:32.
- Eficiencia del 80% y del 60% cuando se utilizan servicios de voz.
- Transporte por medio de tramas Ethernet.
- No permite el transporte de señales CATV-RF.
- No existe un estándar para la protección de los puertos PON.
- No provee seguridad en Downstream.
- Provee un mecanismo de corrección de errores por FEC.

d. GPON (Gigabit-capable PON) - ITU-T G.984:

Gigabit-Capable PON (GPON) es otra tecnología perteneciente a la arquitectura PON, la cual está aprobada por la ITU-T en 4 recomendaciones, la G.984.1, G.984.2, G.984.3 y G.984.4. El principal objetivo de GPON es ofrecer un ancho de banda mucho más alto que sus anteriores predecesoras, y lograr una mayor eficiencia para el transporte de servicios basados en IP.

Las velocidades manejadas por esta tecnología son mucho más rápidas, ofreciendo hasta 2,488 Gbps y la posibilidad de tener arquitecturas asimétricas. Esto comparado con las velocidades de 155 y 622 Mbps de las anteriores tecnologías deja ver un gran avance en cuanto a eficiencia y escalabilidad.

Las velocidades más usadas por los administradores de equipos con arquitectura GPON usan velocidades de 2.488 Gbps para el canal de bajada y de 1.244 para el canal de subida. Esto proporciona velocidades muy altas para los abonados ya que si se dan las configuraciones apropiadas las velocidades pueden ser de hasta 100 Mbps a cada usuario. Lo anterior depende también de factores importantes tales como el número de usuarios y de la calidad de los equipos que se usen, entre otras.

Esta tecnología no solo ofrece mayores velocidades sino que también da la posibilidad a los proveedores de servicios de continuar brindando sus servicios tradicionales sin necesidad de tener que cambiar los equipos para que sean compatibles con esta tecnología. Esto se da gracias a que GPON usa su propio método de encapsulamiento (GEM o Método de Encapsulamiento GPON), el cual permite el soporte de todo tipo de servicios. GPON también permite OAM avanzado, logrando así una gran gestión y mantenimiento desde las centrales hasta las acometidas.

La arquitectura básica de las Redes GPON consta de un OLT (Línea Terminal Óptica) cerca del operador y las ONT (Red Terminal Óptica) cerca de los abonados con FTTH.

Está basada en BPON en cuanto a arquitectura pero, además ofrece:

1. Soporte global multiservicio: voz, Ethernet 10/100, ATM,...
2. Cobertura hasta 20 km.
3. Seguridad a nivel de protocolo.
4. Soporte de tasas de transferencia:
 - a. Simétrico: 622 Mbit/s y 1.25 Gbit/s.
 - b. Asimétrico: descendente-> 2.5 Gbit/s // ascendente -> 1.25 Gbit/s.

d.1 Características generales

- Estándar ITU-T G.984.
- Primer draft hecho en el 2002.
- Tasa de transmisión en Downstream: 1.2 Gbps / 2.4 Gbps.
- Tasa de transmisión en Upstream: 1.2 Gbps / 2.4 Gbps.
- Splitting Factor de 1:64 / 1:128 (en desarrollo).
- Eficiencia del 93% para todos los tipos tráfico de servicios.
- Transporte por medio de tramas GEM.
- Permite el transporte de señales CATV-RF.
- Provee un estándar para la protección de los puertos PON.
- Provee seguridad en Downstream por medio de AES.
- Provee un mecanismo de corrección de errores por FEC.

e. 10G-EPON - IEEE 802.3av:

Desarrollado por el IEEE, fue aprobado en septiembre del 2009, especifica el acceso EPON con un ancho de banda simétrico de 10 Gbit/s o asimétrico de 10 Gbit/s de bajada y 1,25 Gbit/s de subida, compatible con 1G-EPON.

2.2.3 Redes GPON

La Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON o Gigabit-capable Passive Optical Network en inglés) es una tecnología de acceso de telecomunicaciones que utiliza Fibra óptica para llegar hasta el suscriptor. Fue aprobada en 2003-2004 por ITU-T en las recomendaciones G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y G.984.5. Todos los fabricantes de equipos deben cumplirla para garantizar la interoperabilidad. Se trata de las estandarizaciones de las redes PON a velocidades superiores a 1 Gbit/s. Posteriormente se han editado dos nuevas recomendaciones: G.984.6 (Extensión del alcance) y G.984.7 (Largo alcance).

Es la tecnología más nueva, está ganando mucho terreno en el segmento de las redes de acceso por fibra óptica.

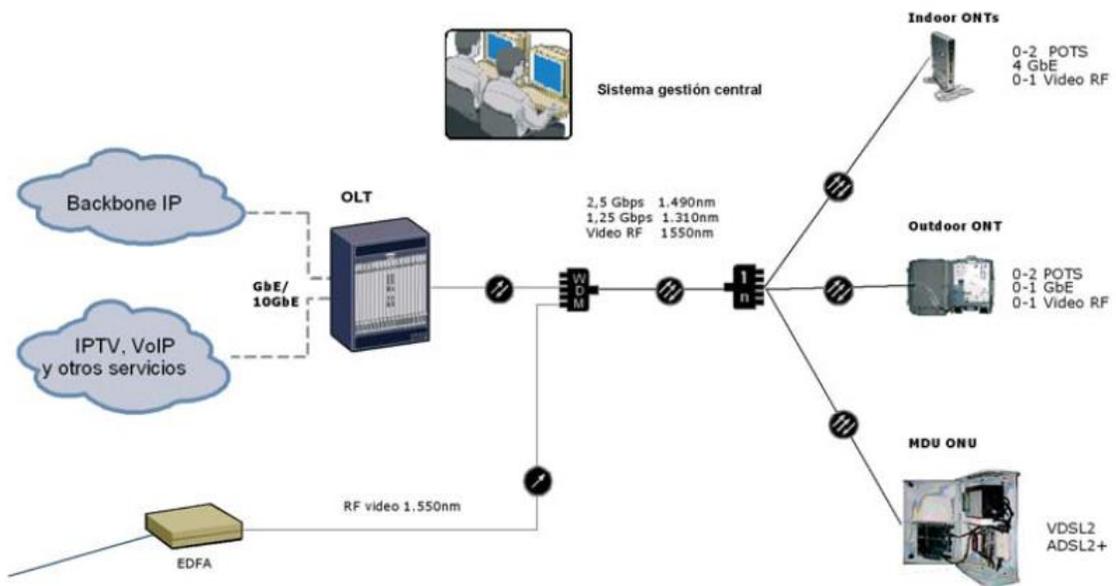


Figura 19. Arquitectura de una red GPON.
Fuente: Ramón Jesús Millán Tejedor: GPON.

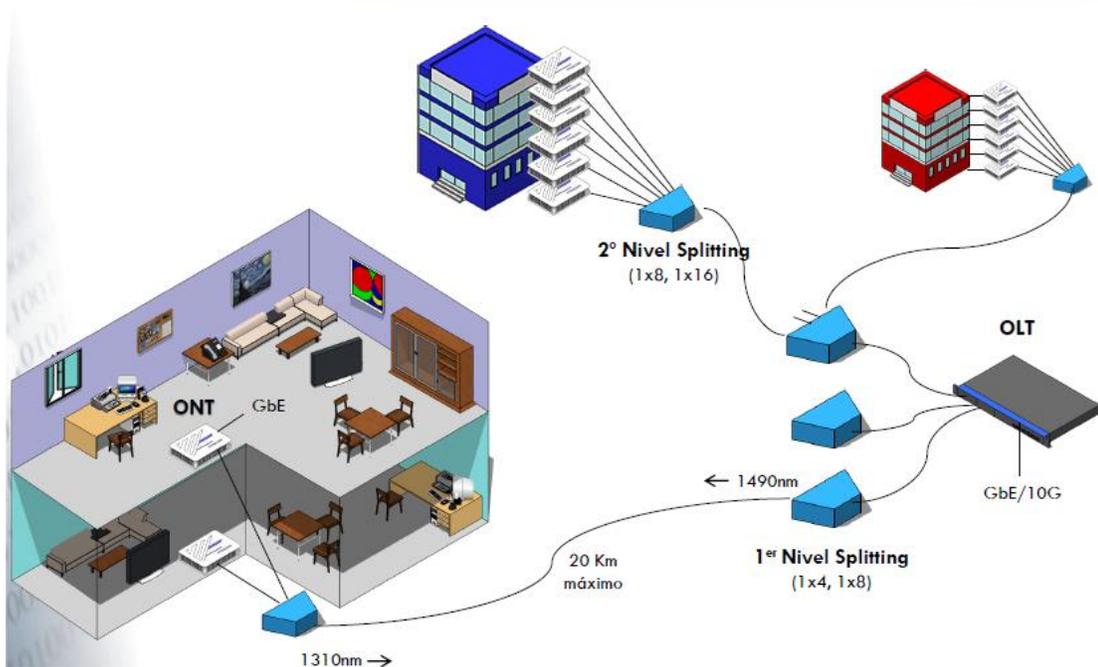


Figura 20. Topología de una red GPON.
Fuente: GPON y GPON Doctor – Introducción y conceptos generales.

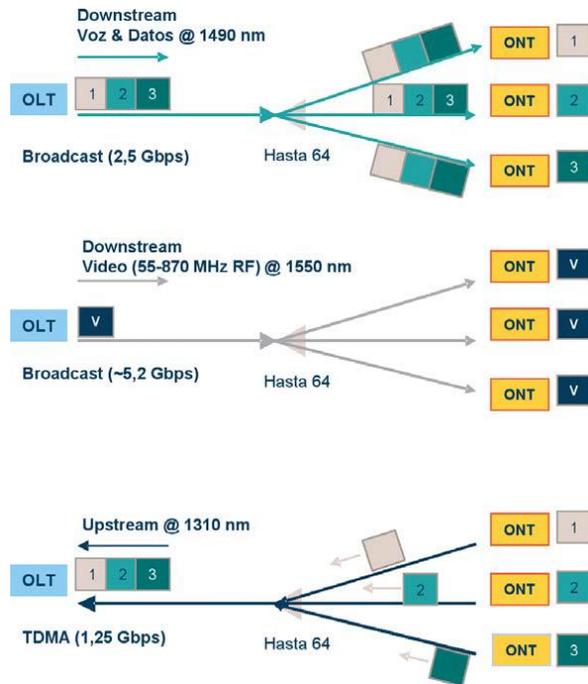


Figura 21. Funcionamiento de una red GPON.
Fuente: Ramón Jesús Millán Tejedor: GPON.

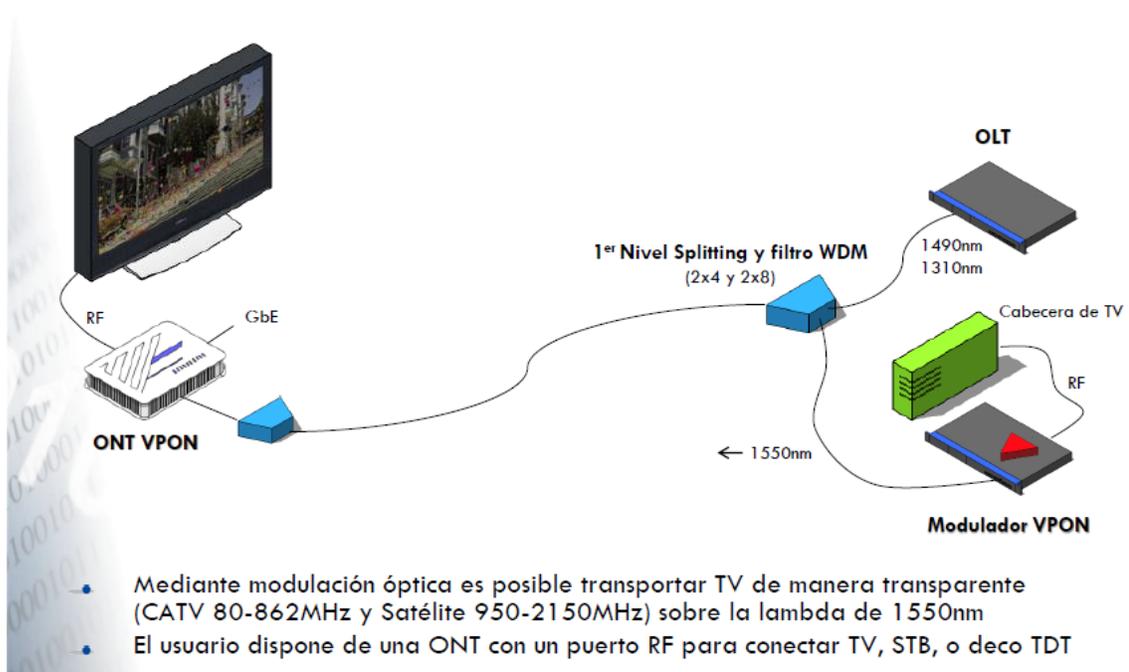


Figura 22. Video RF sobre una red GPON.
Fuente: GPON y GPON Doctor – Introducción y conceptos generales.

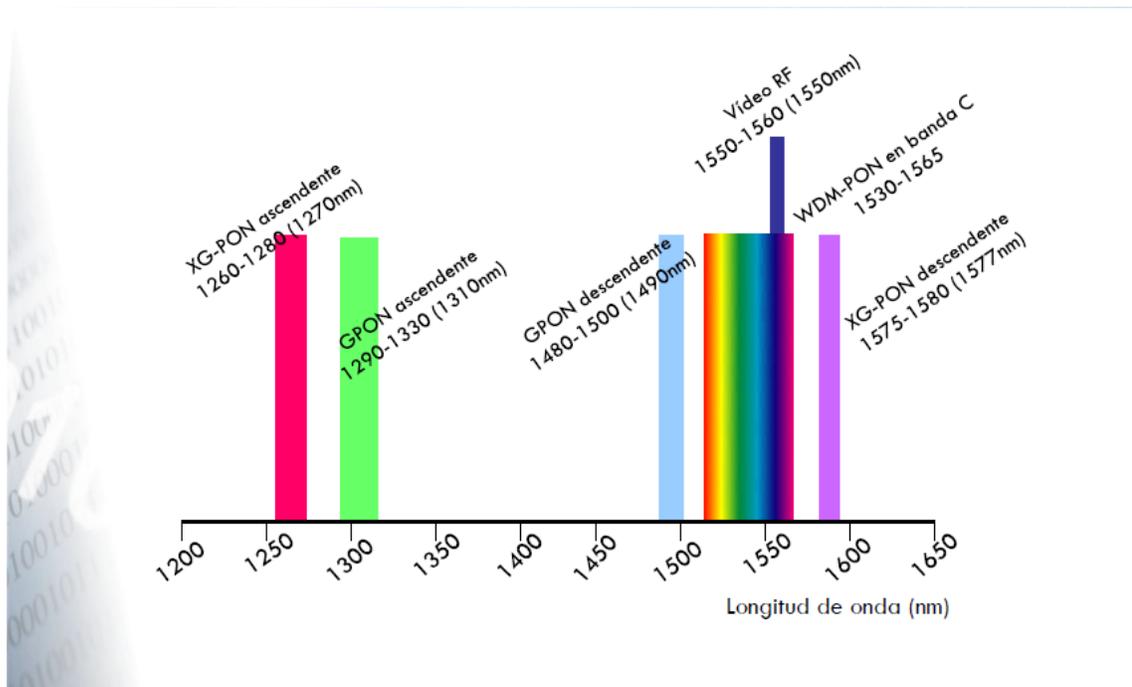


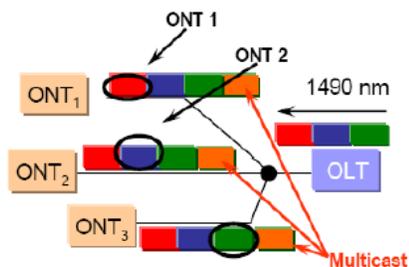
Figura 23. Asignaciones de espectro eléctrico.

Fuente: GPON y GPON Doctor – Introducción y conceptos generales.

Subida y Bajada separadas en Frecuencias distintas

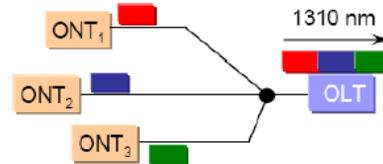
- **Bajada (DS): 1490 nm hacia ONTs**

- Cada ONT filtra los datos en base a su indicativo único (portID)



- **Subida (US): 1310 nm hacia OLT**

- Time Division Multiple Access (TDMA)
- La OLT controla la subida de datos vía la asignación de ventanas de transmisión para cada ONT.
- La OLT asigna ancho de banda en forma dinámica en base a políticas de QoS.



Cada servicio de datos es transportado en “**GEM ports**”
GPON Encapsulation Mode.

Figura 24. Bajada (1490nm) y subida (1310nm) de la red GPON.

Fuente: Horacio Rodríguez Soto - Generalidades de redes FTTH – GPON.

2.2.3.1 Objetivos

Este nuevo estándar surgió con el fin de establecer nuevas exigencias a la red:

- Soporte de todos los servicios: voz (TDM, tanto SONET como SDH), Ethernet (10/100 BaseT), ATM,...
- Alcance máximo de 20 km, aunque el estándar se ha preparado para que pueda llegar hasta los 60 km.
- Soporte de varios bitrate con el mismo protocolo, incluyendo velocidades simétricas de 622 Mbit/s, 1.25 Gbit/s, y asimétricas de 2.5 Gbit/s en el enlace descendente y 1.25 Gbit/s en el ascendente.
- OAM&P extremo a extremo.
- Seguridad del nivel de protocolo para el enlace descendente debido a la naturaleza multicast de PON.
- El número máximo de usuarios que pueden colgar de una misma fibra es 64 (el sistema está preparado para dar hasta 128).

2.2.3.2 Características y técnicas

a. Multiplexación de la información

Tanto el sentido descendente como el ascendente viajan en la misma fibra óptica. Para ello se utiliza una multiplexación WDM (Wavelength Division Multiplexing).

b. Potencia y alcance

El alcance de un equipo viene dado por la atenuación máxima que es capaz de soportar sin perder el servicio. La atenuación máxima soportada por un sistema vendrá dada por la potencia máxima garantizada por la OLT (Optical Line Terminal) menos la potencia mínima que es capaz de percibir la ONT (Optical Network Units). El estándar GPON define diferentes tipos de láseres (medidos en dBm):

OLT:

TIPO -----> Pot. Media Mín.

A -----> - 4

B+ -----> +1

C -----> +5

ONT:

TIPO -----> Sensibilidad Mínima del Receptor

A -----> -25

B+ -----> -27

C -----> -26

Los fabricantes se han decantado por los láseres B+ por lo que la atenuación máxima que se puede asegurar para que funcione el servicio es 28 dB.

La atenuación de un nivel de splitting más los conectores es de unos 20 dB. Quedarían 8 dB para la atenuación de la fibra. Cada km son unos 0.4 dB, por lo que típicamente el alcance máximo sería de unos 20 km.

Clase	Rango de atenuación óptica	Recomendación ITU-T
GPON Clase A	5-20 dB	G.984.2 (2003)
GPON Clase B	10-25 dB	G.984.2 (2003)
GPON Clase C	15-30 dB	G.984.2 (2003)
GPON Clase B+	13-28 dB	G.984.2 Amendment 1 (2006)
GPON Clase C+	17-32 dB	G.984.2 Amendment 2 (2008)
XG-PON N1	14-29 dB	G.987.2 (2010)
XG-PON N2	16-31 dB	G.987.2 (2010)
XG-PON E1	18-33 dB	G.987.2 (2010)
XG-PON E2	20-35 dB	G.987.2 (2010)

Tabla 4. Rangos de atenuación GPON y XG-PON.

Fuente: GPON y GPON Doctor – Introducción y conceptos generales.

Parámetro interfaz GPON B+	ONT	OLT	FEC
Mean launched power MIN	0.5 dBm	1.5 dBm	2 dB
Mean launched power MAX	5 dBm	5 dBm	
Minimum sensitivity	-27 dBm	-28 dBm	Margen Guarda
Minimum overload	-8 dBm	-8 dBm	-2 dB
Downstream optical penalty	0.5 dBm	0.5 dBm	

División óptica	Atenuación	Elemento	Atenuación
1:2	-3.01 dB	Fibra óptica 1310nm (Km)	-0,4 dB
1:4	-6.02 dB	Fibra óptica 1550nm (Km)	-0,3 dB
1:8	-9.03 dB	Empalme por fusión	-0.1~-0.2 dB
1:16	-12.04 dB	Empalme mecánico	-0,5 dB
1:32	-15.04 dB	Perdidas inserción (conector)	-0.3~-0.5 dB
1:64	-18.07 dB		
1:128	-21.08 dB		

Tabla 5. Parámetros ópticos de una Red GPON B+.

Fuente: GPON y GPON Doctor – Introducción y conceptos generales.

Característica	Unidad	Monofibra
OLT:		OLT
Mínima potencia media inyectada	dBm	+1,5
Máxima potencia media inyectada	dBm	+5
Mínima sensibilidad	dBm	-28
Mínima sobrecarga	dBm	-8
Degradación óptica en sentido descendente	dB	0,5
ONU:		ONU
Mínima potencia media inyectada	dBm	+0,5
Máxima potencia media inyectada	dBm	+5
Mínima sensibilidad	dBm	-27
Mínima sobrecarga	dBm	-8
Degradación óptica en sentido descendente	dB	0,5

Tabla 6. Niveles de potencia óptica para un sistema a velocidades de 2.4 Gbit/s en sentido descendente y 1.2 Gbit/s en sentido ascendente.

Fuente: Proyecto de grado de Paula Andrea Carmona Giraldo y Paola Andrea Montes Torres – Universidad Católica Popular del Risaralda.

	Item	Mean power loss (dB)
Connection point	Mechanical splicer	0.4
	Fusion splicing point	0.1
Optical splitter	1:64	19.3
	1:32	16.5
	1:16	13.5
	1:8	10.5
	1:4	7.2
	1:2	3.2
Optical cable (G.652)	1310 nm	0.35/km
	1490 nm	0.25/km

Tabla 7. Análisis de potencia.

Fuente: Lattanzi y Graf – Redes FTTx: Conceptos y aplicaciones.

c. Sentido descendente – TDM

Se utiliza tecnología conceptualmente similar a TDM (Time Division Multiplexing). Todos los datos se transmiten a todas las ONTs (el splitter es un elemento pasivo que simplemente replica los datos). Cada ONT filtra los datos recibidos (sólo se queda con aquellos que van dirigidos hacia él). Tiene el problema de que el operador/usuario puede querer confidencialidad de los datos. Debido a esta confidencialidad se puede utilizar cifrado de los datos.

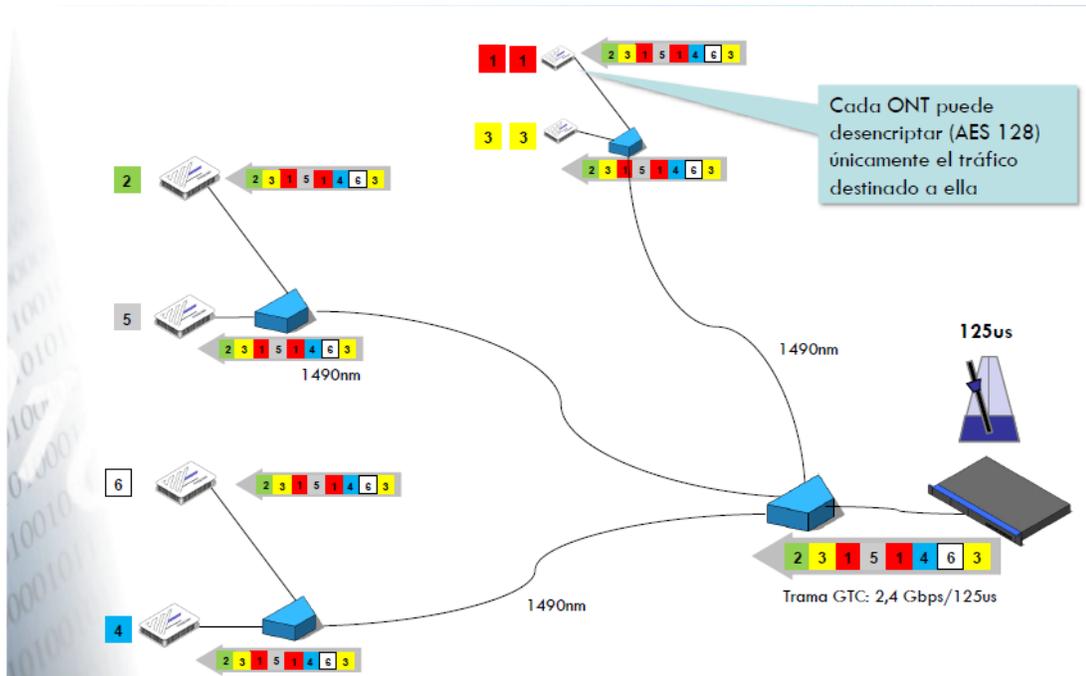


Figura 25. Sentido descendente (TDM).

Fuente: GPON y GPON Doctor – Introducción y conceptos generales.

d. Sentido ascendente – TDMA

Se utiliza tecnología conceptualmente similar a TDMA (Time Division Multiple Access). La OLT controla el canal ascendente, asignando ventanas a las ONT. Se requiere un control de acceso al medio para evitar colisiones y para distribuir el ancho de banda entre los usuarios.

Al ser el splitter un elemento pasivo, es necesaria la perfecta sincronización de los paquetes ascendentes que le lleguen, para que sea capaz de formar la trama GPON. Es por ello necesario que la OLT conozca la distancia a la que están las ONTs para tener en cuenta el retardo.

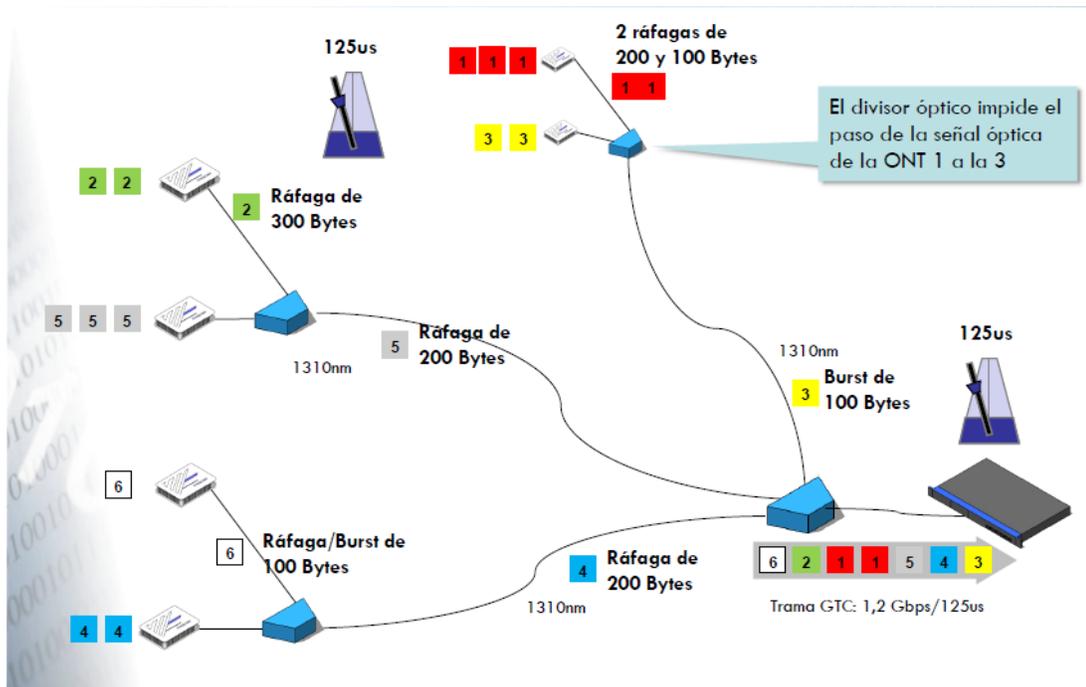


Figura 26. Sentido ascendente (TDMA).

Fuente: GPON y GPON Doctor – Introducción y conceptos generales.

e. Identificación de usuarios

Todos los elementos situados entre OLT y ONT (fibra óptica, splitters, repartidores y conectores) son elementos pasivos (no requieren alimentación eléctrica). Esto implica que la OLT necesita un mecanismo que le permita identificar a cada uno de los usuarios que tiene conectados a una misma fibra.

Para ello se ha creado un elemento denominado número de serie de ONT, que debe estar configurado tanto en la OLT como en la ONT. La OLT debe tener un

registro de los números de serie de ONT de todos los usuarios y a qué puerto pertenecen (de qué fibra cuelgan).

El número de serie está compuesto por 8 bytes (64 bits). Los primeros 4 bytes identifican al fabricante y los 4 siguientes a la ONT propiamente dicha.

Para que sea más manejable, se suele convertir el número a ASCII (8 caracteres ASCII) o a hexadecimal (16 caracteres hexadecimales).

f. Configuración remota de las ONT

Uno de los principales problemas que se ha intentado resolver en la tecnología GPON ha sido el conseguir gestión remota del equipamiento de usuario, ya que cada visita a casa del cliente supone un elevado coste económico. Esto permite reducir los costes derivados del OPEX.

Para ello, dentro de la norma GPON se ha desarrollado un protocolo denominado OMCI (ONT Management and Control Interface). Este protocolo permite la configuración remota de las ONTs. Para cada ONT se establece un canal de gestión entre OLT y ONT. Incluye gestión, rendimiento, monitorización de alarmas, fallos y prestaciones. El protocolo OMCI es uno de los aspectos fundamentales para garantizar la interoperabilidad entre fabricantes. Hay diversos mecanismos de transmisión de la información OMCI.

g. Protocolos de enlace o transporte

La norma GPON contempla dos posibilidades referentes a los protocolos de enlace o transporte que se pueden utilizar:

- ATM: es el utilizado por APON y BPON, por lo que es una solución continuista.

- GEM (GPON Encapsulation Method): se trata de un nuevo protocolo definido por la G.984s para en GPON.

A pesar de existir las dos posibilidades, los fabricantes se han decantado por implementar solamente la solución GEM. La pila de protocolos quedaría de la siguiente manera: Ethernet sobre GEM, y éste sobre TDM/TDMA.

h. Implementación Multicast

GPON es una tecnología punto a multipunto, en el que todos los usuarios reciben la misma información, pero sólo se quedan con la que está dirigida a ellos. Si dos usuarios piden el mismo canal, ¿para qué voy a enviarlo dos veces si los usuarios reciben toda la información?

Multicast es un protocolo de red utilizado para la difusión de televisión, debido a que optimiza los flujos de datos a través de la red. No confundir con el servicio de video bajo demanda. Este protocolo, integrado en la ONT, OLT y decodificador.

El estándar GPON se ha diseñado para que una parte de la trama GPON esté dedicada al tráfico multicast, de tal manera que sea accesible por todos los usuarios. Esta es la manera de conseguir enviar una sola copia de cada canal independientemente de los usuarios que la estén solicitando.

2.2.3.3 Arquitectura

La red de GPON consta de un 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 uno soportando hasta 64 ONT. Aunque depende del suministrador, existen sistemas que pueden alojar hasta 7.168 ONT en el mismo espacio que un DSLAM. En las arquitecturas FTTN las ONT son sustituidas por

MDU (Multi-Dwelling Units), que ofrecen habitualmente VDSL2 hasta las casas de los abonados, reutilizando así el par de cobre instalado pero, a su vez, consiguiendo las cortas distancias necesarias para conseguir velocidades simétricas de hasta 100 Mbps por abonado.

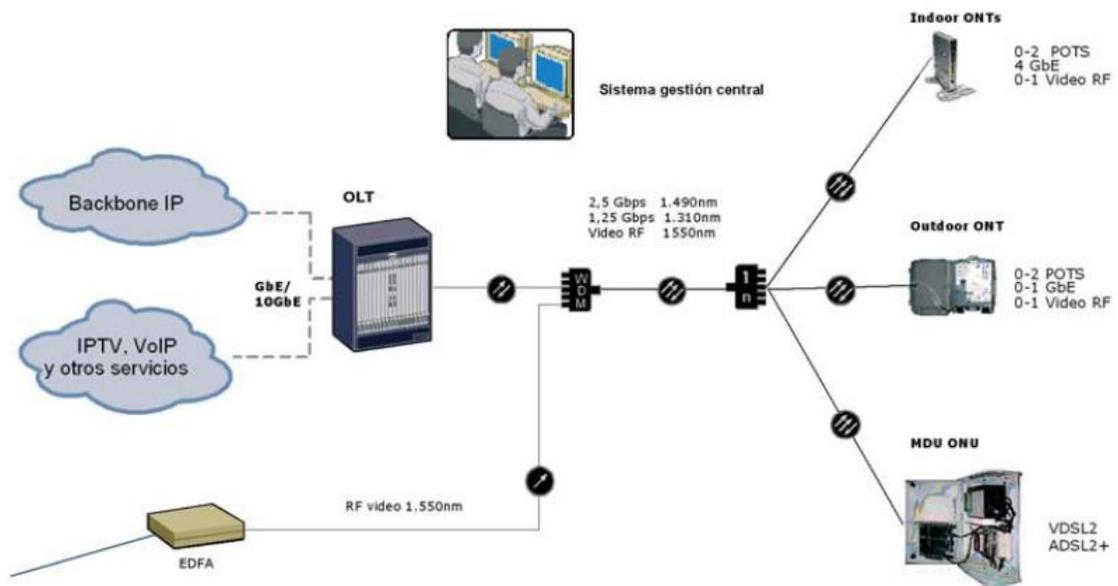
Para conectar la OLT con la ONT con datos, se emplea un cable de fibra óptica para transportar una longitud de onda downstream. Mediante un pequeño divisor pasivo, que divide la señal de luz que tiene a su entrada en varias salidas, el tráfico downstream originado en la OLT puede ser distribuido. Puede haber una serie de divisores pasivos $1 \times n$ (donde $n = 2, 4, 8, 16, 32, \text{ o } 64$) en distintos emplazamientos hasta alcanzar los clientes. Esto es una arquitectura punto a multipunto, algunas veces descrita como una topología en árbol.

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

Para el tráfico downstream se realiza un broadcast óptico, aunque cada ONT sólo 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 Standard). Para el tráfico upstream los protocolos basados en TDMA (Time Division Multiple Access) aseguran la transmisión sin colisiones desde la ONT hasta la OLT. Además, mediante TDMA sólo se transmite cuando sea necesario, por lo cual, no sufre de la ineficiencia de las tecnologías TDM donde el período 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).

En una red GPON, se asigna una longitud de onda para el tráfico de datos y telefónico downstream (1.490 nm) y otra para el tráfico upstream (1.310 nm). Además, a través del uso de WDM, se asigna una tercera longitud de onda (1.550 nm) que está dedicada para el broadcast de vídeo RF. De este modo, el vídeo/TV puede ser ofrecido mediante dos métodos distintos simultáneamente: RF (radio frecuencia) e IPTV. Mediante RF las operadoras de cable pueden hacer una migración gradual hacia IPTV. En este caso, las ONT dispondrán de una salida para vídeo RF coaxial que irá conectada al STB tradicional. Con IPTV la señal de vídeo, que es transformada por la cabecera en una cadena de datos IP, se transmite sobre el mismo enlace IP como datos para acceso a Internet de banda ancha. El STB conectado mediante Gigabit Ethernet al ONT, convertirá de nuevo la cadena de datos en una señal de vídeo. Mediante IPTV y GPON, cuyos equipos incorporan capacidades de QoS y multicast IP avanzadas, los operadores puede ofrecer varios canales de alta calidad de imagen y sonido, incluidos HDTV, así como proporcionar servicios interactivos y personalizados, lo cual no es factible con vídeo RF.



*Figura 27. Arquitectura de una red GPON.
Fuente: Ramón Jesús Millán Tejedor: GPON.*

2.2.3.4 Elementos componentes de la red

2.2.3.4.1 Cabecera

a. OLT

Es el elemento activo situado en la central de comunicaciones. De él parten las fibras ópticas hacia los usuarios (cada OLT suele tener capacidad para dar servicio a varios miles de usuarios). Agrega el tráfico proveniente de los clientes y lo encamina hacia la red de agregación. Realiza funciones de router para poder ofrecer todos los servicios demandados por los usuarios.



Figura 28. OLT.

Fuente: Imágenes de Google.

b. Transmisor óptico

Se denomina transmisor óptico al sistema cuya función consiste en convertir una señal eléctrica de entrada (información) en una señal óptica correspondiente, conduciéndola hacia el canal de comunicación, en este caso, la fibra óptica.

Existen dos tipos de emisores de luz para comunicaciones ópticas:

- Emisores de luz no coherente: los diodos de luz (LED).
- Emisores de luz coherente: los láseres (concretamente, semiconductores).



Figura 29. Transmisor óptico de 1550nm.

Fuente: Imágenes de Google.

c. Amplificador óptico

Se trata de los denominados EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifiers). Consiste en un tramo de decenas de metros de fibra óptica dopada con Tierras Raras. Mediante un Láser, operando en emisión continua (980 o 1480 nm), se produce un bombeo óptico de electrones del Er (el electrón absorbe el fotón) y pasa un nivel de energía excitado incrementándola. El Láser de bombeo es de alta potencia (250 mw) pero es usado a menor valor que el máximo (40 mw) para incrementar la vida útil del componente. Desde este nivel de energía se pasa a un estado meta-estable desde donde se produce la emisión estimulada en coherencia con la radiación de entrada (1550nm) a amplificar. Se los usa tanto como amplificador de salida Booster (alta potencia de transmisión); en puntos intermedios o como amplificador de entrada.

Los EDFA se han fabricado normalmente sobre FO de Silicio. Sin embargo, la respuesta de ganancia en función de la longitud de onda no es suficientemente plana dentro de la banda de 1525 a 1560 nm (más de 12 dB). Este efecto es

perjudicial si el EDFA se utiliza en aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda densa DWDM (Dense WDM). En este caso se requiere un reciente diseño de EDFA sobre FO de fluoruro la cual mantiene en la banda de 1525- 1560 nm una variación de respuesta inferior a 3 dB.



Figura 30. Amplificador óptico EDFA.

Fuente: Imágenes de Google.

d. Distribuidor óptico (ODF)

Se encuentra ubicado en la oficina central. Está compuesto de módulos de conexión que se instalan en bandejas corredizas y se disponen en un rack. Permite la interconexión entre los puertos de acceso de la OLT a través de jumpers, y el cable primario de la red a través de pigtaills.



Figura 31. ODF.

Fuente: Imágenes de Google.

2.2.3.4.2 Planta externa

a. Fibra óptica

La fibra óptica se trata de un fino hilo de vidrio o plástico que guía la luz.

El sistema de comunicación nace de la unión entre una fuente de luz lo suficientemente pura para no alterarse. Una fibra óptica pura, fuera del cable que la protege, tiene el diámetro aproximado de un cabello humano. Está compuesta por dos capas de vidrio. La parte inferior o núcleo es la que tiene mayor índice de refracción, es decir, por donde más fácilmente transcurre la luz.

La pérdida de potencia óptica de un haz de luz al viajar por la fibra es conocida como “atenuación”. Los materiales usados en la fabricación de la fibra óptica son seleccionados para obtener el más bajo índice de atenuación. El parámetro que define la cantidad de información que puede transmitir determinada

fibra es el “ancho de banda”. Un rayo de luz se ensancha al viajar por la fibra, esta dispersión limita la capacidad de información que se puede transmitir.

Una fuente de luz que puede ser un diodo emisor de luz (LED) o un láser, se enciende, apaga o varía su intensidad, en función de la señal eléctrica de entrada que contiene la información. La luz se acopla a una fibra óptica que la guía a lo largo de la comunicación. En el extremo del receptor, un detector decodifica la luz y reproduce la información de la señal.

Tipos básicos de fibras ópticas, cabe mencionar que existen más tipos pero estos son los más usados actualmente:

a.1 Fibra multimodal

En este tipo de fibra viajan varios rayos ópticos reflejándose a diferentes ángulos. Los diferentes rayos ópticos recorren diferentes distancias y se separan al viajar dentro de la fibra. Por esta razón, la distancia a la que se puede transmitir está limitada.

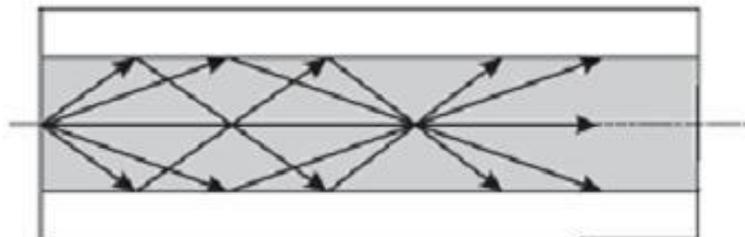


Figura 32. Viaje del rayo óptico en FO multimodo.

Fuente: Imágenes de Google.

a.1.1 Fibra multimodal con índice graduado

En este tipo de fibra óptica el núcleo está hecho de varias capas concéntricas de material óptico con diferentes índices de refracción. La propagación de los rayos

en este caso sigue un patrón similar. En estas fibras el número de rayos ópticos diferentes que viajan es menor y, por lo tanto, sufren menos el severo problema de las multimodales.

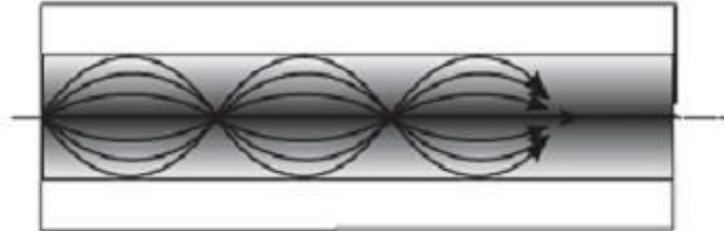


Figura 33. Viaje del rayo óptico en FO índice gradual.

Fuente: Imágenes de Google.

a.2 Fibra monomodal

Esta fibra óptica es la de menor diámetro y solamente permite viajar al rayo óptico central. No sufre del efecto de las otras dos pero es más difícil de construir y manipular. Es también más costosa pero permite distancias de transmisión mayores.



Figura 34. Viaje del rayo óptico en FO monomodo.

Fuente: Imágenes de Google.



Figura 35. Fibra óptica ADSS.

Fuente: Imágenes de Google.

b. Splitters ópticos

Los splitters ópticos pasivos son los elementos de la red que permiten la conexión punto a multipunto y que permiten que las señales ópticas de una fibra puedan ser distribuidas a otras varias fibras. Una sola fibra conectada al OLT puede distribuirse y conectar hasta 64 ONTs diferentes según las recomendaciones.

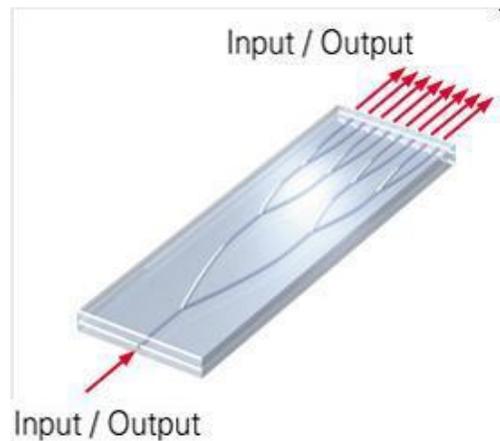


Figura 36. Entrada y salidas del splitter óptico.

Fuente: Imágenes de Google.

Los splitters o divisores ópticos dividen la señal óptica en tantos caminos como su relación lo indique, pudiendo ser esta división de: 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64. Dependiendo de su configuración se puede colocar de modo centralizado o varios en cascada.

Los splitters o couplers son componentes pasivos que incrementan su participación dentro de las redes ópticas. La estructura de puertas es NxM (número de entrada y número de salida).

El splitter se encuentra disponible en distintas longitudes de onda para segunda y tercera ventana (1310nm y 1550nm). Se obtiene una atenuación uniforme en un amplio ancho de banda, inferior a 0,2 dB en una banda de 100 nm. En aplicaciones de CATV se utiliza la estructura 1xN para efectuar derivaciones de señal de vídeo. Debido a los parámetros típicos de pérdida de inserción los couplers se clasifican en Premium, Grade A y Grade B. En una configuración 1x2 se puede realizar una relación entre puertas de tipo 50/50 (igual potencia óptica en cada puerta), 40/60, 30/70, 20/80 y 10/90 (10% de potencia en una puerta y 90% en la otra). Puede realizarse una distribución de potencia a solicitud del cliente. En la siguiente tabla se puede detallar las diferentes características de los splitters existentes en el mercado.

Características ópticas y dimensiones						
	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
Longitud de onda	1260-1360 nm, 1480-1625 nm					
Tecnología	Fusión			PLC		
Perdidas de inserción (dB)	≤ 3,5	≤ 7,5	≤ 10,3	≤ 13,5	≤ 16,7	≤ 20,4
PDL (dB)	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,3
Uniformidad (dB)	≤ 0,7	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,3	≤ 2,0
Perdidas de retorno (dB)	> 50			≥ 55		
Directividad (dB)	> 50			≥ 60		
Temperatura de operación (°C)	- 20 / 70			- 40 / 85		
Puerto de entrada	Fibra monomodo Ø 250 µm de bajo radio de curvatura					
Longitud mínima de fibras (m)	≥ 4,0					
Puertos de salida	2 fibras SM	Ribbon 4 Fibras x1	Ribbon 4 Fibras x 2	Ribbon 8 Fibras x 2	Ribbon 8 Fibras x4	Ribbon 8 Fibras x8
Dimensiones del cuerpo (mm)	Ø 3,2x55	4 x 4 38	4x4x40	7x4x46,9	7x4x46,9	12x4x58

Tabla 8. Datos técnicos del splitter.

Fuente: Proyecto de grado de Paula Andrea Carmona Giraldo y Paola Andrea Montes Torres – Universidad Católica Popular del Risaralda.

Es posible instalar varios splitters en una sola caja de empalmes o en una caja terminal, o si los splitters son de tipo modular pueden instalarse en armarios ópticos.

Los splitters pueden ser instalados de tres diferentes maneras:

En armarios ópticos: Se usan splitters de tipo modular que utiliza conectores para conectarse a la fibra que entra y sale de él. Tiene la ventaja que al tener conectores se pueden utilizar equipos especiales que permitan hacer pruebas de fallas en estos puntos de la red.

Subterráneos o en zócalo: Se instalan dentro de cajas de empalme situadas en cámaras subterráneas o dispuestas en zócalos a nivel del suelo. Permiten centralizar los splitters en el primer centro de división o de distribución. En algunas ocasiones se lo utiliza también en el último nivel de división con el objetivo que, al ser independientes de las cajas terminales de acometidas, no estén expuestos a la manipulación a la que está expuesta la caja terminal cada vez que un nuevo servicio requiere ser instalado, pero también tiene la desventaja de generar mayores pérdidas de potencia y ser puntos probables de fallas. A diferencia de los armarios ópticos, las fibras que se conectan al splitter lo hacen sin conectores por lo que se deben empalmar por fusión, eliminando así las pérdidas introducidas por conectores, sin embargo se tiene la desventaja de no contar con puntos de pruebas de fallas.

Splitters aéreos: Se instalan en una caja de splitter o caja terminal montada sobre o una columna o adosada a una pared. La fibra de entrada se empalma dentro de la caja terminal, mientras que la fibra de salida puede empalmarse directamente al cable de acometida del abonado o puede utilizar conectores. Es comúnmente utilizada en el último nivel de división, permitiendo conectar las salidas de los splitters directamente con los cables de acometida.

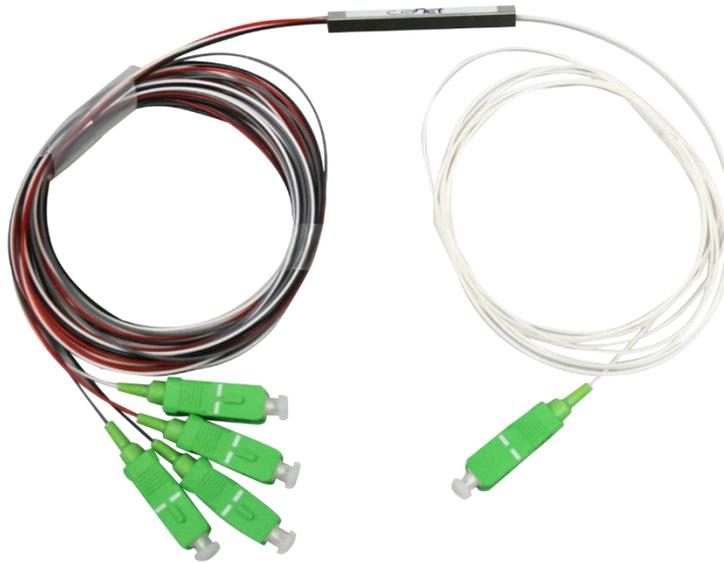


Figura 37. Splitter óptico.

Fuente: Imágenes de Google.

c. Mufas o cajas de distribución

Son dispositivos ubicados en los tramos de distribución que conectan las fibras de los cables centrales respectivos con los cables de distribución. Permiten una relación diferente de fibras entrantes con respecto a las salientes.

También contienen y protegen en su interior diversos números de empalmes, además de alojar bandejas organizadoras en las que se dejan las reservas de fibra desnuda y se pueden instalar en columnas o adosadas a una pared como en cámaras subterráneas. Además, tienen como objetivo derivar la fibra óptica a fin de lograr una distribución mejorada de la señal.

Existen 2 tipos de mufas: Mufas horizontales y mufas verticales.



Figura 38. Mufa o caja de empalmes vertical.

Fuente: Imágenes de Google.

d. Cajas terminales o NAPs

Son los últimos dispositivos de los tramos de distribución y son las que conectan las fibras de los cables de distribución con los cables de acometida individuales que van a cada una de las viviendas.

A estas se las llama también NAP (Network Access Point) o Drop Box (cajas de acometida) y tienen como función servir como medio de transmisión de la señal proveniente de la red óptica de alimentación a la red terminal o red de acometida. Pueden ser de dos tipos dependiendo de dónde se ubiquen: de interior y de exterior.

d.1 Cajas terminales de exterior

Pueden ser instaladas en postes o en forma mural y tienen como objetivo proteger y organizar a los splitters que se encuentran en su interior así como a sus respectivos empalmes.

d.2 Cajas terminales de interior

Se sitúan en algunos pisos en el interior de edificios. En su interior tienen conectores que unen la fibra proveniente del armario óptico (situado generalmente en la planta baja del edificio) con los cordones ópticos que van hacia las ONTs de cada departamento.



Figura 39. Caja terminal o NAP.

Fuente: Imágenes de Google.

e. Fibra de acometida

Es el cable de fibra, del cual un extremo estará empalmado con un conector SC/APC y se conectará al borne APC del splitter ubicado en el NAP o caja terminal; y el otro extremo será empalmado con otro conector SC/APC para ser conectado hasta la entrada APC de la ONT.



Figura 40. Fibra de acometida.

Fuente: Imágenes de Google.

2.2.3.4.3 Red de abonado

a. ONT

Es el dispositivo que está al poder del usuario debe tener interface de Ethernet, video, voz y debe trabajar con la tecnología GPON, éste se puede conseguir a través de la empresa operadora o no necesariamente, la diferencia es las opciones con las cuales pueda trabajar este equipo.

Está situado en casa del usuario en el que termina la fibra óptica y ofrece las interfaces de usuario. Actualmente no existe interoperabilidad entre elementos, por lo que debe ser del mismo fabricante que la OLT. Se está trabajando para conseguir la interoperabilidad entre fabricantes, lo que permitiría abrir el mercado y abaratar precios (situación actualmente conseguida por las tecnologías XDSL).

En el caso de las ONTs de exterior, deben estar preparadas para soportar las inclemencias meteorológicas y suelen estar equipadas con baterías. Existe una gran variedad de ONTs, en función de los servicios que se quieran ofrecer y las interfaces que ofrezcan al usuario:

- Interfaces fast ethernet y gigabit ethernet, que pueden alcanzar velocidades de hasta 1 Gbps en el caso gigabit ethernet y 100 Mbps en caso fast ethernet. Se suelen utilizar en usuarios residenciales y empresas para ofrecer servicios de conectividad a Internet e IPTV.
- Interfaces RJ11, que se utilizan para conectar teléfonos analógicos y ofrecer servicios de voz.
- Interfaces E1 o STM-1, para dar servicios específicos de empresa.

Es fundamental para el desarrollo del mercado diseñar un estándar de interoperabilidad entre diferentes fabricantes de OLTs y ONTs.



Figura 41. ONT.

Fuente: Imágenes de Google.

2.2.3.4.4 Otros elementos

a. Conectores

Los conectores son dispositivos que se encargan de realizar la conexión de la fibra con otro elemento óptico, ubicado en los extremos de ésta. Existen múltiples tipos de conectores, bien sea de plástico enchufable o de metal enroscable. Entre los tipos de conectores se encuentran los ST, SC, LC y FC; los cuales pueden tener pulido PC o APC.

Están compuestos de tres elementos: Un cuerpo exterior de plástico o de metal. Un mecanismo de soporte del conector al acoplador (unión doble) del tipo roscado o de inserción push-pull. Un ferrule o casquillo que posee un anillo de posicionamiento para la sintonía del conector. El conector tiene una vida útil superior a las 1000 conexiones-desconexiones; la resistencia a la tracción es superior a 10 Kg. Los ciclos de temperatura muestran que el margen de operación es desde -25 a +70 °C y el de almacenamiento desde -40 a +80 °C.

En la mayoría de las aplicaciones con fibras ópticas se utiliza un cable conectorizado en sus extremos para unir el cable de transporte con el terminal óptico. El Jumper/Patchcord es un tramo de cable simplex monofibra o duplex con ambos extremos conectorizados, mientras que un Pigtail tiene un solo extremo conectorizado y el otro extremo se empalma mediante fusión al cable óptico. En el caso de los jumper es posible la conexión de distintos tipos de conectores en cada extremo. En la siguiente tabla se puede observar características de los conectores.

Longitud de onda de operación	Segunda ventana 1280-1340 nm y tercera ventana 1520-1580 nm.
Perdida de inserción	Valor medio inferior a 0,2 dB, valor máximo 0,5 dB.
Perdida de retorno	Extremo SPC mayor a 40 dB y extremo APC mayor a 60 dB.
Ciclo térmico	Variación inferior a 0,2 dB en la pérdida de inserción.
Repetibilidad	Mayor a 1000 conexiones y desconexiones con variación máxima de 0,2 dB.
Resistencia del mecanismo de acople	Resiste una fuerza de 80 N para cable de 3 mm y 5 N para 0,9 mm.
Tracción del cable	Resiste una fuerza de 100 N para cable de 3 mm y 5 N para 0,9 mm.
Torsión del cable	Resiste una fuerza de 15 N para cable de 3 mm y 2 N para 0,9 mm.
Vibración sinusoidal	Frecuencia de 10-55 Hz y amplitud 0,75 mm. Variación 0,2 dB.
Caída del conector	Altura de caída desde 1 mts durante 10 veces.
Carga lateral estática	Fuerza de tensión de 1 N para cable de 3 mm y 0,2 N sobre 0,9 mm.
Frio y calor seco	Temperatura de -25 °C y +75°C durante 96 hs. Variación máxima 0,2 dB.
Niebla salina	Solución 5% de NaCl; pH 6,5-7,2°C. Variación máxima 0,2 dB.
Polvo	Tamaño de partículas inferior a 0,15 mm. Variación máxima 0,2 dB.

Tabla 9. Características de los conectores ópticos.

Fuente: Proyecto de grado de Paula Andrea Carmona Giraldo y Paola Andrea Montes Torres – Universidad Católica Popular del Risaralda.

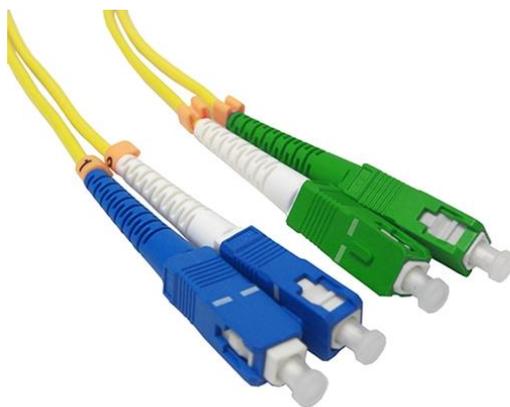


Figura 42. Conectores SC/APC (verde) y SC/UPC (azul).

Fuente: Imágenes de Google.

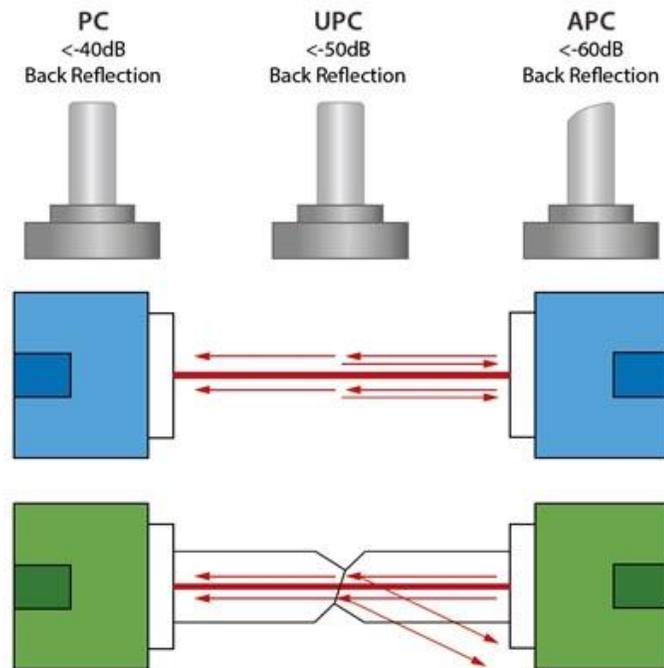


Figura 43. Características de los conectores SC/PC, SC/APC y SC/UPC.

Fuente: Imágenes de Google.

b. Mangas o tubos termocontraíbles

Las mangas, también conocidas como cierres de empalmes, son unas estructuras mecánicas que contienen y protegen las conexiones realizadas en la fibra y los dispositivos ópticos pasivos.

Una manga se trata de una camisa protectora que contiene 3 elementos. Un miembro de tracción de acero inoxidable de 50 mm de largo otorga la resistencia transversal necesaria para evitar stress al empalme. Un tubo interior repone las características de protección originales contra la humedad a la superficie de la fibra óptica. Un tubo exterior transparente de 60 mm de largo contiene al conjunto y actúa de material termocontraíble. Una vez calentado el conjunto se adhiere firmemente a la fibra óptica de forma tal que impide cualquier corte o falla posterior.

El uso de estas mangas o tubos termocontraíbles es primordial, ya que se van a realizar empalmes por **fusión**.



Figura 44. Mangas o tubos termocontraíbles.

Fuente: Imágenes de Google.

c. Pigtails y jumpers

Estos son cordones ópticos; la diferencia entre pigtails y jumpers radica en que los pigtails tienen un conector sólo en uno de sus extremos y el otro, que está libre, se empalma con otra fibra, mientras que el jumper tiene conectores en ambos extremos interconectando el distribuidor óptico con la OLT.

El Jumper/Patchcord es un tramo de cable simplex monofibra o duplex con ambos extremos conectorizados, mientras que un Pigtail tiene un solo extremo conectorizado y el otro extremo se empalma mediante fusión al cable óptico. En el caso de los jumpers es posible la conexión de distintos tipos de conectores en cada extremo.



Figura 45. Patchcord de conectores SC/APC.

Fuente: Imágenes de Google.

d. Adaptadores de fibra

Los adaptadores de fibra, son básicamente elementos ópticos pasivos que permiten la transición mecánica necesaria para poder dar continuidad al paso de luz del extremo conectorizado de un cable de fibra óptica a otra.

Se comportan como pequeños tambores o cajas que reciben un conector de cada lado produciendo un acople óptico, con la mínima pérdida posible. Se utilizan en los distribuidores para facilitar la reconexión y cambio rápido, acoplando el pigtail que se haya empalmado al cable de fibra con el cordón de conexión que se conecta a los equipos receptores o emisores. También se utiliza para conectar un tramo de fibra a los equipos de medición.



Figura 46. Adaptadores SC/APC.

Fuente: Imágenes de Google.

e. Sistema de gestión de acceso o aprovisionamiento

Es un software encargado de gestionar y controlar y configurar los equipos terminales de abonado (ONT). Permite realizar las activaciones, desactivaciones y configuración de parámetros de ONTs como servicio WAN, ancho de banda, red inalámbrica y servicio CATV.

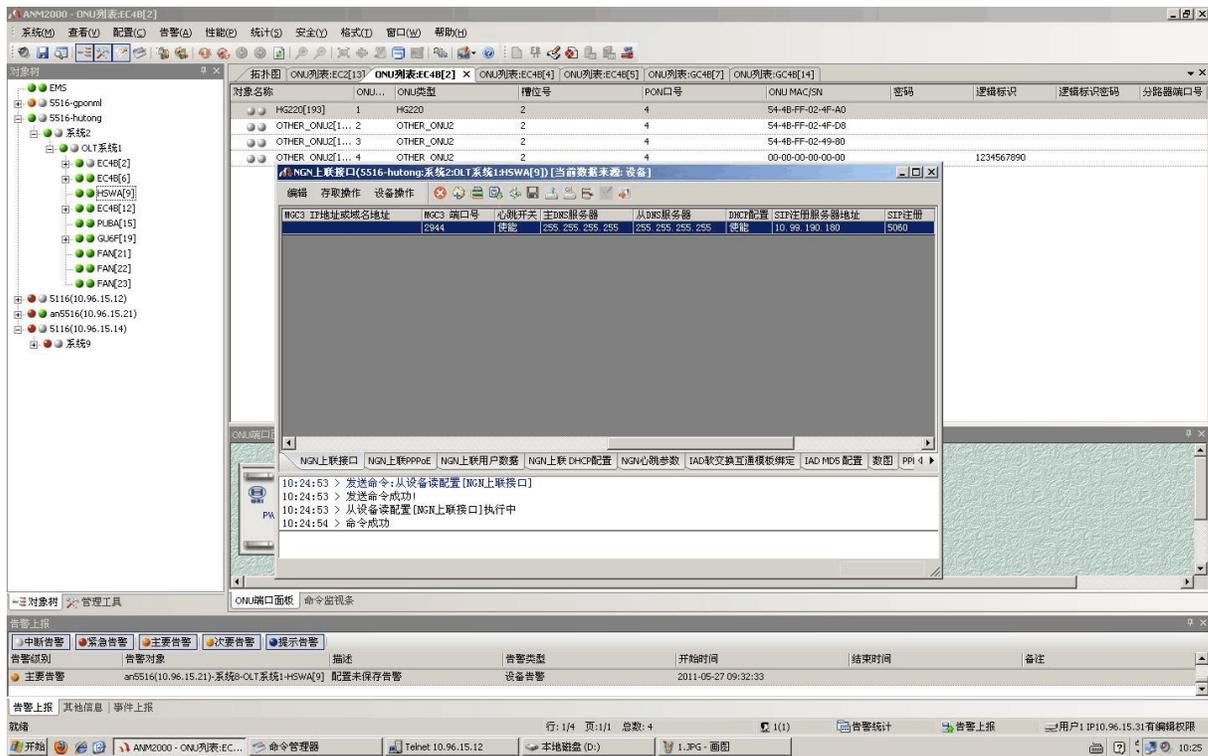


Figura 47. Sistema de gestión ANM2000.

Fuente: Imágenes de Google.

2.2.3.5 Estándares

Proveen un desarrollo completo de servicios orientado a la compatibilidad. Éstos son:

a. ITU-T G.984.1

- Características generales de una red GPON.

b. ITU-T G.984.2

- Especificaciones de parámetros de la ODN.
- Especificaciones de puertos ópticos a 2.488 Gbps.

- Especificaciones de puertos ópticos a 1.244 Gbps.
- Overhead allocation at physical layer.

c. ITU-T G.984.3

- Especificaciones de la capa TC de GPON.
- Arquitectura de multiplexación GTC y protocolos.
- Definición de Trama GTC.
- Registración y Activación de las ONT.
- Especificaciones de DBA.
- Alarmas y Rendimiento.

d. ITU-T G.984.4

- Formato de mensaje OMCI.
- Trama de Administración de dispositivos OMCI.
- Principio de funcionamiento de OMCI.

2.2.3.6 Parámetros básicos de rendimiento

- GPON especifica siete velocidades de transmisión posibles:
 - 0.15552 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down.
 - 0.62208 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down.
 - 1.24416 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down.
 - 0.15552 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down.
 - 0.62208 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down.
 - 1.24416 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down.
 - 2.48832 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down.

- Máximo Alcance Lógico: 60 km.
- Máximo Alcance Físico: 20 km.
- Máxima Distancia Diferencial de Fibra: 20 km.
- Split ratio: 1:64 / 1:128.

2.2.3.7 Aplicaciones

- Fibra hasta X (FTTX).
- Regulado por FSAN.
- Alcance: En la capa TC de la G-PON, se define que el máximo alcance lógico es de 60 km, mientras que la máxima diferencia de distancia de fibra entre la ONU más lejana y la más cercana debe ser 20 km.
- Ethernet en theFirstMile (EFM) (conexión de red entre las instalaciones del cliente y la oficina central).
- Regulado por IEEE 802.03ah.
- Alcance: 750 m –2,7 km.
- Distribución de tv digital.

2.2.3.8 Servicios que ofrece

GPON es un estándar muy potente pero a la vez muy complejo de implementar que ofrece:

- ✓ Soporte global multiservicio: incluyendo voz (TDM, SONET, SDH), Ethernet 10/100 Base T, ATM, Frame Relay y muchas más
- ✓ Alcance físico de 20 km
- ✓ Soporte para varias tasas de transferencia, incluyendo tráfico simétrico de 622 Mbit/s, tráfico simétrico de 1.25 Gbit/s y asimétrico de 2.5 Gbit/s en sentido descendente y 1.25 Gbit/s en sentido ascendente.

- ✓ Importantes facilidades de gestión, operación y mantenimiento, desde la cabecera OLT al equipamiento de usuario ONT.
- ✓ Seguridad a nivel de protocolo (cifrado) debido a la naturaleza multicast del protocolo.

2.2.3.9 Aspectos diferenciales de GPON

- **Ancho de banda y distancia.** El medio óptico permite superar los límites de ancho de banda y distancia existentes en las tecnologías xDSL.
- **Economía.** xPON reduce el CAPEX (inversiones de capital que crean beneficios) en fibra óptica (1FO para muchos usuarios) y OLT (1 puerto en la OLT para muchos usuarios). Además es posible suprimir la red de par telefónico y cable coaxial.
- **Calidad de servicio.** GPON dispone de un modelo de QoS que garantiza el ancho de banda necesario para cada servicio y usuario.
- **Seguridad.** La información en la fibra óptica viaja cifrada en AES (Advanced Encryption Standard - Esquema de cifrado por bloques adoptado como un estándar de cifrado por el gobierno de los Estados Unidos).
- **Operación y mantenimiento.** De manera nativa, GPON cuenta con un modelo de gestión que facilita al operador la administración remota de los equipos de usuario. Reducción de OPEX (coste permanente para el funcionamiento de un producto, negocio o sistema).
- **Escalabilidad.** Hoy hablamos de GPON (2,5 Gbps para 64 usuarios) mañana podremos evolucionar XG-PON y seguir utilizando la misma infraestructura de fibra.

2.2.3.10 ¿Qué hay de nuevo en GPON?

El acceso a un medio compartido común (la fibra óptica) requiere de un mecanismo determinista que evite colisiones entre las ONT/ONUs y que garantice el ancho de banda a cada usuario.

- Todos los elementos de la red GPON están sincronizados a una referencia temporal común. De esta forma es posible asignar periodos estrictos y exclusivos de acceso al medio: TDMA (Time Division Multiple Access).
- La sincronización se complementa con un sofisticado método de ranging y ecualización para que el acceso al medio de la ONT/ONU se produzca en el instante preciso, acorde con la distancia física que le separa de la OLT.

Desarrollo de mecanismos OAM (operación, administración y mantenimiento) que faciliten al operador la gestión centralizada de los equipos de usuario (ONT/ONUs), sin la intervención de estos.

- Permite establecer un punto de demarcación entre la red de operador y la del cliente.
- Gestión remota de las ONTs (teledescarga de actualizaciones, parámetros de funcionamiento, etc).
- Facilita de configuración y gestión de servicios de usuario: ancho de banda, características del servicio de voz, vídeo multicast, etc.

2.2.3.11 Resumen de características

- Estándar ITU-T G.984.
- Primer draft hecho en el 2002.
- Tasa de transmisión en Downstream: 1.2 Gbps / 2.4 Gbps.

- Tasa de transmisión en Upstream: 1.2 Gbps / 2.4 Gbps.
- Splitting Factor de 1:64 / 1:128 (en desarrollo).
- Eficiencia del 93% para todos los tipos tráfico de servicios.
- Transporte por medio de tramas GEM.
- Permite el transporte de señales CATV-RF.
- Provee un estándar para la protección de los puertos PON.
- Provee seguridad en Downstream por medio de AES.
- Provee un mecanismo de corrección de errores por FEC.

2.2.3.12 Resumen de parámetros principales

Arquitectura	Flujo de bajada de pico	Flujo de subida de pico	Splitter	Protocolo estándar	Organismo
GPON	2.5 Gbit/s	1.25 Gbit/s	1x128	ATM G.984	ITU-T

Tabla 10. Resumen de principales parámetros de GPON.

Fuente: Wikipedia.

2.2.4 Comparativa de GPON con otras tecnologías PON

Características	ITU-T BPON	ITU-T GPON	ITU-T EPON
Tasa de bit (Mbps)	<i>down</i> : 1244, 622, 155 <i>up</i> : 622, 155	<i>down</i> : 2488, 1244 <i>up</i> : 2488, 1244, 622, 155	<i>down</i> : 1250 <i>up</i> : 1250
Codificación de línea	NRZ (+ <i>scrambling</i>)	NRZ (+ <i>scrambling</i>)	8b/10b
Ratio de división máximo	1:32	1:128 (1:64 en la práctica)	1:32
Alcance máximo	20 km	60 km (con 20 km de distancia máxima entre ONTs)	20 km
Estándares	Serie ITU-G.983.x	Serie ITU-T G.984.x	IEEE 802.3ah
Soporte TDM	TDM sobre ATM	TDM nativo, TDM sobre ATM, TDM sobre paquetes	TDM sobre paquetes
Soporte vídeo RF	No	Sí	No
Eficiencia típica (depende del servicio)	83% <i>downstream</i> 80% <i>upstream</i>	93% <i>downstream</i> 94% <i>upstream</i>	61% <i>upstream</i> 73% <i>downstream</i>
OAM	PLOAM + OMCI	PLOAM + OMCI	Ethernet OAM (+ SNMP opcional)
Seguridad <i>downstream</i>	<i>Churning</i> o AES	AES	No definida

Tabla 11. Comparativa de GPON con otras tecnologías PON.

Fuente: Ramón Jesús Millán Tejedor - GPON.

Table 1. Currently Deployed PON Technologies

Type	Broadband PON (BPON)				GPON (Gigabit-Capable PON)				EPON (Ethernet PON)			
					GPON		GPON-ERG					
Standard	ITU-T G.983 series				G.984 series		G.984.6		IEEE 802.3ah			
Protocol	ATM				Ethernet, TDM, TDMA				Ethernet			
Services	Voice, data, video				- Voice, data - Triple-play - File exchange, remote learning, tele-medicine, IPTV, video-on-demand				Triple-play			
Maximum physical distance (OLT to ONT)	km	20				20		Up to 60 (ODN distance)		1000BASE-PX10: 10 1000BASE-PX20: 20		
Split ratio		up to 32				up to 64		16, 32 or 64 (restricted by path loss)		1x16 1x32 (with FEC or DFB / APD)		
		Downstream OLT Tx		Upstream ONU Tx		Downstream		Upstream		Downstream		Upstream
Nominal bit rate	Mbit/s	155.52 622.08	1244.16	155.52	622.08	1244.16 / 2488.32		155.52/ 622.08/ 1244.16	2488.32	1244.16	1000	1000
Operating wavelength band	nm	1480-1580	1480-1500	1260-1360	1260-1360 (MLM1, SLM) 1280-1350 (MLM2) 1288-1338 (MLM3)	-1480-1500 -1550-1560 (Enhancement band for video)		1260-1360 Possibility of using shorter C-band wavelengths downstream and 1550 nm upstream		1480-1500 (Basic band)	OEO (ONU EXT): 1260-1360 OEO (OLT EXT): 1290-1330 0A: 1300-1320 (OBF)	
ORL _{MAX}	dB	>32				>32				15		

Tabla 12. Comparación con tecnologías actuales PON.

Fuente: Horacio Rodríguez Soto - Generalidades de redes FTTH – GPON.

Table 2. Next-Generation PON Technologies

Type	Gigabit-Capable PON (GPON) 10G-PON				Ethernet PON (EPON) 10G-EPON				WDM PON			
Standard	Units	G.987				802.3av™				None at the moment		
Protocol		Ethernet, TDM, TDMA				Ethernet				TBC		
Services		- Voice, data - Triple-play - File exchange, distance learning, tele-medicine, IPTV, video-on-demand				- Voice, data - Triple-play - File exchange, distance learning, tele-medicine, IPTV, video-on-demand				- Voice, data - Triple-play - File exchange, distance learning, tele-medicine, IPTV, video-on-demand		
Maximum physical distance (OLT to ONT)	km	20				PRX10-PR10: 10 PRX20-PR20-PRX30-PR30: 20				TBC		
Split ratio		up to 1x64				up to 1x32				TBC up to 1x32		
Nominal bit rate		Downstream		Upstream		Downstream		Upstream		Downstream		Upstream
Asymmetric	Gbit/s	10		2,5		10		1,25		Virtually no limits e.g., 1 Gbit/s per user		Virtually no limits e.g., 1 Gbit/s per user
Symmetric	Gbit/s	10		10		10		10				
Operating wavelength band	nm	1577 -2, +3		1270 ±10		1577 -2, +3		1270 ±10		TBC e.g., DWDM in C Band		
ORL _{MAX}	dB	>32				>20				TBC		

Tabla 13. Comparación con tecnologías futuras PON.

Fuente: Horacio Rodríguez Soto - Generalidades de redes FTTH – GPON.

2.2.4.1 Comparación entre EPON y GPON

Encontrar la tecnología correcta para cubrir la última milla de cualquier red siempre ha sido un desafío para las empresas operadoras. Hallar una solución óptima puede ser un proceso complejo con numerosos factores interviniendo y que deben ser tomados en cuenta.

Un factor determinante en el costo efectivo de una red FTTH es entender las características de desempeño de la tecnología PON (EPON, GPON), tales como, ancho de banda, eficiencia y relación de división.

Las dos tecnologías tienen una diferencia bien marcada en el aspecto de la arquitectura. GPON ofrece redes complejas de la capa 2 en estructura de árbol, basadas en el protocolo ATM y múltiples protocolos que hacen posible soportar la estructura de la tecnología. EPON usa simples redes de capa 2 utilizando IP para datos, voz y video.

La estructura de las redes GPON es soportada mediante una solución de transporte usando diversos protocolos de la capa 2 del modelo OSI. Ese tipo de transporte ofrece un servicio de alta calidad. Los circuitos virtuales son generados para cada tipo de servicio ofrecido en la red.

Adicionalmente, los equipos en las redes GPON necesitan de algunas conversiones de protocolos, segmentación, terminación del canal virtual (VC) y del protocolo punto-punto (PPP). Resumiendo, la estructura de la red GPON consiste en múltiples redes de la capa 2 sobre la misma capa física. Cada red tiene un protocolo diferente.

EPON suministra conectividad para cualquier tipo de redes basadas en IP. Las redes Ethernet están expandidas por el mundo, desde redes locales, redes nacionales, inclusive hasta backbones de redes internacionales.

Existen también diferencias en términos de eficiencia, alcance, ancho de banda, costo por usuario, gerenciamiento, protección, entre otras.

a. Ancho de banda

Las ofertas de ancho de banda disponible varían entre los dos protocolos; GPON promete tasas de 1.25 Gbps o 2.5 Gbps de downstream, y tasas escalables de upstream desde 155 Mb/s hasta 2,5 Gb/s. EPON ofrece una tasa simétrica de 1.25 Gb/s. La eficiencia de los sistemas EPON es pobre en comparación con GPON. La tecnología EPON se caracteriza por extensos encabezados en las tramas, que provocan baja eficiencia y consecuentemente, menor número de bits de carga útil (payload) contra soluciones GPON. Las dos tecnologías soportan televisión por cable (CATV), lo que demanda altas tasas en la dirección de downstream para el servicio de vídeo.

b. Sistema de gerenciamiento

EPON requiere un simple sistema de gerenciamiento, mientras GPON demanda tres sistemas para los tres protocolos de capa 2 que necesita. Factor que significa para EPON un menor costo en la red. Además de eso, EPON no necesita de conversiones de múltiples protocolos, convirtiéndose en otro factor de reducción de costos en la Red.

c. Seguridad y protección

El proceso de encriptación AES (Advanced Encryption Standard) forma parte del estándar ITU-T en las redes GPON. Pero, la encriptación en las redes GPON se realiza solamente en el canal de retorno. En las redes EPON, el mecanismo de encriptación no está definido en el estándar. Algunos vendedores de EPON utilizan también AES, además el proceso de encriptación en las redes EPON se realiza en los dos sentidos de transmisión; downstream y upstream. El servicio de OAM

(Operación, Administración y Mantenimiento) también está presente en las dos tecnologías; GPON utiliza PLOAM+OMCI, es decir, PLOAM (Physical Layer Operations, Administration and Maintenance): operaciones de la capa física, administración y mantenimiento, más OMCI (Open Manage Client Instrumentation): instrumentación y control abierto para el cliente. EPON usa el OAM definido para Ethernet.

d. Cantidad de usuarios por PON

El estándar IEEE 802.3ah EPON, soporta solamente dos tipos de ODN: tipo A (5dB hasta 20dB de pérdidas) y tipo B (10dB hasta 25dB de pérdidas), ofreciendo servicio hasta 32 usuarios, mientras el estándar GPON soporta también ODN tipo C (15dB hasta 30dB de pérdidas). La ODN tipo C permite a las redes PON extenderse además de los 20Km atendiendo hasta 64 ONTs. Utilizar redes EPON permite a los vendedores eliminar elementos complejos y caros de las redes ATM y SONET simplificándolas de este modo, reduciendo considerablemente los costos en la red.

e. Escalabilidad y flexibilidad

IEEE EPON soporta solamente una única tasa simétrica de bits; 1,25 Gb/s. El estándar GPON es más flexible y escalable, como ya mostramos, GPON permite tasas de downstream de 1,25 Gb/s y 2,5 Gb/s y tasas de upstream desde 155 Mb/s hasta 2,5 Gb/s. Las dos tecnologías están enfocadas para atender el mercado de las redes de acceso, donde es bien conocido que el tráfico de aquellas redes es asimétrico entre las tasas de bajada y subida, y no existe la necesidad de tener una tasa de 1,25 Gb/s de upstream.

Mientras GPON permite al vendedor configurar las tasas teniendo en cuenta las necesidades reales y actuales. Mecanismo que no puede ser realizado en las redes EPON.

En la siguiente tabla presentamos un resumen de las principales características de las redes GPON y EPON.

Características	ITU-T GPON	IEEE EPON
Tasa de bits (Mb/s)	Distribución: 2488, 1244 Retorno: 2488, 1244, 622, 155	Distribución: 1250 Retorno: 1250
Fecha de estandarización	2003	2004
Código de Línea	NRZ	8B/10B
División máxima	1:64	1:32
Alcance máximo	20 Km	10 Km
Protocolo básico	ATM	Ethernet
Estándar	Série ITU-T G984.x	IEEE 802.3ah
Tecnología de acceso	TDMA	TDMA
Seguridad en <i>Downstream</i>	AES	No definida
OAM	PLOAM+OMCI	Ethernet OAM

Tabla 14. Características GPON y EPON.

Fuente: Dialnet – Estudio comparativo de redes GPON y EPON.

f. Dimensionamiento de redes GPON y EPON

En nuestro estudio dimensionamos una red para atender la demanda de 100.000 usuarios, desde tasas de velocidad de transmisión de 10 Mb/s hasta 100 Mb/s. Para el escenario propuesto se asumirán las siguientes características:

La eficiencia de la red GPON será establecida en 93%, mientras que para EPON será de 70%, lo que implica que para GPON tendremos una utilización de 2333 Mb/s y para EPON de 896 Mb/s. Por simplicidad el tipo de servicio ofrecido no será considerado, será tenido en cuenta la demanda de ancho de banda por usuario. La relación de división debida a los splitters será para GPON de 1:64 y para EPON de 1:32. El precio para las OLTs será el mismo para las dos redes; US\$1800

mientras que para las ONTs asumiremos US\$250 para GPON y US\$200 para EPON (el precio de las ONTs no es el mismo porque GPON soporta servicios TDM; POTS, E1/T1, ofreciendo una característica extra en comparación a EPON). Para facilidad en el análisis, tendremos en cuenta que el costo del cableado e instalaciones será el mismo para ambas tecnologías, por lo tanto será despreciado en nuestro estudio.

La siguiente tabla muestra el dimensionamiento para las redes planteadas en el escenario anterior.

BW por usuario (Mbps)	10	20	30	40	50
ONTs GPON por PON	64	64	64	58	46
OLTs GPON	1562	1562	1562	1724	2173
ONTs EPON por PON	32	32	29	22	17
OLTs EPON	3125	3125	3448	4545	5882
BW por usuario (Mbps)	60	70	80	90	100
ONTs GPON por PON	38	33	29	25	23
OLTs GPON	2631	3030	3448	4000	4347
ONTs EPON por PON	14	12	11	9	8
OLTs EPON	7142	8333	9090	11111	12500

Tabla 15. Dimensionamiento de redes GPON y EPON.

Fuente: Dialnet – Estudio comparativo de redes GPON y EPON.

Como se observa, el número de OLTs necesarias para redes EPON es mucho mayor que las necesarias para las redes GPON, convirtiéndose en una ventaja económica visible.

Las siguientes figuras representan el número de ONTs e OLTs necesarias para dimensionar nuestro escenario de 100.000 abonados.

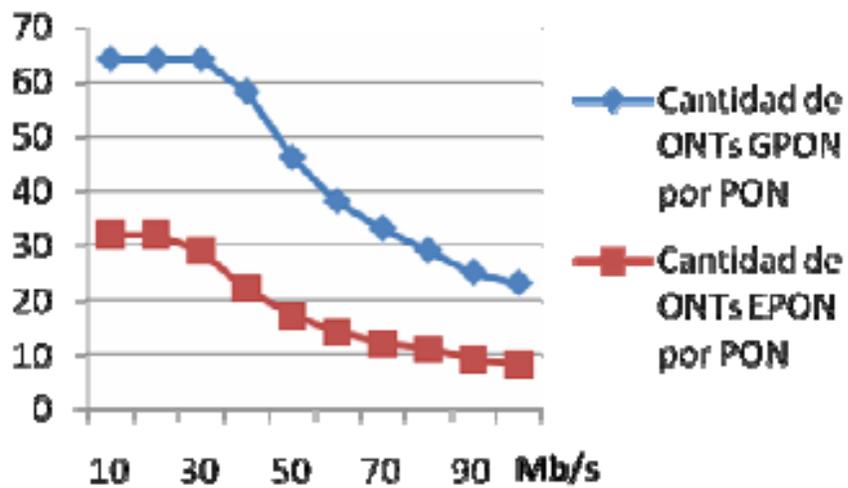


Figura 48. Cantidad de ONT GPON/EPON por cada PON.

Fuente: Dialnet – Estudio comparativo de redes GPON y EPON.

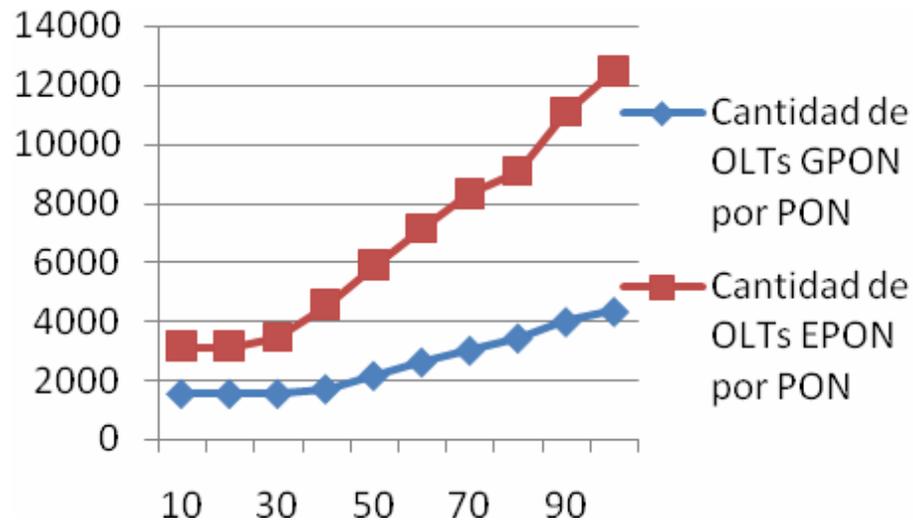


Figura 49. Cantidad de OLT GPON/EPON para 100000 clientes.

Fuente: Dialnet – Estudio comparativo de redes GPON y EPON.

Mientras que el ancho de banda demandado por el usuario aumenta, EPON rápidamente agota sus recursos.

La siguiente figura muestra el costo general de las redes GPON/EPON en función del ancho de banda requerido por los abonados.

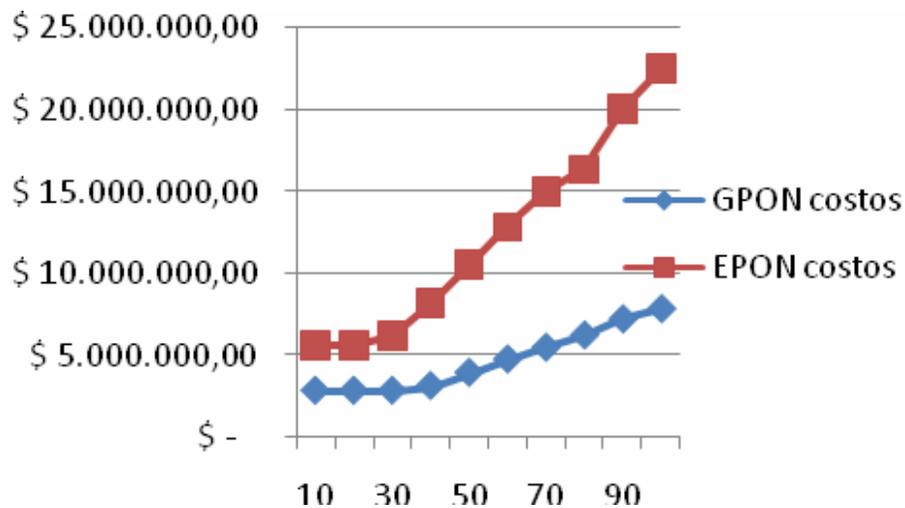


Figura 50. Costo general de las redes GPON/EPON en función del ancho de banda requerido por los abonados.

Fuente: Dialnet – Estudio comparativo de redes GPON y EPON.

g. Resultados de la comparativa EPON y GPON

El estudio del dimensionamiento de las redes nos muestra una clara ventaja para una determinada red FTTP basada en GPON sobre una red basada en EPON. Esto se debe a la mayor razón de división en la red GPON, a la tasa de transmisión mayor, a la eficiencia y al ancho de banda, lo que resulta en la reducción de OLTs en más de un factor de más de 2 sobre EPON. Basándonos en el escenario anterior es posible alcanzar una mejoría en los ingresos de dos a tres veces por cada PON, utilizando tecnología GPON en lugar de usar EPON. El diseñador de redes debe llevar en consideración el hecho que se necesitan menos sistemas y menos redes PON usando GPON, así, reduciendo significativamente los gastos operacionales para la red. Además de eso, el aumento de la flexibilidad puede ser introducido con GPON usando opcionalmente el largo alcance óptico para aumentar la cobertura hacia alejadas áreas demandantes de servicios, añadiendo también diversos caminos de protección para la confianza de la red de fibra, y permitiendo activar el mecanismo de criptografía para proporcionar ventajas que pueden simplificar la red sin la necesidad de añadir más equipamientos.

Encontramos que la infraestructura de la red GPON es más robusta, tiene más capacidad y tiene una leve ventaja sobre la red EPON. Actualmente las redes GPON tiene un margen de ventaja en términos de ingeniería y económicos sobre las redes EPON, aunque la mayor parte del tráfico en las redes del mundo sea IP, ideal para Ethernet PON.

	IEEE 802.3ah (EPON)	ITU-T G.984 (GPON)
Downstream	1250 Mbps	2500 or 1250 Mbps
Upstream	1250 Mbps	1250 or 622 Mbps
Split ratio	1:32	1:32, 1:64, (1:128 planned)
Downstream Efficiency	~72% as a result of: 8B/10B encoding (20%) Overhead & Preamble (8%)	~92% as a result of: NRZ scrambling (no encoding) Overhead (8%)
Revenue BW	900 Mbps	2300 Mbps
OAM&P	OAM is optional and minimally supports: failure indication, loop-back and link monitoring to the ONT. Provisioning and services are out of scope.	OMCI is mandatory. Full FCAPS on ONT and services.
Security	None specified. AES used by various vendors.	AES is part of the standard.
Network Protection	None specified.	Optional 50 mS switching time.
TDM transport	Circuit Emulation over Ethernet (ITU-T Y.1413 or MEF or IETF)	Native via GEM or Circuit Emulation over Ethernet (ITU-T Y.1413 or MEF or IETF)
Interoperability	None specified	FSAN and ITU-T

Tabla 16. Otras características técnicas EPON y GPON.

Fuente: Tesis de Cristina Castillo Jaramillo y Santiago Figueroa Torres – Universidad Politécnica Salesiana.

De esta tabla se puede observar que, en base a las características técnicas, las GPON tienen la ventaja de proveer el soporte necesario, la interoperabilidad y seguridad, velocidad superior en downstream, mejor relación de splitteo y mejor eficiencia que las redes EPON. Además las EPON soportan únicamente 32 usuarios por puerto PON mientras que las GPON soportan incluso 64.

También cabe mencionar que los sistemas GPON prevalecen en Europa frente a los EPON en razón a:

- ✓ Mayor capacidad.
- ✓ Menor tasa de fallos.
- ✓ Empleo de óptica activa (EDFA,...).
- ✓ Uso exclusivo de la tercera ventana (1550nm).

2.2.5 Triple Play

2.2.5.1 Conceptos

En telecomunicaciones, el concepto Triple Play, se define como el empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales (voz, banda ancha y televisión). Es la comercialización de los servicios telefónicos de voz junto al acceso de banda ancha, añadiendo además los servicios audiovisuales (canales de TV y pago por visión). A veces se habla también del cuádruple play: haciendo distinción entre el uso de la telefonía fija y la telefonía móvil. Más allá aún, en el argot más reciente de las telecomunicaciones, se habla del "multiplay" dejando abierta la referencia a posibles nuevos entrantes en el desarrollo en los mercados de telecomunicaciones.

El servicio triple play es el futuro cercano para el desarrollo integral de comunicación entre hogares. El desarrollo actual de las empresas incumbentes (empresas de telecomunicaciones, televisión por cable, televisión satelital, eléctricas, etc.) conlleva una solución única para varios problemas: el servicio telefónico, televisión interactiva y acceso a Internet, todo en un mismo servicio. La diferencia que distingue a esta nueva categorización de tecnología consiste en que todos los servicios se sirven por un único soporte físico, ya sea cable coaxial, fibra óptica, cable de par trenzado, red eléctrica, o bien microondas.

Posibilita un servicio más personalizado al usuario debido a que el cliente dispone de los servicios y contenidos que él desea utilizar en el momento idóneo. La mejora en la calidad de los servicios, llegando hasta los hogares la calidad digital. Nuevas posibilidades en telefonía y un abaratamiento del acceso a Internet.

2.2.5.2 Funcionamiento

Un salto tecnológico que permite compartir eficazmente y sin perturbación los datos de Internet, la voz y el vídeo.

Puede ser provista por proveedores de servicios de telefonía (TELCO), utilizando Fiber to the x (FTTX), o por proveedores de videocable (cableoperadores), utilizando "híbrido de fibra y coaxial" (Hybrid Fibre Coaxial, HFC).

La conexión se basa en datagramas IP para todos los servicios. El servicio telefónico, se basa en la tecnología de las operadoras. Para el manejo de la telefonía, se utiliza una "central pública telefónica IP" o Softswitch, la que registra los teléfonos conectados a la red multiservicio a través de ADSL. Los teléfonos analógicos se conectan a la línea ADSL a través de un conversor llamado ATA/IAD. Si la llamada se produce entre teléfonos registrados en el Softswitch se establecerá una llamada VoIP entre ambos. El IP Gateway es un elemento esencial, para procesar llamadas externas con teléfonos IP no asociados al Softswitch. Su misión es la de enlazar la red VoIP con la red telefónica analógica o RDSI para llamadas externas.

La televisión evolucionará en un futuro hacia una televisión por cable con total interactividad con el usuario permitiendo una televisión "a la carta".

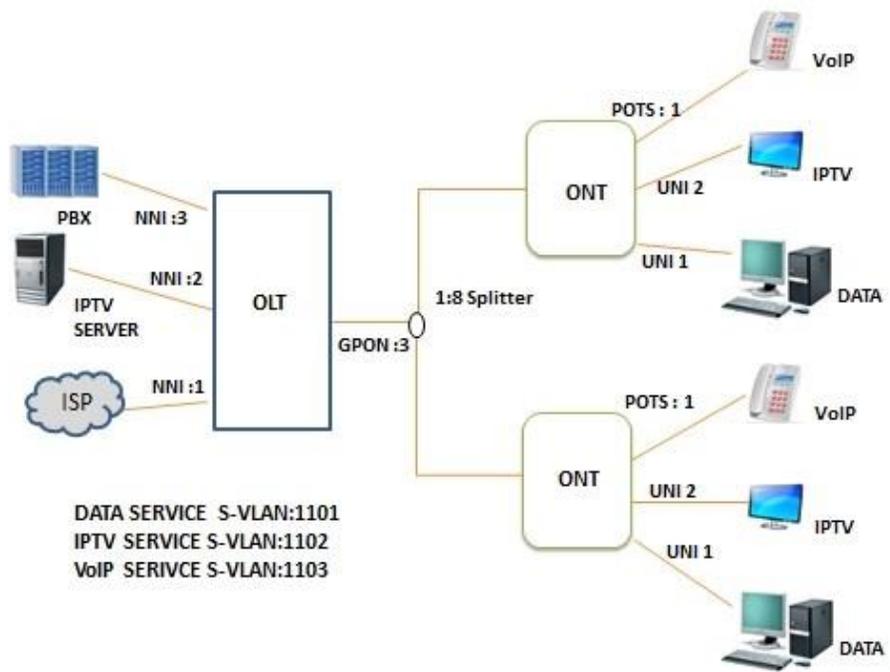


Figura 51. Triple Play en una red GPON.

Fuente: Imágenes de Google.

ONU Triple Play

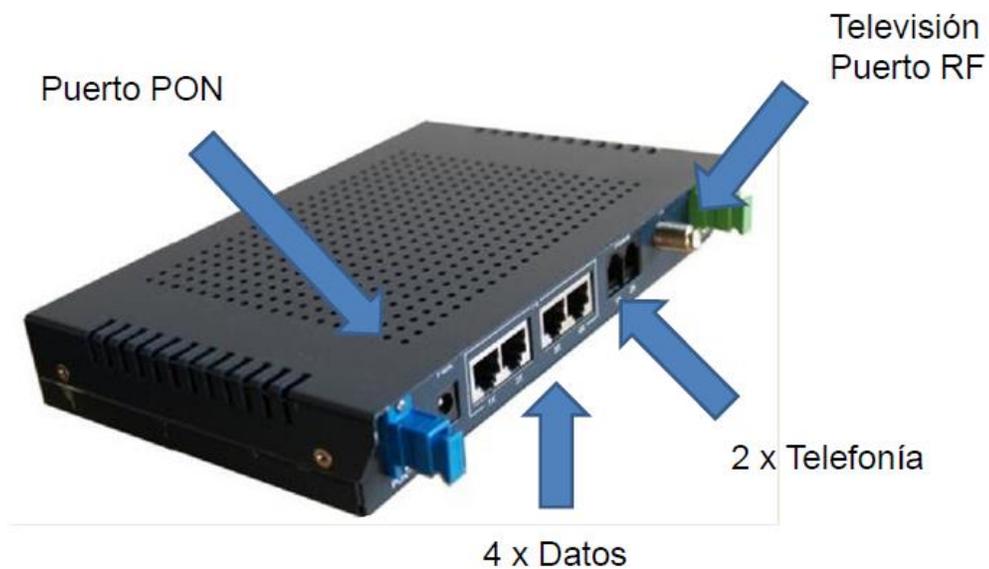


Figura 52. ONU Triple Play.

Fuente: Tecnored - Redes FTTH.

Televisión sobre redes PON

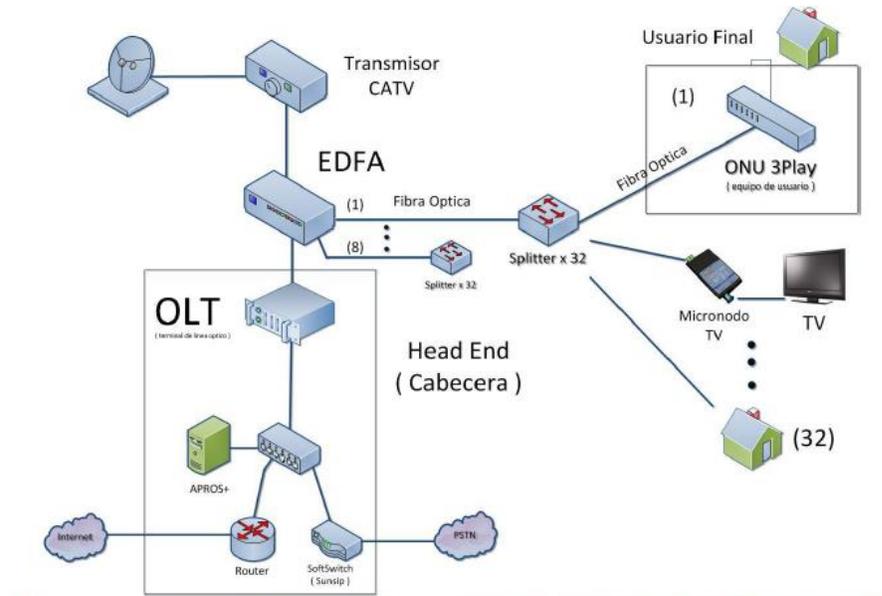


Figura 53. Televisión sobre redes PON.

Fuente: TecnoRed - Redes FTTH.

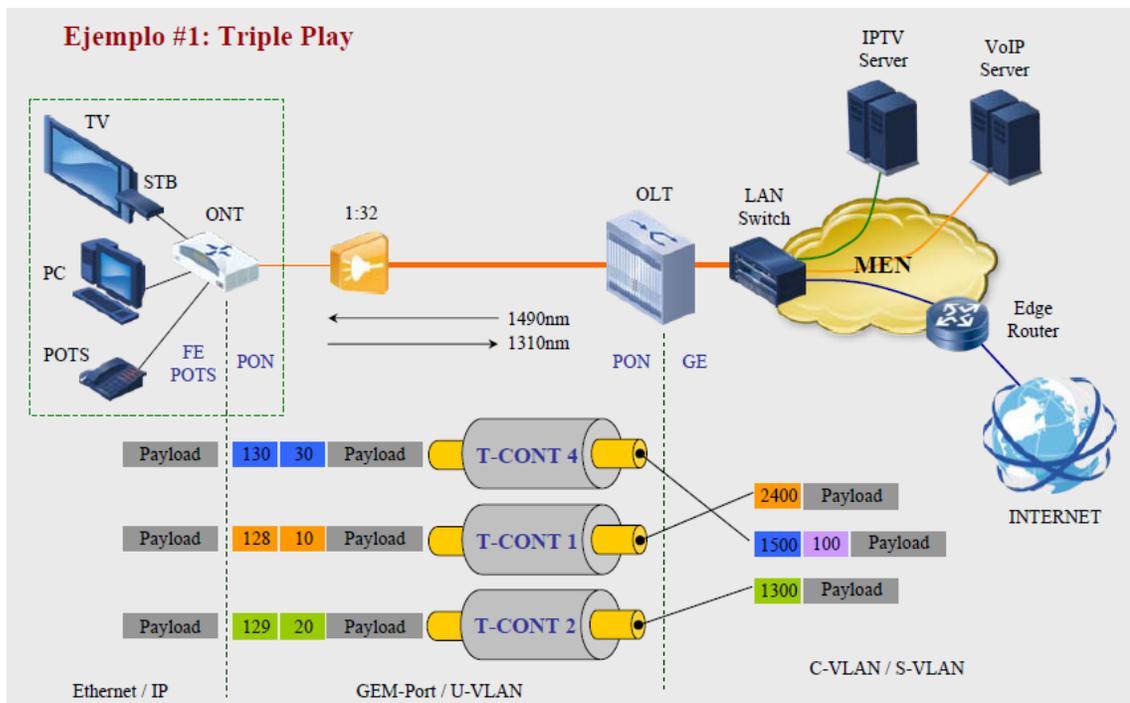


Figura 54. Esquema de Triple Play (I).

Fuente: Lattanzi y Graf – Redes FTTH: Conceptos y aplicaciones.

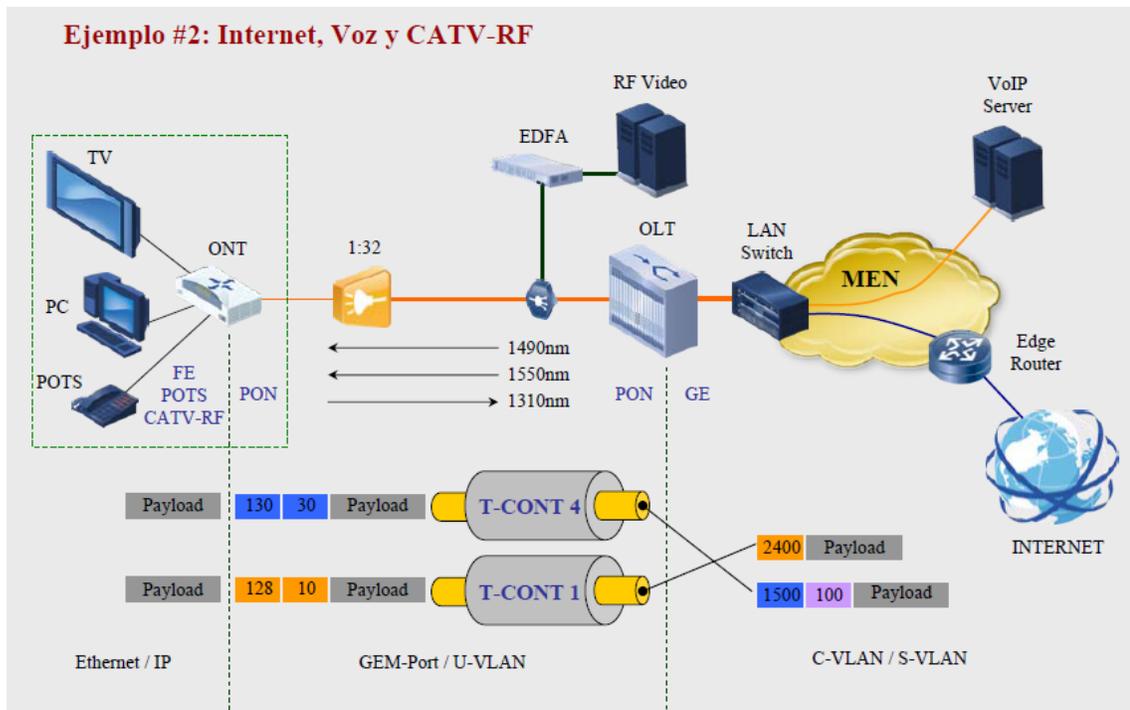


Figura 55. Esquema de Triple Play (II).

Fuente: Lattanzi y Graf – Redes FTTx: Conceptos y aplicaciones.

2.2.6 Sistema de aprovisionamiento

El aprovisionamiento consiste en selección, vinculación y configuración de servicios, servicios, de modo de instanciarlos para brindar un determinado producto a un cliente. Puede de requerir acciones lógicas o físicas. Las acciones lógicas son de configuración, activación y asignación.

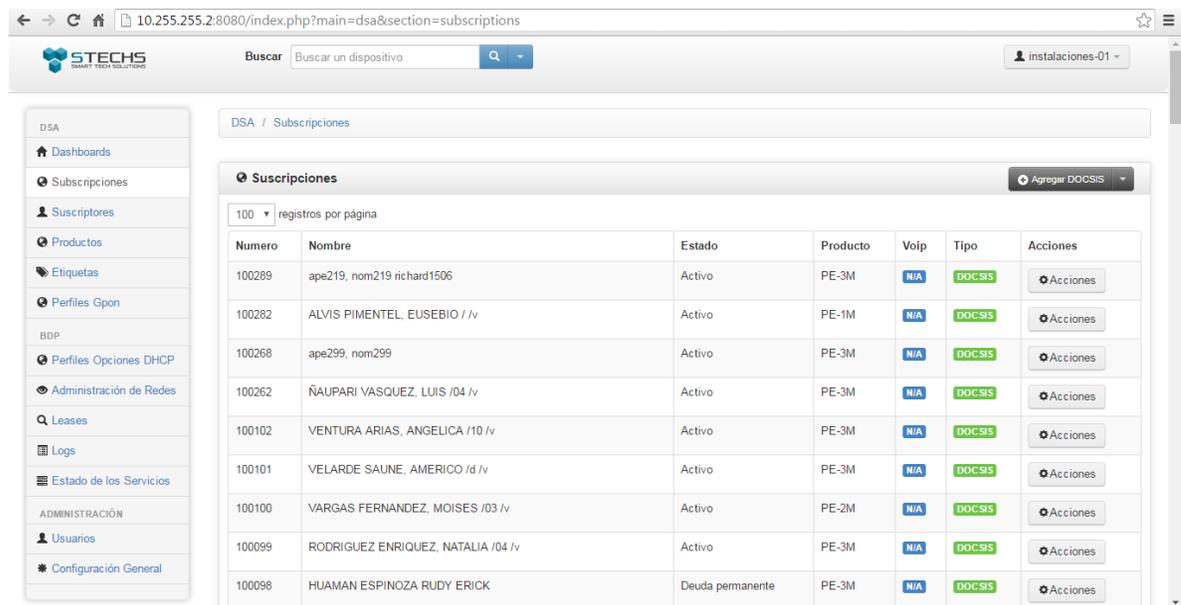
Un sistema de aprovisionamiento de ONUs es el núcleo lógico de un Sistema de Servicio de Internet, CATV y telefonía sobre una red PON; éste permite que las ONUs obtengan una IP y un archivo de configuración que le indicara al mismo a qué velocidad va a acceder a Internet el cliente que se conecte detrás de esta ONU, así como qué servicios desea disponer, como Wifi, IPTV y voz.

Las etapas de aprovisionamiento de una ONU son:

- Enganche o Ranging.
- Aprovisionamiento lógico.

La segunda etapa, luego que la ONU ha enganchado en lo referente a PON, ésta realiza una secuencia de tareas, entre las que podemos esquematizar las siguientes:

1. Solicitud de IP de la ONU.
2. Solicitud TFTP del archivo de configuración de la ONU.
3. Solicitud de IP del computador final.



The screenshot shows a web browser window with the URL `10.255.255.2:8080/index.php?main=dsa§ion=subscriptions`. The page title is "Subscripciones" and it features a search bar and a sidebar with navigation options like "Dashboards", "Subscripciones", "Suscriptores", "Productos", "Etiquetas", "Perfiles Gpon", "BDP", "Perfiles Opciones DHCP", "Administración de Redes", "Leases", "Logs", "Estado de los Servicios", "ADMINISTRACIÓN", "Usuarios", and "Configuración General". The main content area displays a table of subscriptions with the following data:

Numero	Nombre	Estado	Producto	Voip	Tipo	Acciones
100289	ape219, nom219 richard1506	Activo	PE-3M	N/A	DOCSIS	Acciones
100282	ALVIS PIMENTEL, EUSEBIO / /v	Activo	PE-1M	N/A	DOCSIS	Acciones
100268	ape299, nom299	Activo	PE-3M	N/A	DOCSIS	Acciones
100262	ÑAUPARI VASQUEZ, LUIS /04 /v	Activo	PE-3M	N/A	DOCSIS	Acciones
100102	VENTURA ARIAS, ANGELICA /10 /v	Activo	PE-3M	N/A	DOCSIS	Acciones
100101	VELARDE SAUNE, AMERICO /d /v	Activo	PE-3M	N/A	DOCSIS	Acciones
100100	VARGAS FERNANDEZ, MOISES /03 /v	Activo	PE-2M	N/A	DOCSIS	Acciones
100099	RODRIGUEZ ENRIQUEZ, NATALIA /04 /v	Activo	PE-3M	N/A	DOCSIS	Acciones
100098	HUAMAN ESPINOZA RUDY ERICK	Deuda permanente	PE-3M	N/A	DOCSIS	Acciones

Figura 56. Detalle del sistema de aprovisionamiento de Cablemódems.

Fuente: Captura en pantalla del sistema.

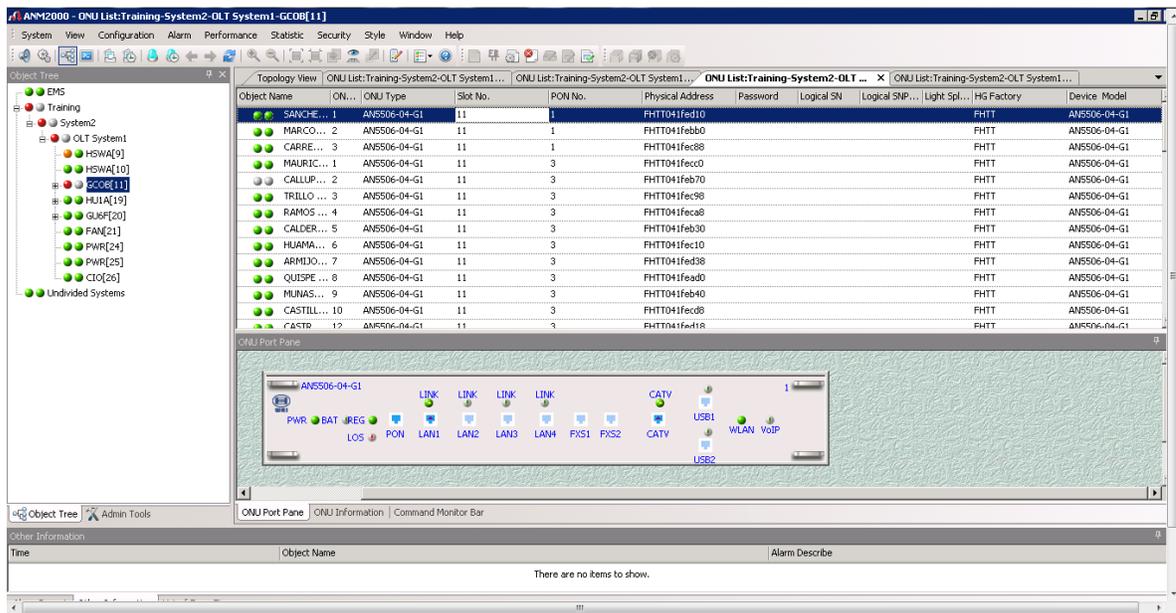


Figura 57. Detalle del sistema de aprovisionamiento de ONUs.

Fuente: Captura en pantalla del sistema.

2.3 Marco conceptual

El presente proyecto muestra detalladamente cómo se va a realizar el análisis y diseño de la red FTTH de tecnología GPON.

La parte de análisis comprende puntos importantes como el tipo de red a usar, arquitectura de red a usar, elementos de red, zona de despliegue, características constructivas, y distribución de cableado; incluyendo la inserción de esquemas y planos del Sector 10 de Villa el salvador, el cual está compuesto por 6 grupos, con un total de 2346 casas.

La parte de diseño comprende el dimensionamiento de la red, los cálculos pertinentes al estudio específico, el dimensionamiento de equipos, los cálculos para el enlace, entre otros puntos a detallar más adelante.

A continuación se muestran algunos conceptos importantes correspondientes al desarrollo del presente trabajo.

- ❖ CABECERA: Es el centro de la red encargado de agrupar y tratar los diversos contenidos que se van a transmitir por la red.
- ❖ FIBRA ÓPTICA: Es un medio de transmisión, empleado habitualmente en redes de datos y telecomunicaciones, consistente en un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir.
- ❖ FTTH: La tecnología de telecomunicaciones FTTH (del inglés Fiber To The Home), también conocida como fibra hasta la casa o fibra hasta el hogar, enmarcada 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 negocios de los abonados.
- ❖ GPON: Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON o Gigabit-capable Passive Optical Network en inglés) es una tecnología de acceso de telecomunicaciones que utiliza Fibra óptica para llegar hasta el suscriptor cuyas estandarizaciones se refieren a velocidades superiores a 1 Gbit/s.
- ❖ ODN: Son las siglas de Optical Distribution Network. Está compuesta por los ODF, los cables de FO feeder que están asociados a la red GPON, splitters primarios y secundarios con sus cajas de distribución, cables de distribución y por último los cables de acometida o cables drop que conectan las ONT. La ODN es pasiva, no tiene elementos activos o energizados, la OLT y las ONT son las encargadas de inyectar las señales ópticas a esta red.

- ❖ OLT: Son las siglas de Optical Line Termination). Es el elemento activo situado en la central telefónica. De él parten las fibras ópticas hacia los usuarios (cada OLT suele tener capacidad para dar servicio a varios miles de usuarios).

- ❖ ONT: Son las siglas de Optical Network Termination. Es el elemento situado en casa del usuario que termina la fibra óptica y ofrece interfaces FE / GE, POTS y CATV-RF a los abonados.

- ❖ PATCH CORD: Un cordón de fibra óptica (patchcord ó patchcable) es un cable de fibra óptica de corta longitud (usualmente entre 1 y 30 mts) para uso interior con conectores instalados en sus dos extremos, usualmente en presentación simplex (una sola fibra) o duplex (2 fibras) aunque pueden presentarse arreglos multifibra. Los cordones de fibra pueden interconectar directamente dos equipos activos, conectar un equipo activo a una caja pasiva (ODF) o interconectar dos cajas pasivas conformando en este caso un sistema administrable de cableado (Cross Connect).

- ❖ PON: Red óptica pasiva (del inglés Passive Optical Network, conocida como PON), permite eliminar todos los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente introduciendo en su lugar componentes ópticos pasivos (divisores ópticos pasivos) para guiar el tráfico por la red, cuyo elemento principal es el dispositivo divisor óptico (conocido como splitter).

- ❖ SPLITTER ÓPTICO: Es un dispositivo que toma una sola señal de fibra óptica y la divide en múltiples señales.

CAPÍTULO III: DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LA RED FTTH CON TECNOLOGÍA GPON Y SERVICIO TRIPLE PLAY

3.1 Análisis de la red FTTH GPON a diseñar

3.1.1 Análisis del tipo de red y tecnología a diseñar

El diseño va a comprender una estructura FTTH, la cual propone la utilización de fibra óptica hasta la casa del usuario o cliente de fibra. 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 (una conexión punto-punto que resulta en una topología en estrella) o una red óptica pasiva (del inglés Passive Optical Network, PON) que usa una estructura arborescente con una fibra en el lado de la red y varias fibras en el lado usuario. En este caso, la red de acceso se basa en una red pasiva PON, como se ha mencionado: GPON.

Se ha optado por el diseño de una Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit, comúnmente denominada GPON, siendo un conjunto de estandarizaciones de las redes PON a velocidades superiores a 1Gbps. GPON fue aprobada en 2003-2004 por ITU-T en las recomendaciones G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y

G.984.5. Todos los fabricantes de equipos deben cumplirla para garantizar la interoperabilidad.

GPON es un estándar muy potente pero a la vez muy complejo de implementar que ofrece:

- Soporte global multiservicio: incluyendo voz (TDM, SONET, SDH), Ethernet 10/100 Base T, ATM, Frame Relay y muchas más.
- Alcance físico de 20 km.
- Soporte para varias tasas de transferencia, incluyendo tráfico simétrico de 622Mbps, tráfico simétrico de 1.25Gbps y asimétrico de 2.5Gbps en sentido descendente y 1.25 en sentido ascendente.
- Importantes facilidades de gestión, operación y mantenimiento, desde la cabecera OLT al equipamiento de usuario ONT.
- Seguridad a nivel de protocolo (cifrado) debido a la naturaleza multicast del protocolo.

GPON es el estándar más atractivo para ofrecer fibra óptica hasta el hogar o hasta el edificio. Este tipo de redes punto a multipunto se basa en dividir la señal óptica entre 64 abonados a través de una red de fibra completamente pasiva. El OLT (Optical Line Terminal) es el equipo de central y la ONT (Optical Node Terminal) el equipo de abonado.

Además, esta red es la más adecuada para brindar servicio Triple Play, ya que es capaz de soportar incluso servicios como voz sobre IP, televisión digital de alta definición, vídeo bajo demanda, internet de banda ancha sin restricciones de distancias y velocidad, juegos en red, etc.

3.1.2 Arquitectura y/o topología de red a utilizar

La red de GPON consta de un 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 uno soportando hasta 64 ONT.

Para conectar la OLT con la ONT con datos, 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 $n = 2, 4, 8, 16, 32, \text{ o } 64$) en distintos emplazamientos hasta alcanzar los clientes.

En conclusión, la topología empleada en el diseño del proyecto es de **splitters distribuidos** como se muestra en la siguiente figura, descrita también como una **topología distribuida**.

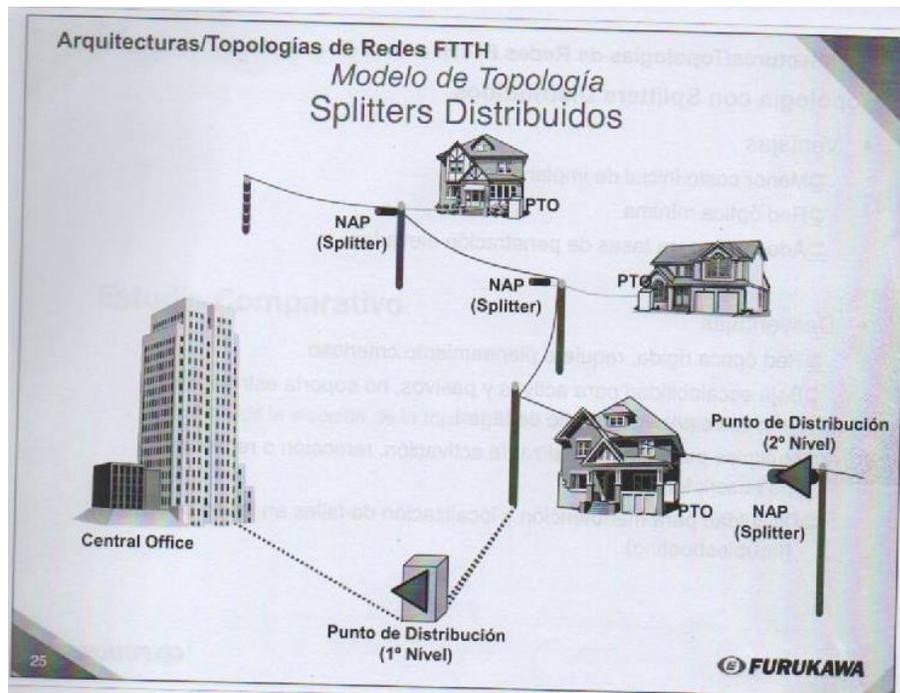


Figura 58. Modelo de topología de splitters distribuidos
Fuente: Arquitecturas y topologías de redes FTTH Furukawa.

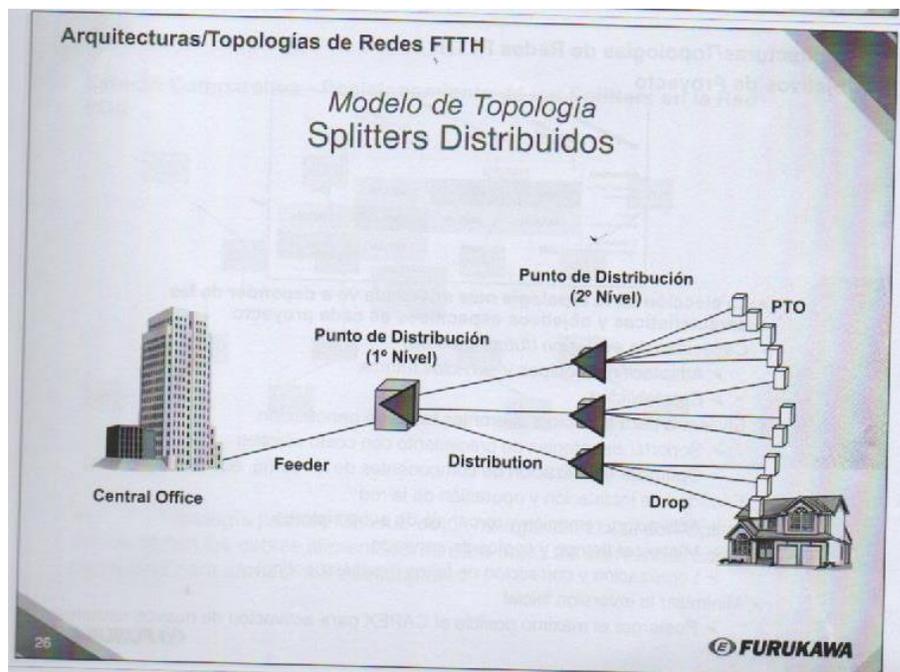


Figura 59. Detalle de la topología de splitters distribuidos.
Fuente: Arquitecturas y topologías de redes FTTH Furukawa.

Tomando en cuenta esta situación se considera que la red GPON permitirá brindar los servicios triple play (video, voz y datos), video bajo demanda, multimedia interactiva, telefonía VoIP, control de videocámaras IP, entre otras aplicaciones soportando altas velocidades de transferencia de datos.

3.1.2.1 ¿Por qué usar topología distribuida?

Se debe usar la topología distribuida porque en esta arquitectura:

Los datos upstream desde la ONU hasta la OLT son distribuidos en una longitud de onda distinta para evitar colisiones en la transmisión downstream, esto permite que el tráfico sea recolectado desde la OLT sobre la misma fibra óptica que envía el tráfico downstream.

Para el tráfico downstream se realiza un broadcast óptico, cada ONU será capaz de procesar el tráfico que le corresponde, gracias a las técnicas de seguridad AES (Advanced Encryption Standard), este estándar permite dar confidencialidad a la información.

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

Existe 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.

Se asigna una longitud de onda para el tráfico de datos (Internet, VoIP, IPTV, etc.) downstream (1.490 nm) y otra para el tráfico upstream (1.310 nm). Además, a través del uso de WDM (Wavelength Division Multiplexing), se asigna una tercera longitud de onda (1.550 nm) que está dedicada para el broadcast de vídeo RF (broadcast analógico, broadcast digital, broadcast digital y HDTV, y vídeo bajo demanda). De este modo, el vídeo/TV puede ser ofrecido mediante dos métodos distintos simultáneamente: RF (radio frecuencia) e IPTV. Mediante RF las operadoras de cable pueden hacer una migración gradual hacia IPTV. En este caso, las ONT dispondrán de una salida para vídeo RF coaxial que irá conectada al STB tradicional. Con IPTV la señal de vídeo, que es transformada por la cabecera en una cadena de datos IP se transmite sobre el mismo enlace IP como datos para acceso a Internet de banda ancha. El STB conectado mediante Gigabit Ethernet al ONT, convertirá de nuevo la cadena de datos en una señal de vídeo. Mediante IPTV y GPON, cuyos equipos incorporan capacidades de QoS y multicast IP avanzadas, los operadores puede ofrecer varios canales de alta calidad de imagen y sonido, incluidos HDTV, así como proporcionar servicios interactivos y personalizados, lo cual no es factible con vídeo RF.

Se logra realizar la gestión remota del equipamiento de usuario. De esta forma se consigue un notable ahorro de costes derivados del mantenimiento ya que no es necesaria la intervención en el domicilio del cliente. Para ello, dentro de la norma GPON se ha desarrollado un protocolo denominado OMCI (ONT Management and Control Interface). Este protocolo permite la configuración remota de las ONTs. Para cada ONT se establece un canal de gestión entre OLT y ONT. Incluye gestión, rendimiento, monitorización de alarmas, fallos y prestaciones. El protocolo OMCI es uno de los aspectos fundamentales para garantizar la interoperabilidad entre fabricantes. Hay diversos mecanismos de transmisión de la información OMCI.

3.1.2.2 Centro de control

El centro de control es el espacio donde se ubicarán los equipos activos de cabecera de la red, también denominados OLT (Optical Layer Terminal), así como los distribuidores y repartidores de fibra (ODF: Optical Distribution Frame) para realizar la interconexión entre las OLTs y los cables de planta externa.

Adicionalmente, en el centro de control se ubicarán los servidores necesarios para dar servicios de gestión y mantenimiento a la red, así como las pasarelas y equipos de interconexión para los diferentes operadores de servicio de la plataforma. El tamaño de dicho centro de control depende del número de puntos de conexión y de los servicios prestados.

En una red FTTH se definen varios puntos de interconexión de fibras a lo largo de toda la infraestructura, tanto en planta externa como interna. El sistema de conexión que se requiere debe ser lo más compacto y de mayor flexibilidad posible debido a los criterios de alta densidad que suelen darse en las redes FTTH.

3.1.3 Estructura de la red a diseñar

3.1.3.1 Red óptica troncal o primario (feeder)

Es la red de fibra óptica que lleva la señal desde la OLT hasta los centros de distribución. Pueden instalarse de forma subterránea o aérea. En este caso, se va a instalar de forma aérea.

3.1.3.2 Centros de distribución

Son armarios ópticos de distribución que contiene al splitter del primer nivel con el fin de atender una subzona que forma parte de toda el área a ser atendida

por esa troncal. Se ubican distantes de la central con el objetivo de disminuir el número de fibras necesarias para atender los diferentes accesos de la red.

3.1.3.3 Red óptica de distribución

Es la red de fibra óptica que lleva la señal desde los centros de distribución hasta las cajas terminales (interiores o exteriores). Pueden instalarse de forma subterránea o en forma aérea; la elección de una u otra forma de instalación depende de la infraestructura existente y de los requerimientos municipales. En este caso, se va a instalar de forma aérea.

3.1.3.4 Red óptica de acometida

Está conformada por los cables ópticos que llevan la señal de las cajas terminales hasta la ONT. En el caso de edificios puede terminar en el Distribuidor Interno Óptico (DIO).

3.1.3.5 Red interna

Esta red es necesaria solo cuando la ONT se instala en el interior de la casa del abonado, y lleva la señal desde la roseta óptica o Distribuidor Interno Óptico hasta la ONT. En este caso, no será necesario el uso de rosetas ópticas.

3.1.4 Requisitos de diseño

3.1.4.1 Zona de despliegue

El diseño de la red FTTH con tecnología GPON y servicio Triple Play se realiza con la finalidad de implementarla en el Sector 10 de Villa el Salvador, delimitado por las siguientes avenidas: Av 200 Millas, Av. Mariano Pastor Sevilla, Av, Prolongación Universitaria y Av. Circunvalación de Lomo de Corvina.



Figura 60. Sector 10 de Villa el Salvador.

Fuente: Edición propia en Google maps.

Este sector está conformado por 6 grupos. Grupo 1, Grupo 2, Grupo 3, Grupo 4, Grupo 2A y Grupo 3A. Esto se detalla en la siguiente figura:



Figura 61. Detalle del Sector 10 de Villa el Salvador en un plano.

Fuente: Plano de Villa el Salvador.

3.1.4.2 Características constructivas

El campo de despliegue es un asentamiento humano, cuyo suelo es arenal en gran parte. Esta área tiene instalada postes para cableado eléctrico y cableado telefónico. Se pretende hacer uso de estos postes para la instalación de elementos aéreos de red FTTH GPON como fibra óptica ADSS, mufas y cajas terminales.



Figura 62. Aspecto del Sector 10 de Villa el Salvador (I).

Fuente: Google maps.



Figura 63. Aspecto del Sector 10 de Villa el Salvador (II).

Fuente: Google maps.



*Figura 64. Aspecto del Sector 10 de Villa el Salvador (III).
Fuente: Google maps.*



*Figura 65. Aspecto del Sector 10 de Villa el Salvador (IV).
Fuente: Google maps.*

A continuación se lista la cantidad de viviendas por grupo en el Sector 10 de Villa el Salvador:

Grupo	Nro. de manzanas	Nro. de viviendas
1	18	432
2	16	384
3	12	320
4	19	470
2A	16	420
3A	12	320
		TOTAL: 2346

Tabla 17. Cantidad de viviendas por grupo en el Sector 10 de Villa el Salvador.

Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de manzanas en cada grupo posee 24 lotes, sin embargo, experimentalmente se ha comprobado que algunas manzanas poseen un número menor o mayor de lotes.

El número total de viviendas encerradas en esta sección y por tanto a dar servicio es de 2346 viviendas, por lo que son 2346 usuarios que requieren servicio.

Para el diseño, se utilizará una fibra ADSS (ITU-T G.652) monomodo de 48 hilos que partirá desde la central. Esta fibra está conformada por 4 tubos (azul, naranja, verde y marrón), de los cuales se usará el tubo azul, conformado por 12 hilos (azul, naranja, verde, marrón, gris, blanco, rojo, negro, amarillo, violeta, rosado y celeste). Cada hilo de este tubo estará destinado a cubrir una zona en el Sector 10 del distrito de Villa el Salvador y estará splitteado en 1:4 en un primer nivel y las salidas empalmadas con 4 hilos (azul, naranja, verde y marrón) de una fibra ADSS de 6 hilos, para luego cada hilo ser splitteado en 1:16, sumando un total de 64

puntos de conexión, siendo éste el número de equipos terminales (ONTs) límite que puede gestionar un puerto PON de la OLT.

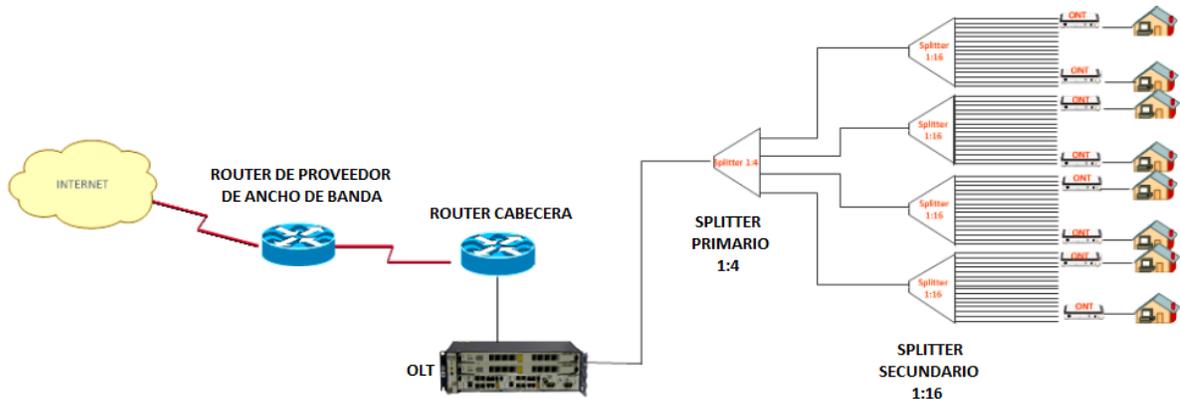


Figura 66. Diagrama lógico de la red FTTH GPON a diseñar.

Fuente: Edición propia.

La elección del número de fibras a utilizar desde la central y los niveles de splitteado se ha realizado atendiendo a las siguientes características:

- ✓ Cantidad de usuarios por manzana.
- ✓ Posibles nuevas viviendas en las manzanas.
- ✓ Futuros problemas en alguna fibra.
- ✓ Trazado de canalización.
- ✓ Configuraciones de cables multifibra (nº de fibras a transportar).

Las distancias entre usuarios y central de comunicaciones no superan los 20 km, por lo que no es necesario el uso de equipos amplificadores de señal ni otro tipo de regeneración.

Aunque para este proyecto solo se requieren 12 hilos desde la central, se va a utilizar una fibra de 48 hilos. De forma que, ante futuras ampliaciones, se facilite el acceso a estas (deberá estudiarse el incremento de distancia y considerar posibles etapas de amplificación).

3.1.4.3 Distribución del cableado y descripción de zonas

Como se va a realizar el uso de 12 hilos del tubo azul de la fibra óptica ADSS monomodo de 48 hilos que partirá de la cabecera, se han propuesto en total 12 zonas o áreas de cobertura: ZONA 1, ZONA 2, ZONA 3, ZONA 4, ZONA 5, ZONA 6, ZONA 7, ZONA 8, ZONA 9, ZONA 10, ZONA 11 y ZONA 12. Estas zonas van a estar distribuidas de la siguiente forma:

PUERTO OLT	ZONA	COLOR DE HILO	ÁREA DE COBERTURA
1	ZONA 1	AZUL	Grupo 1
2	ZONA 2	NARANJA	Grupo 1
3	ZONA 3	VERDE	Grupo 2
4	ZONA 4	MARRÓN	Grupo 2
5	ZONA 5	GRIS	Grupo 3
6	ZONA 6	BLANCO	Grupo 3
7	ZONA 7	ROJO	Grupo 4
8	ZONA 8	NEGRO	Grupo 4
9	ZONA 9	AMARILLO	Grupo 2A
10	ZONA 10	VIOLETA	Grupo 2A
11	ZONA 11	ROSAO	Grupo 3A
12	ZONA 12	CELESTE	Grupo 3A

Tabla 18. Descripción de puertos de OLT y distribución de hilos por zonas del Sector 10 de Villa el Salvador.

Fuente: Elaboración propia.

La ZONA 1 comprende un área de cobertura en las manzanas A, B, C, D, E, F, G, P y Q2A del Grupo 1 del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo azul pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

La ZONA 2 comprende un área de cobertura en las manzanas H, I, J, K, L, M, N, O y Q1A del Grupo 1 del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo naranja pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

La ZONA 3 comprende un área de cobertura en las manzanas A, B, C, D, E, F, G y P del Grupo 2 del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo verde pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

La ZONA 4 comprende un área de cobertura en las manzanas H, I, J, K, L, M, N y O del Grupo 2 del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo marrón pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

La ZONA 5 comprende un área de cobertura en las manzanas A, B, C, D y E del Grupo 3 del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo gris pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

La ZONA 6 comprende un área de cobertura en las manzanas F, G, H, I, J, K y L del Grupo 3 del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo blanco pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

La ZONA 7 comprende un área de cobertura en las manzanas A, B, C, D, E, F, G y P del Grupo 4 del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo rojo pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

La ZONA 8 comprende un área de cobertura en las manzanas H, I, J, K, L, M, N, O, Q, R y S del Grupo 4 del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo negro pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

La ZONA 9 comprende un área de cobertura en las manzanas A, B, C, D, E, F, G y P del Grupo 2A del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo amarillo pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

La ZONA 10 comprende un área de cobertura en las manzanas H, I, J, K, L, M, N y O del Grupo 2A del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo violeta pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

La ZONA 11 comprende un área de cobertura en las manzanas M, N, O, P, Q y R del Grupo 3A del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo rosado pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

La ZONA 12 comprende un área de cobertura en las manzanas S, T, U, V, W y X del Grupo 3A del Sector 10 de Villa el Salvador. El hilo celeste pasará por un primer nivel de splitting 1:4, cuya cada salida tendrá un segundo nivel de splitting de 1:16, estas 4 divisiones de 1:16 sumarán un total de 64 puntos de conexión.

De este análisis se concluye que por cada grupo del Sector 10 de Villa el Salvador se usarán 2 hilos para brindar cobertura, respetando el orden o secuencia de colores.

Cada hilo posee una distribución de 4 niveles de splitting de 1:16, por lo que se suma un total de 64 bornes o puntos de conexión por hilo. Como se estará usando 2 hilos por grupo, entonces la cantidad de bornes por grupo resultará ser 128. Como se tratan de 6 grupos, entonces la cantidad de bornes en todo el Sector 10 de Villa el Salvador resulta ser 128 multiplicado por 6, que resulta ser 768, resultado distinto al número de viviendas totales a brindar cobertura en todo el Sector 10 de Villa el Salvador. Los detalles se muestran en la siguiente tabla.

Grupo	Nro. de manzanas	Nro. de viviendas	Bornes en total por grupo	Porcentaje en cobertura
1	18	432	128	35%
2	16	384	128	38%
3	12	320	128	40%
4	19	470	128	30%
2A	16	420	128	35%
3A	12	320	128	40%
		TOTAL: 2346	TOTAL: 768	

Tabla 19. Distribución de bornes por grupo y porcentaje de cobertura.

Fuente: Elaboración propia.

Se estará cubriendo sólo estos porcentajes de cobertura respecto a cada zona debido a que esta red estará sometida a muchas competencias con otras redes de mayor cobertura, por lo que diseñar una red para brindar cobertura al 100% no sería conveniente, ya que no existe la certeza de que toda la población desee contar con este servicio, ya que la mayoría cuenta con los servicios de otras empresas por lo que, para empezar a poner en funcionamiento esta red, se comenzará por hacer uso de los 12 hilos del tubo azul de la fibra ADSS monomodo de 48 hilos, para que en un futuro, una vez ocupados todos los puntos de conexión o bornes, se amplíe más la red haciendo uso de los hilos de los 3 tubos restantes

de la fibra, incluyendo el añadido de tarjetas PON de la OLT para la obtención de más puertos disponibles.

3.2 Diseño de la red FTTH GPON

3.2.1 Dimensionamiento de la red

La configuración de una red FTTH, como se ha visto; tiene un alcance físico máximo de 20km de distancia, se prevé que en el futuro este límite pueda ser extendido con el desarrollo de nuevos componentes ópticos, sin embargo; como se verá a continuación, éste análisis no será necesario puesto que las distancias sobre las cuales va a estar tendida nuestra red no son ni cercanas al máximo de 20km previsto para estas redes.

Para el dimensionamiento de la red se deberán tener en cuenta las siguientes premisas:

- El estudio tiene como finalidad el diseñar la red física FTTH para el enlace de fibra óptica entre la OLT GPON y los equipos del usuario ONT. Se considera que desde el software de gestión ANM2000 instalado en el servidor se brindará la gestión de los mismos, que llegaran hasta la unidad OLT.
- La red de fibra óptica será en su totalidad de tipo aéreo luego de poner en consideración a los dueños de la urbanización donde se emplazará esta red, los cuales han considerado pertinente esta opción, debido a que todos los tendidos subterráneos ya instalados en la obra (Agua potable, alcantarillado, sumideros, domiciliarias) están dispuestos de forma tal que dificultaría una eventual implementación real de esta red, además de que se tendría que romper las veredas con este fin.

- Se realizará una sectorización de la urbanización, considerando la capacidad por tarjeta GPON de la OLT, los splitters utilizados y la distribución de los lotes, se deberán tener puertos libres para una posible expansión de la demanda de puertos, sin embargo; al considerar un puerto por lote, el crecimiento en la demanda que se podría tener en el sector será muy reducido.
- Se tomará la postería ya planificada para el tendido eléctrico para la colocación de splitters, mufas, la colocación de la fibra óptica y cualquier otro dispositivo que se requiera.

3.2.1.1 Escenario donde se realizará el proyecto

Como se ha mencionado anteriormente, el escenario en el cual se va a desarrollar el proyecto es el Sector 10 de Villa el salvador, delimitado por las siguientes avenidas: Av 200 Millas, Av. Mariano Pastor Sevilla, Av, Prolongación Universitaria y Av. Circunvalación de Lomo de Corvina. Este sector está conformado por 6 grupos. Grupo 1, Grupo 2, Grupo 3, Grupo 4, Grupo 2A y Grupo 3A. Esto se detalla en la siguiente figura:



Figura 67. Delimitación de grupos del Sector 10 de Villa el Salvador.

Fuente: Edición propia en el plano de Villa el Salvador.

Los usuarios actualmente requieren mayor capacidad, calidad, confiabilidad y por supuesto precios cómodos y ante las necesidades evidentes que muestra este sector, se debe lograr que toda la infraestructura sea de fibra óptica utilizando dispositivos pasivos que proporcionan una transmisión con alta capacidad de transferencia.

3.2.1.2 Sectorización y distribución de la red FTTH

La sectorización se realiza teniendo en cuenta la disponibilidad de 64 suscriptores por cada salida de fibra óptica contemplada en el sistema a utilizar, distribuyéndolos en grupos de lotes adyacentes o cercanos entre sí. La unidad de terminación óptica OLT, se plantea ubicarla en la oficina central de la empresa, ubicada en el Sector 6 Grupo 13 Mz F Lote 17 del distrito de Villa el Salvador, donde se ubica la cabecera.



Figura 68. Ubicación de la OLT en un plano.

Fuente: Edición propia en el plano de Villa el Salvador.

De éste se bifurcan 12 hilos principales del tubo azul de la fibra ADSS monomodo de 48 hilos a usar, cuyos 12 hilos equivalen al número de sectores establecidos en el mencionado sector. Esta fibra ADSS viajará aproximadamente 3 km hasta un punto de división que será una caja de empalmes o mufa, en el cual se realizará un empalme para enlazar, en este caso, a 3 fibras ADSS monomodo de 6 hilos, cuya distribución de empalmes se muestra en la siguiente figura:

HILOS DE TUBO AZUL DE FIBRA TRONCAL DE 48 HILOS	PRIMERA FIBRA DE 6 HILOS	SEGUNDA FIBRA DE 6 HILOS	TERCERA FIBRA DE 6 HILOS
1	ZONA 1		
2	ZONA 2		
3	ZONA 3		
4	ZONA 4		
5	ZONA 5		
6	ZONA 6		
7		ZONA 7	
8			ZONA 8
9		ZONA 9	
10			ZONA 10
11		ZONA 11	
12			ZONA 12

Tabla 20. Distribución de hilos del tubo azul de la fibra troncal.

Fuente: Elaboración propia.

La primera fibra ADSS monomodo de 6 hilos estará destinada a la cobertura de los 3 primeros grupos del Sector 10 de Villa el Salvador (1, 2 y 3), y la segunda y tercera estarán destinadas a la cobertura de los 3 últimos grupos (4, 2A y 3A). Cabe mencionar que se está usando el total de hilos mayor de la primera fibra ADSS monomodo de 6 hilos ya que esta fibra va a ser capaz de dar cobertura a los grupos más lejanos (1, 2 y 3), puesto que el punto o nodo en el que llega la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos se encuentra en una calle ubicada en el grupo 4 del Sector 10 de Villa el Salvador y se encuentra lejos de estos tres grupos. Aparte, se estarán usando 2 fibras ADSS monomodo de 6 hilos, ya que una circulará por una dirección para brindar por 3 hilos cobertura hacia 3 zonas y la otra circulará por otra dirección para brindar por 3 hilos cobertura hacia otras 3 zonas. Estas zonas

pertenecen a los grupos cercanos al punto o nodo en el que llega la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos, los cuales son los grupos 4, 2A y 3A.

Cada hilo principal de salida correspondiente de cada fibra estará destinado a la cobertura de un sector y tendrá un splitteado primario de relación 1:4, del cual cada hilo de salida tendrá un splitteado secundario de 1:16, sumando en total 64 usuarios por hilo principal. Cada splitteado de 1:16 estará contenido en una caja terminal o NAP.

La siguiente figura representa la configuración de red en splitters distribuidos que se pretende realizar con los splitters.

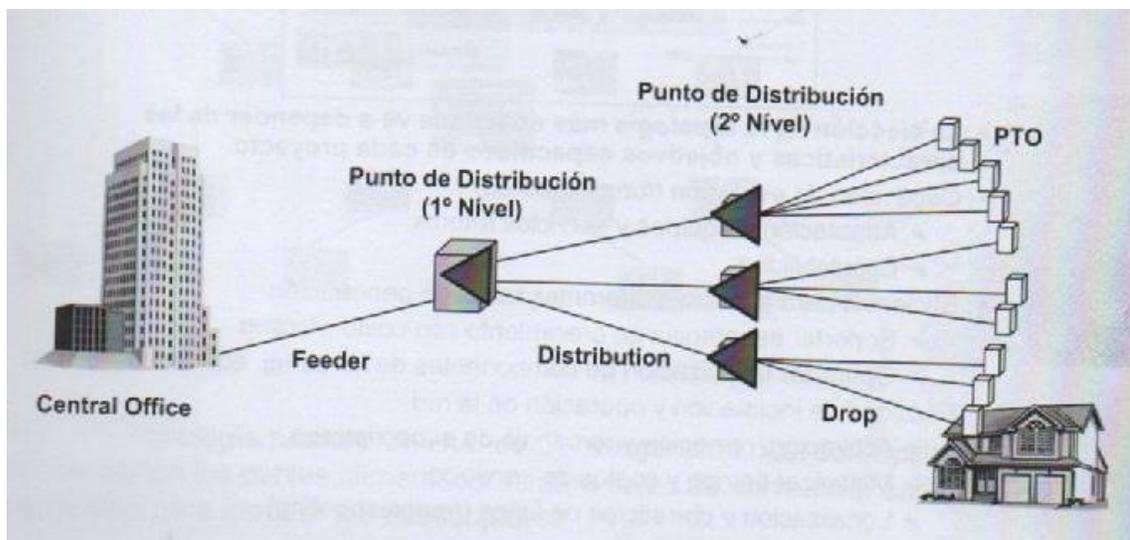


Figura 69. Configuración de red en splitters distribuidos.

Fuente: Arquitecturas y topologías de redes FTTH Furukawa.

La OLT utilizada en el Head-End o cabecera tiene capacidad para 6 tarjetas de interfaz de red, de las cuales cada una tiene cabida para 16 puertos PON. Cada puerto PON tiene una capacidad de gestión de hasta 64 suscriptores, por lo que resultarían un total de 1024 suscriptores por tarjeta. Como se estará brindando cobertura solo a 12 zonas del Sector 10 de Villa el Salvador, entonces se hará uso

de una sola tarjeta y de sólo 12 puertos, resultando una capacidad de hasta 768 suscriptores, sin cubrir aún el 100% ya explicado anteriormente.

Como cada puerto PON de la OLT tendrá la capacidad de gestionar hasta 64 suscriptores, entonces el hilo principal tendrá un primer nivel splitteado de 1:4 y luego 4 segundos niveles de splitteado de 1:16, sumando un total de 64 bornes y acometidas para 64 suscriptores.

3.2.1.3 Delimitación y estructura de componentes en cada zona

Se han establecido 12 zonas principales para las que se han destinado un hilo de fibra a cada uno. De cada zona se derivan 4 subzonas, las cuales van a servir a 16 usuarios cada una.

a. Zona 1

Comprende el área de cobertura del hilo azul del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas A, B, C, D, E, F, G, P y Q2A del Grupo 1 del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo azul se empalmará con el primer hilo de la primera fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la caja o mufa de empalmes; luego, en esta mufa, este primer hilo se empalmará con el primer hilo de la primaria fibra óptica ADSS monomodo de 6 hilos, para luego este primer otro hilo ser empalmado como pasante a través de la primera caja terminal perteneciente a la distribución de la mufa destino, hasta llegar a la misma, en la cual el primer hilo resultante se empalmará con un splitter primario de 1:4, cuyo primer hilo o salida se empalmará con el segundo hilo de la misma fibra ADSS monomodo de 6 hilos que contiene al primer hilo que se empalmará con el mismo splitter primario de 1:4, y al mismo segundo hilo se le empalmará 1 splitter secundario de

1:16. Este splitter estará contenido en una caja terminal o NAP, estableciéndose 16 puntos de conexión.

El segundo hilo o salida del splitter de 1:4 se empalmará con el segundo hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos y a éste se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16. Este splitter también estará contenido en una caja terminal o NAP, estableciéndose 16 puntos de conexión.

Los demás 2 hilos o salidas del splitter de 1:4 se empalmarán con el tercer y cuarto hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters también estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 32 puntos de conexión.

Contando en total se suman un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

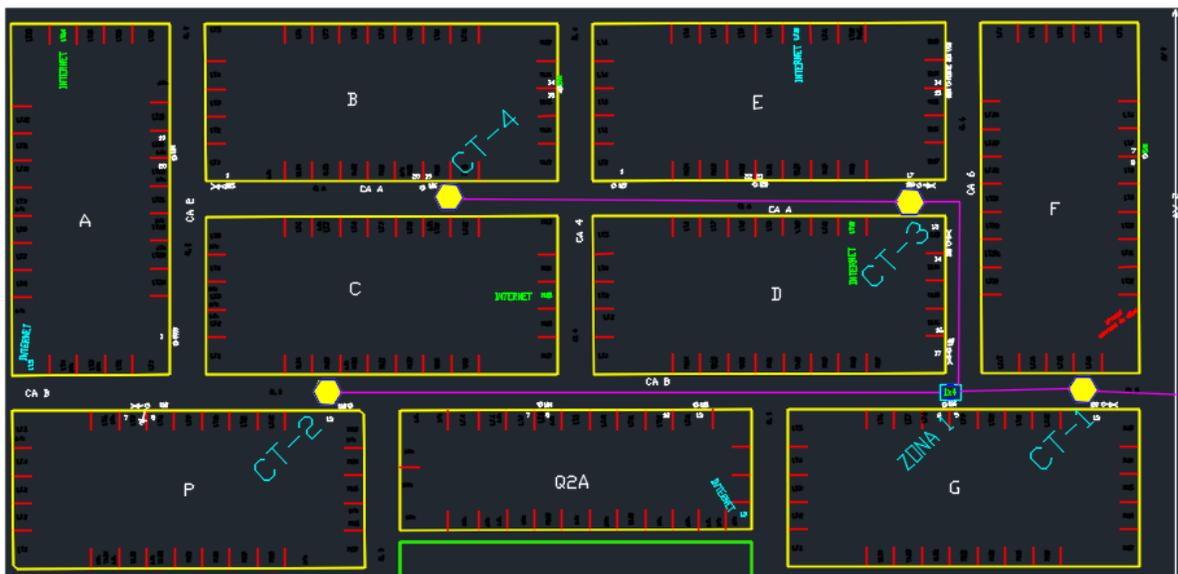


Figura 70. Detalle del área de cobertura de la zona 1.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

b. Zona 2

Comprende el área de cobertura del hilo naranja del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas H, I, J, K, L, M, N, O y Q1A del Grupo 1 del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo naranja se empalmará con el segundo hilo de la primera fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la caja o mufa de empalmes; luego, en esta mufa, este segundo hilo se empalmará con el segundo hilo de la secundaria fibra óptica ADSS monomodo de 6 hilos, la cual será conducida a la mufa de la zona 4, en la cual este segundo otro hilo se empalmará con el segundo hilo de otra fibra óptica ADSS monomodo de 6 hilos, la cual será conducida a la mufa destino, en la cual este segundo otro hilo se empalmará a un splitter primario de 1:4, cuyos 4 hilos o salidas se empalmarán con los 4 hilos de una fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará un splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

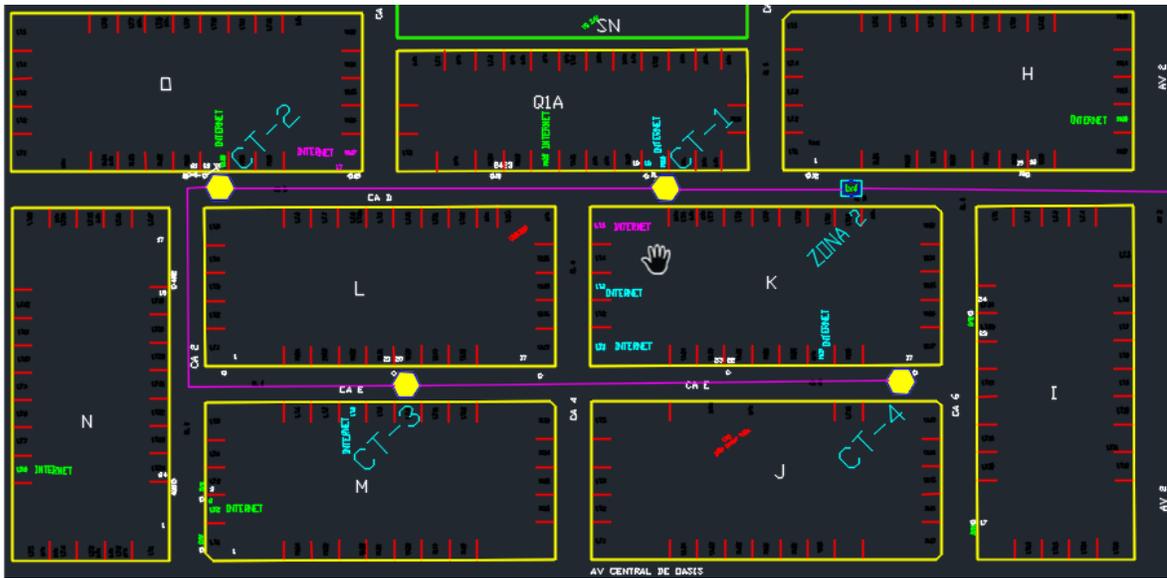


Figura 71. Detalle del área de cobertura de la zona 2.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

c. Zona 3

Comprende el área de cobertura del hilo verde del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas A, B, C, D, E, F, G y P del Grupo 2 del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo verde se empalmará con el tercer hilo de la primera fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la caja o mufa de empalmes; luego, en esta mufa, este tercer hilo se empalmará con el tercer hilo de la terciaria fibra óptica ADSS monomodo de 6 hilos, la cual será conducida a la mufa destino, en la cual este tercer otro hilo se empalmará a un splitter primario de 1:4, cuyos 2 primeros hilos o salidas se empalmarán con el primer y segundo hilo de una fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno de éstos se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 32 puntos de conexión.

Los demás 2 hilos o salidas del splitter de 1:4 se empalmarán con el tercer y cuarto hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters también estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 32 puntos de conexión.

Contando en total se suman un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

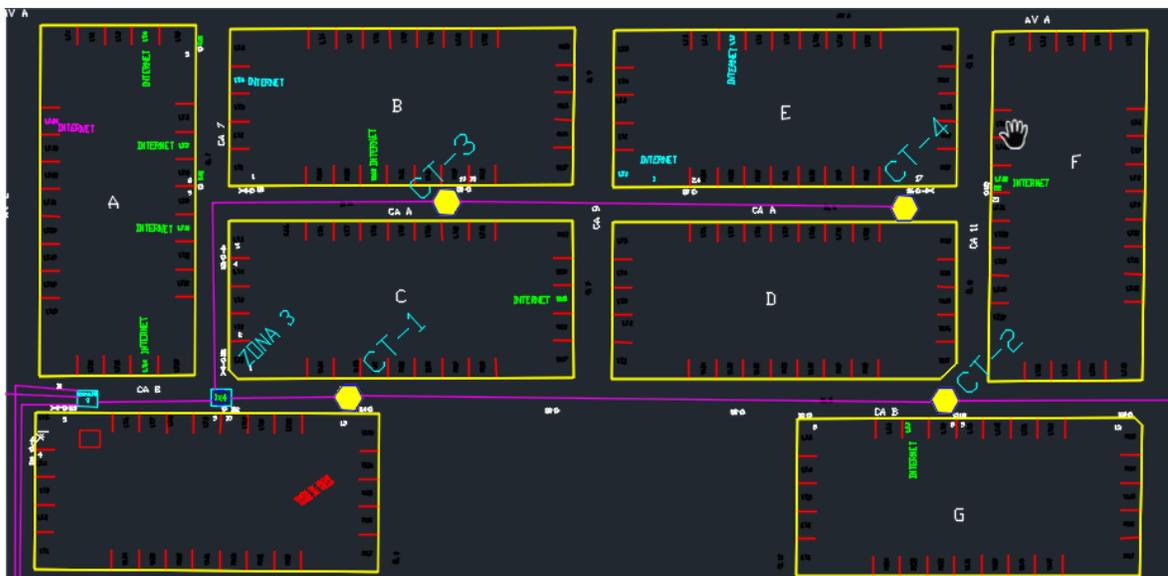


Figura 72. Detalle del área de cobertura de la zona 3.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

d. Zona 4

Comprende el área de cobertura del hilo marrón del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas H, I, J, K, L, M, N y O del Grupo 2 del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo marrón se empalmará con el cuarto hilo de la primera fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la

caja o mufa de empalmes; luego, en esta mufa, este cuarto hilo se empalmará con el cuarto hilo de la secundaria fibra óptica ADSS monomodo de 6 hilos, la cual será conducida a la mufa destino, en la cual este cuarto otro hilo se empalmará a un splitter primario de 1:4, cuyos 4 hilos o salidas se empalmarán con los 4 hilos de una fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará un splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

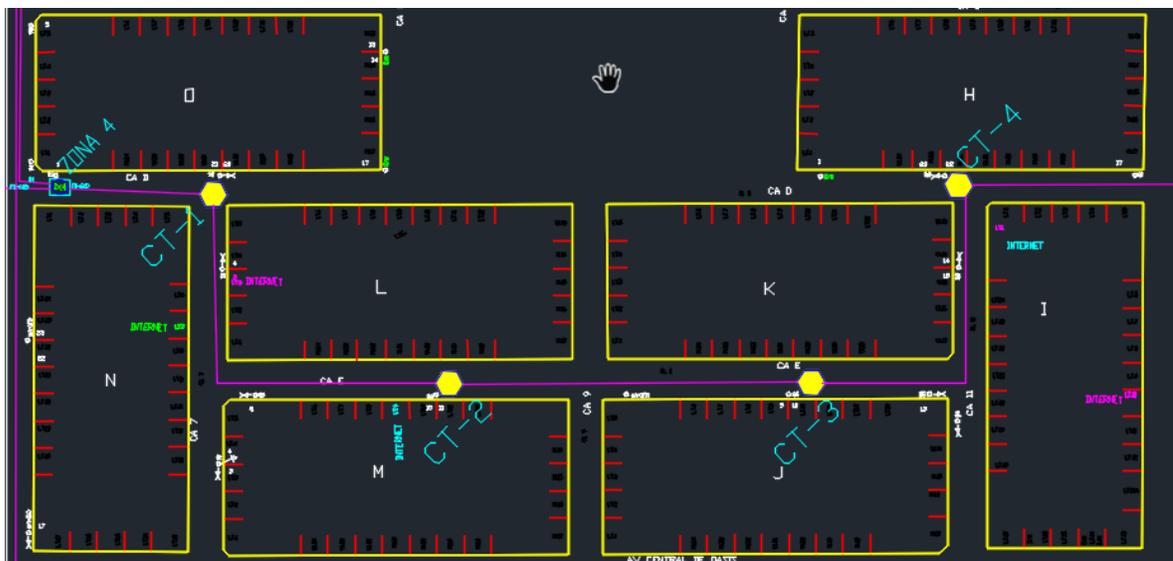


Figura 73. Detalle del área de cobertura de la zona 4.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

e. Zona 5

Comprende el área de cobertura del hilo gris del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas A, B, C, D y E del Grupo 3 del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo gris se empalmará con el quinto hilo de la primera fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la

caja o mufa de empalmes; luego, en esta mufa, este quinto hilo se empalmará con el quinto hilo de la terciaria fibra óptica ADSS monomodo de 6 hilos, la cual será conducida a la mufa de la zona 3, en donde este quinto otro hilo se empalmará con el quinto hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos, para luego este otro quinto hilo ser empalmado como pasante a través de las 2 primeras cajas terminales pertenecientes a la distribución de la mufa de la zona 3, hasta llegar a la mufa destino, en la cual el quinto hilo resultante se empalmará con un splitter primario de 1:4, cuyos 2 primeros hilos o salidas se empalmarán con el primer y segundo hilo de una fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno de éstos se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 32 puntos de conexión.

Los demás 2 hilos o salidas del splitter de 1:4 se empalmarán con el tercer y cuarto hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters también estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 32 puntos de conexión.

Contando en total se suman un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

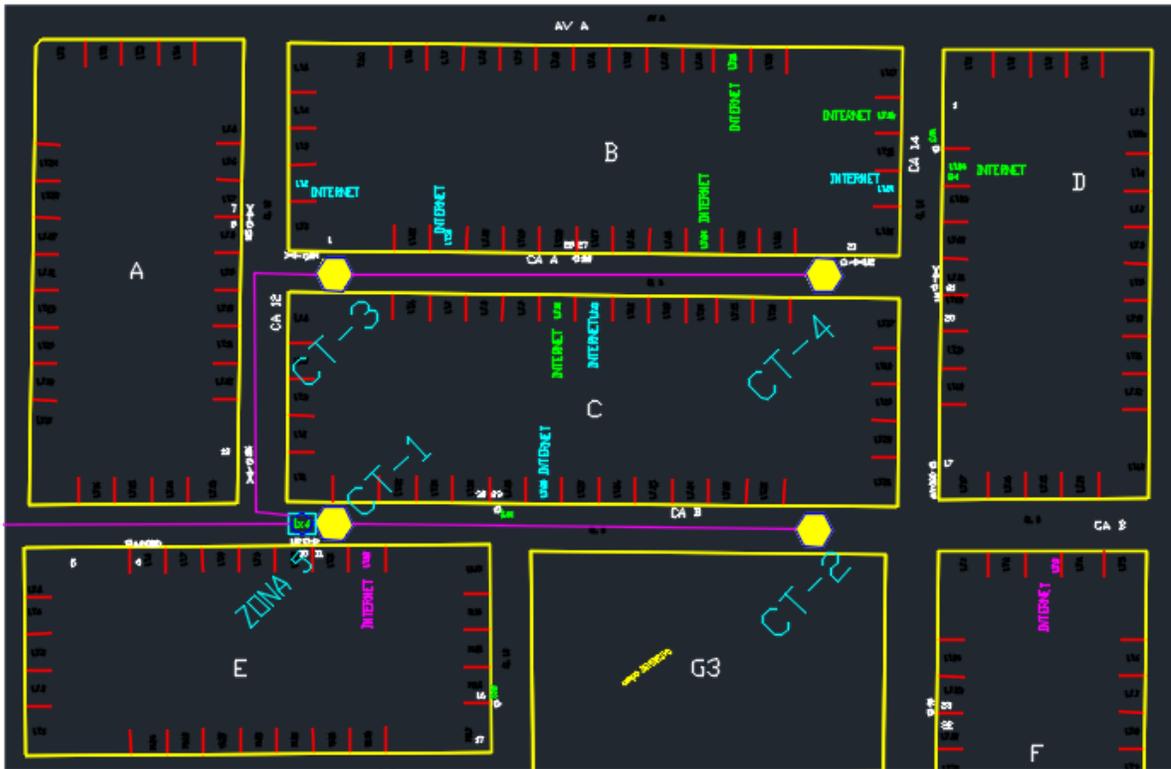


Figura 74. Detalle del área de cobertura de la zona 5.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

f. Zona 6

Comprende el área de cobertura del hilo blanco del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas F, G, H, I, J, K y L del Grupo 3 del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo blanco se empalmará con el sexto hilo de la primera fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la caja o mufa de empalmes; luego, en esta mufa, este sexto hilo se empalmará con el sexto hilo de la secundaria fibra óptica ADSS monomodo de 6 hilos, la cual será conducida a la mufa de la zona 4, en donde este sexto otro hilo se empalmará con el sexto hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos, para luego este otro sexto hilo ser empalmado como pasante a través de las 4 cajas terminales pertenecientes

a la distribución de la mufa de la zona 4, hasta llegar a la mufa destino, en la cual el sexto hilo resultante se empalmará con un splitter primario de 1:4, cuyo primer hilo o salida se empalmará con el primer hilo de una fibra ADSS monomodo de 6 hilos y a éste se le empalmará un splitter secundario de 1:16. Este splitter estará contenido en una caja terminal o NAP, estableciéndose 16 puntos de conexión.

Los demás 3 hilos o salidas del splitter de 1:4 se empalmarán con el segundo, tercer y cuarto hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters también estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 48 puntos de conexión.

Contando en total se suman un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

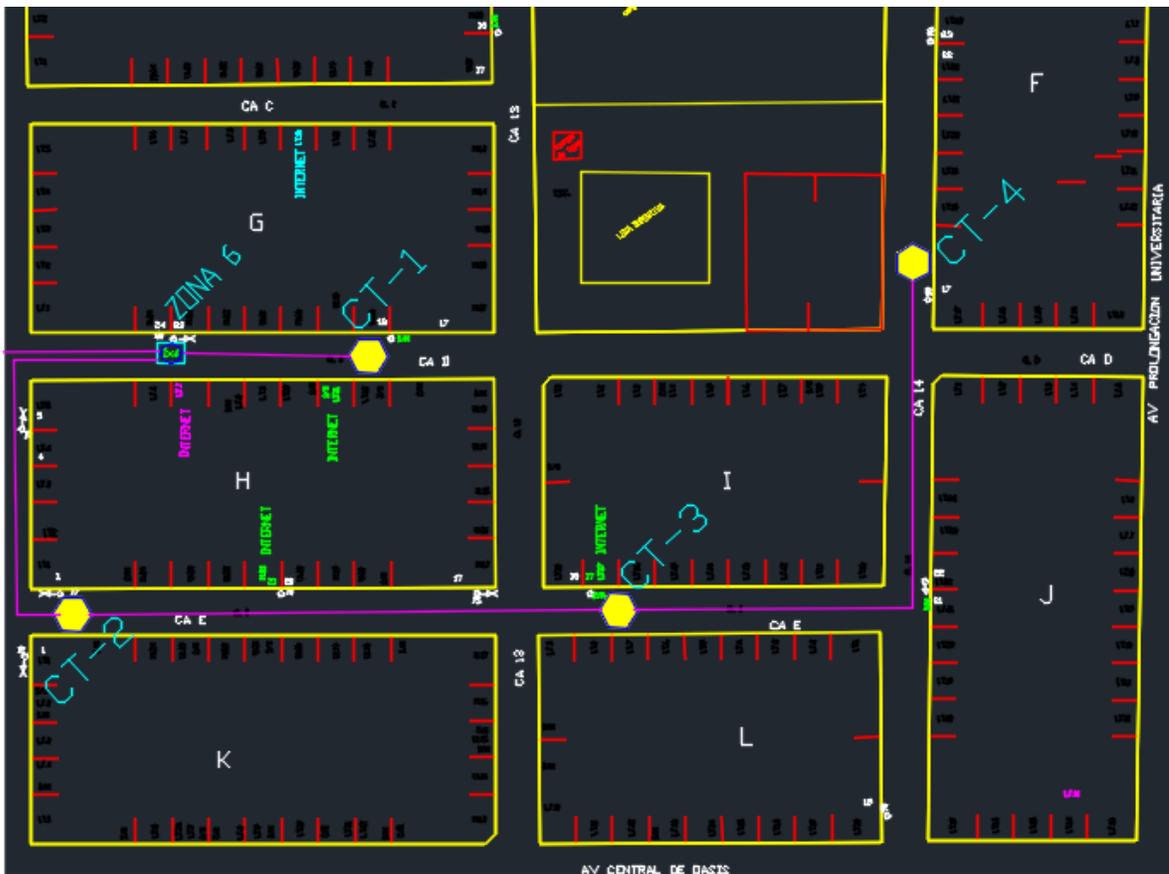


Figura 75. Detalle del área de cobertura de la zona 6.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

g. Zona 7

Comprende el área de cobertura del hilo rojo del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas A, B, C, D, E, F, G y P del Grupo 4 del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo rojo se empalmará con el primer hilo de la segunda fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la correspondiente caja de distribución o mufa destino; luego, en esta mufa, este primer hilo se empalmará a un splitter primario de 1:4, cuyos 2 primeros hilos o salidas se empalmarán con el primer y segundo hilo de una fibra ADSS monomodo

de 6 hilos respectivamente y a cada uno de éstos se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 32 puntos de conexión.

Los demás 2 hilos o salidas del splitter de 1:4 se empalmarán con el tercer y cuarto hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters también estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 32 puntos de conexión.

Contando en total se suman un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

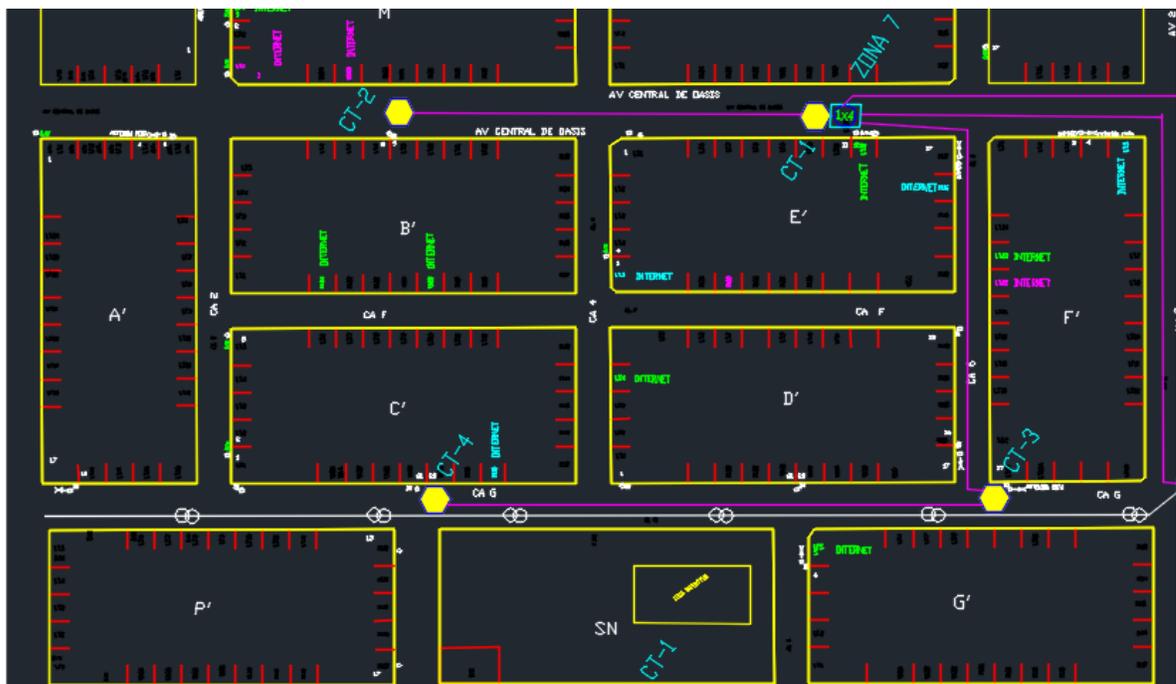


Figura 76. Detalle del área de cobertura de la zona 7.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

h. Zona 8

Comprende el área de cobertura del hilo negro del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas H, I, J, K, L, M, N, O, Q, R y S del Grupo 4 del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo negro se empalmará con el primer hilo de la tercera fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la correspondiente caja de distribución o mufa destino; luego, en esta mufa, este primer hilo se empalmará a un splitter primario de 1:4, cuyo primer hilo o salida se empalmará con el primer hilo de una fibra ADSS monomodo de 6 hilos y a éste se le empalmará un splitter secundario de 1:16. Este splitter estará contenido en una caja terminal o NAP, estableciéndose 16 puntos de conexión.

Los demás 3 hilos o salidas del splitter de 1:4 se empalmarán con el segundo, tercer y cuarto hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters también estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 48 puntos de conexión.

Contando en total se suman un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

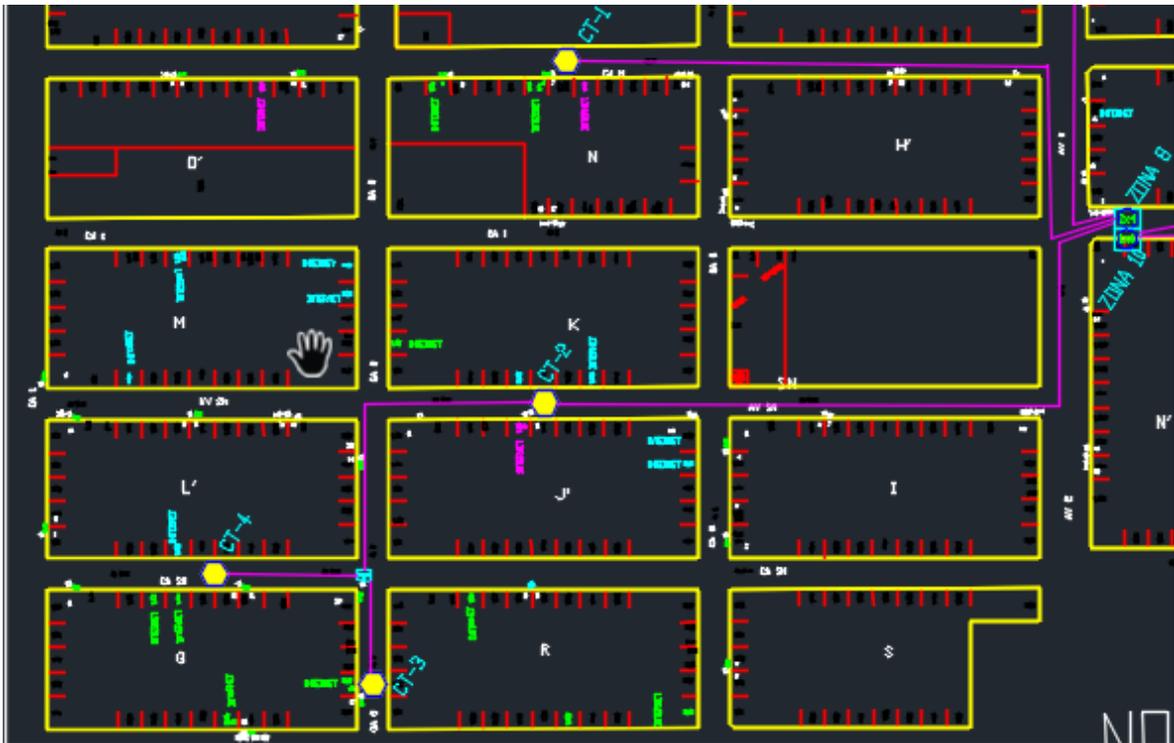


Figura 77. Detalle del área de cobertura de la zona 8.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

i. Zona 9

Comprende el área de cobertura del hilo amarillo del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas A, B, C, D, E, F, G y P del Grupo 2A del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo amarillo se empalmará con el segundo hilo de la segunda fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la caja de distribución o mufa de la zona 7 ; luego, en esta mufa, este segundo hilo se empalmará con el segundo hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos, la cual será conducida a la mufa destino, en la cual este segundo otro hilo se empalmará a un splitter primario de 1:4, cuyo primer hilo o salida se empalmará con el primer hilo de una fibra ADSS monomodo de 6 hilos y a éste se le empalmará 1 splitter

secundario de 1:16. Este splitter estará contenido en una caja terminal o NAP, estableciéndose 16 puntos de conexión.

El segundo hilo o salida del splitter de 1:4 se empalmará con el segundo hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos y a éste se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16. Este splitter también estará contenido en una caja terminal o NAP, estableciéndose 16 puntos de conexión.

Los demás 2 hilos o salidas del splitter de 1:4 se empalmarán con el tercer y cuarto hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters también estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 32 puntos de conexión.

Contando en total se suman un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

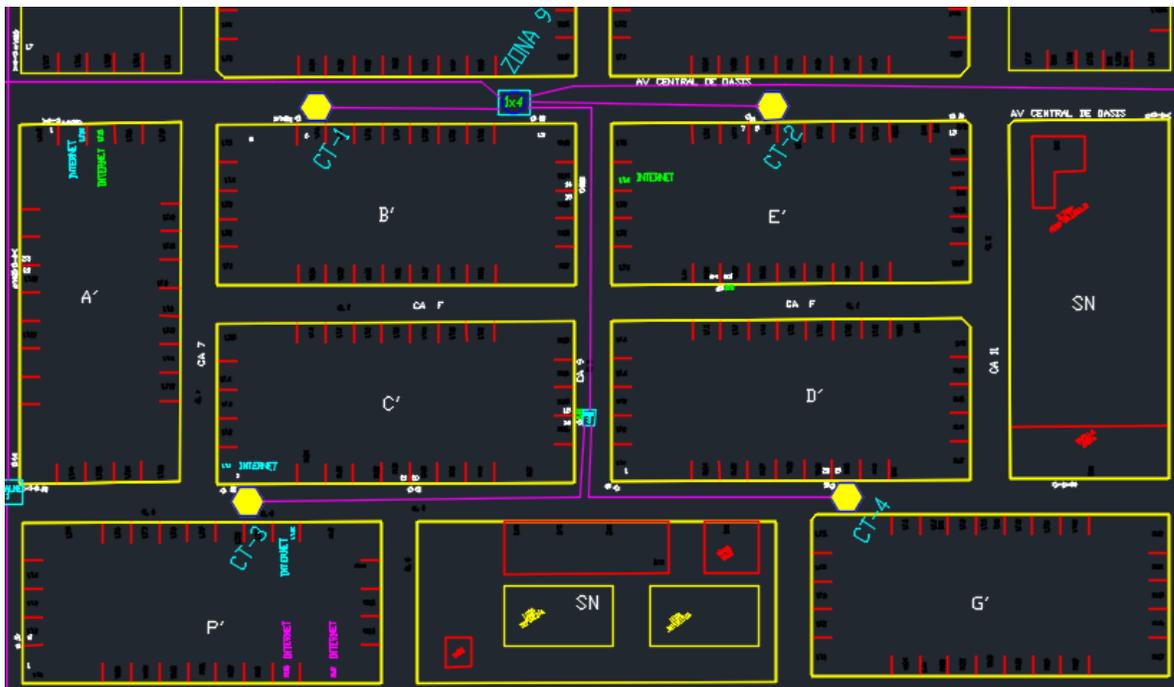


Figura 78. Detalle del área de cobertura de la zona 9.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

j. Zona 10

Comprende el área de cobertura del hilo violeta del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas H, I, J, K, L, M, N y O del Grupo 2A del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo violeta se empalmará con el segundo hilo de la tercera fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la caja de distribución o mufa de la zona 8; luego, en esta mufa, este segundo hilo se empalmará con el segundo hilo de un pequeño tramo de fibra ADSS monomodo de 6 hilos que ingresará a otra mufa ubicada en el mismo poste, la cual será la mufa destino en donde este segundo otro hilo se empalmará a un splitter primario de 1:4, cuyo primer hilo o salida se empalmará con el primer hilo de una fibra ADSS monomodo de 6 hilos y a éste se le empalmará un splitter secundario de 1:16. Este

splitter estará contenido en una caja terminal o NAP, estableciéndose 16 puntos de conexión.

Los demás 3 hilos o salidas del splitter de 1:4 se empalmarán con el segundo, tercer y cuarto hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters también estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 48 puntos de conexión.

Contando en total se suman un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

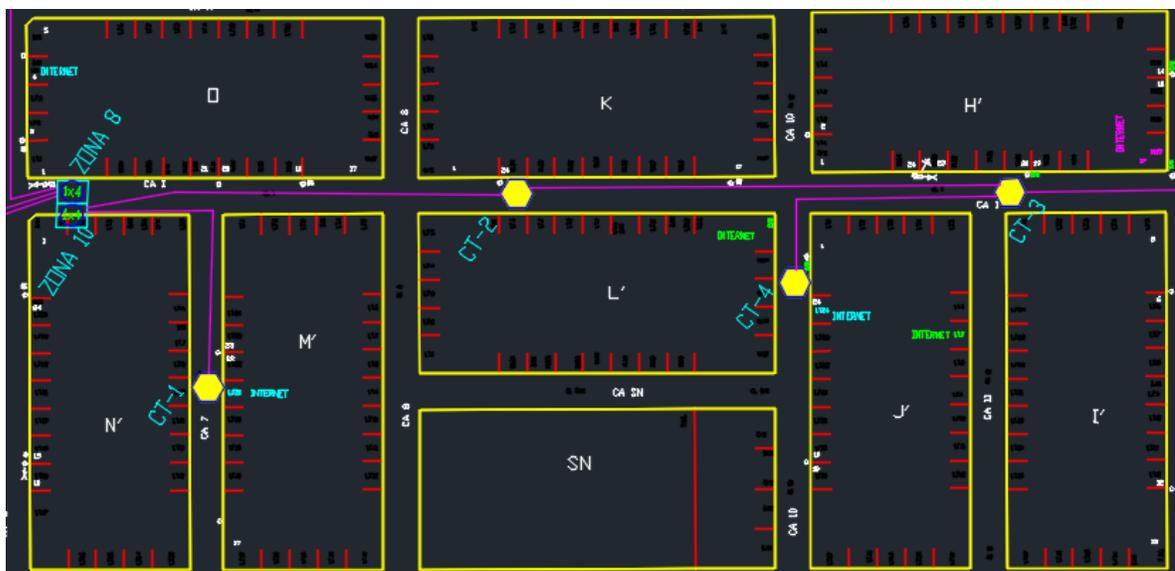


Figura 79. Detalle del área de cobertura de la zona 10.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

k. Zona 11

Comprende el área de cobertura del hilo rosado del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas M, N, O, P, Q y R del Grupo 3A del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo rosado se empalmará con el tercer hilo de la segunda fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la caja de distribución o mufa de la zona 7; luego, en esta mufa, este tercer hilo se empalmará con el tercer hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos, la cual será conducida a la mufa de la zona 9, en la cual este tercer otro hilo se empalmará con el tercer hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos, la cual será conducida a la mufa destino, en la cual este también tercer otro hilo se empalmará a un splitter primario de 1:4, cuyos 2 primeros hilos o salidas se empalmarán con el primer y segundo hilo de una fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno de éstos se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 32 puntos de conexión.

Los demás 2 hilos o salidas del splitter de 1:4 se empalmarán con el tercer y cuarto hilo de otra fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará 1 splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters también estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 32 puntos de conexión.

Contando en total se suman un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

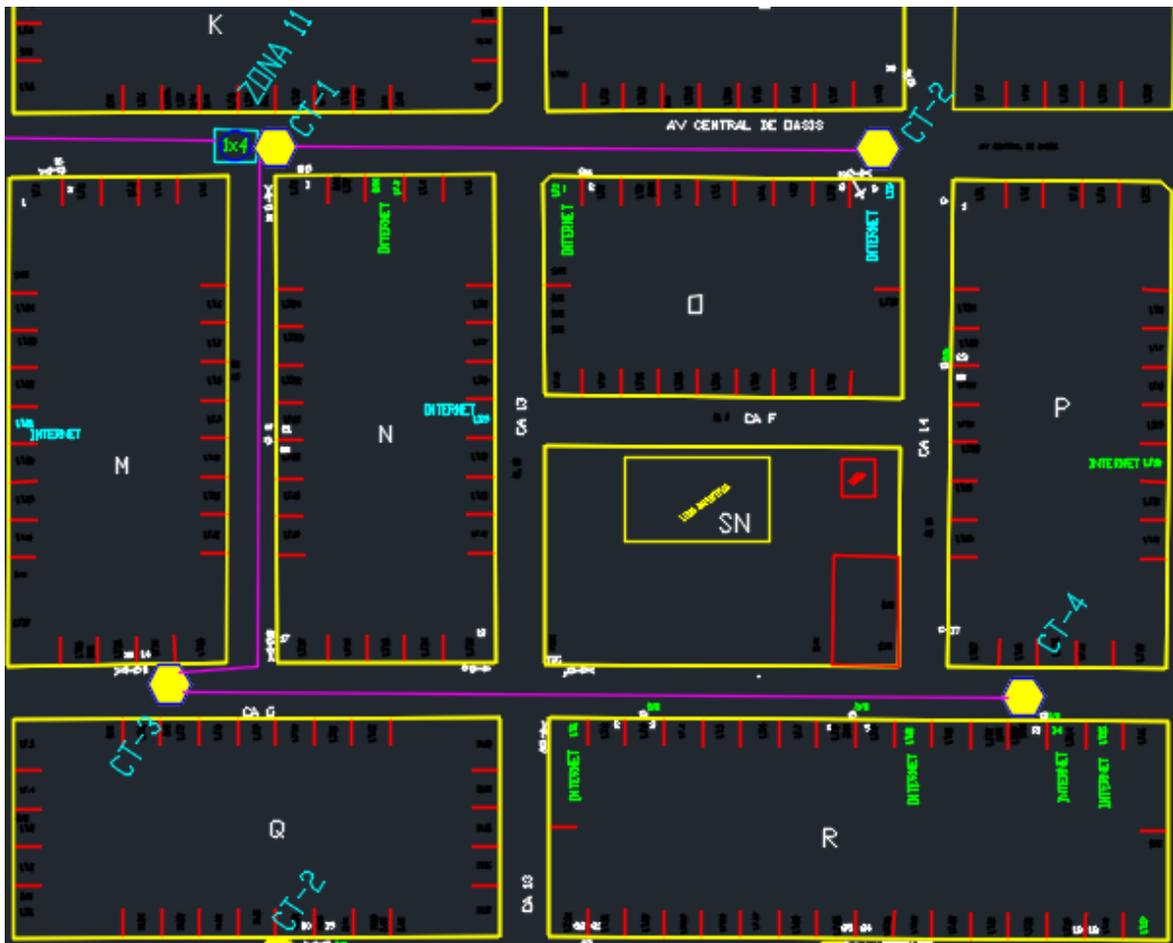


Figura 80. Detalle del área de cobertura de la zona 11.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

I. Zona 12

Comprende el área de cobertura del hilo celeste del tubo azul de la fibra troncal ADSS monomodo de 48 hilos. Esta cobertura comprende a las manzanas S, T, U, V, W y X del Grupo 3A del Sector 10 de Villa el Salvador.

El hilo celeste se empalmará con el tercer hilo de la tercera fibra ADSS monomodo de 6 hilos que parte del nodo o centro de distribución principal hacia la caja de distribución o mufa de la zona 8; luego, en esta mufa, este tercer hilo se empalmará con el tercer hilo de un pequeño tramo de fibra ADSS monomodo de 6

hilos que ingresará a la mufa de la zona 10 ubicada en el mismo poste, la cual será en donde este tercer otro hilo se empalmará con el quinto hilo de una fibra ADSS monomodo de 6 hilos, para luego este quinto hilo ser empalmado como pasante a través de las 4 cajas terminales pertenecientes a la distribución de la mufa de la zona 10, hasta llegar a la mufa destino, en la cual el quinto hilo resultante se empalmará con un splitter primario de 1:4, cuyos 4 hilos o salidas se empalmarán con los 4 hilos de una fibra ADSS monomodo de 6 hilos respectivamente y a cada uno se le empalmará un splitter secundario de 1:16 por separado. Estos splitters estarán contenidos en cajas terminales o NAPs, sumando un total de 64 puntos de conexión o bornes para esta zona.

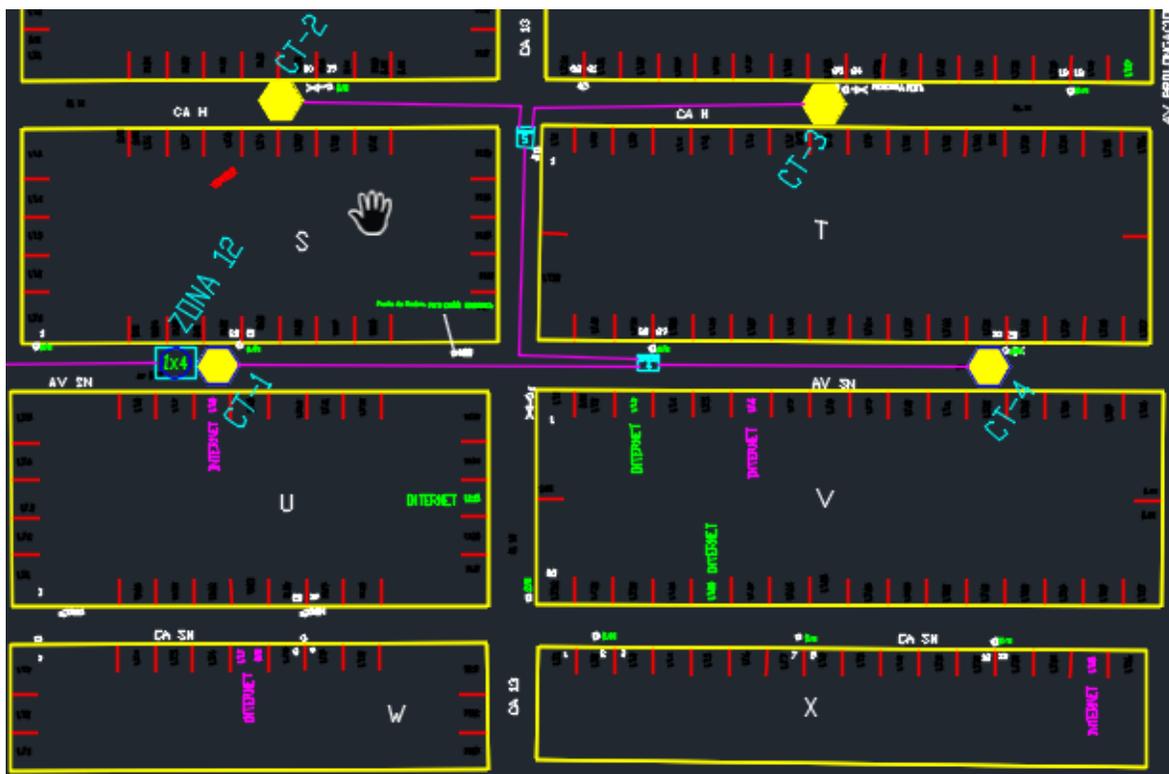


Figura 81. Detalle del área de cobertura de la zona 12.

Fuente: Simulación en AUTOCAD realizada para la empresa.

3.2.1.4 Análisis de distancias

Para realizar este análisis se tomó como referencia la distancia de la OLT hacia el nodo o centro de distribución, el cual es de 2.8 Km; la distancia desde el nodo o centro de distribución hacia la caja de distribución que distribuye la fibra a las 6 zonas de los 3 primeros grupos, la cual es de 300m; la separación entre postes, la cual es de 45 a 50 m y la separación de mufas y cajas terminales, la cual es de 150 m a 200 m.

Las distancias que se detallan a continuación provienen de las mediciones realizadas desde la OLT hacia las 12 zonas y éstas están redondeadas, con el simple hecho de considerar las distancias tanto para los cálculos de enlace en mejor y peor caso como para calcular la atenuación en el ámbito de diseño. Se han medido trayectos desde el OLT hasta los puntos referenciales más cercanos y lejanos, en donde se ubicarían los primeros y últimos splitters respectivamente, correspondientes a la primera y última caja terminal en ambos casos.

TRAYECTO DE FIBRA ÓPTICA (USUARIO MÁS CERCANO)	DISTANCIA
OLT a primer splitter 1:16 de zona 1	3.2 Km
OLT a primer splitter 1:16 de zona 2	3.4 Km
OLT a primer splitter 1:16 de zona 3	3.2 Km
OLT a primer splitter 1:16 de zona 4	3.3 Km
OLT a primer splitter 1:16 de zona 5	3.5 Km
OLT a primer splitter 1:16 de zona 6	3.7 Km
OLT a primer splitter 1:16 de zona 7	3.0 Km
OLT a primer splitter 1:16 de zona 8	3.1 Km
OLT a primer splitter 1:16 de zona 9	3.2 Km
OLT a primer splitter 1:16 de zona 10	3.0 Km
OLT a primer splitter 1:16 de zona 11	3.4 Km
OLT a primer splitter 1:16 de zona 12	3.2 Km

Tabla 21. Trayectos de fibra óptica – Usuario más cercano.

Fuente: Elaboración propia.

TRAYECTO DE FIBRA ÓPTICA (USUARIO MÁS LEJANO)	DISTANCIA
OLT a último splitter 1:16 de zona 1	3.4 Km
OLT a último splitter 1:16 de zona 2	3.7 Km
OLT a último splitter 1:16 de zona 3	3.4 Km
OLT a último splitter 1:16 de zona 4	3.6 Km
OLT a último splitter 1:16 de zona 5	3.6 Km
OLT a último splitter 1:16 de zona 6	4.0 Km
OLT a último splitter 1:16 de zona 7	3.3 Km
OLT a último splitter 1:16 de zona 8	3.3 Km
OLT a último splitter 1:16 de zona 9	3.4 Km
OLT a último splitter 1:16 de zona 10	3.2 Km
OLT a último splitter 1:16 de zona 11	3.7 Km
OLT a último splitter 1:16 de zona 12	3.4 Km

Tabla 22. Trayectos de fibra óptica – Usuario más lejano.

Fuente: Elaboración propia.

De estos 2 cuadros, para los cálculos de atenuación del enlace en el mejor y peor caso se tomarán como referencia el splitter secundario más cercano y el splitter más lejano a la OLT respectivamente. Para el mejor caso, se tomará como dato la distancia hacia el splitter más cercano de la zona 7 que es 3 Km y para el peor caso se tomará como dato la distancia hacia el splitter más lejano de la zona 6 que es 4 Km.

3.2.2 Cálculos pertinentes al estudio específico

Se debe considerar en el presente estudio que se ha estimado la instalación de un puerto por cada zona en el Sector 10 de Villa el Salvador donde se va a implantar la red. Se usarán 1 splitter primario de relación 1:4 y 4 splitters secundarios de relación 1:16 por zona; asimismo, se está considerando una tarjeta

GPON de 64 usuarios por puerto, teniendo en consideración la opción menor para un posible uso de todas las capacidades de la OLT en el sector a futuro.

3.2.2.1 Dimensionamiento de equipos

Con éstas consideraciones dentro del análisis se tienen las siguientes cantidades de splitters y ONTs por zona.

Hilo azul (Zona 1)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 23. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 1.

Fuente: Elaboración propia.

Hilo naranja (Zona 2)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 24. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 2.

Fuente: Elaboración propia.

Hilo verde (Zona 3)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 25. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 3.

Fuente: Elaboración propia.

Hilo marrón (Zona 4)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 26. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 4.

Fuente: Elaboración propia.

Hilo gris (Zona 5)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 27. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 5.

Fuente: Elaboración propia.

Hilo blanco (Zona 6)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 28. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 6.

Fuente: Elaboración propia.

Hilo rojo (Zona 7)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 29. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 7.

Fuente: Elaboración propia.

Hilo negro (Zona 8)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 30. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 8.

Fuente: Elaboración propia.

Hilo amarillo (Zona 9)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 31. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 9.

Fuente: Elaboración propia.

Hilo violeta (Zona 10)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 32. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 10.

Fuente: Elaboración propia.

Hilo rosado (Zona 11)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 33. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 11.

Fuente: Elaboración propia.

Hilo celeste (Zona 12)		
Relación	Cantidad de splitters	ONTs por splitter
1:4	1	-
1:16	4	16
		Total: 64

Tabla 34. Cantidad de splitters y ONTs para la zona 12.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2 Cálculos para el enlace

Una vez que se tiene el número de conectores y splitters que van a aportar atenuación, se describen algunos puntos importantes dentro de los cálculos de la red.

a. Ventanas de transmisión para la fibra óptica

La información de desplaza a través de la fibra óptica en forma de un haz de luz con una longitud de onda específica, dependiendo de si el tipo de fibra es monomodo o multimodo, del tipo de equipo óptico que se tenga para la transmisión de la señal, éstas se encontraran dentro de una determinada ventana, la cual se utiliza para describir la propiedad de cada segmento de luz dentro del espectro lumínico donde ésta se encuentre, de ésta característica también va a depender la pérdida de luz en el trayecto, por lo cual se debe definir las ventanas en las cuales la fibra óptica puede trabajar y la ventana en la cual los equipos que se utilizan en redes GPON trabajan.

Ventana	Rango de longitud de onda	L
Primera	800nm – 900nm	850nm
Segunda	1250nm – 1350nm	1310nm
Tercera	1500nm – 1600nm	1550nm

Tabla 35. Longitud de onda correspondiente a cada ventana.

Fuente: Tesis de Juan Diego Tinoco Alvear – Universidad Politécnica Salesiana.

Los equipos que se van a utilizar trabajarán en la segunda ventana y la tercera: 1310nm para datos y 1550nm para video.

b. Atenuación

Se define a atenuación de una señal como la pérdida de potencia de ésta al desplazarse por un medio de transmisión, en este caso la fibra óptica.

Esta pérdida de la potencia no se expresa como una unidad lineal, sino de manera logarítmica como Decibelios [dB] y Decibelios por Kilometro [dB/km]; dentro de las consideraciones que se tiene al momento de calcular la atenuación de la fibra óptica, están los intrínsecos como la composición del sílice de la fibra óptica que se está manejando, las impurezas que contiene y demás aspectos del tipo de fibra específica que se utilizara. Las extrínsecas por otra parte consideran aspectos externos a la fibra en sí, como empalmes, conectores, splitters y demás elementos que estén entre el tendido de la fibra óptica y no constituyan un elemento regenerador de la señal, además de curvaturas exageradas de la fibra y variaciones de temperatura.

c. Coeficiente de atenuación

Las normas ITU definen claramente que se debe especificar un valor máximo para la atenuación que tendrá para una o más longitudes, sin que estas rebasen el

límite recomendado por esta misma organización. A continuación se presenta el cálculo donde se toma en consideración los puntos previamente citados en el presente capítulo, considerando las recomendaciones ITU y las atenuaciones de los diferentes elementos de la red.

d. Atenuación en un enlace de fibra óptica de tipo monomodo

Tomando como base la recomendación ITU-T G.652 para un enlace de fibra óptica, en el caso de tratarse de fibra óptica de tipo monomodo, la ecuación para el cálculo de la atenuación se deberá expresar de la siguiente manera:

$$A(dB) = \alpha \cdot L + \alpha_s \cdot x + \alpha_c \cdot y \dots (1)$$

Donde:

α : Es el coeficiente de atenuación típico de la fibra óptica.

α_s : Atenuación media por empalme.

α_c : Atenuación media de conectores de línea.

x : Número de empalmes por enlace.

y : Número de conectores de línea de un enlace (en caso de que existieran).

e. Longitud de enlace (L)

En esta ecuación no se consideran varios parámetros que dan lugar a atenuaciones de agentes externos a la fibra, como son empalmes suplementarios, envejecimiento entre otras pérdidas, además de las generadas por equipos al

momento de intervenir en la red. Las pérdidas debido a la absorción de los rayos ultravioletas e infrarrojos se despreciaran para casos en los que la longitud de onda sea mayor a 100nm como es el caso de estudio.

3.2.2.3 Requisitos para el cálculo de enlace

A continuación, en la siguiente tabla se especifican las pérdidas mínimas requeridas y máximas admitidas de las que dependen directamente como parámetro principal en la selección de los equipos activos OLT y ONT para a red FTTH.

Clasificación	Pérdida permitida para ODN
Clase A	5 – 20 dB
Clase B	10 – 25 dB
Clase B+	13 – 28 dB
Clase C	15 – 30 dB
Clase C+	17 – 32 dB

Tabla 36. Tipos de ODN.

Fuente: Trabajo de Carlos Marcelo León Araujo – Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

En este caso se han optado por los láseres B+, por lo que la atenuación máxima que se puede asegurar para que funcione el servicio es 28 dB.

La atenuación de un nivel de splitting más los conectores es de unos 20 dB. Quedarían 8 dB para la atenuación de la fibra. Cada km son unos 0.4 dB, por lo que típicamente el alcance máximo sería de unos 20 km.

Para los cálculos del presupuesto óptico de la red tendremos que considerar los siguientes parámetros:

- Pérdida introducida por el cable de fibra óptica acorde a las ventanas de operación.

VENTANA	ATENUACIÓN (dB/Km)
1310nm	0.35 - 0.40
1490nm	0.30
1550nm	0.25

Tabla 37. Pérdida introducida en las ventanas de operación de la fibra óptica.

Fuente: Trabajo de Carlos Marcelo León Araujo – Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

De esta tabla se usará como dato la atenuación mayor en datos, la cual es 0.40, para los cálculos de mejor y peor caso de enlace.

- Pérdida introducida en los splitters , detallado en la siguiente tabla:

Taza	Máximo	Mínimo	Promedio
1x64	22.8 dB	15.7 dB	19.2 dB
1x32	18.6 dB	13.1 dB	15.8 dB
1x16	15.0 dB	10.8 dB	13.4 dB
1x8	11.4 dB	8.1 dB	9.7 dB
1x4	7.8 dB	5.4 dB	6.6 dB
1x2	4.2 dB	2.6 dB	3.4 dB

Tabla 38. Pérdidas introducidas por splitters.

Fuente: Trabajo de Carlos Marcelo León Araujo – Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

De esta tabla, se usarán como datos las pérdidas promedio de los splitters primarios de 1:4 y de los splitters secundarios de 1:16, para los cálculos de mejor y peor caso de enlace.

- Pérdida por conectorización, que es de 0.5 dB por cada unidad.
- Pérdidas por empalmes mecánicos y por fusión que corresponden a 0.5 dB y 0.1 dB respectivamente.

La pérdida total del enlace se obtendrá al aplicar la fórmula:

$$A(dB) = \alpha \cdot L + \alpha_s \cdot x + \alpha_c \cdot y \dots (1)$$

Donde:

A : Atenuación medida en dB.

α : Coeficiente de atenuación de la fibra óptica medida en dB/Km.

α_s : Atenuación por empalmes medida en dB.

α_c : Atenuación por conectores medida en dB.

x : Número de empalmes por enlace.

y : Número de conectores por enlace.

Con los cálculos del enlace para el mejor caso de abonados más cercanos y el peor caso de abonados que se encuentran a mayor distancia de la oficina central en donde residirá el OLT tendremos el tipo de ODN que admite la red.

3.2.2.4 Mejor y peor caso del enlace

En las redes de fibra óptica, la determinación de la atenuación no es dependiente del ancho de banda que pudiera manejar dicha red. Como se ha visto es proporcional a la distancia que se tenga y al número de elementos pasivos incluidos dentro del tendido de fibra.

a. Mejor caso del enlace

Tomando en cuenta la distribución que va a tener un futuro tendido de fibra en el Sector 10 de Villa el Salvador donde se propone implantarla, se tiene el esquema del mejor caso de la conexión de fibra óptica.

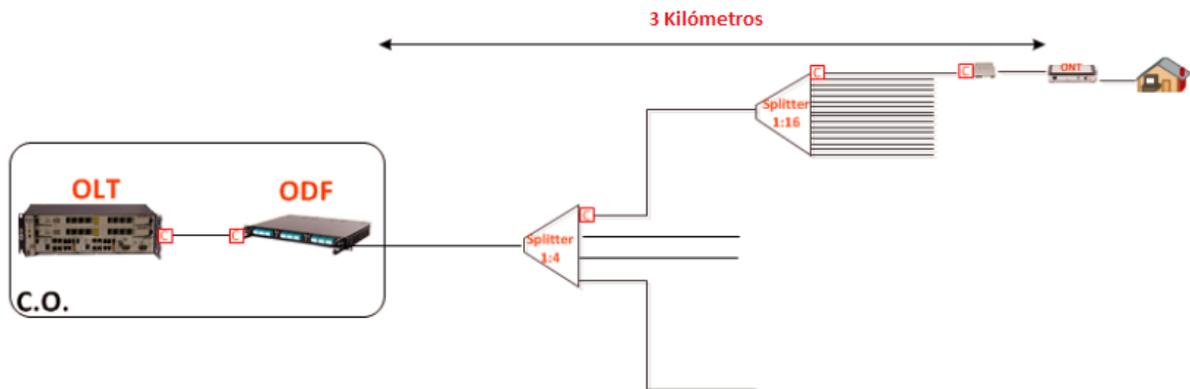


Figura 82. Cálculo del enlace de pérdida en mejor caso.

Fuente: Edición propia.

Sobre el esquema definido como el del mejor caso dentro de esta distribución específica, están los elementos necesarios para llegar desde el abonado hasta las ONT más próximas.

Para el cálculo del mejor caso de enlace se debe tener en cuenta los siguientes datos:

- Atenuación de splitters.
- Atenuación de conectores y empalmes.
- Atenuación debido al ambiente e instalación.

Utilizando la ecuación (1) se inicia con los cálculos para determinar la atenuación del mejor caso del tendido.

$$A(dB) = \alpha \cdot L + \alpha_s \cdot x + \alpha_c \cdot y \dots (1)$$

Donde los datos según la zona 7 son:

- Distancia (L) = 3 Km.
- Coeficiente de atenuación de la fibra óptica medida en dB/Km (α) = 0.40 dB/Km.
- Atenuación por empalmes medida en dB (α_s) = 0.1.
- Atenuación por conectores medida en dB (α_c) = 0.5 dB.
- Número de empalmes necesarios $x = 4$.
- Número de conectores necesarios $y = 5$.
- Número de splitters 1:4 = 1.
- Número de splitters 1:16 = 1.

Entonces, reemplazando en la ecuación (1) se tiene:

$$A(dB) = (0.40 * 3) + (0.1 * 4) + (0.5 * 5)$$

$$A(dB) = 4.1 \text{ dB.}$$

Además de esta atenuación en la fibra óptica, empalmes y conectores mecánicos, se deben sumar las atenuaciones ocasionadas por los splitters de cada tipo que se ponen en el trayecto, considerando que cada splitter de relación 1:4 tiene una atenuación máxima de 6,6 dB y el de relación 1:16 una de 13.4 dB; también se debe incluir el margen de seguridad por factores externos o los antes citados factores extrínsecos de 1dB, por lo que se tendrá la siguiente ecuación:

$$A_T(dB) = A + A_{s4} + A_{s16} + A_g \dots (2)$$

En donde:

A : Atenuación de la fibra.

A_{s4} : Atenuación presentada en el splitter 1:4.

A_{s16} : Atenuación presentada en el splitter 1:16.

A_g : Atenuación por agentes externos.

Por lo tanto, al reemplazar:

$$A_T(dB) = 4.1 + 6.6 + 13.4 + 1$$

$$A_T(dB) = 25.1 \text{ dB.}$$

Se obtiene en mejor caso un resultado menor a la mínima sensibilidad de la ONT que es 27 dB, por lo que se demuestra que la atenuación para el usuario más cercano es aceptable, ya que esta ONT puede trabajar con el valor obtenido.

b. Peor caso del enlace

Este escenario comprende la distancia desde la OLT hacia la última caja terminal de la zona 6, en la cual se encuentra el splitter secundario de 1:16, teniendo en cuenta que es la más lejana de la OLT, cuya distancia es de 4 Km. Los conectores utilizados, splitters y demás elementos, sin embargo, son los mismos.

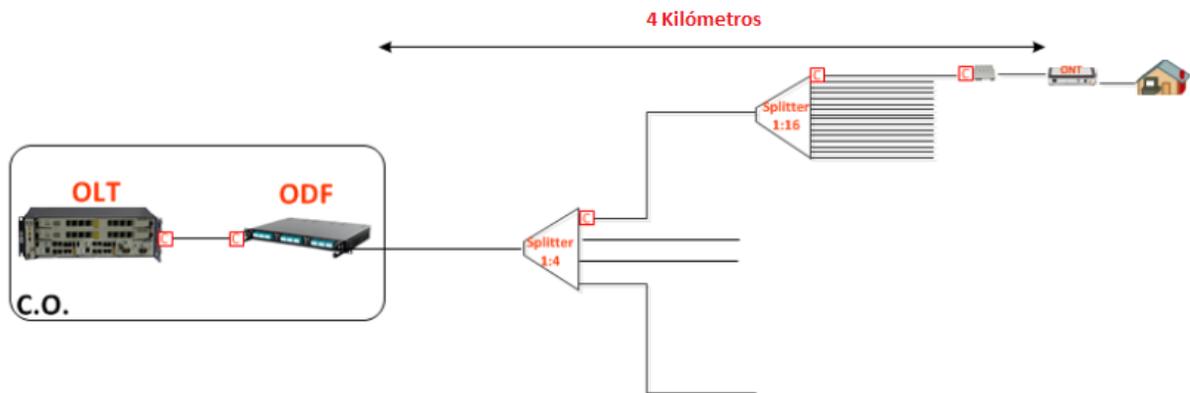


Figura 83. Cálculo del enlace de pérdida en peor caso.

Fuente: Edición propia.

Utilizando la misma ecuación (1) se inicia con los cálculos para determinar la atenuación del peor caso del tendido.

$$A(dB) = \alpha \cdot L + \alpha_s \cdot x + \alpha_c \cdot y \dots (1)$$

Donde los datos según la zona 6 son:

- Distancia (L) = 4 Km.
- Coeficiente de atenuación de la fibra óptica medida en dB/Km (α) = 0.40 dB/Km.
- Atenuación por empalmes medida en dB (α_s) = 0.1.
- Atenuación por conectores medida en dB (α_c) = 0.5 dB.
- Número de empalmes necesarios $x = 12$.
- Número de conectores necesarios $y = 5$.
- Número de splitters 1:4 = 1.
- Número de splitters 1:16 = 1.

Entonces, reemplazando en la ecuación (1) se tiene:

$$A(dB) = (0.40 * 4) + (0.1 * 12) + (0.5 * 5)$$

$$A(dB) = 5.3 \text{ dB.}$$

Como en la atenuación en el peor caso se tiene una variación sólo en la atenuación de la fibra óptica y el resto de atenuaciones permanecen iguales, entonces, en la ecuación (2):

$$A_T(dB) = A + A_{s4} + A_{s16} + A_g \dots (2)$$

Por lo que, al reemplazar:

$$A_T(dB) = 5.3 + 6.6 + 13.4 + 1$$

$$A_T(dB) = 26.3 \text{ dB.}$$

Se obtiene en peor caso un resultado menor a la mínima sensibilidad de la ONT que es 27 dB, por lo que se demuestra que la atenuación para el usuario más lejano es aceptable, ya que esta ONT puede trabajar con el valor obtenido.

3.2.2.5 Ancho de banda máximo por usuario

Teóricamente, se sabe que cada puerto de la OLT soporta velocidades de 1.25 Gb en subida y 2.5 Gbps en bajada y tiene la capacidad de gestionar hasta 64 usuarios, por lo que el cálculo de ancho de banda máximo en bajada por usuario será:

$$BW_{usuario} = \frac{2500 \text{ Mbps}}{64}$$

$$BW_{usuario} = 39 \text{ Mbps.}$$

El ancho de banda en subida máximo por usuario será la mitad, que sería 19.5 Mbps.

3.3 Identificación y configuración remota de ONTs mediante sistema de aprovisionamiento

Una vez obtenida una atenuación menor a la sensibilidad mínima de la ONT, el equipo terminal del suscriptor u ONT puede ser identificado y configurado remotamente a través de un servidor de aprovisionamiento. En éste se pueden

configurar el ancho de banda de Internet, CATV y telefonía de la ONT misma. A continuación se muestra una captura del servidor de aprovisionamiento ANM2000 a usarse para realizar la identificación y configuración respectivas de la ONT.

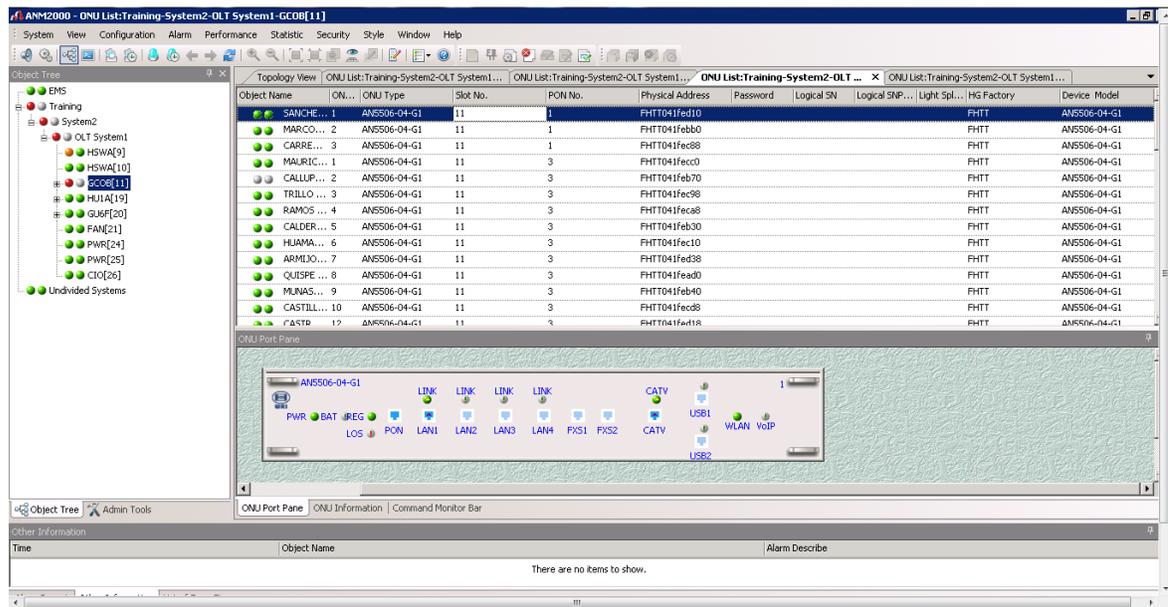


Figura 84. Servidor de aprovisionamiento ANM2000.

Fuente: Captura en pantalla del sistema.

La identificación sucede gracias a que la OLT posee un mecanismo que le permite identificar a cada uno de los usuarios que tiene conectados a una misma fibra.

Para ello existe un elemento denominado número de serie de ONT, el cual debe ser reconocido por la OLT. Ésta debe crear un registro de los números de serie de ONT de todos los usuarios y a qué puerto pertenecen (de qué fibra cuelgan).

Para realizar la configuración remota de ONTs se ha desarrollado un protocolo denominado OMCI (ONT Management and Control Interface). Este protocolo permite la configuración remota de las ONTs. Para cada ONT se establece

un canal de gestión entre OLT y ONT. Incluye gestión, rendimiento, monitorización de alarmas, fallos y prestaciones.

A continuación se muestra la identificación de una ONT usando el sistema de aprovisionamiento ANM2000.

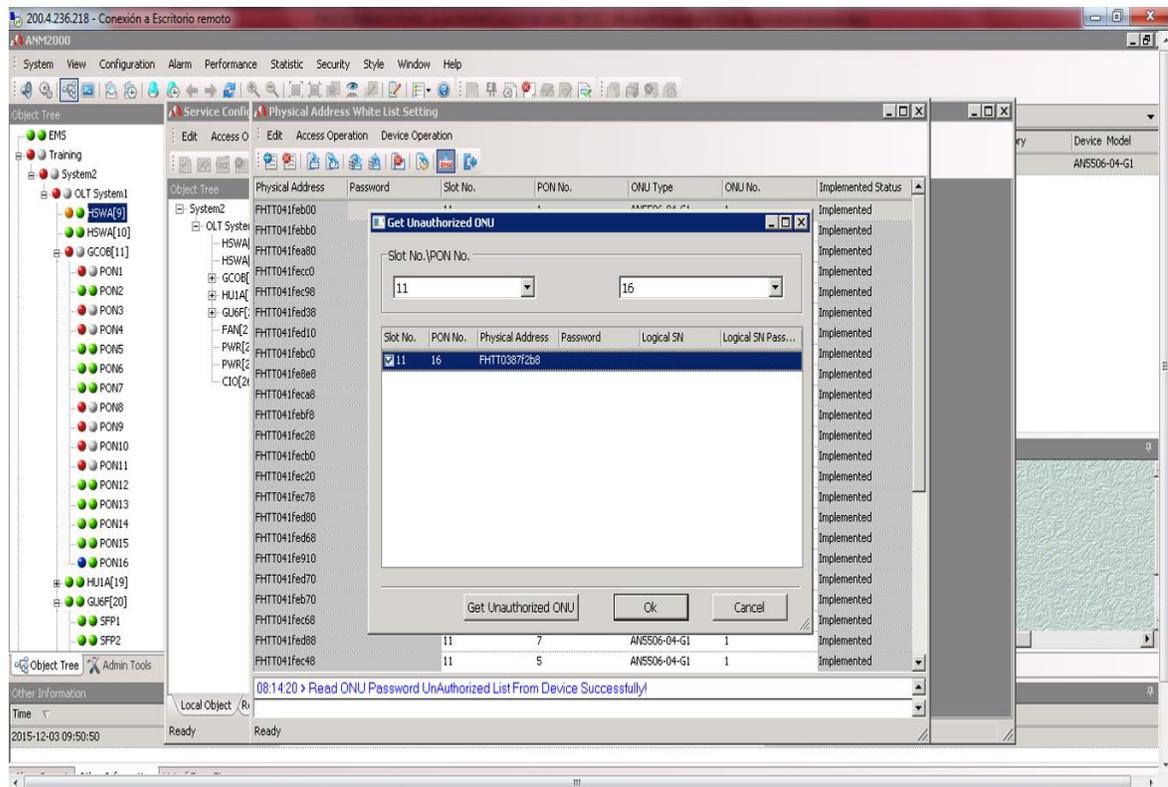


Figura 85. Autenticación de una ONT por reconocimiento de dirección física.

Fuente: Captura en pantalla del sistema.

Una vez autenticado el equipo, se procede a asignar, preferentemente en modo dinámico, la dirección IP de red correspondiente a la ONT. Esto se logra gracias al protocolo DHCP.

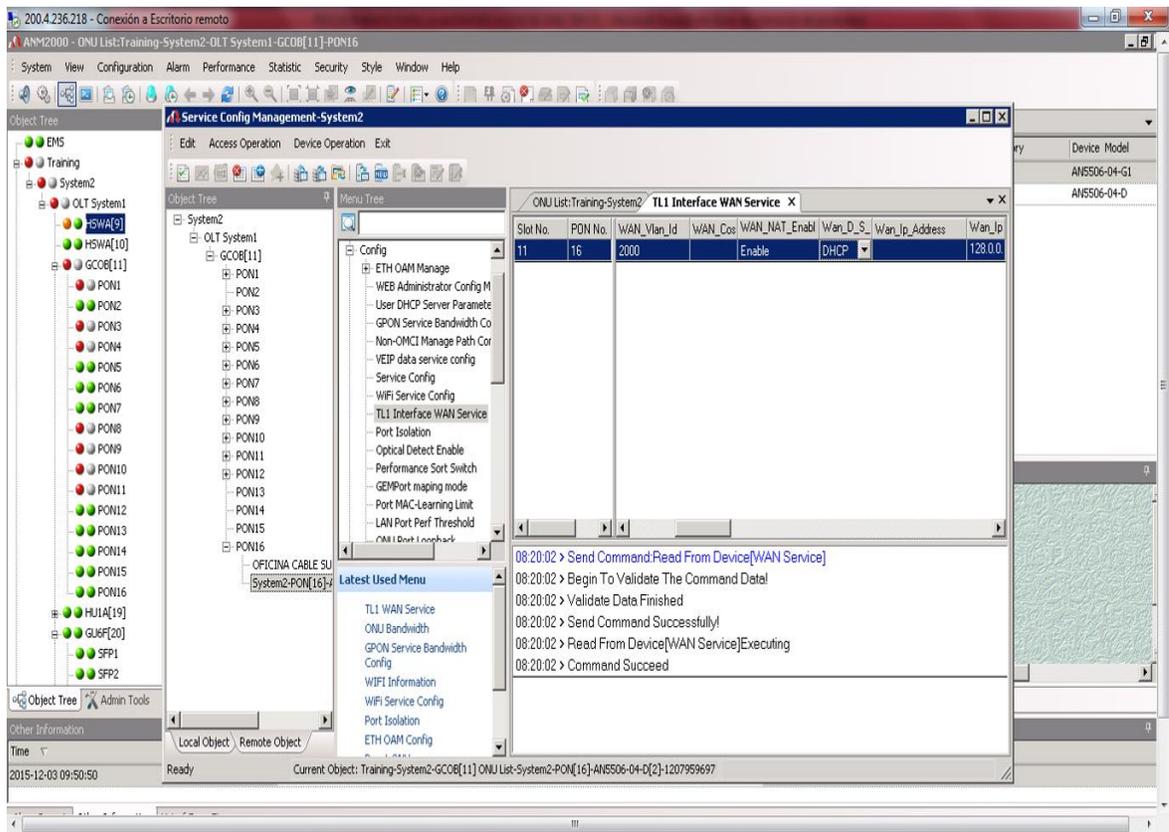


Figura 86. Selección del modo DHCP para la asignación dinámica de dirección IP correspondiente a la ONT.

Fuente: Captura en pantalla del sistema.

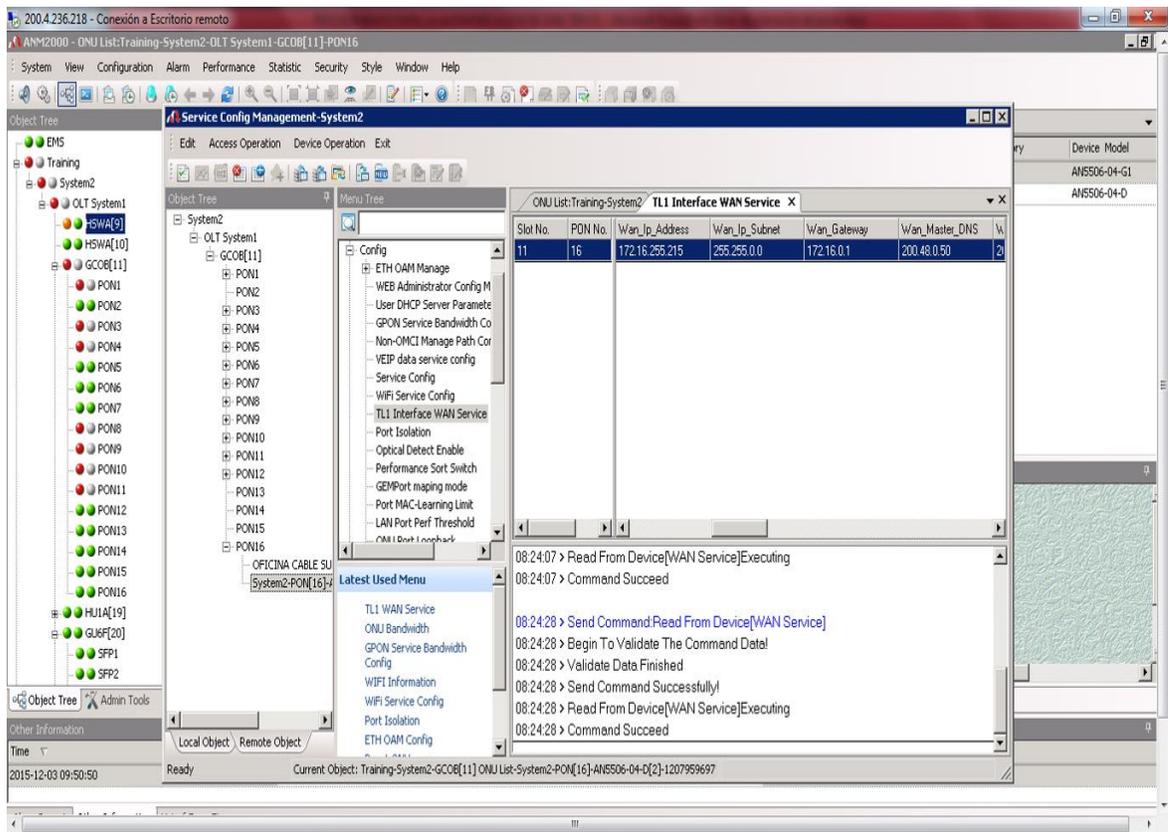


Figura 87. Conjunto de direcciones IP asignadas para la red de la ONT.

Fuente: Captura en pantalla del sistema.

A esta opción se le suma la activación de puertos Ethernet de la ONT, así como la disponibilidad de una o más redes inalámbricas. El detalle se muestra en la siguiente figura:

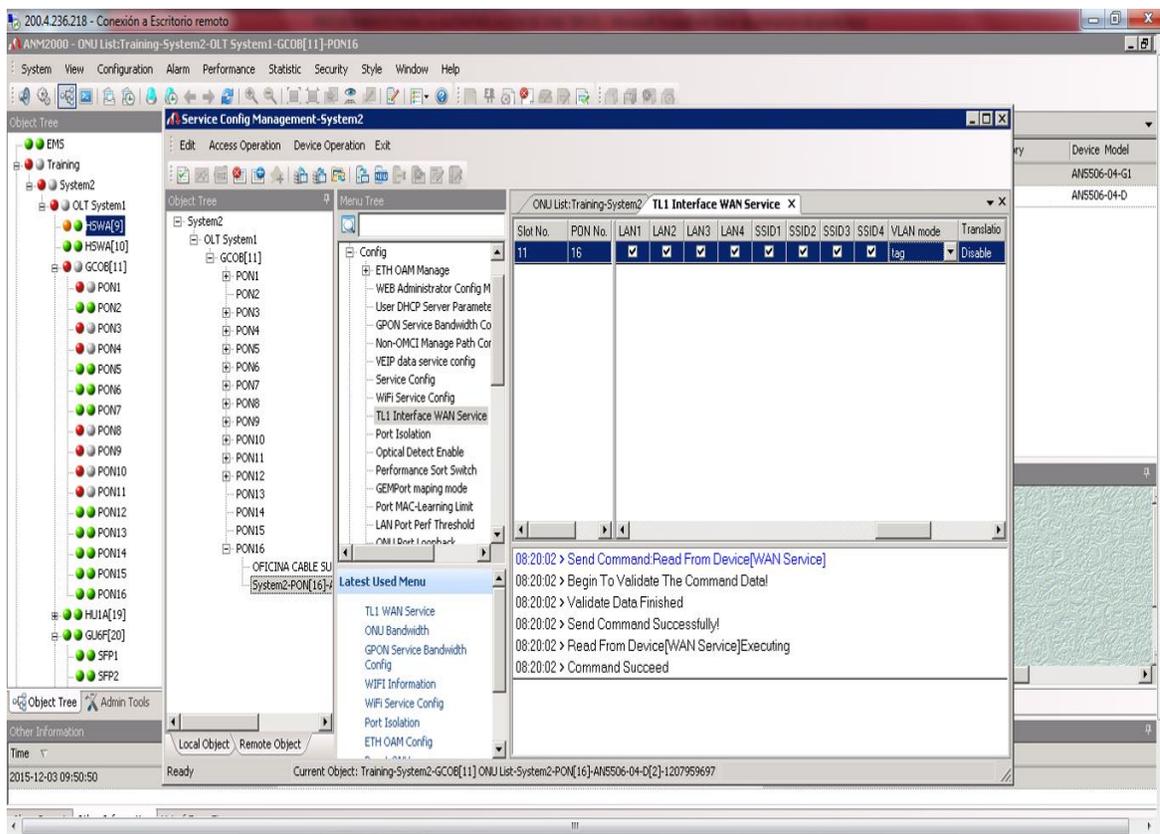


Figura 88. Activación de puertos Ethernet y redes inalámbricas de la ONT.

Fuente: Captura en pantalla del sistema.

La siguiente opción consiste en configurar los servicios básicos como ancho de banda, CATV y telefonía. A continuación, se muestra la configuración de ancho de banda de la ONT, a la cual se le ha asignado un perfil de velocidad de 1 Mbps como prueba.

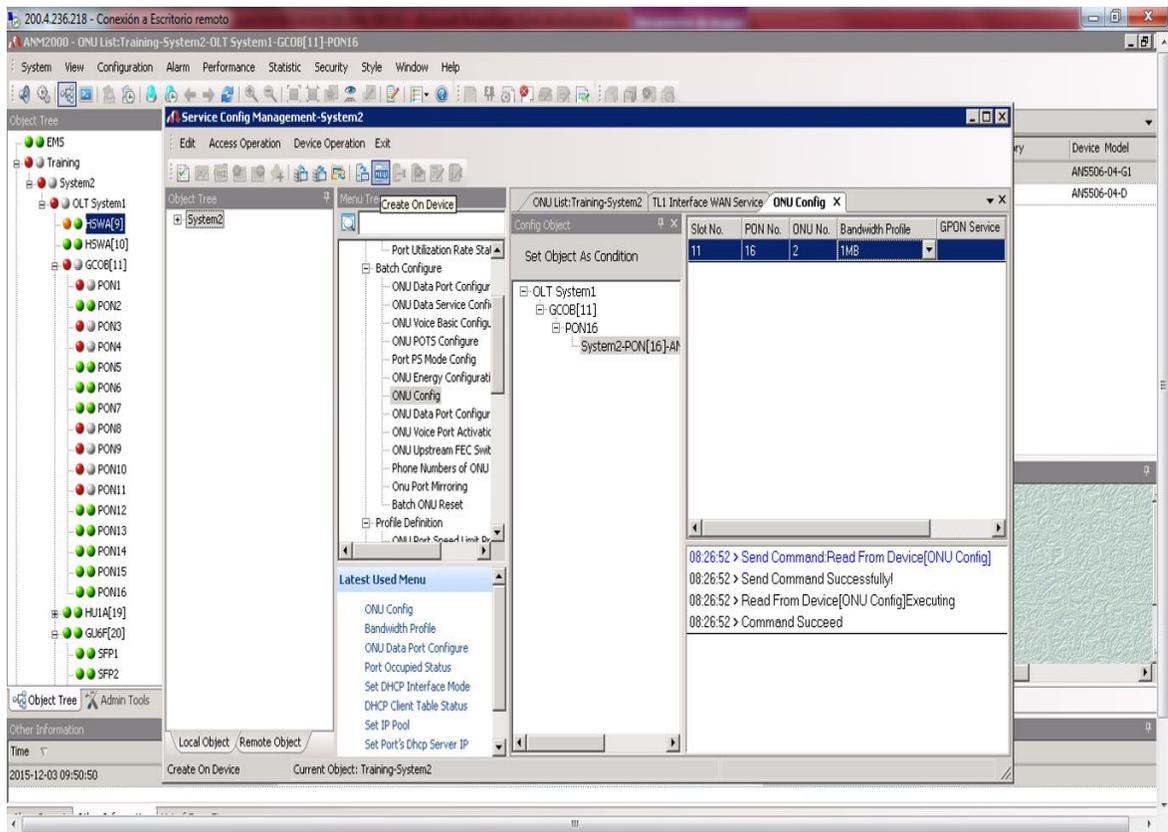


Figura 89. Asignación de ancho de banda de la ONT.

Fuente: Captura en pantalla del sistema.

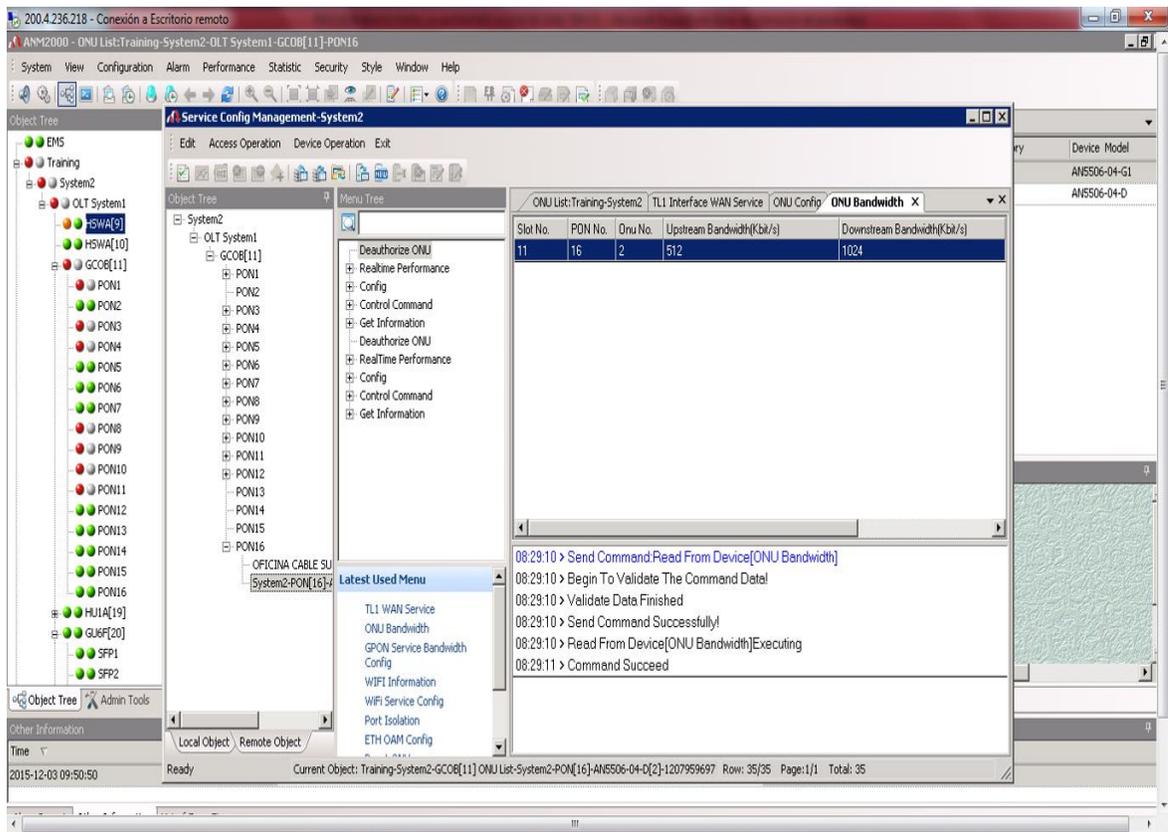


Figura 90. Detalle del ancho de banda designado para la ONT. En esta ventana se muestra el ancho de banda de bajada (1024Kbit/s) y el de subida (512Kbit/s).

Fuente: Captura en pantalla del sistema.

También se puede realizar la creación y configuración de red inalámbrica, permitiendo la asignación del nombre de red y contraseña de ésta. A continuación se detalla en la siguiente figura la creación de red inalámbrica de la ONT. En este caso, a esta red como ejemplo se le asignó el nombre de ONUDEDATOS.

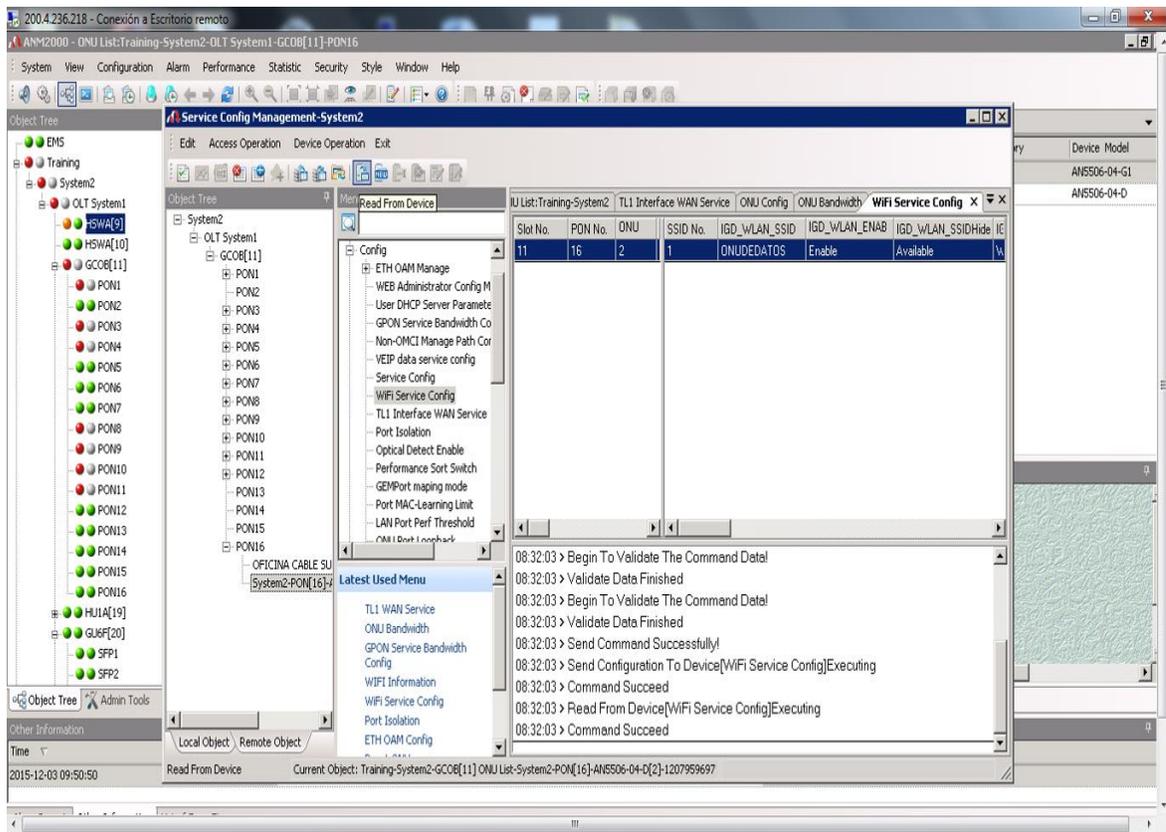


Figura 91. Configuración de red inalámbrica de ONT.

Fuente: Captura en pantalla del sistema.

Notas

Para el intercambio de información entre el servidor ANM2000 y la OLT se hace uso del protocolo privado de aplicación SNMP, que facilita el intercambio de información entre éstos.

El protocolo TCP/IP permite la existencia de una interfaz de usuario o medio en el que el usuario puede comunicarse con el servidor ANM2000.

3.4 Resultados del diseño de la red FTTH GPON

3.4.1 Comparación de atenuación en peor caso con sensibilidad de OLT

Una vez realizados los cálculos de los rangos de atenuación que se tendrá en el sistema, se utiliza la sensibilidad de las OLT que se van a utilizar para determinar si la atenuación producida en la línea sobrepasa la sensibilidad del equipo. De aquí y utilizando la potencia de transmisión del equipo se tiene la siguiente fórmula:

$$\beta - A_T = A_R \dots (3)$$

Donde:

β es la sensibilidad de la OLT.

A_T es la atenuación total del enlace.

A_R es la atenuación de retorno.

Por lo tanto, al reemplazar los datos:

$$28 \text{ dB} - 26.3 \text{ dB} = 1.7 \text{ dB}.$$

En el peor caso de la red planteada se tiene una atenuación de retorno de 1.7 dB como muestra la ecuación (3), con lo que se puede ver que no existe ningún problema en cuanto a la atenuación del sistema y los equipos que se pretenden utilizar, lo cual era de esperar pues se están utilizando únicamente dos splitters desde la OLT hasta llegar al abonado, y la distancia en el peor caso de la red es considerablemente menor a los 20Km recomendados por la ITU.

3.4.2 Tipo de ODN

Del presupuesto de pérdida obtenido en el diseño para la red de acceso GPON con el cliente más cercano y más lejano se encuentra entre 25.1 dB y 26.3 dB respectivamente, lo que se manifiesta que se encuentra dentro del rango admisible de la clase B+, la cual es de 13 – 28 dB.

3.4.3 Ventajas y desventajas de usar la topología distribuida

Usar una topología distribuida para el diseño de la red FTTH GPON implica ventajas como menor costo inicial de implantación, red óptica mínima y adecuación para tasas de penetración elevada; sin embargo, la red puede requerir planeamiento criterioso, no ser muy escalable en elementos activos y pasivos, requerir múltiples puntos para realizar la activación, remoción o remanejo de suscriptores y dificultad de mantenimiento y localización de fallas en la red óptica (troubleshooting).

CONCLUSIONES

- ✓ Se ha analizado una red FTTH GPON para el respectivo diseño, eligiendo el establecimiento de zonas y como topología principal la de splitters distribuidos, la cual permite que se logre gestionar por cada puerto PON de la OLT cada zona de cobertura, estableciéndose para un futuro una mejor distribución de recursos y aplicaciones que daría esta red GPON y garantía en calidad de servicio.
- ✓ Se ha logrado diseñar una red FTTH GPON desde la oficina central (OLT) hasta el usuario final (ONT) con resultado viable, ya que la atenuación total calculada en peor caso es de 26.3 dB, valor inferior a la sensibilidad mínima de la ONT que es 27 dB, y ésta ONT puede trabajar con valores de atenuación inferiores a los 27 dB.
- ✓ En la actualidad las redes FTTH son muy superiores a las redes que utilizan cobre en su arquitectura e implementación. Esto se debe a que estas redes FTTH poseen una red de distribución completamente pasiva y las otras redes en base a cobre contienen electrónica activa que requiere mayores cuidados, además de una construcción más compleja en lo referido a su planta externa.
- ✓ Gracias a la topología distribuida se puede controlar por zonas el servicio Triple Play de la ONT con el sistema de aprovisionamiento, gestionando las ONTs de cada zona de cobertura por cada puerto PON de la OLT respectivamente.
- ✓ La red FTTH GPON permite ofrecer nuevos y mejores paquetes en cuanto a velocidad de navegación permitiendo satisfacer las necesidades de los posibles usuarios y aplicaciones que requieren mayor ancho de banda.

RECOMENDACIONES

- En análisis de redes FTTH GPON para sectores no amplios, se recomienda optar por la división del área de cobertura en zonas y la topología de splitters distribuidos, ya que es la opción menos compleja y permite que en un futuro se logre el control de estas zonas mediante puertos PON de OLT.
- Se recomienda diseñar redes FTTH GPON con atenuaciones totales más mínimas posibles en peor caso, ya que con un valor obtenido de atenuación total mucho menor a la sensibilidad mínima de la ONT, se asegura el control y operación de la ONT y la alternativa de expandir más la red.
- Es recomendable para empresas que cuentan con redes de acceso en base a cobre migrar a redes FTTH GPON, ya que éstas son muy superiores y poseen una red de distribución completamente pasiva, permitiendo ahorrar costos en mantenimiento y una construcción menos compleja en planta externa.
- Es preferible para una empresa cuya red de acceso esté hecha a base de fibra óptica, contar con un sistema de aprovisionamiento propio para la activación de los equipos de usuario y configuración de los servicios de Internet, CATV y telefonía a través de un solo equipo terminal, ya que este sistema facilita el manejo de éstos y los hace más accesibles a preferencia de usuario.
- Para empresas nuevas que deseen brindar servicio de Internet a mayores velocidades mediante una nueva red de acceso, es recomendable que opten por una red FTTH de tecnología GPON, ya que esta red permite ofrecer nuevos y mejores paquetes en cuanto a velocidad de navegación (1.25 Gbps en subida y 2.50 Gbps en bajada); asimismo, aplicaciones que requieren mayor ancho de banda.

BIBLIOGRAFÍA

Documentos web

García Yagüe, A. (2014). *GPON y GPON Doctor – Introducción y Conceptos Generales*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de:

<http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>.

Sebastián Guevara, J. (2006). *Tecnologías de Redes PON*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de:

http://www.tecnologia.technology/wp-content/uploads/2010/06/Definicion_caracteristicas_PON_APOn_BPON_GEPON_GPON_EPON.pdf.

López Bonilla, M., Moschim E. y Rudge Barbosa, F. (2009). *Estudio Comparativo de Redes GPON y EPON*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de:

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4732651.pdf>.

Domínguez, J. (2014). *Redes FTTH*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de:

http://www.tecnoredsa.com.ar/soluciones/3df060_FTTH_Tecnored_v2.0.pdf.

Rodríguez Soto, H. (2014). *Generalidades de Redes FTTH – GPON*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de:

<http://www.slideserve.com/venus/generalidades-redes-ftth-gpon-horacio-rodriguez-soto-abril-de-2014>.

Millán Tejedor, R. J. (2008). *GPON (Gigabit Passive Optical Network)*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de:

<http://www.ramonmillan.com/documentos/gpon.pdf>.

Escobar, R. (2013). *Redes PON – GPON vs EPON*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de:

http://www.atvc.org.ar/pdf/jornadas-internacionales/2013/raul_escobar.pdf.

Fiérrez Aguilar, J. (2009). *Sistemas de Telecomunicación – Tema 4: Sistemas de Acceso Ópticos (xPON)*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de:

arantxa.ii.uam.es/~sistel/T4.ppt.

Lattanzi, M. y Graf, A. (2014). *Redes FTTx – Conceptos y Aplicaciones*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de:

<http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/expocomm/TUTORIAL%209%20Lattanzi%20y%20Graf-%20IEEE.pdf>.

Abreu, M., Castagna, A., Cristiani, P., Zunino, P., Roldós, E. y Sandler, G. (2009). *Características Generales de una Red de Fibra Óptica Al Hogar (FTTH)*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de:

http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_179_Caracterstica_sgeneralesredfibrapticaalhogarFTTH.-VVAA.pdf.

Tesis y proyectos

Vallejo Espinosa, R. D. (2013). *Diseño de una red de última milla con tecnología GPON para la parroquia Cumbayá en el Distrito Metropolitano de Quito*. Trabajo de investigación para titulación en ingeniería de sistemas y telecomunicaciones, Universidad Internacional SEK, Quito.

Moreno Almeida, K. A. (2012). *Validación de normas y procedimientos de construcción para su incorporación en despliegues de FTTH*. Trabajo especial de grado para titulación en ingeniería en telecomunicaciones, Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.

Asenjo Bertín, J. R. (2014). *Diseño y construcción de una red fibra óptica (FTTH) para brindar servicios de voz, videos y datos en Sector Barrios Bajos de la Ciudad de Valdivia*. Trabajo para titulación en ingeniería electrónica, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

Pabón Taco, D. P. (2009). *Diseño de una red de acceso GPON para proveer servicios Triple Play (TV, Internet y telefonía) en el Sector de La Carolina a través de la red del Grupo TV Cable*. Proyecto para titulación en ingeniería en electrónica y redes de información, Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Carmona Giraldo, P. A. y Montes Torres, P. A. (2009). *Diseño y simulación de una Red Óptica Pasiva (PON) para prestar servicios Triple Play a un conjunto residencial*. Proyecto para titulación en ingeniería de sistemas y telecomunicaciones, Universidad Católica Popular del Risaralda, Pereira.

Galeano Corchero, J. (2009). *Diseño e instalación de una red FTTH*. Proyecto fin de carrera de ingeniería técnica de telecomunicación y sistemas de telecomunicación, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.

López Polo, E. D. (2016). *Diseño de una red de fibra óptica para la implementación en el servicio de banda ancha en Coishco (Ancash)*. Tesis para titulación en ingeniería electrónica con mención en telecomunicaciones, Universidad de Ciencias y Humanidades, Lima.

Barroso García, A. (2012). *Diseño de una red de fibra óptica para la implementación de servicios de una banda ancha en una zona de viviendas en casco urbano*. Proyecto fin de carrera de ingeniería técnica industrial y electrónica industrial, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Prieto Zapardiel, J. (2014). *Diseño de una red de acceso mediante fibra óptica*. Proyecto fin de carrera de ingeniería y sistemas de telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Díaz Pérez, S. (2014). *Diseño y comparativa de redes HFC y FTTH*. Proyecto fin de carrera de ingeniería de telecomunicación, Universidad de Sevilla, Sevilla.

León Araujo, C. M. (2015). *Análisis y diseño de la red FTTH con tecnología GPON para el ISP TroncalNet en el Cantón Cañar*. Trabajo para maestría en redes de comunicación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.

Tumbalobos Cubas, B. J. (2016). *Estudio del diseño de servicio de IPTV con tecnología HFC y FTTH*. Tesis para titulación en ingeniería de telecomunicaciones, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Castillo Jaramillo, C. y Figueroa Torres, S. (2013). *Determinación de la demanda, dimensionamiento y diseño de una red de servicios de telecomunicaciones, mediante la tecnología de acceso FTTH en el Cantón Gualaceo para la empresa CNT E.P.* Tesis para titulación en ingeniería electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.

Tinoco Alvear, J. D. (2011). *Estudio y diseño de una red de fibra óptica FTTH para brindar servicio de voz, video y datos para la Urbanización Los Olivos ubicada el Sector Toctesol en la Parroquia Borrero de la Ciudad de Azogues*. Tesis para titulación en ingeniería electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.

Calle Méndez, C. A. y Machado Tapia, D. G. (2015). *Estudio de factibilidad para la implementación de la red FTTH en la empresa Puntonet Sucursal Cuenca*. Tesis de maestría en gestión de telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.

ANEXOS

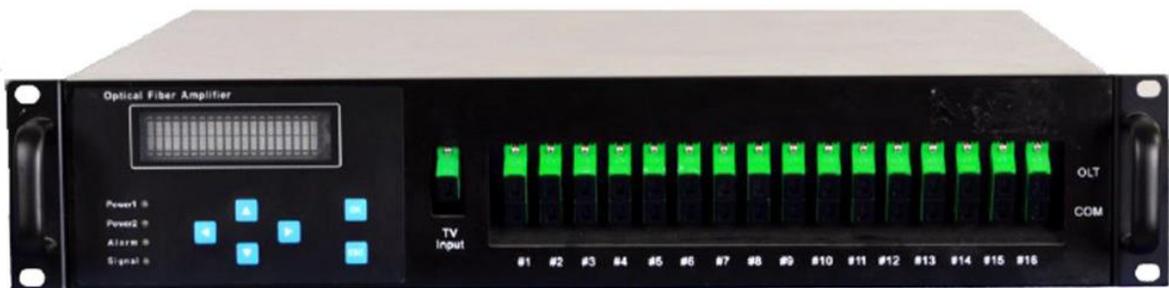
Anexo 1: Equipamiento de cabecera GPON FiberHome



OLT FiberHome AN5516-06.



Transmisor óptico FiberHome AN1550.



Amplificador óptico EDFA FiberHome AN1600.

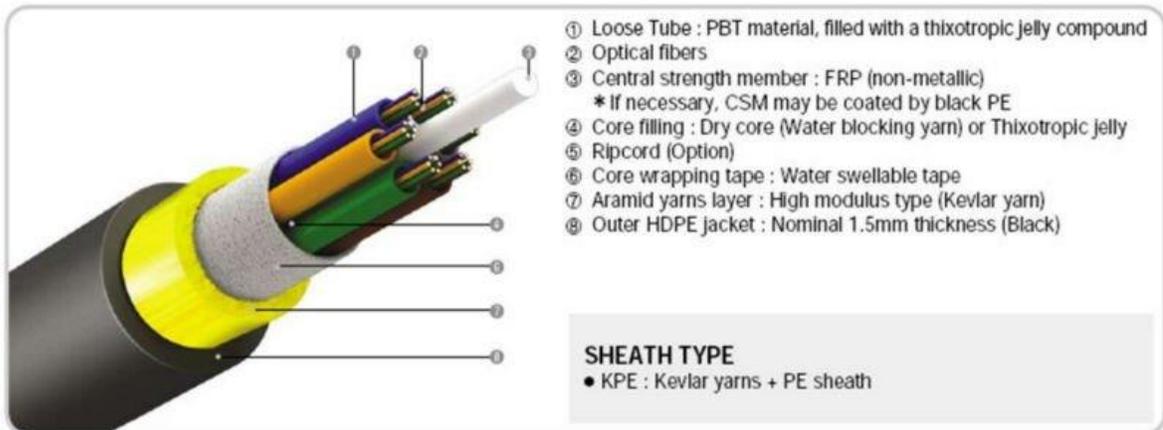


Servidor de gestión ANM2000.

Anexo 2: Material de planta externa GPON



Fibra óptica con dieléctrico autoportado ADSS monomodo – Furukawa (ITU-T G.652).



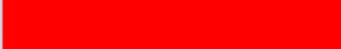
Partes de la fibra óptica con dieléctrico autoportado ADSS monomodo – Furukawa (ITU-T G.652).

Características constructivas		
Tipos de fibra	Monomodo (9/125)	G.652.B y G.652.D
	Monomodo NZD (9/125)	G.655 y G.656
	Multimodo (50/125)	OM4, OM3 y OM2
	Multimodo (62.5/125)	OMI
Elemento central	Material metálico	
Tipo de núcleo	Núcleo relleno (G), seco (S) o totalmente seco (TS)	
Cubierta externa	Polietileno de color negro, con o sin retardancia a la llama (RC o NR)	

Características constructivas de la fibra óptica con dieléctrico autosoportado ADSS monomodo – Furukawa (ITU-T G.652).

Número de fibras ópticas	Cantidad de fibras por tubo	Tipo de núcleo	Vano 80 m			Vano 120 m			Vano 200 m		
			Diámetro externo nominal (mm)	Masa neta nominal (kg/km)		Diámetro externo nominal (mm)	Masa neta nominal (kg/km)		Diámetro externo nominal (mm)	Masa neta nominal (kg/km)	
				NR	RC		NR	RC		NR	RC
06 hasta 36	6	G	11,4	100	112	11,4	102	114	12	109	118
		S	11,6	95	105	11,6	96	106	12	102	113
		TS	10	71	78	10	72	79	10,4	75	83
48 hasta 72	12	G	13	128	143	13	130	145	13,8	140	151
		S	13	119	132	13	122	134	13,4	127	139
		TS	11,2	92	100	11,2	93	101	11,6	98	107
96	12	G	14,8	169	185	14,8	172	188	15,6	180	194
		S	14	139	150	14,2	141	152	14,2	147	158
		TS	13	120	130	13	121	131	13,4	130	140
144	12	G	18,2	255	276	18,4	260	281	19	274	291
		S	18,2	230	244	18,2	232	247	18,8	242	257
		TS	16,6	190	203	16,6	192	205	17	199	212
Fuerza de tracción sin incremento de atenuación (N)						Carga de compresión (N/cm)			Radio mínimo de curvatura		
Vano (m)		Carga máxima de operación							Durante la instalación		Después de instalado
80		06 hasta 36	48 hasta 72	96	144	230		20 x diámetro del cable		10 x diámetro del cable	
120		2050	2500	3000	3650						
200		2850	3400	3800	5150						
		5000	5900	6300	9000						

Especificaciones de la fibra óptica con dieléctrico autosoportado ADSS monomodo – Furukawa (ITU-T G.652).

	1 = AZUL
	2 = NARANJA
	3 = VERDE
	4 = MARRON
	5 = GRIS
	6 = BLANCO
	7 = ROJO
	8 = NEGRO
	9 = AMARILLO
	10 = VIOLETA
	11 = ROSA
	12 = CELESTE

Código de colores usado por la fibra óptica con dieléctrico autosoportado ADSS monomodo – Furukawa (ITU-T G.652).

Módulo conectores SC/APC	115 x 75 x 8,5 mm	1x2	Cordón 2 mm	
		1x4		
		1x16		
		1x32		
	115 x 75 x 15 mm	1x64		

Splitters PLC TELNET: Tipos.

Características fundamentales (elemento individual)						
Configuración de los splitters	1 x 2	1 x 4	1 x 8	1 x 16	1 x 32	1 x 64
Longitud de onda	1260-1360 nm , 1450-1650 nm					
Tecnología	Fusión			PLC		
Pérdidas inserción (dB)	≤ 3,7	≤ 7,3	≤ 10,5	≤ 13,7	≤ 17,1	≤ 20,5
PDL (dB)	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,25	≤ 0,3	≤ 0,4	≤ 0,5
Uniformidad	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,3	≤ 1,5	≤ 2,5
Pérdidas de Retorno (dB)	> 50			≥ 55		
Directividad (dB)	> 50			≥ 55		
Temperatura de operación (°C)	- 20 / 70			- 40 / 85		
Puertos de entrada y salida por defecto	Fibra monomodo Ø 250 µm de bajo radio de curvatura					
Longitud mínima de fibras (m)	≥ 2,5					
Puertos de salida	2 fibras SM	Ribbon 4 fibras x 1 (2,5 m fibras individuales)	Ribbon 8 fibras x 1 (2,5 m fibras individuales)	Ribbon 8 fibras x 2 (2,5 m fibras individuales)	Ribbon 8 fibras x 4 (2,5 m fibras individuales)	Ribbon 8 fibras x 8 (2,5 m fibras individuales)
Dimensiones cuerpo (mm)	Ø 3,2 x 54	4 x 4 x 38	4 x 4 x 40	7 x 4 x 46,9	7 x 4 x 46,9	12 x 4 x 58

Características fundamentales de los splitters PLC Telnet.

Características ambientales (elemento individual)						
Configuración splitter	1 x 2	1 x 4	1 x 8	1 x 16	1 x 32	1 x 64
Temperatura de operación	-20°/+70°C			-40°/+85°C		
Temperatura de almacenamiento	-40°/+85°C					
Humedad máxima de operación y almacenamiento	93 %					

Características ambientales de los splitters PLC Telnet.

Anexo 3: Equipamiento de usuario GPON FiberHome



ONT FiberHome AN5506-04-GG.

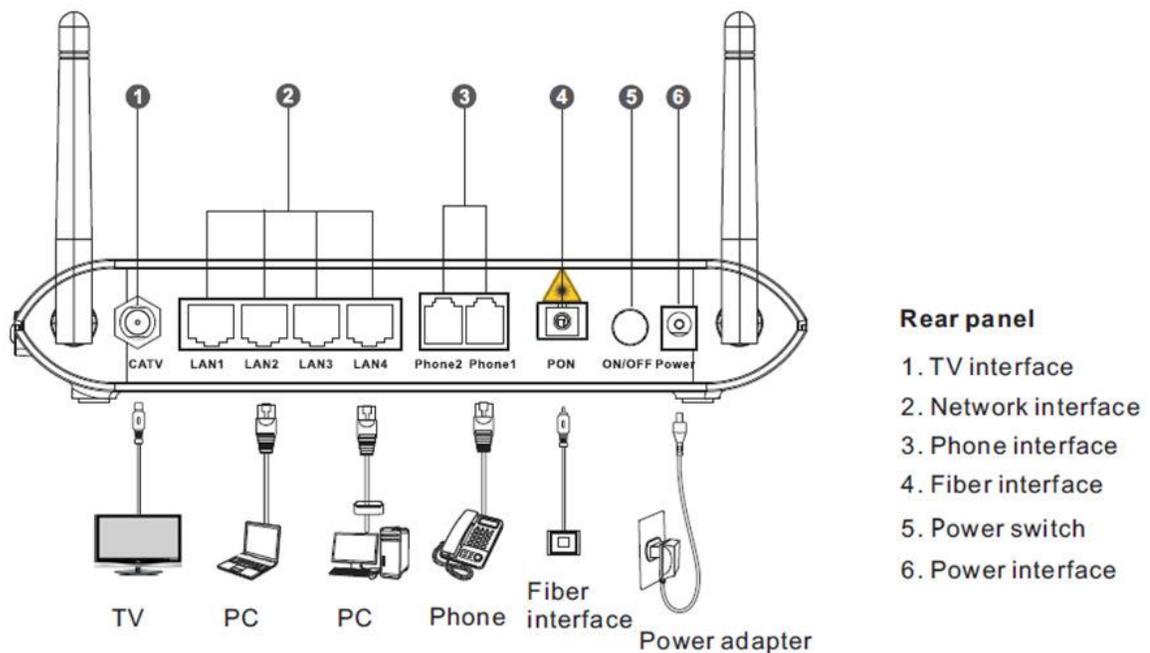
	4 GE interfaces 2 phone interfaces 1 CATV interface, WIFI supported	External antenna
---	---	------------------

AN5506-04-GG

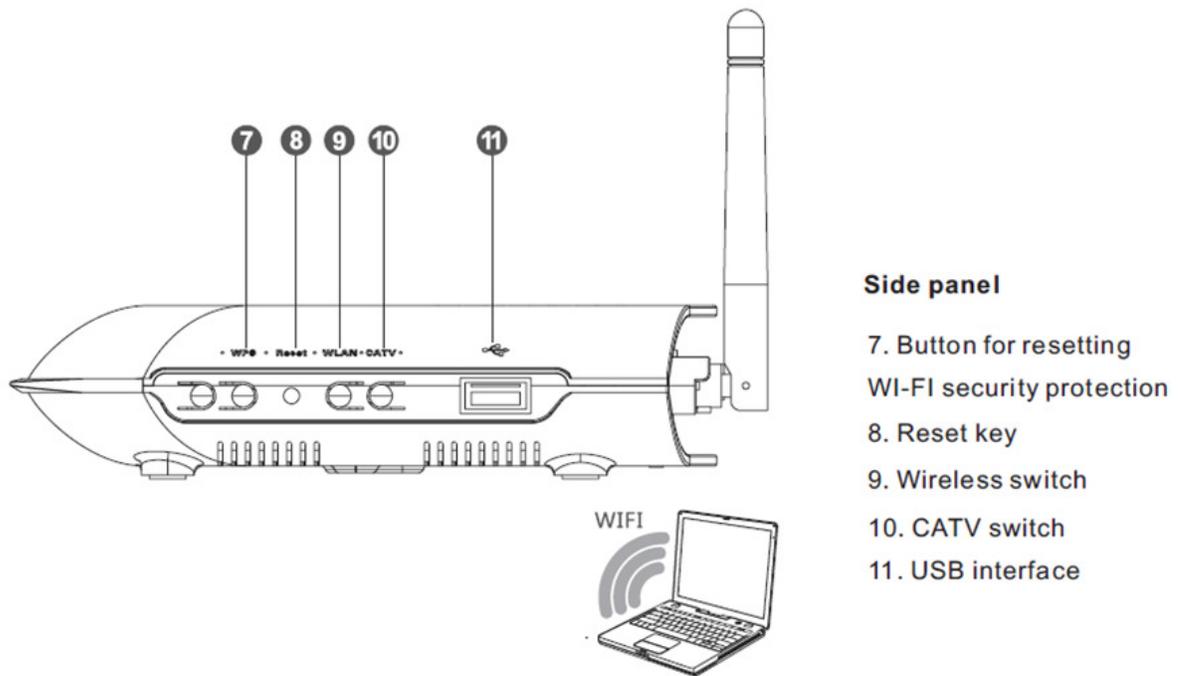
Especificaciones técnicas (I) de la ONT AN5506-04-GG.

Type	Item	Description
Mechanical parameter	Dimension	36mm×211mm×154mm(H×W×D)
	Weight	450g approximately
Power supply parameter	DC	DC 12V/1.5A
Power consumption parameter	Power consumption	12W
Environmental parameter	Operating temperature	-5°C to 45°C
	Storage temperature	-40°C to 70°C
	Environmental humidity	10% to 90%, non-condensing

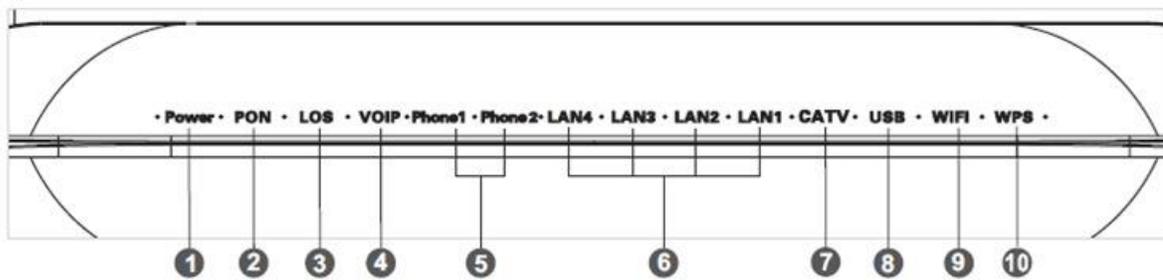
Especificaciones técnicas (II) de la ONT AN5506-04-GG.



Interfaces y conexiones de la ONT AN5506-04-GG (I).



Interfaces y conexiones de la ONT AN5506-04-GG (II).



Descripción de los leds indicadores de la ONT AN5506-04-GG (I).

	ON	Blinking	OFF
1 Power status LED (green)	The equipment is powered on.	—	The equipment is not powered on.
2 Registration status LED (green)	The ONU is activated.	—	The ONU is not activated.
3 Optical signal status LED (red)	—	No optical signals are received.	Optical signals are received.
4 VOIP status LED (green)	The ONU registration to the softswitch system is successful.	—	The ONU registration to the softswitch system failed.
5 Phone interface status LED (green)	The interface registration to the softswitch system is successful.	The interface has traffic.	The interface registration to the softswitch system failed.

Descripción de los leds indicadores de la ONT AN5506-04-GG (II).

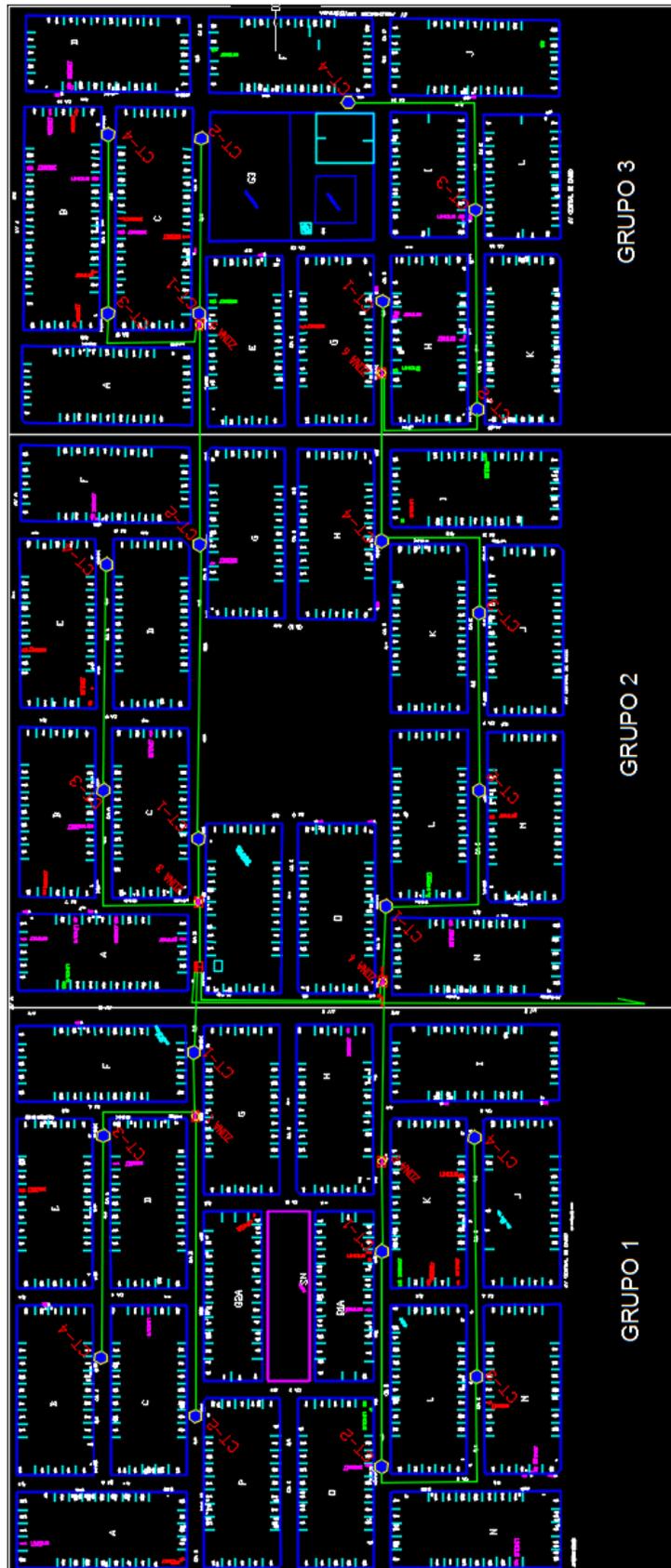
	ON	Blinking	OFF
6 Ethernet interface status LED (green)	The interface is connected, no data transmission.	The interface is receiving / transmitting data.	The interface is not connected.
7 CATV interface status LED (green)	The CATV function is enabled and the received CATV signals are normal.	The CATV function is enabled and the received CATV signals are weak.	The CATV function is not enabled, no or too weak CATV signals are received.
8 USB status LED (green)	The USB is connected.	—	The USB is not connected.
9 WIFI signal status LED (green)	The interface is enabled.	The interface has traffic.	The interface is disabled.
10 WPS status LED (green)	The WPS is enabled and connected.	The related negotiation is conducted via WPS.	The WPS is not enabled or connected.

Descripción de los leds indicadores de la ONT AN5506-04-GG (III).

Anexo 4: Planos de las zonas de cobertura GPON del Sector 10 de Villa el Salvador

A continuación se muestra los planos de las zonas de cobertura FTTH GPON del Sector 10 de Villa el Salvador. El primer plano conforma el sector completo, el segundo plano conforma las zonas de los grupos 1, 2 y 3 y el tercer plano conforma las zonas de cobertura de los grupos 4, 2A y 3A.







Anexo 5: Costos de implementación del sistema FTTH – GPON

a. Cabecera

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
OLT FIBERHOME AN5516-06	U	1	US\$ 6,273.32	US\$ 6,273.32
TRANSMISOR ÓPTICO FIBERHOME AN1550	U	1	US\$ 8,052.96	US\$ 8,052.96
AMPLIFICADOR ÓPTICO EDFA FIBERHOME AN1600	U	1	US\$ 14,052.81	US\$ 14,052.81
SISTEMA DE APROVISIONAMIENTO ANM200 (FIBERHOME)	U	1	US\$ 13,752.32	US\$ 13,752.32
PATCH CORDS SC/APC – SC/APC FIBERHOME	U	12	US\$ 3.18	US\$ 38.16
PATCH CORDS SC/APC – SC/UPC FIBERHOME	U	12	US\$ 3.02	US\$ 36.24
DISTRIBUIDOR ÓPTICO ODF DE 48 PUERTOS 3M	U	1	US\$ 148.00	US\$ 148.00
RACK DE PISO AUTOSOPORTADO DE 38 RU 1.80M DE ALTURA	U	1	US\$ 176.47	US\$ 176.47

TOTAL: US\$ 42,530.28

b. Planta externa

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
FIBRA ÓPTICA ADSS MONOMODO DE 48 HILOS (ITU-T G.652) FURUKAWA	m	7000	US\$ 0.85	US\$ 5,950.00
FIBRA ÓPTICA ADSS MONOMODO DE 6 HILOS (ITU-T G.652) FURUKAWA	m	4000	US\$ 0.58	US\$ 2,320.00
PORTALÍNEAS Y AISLADORES	U	150	US\$ 1.12	US\$ 168.00
ROLLOS DE CINTA BAND-IT (30cm C/U)	U	7	US\$ 27.00	US\$ 189.00
CAJAS DE HEBILLAS BAND-IT (100 UNIDADES C/U)	U	4	US\$ 27.00	US\$ 108.00
PREFORMADOS ESTÁNDAR NARANJA (3 DE 2 C/U)	U	50	US\$ 1.71	US\$ 85.50
CAJAS DE DISTRIBUCIÓN O MUFAS CONAX	U	18	US\$ 60.00	US\$ 1,080.00
CAJAS TERMINALES O NAPS DE 16 DROPS CONAX	U	48	US\$ 42.00	US\$ 2,016.00
SPLITTERS ÓPTICOS 1x4 HAYEX	U	12	US\$ 21.15	US\$ 253.80
SPLITTERS ÓPTICOS 1x16 HAYEX	U	48	US\$ 57.00	US\$ 2,736.00
ADAPTADORES/ENFRENTADORES FIBERHOME	U	768	US\$ 0.52	US\$ 399.36

TOTAL: US\$ 15,305.66

c. Mano de obra

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
DISEÑO DE LA RED	U	1	US\$ 2,500.00	US\$ 2,500.00
TENDIDO DE FIBRA	m	11000	US\$ 1.00	US\$ 11,000.00
EMPALMES	U	66	US\$ 12.00	US\$ 792.00
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE APROVISIONAMIENTO ANM2000 + CHARLAS DE CAPACITACIÓN	U	1	US\$ 3,000.00	US\$ 3,000.00

TOTAL: US\$ 17,292.00

❖ COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FTTH – GPON

DESCRIPCIÓN	COSTO
CABECERA	US\$ 42,530.28
PLANTA EXTERNA	US\$ 15,305.66
MANO DE OBRA	US\$ 17,292.00
TOTAL	US\$ 75,127.94

d. Elementos de red de abonado

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
FIBRA ÓPTICA DROP FIG.8 MONOMODO DE 2 HILOS (ITU-T G.657) FURUKAWA	m	2000	US\$ 0.35	US\$ 700.00
PATCH CORDS SC/APC – SC/UPC FIBERHOME	U	150	US\$ 3.02	US\$ 453.00
ONUS FIBERHOME AN5506-04-GG	U	100	US\$ 128.75	US\$ 12,875.00

Anexo 6: Costos de servicio al abonado (Triple Play)

DESCRIPCIÓN	COSTO
PLAN 850 MIN MULTIDESTINO + 10 MB DE INTERNET + 93 CANALES	S/. 299.00 AL MES
PLAN 850 MIN MULTIDESTINO + 20 MB DE INTERNET + 93 CANALES	S/. 399.00 AL MES
PLAN 850 MIN MULTIDESTINO + 30 MB DE INTERNET + 93 CANALES	S/. 499.00 AL MES